



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
IŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

TECHNOLOGIE SELEKTIVNÍ KATALYTICKÉ REDUKCE

TECHNOLOGY OF SELECTIVE CATALITIC REDUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAEL KUDLÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michael Kudlík

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

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

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

Technologie selektivní katalytické redukce pro užitkové automobily

v anglickém jazyce:

Technology of Selective Catalytic Reduction for Commercial Vehicles

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

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

Cíle bakalářské práce:

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

Seznam odborné literatury:

[1] STONE , Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire : Palgrave, 1999. 641 s. ISBN 0-333-74013-0.

[2] HEISLER, Heinz. Advanced Engine Technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 1-56091-734-2.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 19.11.2013



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

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



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá technologií selektivní katalytické redukce. Technologie vznikla v důsledku zavádění přísných emisních limitů, kterých výrobci pomocí této technologie dosahují. První část práce je zaměřena na složení výfukových plynů, kde jsou rozebrány jednotlivé prvky a následně jsou zde uvedeny evropské emisní limity. Dále je práce zaměřena na způsoby snižování emisí vznětových motorů, kde je popsána funkce recirkulace výfukových plynů a funkce selektivní katalytické redukce. Poté jsou podrobně popsány vývojové systémy selektivní katalytické redukce. Závěrem je uvedeno použití či aplikace výrobců automobilů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Selektivní Katalytická Redukce, SCR, AdBlue, močovina, výfukové plyny, oxidy dusíku, filtr pevných částic, Bosch, EURO

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on technology of selective catalytic reduction. The technology was created as a result of introduction of strict emission limits which manufacturers with this technology reach. First part of this thesis deal with the composition of the exhaust gases, where are dismembered the various elements, and then are given here the European emission limits. Then is thesis focused on ways of reducing emissions of diesel engines which describes the function of exhaust gas recirculation and a function of selective catalytic reduction. Then are described development systems selective catalytic reduction. The conclusion consists of the use and application of Automobile Manufacturers.

KEYWORDS

Technology of selective catalytic reduction, SCR, AdBlue, urea, exhaust gases, nitrogen oxides, diesel particle filter, Bosch, EURO



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Kudlík, M. *Technologie selektivní katalytické redukce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 55 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením pana Ing. Radima Dundálka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 29. května 2015

.....

Michael Kudlík



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D. za jeho vstřícnost, cenné rady, kladný přístup a odborné vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat své přítelkyni a rodině za podporu.



OBSAH

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	1
Úvod	11
1 Emise výfukových plynů	13
1.1 Složení výfukových plynů	13
1.1.1 Dusík - N ₂	13
1.1.2 Oxid uhličitý – CO ₂	13
1.1.3 Voda – H ₂ O	14
1.1.4 Kyslík – O ₂	14
1.1.5 Oxidy dusíku – NO _x	14
1.1.6 Oxid uhelnatý – CO	14
1.1.7 Pevné částice – PM	14
1.1.8 Nespálené uhlovodíky – HC	14
1.1.9 Oxid siřičitý – SO ₂	14
1.1.10 Olovo – Pb	15
1.2 Emisní limity	15
1.2.1 Emisní limity EHK	15
1.2.2 Emisní limity EURO	16
1.2.3 Emisní limity STAGE	17
2 Způsoby snižování emisí vznětových motorů	19
2.1 EGR / AGR	19
2.2 SCR - Selektivní Katalytická Redukce	21
2.2.1 Funkce SCR	22
3 Systémy Selektivní Katalytické Redukce - Bosch	25
3.1 Bosch DENOXTRONIC 1	25
3.2 Bosch DENOXTRONIC 2.1	28
3.3 Bosch DENOXTRONIC 2.2	30
3.4 Bosch DENOXTRONIC 3.1 - 5	32
3.5 Bosch Denoxtronic 6.5 - 6.9	33
3.6 Srovnání systémů Bosch DENOXTRONIC	35
4 Aplikace u výrobců nákladních automobilů	36
4.1 DAF	36
4.2 MAN	36
4.3 Volvo	37
4.4 Scania	38
4.5 Renault	39



4.6	Iveco	39
5	Aplikace u výrobců osobních automobilů	41
5.1	Mercedes-Benz	41
5.2	AUDI	43
5.3	BMW	44
5.4	Volkswagen	44
	Závěr	46
	Seznam použitých zkratk a symbolů	53
	Seznam obrázků	54
	Seznam tabulek	55



ÚVOD

V minulosti se ve vývoji spalovacího motoru kladl důraz převážně na výkon, spolehlivost, provozní vlastnosti, odstraňování nadměrného hluku atd. Z důvodu stále rostoucího počtu vozidel na silnicích, se výfukové plyny u spalovacích motorů staly velmi sledovanou veličinou. Zejména díky vysoké hustotě výskytu vozidel ve městech, bylo nutno zavést jisté normy, týkající se ekologie. Tyto normy se zabývají zejména množstvím produkce oxidů dusíku, oxidu uhelnatého, nespálených uhlovodíků a pevných částic ve výfukových plynech motoru. Emisní limity se dělí na emisní předpisy pro osobní a lehká užitková vozidla, na emisní předpisy pro těžká nákladní vozidla a autobusy a na emisní předpisy pro mimo silniční vozidla (traktory, lokomotivy, stavební technika, atd.)

V dnešní době rozlišujeme dva způsoby snižování emisí u vznětových motorů – aktivní a pasivní. U aktivního způsobu se upravuje hoření směsi tak, aby spalovací motor produkoval co nejmenší množství škodlivých látek. Způsob pasivního snižování emisí u vznětových motorů je dán úpravou výfukových plynů ve výfukovém potrubí. Cílem obou způsobů snižování emisí u vznětových motorů, je snížit produkci škodlivých látek ve výfukových plynech.

Bakalářská práce se zabývá technologií selektivní katalytické redukce. Nejprve je však vysvětleno složení výfukových plynů, kde jsou rozebrány jednotlivé prvky obsažené ve výfukových plynech. Následuje nahlédnutí do vývoje legislativy emisních limitů v Evropě. V další části je čtenáři vysvětlen proces aktivního a pasivního snižování emisí výfukových plynů.

V následující kapitole jsou znázorněny a podrobně popsány jednotlivé vývojové řady selektivní katalytické redukce od výrobce Bosch. V poslední části jsou zmíněni výrobci automobilů používající předem probrané systémy. Výrobci automobilů jsou rozděleni do dvou skupin – nákladní automobily, osobní a lehké užitkové automobily.



1 EMISE VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

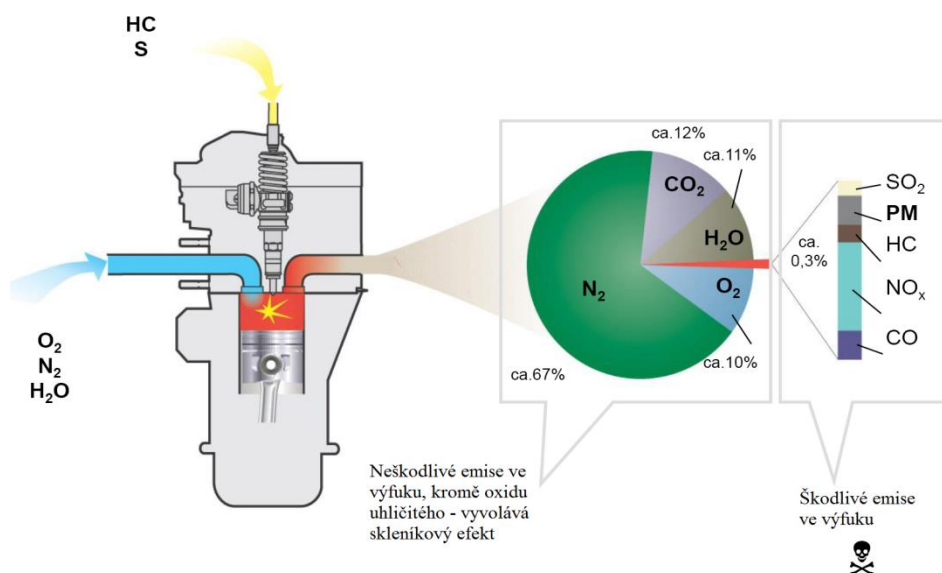
V minulosti byl ve vývoji spalovacího motoru kladen důraz zejména na provozní vlastnosti, spolehlivost, odstraňování nadměrného hluku, snižování kouřivosti vznětových motorů, až po dnešní ekologické normy.

Díky stále většímu počtu vozidel na silnicích jsou výfukové plyny u spalovacích motorů provozně sledovanou veličinou. Z tohoto důvodu byly zavedeny ekologické daně a čím dál tím přísnější ekologické normy. [1, 3, 5]

1.1 SLOŽENÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Všechny produkty spalování spalovacího motoru nazýváme výfukové plyny. Ve výfukových plynech se vyskytuje několik desítek až stovek látek, u nichž byly škodlivé účinky na okolí prokázány, nebo se předpokládají.

Na obr. 1 jsou zobrazeny pouze základní složky výfukových plynů. [1, 5]



Obr. 1 Složení výfukových plynů [1]

1.1.1 DUSÍK - N_2

Dusík N_2 je nehořlavý, bezbarvý, nejedovatý plyn bez zápachu. Pochází z nasávaného vzduchu a samozřejmě není škodlivý. Převážná část dusíku se po skončení spalovacího procesu vrací ve výfukových plynech zpět do ovzduší. Malá část reaguje s kyslíkem a vznikají oxidy dusíku NO_x . [2, 5]

1.1.2 OXID UHLIČITÝ – CO_2

Oxid uhličitý CO_2 vzniká jako výsledek dokonalé oxidace uhlíku C obsaženého v palivu s kyslíkem O_2 obsaženém v nasávaném vzduchu. Měřená hodnota oxidu CO_2 ve výfukovém potrubí ukazuje kvalitu spalování, ale i na těsnost výfukového potrubí.

Je to bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu, málo reaktivní a velmi stabilní, není jedovatý, ostatně ho vydechují lidé i zvířata. Podílí se na vzniku skleníkového efektu. Spalování motorů



produkuje přibližně 10% z celkového množství emisí, které lidstvo vyrobí. Kromě některých států USA není množství tohoto plynu ve výfukových plynech regulováno. [2, 4, 5]

1.1.3 VODA – H₂O

Voda H₂O se vyskytuje ve výfukových plynech ve formě vodní páry. V chladných dnech je vodu H₂O možné vidět, jako bílý kouř vycházející z výfuku, nebo jako z kondenzovanou kapalinu, kapající z výfukového systému. [2]

1.1.4 KYSLÍK – O₂

Kyslík O₂ je bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu. Kyslík O₂ je nezbytný pro proces spalování. [2]

1.1.5 OXIDY DUSÍKU – NO_x

Oxidy dusíku NO_x vznikají ve spalovacím prostoru z dusíku N₂ a kyslíku O₂, při vysokých teplotách a tlacích. Jejich tvorba je závislá na bohatosti směsi a koncentraci kyslíku. Při snižování spotřeby paliva se zvyšuje tvorba oxidů dusíku, protože účinnější spalování probíhá při vyšších teplotách a vede k tvorbě NO_x. Výfukové plyny mají sice nižší obsah CO₂, ale nadměrnou produkci NO_x. Snižování oxidů dusíku NO_x, se provádí pomocí systému recirkulace výfukových plynů, nebo Selektivní Katalytické Redukce výfukových plynů. [1, 2, 4, 5]

1.1.6 OXID UHELNATÝ – CO

Oxid uhelnatý CO vzniká nedokonalým spalováním bohaté směsi, při nedostatku kyslíku O₂. Vznětový motor neprodukuje tolik oxidu uhelnatého CO, protože pracuje s přebytkem kyslíku.

Jedná se o velmi jedovatý, bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu, drží se u země. Je nebezpečný zejména v uzavřených prostorách a v montážních jámách. Váže se na červené krvinky, vytlačuje kyslík a zabraňuje dopravě kyslíku do ostatních částí těla. [1, 2, 5]

1.1.7 PEVNÉ ČÁSTICE – PM

Pevné částice PM vznikají u vznětových motorů při plném zatížení motoru. Zahrnují částice pevné nebo kapalné, které setrvávají určitou dobu v ovzduší. Jedná se převážně o saze, karbon, popel, zbytky nespáleného motorového oleje a paliva. [2, 5]

1.1.8 NESPÁLENÉ UHLOVODÍKY – HC

Nespálené uhlovodíky vznikají u zážehových motorů za velmi nepříznivých oxidačních podmínek nedokonalého spalování bohaté směsi nebo nízké teploty hoření. Spolu s oxidy dusíku se podílejí na tvorbě smogu a přízemního ozonu. [2, 5]

1.1.9 OXID SIŘIČITÝ – SO₂

Oxid siřičitý SO₂ vzniká slučováním síry S, obsažené v palivu a O₂, obsažené v nasávaném vzduchu. V přírodě škodí ve formě „kyselých dešťů“. [5]

1.1.10 OLOVO – Pb

Olovo patřilo do výfukových plynů v minulosti. Bylo obsaženo v palivu za účelem mazání ventilů, a pro zvýšení antidekonační odolnosti. V dnešní době jsou jeho mazací a antidekonační schopnosti nahrazeny aditivy. [2, 5]

1.2 EMISNÍ LIMITY

V průběhu let hustota provozu výrazně vzrostla. Tím pádem vzrostla i produkce škodlivých plynů, zejména v městských oblastech, kde byla hustota provozu nejvyšší. Z tohoto důvodu bylo nezbytné zavést emisní limity výfukových plynů z motorových vozidel. Tyto limity se týkají nově vyrobených vozidel v roce, ve kterém daná emisní norma platí.

První emisní limity byly zavedeny koncem 60. let 20. století v USA, ve státě Kalifornie. Po Kalifornii zavedly emisní limity ostatní státy USA, Japonsko a Evropa. V Evropě byly zavedeny první emisní normy EHK. Poté byly zavedeny normy EURO. Pro stroje nepohybující se po komunikacích, jako například stavební stroje, traktory, stacionární motory, atd. byly zavedeny emisní normy STAGE. [1, 6]

1.2.1 EMISNÍ LIMITY EHK

V Evropě byly poprvé stanoveny limity pro emise výfukových plynů ustanovením předpisu EHK 15/00 v roce 1971. Tyto hodnoty jsou zobrazeny v tab. 1, které se postupně snižovaly, až do zavedení normy EHK 15/04 v roce 1982. Avšak byly pro jednotlivé členské státy jen dobrovolné, jednotlivé státy je respektovaly na základě vlastní legislativy a potřeby.

Od roku 1992 bylo zavedeno povinné montování katalyzátorů do nově vyrobených vozidel a norma EHK přešla v povinnou normu EURO pro všechny členské státy. [1, 7, 8]

Tab. 1 Evropské limity EHK [7]

EVROPSKÉ LIMITY EHK									
PŘEDPIS	Platí od	limity [g/km]				limity [%]			
		CO	HC	NO _x	HC +NO _x	CO	HC	NO _x	HC+NO _x
EHK 15/00	1971	12,20	0,85	-	-	67	78	-	-
EHK 15/01	1975	26,00	1,90	-	-	54	67	-	-
EHK 15/02	1976	26,00	1,90	2,90	-	54	67	-	-
EHK 15/03	1979	21,50	1,75	2,50	-	44	59	100	-
EHK15/04	1982	16,50	-	-	5,06	34	-	88	-



1.2.2 EMISNÍ LIMITY EURO

Emisní limity EURO jsou povinné pro všechny členské státy. Dělí se na **emisní předpisy pro osobní a lehká užitková vozidla** (značené arabskými číslicemi 1 - 6) uvedené v tab. 2 a na **emisní předpisy pro těžká nákladní vozidla a autobusy** (značené římskými číslicemi I - VI) uvedené v tab. 2. [1]

EMISNÍ PŘEDPISY PRO OSOBNÍ A LEHKÁ UŽITKOVÁ VOZIDLA

Tab. 2 Evropské emisní limity pro osobní vozidla [1]

EVROPSKÉ EMISNÍ LIMITY EURO pro osobní vozidla						
PŘEDPIS	Platnost od	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	Pevné částice
		[g/km]				
Vznětové motory						
EURO 1	7/1992	2,72	-	0,97	-	0,14
EURO 2	1/1996	1	-	0,7	-	0,08
EURO 3	1/2000	0,64	-	0,56	0,5	0,05
EURO 4	1/2005	0,5	-	0,3	0,25	0,025
EURO 5	1/2011	0,5	-	0,23	0,18	0,005
EURO 6	9/2014	0,5	-	0,17	0,08	0,005
Zážehové motory						
EURO 1	7/1992	2,72	-	0,97	-	-
EURO 2	1/1996	2,2	-	0,5	-	-
EURO 3	1/2000	2,3	0,2	-	0,15	-
EURO 4	1/2005	1	0,1	-	0,08	-
EURO 5	1/2011	1	0,1	-	0,06	0,005
EURO 6	9/2014	1	0,1	-	0,06	0,005

EMISNÍ PŘEDPISY PRO TĚŽKÁ NÁKLADNÍ VOZIDLA A AUTOBUSY

Tab. 3 Evropské emisní limity pro nákladní vozidla a autobusy [1]

EVROPSKÉ EMISNÍ LIMITY nákladní vozidla a autobusy						
PŘEDPIS	Platnost od	CO	HC	NO _x	Pevné částice	Kouřivost
		[g/km]				
EURO I	1992 < 85kW	4,5	1,1	8	0,612	-
	1992 > 85kW	4,5	1,1	8	0,36	-
EURO II	10/1996	4	1,1	7	0,25	-
EURO III	10/2000	2,1	0,66	5	0,1	0,8
EURO IV	10/2005	1,5	0,46	3,5	0,02	0,5
EURO V	10/2008	1,5	0,46	2	0,02	0,5
EEV		1,5	0,25	2	0,02	0,15
EURO VI	1/2013	1,5	0,13	0,4	0,01	-

1.2.3 EMISNÍ LIMITY STAGE

Emisní limity známé jako STAGE jsou zpracovány pro mimo silniční vozidla (značené římskými číslicemi I - V). Pod pojmem mimo silniční vozidla se rozumí traktory, stavební technika, lokomotivy, stacionární motory ... atd. Emisní limity STAGE byly zpracovány a rozděleny podle výkonu P [kW] do několika emisních tříd. Postupem času byly emisní limity zpřísnovány, což můžeme vidět v tab. 4, tab. 5, tab. 6, tab. 7. [9]

Tab. 4 Emisní limity Stage I a Stage II [9]

EMISNÍ LIMITY STAGE I, STAGE II					
Výkon P	Platnost od	CO	HC	NO _x	PM
[kW]		[g/kWh]			
Stage I					
130 ≤ P ≤ 560	1/1999	5.0	1.3	9.2	0.54
75 ≤ P < 130	1/1999	5.0	1.3	9.2	0.70
37 ≤ P < 75	4/1999	6.5	1.3	9.2	0.85
Stage II					
130 ≤ P ≤ 560	1/2002	3.5	1.0	6.0	0.2
75 ≤ P < 130	1/2003	5.0	1.0	6.0	0.3
37 ≤ P < 75	1/2004	5.0	1.3	7.0	0.4
18 ≤ P < 37	1/2001	5.5	1.5	8.0	0.8

Tab. 5 Emisní limity mimo silničních vozidel [9]

EMISNÍ LIMITY STAGE III						
Výkon P	Platnost od	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM
[kW]		[g/kWh]				
Stage III A						
130 ≤ P ≤ 560	1/2006	3.5	-	4.0	-	0.2
75 ≤ P < 130	1/2007	5.0	-	4.0	-	0.3
37 ≤ P < 75	1/2008	5.0	-	4.7	-	0.4
19 ≤ P < 37	1/2007	5.5	-	7.5	-	0.6
Stage III B						
130 ≤ P ≤ 560	1/2011	3.5	0.19	-	2.0	0.025
75 ≤ P < 130	1/2012	5.0	0.19	-	3.3	0.025
56 ≤ P < 75	1/2012	5.0	0.19	-	3.3	0.025
37 ≤ P < 56	1/2013	5.0	-	4.7	-	0.025



Tab. 6 Emisní limity Stage IV [9]

EMISNÍ LIMITY STAGE IV					
Výkon P	Platnost od	CO	HC	NO _x	PM
[kW]		[g/kWh]			
Stage IV					
130 ≤ P ≤ 560	1/2014	3.5	0.19	0.4	0.025
56 ≤ P < 130	10/2014	5.0	0.19	0.4	0.025

Tab. 7 Emisní limity Stage V [9]

EMISNÍ LIMITY STAGE V					
Výkon P	Platnost od	CO	HC	NO _x	PM
[kW]		[g/kWh]			
Stage V					
P < 8	2019	8.00	7.50 ^a		0.40 ^b
8 ≤ P < 19	2019	6.60	7.50 ^a		0.40
19 ≤ P < 37	2019	5.00	4.70 ^a		0.015
37 ≤ P < 56	2019	5.00	4.70 ^a		0.015
56 ≤ P < 130	2020	5.00	0.19	0.40	0.015
130 ≤ P ≤ 560	2019	3.50	0.19	0.40	0.015
P > 560	2019	3.50	0.19	3.50	0.045
^a HC+NO _x					
^b 0.60 pro motory s přímým vstřikováním, vzduchem chlazené					

2 ZPŮSOBY SNIŽOVÁNÍ EMISÍ VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

Snižování emisních hodnot uvedených v předchozí kapitole pod hodnoty současných norem se u většiny výrobců provádí pomocí aktivního a pasivního způsobu snižování emisí.

Aktivním způsobem snižování emisí se rozumí úprava hoření směsi, tak aby spalovací motor produkoval co neméně oxidů dusíku NO_x . Více informací o tomto systému je v kapitole EGR.

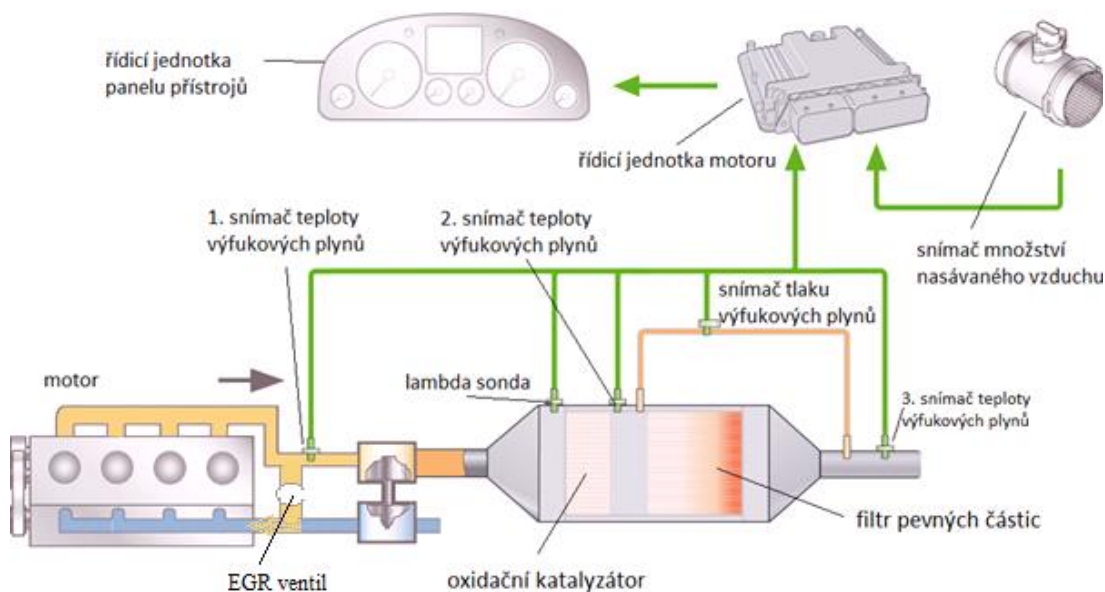
Pasivním způsobem snižování emisí se rozumí dodatečná úprava výfukových plynů ve výfukovém potrubí, více informací o tomto systému je v kapitole SCR – Selektivní Katalytická Redukce.

Oba způsoby se snaží dosáhnout stejného výsledku, a to co nejnižší produkce oxidů dusíku NO_x a ostatních škodlivin ve výfukových plynech. [10]

2.1 EGR / AGR

U systému úpravy výfukových plynů, pomocí recirkulace výfukových plynů a filtru pevných částic, je motor nastaven tak, aby produkoval co nejméně oxidů dusíku NO_x , v závislosti na produkci nespálených uhlovodíků HC.

Systém EGR se skládá ze zpětného vedení výfukových plynů EGR, oxidačního katalyzátoru a filtru pevných částic. Na obr. 2 jsou zobrazeny výše uvedené části systému EGR a šipkami je znázorněn tok informací snímačů. [10, 12]



Obr. 2 EGR + filtr pevných částic [12]

EGR / AGR

EGR (Exhaust Gas Recirculation), nebo také z německého názvu AGR (Abgasrückführung) je systém recirkulace výfukových plynů, a je používán u vznětových motorů, ke snížení oxidů dusíku NO_x . Na obr. 2 je znázorněn EGR ventil, který přepouští část výfukových plynů zpět



do sání motoru. Přimícháváním výfukových plynů do směsi paliva a kyslíku, se sníží obsah kyslíku ve spalovacím prostoru, tím se sníží teplota zapálení směsi a motor produkuje méně oxidů dusíku NO_x . Nevýhodou tohoto systému je zanášení sání, motoru a snižování účinnosti motoru. [11, 50]

DOC

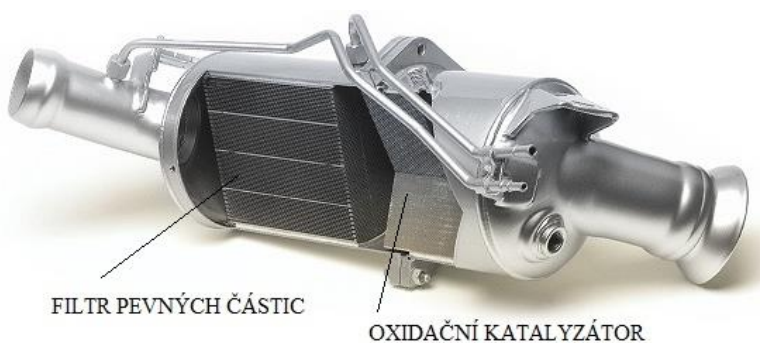
DOC (Diesel Oxidation Catalyst) je oxidační katalyzátor, ve kterém oxiduje oxid uhelnatý CO spolu s nespálenými uhlovodíky, na oxid uhličitý CO_2 a vodní páru H_2O . Plášť oxidačního katalyzátoru je složen z nerezavějící oceli. Uvnitř je keramické těleso ve tvaru včelích plásky, napuštěné platinou a palladiem.

Oxidační katalyzátor zobrazený na obr. 2 je zařazen ve směru výfukových plynů, jako první před filtrem pevných částic a společně jsou v jednom těle. Výhoda této konstrukce je rychlý nárůst provozní teploty, protože oxidační katalyzátor slouží jako zdroj tepla. Oxidační katalyzátor při deceleraci, slouží jako zásobník tepla a ohřívá výfukové plyny. [12, 50]

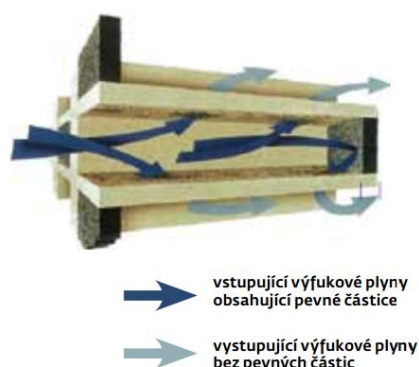
DPF / FAP

Filtr pevných částic DPF (Diesel Particulate Filter) / FAP (Filtre a Particule) je vyroben z karbidu křemíku s kanálky, které jsou uspořádány tak, aby nutily výfukové plyny procházet stěnami. Stěny z karbidu křemíku zachycují zbytky motorového oleje, popel, a částice uhlíku C. Časem zachycované částice nahromadí a je potřeba filtr zregenerovat.

Regenerace filtru probíhá při vysokém zatížení motoru, částičky sazí se spalují při teplotě $350\text{ }^\circ\text{C} - 500\text{ }^\circ\text{C}$ a mění se na oxid uhličitý CO_2 . Na základě snímače tlaku z rozdílu tlaků před a za filtrem pevných částic, řídicí jednotka vyhodnotí, že je DPF zanesený a zahájí regeneraci. Pokud není dosaženo „regenerační teploty“ spustí regeneraci vstříkáním paliva do „výfuku“ (vstříkání paliva do spalovacího prostoru, kdy píst vytlačí výfukové plyny). Tím se zvýší teplota výfukových plynů a regenerace probíhá při $550\text{ }^\circ\text{C}$ až $650\text{ }^\circ\text{C}$. Stejným způsobem se filtr zahřívá, dokud nedosáhne provozní teploty. Z tohoto důvodu dochází ke zvýšení spotřeby paliva, zejména pokud se vozidlo pohybuje na krátkých vzdálenostech a filtr se není schopen zahřát na provozní teplotu. [11, 12, 50]



Obr. 3 Filtr pevných částic [49]



Obr. 4 Mřížka DPF [50]

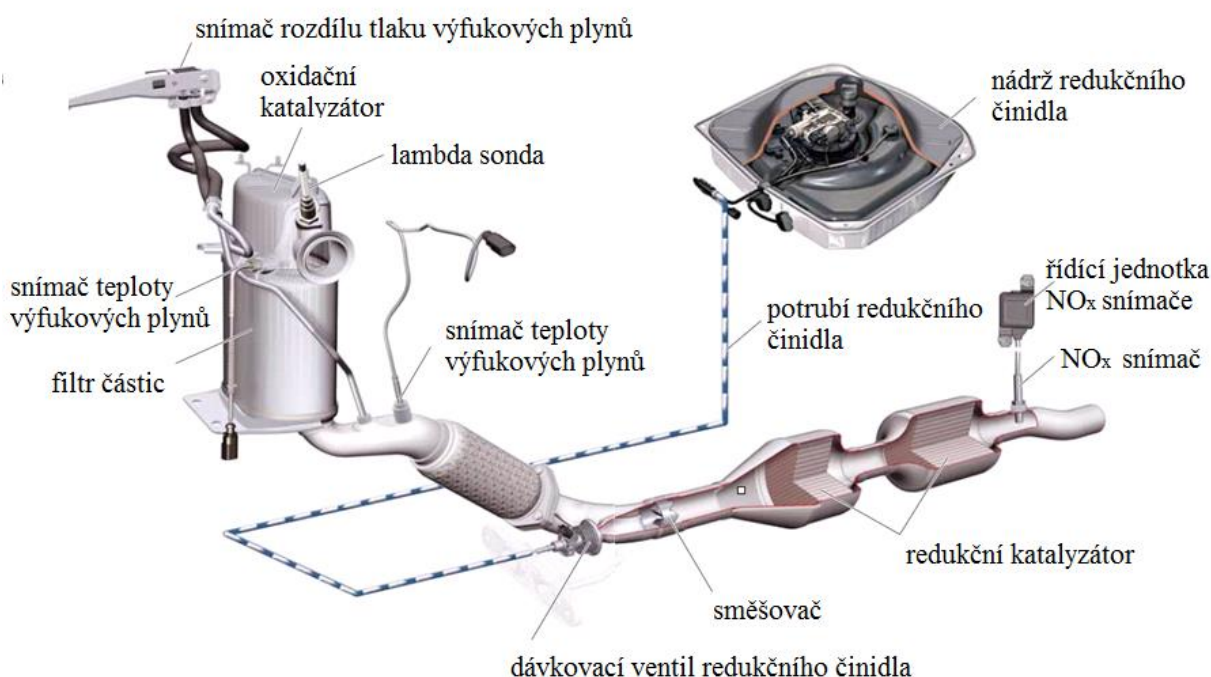
2.2 SCR - SELEKTIVNÍ KATALYTICKÁ REDUKCE

Technologie SCR je patentována od roku 1957 a vyvinuta pro stacionární provedení, ke snížení oxidů dusíku NO_x pomocí dusíkatých sloučenin. Poprvé byla použita v 70. letech 20. století v Japonsku, pro snížení oxidů dusíku NO_x v tepelných elektrárnách. První mobilní systémy SCR pro snížení oxidů dusíku NO_x ve výfukových plynech, byly aplikovány pro lodní motory v letech 1989 – 1990. První komerční systém v automobilové dopravě byl představen v Japonsku v roce 2004 firmou Nissan Diesel, jednalo se o kamion Quon. [13, 14]

V dnešní době se snažíme docílit co nejnižší spotřeby paliva. Motor pracuje s nejnižší možnou dávkou, za vysokých teplot a tlaků. Ve výfukových plynech je zvýšena produkce oxidů dusíku NO_x , ale nízká produkce nespálených uhlovodíků HC. Oxidy dusíků NO_x se ve výfukovém potrubí upravují vstříkáváním močoviny, známé pod obchodním názvem **AdBlue**.

Tento systém se nazývá **selektivní katalytická redukce**, která se nyní používá u traktorů, nákladních automobilů, stavebních strojů ... atd. Ovšem v poslední době začíná pronikat i do lehkých užitkových a osobních automobilů. [10]

Na obr. 5 je zobrazeno uspořádání komponentů v systému selektivní katalytické redukce.



Obr. 5 Výfukový systém SCR [15]

AdBlue/DEF

K redukci oxidů dusíku NO_x ve výfukových plynech je zapotřebí redukční činidlo. Jako redukční činidlo přidávané do výfukových plynů je zapotřebí amoniak NH_3 . Přímé použití amoniaku NH_3 bylo zavrhnuto, především z hlediska bezpečnosti. Z tohoto důvodu bylo vyvinuto redukční činidlo známé v Evropě pod obchodním názvem AdBlue a v USA jako DEF (Diesel Exhaust Fluid).

Z Adblue/DEF se ve výfukových plynech získává potřebný amoniak NH_3 . Jedná se o sloučení syntetické močoviny a demineralizované vody v poměru: 32,5 % močoviny a 67,50 % vody.

AdBlue je roztok močoviny, má chemické složení $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, je specifikovaný podle DIN70700. Jedná se o nehořlavou, dobře rozpustnou kapalinu ve vodě. Nad $30\text{ }^\circ\text{C}$ začíná hydrolyza. Hydrolyza je děj, při kterém se močovina štěpí na amoniak NH_3 a oxid uhličitý CO_2 . Pod $-11,5\text{ }^\circ\text{C}$ močovina krystalizuje, z tohoto důvodu je nutné konstrukční řešení vyhřívání nádrže a dopravního potrubí.

Na skladovací nádrž redukčního činidla AdBlue/DEF jsou kladeny nároky, které se zabývají odolností proti korozi. Močovinný roztok je korozivní a reaguje s nelegovanou nebo pozinkovanou ocelí a barevnými kovy. Z tohoto důvodu je nutné, aby byla skladovací nádrž vyrobena z vysoce legovaných ocelí, nebo odolných plastů. Pro skladování močoviny se v praxi využívá kanystrů, IBC kontejnerů, čerpacích nádrží a čerpacích pump. Na obr. 6 je zobrazen kanystr, který je dostupný o objemu 5, 10 a 18 litrů. Na obr. 7 je zobrazen IBC kontejner, který je o objemu 1 000 litrů. Na obr. 8 je zobrazena čerpací nádrž, která bývá v objemu o rozsahu 4 000 – 7 000 litrů. Na posledním obr. 9 je zobrazena čerpací pumpa, kterou je možné nalézt na čerpacích stanicích. [13, 17, 57]



Obr. 6 Kanystr [57] Obr. 7 ISB kontejner [57] Obr. 8 Čerpací nádrž [57] Obr. 9 Čerpací pumpa [57]

2.2.1 FUNKCE SCR

OXIDAČNÍ KATALYZÁTOR

Výfukové plyny proudí do oxidačního katalyzátoru, kde probíhá čištění výfukových plynů, dodatečnou oxidací (spalováním). Oxidace je děj, při kterém se sloučí zbytkový kyslík O_2 s nespálenými uhlovodíky HC a oxidu uhelnatý CO . Níže je děj popsán chemickými rovnicemi. [16]

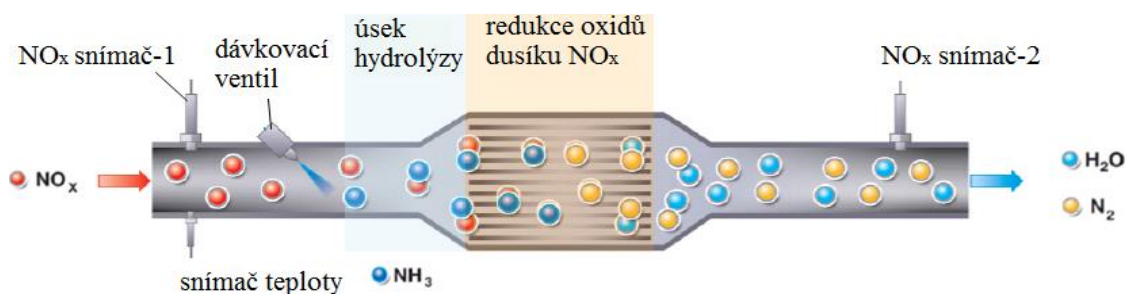


FILTR ČÁSTIC

Výfukové plyny proudí do filtru částic, který slouží k zachycování pevných částic PM obsažených ve výfukových plynech. Funkce filtru částic je více vysvětlena v kapitole EGR/AGR.

SYSTEM SCR

Výfukové plyny proudí výfukovým potrubím k systému selektivní katalytické redukce SCR, ve kterém jsou redukovány oxidy dusíku NO_x pomocí vstřikování redukčního činidla. Jednotlivé umístění komponentů a průběh dějů v systému SCR je zobrazeno na obr. 10.



Obr. 10 Funkce SCR katalyzátoru [15]

- Dávkovací ventil

Nejprve proudí výfukové plyny k dávkovacímu ventilu redukčního činidla AdBlue. Vstřikováním redukčního činidla AdBlue do horkých výfukových plynů získáme potřebný amoniak NH_3 , pomocí kterého se redukuje oxidy dusíků NO_x . Tento děj probíhá termolýzou a hydrolýzou.

- Termolýza

Pomocí **termolýzy** se zahřátím směs vody H_2O a močoviny $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ štěpí na amoniak NH_3 a kyselinu izokyanátovou HNCO .



- Hydrolýza

Pomocí **hydrolýzy** se kyselina izokyanátová HNCO , vzniklá termolýzou přemění hydrolýzou přidáním vody H_2O na amoniak NH_3 a oxid uhličitý CO_2 .



- Redukční katalyzátor

V redukčním katalyzátoru jsou oxidy dusíku NO_x přeměňovány na neškodnou vodu H_2O a dusík N_2 . Redukce je proces odnímání kyslíku. To znamená, že při procesu redukce odevzdávají oxidy dusíku NO_x molekuly kyslíku O_2 . V katalyzátoru reaguje oxid dusnatý $\text{NO} + \text{NO}_2$ s amoniakem NH_3 na dusík N_2 a vodu H_2O . [6, 15]



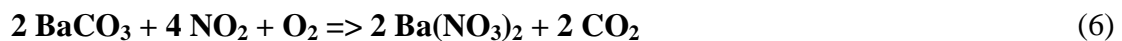


- Zásobníkový katalyzátor NO_x

Zásobníkový katalyzátor ukládá oxidy dusíku NO_x a ve správný okamžik je redukuje. Oxidy dusíku NO_x jsou redukovány ve třech fázích (1. Plnění, 2. Ukládání, 3. Přeměna) na dusík N₂. Protože může být ukládán pouze oxid dusičitý NO₂ a žádný oxid dusnatý NO. Je zapotřebí řadit před zásobníkový katalyzátor oxidační katalyzátor.

1. Plnění:

Plnění probíhá při normálním provozu chudé směsi (Lambda >1). Reakcí s uhličitánem barnatým vzniká BaCO₃ a oxidem dusičitým NO₂ a kyslíkem O₂ vzniká dusičnan barnatý Ba(NO₃)₂ a oxid uhličitý CO₂.



2. Ukládání:

Ve fázi ukládání reaguje dusičnan barnatý Ba(NO₃)₂ s oxidem uhelnatým CO a vzniká uhličitán barnatý BaCO₃, oxid dusnatý NO a oxid uhličitý CO₂. S rostoucím množstvím uložených oxidu dusíku NO_x klesá schopnost ukládání.



Řídící jednotka pomocí snímače NO_x umístěného za zásobníkovým katalyzátorem rozezná naplnění katalyzátoru a zahájí přeměnu.

3. Přeměna:

Pomocí vrstvy rhodia Rh se přemění oxid dusnatý NO a oxid uhelnatý CO na dusík N₂ a oxid uhličitý CO₂.





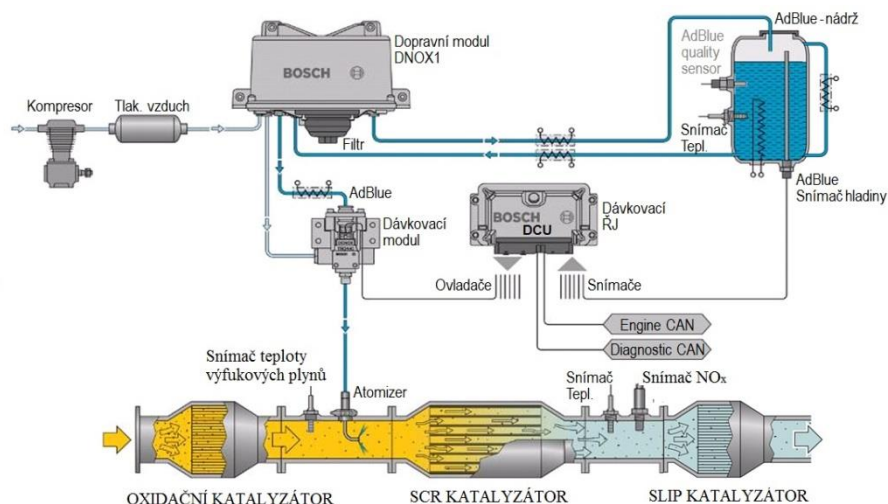
3 SYSTÉMY SELEKTIVNÍ KATALYTICKÉ REDUKCE - BOSCH

Někteří výrobci automobilů, autobusů a traktorů vyvíjejí vlastní systémy katalytické redukce výfukových plynů, ale pro většinu ostatních vyvíjí tento systém firmy zabývající se vstřikováním a přípravou směsi. Výrobou a vývojem systémů SCR se zabývá například firma Bosch, Delphi, Nett Technologies Inc, Cummins a další.

V kapitole 3.1 jsou zobrazeny a popsány systémy vyvinuté firmou Bosch. Technologie Bosch byly vybrány z důvodu rozšířenosti dodávky těchto komponentů automobilovým výrobcům na evropském trhu.

3.1 Bosch DENOXTRONIC 1

V roce 2004 se dostala do výroby první generace systému SCR denoxtronic od firmy Bosch. Ve spojení s katalyzátorem SCR, došlo ke snížení spotřeby paliva a emisí oxidu uhličitého CO₂ asi o 5 %. Produkce oxidů dusíku NO_x se podařila snížit přibližně o 95 %. První generace systému denoxtronic, byla vyvinuta pro použití u nákladních automobilů, protože bylo potřeba splnit emisní normu EURO IV a EURO V u nákladních automobilů, která měla přijít v platnost v roce 2005. U osobních automobilů do té doby nebyl problém plnit emisní limity pomocí dosud zavedených systémů. [24]



Obr. 11 Bosch denoxtronic [25]

Na obr. 11 je zobrazeno funkční schéma systému denoxtronic. Řídící jednotka DCU (Dosing Control Unit) řídí správné množství vstřikování redukčního činidla AdBlue/DEF, na základě informací získaných ze snímačů systému například teploty výfukových plynů, množství oxidů dusíku NO_x, a také na základě informací z řízení motoru například otáčky motoru, teploty motoru, zatížení motoru. AdBlue / DEF je uloženo v nádrži znázorněné v pravém horním rohu obr. 11.



NÁDRŽ

Na nádrž redukčního činidla AdBlue/DEF jsou kladeny nároky z hlediska odolnosti proti korozi. Močovinový roztok je korozivní a reaguje s nelogovanou nebo pozinkovanou ocelí a barevnými kovy. Z tohoto důvodu je nutné, aby byla nádrž vyrobena z vysoce legované oceli, nebo z odolných druhů plastů.

V nádrži je umístěn snímač kvality a teploty močoviny. Snímač teploty je důležitý z hlediska ochrany močoviny před zamrznutím, jelikož krystalizuje pod $-11,5\text{ °C}$. Z tohoto důvodu je v nádrži umístěno vyhřívání, které je řešeno odporovou spirálou. Pokud se teplota močoviny pohybuje okolo $-11,5\text{ °C}$, nebo níže. Řídící jednotka sepne topnou spirálu a AdBlue je ohřívána. Pokud se AdBlue nepodaří ohřát, dávkování se přeruší a je omezen výkon motoru.

Z nádrže vede palivové potrubí do dopravního modulu dnox 1, kterým se přivádí AdBlue. Palivové potrubí musí být také vyhříváno proti případnému zamrznutí. Z dopravního AdBue vede zpětné palivové potrubí zpět do nádrže, kterým je vrácena nespoteřebovaná močovina. [21, 23]

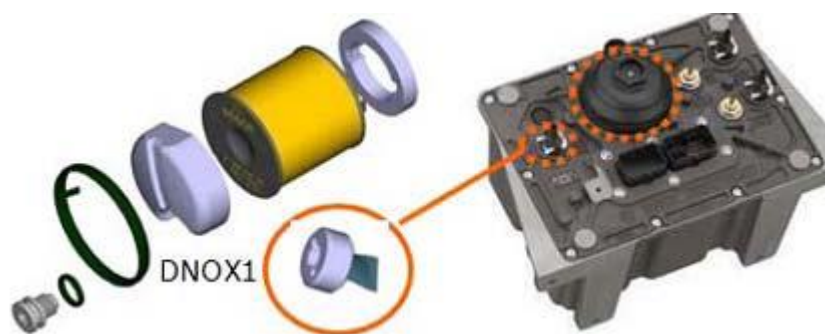
DOPRAVNÍ MODUL DNOX 1

V dopravním modulu, který je znázorněn na obr. 12, je uspořádáno membránové čerpadlo, tlakový regulační ventil, odvzdušňovací ventil, filtr a tělo modulu jsou dopravní linky vybavené vyhříváním pro močovinu. Na levé straně obr. 12, je znázorněno uspořádání filtru uvnitř dopravního modulu.

Pokud teplota výfukových plynů přesáhne 200 °C , řídicí jednotka uvede dávkovací modul do provozu. Nejdříve se otevře odvzdušňovací ventil, protože by se membránové čerpadlo nemuselo pod protitlakem rozběhnout. Membránové čerpadlo se rozběhne a udržuje tlak v systému v závislosti na potřebné injekční dávce.

V závislosti na otáčkách, teploty a zatížení je dané množství močoviny dopraveno do dávkovacího modulu.

Při vypnutí nebo odstavení motoru musí následovat doběh systému. Během doběhu, který trvá 5 minut, je otevřen odvzdušňovací ventil a močovina volně vyteče za zařízení. Tento doběh je nutný proti zamrznutí systému v teplotách pod bodem mrazu. [21, 23]



Obr. 12 Dopravní modul DNOX 1 [21]



DÁVKOVÁNÍ

Z dopravního modulu do výfukového systému je využito spojení dávkovacího modulu a tlakového atomizéru. Tyto dva komponenty jsou zobrazeny na obr. 13. Atomizace je děj, při kterém je kapalina rozprášena na aerosol. U tohoto systému je použitý tlakový atomizér, který pomocí stlačeného vzduchu smíchaného s močovinou v dávkovacím modulu rozprašuje směs malých kapalných částic ve výfukových plynech. [22]



Obr. 13 Dávkovací modul a atomizér[21]

OXIDAČNÍ KATALYZÁTOR

Funkce a průběhy dějů v oxidačním katalyzátoru jsou vysvětleny v kapitole Funkce SCR v části Oxidační katalyzátor.

SCR KATALYZÁTOR

Funkce a průběhy dějů v SCR katalyzátoru jsou vysvětleny v kapitole Funkce SCR v části Systém SCR.

SLIP KATALYZÁTOR

Slip katalyzátor nazývaný také jako seperkat, je ve výfukovém systému zařazen na konci, protože je využíván k eliminaci přebytků amoniaku NH_3 . Vzhledem k možnému nadměrnému dávkování močoviny by se nestihl všechny amoniak NH_3 přeměnit, a mohl by unikat s výfukovými plyny do ovzduší, byl zařazen ještě za SCR slip katalyzátor.

OMEZENÍ FUNKCE

Funkce systému denoxtronic, je omezena, pokud teplota výfukových plynů přesáhne $500\text{ }^\circ\text{C}$ nebo při deceleraci (brzdění motorem).

K omezení výkonu dojde pokud:

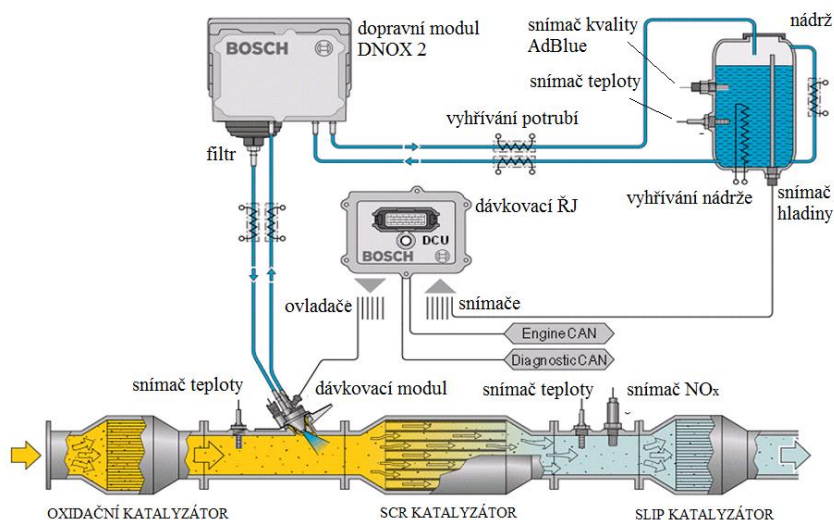
- je okolní teplota nižší než $-10\text{ }^\circ\text{C}$ a teplota výfukových plynů nižší než $200\text{ }^\circ\text{C}$ je systém denoxtronic odpojen.
- je naměřeno zvýšené množství oxidů dusíku NO_x ve výfukových plynech čidlem NO_x .

U těžkých nákladních automobilů a autobusů je točivý moment omezen na 60 % výkonu. U lehkých užitkových vozidel je omezen točivý moment na 75 % výkonu.



3.2 Bosch DENOXTRONIC 2.1

Druhá generace denoxtronic byla uvedena na trh v roce 2006. Je schopna dodávat močovinu do výfukového systému, bez stlačeného vzduchu. Není potřeba kompresor a zásobník stlačeného vzduchu. Jak je znázorněno na obr. 14, systém obsahuje méně částí a je jednodušší. [24]



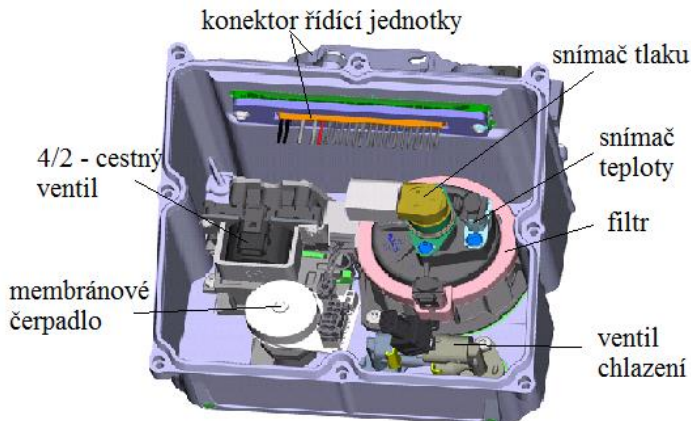
Obr. 14 Bosch denoxtronic 2.1 [25]

NÁDRŽ

Na nádrž a palivové potrubí jsou kladeny stejné nároky jako v systému denoxtronic 1, protože AdBlue/DEF redukční činidlo je dodáváno stále ve stejném složení a kvalitě. Více je o nádrži rozebráno v předchozí kapitole v části Nádrž.

DOPRAVNÍ MODUL DNOX 2.1

Dopravní modul zobrazen na obr. 15 se skládá z čerpadla, dávkovacího modulu a skříně dávkovacího modulu. Čerpadlo může být excentrické, nebo membránové. Dále je v modulu denox 2.1 uspořádán tlakový regulační ventil, ventil chlazení, odvzdušňovací ventil, 4/2 cestný ventil, filtr a v těle modulu jsou dopravní linky vybavené vyhříváním pro močovinu. Pracovní tlak druhé generace je 5 barů.



Obr. 15 Dopravní modul DNOX 2.1 [26]

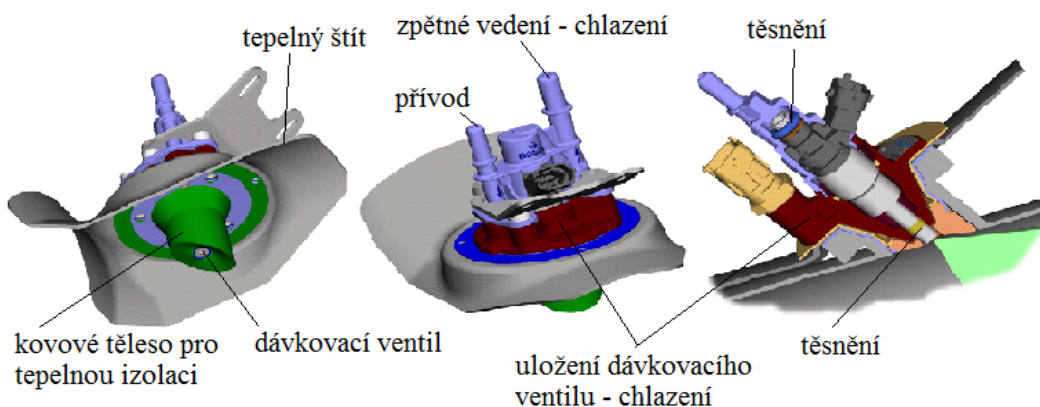


Dávkovací modul znázorněný na obr. 16, je spojen s výfukovým potrubím. Musí být zajištěno jeho chlazení. Od toho slouží v dopravním modulu elektromagnetický ventil chlazení. Teplota dávkovacího modulu nesmí přesáhnout 120 °C. V případě, že se teplota blíží k uvedené hodnotě, řídicí jednotka otevře elektromagnetický ventil chlazení. Chlazení se provádí kolováním močoviny do dávkovacího modulu, dokud neklesne teplota pod požadovanou hodnotu. Poté řídicí jednotka elektromagnetický ventil zavře a v případě potřeby děj znovu opakuje.

Při vypnutí, nebo odstavení motoru musí následovat doběh systému, který během 90s odčerpá močovinu ze systému. Odčerpání močoviny ze systému se provádí pomocí elektromagnetického ventilu a 4/2 cestného ventilu. Tento doběh je nutný, jako opatření proti zamrznutí močoviny v systému v teplotách pod bodem mrazu. [26]

DÁVKOVÁNÍ

Konstrukce dávkovacího modulu je zobrazena na obr. 16. Dávkovací modul je složen z těla vstříkovače, znázorněného v pravém obrázku. Uložení dávkovacího ventilu slouží jako chlazení vstříkovače pomocí močoviny. V prostředním obrázku je zobrazen přívod močoviny a vývod na zpětné vedení močoviny - chlazení, mezi přívodem a vývodem je černý konektor na připojení dávkovací řídicí jednotky. Dávkovací ventil a kovové těleso pro tepelnou izolaci jsou zobrazeny v levém obrázku. V praxi jsou umístěny uvnitř výfukového potrubí. Ve stejné části obrázku je tepelný štít, který je umístěn v praxi nad výfukovým potrubím a chrání horní část dávkovacího modulu, kabeláž od řídicí jednotky, přívodní a zpětné potrubí před žářem sálajícím z výfukového potrubí.



Obr. 16 Dávkovací modul [26]

K dávkovacímu ventilu je potrubím přivedena močovina o tlaku 5 barů. Řídicí jednotka SCR vyšle signál do dávkovacího modulu. Na základě známých údajů o množství oxidů dusíku NO_x , teplotě výfukových plynů, teplotě motoru, zatížení motoru, otáčkách motoru a dalších. Řídicí jednotka otevře dávkovací modul a řídí dávku močoviny do výfukových plynů dobou otevření dávkovacího modulu.

OXIDAČNÍ KATALYZÁTOR

Funkce a průběhy dějů v oxidačním katalyzátoru jsou vysvětleny v kapitole Funkce SCR, v části Oxidační katalyzátor.



SCR KATALYZÁTOR

Funkce a průběhy dějů v SCR katalyzátoru jsou vysvětleny v kapitole Funkce SCR, v části Systém SCR.

SLIP KATALYZÁTOR

Funkce a průběhy dějů ve Slip katalyzátoru jsou vysvětleny v kapitole Bosch denoxtronic 1, v části Slip katalyzátor.

OMEZENÍ FUNKCE

Funkce systému denoxtronic, je omezena, pokud teplota výfukových plynů přesáhne 500 °C nebo při deceleraci (brzdění motorem).

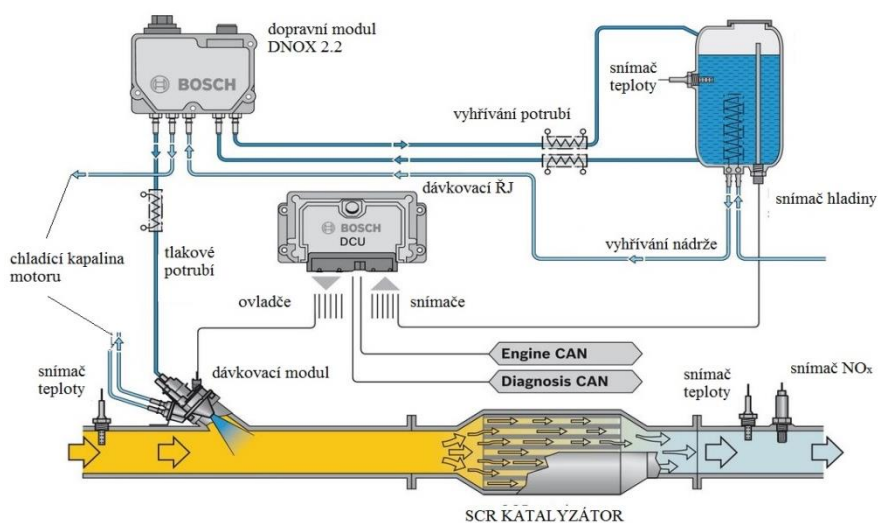
K omezení výkonu dojde pokud:

- je okolní teplota nižší než -10 °C a teplota výfukových plynů nižší než 200 °C je systém denoxtronic odpojen
- klesne množství močoviny v nádrži, pod výrobcem stanovenou hranici (obvykle přibližně 5l) systém vstřikování je odpojen a zbylá močovina se používá pro chlazení dávkovacího modulu
- je naměřeno zvýšené množství oxidů dusíku NO_x ve výfukových plynech čidlem NO_x

U těžkých nákladních automobilů a autobusů je točivý moment omezen na 60 % výkonu. U lehkých užitkových vozidel je omezen točivý moment na 75 % výkonu.

3.3 BOSCH DENOXTRONIC 2.2

Třetí generace denoxtronic 2.2 byla uvedena na trh v roce 2009. Tento systém plní emisní normy EURO V/VI pro těžká nákladní vozidla a STAGE 4 pro mimo silniční vozidla. Systém denoxtronic 2.2 je znázorněn na obr. 17 a od předchozího systému denoxtronic 2.1 znázorněného na obr. 9 se moc neliší. Princip funkce zůstává stejný, přičemž je zde přivedena chladicí kapalina motoru na ohřev a chlazení. [27]



Obr. 17 Bosch denoxtronic 2.2 [27]



NÁDRŽ

Na nádrž jsou kladeny stejné nároky, jako na nádrž v denoxtronic 1, protože AdBlue/ DEF redukční činidlo je dodáváno stále ve stejném složení a kvalitě. Více je o nádrži rozebráno v kapitole Bosch denoxtronic 1, v části Nádrž.

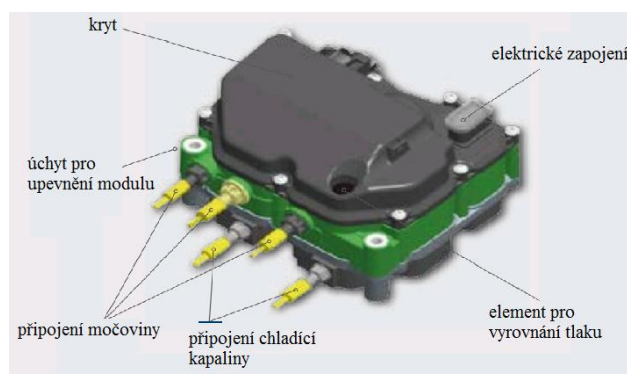
Nádrž systému denoxtronic 2.2 se liší zakomponováním tepelného výměníku dovnitř nádrže. Do tepelného výměníku uvnitř nádrže je přivedena chladicí kapalina motoru. Po startu je nádrž vyhřívána topnou spirálou, jako u předchozích systémů. Ovšem po zahřátí motoru je zahřívána chladicí kapalinou motoru. [27]

DOPRAVNÍ MODUL DENOX 2.2

Dopravní modul zobrazen na obr. 18 je složen z membránového čerpadla, dávkovacího modulu a skříně dopravního modulu. Dále je v modulu denox 2.2 uspořádáno čerpadlo, tlakový regulační ventil, ventil ohřevu nádrže, odvzdušňovací ventil, filtr a v těle modulu jsou dopravní linky vybavené vyhříváním pro močovinu. Pracovní tlak druhé generace je 9 bar.

Dávkovací řídicí jednotka hlídá teplotu močoviny v nádrži, pomocí snímače teploty v nádrži. Pokud teplota močoviny poklesne pod stanovenou hodnotu, řídicí jednotka sepne elektromagnetický ventil a přivede chladicí kapalinu motoru do výměníku nádrže. Chladicí kapalina motoru nesmí být přivedena do výměníku motoru trvale. Chladicí kapalina zahřátého motoru má okolo 90 °C. Močovina v nádrži se smí zahřát na maximální hodnotu 30 °C. U močoviny začíná docházet při teplotě nad 30 °C k hydrolyze - začíná štěpení na amoniak NH_3 a oxid uhličitý CO_2 .

Při odstavení, nebo vypnutí motoru následuje stejný průběh odsátí močoviny z potrubí, jako u předchozího modulu dnox 2.1 [27]



Obr. 18 Dopravní modul DNOX 2.2 [26]

DÁVKOVÁNÍ

Konstrukce dávkovacího modulu je stejná jako v druhé generaci denoxtronic 2.1, kromě chlazení. K chlazení je přivedena chladicí kapalina motoru, na rozdíl od druhé generace kde se k chlazení využívá močovina. Chladicí kapalina motoru může trvale kolovat chlazením dávkovacího modulu, protože chladicí kapalina zahřátého motoru má okolo 90 °C a maximální teplota dávkovacího modulu je 120 °C. Dávkovací modul může trvale pracovat o teplotě 90 °C.

K dávkovacímu modulu je přivedena močovina o tlaku 9 barů. Dávkování močoviny řídí řídicí jednotka a probíhá stejně jako v předchozím systému denoxtronic 2.1. U velkých



motorů je možná kombinace dvou dopravních modulů umístěných na výfukovém potrubí za sebou. [27]

OXIDAČNÍ KATALYZÁTOR

Funkce a průběhy dějů v oxidačním katalyzátoru jsou vysvětleny v kapitole Funkce SCR v části, Oxidační katalyzátor.

SCR KATALYZÁTOR

Funkce a průběhy dějů v SCR katalyzátoru jsou vysvětleny v kapitole Funkce SCR, v části Systém SCR.

SLIP KATALYZÁTOR

Funkce a průběhy dějů ve Slip katalyzátoru jsou vysvětleny v kapitole Bosch denoxtronic 1, v části Slip katalyzátor.

OMEZENÍ FUNKCE

Omezení funkce systému denoxtronic 2.2 a omezení výkonu motoru probíhá stejně jako v systému Bosch denoxtronic 1.

3.4 BOSCH DENOXTRONIC 3.1 - 5

Systém denoxtronic 3.1 byl představen v polovině roku 2008, s jehož pomocí budou plnit osobní automobily o výkonu 56 – 110 kW emisní limity Euro 6.

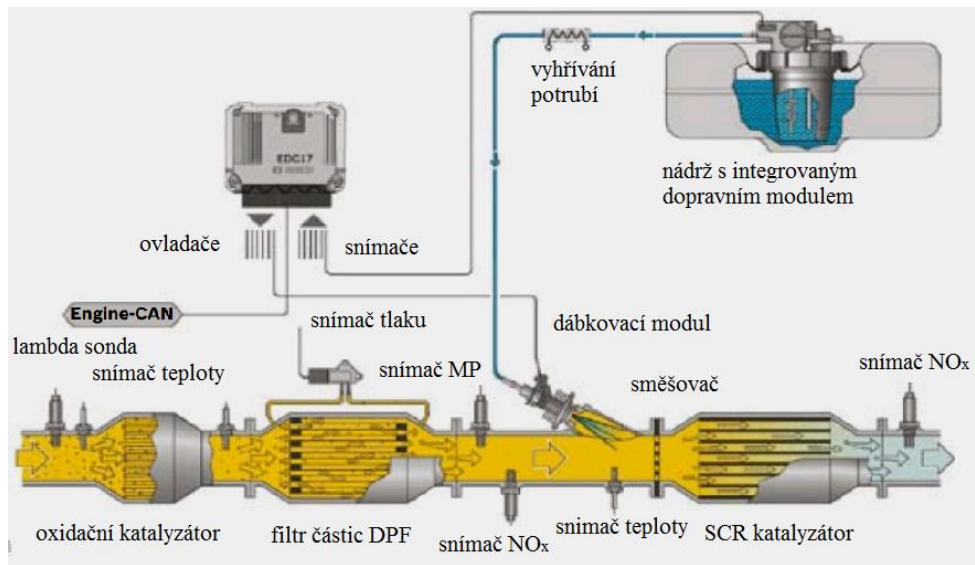
Pomocí moderního vstřikování Common Rail, bylo dosaženo snížení oxidů dusíku NO_x o 96 % oproti dieslovým motorům vyrobeným v roce 1990. Systém denoxtronic 3.1 tyto emise oxidu dusíků NO_x dokáže snížit o dalších 95 % pomocí vstřikování močoviny do proudu výfukových plynů.

Na obr. 19 je zobrazen systém denoxtronic 3.1. V nádrži je integrované dopravní čerpadlo, které dodává do systému močovinu o tlaku 5 barů. Elektronické řízení systému denoxtronic může být integrováno do řídicí jednotky motoru ECU (Engine Control Unit), nebo alternativně do DCU (Dosing Control Unit). Řídicí jednotka vypočítá přesnou dávku močoviny na základě zpracovaných údajů ze snímačů uvedených na obr. 19, a na základě údajů z řídicí jednotky motoru: otáček, zatížení, teploty, atd. Dávkovací modul vstříkne močovinu do proudu výfukových plynů na základě signálu z řídicí jednotky.

Dávkovací modul je chlazen vzduchem. Musí být umístěn na místě, kde dobře proudí okolní vzduch. Pokud by nebylo zajištěno proudění okolního vzduchu okolo dávkovacího modulu, muselo by se v daném konstrukčním řešení zvolit nucené chlazení. Například chladicí kapalinou motoru nebo oběhem močoviny v systému, jako u předchozích systémů.

Průběh dějů v oxidačním katalyzátoru je rozebrán v kapitole Oxidační katalyzátor, průběh dějů ve filtru částic DPF je rozebrán v kapitole EGR a průběh dějů v SCR katalyzátoru je rozebrán v kapitole Systém SCR.

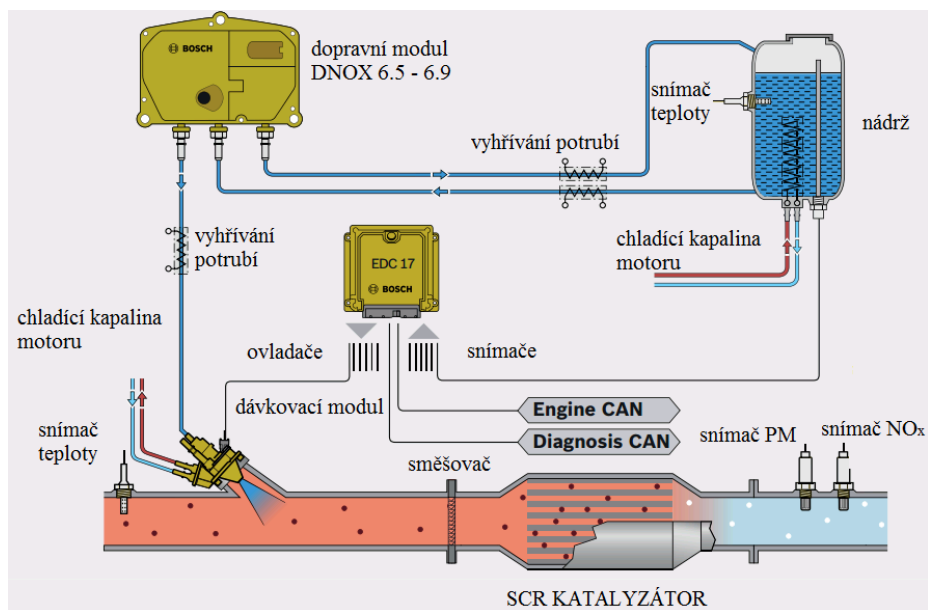
Systém denoxtronic 5 má stejnou konstrukci jako denoxtronic 3.1, který je zobrazen na obr. 19. Byl vyvinut zejména pro lehké užitkové automobily plnící normu Euro 6. Denoxtronic 5 se liší od denoxtronic 3.1 pouze v dodávaném tlaku čerpadlem do systému, který se pohybuje od 4,5 do 8,5 barů. Ostatní funkce systému jsou stejné se systémem denoxtronic 3.1 [26, 48]



Obr. 19 Bosch denoxtronic 3.1 [48]

3.5 BOSCH DENOXTRONIC 6.5 - 6.9

Poslední systémy pro traktory, mimo silniční vozidla, užitková a nákladní vozidla je systém od firmy Bosch denoxtronic 6.5 a denoxtronic 6.9 Tyto systémy byly zmenšeny v porovnání s předchozími o 40 %. Díky zmenšení systému se zmenšila celková hmotnost, prostorová náročnost a zlevnila se i výroba. Funkce systému denoxtronic 6.5 a denoxtronic 6.9 jsou stejné, liší se pouze v pracovním tlaku. Denoxtronic 6.5 pracuje s pracovním tlakem 5 barů a denoxtronic 6.9 s pracovním tlakem 9 barů. Na obr. 20 je znázorněno funkční schéma systému denoxtronic 6.5 – 6.9 [28, 29]



Obr. 20 Bosch denoxtronic 6.5 - 6.9 [28,29]



DÁVKOVÁNÍ

Funkce dávkovacího modulu nebyla změněna. Dávkovací modul funguje stejně jako u systému Bosch denoxtronic 6.5 – 6.9, a jeho funkce je popsána v kapitole Bosch denoxtronic 2.2, v části Dávkování.

OXIDAČNÍ KATALYZÁTOR

Oxidační katalyzátor je v tomto systému Bosch denoxtronic 6.5 – 6.9 zařazen stejně jako u předchozích systémů denoxtronic, ačkoli není zobrazen na obr. 20. Funkce a průběhy dějů v oxidačním katalyzátoru jsou vysvětleny v kapitole Funkce SCR v části Oxidační katalyzátor.

SCR KATALYZÁTOR

Funkce a průběhy dějů v SCR katalyzátoru jsou vysvětleny v kapitole Funkce SCR, v části Systém SCR.

SLIP KATALYZÁTOR

Slip katalyzátor je v tomto systému Bosch denoxtronic 6.5 – 6.9 zařazen stejně jako u předchozích systémů denoxtronic, ačkoli není zobrazen na obr. 20. Funkce a průběhy dějů ve Slip katalyzátoru jsou vysvětleny v kapitole Bosch denoxtronic 1, v části Slip katalyzátor.

OMEZENÍ FUNKCE

Omezení funkce systému denoxtronic 2.2 a omezení výkonu motoru probíhá stejně jako u předchozí druhé generace Bosch denoxtronic 1.



3.6 SROVNÁNÍ SYSTÉMŮ BOSCH DENOXTRONIC

V tab. 8 je zobrazeno srovnání důležitých parametrů týkajících se výše uvedených systémů selektivní katalytické redukce.

Tab. 8 Srovnání jednotlivých systémů Bosch

		Bosch DENOXTRONIC						
Model	-	1	2.1	2.2	3.1	5.1	6.5	6.9
Rok zavedení	-	2004	2008	2009	2008	2012	2012	-
Redukční čínidlo	-	AdBlue/DEF	AdBlue/DEF	AdBlue/DEF	AdBlue/DEF	AdBlue/DEF	AdBlue/DEF	AdBlue/DEF
Tlak	[bar]	-	5	9	5	4.5-8.5	5	9
Napětí	[V]	-	12/24	12/24	12	12	12/24	12/24
Dodávané množství min.-max.	[g/h]	-	17.3	36-7 200	15-3 120	200-2 000	100-5 400	80-15 000
Ohřev nádrže	-	elektrika	elektrika	chladičí kapalina	elektrika	elektrika	chladičí kapalina	chladičí kapalina
Chlazení vstřikovače	-	vzduch	AdBlue/DEF	chladičí kapalina	vzduch	vzduch	chladičí kapalina	chladičí kapalina
Životnost	[h]	-	3 000	30 000	6 000	8 000	12 000	35 000
Emisní norma	-	Euro VI, STAGE 4	Euro VI, STAGE 4	Euro VI, STAGE 4	Euro 6	Euro 6	Euro VI, STAGE 4	Euro VI, STAGE 4



4 APLIKACE U VÝROBCŮ NÁKLADNÍCH AUTOMOBILŮ

4.1 DAF

Výrobce nákladních automobilů DAF představil v říjnu roku 2005 svůj nový model DAF XF 105, znázorněný na obr. 21. DAF XF 105 je „vlajkovou lodí“ automobilky DAF, která se dostala do prodeje od ledna roku 2006. Modely XF, LF a CF pohánějí motory od výrobce PACCAR. Motor PACCAR MX o objemu 12,9 l podává výkon od 410 až do 510 koní a točivý moment 2000 až 2500 Nm. Motory využívají ke snížení emisních limitů výfukových plynů systém selektivní katalytické redukce Bosch denoxtronic. AdBlue se doplňuje do nádrže znázorněné na obr. 22, která je umístěna na pravém boku auta.

V roce 2013 představila společnost DAF na veletrhu v Birminghamu své nové modely plnicí emisní normu Euro VI. Modely jsou zobrazeny na obr. 23, které byly uvedeny na trh od ledna 2014. Motory PACCAR PX a MX s výkonem od 150 až do 510 koní. Motory mají novou technologii vstřikování Common Rail, turbo s proměnlivou geometrií, technologii EGR, SCR a filtrem pevných částic. U výkonově slabších verzí, je použita technologie EGR a u výkonnějších verzí technologie SCR denoxtronic 1. [26, 30, 31, 32, 33]



Obr. 21 DAF FX 105 [31]



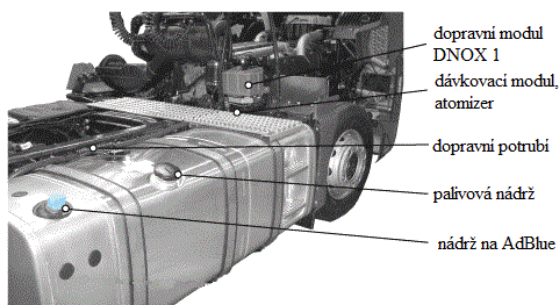
Obr. 22 DAF nádrž AdBlue [32]



Obr. 23 DAF CF, XF a LF [33]

4.2 MAN

Výrobce nákladních automobilů MAN využívá technologii selektivní katalytické redukce denoxtronic 1 firmy Bosch, kterou postupně montuje do svých modelů TGS, TGX a TA, pomocí níž plní emisní limity Euro V a VI. Pro motory od 150 do 480 koní používá systém recirkulace výfukových plynů EGR. Výrobce MAN využívá SCR pro čtyři výkonové verze D2066 o výkonu 400 a 440 koní a pro D2676 o výkonu 480 a 540 koní. Dále používá SCR pro autobusy MAN a Neoplan. V roce 2005 byla zařazena do výroby první generace SCR Bosch denoxtronic 1, jehož funkce je popsána v kapitole Bosch denoxtronic 1. Na obr. 24 je znázorněn způsob uspořádání SCR u výrobce MAN. [34,35,42]



Obr. 24 MAN rozmístění SCR [34]



Obr. 25 MAN Lion's city Euro VI [38]

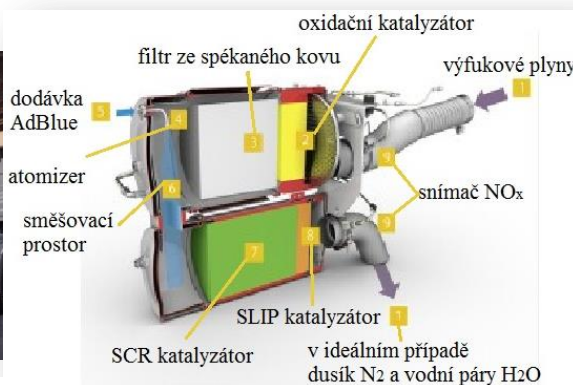


V roce 2012 společnost MAN představila nové modely plnící normu euro VI. K dosažení přísné normy v řadě motorů a autobusů znázorněných na obr. 25 a obr. 27, využívá kombinaci recirkulace výfukových plynů EGR, v kombinaci s dodatečnou úpravou výfukových plynů SCR. Na obr. 28 je použit CRT katalyzátor (Continuous Regeneration Trap) v jednom celku tlumiče výfuku.

V oxidačním katalyzátoru se přeměňuje oxid dusnatý NO na oxid dusičný NO₂, jehož děj je popsán v kapitole Oxidační katalyzátor. Ve filtru částic vyrobeném ze spěkaných kovů se zachycují pevné částice PM a spalují se pomocí oxidu dusičného NO₂. Systém pracuje s malými nároky na údržbu, a není potřeba regenerace. Pokud je dosaženo správné pracovní teploty 200 °C až 450 °C. Při nízkých teplotách je nízká koncentrace oxidu dusičného NO₂, pevné částice PM se nestíhají spalovat a filtr se zanáší. Při vysokých teplotách uniká oxid dusičný NO₂, který je jedovatý. V systému CRT je zařazen systém SCR, který redukuje oxidy dusíků NO_x, a je popsán v kapitole SCR – Selektivní Katalytická Redukce. Použitý systém vstřikování AdBlue je Bosch denoxtronic, jehož děj je popsán v kapitole Bosch denoxtronic 1. [11, 36, 37, 42]



Obr. 26 Tahač TGS [36]



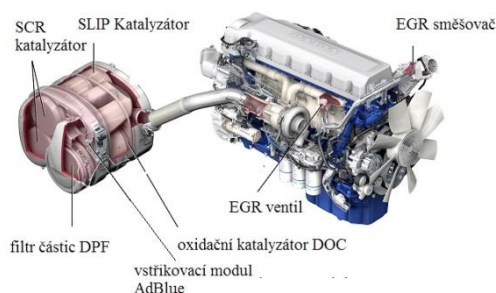
Obr. 28 Systém SCRT [37]



Obr. 27 Neoplan Jetliner [36]

4.3 VOLVO

Výrobce nákladních automobilů Volvo využívá k plnění emisních limitů kombinaci systému recirkulace výfukových plynů EGR, s kombinací dodatečné úpravy výfukových plynů selektivní katalytické redukce. Systém recirkulace výfukových plynů EGR, je použit bez chlazení. Tento systém je vysvětlen v kapitole EGR. Pro modely Volvo B, FL, FMX, FE, FH, FM je využíváno k dodatečné úpravě výfukových plynů vstřikování AdBlue Bosch denoxtronic 2.1, jehož funkce je vysvětlena v kapitole Bosch denoxtronic 2.1. Pro některé motorizace Volvo FH je využit systém vstřikování Bosch denoxtronic 2.2, jehož funkce je vysvětlena v kapitole Bosch denoxtronic 2.2. Na obr. 29 je znázorněno uspořádání katalyzátorů integrovaných v těle tlumiče. [42, 46, 47]



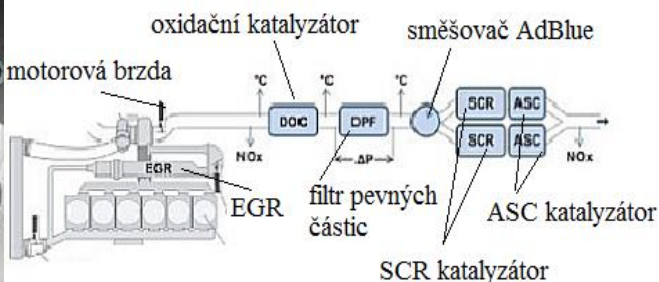
Obr. 29 Volvo Euro VI [46]

4.4 SCANIA

Výrobce nákladních automobilů Scania, poprvé uvedl své automobily se systémem selektivní katalytické redukce v roce 2005. Pomocí níž plní emisní normy Euro IV, V, VI. SCR využívá zejména pro své nejvýkonnější motory řady V8 o výkonech 500, 560, 580, 600, 620 koní. Scania využívá recirkulaci výfukových plynů EGR ve spojení s vstřikováním močoviny Bosch denoxtronic 1, jehož funkce je vysvětlena v kapitole Bosch denoxtronic 1. [40,41]



Obr. 30 Scania Euro VI [39]



Obr. 31 Scania Euro VI výfukové potrubí [39]

Aby společnost Scania splnila přísné emisní normy Euro VI, musela použít systém dodatečné úpravy výfukových plynů selektivní katalytickou redukcí výfukových plynů, i pro slabší motorizace. Pro dosažení limitů emisní normy, byl spojen systém recirkulace výfukových plynů EGR, spolu se systémem SCR. Spojením těchto dvou systémů bylo dosaženo nižší spotřeby AdBlue, než u samotného systému SCR. Na obr. 31 je zobrazeno schéma výfukového potrubí, kde je vidět uspořádání jednotlivých komponentů. DOC (Diesel Oxidation Catalyst) je oxidací katalyzátor, jehož funkce je vysvětlena v kapitole oxidací katalyzátor. Za oxidací katalyzátorem ve směru výfukových plynů je zobrazen filtr částic DPF, jehož funkce je vysvětlena v kapitole EGR. Pro vysokou přesnost, větší odolnost a vzduchotěsnou funkci Scania vyvinula vstřikování AdBlue, do směšovače, kde se odpařuje před vstupem do paralelních SCR katalyzátorů. ASC katalyzátor odstraňuje případné zbytky čpavku NH₃, jehož funkce je popsána v kapitole Slip katalyzátor. [39, 40]



4.5 RENAULT

Společnost Renault Trucks se rozhodla plnit přísnou emisní normu Euro VI, pomocí dodatečné úpravy výfukových plynů selektivní katalytické redukce. Společnost vycházela při vývoji ze svých motorů DTI 11 a DTI 13. Pro své modely Renault 160, 190, 220, 240, 280, 370, 380, 410, 430, 450, 480, 520 bylo využito vstříkávání močoviny Bosch denoxtronic 2.1, jehož funkce je vysvětlena v kapitole Bosch denoxtronic 2.1 [42, 48]



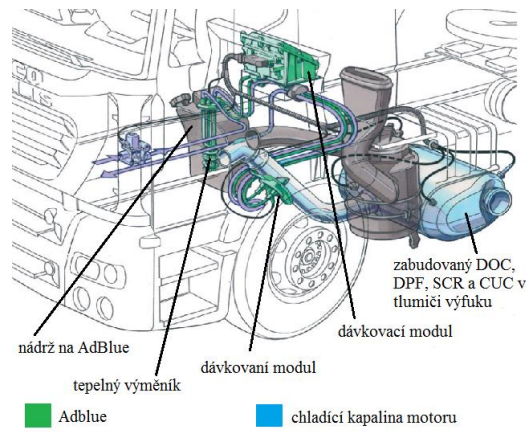
Obr. 32 Renault Trucks Euro VI [58]

4.6 IVECO

Výrobce nákladních automobilů Iveco, zvolil technologii selektivní katalytické redukce od firmy Bosch. Díky technologii SCR, mohl svým zákazníkům od poloviny roku 2005 nabídnout vozidla splňující emisní normy Euro IV a V. Systém SCR umožňuje zvýšit účinnost motoru, snížit spotřebu paliva a prodloužit servisní intervaly vozidla.

Systém Bosch denoxtronic 1, byl poprvé použit do modelu Iveco Stralis, jehož funkce je vysvětlena v kapitole Bosch denoxtronic 1. Systém denoxtronic 2.1 byl montován do modelů Iveco Trakker, Eurocargo, Stralis, jehož funkce je vysvětlena v kapitole Bosch denoxtronic 2.1. Na obr. 33 je znázorněno uspořádání systému denoxtronic 2.1.

Iveco a FPT (Fiat Powetrtrain) Industrial představil na technologickém fóru v Turíně, v roce 2011 systém SCR, který plní emisní limity Euro VI. Iveco a FPT Industrial vyvíjejí systém SCR, bez potřeby recirkulace výfukových plynů EGR, který je složen z oxidačního katalyzátoru DOC, pasivního filtru pevných částic DPF, dávkovacího modulu, směšovače AdBlue, SCR katalyzátoru a čistícího katalyzátoru CUC. Díky vyvinutému systému dosahují výfukové plyny 80 % snížení NO_x , 66 % snížení objemu pevných částí PM, oproti emisním limitům normy Euro V. [42, 43, 45]



Obr. 33 Iveco uspořádání SCR [44]



5 APLIKACE U VÝROBCŮ OSOBNÍCH AUTOMOBILŮ

Mercedes-Benz, Volkswagen a Audi společně využívají ke snížení oxidů dusíku NO_x ve výfukových plynech systém od společnosti Bosch.

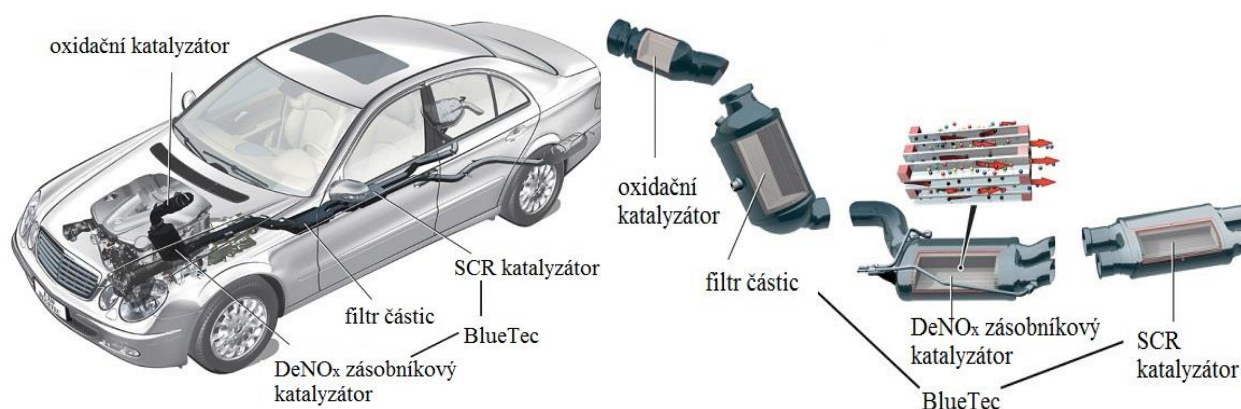
5.1 MERCEDES-BENZ

První systém SCR BlueTec, který byl představen v roce 2006, u osobních automobilů je tzv. suchý - nepotřebuje přivádět k redukci oxidů dusíku NO_x močovinu, ani jiné přídavné látky. Více bude rozebráno v kapitole BlueTec I.

Druhý systém SCR využívá vstřikování AdBlue, o kterém bude více rozebráno v kapitole Bluetec II.

BLUETEC I

Systém selektivní katalytické redukce BluTec, pro osobní automobily, byl poprvé představen u výrobce automobilů Mercedes Benz E320 v roce 2006 v USA. Na obr. 34, obr. 35 je zobrazeno rozložení výfukového systému na automobilu Mercedes Benz E 300 BlueTec. Nádrž na redukční činidlo AdBlue nehledejte, protože se v tomto systému žádné redukční činidlo do výfukového systému nepřivádí. [18]



Obr. 35 Mercedes Benz E 300 BlueTec [19]

Obr. 34 Výfukový systém BlueTec [19]

Výfukové plyny proudí do oxidačního katalyzátoru, který redukuje nespálené uhlovodíky HC a oxid uhelnatý CO pomocí kyslíku O. Více se o tomto ději dozvíte v kapitole Oxidační katalyzátor.

Ve filtru částic jsou výfukové plyny zbaveny pevných částic PM. Snižování oxidů dusíku NO_x , se děje pomocí zásobníkového katalyzátoru, jehož principem je oxidace oxidů dusíku NO_x na oxid dusičitý NO_2 . Pomocí plnění na nosič s aktivní vrstvou na bázi baria - Ba. Oxidy dusíku NO_x , jsou ukládány v redukčním prostředí a následně redukovány pomocí přechodného obohacení směsi a vrstvy rhodia - Rh na dusík N_2 a oxid dusičitý CO_2 . Více je děj rozebraný v kapitole Systém SCR.

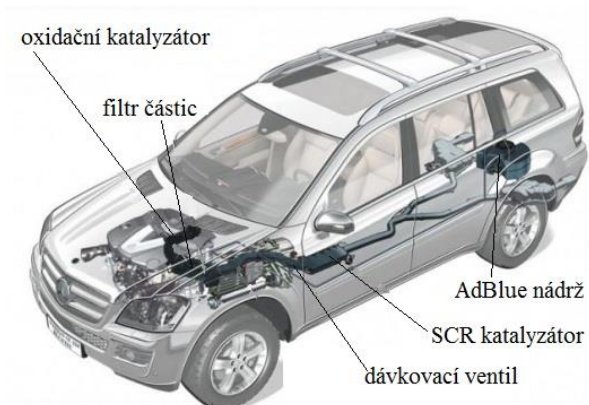
Tento systém je výrazně náchylný na obsah síry S v palivu. Pokud je v palivu maximálně 5 ppm síry S, systém dosahuje až 80 % snížení oxidů dusíku NO_x ve výfukových plynech. Při



vyšším obsahu síry S v palivu, je výrazně snížena schopnost redukce oxidů dusíku NO_x. [18, 19]

BLUETEC II

Společnost Mercedes-Benz využívá i systémy se vstřikováním syntetické močoviny do proudu výfukových plynů, jehož základ tvoří systém denoxtronic 3.1 Jeho funkce je vysvětlena v kapitole Bosch denoxtronic 3.1 - 5. Na obr. 36 je znázorněno umístění oxidačního katalyzátoru, filtru částic, dávkovacího ventilu, SCR katalyzátoru a nádrže na redukční činidlo AdBlue. Na obr. 37 je zobrazen plnicí otvor pro redukční činidlo AdBlue, který je umístěn vedle plnicího otvoru na palivo. Otvory jsou různých velikostí, aby se nepodařilo natankovat palivo do nádrže na AdBlue. Na obr. 38 je zobrazen plnicí otvor, uvnitř zavazadlového prostoru, pod rezervním kolem. Způsob umístění plnicího otvoru AdBlue, je závislý na konstrukčním řešení jednotlivého modelu. Mercedes-Benz montuje SCR systémy do svých modelů: E, GL, GLK, M, ML, S, R. [42, 18, 19, 51, 52]



Obr. 36 Mercedes-Benz ML 350 BlueTec [51]



Obr. 37 Plnicí otvor AdBlue ML 350 [52]



Obr. 38 Plnicí otvor AdBlue [52]



5.2 AUDI

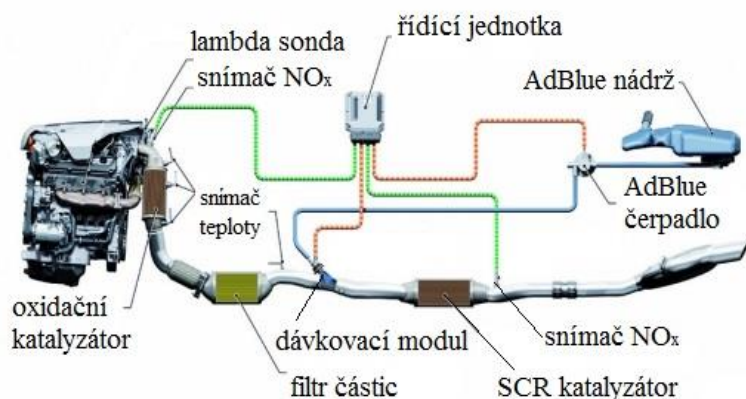
Společnost Audi začala využívat selektivní katalytické redukce Bosch denoxtronic 3.1 od roku 2009. Funkce SCR Bosch denoxtronic, je vysvětlena v kapitole Bosch DENOXTRONIC 3.1 - 5. Na obr. 40 je znázorněno uspořádání SCR systému. Technologie SCR byla v roce 2009 v nabídce u modelů Audi A4, Q5 a Q7. Za příplatek oproti stávající verzi se systémem recirkulací výfukových plynů. Vozidla se systémem SCR, již v té době plnily emisní normy EURO 6 a měly nižší spotřebu paliva přibližně o 7 %.

Spotřeba AdBlue byla 0,1 l na 100 km. Nádrž byla navržena tak, aby zásoba AdBlue vydržela do dalšího servisního intervalu. AdBlue je doplňováno technikem v servisu. Pokud by AdBlue došlo dříve, může si ho uživatel doplnit sám, pomocí nalévacího otvoru v prostoru víčka nádrže, které je zobrazeno na obr. 39.

V současné době je možné zakoupit navíc i automobily Audi A3, A4, A5, A6, A7, A8 se systémem selektivní katalytické redukce. Audi A3 využívá zásobníkový SCR katalyzátor, jehož funkce je vysvětlena v kapitole Funkce SCR a kapitole Mercedes-Benz. Ostatní modely využívají systém SCR se vstřikováním AdBlue, do proudu výfukových plynů Bosch denoxtronic 3.1, jehož funkce je vysvětlena v kapitole Bosch denoxtronic 3.1 - 5. [42, 53, 54]

Audi TDI mit ultra low emission system

07/07



Obr. 40 SCR Audi Q 7 [53]



Obr. 39 Plnicí otvor AdBlue Audi Q7 [53]



5.3 BMW

Společnost BMW spolupracuje s ostatními zde uvedenými výrobci automobilů se společností Bosch. BMW využívá systém Bosch denoxtronic 3.1, jehož funkce je vysvětlena v kapitole Bosch denoxtronic 3.1 - 5. Vozidla BMW, která využívají dodatečnou úpravu výfukových plynů, jsou označena výrobcem BMW BluePerformance. Od roku 2013 využívala SCR řada 5 ve všech variantách karoserie.

Pro zajištění komfortu a nízké údržby jsou ve vozidle zabudovány dvě nádrže. Aktivní a pasivní nádrž. Aktivní nádrž má objem přibližně 6 litrů. AdBlue je vstříkováno z aktivní nádrže prostřednictvím dávkovacího čerpadla a dávkovacího modulu. V teplotách pod bodem mrazu je aktivní nádrž dříve rozmrazena, než jedna velká nádrž. Systém je rychleji připraven k provozu. Aktivní nádrž je propojena s pasivní nádrží o objemu přibližně 17 litrů. Obě nádrže mají spolu dostatečnou zásobu AdBlue, tak aby se nemuselo doplňovat mezi servisními intervaly. AdBlue doplňuje servisní technik při servisní prohlídce. Pokud by AdBlue došlo dříve, je možné ho doplnit uživatelem. Nalévací otvor pro AdBlue, bývá podle konstrukčního řešení daného typu vozidla v motorovém prostoru, nebo u víka palivové nádrže.

V dnešní době, plní současné emisní limity pomocí SCR modely BMW řady 1, Coupé 2, řada 3 s vyjímkou 318D, řada 4, 5, 6 a řady X1, X3, X4, X5, X6. [54, 55]



Obr. 41 Plnění AdBlue u víka nádrže [56]



Obr. 42 Plnění AdBlue v motorovém prostoru [56]

5.4 VOLKSWAGEN

Společnost Volkswagen spolupracuje jako ostatní zde uvedení výrobci automobilů se společností Bosch. Volkswagen využívá systém Bosch denoxtronic 3.1, jehož funkce je vysvětlena v kapitole Bosch denoxtronic 3.1 - 5. Vozidla Volkswagen, která využívají dodatečnou úpravu výfukových plynů a jsou označena BlueTDI. BlueTDI bylo poprvé představeno na autosalonu v Paříži v roce 2008. Automobilka používá také označení BlueMotion, které však neznamená jen využívání systému SCR, ke snížení oxidů dusíku NO_x. BlueMotion je technologie velmi úsporných opatření, do kterých patří úsporný motor s upravenou řídicí jednotkou, upravená aerodynamika, nižší valivý odpor. V poslední době jsou použity systémy SCR a EGR společně.

Nádrž na AdBlue má jako u předchozích výrobců dostatečnou kapacitu, aby vydrželo po celou dobu mezi servisními intervaly. [59]



Obr. 43 Označení SCR [59]

Na Obr. 43 je znázorněno označení, které využívá Volkswagen pro označení vozidel s využitím selektivní katalytické redukce.



ZÁVĚR

Bakalářská práce se nejprve zabývá problematikou a složením výfukových plynů s následným nahlédnutím do vývoje evropských emisních limitů. Z uvedených limitů vyplývá, že se budou v budoucnosti nadále zpříšňovat. Mělo by se však přistoupit i k takovým opatřením, aby provozovatelé starších automobilů obměňovali svůj vozový park za novější, ekologicky šetrnější automobily k životnímu prostředí. Například zavedením emisních štítků do oblasti s hustějším výskytem automobilů, jak je zavedeno u našich západních sousedů. Nebo zavedením různých úlev pro ekologicky šetrnější automobily. Na rozdíl od zavádění různých poplatků známých pod názvem „eko-daně“. Například nižší cenou pojistného povinného ručení, nebo snížením poplatků za používání dálnic. V našem státě by se ovšem, tato myšlenka zvrhla ke zdražení povinného ručení a poplatků dálnic pro emisně zastaralá vozidla. Což by bylo méně populární řešení.

V druhé části byla práce zaměřena na dva rozdílné systémy snižování, zejména oxidů dusíku a pevných částic. Při spalování chudé směsi s přebytkem kyslíku ve spalovacím prostoru vznětového motoru vzniká více oxidů dusíku a méně pevných částic. Při spalování bohaté směsi s přebytkem paliva ve spalovacím prostoru vznětového motoru vzniká méně oxidů dusíku a více pevných částic. Z těchto dvou principů, vznikly dva zcela odlišné způsoby snižování oxidů dusíku a pevných částic. Již z těchto dvou základních pojmů je zřejmé, že bude výhodnější spalování chudé směsi z hlediska ekonomického i technického. Motor spotřebuje méně paliva a nebude se zanášet pevnými částicemi, tudíž se bude méně opotřebovávat.

V další části jsou popsány různé systémy selektivní katalytické redukce od výrobce Bosch. Tyto systémy jsou z hlediska funkce, konstrukce a použití natolik rozsáhlé, že nebylo potřeba uvádět systémy dalšího výrobce pro vysvětlení a pochopení funkce.

Nejlepšího rozprachu částic v proudě výfukových plynů, dosahuje první systém denoxtronic 1, protože využívá ke vstřikování močoviny stlačeného vzduchu a děje nazývaného atomizace. Není potřeba chladit vstřikovací trysku (atomizér). Nevýhodou tohoto systému je potřeba kompresoru a zásobníku stlačeného vzduchu. Nemožnost použít u vozidel, u nichž nebyl montován kompresor. Další nevýhodou je větší počet součástí.

U systému denoxtronic 2.1 je v zimních měsících výhodou chlazení dávkovacího modulu pomocí močoviny ze systému. Dávkovací modul bude napomáhat ohřívání močoviny v teplotách pod bodem mrazu. Tato výhoda se však stane nevýhodou v teplých měsících, protože se může nadměrně odpařovat voda z redukčního činidla AdBlue.

Nejlepší řešení chlazení dávkovacího modulu, bylo uvedeno v systému denoxtronic 3.1 – 5. Chlazení vzduchem je konstrukčně nejjednodušší řešení, tudíž i nejlevnější. Nejúčinnějším chlazením dávkovacího modulu, je chlazení chladicí kapalinou, avšak konstrukčně nejsložitější a taky nejdražším řešením.

V poslední části je popsáno použití dříve uvedených systémů v praxi, u výrobců nákladních a osobních automobilů. Z této části vyplývá že, pokud chce výrobce, zejména nákladních automobilů plnit dnešní přísné emisní normy, musí alespoň z části využívat úpravy výfukových plynů pomocí selektivní katalytické redukce. Někteří výrobci využívají kombinace recirkulace výfukových plynů, spolu s dodatečnou úpravou spalin ve výfukovém potrubí pomocí selektivní katalytické redukce. Tato kombinace vede k dobrému kompromisu mezi oběma systémy. Jak z hlediska nižší spotřeby paliva, tak z hlediska nižší spotřeby redukčního činidla. Já jsem odpůrcem systému recirkulace výfukových plynů, protože nemám



rád snižování účinnosti motoru. Zanášení motoru, které vzniká prouděním a spalováním výfukových plynů. K dosažení výkonu motoru, přece potřebujeme dostat do spalovacího prostoru, co nejvíce vzduchu spolu se správným poměrem paliva.

V celkovém shrnutí má selektivní katalytická redukce nevýhodu zejména v nutnosti přídavné nádrže na redukční činidlo, potřebu vlastního systému vstřikování, větší počet komponentů. Vyšší hmotnost díky přídavné nádrži. Pokud dojde redukční činidlo, emise výfukových plynů se značně zhorší. Dražší výrobní náklady, než dosud zavedená recirkulace výfukových plynů. Na druhou stranu vznětový motor, se systémem recirkulace má vyšší spotřebu, tudíž by měl mít větší nádrž, čímž se hmotnostní rozdíl obou systémů snižuje. V důsledku nižší teploty hoření pevných částic, se v některých systémech recirkulace přimíchává aditivum do paliva, které taky zvyšuje provozní náklady. V neposlední řadě se filtr pevných částic časem úplně zanese a je potřeba jej vyměnit. Tato oprava je finančně nákladná. Spousta provozovatelů trvale odstraní filtr pevných částic. Tím se trvale zhorší emise výfukových plynů u automobilů.

Při posouzení všech kladů a záporů, se jeví selektivní katalytická redukce jako systém, pomocí kterého, se budou snižovat emise výfukových plynů i v budoucnosti. Osobně jsem přesvědčen, že systém selektivní katalytické redukce není na pokraji svých možností. Stále by se dal zlepšovat kombinací ostatních systémů. V budoucnosti, se dostaneme na ještě nižší hodnoty emisí výfukových plynů.

Bude důležité zajistit kontrolu systému i pro vozidla, které se na našem území pohybují, ale nejsou registrovány v České Republice. U těchto vozidel není možné zkontrolovat funkci selektivní katalytické redukce formou stanice technické kontroly. Řešením by byly například mobilní měřiče emisí pro policii České republiky, nebo pro celní správu, která by kontrolu prováděla.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] MORAVČÍK, Lubomír. *Sprísňovanie emisných limitov cestných motorových vozidel*. [online]. 15,12,2013 [cit. 28-4-2015]. Dostupné z: <http://www.svetdopravy.sk/sprisanovanie-emisnych-limitov-cestnych-motorovych-vozidiel/>
- [2] SAJDL, Jan. *Emise výfukových plynů*. [online]. 5,4,2011 [28-4-2015]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/emise-vyfukovych-plynu/>
- [3] ČUMPELÍK, Jiří. *Snižování emisí výfukových plynů*. [online]. 9,10,2007 [cit. 28-4-2015]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/snizovani-emisi-ve-vyfukovych-plynech.html>
- [4] DITRICH, Lukáš. *Emise: čím jsou nebezpečné?* [online]. © 2007 - 2013 [cit. 29,4,2015]. Dostupné z: <http://www.zavolantem.cz/clanky/emise-cim-jsou-nebezpecne-prvni-cast>
- [5] JAN, Zdeněk., ŽDÁNSKÝ, Bronislav. *Automobily 4 příslušenství*. 4. vydání. Brno: Avid spol s.r.o., 2005. 305 s. IBSN 80-903671-0-0.
- [6] DIETSCH, Karl-Hienz., JÄGER, Thomas. *Diesel – Engine Management*. 3. vydání. Bury St. Edmunds: Profesional Engineering Publishing Limited Northgate Avenue., 2004. 489s. IBSN 1-86058-435-7.
- [7] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory Karburátory a vstříkávání paliva*. 1. vydání. Praha: Computer Press., 2004. 388s. IBSN 80-251-0207-6.
- [8] BROŽ, Jiří., TRNKA, Luboš. *Snižování emisí spalovacích motorů vozidel*. *AutoEXPERT*. Praha 10: Zdeněk Chroust, 2009,9, 1. ISSN 1211-2380
- [9] DIESELNET FAQ. *Stage standards*. [online]. © 1997 - 2015 [cit. 30.5.2015]. Dostupné z: https://www.dieselnets.com/standards/eu/nonroad.php#hc_gas
- [10] ŠMERDA, Tomáš. ČUPERA, Jiří. *Emise vznětového motoru SCR*. [online]. [cit. 1-5-2015]. Dostupné z: <http://www.agrics.cz/obrazky-soubory/emise-vznetoveho-motoru-a-system-scr-4107d3.pdf?redir>
- [11] BROŽ, Jiří., TRNKA, Luboš. *Snižování emisí spalovacích motorů*. *AutoEXPERT*. Praha 10: Zdeněk Chroust, 2009,12, 1. ISSN 1211-2380
- [12] MALÝ, Oldřich. *Systém filtru pevných částic FAP*. *AutoEXPERT*. Praha 10: Zdeněk Chroust, 2009,11, 26. ISSN 1211-2380
- [13] MAJEWSKI, W. Addy. *SCR Systems for Mobile Engines*. [online]. May, 2005 [cit. 5-5-2015]. Dostupné z: https://www.dieselnets.com/tech/cat_scr_mobile.php
- [14] MAJEWSKI, W. Addy. *SCR Selective Catalytic Reduction*. [online]. May, 2005 [cit. 5-5-2015]. Dostupné z: https://www.dieselnets.com/tech/cat_scr.php
- [15] BOSCH. *Možnost snížení NO_x*. [s.l.] : Bosch © 2012

- [16] SAJDL, Jan. *Katalyzátor*. [online]. 12,4,2011 [cit. 7-5-2015]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles./katalyzator/>
- [17] SAJDL, Jan. *AdBlue*. [online]. 29,3,2011 [cit. 7-5-2015]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/adblue/>
- [18] MERCEDES-BENZ. *BlueTec*. [online]. 2015 [cit. 8-5-2015]. Dostupné z: http://techcenter.mercedes-benz.com/cs_CZ/bluetec/detail.html#detail-section
- [19] HANLON, Mike. *BLUETEC The Cleanest Diesel in the World*. [online]. 11,1,2006 [cit. 15-5-2015]. Dostupné z: <http://www.gizmag.com/go/5009/>
- [20] TRIP DIESEL. Exhaust systems mysteries. [online]. © 2011 – present [cit. 16-5-2015]. Dostupné z: <http://tripletdiesel.com/exhaust-sys.html>
- [21] IZVOR. *Kontrola izduvnih gasova u komercijalnim vozilima*. [online]. 28,10,2013 [cit. 18-5-2013.]. Dostupné z: <http://www.autostart.co.rs/kontrola-izduvnih-gasova-u-komercijalnim-vozilima>
- [22] SUCHÁNEK, Petr. *Zkoušky rozprašovacích hlav kapalných paliv*. [online]. Brno, 2010. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta strojíního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. [cit. 20-5-2014] Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28598
- [23] STEJSKALÍK, Jaromír. *Snižování emisních škodlivin vznětových motorů*. [online]. 2012 [cit. 20-5-2015]. Dostupné z: <http://www.ssamp-krnov.cz/upload/soubory/00032.pdf>
- [24] BOSCH, Robert. *Denoxtronic*. [online]. [cit. 18-5-2015]. Dostupné z: http://products.bosch-mobility-solutions.com/en/de/_technik/component/PT_PC_DS_Exhaust-Gas-Treatment_PT_PC_Diesel_1537.html?compId=945
- [25] MEGORI. *Urea dosing systems for SCR systems*. [online]. [cit. 18-5-2015]. Dostupné z: <http://www.denoxtronic.it/en/0444010010-2/>
- [26] BOSCH. *Niezawodne oczyszczanie spalin Układy Bosch Denoxtronic*. [online]. [cit. 20-5-2015]. Dostupné z: http://aa-boschappl.resource.bosch.com/media/internet_public/parts/engine_systems__auto_parts/diesel__engine_systems/Bosch_folder_PIA_Denox_PL_bs08.pdf
- [27] BOSCH. *Denoxtronic 2.2 – Urea Dosing System for SCR systems*. [online]. [cit. 21-5-2015]. Dostupné z: http://products.bosch-mobility-solutions.com/media/ubk_europe/db_application/downloads/pdf/antrieb/en_3/DS-Datenbl_P18Z-Denoxtronic_2_2_EN_low.pdf
- [28] BOSCH. *Denoxtronic 6-5* [online]. [cit. 22-5-2015]. Dostupné z: http://products.bosch-mobility-solutions.com/specials/de/abgasnachbehandlung/upload_files/DS-Datenbl_DENOX_6-5-CV-EN_low.pdf



- [29] BOSCH. *Denoxtronic 6-9* [online]. [cit. 22.5.2015]. Dostupné z: http://products.bosch-mobility-solutions.com/specials/de/abgasnachbehandlung/upload_files/Datenblatt_6-9_EN.pdf
- [30] DAF TRUCKS N.V. *The DAF XF 105*. [online]. [cit. 23-5-2015]. Dostupné z: http://www.paccar.com/media/1908/daf_brochure_xf.pdf
- [31] VOLF, Petr. *České premiéra novinek automobilky DAF*. [online]. 12,10,2006 [cit. 23-5-2015]. Dostupné z: <http://stavebni-technika.cz/clanky/ceska-premiera-novinek-automobilky-daf>
- [32] DAF TRUCK PLUS D.O.O. *DAF CF*. [online]. [cit. 23.5.2015]. Dostupné z: <http://www.dtruckpuls.com/en/news-and-media/pictures&offset=48>
- [33] DAF TRUCKS. *Společnost DAF uvádí nové modely řady Euro 6 LF a CF*. [online]. 17,4,2013 [cit. 23-5-2015]. Dostupné z: <http://truckfocus.cz/novinky/282,spolecnost-daf-uvadi-nove-modely-rady-euro-6-lf-a-cf>
- [34] MAN TRUCK. *Guidelines to fitting bodies*. [online]. [cit. 23-5-2015]. Dostupné z: https://www.manted.de/manted/aufbaurichtlinien/gb_tga.html
- [35] TON. *Motor MAN Euro 4 a Euro 5 – Budoucnost pro EEV*. [online]. 22,8,2007 [cit. 23-5-2015]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/motor-man-euro-4-a-euro-5-budoucnost-pro-eev-10260>
- [36] HARGAŠ, Peter. *MAN: Efektivne po celom svete*. [online]. 3,10,2012 [cit. 24-5-2015]. Dostupné z : <http://autozurnal.ta3.com/man-efektivne-po-celom-svete>
- [37] EVENTS., FAIRS. *IAA premiere: MAN presents Euro VI exhaust - gas technology for trucks and coaches*. [online]. 18,9,2012 [cit. 24-5-2015]. Dostupné z: http://www.corporate.man.eu/en/press-and-media/presscenter/IAA-premiere_-MAN-presents-Euro-VI-exhaust-gas-technology-for-trucks-and-coaches--21249.html
- [38] DALECKÝ, Petr. *MAN Lion's City Euro 6 – Městský puritán*. [online]. 19,9,2012 [cit. 24-5-2015]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/man-lions-city-euro-6-mestsky-puritan-69805>
- [39] DABRA. *Scania uvádí v předstihu na trh motory Euro 6*. [online]. 8,4,2011 [cit. 24-5-2015]. Dostupné z: <http://www.busportal.cz/modules.php?name=article&sid=8683>
- [40] PAVLŮSEK, Ondřej. *Scania: První motory splňující Euro 6* [online]. 7,4,2011 [cit. 24-5-2015]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/scania-prvni-motory-splnujici-euro-6-57711>
- [41] DABRA. *Nové motory Scania. Jednotka V8 o výkonu až 620 k a 3000 Nm*. [online]. 17,9,2005 [cit. 24-5-2005]. Dostupné z: <http://www.csad.cz/modules.php?name=article&sid=1438>
- [42] RICAMBI. *Tutto quello che bisogna sapere su Denoxtronic*. [online]. 17,3,2015 [cit. 25-5-2015]. Dostupné z: <http://www.formulabosch.it/tutto-quello-che-bisogna-sapere-su-denoxtronic>

- [43] IVECO SPA. *IVECO Euro 4 – Euro 5*. [online]. [cit. 25-2-2015]. Dostupné z: http://www.iveco.com/southafrica/press-room/kit/Pages/Euro_4-5_Stralis.aspx
- [44] IVECO SPA. *SCR Technology for Euro 5*. [online]. 5,2008 [cit. 25-5-2015]. Dostupné z: http://www.iveco.com/switzerland-de/Unternehmen/Documents/SCR_ENG.pdf
- [45] FAIRD COMERCIA S.R.O. *Iveco představilo systém SCR Euro VI* [online]. 7,4,1012 [cit. 25-5-2015]. Dostupné z: <http://www.faridcom.cz/novinky/novinka.asp?id=153>
- [46] PISKONG, Lennart. *New volvo engine for euro 6*. [online]. 5,6,2012 [cit. 25-5-2015]. Dostupné z: <http://www.volvotrucks.com/trucks/kuwait-market/en-kw/newsmedia/pressreleases/pages/pressreleases.aspx?pubid=13249>
- [47] PAVLŮSEK, Ondřej. *Volvo trucks uvede nové motory Euro 6*. [online] 1,6,2013 [cit. 25-5-2015]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/volvo-trucks-uvede-nove-motory-euro-6-74790>
- [48] BOSCH, Robert GmbH. *Denoxtronic 3.1 – Urea Dosing System for SCR Systems*. [online]. © 2011 [25.5.2015]. Dostupné z: http://products.bosch-mobility-solutions.com/media/ubk_europe/db_application/downloads/pdf/antrieb/en_3/02_DS_Sheet_Denoxtronic_3_1-Urea_Dosing_System_20110826.pdf
- [49] KARL. *The diesel particulate filter*. [online]. 28,10,2013 [cit. 25-5-2015]. Dostupné z: <http://www.hypemiler.co.uk/technical/the-diesel-particulate-filter-dpf-faq>
- [50] MALÝ, Oldřich. *Systém filtru pevných částic FAP*. *AutoEXPERT*. Praha 10: Zdeněk Chroust, 2009,12, 20. ISSN 1211-2380
- [51] HANLON, Mike. *The cleanest Diesel in the world*. [online]. 11,1,2006 [cit. 26-5-2015]. Dostupné z: <http://www.gizmag.com/go/5009/pictures#4>
- [52] AUTOGUIDE. *ML 350 BlueTec diesel – AdBlue*. [online]. 2012 [cit. 26.5.2015]. Dostupné z: <http://www.autoguide.com/gallery/gallery.php/v/main/reviews/mercedes/2012-mercedes-ml350-bluetec/2012-ML350-BlueTEC-diesel-adblue.jpg.html>
- [53] LÖBL, Vladimír., DVOŘÁČEK, Jan. *Audi Q7 3.0 Clean Diesel*. [online]. 26,4,2010 [cit. 27-5-2015]. Dostupné z: <http://www.autohit.cz/testy/25778-audi-q7-3-0-tdi-clean-diesel>
- [54] KYAN. *Euro 6 – Understanding the new regulations*. [online]. 13,8,2014 [cit. 27-5-2015]. Dostupné z: <http://www.dieselmagazine.co.uk/features/euro-6-understanding-the-new-regulations/>
- [55] PLUCINSKY, Thomas. *2010 BMW Advanced Diesel - X5 xDrive35d and 335d Sedan*. [online]. 1,1,2010 [cit. 27-5-2015]. Dostupné z: https://www.press.bmwgroup.com/usa/pressDetail.html?title=2010-bmw-advanced-diesel-x5-xdrive35d-and-335d-sedan&outputChannelId=9&id=T0076697EN_US&left_menu_item=node__4143



- [56] BACKER, Daniel. *AdBlue – alles neu oder doch altbekannt?* [online]. 14,3,2015 [cit. 27-5-2015]. Dostupné z: <http://www.baum-bmwshop24.de/blog/adblue-alles-neu-oder-doch-altbekannt/>
- [57] FINDADBLUE. *Skladování a zacházení.* [online]. [cit. 27-5-2015]. Dostupné z: <http://cz.findadblue.com/adblue/skladov%C3%A1n%C3%AD-a-zach%C3%A1zen%C3%AD/>
- [58] RENAULT TRUCKS. *Euro VI engines: reliability and low consumption.* [online]. 3,5,2013 [cit. 28-5-2015]. Dostupné z: <http://corporate.renault-trucks.com/en/press-releases/2013-05-03-euro-vi-engines-reliability-and-low-consumption.html>
- [59] SAJDL, Jan. *BlueTDI.* [online]. 31,3,2011 [cit. 27-5-2015]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/blue-tdi-blue-turbocharged-direct-injection/>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AGR	Abgasrückführung (Recirkulace výfukových plynů)
ASC	Amoniak Stability Control (Redukční katalyzátor)
Ba	Barium
BaCO ₃	Uhličitan barnatý
Ba(NO ₃) ₂	Dusičnan barnatý
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
CRT	Continuous Regeneration Trap (Trvale regenerovatelný filtrační systém)
CUC	Clean-up Catalyst (Dočišťovací katalyzátor)
DCU	Dosing Control Unit (Řídící jednotka dávkování)
DEF	Diesel Exhaust Fluid (Syntetická močovina)
DOC	Diesel OxidationCatalyst (Oxidační katalyzátor)
DPF	Diesel Particulate Filter (Filtr pevných částic)
ECU	Engine Control Unit (Řídící jednotka motoru)
EGR	Exhaust Gas Recirculation (Recirkulace výfukových plynů)
EHK	Evropská hospodářská komise
FAP	Filtre a Particule (Filtr pevných částic)
HC	Nespálené uhlovodíky
HNCO	Kyselina izokyanátová
H ₂ O	Voda
IBC	Intermediate Bulk Container
N ₂	Dusík
(NH ₂) ₂ CO	Močovina (AdBlue/DEF)
NH ₃	Amoniak (Čpavek)
NO	Oxid dusnatý
NO _x	Oxidy dusíku
NO ₂	Oxid dusičitý
O ₂	Kyslík
Pb	Olovo
PM	Pevné částice
Ppm	Parts per milion (Podíl částic na jeden milion)
S	Síra
SCR	Selective Catalytic Reduction (Selektivní Katalycká Redukce)
SO ₂	Oxid siřičitý
TDI	Turbo Direct Injection (Přímé vstřikování)
USA	United State of America (Spojené státy americké)



SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Složení výfukových plynů [1].....	13
Obr. 2 EGR + filtr pevných částic [12].....	19
Obr. 3 Mřížka DPF [50].....	20
Obr. 4 Filtr pevných částic [49].....	20
Obr. 5 Výfukový systém SCR [15].....	21
Obr. 6 Kanystř [57].....	22
Obr. 7 ISB kontejner [57].....	22
Obr. 8 Čerpací nádrž [57].....	22
Obr. 9 Čerpací pumpa [57].....	22
Obr. 10 Funkce SCR katalyzátoru [15].....	23
Obr. 11 Bosch denoxtronic [25].....	25
Obr. 12 Dopravní modul DNOX 1 [21].....	26
Obr. 13 Dávkovací modul a atomizér[21].....	27
Obr. 14 Bosch denoxtronic 2.1 [25].....	28
Obr. 15 Dopravní modul DNOX 2.1 [26].....	28
Obr. 16 Dávkovací modul [26].....	29
Obr. 17 Bosch denoxtronic 2.2 [27].....	30
Obr. 18 Dopravní modul DNOX 2.2 [26].....	31
Obr. 19 Bosch denoxtronic 3.1 [48].....	33
Obr. 20 Bosch denoxtronic 6.5 - 6.9 [28,29].....	33
Obr. 21 DAF FX 105 [31].....	36
Obr. 22 DAF nádrž AdBlue [32].....	36
Obr. 23 DAF CF, XF a LF [33].....	36
Obr. 24 MAN rozmístění SCR [34].....	36
Obr. 25 MAN Lion's city Euro VI [38].....	36
Obr. 26 Tahač TGS [36].....	37
Obr. 27 Neoplan Jetliner [36].....	37
Obr. 28 Systém SCRT [37].....	37
Obr. 29 Volvo Euro VI [46].....	38
Obr. 30 Scania Euro VI [39].....	38
Obr. 31 Scania Euro VI výfukové potrubí [39].....	38
Obr. 32 Renault Trucks Euro VI [58].....	39
Obr. 33 Iveco uspořádání SCR [44].....	40
Obr. 34 Výfukový systém BlueTec [19].....	41
Obr. 35 Mercedes Benz E 300 BlueTec [19].....	41
Obr. 36 Mercedes-Benz ML 350 BlueTec [51].....	42
Obr. 37 Plnicí otvor AdBlue ML 350 [52].....	42
Obr. 38 35 Plnicí otvor AdBlue [52].....	42
Obr. 39 Plnicí otvor AdBlue Audi Q7 [53].....	43
Obr. 40 SCR Audi Q 7 [53].....	43
Obr. 41 Plnění AdBlue u víka nádrže [56].....	44
Obr. 42 Plnění AdBlue v motorovém prostoru [56].....	44
Obr. 43 Označení SCR.....	45



SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Evropské limity EHK [7]	15
Tab. 2 Evropské emisní limity pro osobní vozidla [1]	16
Tab. 3 3Evropské emisní limity pro nákladní vozidla a autobusy [1].....	16
Tab. 4 Emisní limity Stage I a Stage II [9].....	17
Tab. 5 Emisní limity mimo silničních vozidel [9].....	17
Tab. 6 Emisní limity Stage IV [9]	18
Tab. 7 Emisní limity Stage V [9].....	18
Tab. 8 Srovnání jednotlivých systémů Bosch	35