

Mendelova univerzita v Brně
Institut celoživotního vzdělávání

**Emisní systémy vznětových motorů pro splnění emisní
normy EURO 6**
Závěrečná práce

Vedoucí práce:
Ing. Jiří Čupera, Ph. D.

Vypracoval:
Jakub Krejsek

Brno

/Zadání/

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: **Emisní systémy vznětových motorů pro splnění emisní normy EURO 6**

vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 8. 5. 2017

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto, bych chtěl poděkovat panu Ing. Jiřímu Čuperovi, Ph. D za pomoc při psaní bakalářské práce, za poskytnutí odborné literatury, ochotu spolupracovat a za čas strávený na konzultačních hodinách. Dále bych chtěl poděkovat, panu Milanovi Woitchsovi z firmy Volvo Group Czech Republic s.r.o., za poskytnutí odborné literatury a informací v oblasti emisních norem a legislativy související s touto problematikou.

Abstrakt

Ve své bakalářské práci popisuji vznik emisí spalovacích motorů a požadavky na plnění emisních limitů spalovacích motorů a jejich vývoj. V úvodu se zabývám příčinami vzniku emisních norem. V další části jsem se zaměřil na problematiku, co jsou to emise spalovacích motorů a jejich základní rozdělení. Následuje rozdělení kategorií vozidel se spalovacími motory a základní rozdělení paliv spalovacích motorů a platné emisní normy ve vyspělých státech světa i v tzv. třetích zemích. Práce pokračuje částí zabývající se obecně postupy, které ovlivňují tvorbu a kvalitu emisí spalovacích motorů a to jak samotnou konstrukcí motoru, tak montáží dodatečných systémů, které snižují obsah limitovaných emisí ve výfukových plynech spalovacích motorů. V praktické části se věnuji vývoji konkrétního vznětového motoru nákladního vozidla a jeho systémů v závislosti na zpřísnování plnění limitů emisních norem.

Klíčová slova

Emisní limity, vznětový motor, selektivní katalytická redukce, částicový filtr

Abstract

In my bachelor thesis I describe the occurrence of combustion engine emissions and the requirements for filling emission limits of combustion engines and their development. At the beginning I deal with the causes of emission standards. In the next part I focused on the issue of the emission of internal combustion engines and their basic distribution. The following is a breakdown of vehicle categories with internal combustion engines and the basic fuel split of combustion engines and valid emission standards in developed countries of the world and in so-called third countries. The work continues with parts dealing with general processes that influence the generation and quality of combustion engine emissions, both by the engine design itself and the assembly of additional systems that reduce the content of limited emissions in the exhaust gases of combustion engines. In the practical part, I devote myself to the development of a specific diesel engine of the truck and its systems, depending on the filling of the limits of the emission standards.

Keywords

Emission limits, diesel engine, selective catalytic reduction, particulate filter

OBSAH

1. ÚVOD.....	11
1.1. Historie vznětového motoru.....	11
1.2. Příčiny vzniku emisních norem.....	12
1.2.1. Co jsou to emise spalovacího motoru.....	12
1.2.2. Limitované složky emisí spalovacího motoru.....	13
1.2.3. Nelimitované složky emisí spalovacího motoru.....	14
1.2.4. Kategorie vozidel se spalovacími motory podle EHK.....	15
1.2.5. Kategorie paliv pro spalovací motory podle EHK.....	17
2. Cíl práce.....	17
2.1. Emisní normy ve světě.....	17
2.1.1. Emisní normy v USA.....	18
2.1.2. Emisní normy v EU.....	19
2.1.3. Stručný přehled emisních norem ostatní státy světa.....	21
2.1.4. Emisní normy v ČR.....	22
2.1.5. Nejvyšší povolené hodnoty emisí NA a BUS (vozidla >2.610 kg; limitní hodnoty pro zkoušky typu a kontrolu série) – platnost v ČR a EU.....	23
2.1.6. Souhrn legislativy a emisních norem v ČR.....	26
2.2. Technická řešení spalovacího motoru ovlivňující kvalitu spalování.....	27
2.2.1. Optimalizace spalovacího prostoru.....	27
2.2.2. Regulace doby žhavení.....	29
2.2.3. Vstřikování paliva.....	29
2.2.4. Ventilové rozvody - použití více ventilové techniky.....	34
2.2.5. Variabilní časování ventilů.....	35
2.2.6. Řízení sacích kanálů.....	35
2.2.7. Regulace plnicího tlaku.....	36

2.2.8.	Optimalizace začátku vstřiku a množství vstřikovaného paliva.....	38
2.3.	Technická řešení zaměřená na dozpracování emisí výfukových plynů.....	38
2.3.1.	Oxidační katalyzátor.....	39
2.3.2.	Zpětné vedení výfukových plynů (EGR).....	40
2.3.3.	Filtr pevných částic.....	41
2.3.4.	Zásobníkový katalyzátor.....	43
2.3.5.	Graf vývoje snižování emisí NO _x vznětových motorů nákladních automobilů.....	45
2.3.6.	SCR katalyzátor (Selective Catalytic Reduction).....	45
2.3.7.	Systém dozpracování výfukových plynů vznětového motoru.....	47
2.3.8.	Srovnání produkce NO _x a částic (PM) Euro VI a Euro I.....	47
2.4.	Cíle teoretické části práce.....	48
2.5.	Cíle praktické části práce.....	48
2.6.	Dodatečné zpracování výfukových plynů EURO VI.....	48
2.6.1.	SCR - funkce.....	51
3.	Příklad vývoje vznětového motoru D16 tahačů VOLVO.....	53
3.1.	Motor D16A520.....	53
3.2.	Motor D16B520.....	54
3.2.1.	Snímače využívané řídicí jednotkou motoru D16B520.....	56
3.3.	Motor D16C610.....	57
3.3.1.	Přehled snímačů motoru D16C610.....	58
3.4.	Motor D16E660.....	59
3.4.1.	Funkční schéma systému EATS provedení EURO IV.....	60
3.4.2.	Přehled snímačů motoru D16E660.....	61
3.5.	Motor D16G750.....	62
3.5.1.	Monitorovací systém kontroly emisí EURO 4 a EURO 5.....	62
3.5.2.	Systém dozpracování výfukových plynů EATS EURO 5.....	63

3.6.	Motor D16K750	64
3.6.1.	Schéma palivového systému D16K750	66
3.6.2.	AFI - vstřikování paliva následné úpravy D16K750	68
3.6.3.	EGR – recirkulace výfukových plynů D16K750.....	69
4.	Závěr	70
5.	Seznam použité literatury	72

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma skleníkového efektu	15
Obr. 2 Klínový spalovací prostor (vlevo) a polokulový spalovací prostor (vpravo)	27
Obr. 3 Spalovací prostor zážehového motoru s přímým vstřikem paliva, píst s deflektorem	28
Obr. 4 Píst prstencového tvaru.....	29
Obr. 5 Náskres vstřikování MPI.....	30
Obr. 6 Vstřikovací jednotka BOSCH, systém čerpadlo tryska.....	32
Obr. 7 Schéma systému Common Rail.....	34
Obr. 8 Sací systém s přeplňováním a mezichladičem stlačeného vzduchu	37
Obr. 9 Proudění nasávaného vzduchu turbodmychadlem	38
Obr. 10 Chemické reakce v katalyzátoru.....	40
Obr. 11 Systém EGR	41
Obr. 12 DPF filtr VOLVO Trucks.....	42
Obr. 13 Kanálky částicového filtru.....	43
Obr. 14 Proces přeměny v zásobníkovém katalyzátoru.....	44
Obr. 15 Přeměna NOx na N ₂	46
Obr. 16 Schéma systému dozpracování výfukových plynů.....	47
Obr. 17 Srovnávací tabulka emise NOx a PM.....	47
Obr. 18 Schéma systému dodatečné úpravy emisí EURO VI	48
Obr. 19 Dávkovací tryska AD Blue.....	52
Obr. 20 Řadové vstřikovací čerpadlo motor D16B	55
Obr. 21 Rozmístění snímačů motoru D16B.....	56
Obr. 22 Rozmístění snímačů motoru D16C.....	58
Obr. 23 Schéma systému dodatečné úpravy emisí EURO IV	60
Obr. 24 Rozmístění snímačů motoru D16E.....	61
Obr. 25 Tlumič výfuku s katalyzátorem motoru EURO V.....	64
Obr. 26 Palivový systém motor D16K.....	66

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Složky emisí motorů.....	13
Tab. 2 Kategorie vozidel se spalovacími motory dle EHK	15
Tab. 3 Kategorie paliv pro spalovací motory dle EHK	17
Tab. 4 Federální emisní normy USA	18
Tab. 5 Emisní normy státu Kalifornie	18
Tab. 6 Emisní normy pro vozidla do referenční hmotnosti 2610 kg	19
Tab. 7 Emisní normy pro vznětové motory vozidel nad 3.5 t	20
Tab. 8 Emisní normy pro vznětové motory vozidel nad 3.5 t	21
Tab. 9 Emisní normy pro vznětové motory vozidel nad 3.5 t	21
Tab. 10 Emisní normy pro vznětové motory vozidel nad 3.5 t	22
Tab. 11 Emisní normy pro vznětové motory vozidel nad 3.5 t	23
Tab. 12 Přehled legislativy a emisních norem ČR.....	26
Tab. 13 Emisní normy pro vznětové motory vozidel nad 3.5 t	45

1. ÚVOD

Tato bakalářská práce bude zaměřena na vývoj a požadavky emisních norem pro spalovací motory. Dále bude zaměřena na technické systémy a opatření k redukcí polutantů u vznětových motorů. Zvláštní zaměření bude věnováno systémům selektivní katalytické redukce, filtrům pevných částic a oxidačním katalyzátorům.

A jejich integraci do výfukových systémů vznětových motorů v návaznosti na vývoj emisních norem.

1.1. Historie vznětového motoru

První použitelný spalovací motor, jednalo se plynový čtyřtákní motor, patentovali v roce 1875 dva Němci, N. A. Otto a E. Langen. Plyn byl později nahrazen benzínem, takže se motor stal mobilním a tím se značně rozšířil okruh možného využití.

Vznětový motor je také označován jako diesel, podle svého vynálezce Rudolfa Diesela, který tento typ motoru patentoval v roce 1892. Důvodem pro vznik toho-to motoru byla možnost spalování levnějšího paliva než benzín. Rudolf Diesel ve svém motoru použil kapalně palivo, které získal z oleje podzemnice olejné.

V Lyonu roku 1894 Marius Berliet zkonstruoval a vyrobil jednoválcový motor a postavil první osobní automobil s benzínovým motorem. V roce 1906 vyrobil svůj první nákladní automobil. V roce 1923 Renault jako první výrobce nabídl silniční soupravu tahače. Ve stejném roce se objevila vozidla vybavená motory poháněnými plynem, který vznikal při spalování dřeva, a také první souprava-tahače s posilovačem brzd na všech čtyřech kolech. V roce 1928 byl do nákladního vozidla poprvé namontován vznětový motor.

V polovině třicátých let používala společnost Volvo takzvaný Hesselmanův motor, který se podobal vznětovému motoru. Tento motor se také nazýval „polodiesel“. Spaloval naftu, ale byl přitom také vybaven systémem elektrického zapalování. V roce 1946 společnost Volvo dodala první nákladní vozidlo poháněné vznětovým motorem. By to šestiválcový motor o výkonu 71 kW (96 koní) a objemu přibližně 6 litrů.

V posledních několika desetiletích se vývoj vznětových motorů zaměřil na tři hlavní oblasti:

- Snížení dopadu na životní prostředí
- Dosahování vyšších úspor díky vyšší účinnosti
- Dosahování vyšších výkonů díky vyšší účinnosti

1.2. Příčiny vzniku emisních norem

Moderní lidská společnost si uvědomuje rizika spojená se zhoršením životního prostředí a jejich dopad na lidské zdraví. Ve vyspělých ekonomikách je otázka ochrany životního prostředí jednou z priorit stejně jako udržitelný technický rozvoj a snižování závislosti na produkci ropy. Z těchto důvodů můžeme pozorovat snahu o co nejefektivnější využívání chemické energie paliva a zároveň snahu o postupné snižování produkovaných emisních škodlivin při provozu spalovacích motorů.

1.2.1. Co jsou to emise spalovacího motoru

Při dokonalém spalování uhlovodíkových paliv ve spalovacím motoru, by v ideálním případě vznikaly pouze emise CO₂ (oxid uhličitý) a H₂O (vodní pára).

Ve skutečnosti k dokonalému spalování nedochází, a proto najdeme ve výfukových plynech spalovacího motoru ještě další složky:

- nespálené uhlovodíky (HC), aldehydy, ketony, formaldehydy, polyaromáty (PAH)
- částečně spálené oxidy uhlíku (CO – oxid uhelnatý, CO₂ – oxid uhličitý)
- oxidy dusíku (N₂O – oxid dusný, NO – oxid dusnatý, NO₂ – oxid dusičitý)
- oxidy síry (SO₂ – oxid siřičitý)
- saze jako produkty termického krakování (označovány zkratkou PM z anglického particulate matter), jinak také částice
- dusík (N₂)

- kyslík (O₂)

Tab. 1 Složky emisí motorů

Složka	Jednotka	Zážehový motor	Vznětový motor
N ₂	% obj.	74 – 77	76 – 78
O ₂	% obj.	0,3 – 0,8	2 – 18
H ₂ O	% obj.	3 – 5,5	0,5 – 4
CO ₂	% obj.	5 – 12	1 – 10
CO	% obj.	0 – 12	0 – 0,5
NO _x	% obj.	0 – 0,8	0 – 0,5
Uhlovodíky	% obj.	0,2 – 3	0,01 – 0,5
Aldehydy	% obj.	0 – 0,2	0 – 0,1
Saze	g/m ³	0 – 0,4	0,01 – 1,1
Polyaromáty	µg/m ³	100 – 400	0 – 100

Zdroj: DEKRA školení techniků SME

1.2.2. Limitované složky emisí spalovacího motoru

Limitovanými složkami jsou složky emisí, na které se vztahují současné emisní normy. Z tabulky číslo 1, bychom mezi

limitované složky emisí spalovacího motoru mohli zařadit:

Oxid uhelnatý (CO), ten je pro člověka toxický, neboť se váže místo kyslíku na krevní barvivo a dochází k riziku úmrtí člověka z důvodu nedostatečného přísunu kyslíku do mozku.

Uhlovodíky (HC), jedná se o skupinu uhlovodíků s různou mírou škodlivosti pro lidský organismus. Dráždivě na sliznice působí například akrolein. Vysoce karcinogenní účinek je prokázán u polycyklických aromatických uhlovodíků, ty jsou obecně

označovány zkratkou PAH. V novějších normách (předpisy EHK, nařízení nebo směrnice ES) přibývají k HC i další dělení, na uhlovodíky bez obsahu metanu (NMHC) a metan (CH_4).

Oxidy dusíku (NO_x), dělíme je na oxid dusnatý (NO), jeho škodlivý účinek pro lidské zdraví je nízký. Jeho oxidací vzniká oxid dusičitý (NO_2), ten je již pro lidský organismus velice škodlivý a svým účinkem připomíná nervový plyn. Při vdechnutí dochází k reakci organismu, který uzavírá přístup vzduchu do plic a dochází k dušení způsobenému kašlem. Lidský organismus takto reaguje již na velice nízké koncentrace (NO_2). Velmi zajímavou okolností působení oxidů dusíku je jejich negativní vliv na stavební materiály, jako je například mramor. Což je doloženo zkušenostmi s poškozováním antických památek například v Aténách vlivem husté automobilové dopravy a zvýšené produkci emisí.

Částice (PM), někdy také označované jako saze. Jedná se o drobné částice uhlíku, které samy o sobě nepředstavují závažné zdravotní riziko. Uhlík sám o sobě není toxický. Problémem je, že na drobných částech uhlíku dochází k usazování látek s prokazatelně negativním vlivem na lidské zdraví, jako jsou již výše zmíněné polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH) a ty dlouhodobě negativně působí v plicích sklípcích. Částice, tedy fungují jako jakési nosiče rakovinotvorných látek a z tohoto důvodu jsou také limitovány. V neposlední řadě, částice také bývají často označovány za původce tzv. zimního smogu.

U částic se pak od určitých dat měří buď jen v jedné, nebo v obou v jednotkách, tj. dvěma různými metodami (hmotnost částic v mg/kWh a počet částic #/kWh). (TÜV SÜD Czech s.r.o., 2017)

1.2.3. Nelimitované složky emisí spalovacího motoru

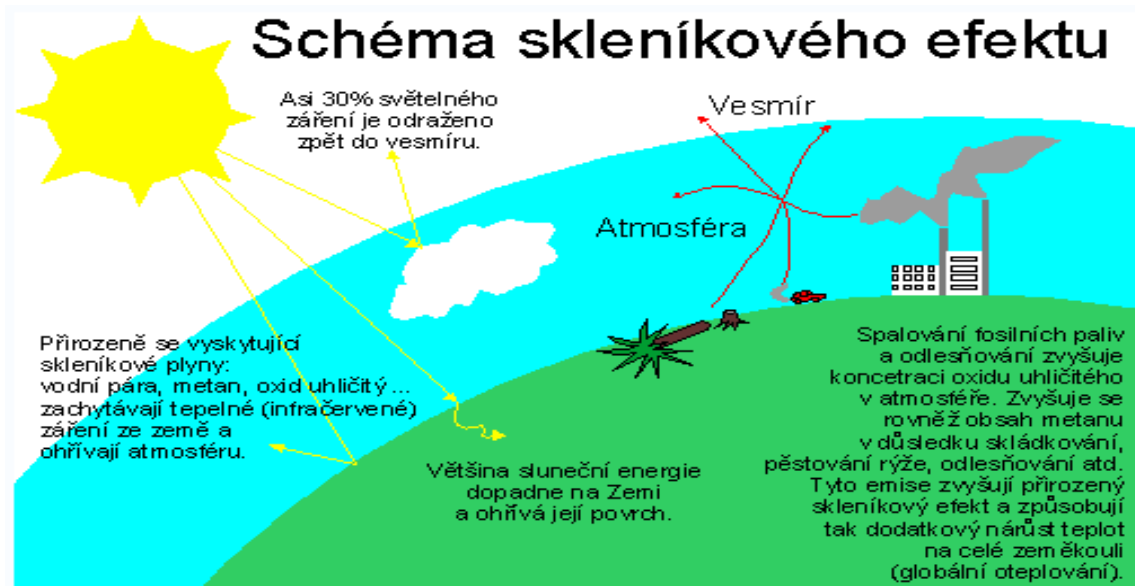
Jsou složky emisí spalovacího motoru, které nejsou legislativně limitovány, a z tabulky č. 1 mezi tyto složky můžeme zařadit:

Kyslík (O_2), dusík (N_2), vodní páru (H_2O) a oxid uhličitý (CO_2).

Oxid uhličitý (CO_2), je produktem dokonalé oxidace a jeho obsah ve spalinách je tedy zcela relevantní. Bývá označován jako tzv. skleníkový plyn, kdy je posuzován jeho

negativní účinek na tvorbu radiační clony. Která omezuje sdílení tepla ze Země a tím dochází k nechtěnému efektu oteplování zemského povrchu se všemi negativy jako například růst hladin oceánů, úbytek rozlohy úrodných oblastí atd.

Obr. 1 Schéma skleníkového efektu



Zdroj: DEKRA školení pracovníků SME

1.2.4. Kategorie vozidel se spalovacími motory podle EHK

Tab. 2 Kategorie vozidel se spalovacími motory dle EHK

Kategorie vozidla	Popis
L	motorová vozidla zpravidla s méně než čtyřmi koly. Ta se dále dělí na motocykly, mopedy a motorové tříkolky. (Vzhledem k tomu, že práce se primárně zabývá emisemi vznětových motorů, které nejsou v dané kategorii rozšířeny. Není toto další dělení uvedeno.)
M	motorová vozidla s nejméně čtyřmi koly určená pro přepravu osob
M ₁	vozidla, která mají nejvýše osm míst k přepravě osob, kromě místa řidiče, nebo víceúčelová vozidla
M ₂	vozidla, která mají více než osm míst k přepravě osob, kromě místa řidiče, a jejichž nejvyšší přípustná hmotnost nepřevyšuje 5 000 kg
M ₃	vozidla, která mají více než osm míst k přepravě osob, kromě místa řidiče, a jejichž největší přípustná hmotnost převyšuje 5 000 kg
N	motorová vozidla s nejméně čtyřmi koly určená pro dopravu zboží
N ₁	vozidla určená pro dopravu nákladů s maximální hmotností nepřevyšující 3 500 kg
N ₂	vozidlo, jehož největší přípustná hmotnost převyšuje 3 500 kg , avšak nepřevyšuje 12 000 kg
N ₃	vozidlo, jehož největší přípustná hmotnost převyšuje 12 000 kg
O	přípojná vozidla, tato kategorie se dále dělí podle hmotností (Vzhledem k tomu, že práce se primárně zabývá emisemi vznětových motorů, které nejsou v dané kategorii rozšířeny. Není toto další dělení uvedeno.)
T	traktory zemědělské nebo lesnické
S	pracovní stroje
R	ostatní vozidla, která nelze zařadit do výše uvedených kategorií

Zdroj:<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29resolutions/ECE-TRANS-WP29-78-r4e.pdf>

Tato práce je dále zaměřena především na vozidla se vznětovými motory kategorií N2, N3, M2, M3.

1.2.5. Kategorie paliv pro spalovací motory podle EHK

Tab. 3 Kategorie paliv pro spalovací motory dle EHK

BA	E5
NM	E10
LPG A	E75
LPG B	E85
CNG G20	B5
CNG G25	B7
H2 , (H2 + NG)	ED95

Zdroj: DEKRA školení techniků SME

Jestliže jsou prováděny emisní zkoušky spalovacích motorů, je nutné použít tzv. referenční paliva. Tedy paliva s jasně danými vlastnostmi a odpovídající předepsaným normám.

2. CÍL PRÁCE

Cílem této rešeršní práce je popsat vývoj emisních norem spalovacích motorů ve světě. A přehled technických řešení ovlivňujících množství a produkci emisí. V práci bude popsána jejich postupná aplikace do běžného provozu. To bude obsahem teoretické části. Praktická část bude popisovat vývoj konkrétního vznětového motoru pro nákladní dopravu a jeho modifikace. Pokusíme se také vyhodnotit jaký dopad po stránce ekonomické, má vývoj emisních limitů pro uživatele vozidel se spalovacími motory.

2.1. Emisní normy ve světě

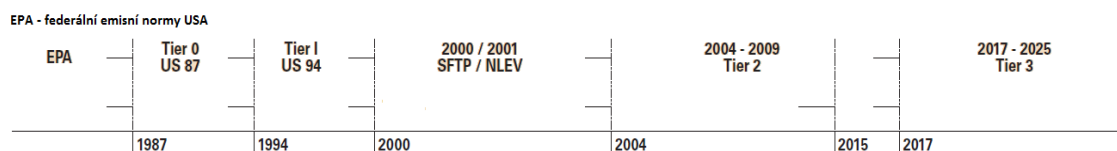
Ve vyspělých státech jsou ustanoveny pověřené orgány tzv. administrativního dozoru, které vydávají oprávnění k provozu na území jednotlivých států v případě, že vozidlo,

nebo jeho motor plní hodnoty produkce emisí požadované legislativními normami. Pokud se podíváme na emisní normy v globálním světovém měřítku, zjistíme existenci více přístupů a rychlostí zavádění emisních norem. A nesmíme zapomenout na skutečnost, že emisní normy se v některých státech týkají i lodních motorů, motorů stacionárních a motorů pro provoz mimo pozemní komunikace. Sem patří i spalovací motory určené pro pohon lokomotiv.

2.1.1. Emisní normy v USA

Jedním z prvních orgánů administrativního dozoru zabývajícím se emisemi spalovacích motorů ve světovém měřítku je americký Úřad pro ochranu prostředí USA – EPA.

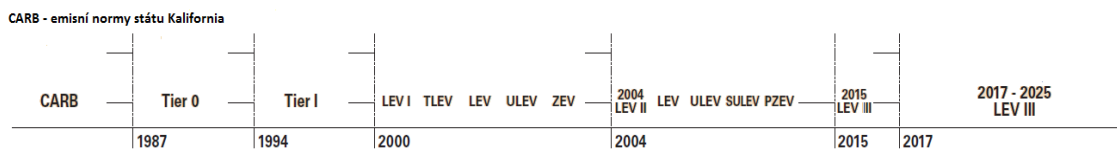
Tab. 4 Federální emisní normy USA



Zdroj: DELPHI Worldwide emission standarts

Jako průkopník vzniku emisních norem pro spalovací motory automobilů bývá označován americký stát Kalifornie, zde byla vypracována a poprvé použita metodika měření emisí spalovacího motoru osobního automobilu již v roce 1966. V Kalifornii v současné době rozlišujeme emisní normy označované jako LEV – z anglického Low Emission Vehicle, jedná se normy s označením LEV II, LEV III.

Tab. 5 Emisní normy státu Kalifornie



Zdroj: DELPHI Worldwide emission standarts

2.1.2. Emisní normy v EU

V zemích evropské unie je orgánem zabývající se emisními normami spalovacích motorů Motor Vehicle Emission Group zkratka MVEG, která je součástí administrativy EU. V rámci EU jsou emisní předpisy harmonizované, jsou tedy závazné pro všechny členské státy. Zkratkou obecně označující, jakou emisní normu spalovací motory splňují, je EURO s číslicemi 1 až 6. Ovšem můžeme se setkat i s emisní normou označovanou jako EEV (zkratka z výrazu Environmental Enhanced Vehicle), která je jakýmsi mezistupněm mezi normami EURO V a VI.

Nařízení č. 715/2007/ES (ve znění prováděcího nařízení 692/2008) určuje pravidla pro plnění emisních norem silničních vozidel kategorií **M1, N1, M2, N2** do referenční hmotnosti 2610 kg. Nařízení je průběžně aktualizováno, konkrétně poslední změna má číslo 646/2016 (EU) ze dne 20.4. 2016.

Tab. 6 Emisní normy pro vozidla do referenční hmotnosti 2610 kg

Kategorie vozidel M1,N1, M2,N2		(RM) [kg]	Nejvyšší povolené emisní limity [g/km]						
			CO	HC+NO _x	NO _x	PM			
Euro 3 1-1- 2000	I	RM≤1,305	0.64	0.56		0.50		0.05	
	II	1,305<RM< 1,760	0.80	0.72		0.65		0.07	
	III	RM>1,760	0.95	0.86		0.78		0.10	
Euro 4 1-1- 2005	I	RM≤1,305	0.50	0.30		0.25		0.025	
	II	1,305<RM< 1,760	0.63	0.39		0.33		0.04	
	III	RM>1,760	0.74	0.46		0.39		0.06	
			CO [mg/km]	THC+NO _x [mg/km]	THC [mg/km]	NMHC [mg/km]	NO _x [mg/km]	PM ²⁾ [mg/km]	PN ³⁾ [#/km]
Euro 5 9-1- 2009	I	RM≤1,305	500	230	-	-	180	5.0/4.5	6.0×10 ¹¹
	II	1,305<RM< 1,760	630	295	-	-	235		
	III ⁵⁾	RM>1,760	740	350	-	-	280		
Euro 6 9-1- 2014	I	RM≤1,305	500	170	-	-	80		
	II	1,305<RM< 1,760	630	195	-	-	105		
	III	RM>1,760	740	215	-	-	125		

Zdroj: Nařízení č. 646/2016 (EU)

Nařízení č. 595/2009/ES určuje pravidla pro plnění emisních norem silničních vozidel kategorií **M3 a N3**; popřípadě kategorie **N2** s referenční hmotností nad 2 610 kg a

vozidel **M2**. Nařízení je průběžně aktualizováno, v současné době je poslední aktualizací 582/2011/ES týkající se změn zkoušek motorů. A dále 64/2012/ES zpřísňující limity emisí HC, NO_x, PM (pro emisní normu EURO VI), jehož poslední aktuální nařízení je uvedené pod číslem 2016/1718 ze dne 20. 9. 2016.

Tab. 7 Emisní normy pro vznětové motory vozidel nad 3.5 t

EU emisní normy pro vznětové motory, vozidla kategorie nad 3,5 t v g/kWh(kouř v m ⁻¹)							
Emisní třída	Datum platnosti	Typ testu	CO	HC	NO _x	PM	Kouř
Euro I	1992,< 85kW	ECE R-49	4,5	1,1	8,0	0,612	
	1992,> 85kW		4,5	1,1	8,0	0,36	
Euro II	1996.10		4,0	1,1	7,0	0,25	
	1998.10		4,0	1,1	7,0	0,15	
Euro III	1999.10 jen EEV	ESC&ELR	1,5	0,25	2,0	0,02	0,15
	2000.10		2,1	0,66	5,0	0,10 0,13 ^a	0,8
Euro IV	2005.10		1,5	0,46	3,5	0,02	0,5
Euro V	2008.10		1,5	0,46	2,0	0,02	0,5
Euro VI	2013.01		1,5	0,13	0,4	0,01	

^a pro motory s nižším objemem než 0,75 dm³ a s měrným výkonem dosaženým nad 3000 otáček/min

Zdroj: Nařízení č. 595/2009/ES

2.1.3. Stručný přehled emisních norem ostatní státy světa

Tab. 8 Emisní normy pro vznětové motory vozidel nad 3.5 t

Země	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Írán	Euro III	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV
SASO	Euro II	Euro II	Euro III	Euro III	Euro III	Euro V
Izrael	Euro V	Euro V	Euro V	Euro VI	Euro VI	Euro VI
Ostatní země Středního východu	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III
Argentina / Brazílie	Euro IV	Euro V	Euro V	Euro V	Euro V	Euro V
Chile	Euro III	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV
Kolumbie	Euro II	Euro II	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV
Ostatní země Latinské Ameriky	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III

Zdroj: VOLVO Group Czech – školení Renault EATS Euro VI

Tab. 9 Emisní normy pro vznětové motory vozidel nad 3.5 t

Země	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Jihoafrická republika	Euro III	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV
Nový Zéland	Euro V	Euro V	Euro V	Euro V	Euro V	Euro VI
Nová Kaledonie	Euro III	Euro III	Euro III	Euro V	Euro V	Euro V
DOM-TOM	Euro V	Euro V	Euro V	Euro VI	Euro VI	Euro VI
Ostatní africké země	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III
Maroku BU, nové typy	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV
Maroku BU, všechny typy	Euro III	Euro III	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV
Maroko CKD, nové typy	Euro III	Euro III	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV
Maroko CKD, staré typy	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III	Euro IV	Euro IV
Alžírsko/Tunisko	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III
Turecko	Euro V	Euro V	Euro V	Euro VI (nové modely)	Euro VI	Euro VI

Zdroj: VOLVO Group Czech – školení Renault EATS Euro VI

Tab. 10 Emisní normy pro vznětové motory vozidel nad 3.5 t

Země	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Rusko	Euro III	Euro IV	Euro IV	Euro V	Euro V	Euro V
Rusko (nová VTA)	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro V	Euro V	Euro V
Bělorusko	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV
Kazachstán	Euro III	Euro III	Euro III	Euro IV	Euro IV	Euro IV
Ukrajina	Euro III	Euro IV	Euro IV	Euro V	Euro V	Euro V
Čínská města	Euro IV	Euro IV	Euro V	Euro V	Euro V	Euro V
Čína	Euro III	Euro III	Euro III	Euro IV	Euro IV	Euro IV
Tchaj-wan	Euro IV	Euro V	Euro V	Euro V	Euro V	Euro V
Indická města	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro V	Euro V	Euro V
Indie	Euro III	Euro III	Euro III	Euro IV	Euro IV	Euro IV
Korea	Euro V	Euro V	Euro V	Euro V	Euro V	Euro V
Indonésie	Euro II	Euro II	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III
Malajsie	Euro II	Euro II	Euro II	Euro II	Euro II	Euro II
Thajsko	Euro III	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV	Euro IV
Vietnam	Euro II	Euro II	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III
Ostatní asijské země	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III

Zdroj: VOLVO Group Czech – školení Renault EATS Euro VI

2.1.4. Emisní normy v ČR

V ČR je orgánem administrativního dozoru Ministerstvo dopravy České republiky – odbor provozu silničních vozidel. Jestli předmětné zařízení (motorové vozidlo) plní stanovené hodnoty emisí škodlivin, se prokazuje provedením měření emisních hodnot na pracovišti pověřeném technickým dozorem, nebo pod dohledem pověřeného pracovníka takového pracoviště např. na zkušebně výrobce motoru. Pro zkoušení exhalací motorových vozidel nebo jejich motorů je určena pověřená zkušebna, kterou je v ČR například zkušebna TÜV SÜD Czech s.r.o. nebo DEKRA CZ a.s. v Praze. Dřívější praxe byla taková, že většina výrobců v České republice schvalovala vozidla (motory) z hlediska emisí škodlivin právě v ČR – v současné době není výjimkou, že tuzemští výrobci provádějí schvalovací zkoušky kdekoliv v Evropě a naopak výrobci ze zahraničí na zkušebnách v ČR.

Každé měření probíhá přesně podle příslušného emisního předpisu, kde je uveden seznam měřených veličin a limity, se kterými mají být následně porovnávány naměřené hodnoty.

Povinnost plnit normy EU (nařízení, směrnice) pro typy vozidel (motorů) nově uváděných do provozu je zakotvena v zákoně č. 56/2001Sb. v posledním platném znění, který se na tyto evropské normy odvolává.

Tabulka s jednotlivými úrovněmi “EURO”, s čísly změnovým nařízením (směrnic) a limity jednotlivých škodlivin pro tzv. “velká auta” je uvedena v kapitole 2.1.5. V tabulce 2.1.6 je potom uveden přehled evropských norem (směrnic, nařízením) a jejich porovnání s celosvětově platnými předpisy EHK-OSN v kontextu s daty vstupu v platnost.

Další, samostatnou kapitolou této práce, by mohlo být měření emisí vozidel v provozu podle požadavků zákona č. 56/2001 Sb. a jeho prováděcích předpisů. Vzhledem k šířce této problematiky a probíhajícím novelizacím uvedených norem a metodických postupů v roce 2017 se domníváme, že by toto mělo být námětem pro samostatnou odbornou práci.

2.1.5. Nejvyšší povolené hodnoty emisí NA a BUS (vozidla >2.610 kg; limitní hodnoty pro zkoušky typu a kontrolu série) – platnost v ČR a EU

Tab. 11 Emisní normy pro vznětové motory vozidel nad 3.5 t

	do EURO I	EURO I	EURO I	**	EURO II
Směrnice, Nařízení	88/77/EHS	91/542/EHS	91/542/EHS		91/542/EHS
ZKOUŠKA TYPU	-	01.07.1992	-	NV	01.10.1995
KONTROLA SÉRIE	01.10.1990	-	01.10.1993	1.REG	01.10.1996
škodliviny	Limitní hodnoty pro 13-ti bodový test				
CO (g/kWh)	11,2	4,5	4,9		4
HC (g/kWh)	2,4	1,1	1,23		1,1
THC (g/kWh)	-	-	-		-
NO_x (g/kWh)	14,4	8	9		7
CH₄ (g/kWh)	-	-	-		-
NMHC (g/kWh)	-	-	-		-
NH₃ (ppm)	-	-	-		-
Methan (g/kWh)	-	-	-		-

Částice PM ^(c) e) (g/kWh)	-	0,36*	0,4*		0,15 ^(g)
Částice PN ^{e)} (počet)	-	-	-		-
Kouřivost (m ⁻¹)	-	-	-		-

	EURO III	EURO IV	EURO V	EEV	EURO VI
Směrnice, Nařízení	99/96/ES A	99/96/ES B1	99/96/ES B2	99/96/ES C - EEV	ES 582/2011 Příloha XV VM ***
ZKOUŠKA TYPU	01.10.2000	01.10.2005	01.10.2008	-	31.12.2012
KONTROLA SÉRIE	01.10.2001	01.10.2006	01.10.2009	01.07.2000	31.12.2013
škodliviny	Limitní hodnoty pro zkoušku ESC a ELR				WHSC
CO (g/kWh)	2,1	1,5	1,5	1,5	1,5
HC (g/kWh)	0,66	0,46	0,46	0,25	-
THC (g/kWh)	-	-	-	-	0,13
NO_x (g/kWh)	5	3,5	2	2	0,4 ^{a)}
CH₄ (g/kWh)	-	-	-	-	-
NMHC (g/kWh)	-	-	-	-	-
NH₃ (ppm)	-	-	-	-	10
Methan (g/kWh)	-	-	-	-	-
Částice PM ^(c) e) (g/kWh)	0,10/0,13 ^{d)}	0,02	0,02	0,02	0,01
Částice PN ^{e)} (počet)	-	-	-	-	8,0x10 ¹¹
Kouřivost (m ⁻¹)	0,8	0,5	0,5	0,15	-

EEV: Enhanced Environmentally Friendly Vehicle

ESC: European Stationary Cycle

ELR: European Load Reponse Test

ETC: European Transient Cycle

WHSC: World Harmonized Stationary Cycle

WHTC: World Harmonized Transient Cycle

ZKOUŠKA TYPU data platná pro schválení typu motoru (vozidla)

KONTROLA SÉRIE data platná pro kontrolu série

NV: data platná pro nová vozidla

1.REG: data platná pro první registrace vozidel

VM: vznětový motor, palivo nafta

ZM: zážehový motor, palivo benzín

	EURO III	EURO IV	EURO V	EEV	EURO VI	EURO VI
Směrnice, Nařízení	99/96/ES A	99/96/ES B1	99/96/ES B2	99/96/ES C - EEV	ES 582/2011 Příloha XV VM ***	ES 582/2011 Příloha XV ZM ***
ZKOUŠKA TYPU KONTROLA SÉRIE	01.10.2000	01.10.2005	01.10.2008	-	31.12.2012	31.12.2012
	01.10.2001	01.10.2006	01.10.2009	01.07.2000	31.12.2013	31.12.2013
škodliviny	Limitní hodnoty pro zkoušku ETC				WHTC	
CO (g/kWh)	5,45	4	4	3	4	4
HC (g/kWh)	0,78	0,55	0,55	0,4	-	-
THC (g/kWh)	-	-	-	-	0,16	-
NOx (g/kWh)	5	3,5	2	2	0,46 ^{a)}	0,46 ^{a)}
CH₄ (g/kWh)	-	-	-	-	-	0,5
NMHC (g/kWh)	-	-	-	-	-	0,16
NH₃ (ppm)	-	-	-	-	10	10
Methan (g/kWh)	1,6	1,1	1,1	0,65	-	-
Částice PM ^{c) e)} (g/kWh)	0,16/0,21 ^{d)}	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01
Částice PN ^{e)} (počet)	-	-	-	-	6,0x10 ¹¹	^{f)}
Kouřivost (m ⁻¹)	-	-	-	-	-	-

Zdroj: Směrnice a Nařízení ES čísla uvedená v tabulce

- a) Hodnota může být později upravena v důsledku zvýšení obsahu NO₂
- b) Platí pouze pro motory na pohon NG
- c) Nevztahuje se na motory poháněné plynem v úrovních A, B1 a B2 při zkoušce ETC
- d) Pro motory se zdvihovým objemem/válec menším než 0,75 dm³ a otáčkami jmenovitého výkonu nad 3000 1/min
- e) Do 31.12.2012 bude stanovena měřicí procedura pro měření částic pro zážehové a vznětové motory (EURO VI, WHSC a WHTC)

f) Limitní hodnota bude zavedena před 31.12. 2012

g) 0,25 g/kWh pro motory se zdvihovým objemem/válec menším než 0,75 dm³ a otáčkami jmenovitého výkonu nad 3000 1/min

a pro motory s výkonem menším než 85 kW do 30.09.1997 pro schválení typu a 30.09.1998 pro první registrace

* Pro vozidla s výkonem motoru > 85 kW se limitní hodnota pro částice PM násobí koeficientem 1,7

** Od EURO II: limitní hodnoty pro všechna vozidla = limitní hodnoty pro nové typy

*** EURO VI (Nařízení komise č. 627/2014) - data náběhu podle písmenného označení:

2.1.6. Souhrn legislativy a emisních norem v ČR

Tab. 12 Přehled legislativy a emisních norem ČR

	do EURO I	EURO I	EURO I	**	EURO II	EURO III	EURO IV	EURO V	EEV	EURO VI	EURO VI
Základní směrnice, Nařízení	88/77/EHS	91/542/EHS	91/542/EHS		91/542/EHS	99/96/ES	99/96/ES	99/96/ES	99/96/ES	ES 582/2011	ES 582/2011
						A	B1	B2	C - EEV	Příloha XV	Příloha XV
ZKOUŠKA TYPU	-	01.07.1992	-	NV	01.10.1995	01.10.2000	01.10.2005	01.10.2008	-	31.12.2012	31.12.2012
KONTROLA SÉRIE	01.10.1990	-	01.10.1993	1.REG	01.10.1996	01.10.2001	01.10.2006	01.10.2009	01.07.2000	31.12.2013	31.12.2013
Směrnice, Nařízení	---	Limity A			Limity B	Limity A	Limity B, (B1)	Limity B2	Limity C		
		91/542-A	91/542-A		91/542-B	98/69	98/69	1999/96 (B2,D,E,F,G)	2005/78 (H,I,J,K)	715/2007 (N až Y)	
		96/1	96/1		96/1-B	98/69 (AI,AII,AIII)	98/77	2001/27 (B2,D,E,F,G)	2006/51 (H,I,J,K)	692/2008 (N až Y)	
		96/1-A	96/1-A		96/69	1999/96 (Ø,A)	1999/96 (B1)	715/2007 (A,B,C až M)	2006/81 (H,I,J,K,L)	566/2011 (N až Y)	
					98/77	1999/102	1999/102	692/2008 (A,B,C až M)	2008/74 (H,I,J,K)	459/2012 (N až Y a ZA,ZB,ZC,ZX,ZY,ZZ)	
					94/12	2001/1	2001/1	566/2011 (A,B,C až M)		630/2012 (N až Y a ZA,ZB,ZC,ZX,ZY,ZZ)	
					96/44	2001/27	2001/27 (B1)	459/2012 (F,G,H až M)		143/2013 (N až Y a ZA,ZB,ZC,ZX,ZY,ZZ)	
						2001/100	2001/100	630/2012 (F,G,H až M)		171/2013 (N až Y a ZA,ZB,ZC,ZX,ZY,ZZ)	
						2002/80	2002/80	143/2013 (I,K,L až M)		195/2013 (N až Y a ZA,ZB,ZC,ZX,ZY,ZZ)	
						2003/76	2003/76	171/2013 (I,K,L až M)		519/2013 (N až Y a ZA,ZB,ZC,ZX,ZY,ZZ)	
						2005/55	2005/55 (B, C, B1)	195/2013 (I,K,L až M)		133/2014 (T až Y a ZA,ZB,ZC,ZX,ZY,ZZ)	
						2005/78	2005/78 (B,C)	519/2013 (I,K,L až M)		136/2014 (T až Y a ZA,ZB,ZC,ZX,ZY,ZZ)	
						2006/51	2006/51 (B,C)	133/2014 (M)		595/2009	
						2006/81	2006/81 (B,C)	136/2014 (M)		582/2011 (A,B,C)	
						2006/96 (Ø,A)	2006/96 (B)	2005/55 (B2,D až G)		582/2011 (N až Y, ZA,ZB,ZC)	
								2005/78 (B2,D až G)		64/2012 (A,B,C)	
								2006/51 (B2,D až G)		519/2013 (A,B,C)	
								2006/81 (B2,D až G)		133/2014 (A,B,C)	
								2008/74 (B2,D až G)		136/2014 (A,B,C)	
								2006/96 (B2,D až G)	2006/96 (H,I,J,K)	627/2014 (A,B,C)	
										2016/1718	
Předpis EHK	49 R 00	49 R 02 Ø	49 R 02		49 R 02 B	49 R 03	49 R 03 B1	83 R 05 (J,K,L,M)	49 R 05 (H,I,J,K)	83 R 07 (T,U,W,X,Y a ZA,ZD,ZE,ZF)	
	49 R 01 Ø, A	49 R 02 A	49 R 02 A		83 R 04 C	49 R 03 A	49 R 04 B1	49 R 03 B2		49 R 06 (A,B,C)	
						49 R 04	83 R II 05 C	49 R 04 B2			
						49 R 04 A		49 R 05 (D,E,F,G)			
						49 R 05 (B,C)		49 R 03 C			
						83 R I 05 C		49 R 04 C			

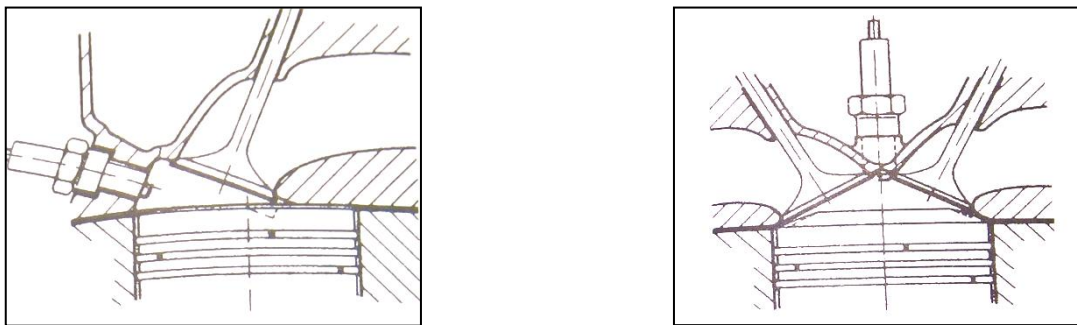
Zdroj: Směrnice a Nařízení ES čísla uvedená v tabulce

2.2. Technická řešení spalovacího motoru ovlivňující kvalitu spalování

2.2.1. Optimalizace spalovacího prostoru

Tvar spalovacího prostoru má vliv na kvalitu spalování, podílí se na množství produkovaných emisí, hlučnosti spalování a průběhu točivého momentu motoru. Musí zabezpečit dokonalé prohoření směsi, co nejnižší tepelné ztráty způsobené přestupem tepla do hlavy válců a stěny válce. Má vliv na kvalitu vypláchnutí čerstvou směsí.

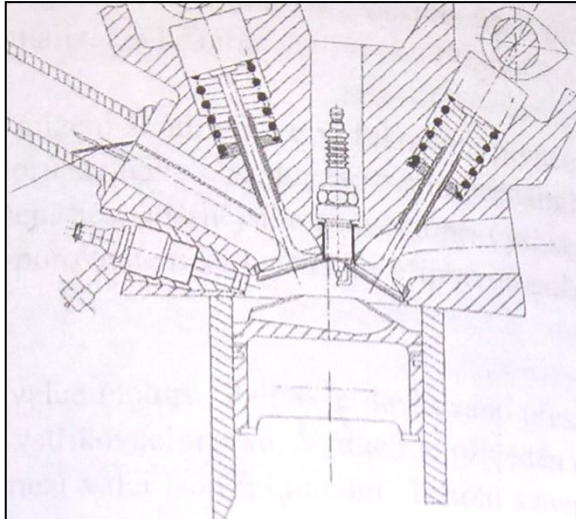
U zážehových motorů s nepřímým vstřikem paliva jsou nejčastěji používaným tvarem spalovacího prostoru tvary polokulové a klínové.



Obr. 2 Klínový spalovací prostor (vlevo) a polokulový spalovací prostor (vpravo)

Zdroj: Vlk F. 2003 Vozidlové spalovací motory

Zážehové motory s přímým vstřikem paliva používají tvar spalovacího prostoru který je tvořen tvarem hlavy válců a tvarem pístu s deflektorem a prohlubní. V hlavě válce je kromě standardní zapalovací svíčky umístěna i tryska paliva. Ve spalovacím prostoru dochází k vrstvení směsi, kdy u svíčky je směs bohatší a hlavní spalování probíhá v oblasti směsi chudé. Výhodou vrstvení směsi je nízká spotřeba paliva a nižší emise NO_x .



Obr. 3 Spalovací prostor zážehového motoru s přímým vstřikem paliva, píst s deflektorem

Zdroj: Vlk F. 2003 Vozidlové spalovací motory

Vznětové motory s nepřímým vstřikem paliva jsou někdy nazývány komůrkové, nebo také s děleným spalovacím prostorem. Tvar spalovacího prostoru je dělený, tvoří jej komůrka (vírová, tlaková) a tvarovaný píst s kanálkem, který má za úkol zvýšit energii víření. Výhodou tohoto řešení je měkčí chod, motor není tak hlučný a neklade vysoké nároky na kvalitu vstřiku paliva. Hlavní nevýhodou je vyšší měrná spotřeba paliva oproti přímému vstřiku paliva.

Vznětové motory s přímým vstřikem paliva, někdy také nazývané s neděleným spalovacím prostorem. Tvar spalovacího prostoru je tvořen převážně tvarem pístu. Tvary pístu jsou kulovité, popřípadě prstencovité. Nevýhodou je tvrdší a hlučnější chod motoru, což klade vyšší nároky na dodatečné odhlučnění motoru. Hlavní výhodou je nízká měrná spotřeba paliva.



Obr. 4 Píst prstencového tvaru

Zdroj: Autor práce

2.2.2. Regulace doby žhavení

U vznětových motorů je pro zabezpečení nastartování motoru za nízké teploty okolí vhodné, použití žhavicí svíčky. Žhavicí svíčka kromě startu motoru, plní také funkci dožhavení, kdy po nastartování motoru ještě okolo 3 minut žhaví a tím příznivě ovlivní kvalitu emisí. Snižuje především produkci sazí a uhlovodíků. U velkých vznětových motorů jsou žhavicí svíčky nahrazeny předehřevem nasávaného vzduchu v sacím sběrném potrubí na hlavě válců.

2.2.3. Vstřikování paliva

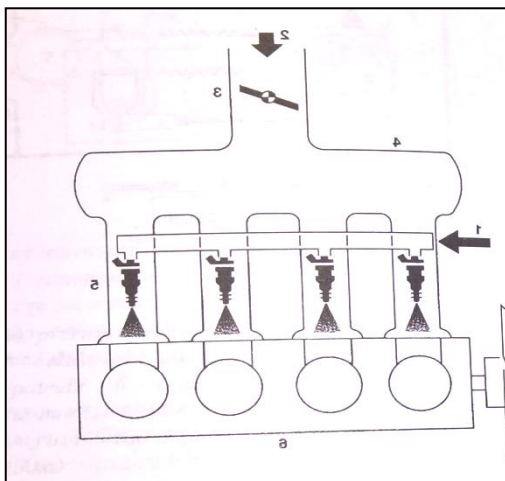
U zážehových motorů umožňuje elektronicky řízené vstřikování paliva přesné odměření dávky v závislosti na jízdních podmínkách. To umožňuje maximální hospodárnost a snížení hodnot emisí. Existují tři typy vstřikování paliva:

Simultánní vstřikování – vstřik probíhá na všech vstřikovacích ventilech v jeden okamžik dvakrát za otáčku vačkové hřídele. Okamžik vstřiku je pevně stanoven.

Skupinové vstřikování – dvě skupiny vstřikovacích ventilů, kdy každá skupina vstřikuje jednou za otáčku vačkové hřídele. Časový rozdíl mezi vstřiky jednotlivých skupin je jedna otáčka klikové hřídele. Vstřikování lze časovat podle jízdních podmínek.

Sekvenční vstřikování – vstřikovací ventily jsou ovládány nezávisle a pro každý válec zvlášť. Okamžik vstřiku je plně programovatelný v závislosti na provozních podmínkách.

U zážehových motorů dále rozlišujeme vstřikování na **vícebodové**, zkratka **MPI** z anglického Multi Point Injection, kdy každý válec má přiřazen ke svému sacímu kanálu vlastní vstřikovač. Toto řešení je je hospodárnější než starší verze jednobodového vstřikování, kdy bylo palivo vstřikováno do společného sacího potrubí pro všechny válce. Můžeme říct, že u tohoto vstřikování vstřikovač vlastně jen nahrazuje karburátor. Dávka paliva je přesnější, ale zůstává nevýhoda možnosti kondenzace určitého množství paliva na stěnách sacího potrubí zejména u studeného motoru. Po roce 2000 se začíná stále výrazněji prosazovat přímý vstřik paliva u zážehových motorů a to z důvodů vyšší hospodárnosti. Vlivem přesného dávkování a díky vhodnému tvarování spalovacího prostoru lze dosáhnout ekonomického provozu použitím vrstvené směsi paliva, tak požadovaného výkonu při použití homogenní až bohaté směsi. Aby palivová soustava mohla takto měnit charakteristiku spalovací směsi, pracuje se vstřikovacím tlakem až 12 MPa. V nízkém zatížení je regulační charakteristika podobná vznětovému motoru, směs paliva je chudá, $\lambda = 1,5$ až 3,0 a v zatížení se směs mění na bohatou $\lambda = 0,8$. (Vlk F., 2003)



Obr. 5 Nákres vstřikování MPI

Zdroj: Vlk F. 2003 Vozidlové spalovací motory

Vstřikování paliva u vznětových motorů prochází neustálým vývojem, neboť je zřejmé, že čím dokonalejšího rozprachu paliva dosáhneme. Tím je proces spalování paliva efektivnější a dochází při něm i k menší produkci emisí. Starší typy vznětových motorů pracovaly obvykle s řadovými vstřikovacími čerpadly, ta dosahovala tlaku v rozmezí 25 MPa až 120 MPa. Regulace dávky probíhala mechanicky pomocí regulačního táhla, nebo elektronicky.

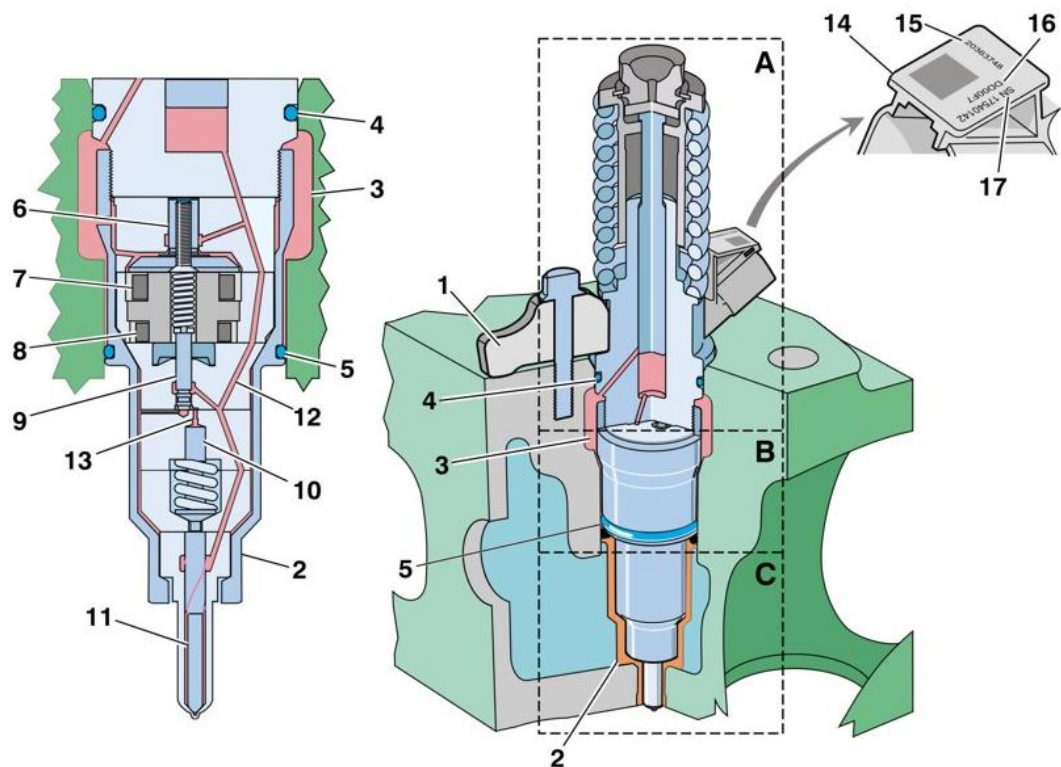
Další vývojovou variantou jsou řadová vstřikovací čerpadla se zdvihovými šoupátky. Pomocí šoupátka bylo možné měnit úvodní zdvih čerpadla i objem dávky.

Rotační vstřikovací čerpadla mají mechanický regulátor otáček, nebo elektronický regulátor s integrovaným přesuvníkem vstřiku. Mají jeden výtlačný element pro všechny válce.

Rotační vstřikovací čerpadla s axiálním pístem dosahují maximálního tlaku okolo 900 barů. Ovšem oproti řadovým vstřikovacím čerpadlům má dokonalejší regulaci dávky i předvstřiku v závislosti na provozních podmínkách. Má vlastní elektronickou řídicí jednotku a dávka je řízena rychlospínacím vysokotlakým elektromagnetickým ventilem. Předvstřik je ovládán elektromagnetickým ventilem. Typickým představitelem tohoto typu čerpadel je BOSCH VP30.

Rotační čerpadlo s radiálními písty se používá u vyšších výkonových verzí vznětových motorů nad 74 kW, umožňuje dosáhnout vstřikovacího tlaku až 160 MPa. Například BOSCH VP44.

Vstřikovací systém UIS, kdy vstřikovací jednotka namontovaná v hlavě válce je zároveň i čerpadlem, umožňuje dosáhnout hodnoty vstřikovacího tlaku až 205 MPa. Obvykle bývá poháněna vačkovým hřídelem. Tato jednotka je regulována řídicí jednotkou motoru, která po síti CAN vyhodnocuje údaje snímačů motoru a vozidla. Řídicí jednotka v závislosti na jízdních podmínkách řídí dávku paliva i předvstřik. A reguluje samostatně dávky paliva do jednotlivých válců i v závislosti na stavu jednotlivých vstřikovacích jednotek.



Obr. 6 Vstřikovací jednotka BOSCH, systém čerpadlo tryska

Zdroj: VOLVO Group Czech – IMPACT

Vstřikovací jednotka se nachází vertikálně nad středem každého válce, mezi čtyřmi ventily. V hlavě válců je zajištěna třmenem (1). Spodní část vstřikovací trysky je oddělena od pláště chladičí kapaliny kuželovým pouzdrům z nerezavějící oceli (2). Kruhový prostor pro přívod paliva (3) kolem každé vstřikovací trysky je utěsněn dvěma O-kroužky (4), (5).

Vstřikovací jednotku v podstatě lze rozdělit na tři hlavní části:

(A) Čerpadlo

(B) Ventil (akční člen)

(C) Tryska

Část "ventil" zahrnuje dva elektromagnetické ventily, tj. přetokový ventil (6) a jehlový ventil (9), s cívkami elektromagnetů (7) a (8), a dále vratné pružiny.

Během plnicí fáze se píst čerpadla pohybuje směrem vzhůru a palivo z palivových kanálů v hlavě válců je vtlačováno do vstříkovací jednotky.

Během přetokové fáze se píst čerpadla pohybuje směrem dolů a palivo je vytlačováno zpět, ven do palivových kanálů v hlavě válců. Když cívky elektromagnetů nejsou vybudeny a přetokový ventil je otevřen, nemůže v palivovém kanálu k trysce vzniknout žádný tlak.

Během fáze nárůstu tlaku je cívka elektromagnetu přetokového ventilu vybudena a přetokový ventil se uzavře. V palivovém kanálu (12) se tak vytvoří vysoký tlak. Vysoký tlak se vytvoří rovněž v komoře (13) za jehlovým ventilem, což má vliv na píst (10) jehlového ventilu a brání jehlovému ventilu (9) v otevření trysky (11).

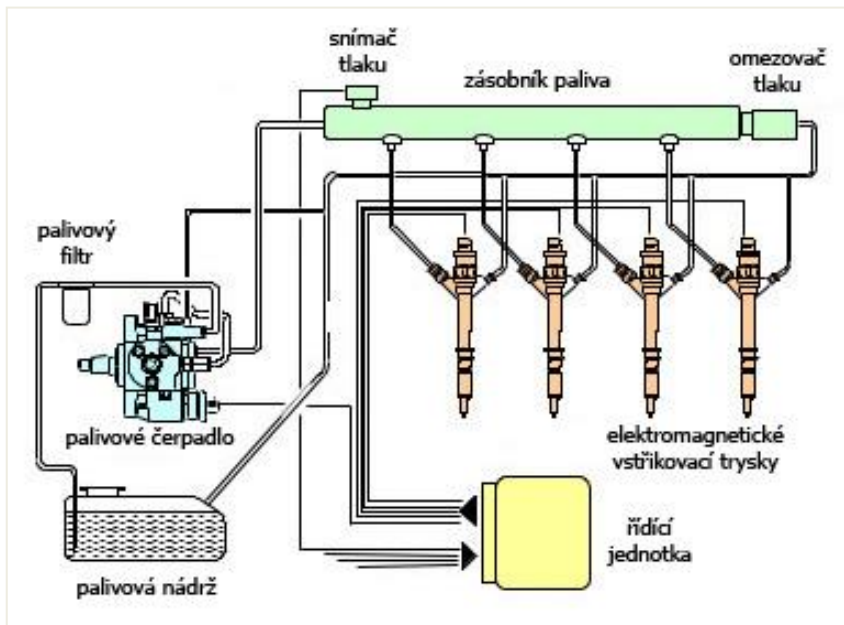
Fáze vstříknutí nastane, jakmile je dosaženo požadovaného tlaku. Cívka elektromagnetu jehlového ventilu je vybudena a otevře jehlový ventil (9). Vysoký tlak působící na píst jehlového ventilu je tak uvolněn a tryska (11) se otevře. Jemně rozptýlené palivo je pod velmi vysokým tlakem rozprašováno do spalovacího prostoru motoru.

Vstříkávání paliva se přeruší, jakmile se znovu otevře přetokový ventil, čímž tlak na píst (10) klesne a tryska (11) se zavře. Celá posloupnost vstříkávání je ovládána jednotkou ECM.

Na elektrickém připojení (14) jsou tři značky - číslo dílu (15), kód korekce množství paliva (16) a sériové číslo (17). Při výměně jedné nebo několika vstříkovacích trysek se řídicí jednotka motoru musí naprogramovat podle kódu korekce množství paliva nových vstříkovacích trysek, protože každá vstříkovací jednotka je jedinečná a motor je vyladěn na optimální vstříkávání paliva a na co nejnižší možné emise. Kód korekce množství paliva se naprogramuje pomocí programování parametrů v diagnostickém nástroji.

Vstříkovací systém se zásobníkem tlaku někdy také označovaný jako common rail se liší od všech předcházejících řešení tím, že má oddělenou část kde vysokotlaká čerpadla, nebo čerpadlo vytváří vysoký tlak paliva, které je přiváděno do zásobníku paliva railu a odtud je palivo přiváděno k jednotlivým vstříkovacím jednotkám.

Umožňuje to dosáhnout vstřikovacího tlaku až 200 MPa. V současné době se jedná o nejrozšířenější druh vstřikování pro vznětové motory.



Obr. 7 Schéma systému Common Rail

Zdroj: DEKRA školení techniků SME

2.2.4. Ventilové rozvody - použití více ventilové techniky

Příprava směsi paliva se vzduchem je velice důležitá pro hospodárnost provozu i pro tvorbu emisí. Optimální stechiometrický poměr směsi paliva a vzduchu je v případě zážehového motoru uváděn hodnotou 14,5 kg vzduchu na 1 kg paliva. U motoru vznětového je poměr směsi pro optimální spalování 14,7 kg vzduchu na 1 kg paliva. Aby bylo dosahováno těchto hodnot, musí být směs do pracovního prostoru válce spalovacího motoru přiváděna v přesném množství a správném čase. A stejně tak musí být spálená směs odvedena ve formě výfukových plynů. K tomuto účelu slouží mimo jiné sací a výfukové ventily.

V praxi se můžeme setkat se staršími typy ventilových rozvodů, kdy byla použita dvouventilová technika, tedy jeden sací a jeden výfukový ventil. Aby bylo zajištěno optimální plnění směsí a dokonalý výplach spalovacího prostoru, měl sací ventil větší průměr než ventil výfukový.

Dalším vývojovým krokem bylo zavedení tříventilové techniky, kdy byly dva sací ventily a jeden výfukový ventil na válec. To umožňovalo lepší plnění válce podpořením víření směsi a zvýšilo výkon motoru.

V současné době se nejčastěji můžeme setkat se čtyřventilovou technikou, kdy každý válec je osazen dvěma sacími a dvěma výfukovými ventily. To přináší výhodu v dokonalejší tvorbě směsi a výplachu spalovacího prostoru. Větší počet sacích ventilů také umožňuje využití variability jejich časování a navazuje na něj technika řízení sacích kanálů viz odstavec 2.2.5. Motor má vyšší výkon, nižší spotřebu paliva, menší setrvačné hmoty z důvodu malých rozměrů ventilů a je méně náchylný k detonačnímu hoření. V hlavě válců jsou obvykle dvě vačkové hřídele zajišťující pohon ventilů, samostatná pro sací ventily a samostatná pro výfukové ventily. V tomto případě hovoříme o rozvodu 2×OHC.

Z hlediska využití povrchu spalovacího prostoru by bylo nejvýhodnější použití pětiventilové techniky na válce, kdy je pohon ventilů řešen obdobně jako u čtyřventilové techniky, pouze je použit třetí sací ventil. Toto řešení, ovšem není v poslední době příliš rozšířené a to zejména z ekonomických důvodů. Výroba je nákladnější.

2.2.5. Variabilní časování ventilů

Zlepšuje plnění válců směsí pro široký rozsah provozních otáček a tím pozitivně ovlivňuje tvorbu emisí. Okamžik uzavření sacího ventilu je určující pro maximální plnění válce v závislosti na otáčkách. V nižších otáčkách je výhodné dřívější uzavření sacího ventilu, obráceně při vyšších otáčkách je zase výhodnější pozdější uzavření sacího ventilu. Změna časování ventilů a to sacích i výfukových je způsobena jinou polohou vačkové hřídele v závislosti na otáčkách motoru. Regulace polohy vaček je hydraulická, nebo elektrická. Toto technické řešení přináší výhody ve formě vyššího výkonu motoru, snížení emisí, snížení spotřeby paliva, lepšího průběhu točivého momentu v širším rozsahu otáček motoru, nižší hlučnost motoru.

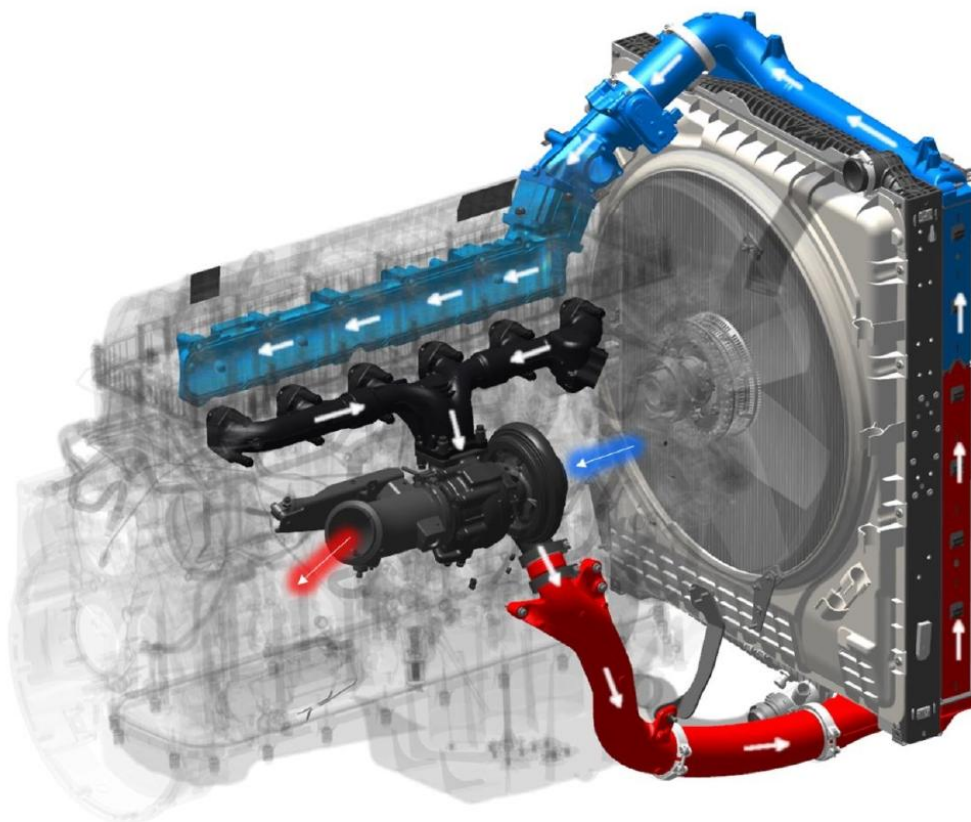
2.2.6. Řízení sacích kanálů

Délka sacího potrubí, kterým se dopravuje nasávaný vzduch pro tvorbu spalovací směsi do válců, má vliv na charakteristiku motoru. Krátké sací potrubí umožňuje vysoký jmenovitý výkon, ale dochází ke ztrátě točivého momentu v nízkých otáčkách. U dlouhého sacího potrubí naopak ztrácíme kroutící moment ve vysokých otáčkách. Dále je výhodné mít spíše vyšší objem sacího potrubí, kdy za určitých otáček dochází k rezonančnímu efektu, který zlepšuje plnění. Dochází při něm k dodatečnému zvýšení dynamického tlaku plnění. Frekvence sání se shoduje s frekvencí kmitů vln ve sloupci plynu. Pro dosažení optimálního plnění je tedy nejvýhodnější možnost měnit délku a objem sacího potrubí v závislosti na otáčkách motoru, zatížení motoru a poloze pedálu akcelérátoru. Nejvyšší efekt má změna charakteristiky sacího potrubí v průběhu nízkých otáček a provozu motoru na chudou směs, kdy podporuje víření směsi ve spalovacím prostoru.

2.2.7. Regulace plnicího tlaku

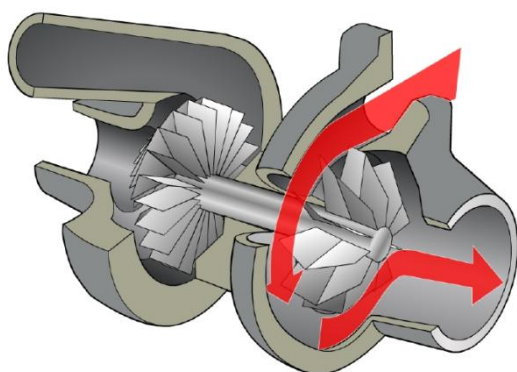
Jak z předchozích kapitol vyplývá, nelze zvyšovat výkon motoru, prostým přidáváním množství paliva do směsi. Tím by byl změněn ideální poměr atmosférického vzduchu a paliva. Docházelo by k vyšší produkci emisí a postupně by se mohl i zhoršit chod motoru. Jednou z možností je tedy zvýšení množství nasávaného vzduchu a tím umožnění dodání větší dávky paliva. Na tomto principu pracuje tzv. přeplňování spalovacího motoru. Historicky asi nejznámější použití přeplňování bylo u závodních vozidel firmy Mercedes, která použila kompresorové přeplňování a do dnešní doby některé její sportovní modely nesou obchodní přívlastek „Kompressor“. V literatuře se můžeme v případě přeplňování kompresorem setkat s termínem mechanické přeplňování, jedná se v podstatě o to, že dmyhadlo je poháněno přímo od motoru. Jednou z výhod tohoto řešení je, že dochází k přeplňování již v nízkých otáčkách a takřka bez prodlevy. Hlavní nevýhodou z hlediska účinnosti je skutečnost, že příkon dmyhadla přímo snižuje mechanickou účinnost spalovacího motoru. Plnicí tlak u mechanického přeplňování lze regulovat obtokem. Obtokový ventil je řízen obvykle přímo řídicí jednotkou motoru. Jestliže je dmyhadlo poháněno proudem výfukových plynů, hovoříme o tzv. turbodmyhadle. Oproti mechanickému přeplňování má nespornou výhodu, neodebírá mechanicky výkon z motoru. Ovšem při konstrukci a optimalizaci spalování – eliminace klepání, se musí počítat se situací, že pohonné lopatky turbodmyhadla jsou tepelně a erozivně namáhány právě výfukovými plyny,

takže turbodmychadlo je obvykle výrazně robustnější než mechanické dmychadlo. A jeho funkce je v rozsahu nižších otáček minimální. Ve snaze o dosažení maximální efektivity při využití energie paliva se tedy můžeme setkat dokonce s kombinacemi mechanických dmychadel a turbodmychadel, popřípadě s dvojicí turbodmychadel menší a větší (VOLVO D16). Kdy náběh menšího turbodmychadla je výrazně rychlejší u nižších otáček a v rozsahu vyšších otáček přebírá funkci přeplňování větší turbodmychadlo. Regulace plnicího tlaku je obvykle provedena obtokovým ventilem s obtokovým kanálem, kdy ventil je opět řízen přímo elektronickou řídicí jednotkou motoru. Další možností je variabilní úhel naklápění lopatek, kdy je regulován úhel proudících výfukových plynů na poháněcí kolo turbodmychadla. Aby byla zajištěna maximální účinnost přeplňování, bývá snižována teplota nasávaného vzduchu předchladičem, v odborné literatuře je také nazýván mezichladič z anglického výrazu intercooler. V podstatě se jedná o voštinový chladič, přes který je veden stlačený vzduch z dmychadla a poté je veden do sběrného sacího potrubí jednotlivých válců.



Obr. 8 Sací systém s přeplňováním a mezichladičem stlačeného vzduchu

Zdroj: VOLVO Group Czech - IMPACT



Obr. 9 Proudění nasávaného vzduchu turbodmychadlem

Zdroj: VOLVO Group Czech - IMPACT

2.2.8. Optimalizace začátku vstříku a množství vstříkovaného paliva

V závislosti na otáčkách motoru se mění okamžik vstříknutí paliva do válce a tím je zajištěno optimální spalování směsi. V odborné i servisní literatuře je časový posun vstříku směsi v závislosti na otáčkách motoru nazýván jako tzv. předvstřík. Abychom při vzrůstajících otáčkách motoru udrželi optimální spalování směsi, musí se okamžik vstříku posunout dopředu. Pokud dojde ke vstříku příliš brzy, dojde ke snížení účinnosti motoru. Vlivem vysokého tlaku, který vznikne ještě před dosažením horní úvrati pístu a píst je vlastně brzděn v pohybu a spalování je hlučné. Dochází ke spalování směsi za vyšší teploty a tím k vyšší produkci NO_x . Naopak časově opožděný začátek vstříku má za následek nedokonalé spalování a vyšší produkci nespálených uhlovodíků HC a zvýšenou produkci sazí.

2.3. Technická řešení zaměřená na dozpracování emisí výfukových plynů

Snížení emisí spalovacího motoru lze také dosáhnout ošetřením samotných výfukových plynů, které vycházejí výfukovým potrubím ze spalovacího prostoru motoru poté, co se zpracovala energie obsažená v palivu.

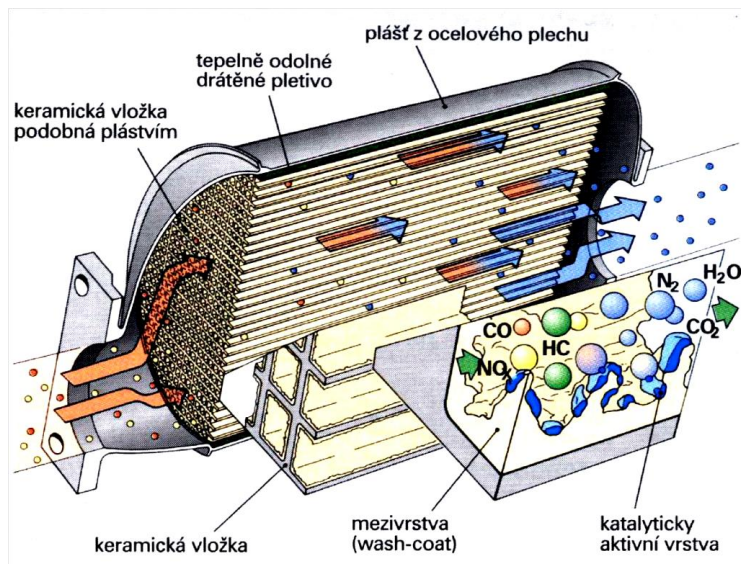
2.3.1. Oxidační katalyzátor

Historicky se první katalyzátory začaly používat v sedmdesátých letech 20. století v USA. Svou konstrukcí odpovídá třicestnému katalyzátoru. Na keramickém, popř. kovovém tělese je pro zvětšení účinného povrchu nanесena vrstva z oxidu hliníku. Na této vrstvě se nachází vlastní katalyzátor, skládající se asi z 2 až 3 g platiny nebo palladia. Úkolem katalyzátoru je podporovat chemickou reakci, v tomto případě oxidaci, tedy hoření a samotné reakce se neúčastnit. V oxidačním katalyzátoru dochází ke dvěma chemickým procesům, vlivem oxidace se přeměňuje oxid uhelnatý (CO) na oxid uhličitý (CO₂) a nespálené uhlovodíky (HC) z 90% na oxid uhličitý (CO₂) a vodu (H₂O). Oxidační katalyzátor, někdy se také označuje anglickou zkratkou DOC, v podstatě neredukuje množství emisí oxidů dusíku (NO_x) a to z důvodu nadbytku vzdušného kyslíku při oxidaci. Díky vysokému obsahu kyslíku ve výfukových plynech začíná oxidační katalyzátor účinkovat již při 170°C. Optimální provozní teplota je mezi 250 až 350°C. Nejdůležitější částí katalyzátoru je nosič.

Nosič tvoří několik tisíc jemných kanálků, kterými proudí výfukové plyny. Nosiče mohou být keramické nebo kovové. Nosiče jsou potaženy nosnou vrstvou alumina, jedná se o vysoce pórovitý oxid hliníku, který zvětšuje nosnou plochu katalyzátoru a nazývá se washcoat. Tato velká styčná plocha podporuje velký výkon katalyzátoru a extrémně zvyšuje jeho účinnost. Na ní je nanесena katalyticky účinná vrstva platiny nebo palladia. (Vlk F., 2003)

Chemické reakce v katalyzátoru:

- $2 \text{ CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ CO}_2$
- $2 \text{ C}_2\text{H}_6 + 7 \text{ O}_2 \rightarrow 4 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$
- $2 \text{ NO} + 2 \text{ CO} \rightarrow \text{N}_2 + 2 \text{ CO}_2$



Obr. 10 Chemické reakce v katalyzátoru

Zdroj: Stejskalík J. Snižování emisí škodlivin u vznětových motorů

2.3.2. Zpětné vedení výfukových plynů (EGR)

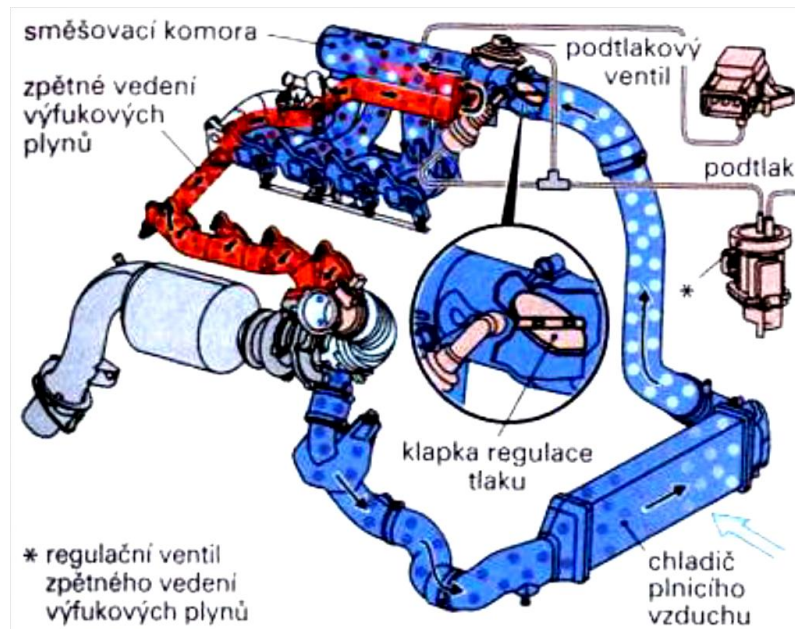
Název systému je přejat za anglické zkratky EGR – exhaust gas recirculation. Zpětné vedení výfukových plynů slouží ke snížení emisí NO_x . Přidáním výfukových plynů do sacího kanálu se sníží přiváděný podíl kyslíku. Součásti výfukových plynů se již neúčastní spalování a pohlcují teplo. Tím klesá maximální teplota spalování a snižují se emise oxidu dusíku. Recirkulace výfukových plynů může dosáhnout podílu až 40 %. Pokud bychom přesáhli tuto hodnotu, sníží se kvalita spalovacího procesu a zvýší se obsah částic PM ve spalínách. A také se začne zvedat množství nespálených uhlovodíků (HC). Množství recirkulovaných výfukových plynů, tedy musí být regulováno. Regulace může být provedena dvěma způsoby:

EGR ventilem který je regulován pomocí snímače polohy EGR ventilu – toto řešení je používáno u motorů, kde je turbodmychadlo řízeno klapkovým ventilem.

Regulace pomocí snímače hmotnosti nasávaného vzduchu – pro motory, které používají turbodmychadlo s variabilním nastavením přeplňovacího tlaku.

V obou výše zmíněných případech je EGR ventil ovládán elektromagneticky, řídicí jednotkou motoru. Regulace je závislá na otáčkách motoru, teplotě motoru, plnicím

tlaku, teplotě nasávaného vzduchu. U vznětových motorů se můžeme setkat s verzí chlazeného systému EGR, kdy pro větší účinnost systému jsou recirkulované výfukové plyny před opětovným přivedením do sacího kanálu ochlazovány v chladiči EGR.



Obr. 11 Systém EGR

Zdroj: Stejskalík J. Snižování emisí škodlivin u vznětových motorů

2.3.3. Filtr pevných částic

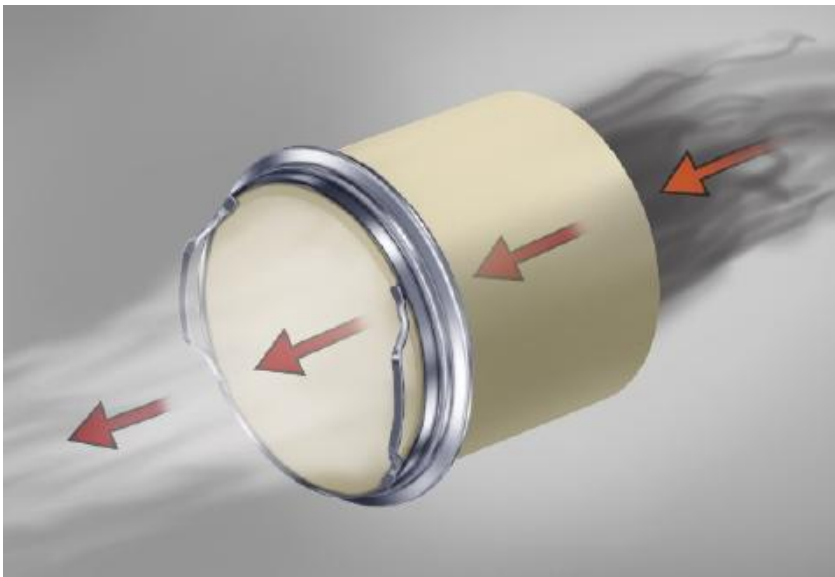
Hlavní částí je keramické, voštinové filtračního těleso. Používají se také filtrační tělesa ze slitutých kovů. Kanálky filtru pevných částic jsou střídavě uzavřeny. Výfukový plyn musí proudit přes porézní filtrační stěny. Pevné částice se tak zachytí a pomalu ucpávají póry. Protitlak výfukových plynů pozvolna roste. To způsobuje zvýšení spotřeby paliva a snížení výkonu. Filtr se musí regenerovat. Při regeneraci se přeměňují nashromážděné pevné částice na oxid uhličitý (CO₂) a vodní páru (H₂O). Teplota spalování pevných částic PM je asi 550°C. Za normálních podmínek se však dosahuje teplot výfukových plynů max. 400°C.

K regeneraci filtrů se využívají dva systémy:

Snížení teploty spalování částic PM pomocí aditiv, tento systém používá například výrobce PSA u svých filtrů, které souhrnně označuje zkratkou FAP. Kdy ze zvláštní

nádrže je při každém tankování přidáno do paliva aditivum podporující hoření částic PM za nižších teplot.

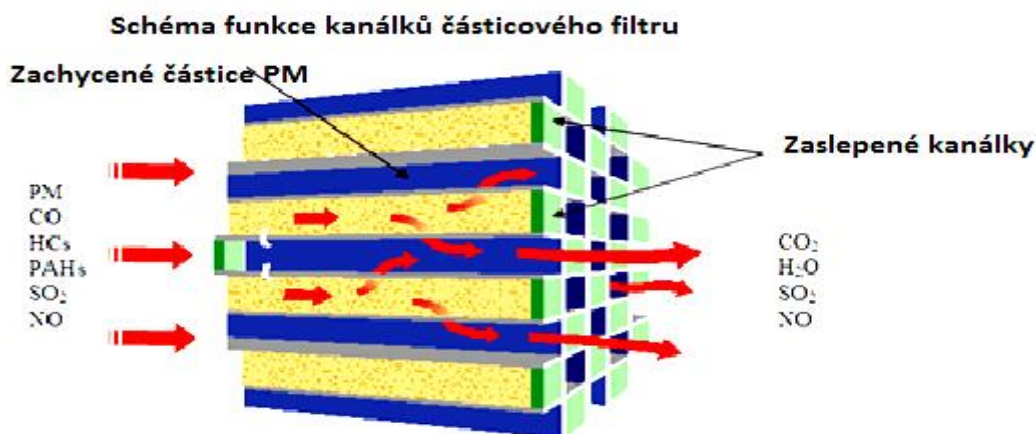
Zvýšení teploty výfukových plynů. Teplota výfukových plynů se zvýší cíleným následným vstřikem a zvýšením požadovaného točivého momentu, např.: kompresorem klimatizace a alternátorem. Výrobce VOLVO Trucks používá u těžkých nákladních vozidel dodatečný vstřik paliva do výfukového potrubí před těleso filtru pevných částic, což také umožní zvýšení teploty výfukových plynů.



Obr. 12 DPF filtr VOLVO Trucks

Zdroj: VOLVO Group Czech – IMPACT

Při spalování pevných částic vzniká malý podíl popela. Ten se shromažďuje s částicemi ve filtru a postupem času filtr ucpává. Filtr se pak musí demontovat a vyčistit. Podle systému a způsobu jízdy je to nutné po 80 000 až 240 000 km. Údržba je řidiči signalizována kontrolkou. U nákladních vozidel se vznětovými motory je servisní interval výměny, popřípadě vyčištění filtru pevných částic v závislosti na druhu provozu až 500 000 km.



Obr. 13 Kanálky částicového filtru

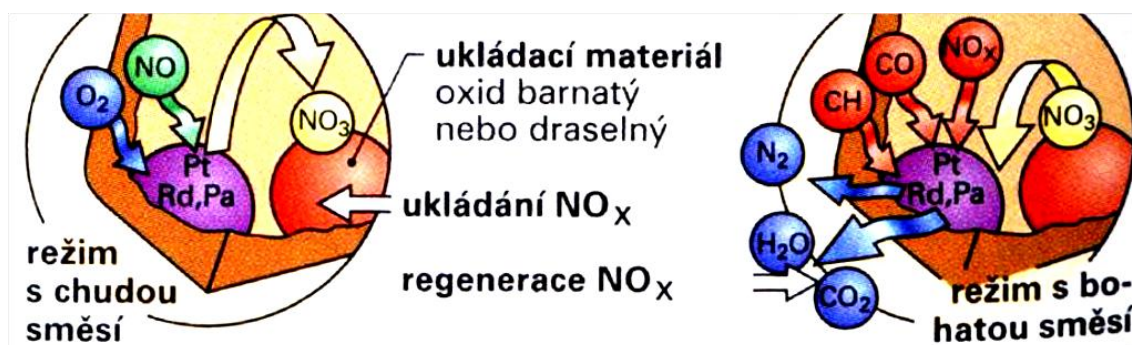
Zdroj: Stejskalík J. Snižování emisí škodlivin u vznětových motorů

2.3.4. Zásobníkový katalyzátor

Standardní třícečný katalyzátor při provozu s chudou směsí nedokáže dokonale snižovat množství emisí oxidů dusíku NO_x. Z tohoto důvodu bývá vřazen do systému dodatečného zpracování emisí výfukových plynů zásobníkový katalyzátor NO_x. Jedná se o oxidační katalyzátor se speciálním potahem, který zachytí oxidy dusíku z proudu spalin. Ke katalytickým vrstvám z platiny nebo palladia jsou většinou na stejné nosiče navíc přidány další přísady, které jsou schopny ukládat oxidy dusíku. Nejčastěji použitými materiály jsou např. oxidy draslíku, vápníku, zirconia, stroncia, lanthanu nebo barya.

V provozu s homogenní směsí při $\lambda = 1$, funguje zásobníkový katalyzátor NO_x stejně jako oxidační katalyzátor. Navíc však přeměňuje oxidy dusíku, které nebyly v režimu s chudou směsí redukovány. K této přeměně nedochází kontinuálně jako u oxidu uhelnatého a uhlovodíků, ale probíhá postupně ve třech krocích:

1. krok - akumulace NO_x,
2. krok – vyprazdňování NO_x,
3. krok – jejich přeměna.



Obr. 14 Proces přeměny v zásobníkovém katalyzátoru

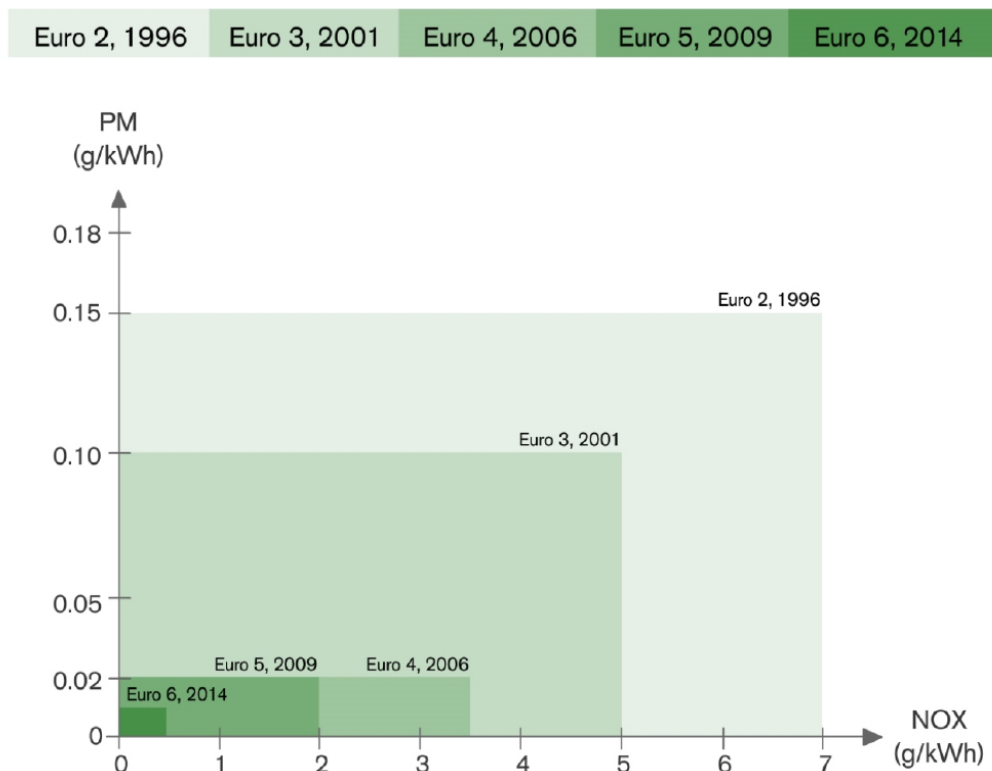
Zdroj: Stejskalík J. Snižování emisí škodlivin u vznětových motorů

U katalyzátoru NO_x se rozlišuje mezi dvěma různými provozními režimy: V normálně chudém provozu ($\lambda > 1$) bude NO nejprve oxidovat na NO₂ a potom na nitrát (NO₃) na bázi oxidů kovů (např. oxid baria) v katalyzátoru. Stejně jako u částicového filtru zajišťuje také zásobníkový katalyzátor NO_x regeneraci, tedy periodické vyprazdňování zásobníku podle příslušných požadavků. Pro regeneraci zásobníku musí být ve spalinách nastaveny podmínky bohaté směsi ($\lambda < 1$). Za těchto provozních podmínek je ve spalinách tolik redukčního prostředku (oxid uhelnatý, vodík a různé uhlovodíky), že se rázem uvolní nitrátové vazby a přímo u katalyzátoru obsahujícího ušlechtilé kovy dochází k redukci na nejedovatý dusík (N₂). Doba naplnění činí v závislosti na provozní době motoru 30 až 60 sekund, regenerace je provedena za jednu až dvě sekundy.

Zásobníkový katalyzátor dokáže snížit emise NO_x až o 85 procent.

2.3.5. Graf vývoje snižování emisí NOx vznětových motorů nákladních automobilů

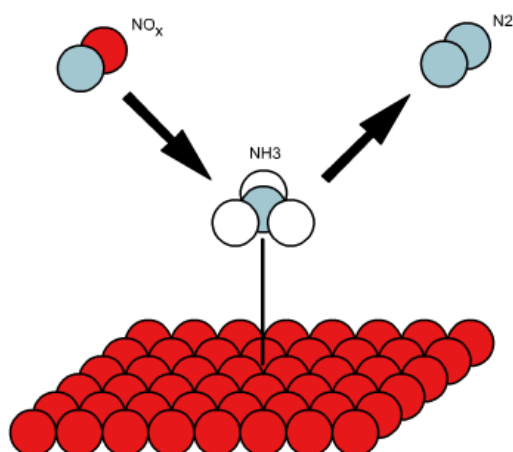
Tab. 13 Emisní normy pro vznětové motory vozidel nad 3.5 t



Zdroj: VOLVO Group Czech – školení EATS Euro VI

2.3.6. SCR katalyzátor (Selective Catalytic Reduction)

System SCR využívá redukčního prostředku AdBlue, což je 32,5% roztok vody a močoviny. Redukční činidlo AdBlue způsobuje oxidaci kovů a vzlinavostí proniká vodiči rychlostí přibližně 0,6 metru za hodinu! Může tedy dojít k poškození elektrických kabelů ve svazcích. Při práci s kapalinou AD Blue je tedy třeba dbát zvýšené opatrnosti. AdBlue je dávkováno do proudu stlačeného vzduchu, kterým je unášeno do výfukového potrubí. V horkých výfukových plynech se AdBlue rozkládá na čpavek NHa oxid uhličitý CO. Uvolněný čpavek pak v SCR katalyzátoru reaguje s NOx za vzniku neškodného dusíku na vodní páry.

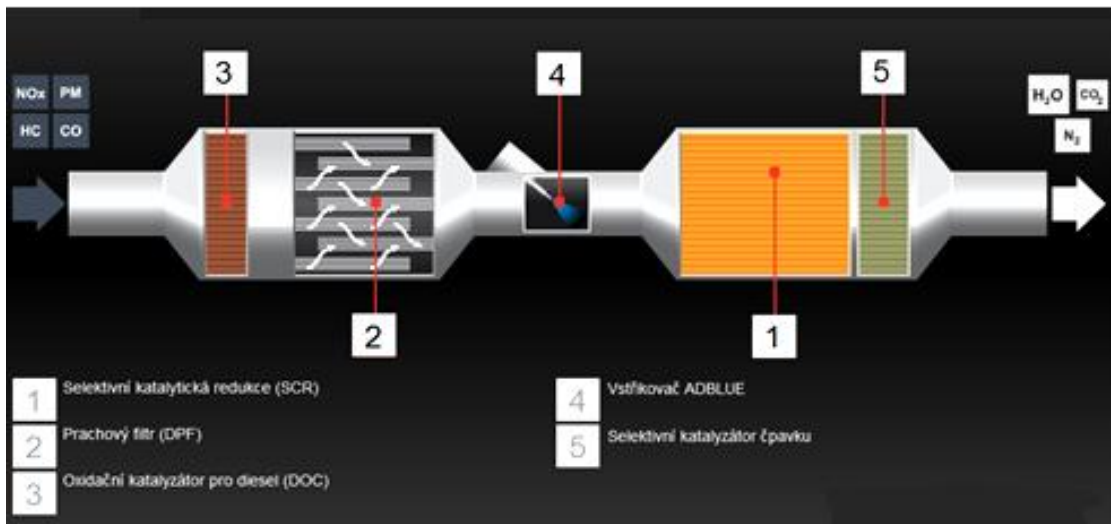


Obr. 15 Přeměna NO_x na N₂

Zdroj: VOLVO Czech Group školení systém SCR

K nástřiku močoviny dochází přibližně při 200 °C, protože katalyzátor je aktivní až při dosažení této teploty. Nadbytečný amoniak se odstraňuje v zabudovaném čistícím katalyzátoru, označovaném také zkratkou CUC (z anglického clean up catalysts). U vznětových spalovacích motorů se systémem SCR, řídicí jednotka motoru vypočítává optimální vstřikované množství AD Blue v závislosti na aktuálním zatížení a otáčkách motoru. Samotný reakční povrch katalyzátoru SCR je tvořen vrstvou titanu, wolframu a vanadu. Tyto sloučenina drahých kovů spolu s amoniakem vyvolává přednostní (selektivní) redukci oxidů dusíku (NO_x) na dusík (N₂) a vodu (H₂O). Díky vysoké účinnosti redukce oxidů dusíku (NO_x) v katalyzátoru, lze upravit čas vstřiku směsi do válce a tím snížit spotřebu paliva i za cenu vyšší produkce (NO_x) při spalování.

2.3.7. Systém dozpracování výfukových plynů vznětového motoru

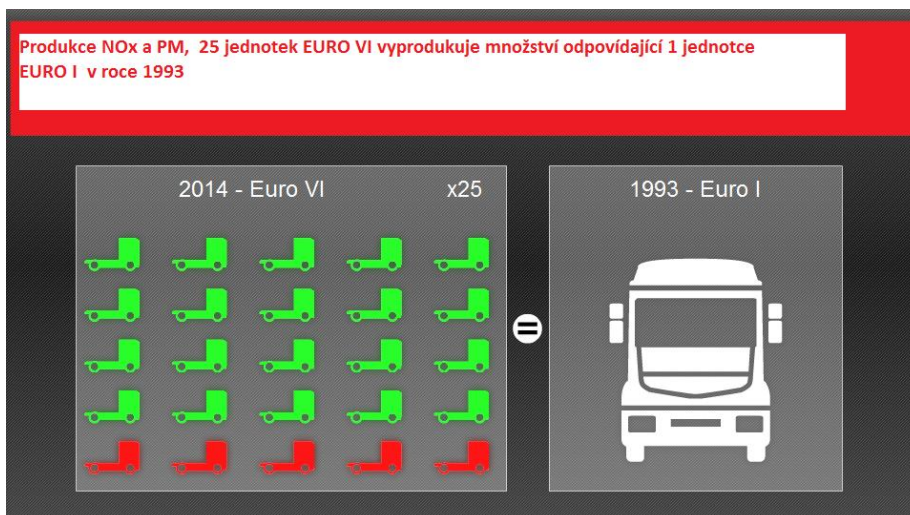


Obr. 16 Schéma systému dozpracování výfukových plynů

Zdroj: VOLVO Group Czech – školení Renault EATS Euro VI

V poslední části katalyzátoru (5) je platinový povlak, který se postará o nezreagovaný amoniak NH_3 , čímž eliminuje zápach amoniaku ve výfukových plynech.

2.3.8. Srovnání produkce NO_x a částic (PM) Euro VI a Euro I



Obr. 17 Srovnávací tabulka emise NO_x a PM

Zdroj: VOLVO Group Czech – školení Renault EATS Euro VI

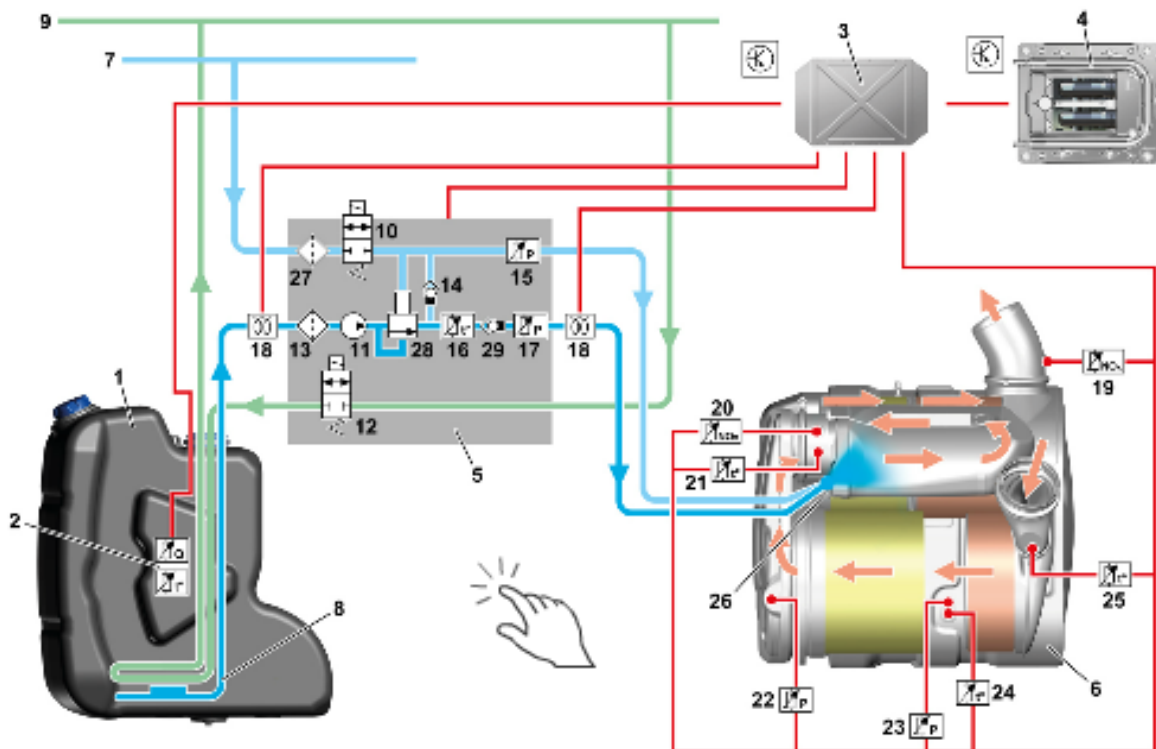
2.4. Cíle teoretické části práce

Cílem teoretické části bakalářské práce je seznámení se s principy snižování emisí spalovacích motorů v závislosti na legislativních požadavcích států. A vývoj emisních norem.

2.5. Cíle praktické části práce

Cílem praktické části je sledování vývoje konkrétního vznětového motoru a všech jeho prvků, které zajišťují jeho provozování v souladu s legislativou směřující ke snižování emisí spalovacích motorů.

2.6. Dodatečné zpracování výfukových plynů EURO VI



Obr. 18 Schéma systému dodatečné úpravy emisí EURO VI

Zdroj: VOLVO Group Czech IMPACT

1-Nádrž na AdBlue Redukční činidlo (roztok močoviny) je uloženo v samostatné nádrži, která je, pokud je to možné, umístěna na podvozku vedle palivové nádrže. Tato nádrž je vyrobena z plastu a je k dispozici v různých velikostech a provedeních.

2-Kombinované snímače teploty a výšky hladiny v nádrži AdBlue Z důvodů vlastností roztoku redukčního činidla (bod tuhnutí -11 °C) musí systém znát teplotu v nádrži. Pokud se hladina sníží pod určitou úroveň, je odesláno upozornění pro řidiče.

3-ACM (řídící modul následné úpravy výfukových plynů) Modul ACM zpracovává signály snímačů a také řídí činnost čerpadla a ventilů. Na základě požadavku jednotky EMS také dávkuje roztok redukčního činidla.

4- ECM (řídící jednotka motoru) Systém řízení motoru vypočte množství redukčního činidla a požaduje vstřikování redukčního jednotkou ACM. Řídí také re-generaci filtru DPF.

5-Jednotka čerpadla AdBlue Jednotka čerpadla zahrnuje blok ventilů s regulačním ventilem chladicí kapaliny, snímačem tlaku vzduchu a snímačem tlaku AdBlue. Zahrnuje také přípojku vzduchu a chladicí kapaliny.

6-Tlumič výfuku (s DPF, SCR a DOC) Tlumič výfuku zahrnuje všechny filtry a katalyzátory systému následné úpravy výfukových plynů, které čistí výfukové plyny, snižují množství emisí oxidů dusíku a pevných částic. Na vnější straně je na-montována řada snímačů, které slouží k řízení systému EATS.

7- Přívod vzduchu (ze systémů stlačeného vzduchu vozidla)

8-Potrubí roztoku AdBlue

9-Potrubí chladicí kapaliny (z chladicího systému motoru)

10-Vzduchový ventil (slučovací ventil jednotky čerpadla AdBlue), regulace průtoku vzduchu

11-Čerpadlo AdBlue (jednotka čerpadla AdBlue)

12-Ventil chladicí kapaliny (jednotka čerpadla AdBlue), otevírá se za nízkých teplot

- 13-Filtr, AdBlue (jednotka čerpadla AdBlue)
- 14- Zpětný ventil, tlak vzduchu (v jednotce čerpadla AdBlue)
- 15-Snímač tlaku (v jednotce čerpadla AdBlue), regulace tlaku vzduchu
- 16-Snímače teploty (slučovací ventil jednotky čerpadla AdBlue), regulace teploty AdBlue.
- 17-Snímač tlaku AdBlue
- 18-Elektricky vyhřívané hadice pro chladné počasí
- 19-Snímače NOx - umístěné za katalyzátorem SCR
- 20-Snímače NOx - umístěné před katalyzátorem SCR
- 21-Snímače teploty - umístěné za DPF (filtrem pevných částic)
- 22-Snímač diferenciálního tlaku - tlak za filtrem DPF
- 23-Snímač diferenciálního tlaku - tlak před filtrem DPF
- 24-Snímače teploty - umístěné mezi filtrem DPF a DOC (oxidačním katalyzátorem)
- 25-Snímače teploty - umístěné ve vstupním potrubí do tlumiče výfuku před DOC
- 26-Tryska AdBlue, vstřikování AdBlue do směšovací komory
- 27-Filtr, přívod vzduchu (jednotka čerpadla AdBlue)
- 28-Regulační ventil (AdBlue), regulace množství vstřikovaného redukčního činidla AdBlue
- 29-Zpětný ventil AdBlue

2.6.1. SCR - funkce

Při otočení klíče zapalování do polohy přípravy provozu, zkontroluje jednotka ACM následující komponenty:

- Vzduchový ventil
- Snímač tlaku vzduchu
- Zpětný ventil
- Snímač tlaku AdBlue

Je provedena také kontrola průchodnosti a těsnosti vzduchového okruhu a okruhu AdBlue mezi jednotkou čerpadla a tryskou. Současně je sledována teplota AdBlue v jednotce čerpadla a nádrži, a také venkovní teplota.

Po nastartování motoru může být dávkovací systém v jedné ze čtyř fází:

Diagnostická fáze -pohotovostní fáze

Probíhá kontrola snímačů a systému. Systém čeká na příkaz k dávkování z jednotky ECM.

Fáze plnění

Probíhá plnění systému redukčním čínidlem AdBlue. To může trvat 10 sekund až 20 minut (za normálních okolností asi 2 minuty, pokud je potrubí prázdné). Krátkým vstříknutím malého množství AdBlue je vytlačen veškerý vzduch z potrubí AdBlue mezi jednotkou čerpadla a tryskou.

Fáze dávkování

Čerpadlo vstříkuje AdBlue pomocí trysky do tlumiče výfuku.

Fáze vypouštění

Po vypnutí zapalování, je krátkým zvýšením tlaku vzduchu nad 400 kPa po dobu 15 sekund vypuštěno redukční čínidlo (AdBlue) ze systému mezi jednotkou čerpadla a

tryskou. Otevře se zpětný ventil a redukční činidlo (AdBlue) je vytlačeno zpět do tlumiče výfuku. Toto se provádí za účelem ochrany potrubí, trysky a snímačů tlaku a teploty. U některých vozidel, například distribučních, systém čeká 15 minut, než zahájí vypouštění. Systém je však vždy vypuštěn, pokud venkovní teplota klesne pod určitou hodnotu. V systému lze nastavit zpoždění mezi vypnutím zapalování a zahájením fáze vypouštění. To umožní systému rychlý návrat do fáze dávkování, pokud je klíč zapalování poměrně rychle přepnut znovu do polohy přípravy provozu.

Vyhřívání systému za nízkých teplot

Při nízkých teplotách, kdy je systém zamrzlý, musí se součásti a AdBlue ohřát. Elektrický ohříváč hadic ohřeje AdBlue. Spirála, kterou prochází chladicí kapalina ze systému chlazení motoru, ohřeje nádrž a jednotku čerpadla.

Tryska AdBlue

Dávkování redukčního činidla AdBlue se provádí pomocí trysky, která vstříkne AdBlue do výfukových plynů před tím, než vstoupí do katalyzátoru SCR v tlumiči výfuku.



Obr. 19 Dávkovací tryska AD Blue

Zdroj: VOLVO Group Czech IMPACT

1- Přívod AdBlue Množství redukčního činidla AdBlue závisí na otáčkách a zatížení motoru.

2-Přívod vzduchu Do trysky je přiváděno redukční činidlo AdBlue a vzduch. Tlak vzduchu určuje jemnost mlhy vznikající při vstřikování redukčního činidla AdBlue.

Tryska rozpráší AdBlue uvnitř SCR. Kombinace vzduchu a redukčního činidla napomáhá jemnějšímu rozprášení a fáze proplachování omezují riziko krystalizace uvnitř výfuku.

3. PŘÍKLAD VÝVOJE VZNĚTOVÉHO MOTORU D16 TAHAČŮ VOLVO

Cílem praktické části je sledování vývoje konkrétního vznětového motoru a všech jeho prvků, které zajišťují jeho provozování v souladu s legislativou směřující ke snižování emisí spalovacích motorů. Jedná se konkrétně o vznětový 16 litrový šestiválcový řadový motor vyvinutý společností **VOLVO POWERTRAIN CORPORATION** pro pohon těžkých nákladních vozidel kategorie N3.

3.1.Motor D16A520

Jedná se o první verzi motoru D16 ve výkonové variantě 382 kW. Motor plní emisní normu EURO 1.

Vstřík paliva – přímý, vstříkovače otvorové se sedmi otvory,

otvírací tlak vstříku 23 500 kPa

Vstříkování – řadové vstříkovací čerpadlo s mechanickou odstředivou regulací

Základní nastavení vstříkovacího čerpadla mezi otáčkami 16,6 ot./s (1000 ot./min) a 25,8 ot./s (1550 ot./min)..... $5 \pm 1^\circ$

Tvar spalovacího prostoru – nedělený prstencový

Kompresní poměr – 18 : 1

Ventilový rozvod – 2 sací a 2 výfukové ventily

Plnění – přeplňování turbodmychadlem s obtokovým ventilem
maximální tlak přeplňování 162 kPa
s mezichladičem stlačeného vzduchu

Motor nemá žádný systém dodatečného zpracování výfukových plynů.

3.2.Motor D16B520

Jedná se o zmodernizovanou verzi motoru D16 ve výkonové variantě 382 kW. Motor plně emisní normu EURO 2.

Vstřík paliva – přímý, vstříkovače otvorové se sedmi otvory,
otvírací tlak vstříku 23 000 kPa.

Vstříkování – řadové vstříkovací čerpadlo s elektronickou regulací EDC, ovládané elektromagnetickým aktuátorem, řídicí signál s řídicí jednotky motoru. Základní nastavení vstříkovacího čerpadla mezi otáčkami 16,6 ot./s (1000 ot./min) a 25,8 ot./s (1550 ot./min).... $7 \pm 1^\circ$

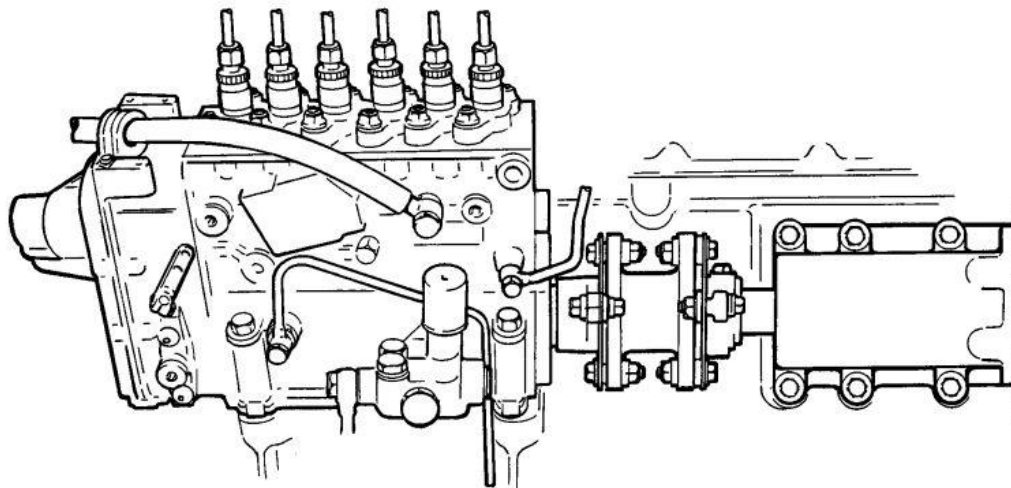
Tvar spalovacího prostoru – nedělený prstencový

Kompresní poměr – 17,5 : 1

Ventilový rozvod – 2 sací a 2 výfukové ventily

Plnění – přeplňování turbodmychadlem s obtokovým ventilem
maximální tlak přeplňování 162 kPa
s mezichladičem stlačeného vzduchu

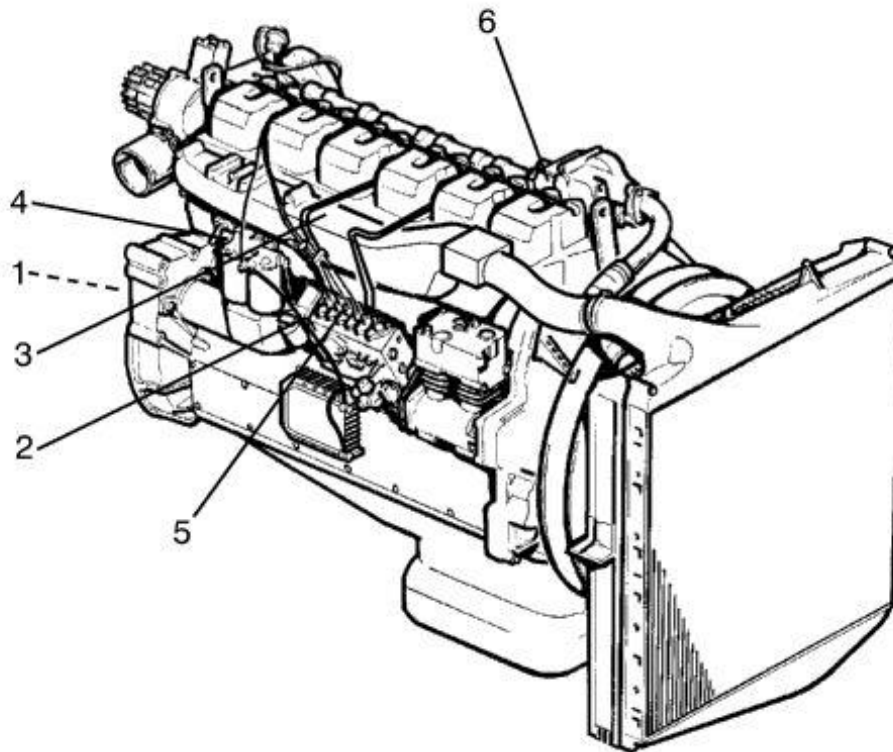
Motor nemá žádný systém dodatečného zpracování výfukových plynů.



Obr. 20 Řadové vstříkovací čerpadlo motor D16B

Zdroj: VOLVO Group Czech IMPACT

3.2.1. Snímače využívané řídicí jednotkou motoru D16B520



Obr. 21 Rozmístění snímačů motoru D16B

Zdroj: VOLVO Group Czech IMPACT

1. Snímač, otáčky motoru (umístěn na levé straně krytu setrvačnicku)
2. Snímač, otáčky motoru (umístěn na krytu regulátoru vstříkovacího čerpadla)
3. Přepřnovací vzduch (kombinovaný snímač tlaku a teploty) (umístěn v sacím po-trubí)
4. Palivo (kombinovaný snímač tlaku a teploty) (umístěn na objímce filtru)
5. Tlak motorového oleje (kombinovaný snímač tlaku a teploty)
(umístěn v hlavním kanálku v bloku motoru před motorem startéru)
6. Chladicí kapalina (umístěn na krytu termostatu)
7. Vzduch (kombinovaný snímač tlaku a teploty) (umístěn v sacím potrubí tur-
bodmychadla)

3.3.Motor D16C610

Motor D16C610 je 455 kW výkonová variant motoru, plní emisní normu EURO III.

Vstřík paliva – Sdružené vstříkovací jednotky typu čerpadlo tryska, výrobce DELPHI – přímý vstřík tlak 190 000 kPa.

Vstřík řízen řídicí jednotkou motoru v závislosti na provozních podmínkách a vyhodnocení údajů snímačů motoru .

Tvar spalovacího prostoru – nedělený prstencový

Kompresní poměr – 18 : 1

Ventilový rozvod – 2 sací a 2 výfukové ventily

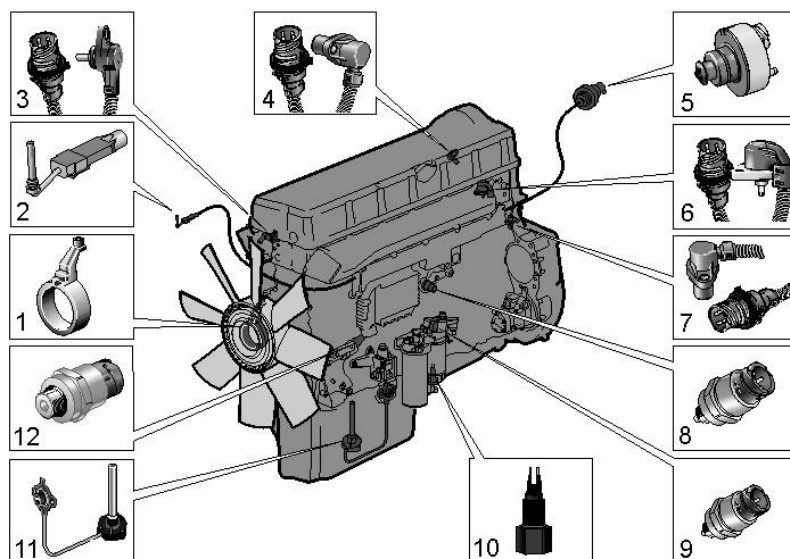
Plnění – přeplňování turbodmychadlem s obtokovým ventilem

maximální tlak přeplňování 200 kPa

s mezichladičem stlačeného vzduchu

Motor nemá žádný systém dodatečného zpracování výfukových plynů.

3.3.1. Přehled snímačů motoru D16C610



Obr. 22 Rozmístění snímačů motoru D16C

Zdroj: VOLVO Group Czech IMPACT

1. Snímač otáček, ventilátor/elmg. ventil zapnutí ventilátoru
2. Snímač stavu chladící kapaliny
3. Snímač teploty chladící kapaliny
4. Snímač polohy vačkové hřídele, poloha motoru
5. Snímač teploty sání vzduchu/indikátor vzduchového filtru
6. Snímač přeplňovacího tlaku/teploty přeplňovacího vzduchu
7. Snímač otáček na setrvačnicku
8. Snímač tlaku oleje
9. Snímač podávacího tlaku paliva
10. Snímač odlučovače vody/kontrolka vody

11.Snímač tlaku/teploty oleje

12.Snímač tlaku v klikové skříni

3.4.Motor D16E660

16 litrový motor plnící emisní normu EURO IV o výkonu 485 kW.

Vstřík paliva – Sdružené vstříkovací jednotky typu čerpadlo tryska, výrobce DELPHI – přímý vstřík tlak až 200 000 kPa.

Vstřík řízen řídicí jednotkou motoru v závislosti na provozních podmínkách a vyhodnocení údajů snímačů motoru.

Tvar spalovacího prostoru – nedělený prstencový

Kompresní poměr – 17 : 1

Ventilový rozvod – 2 sací a 2 výfukové ventily

Plnění – přeplňování turbodmychadlem s obtokovým ventilem

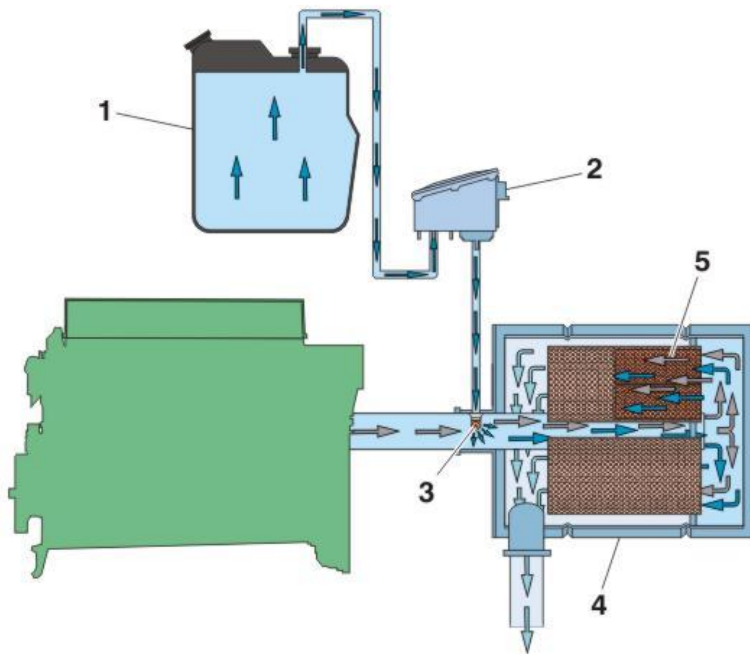
maximální tlak přeplňování 223 kPa

s mezichladičem stlačeného vzduchu

Motor je vybaven systémem na dozpracování výfukových plynů (EATS)

Vozidlo je v souladu s legislativou EU vybaveno zařízením monitorujícím plnění emisních limitů.

3.4.1. Funkční schéma systému EATS provedení EURO IV



Obr. 23 Schéma systému dodatečné úpravy emisí EURO IV

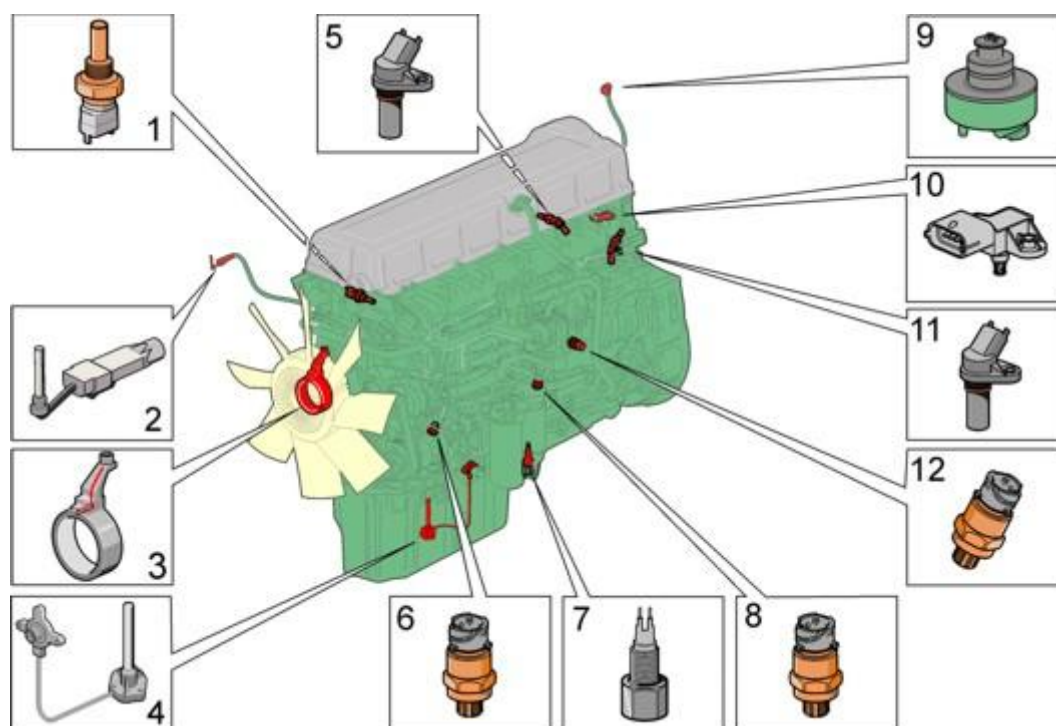
Zdroj: VOLVO Group Czech IMPACT

Nádrž s roztokem AD Blue (1), čerpadlo AD Blue(2), dávkovací ventil (3), těleso tlumiče výfuku s katalyzátorem (4).

Redukční činidlo AdBlue je rozprašováno a vstřikováno do výfukových plynů před katalyzátorem (5). Přesné vstřikování je řízeno EMS (systémem řízení motoru), který zajišťuje optimální snížení emisí za všech provozních podmínek.

Působením tepla ve výfukovém systému se AdBlue rozkládá na amoniak a oxid uhličitý. Amoniak je aktivní láka a klíčová složka v chemickém procesu probíhající v katalyzátoru, ve kterém se oxidy dusíku (NO_x) přeměňují na neškodnou směs dusíku a vodní páry. Tato chemická reakce probíhá při teplotách nad 200 °C.

3.4.2. Přehled snímačů motoru D16E660



Obr. 24 Rozmístění snímačů motoru D16E

Zdroj: VOLVO Group Czech IMPACT

1. Teplotní čidlo chladicí kapaliny
2. Snímač hladiny chladicí kapaliny
3. Snímač otáček ventilátoru
4. Hladina oleje / teplota oleje
5. Snímač polohy vačkového hřídele
6. Snímač tlaku ve skříně klikového hřídele
7. Snímač nadmořské výšky
8. Snímač tlaku paliva

9. Snímač podtlaku vzduchu
10. Snímač plnicího tlaku/snímač plnicího vzduchu
11. Snímač polohy setrvačnicku/snímač otáček
12. Snímač tlaku oleje

3.5.Motor D16G750

Nejvýkonnější varianta šestnáctilitrového vznětového motoru VOLVO pro nákladní automobily. Výkon 551 kW. Splňuje požadavky emisní normy EURO V.

Vstřík paliva – Sdružené vstříkovací jednotky typu čerpadlo tryska, výrobce DELPHI – přímý vstřík tlak až 200 000 kPa shodné s modelem D16E.

Vstřík řízen řídicí jednotkou motoru v závislosti na provozních podmínkách a vyhodnocení údajů snímačů motoru.

Tvar spalovacího prostoru – nedělený prstencový

Kompresní poměr – 16,8 : 1

Ventilový rozvod – 2 sací a 2 výfukové ventily

Plnění – přeplňování turbodmychadlem s obtokovým ventilem max. tlak přeplňování 276 kPa. S mezichladičem stlačeného vzduchu.

Motor je vybaven systémem na dozpracování výfukových plynů (EATS).

Vozidlo je v souladu s legislativou EU vybaveno zařízením monitorujícím plnění emisních limitů.

3.5.1. Monitorovací systém kontroly emisí EURO 4 a EURO 5

Účelem monitorovacího systému řízení emisí NO_x je sledovat následující parametry:

- Úroveň NO_x ve výfukových plynech.
- Výška hladiny v nádrži AdBlue.

- Závady v systému sledování řízení emisí.
- Zjištění závad v systému následné úpravy výfukových plynů bude mít následující důsledky:
- Monitorovací systém bude informovat řidiče prostřednictvím výstražných kontrolek a chybových zpráv.
- Nastaví se *nevymazatelné kódy závad*.
- Možné snížení výkonu (v závislosti na typu závady).

Systém monitorování řízení emisí NO_x je aktivní pouze za následujících podmínek:

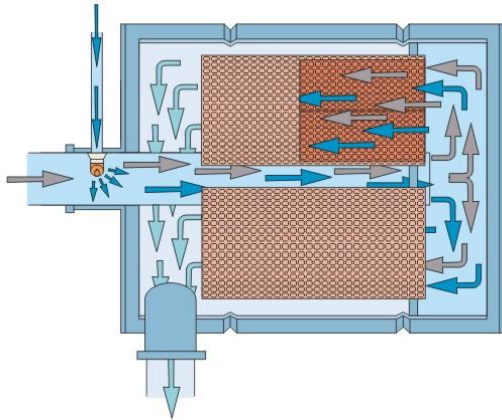
- Okolní teplota je v rozmezí -7 °C až $+35\text{ °C}$.
- Nadmořská výška je nižší než 1600 m.
- Teplota chladicí kapaliny je vyšší než 70 °C .

Pro nastavení (aktivaci) *nevymazatelných kódů závad* musí být splněna řada různých základních podmínek. Tyto podmínky se liší v závislosti na závadě, ke které došlo. Existují čtyři různé závady, které způsobí nastavení *nevymazatelného* kódu závady:

- Prázdná nádrž AdBlue.
- Úroveň emisí NO_x překračující certifikovanou úroveň o 1,5 g/kWh nebo více.
- Úroveň emisí NO_x překročí 7 g/kWh
- Nelze sledovat úroveň emisí NO_x.

3.5.2. Systém dozpracování výfukových plynů EATS EURO 5

Pracuje na stejném principu jako verze EURO IV pro motor D16E. Viz kapitola 3.4.1



Obr. 25 Tlumič výfuku s katalyzátorem motoru EURO V

Zdroj: VOLVO Group Czech IMPACT

3.6.Motor D16K750

Motor D16K uvedený na trh v průběhu roku 2014 je vylepšením 16litrového motoru D16GC a splňuje požadavky emisní normy Euro 6.

Hlavní změny motoru D16K ve srovnání s motorem D16G jsou tyto:

- Dvoufázový turbokompresor.
- Systém sběrné lišty common rail.
- Systém EGR (Recirkulace výfukových plynů) s chlazením.
- Nový tlumič s vylepšeným řízením emisí.
- Nové čerpadlo činidla (AdBlue)
- Systém AFI (Palivový vstřikovací ventil pro následné zpracování) pro regeneraci systému následné úpravy spalin.

Vstřík paliva – Vstřikování se systémem sběrné lišty-common rail,

Vstřík řízen řídicí jednotkou motoru v závislosti na provozních podmínkách a vyhodnocení údajů snímačů motoru. Otvírací tlak trysek 205 000 kPa.

Tvar spalovacího prostoru – nedělený prstencový

Kompresní poměr – 16,8 : 1

Ventilový rozvod – 2 sací a 2 výfukové ventily

Plnění – přeplňování dvoufázovým turbodmychadlem první je nízkotlaké, druhé je turbodmychadlo s variabilní geometrií (VGT). max. tlak plnění není udáván. Sání s mezichladičem stlačeného vzduchu. Výběr turbodmychadla může ovlivnit rozdíl tlaku mezi sběrným výfukovým a sacím potrubím. To je kritické pro průtok recirkulovaných plynů v systému EGR a také poměr směsi paliva se vzduchem. Turbodmychadla s variabilní geometrií (VGT) nabízí dobrou flexibilitu regulace průtoku recirkulovaných plynů v systému EGR a poměru směsi paliva se vzduchem, ale jsou drahá a složitá.

Další, samostatnou kapitolou této práce, by mohlo být měření emisí vozidel v provozu podle požadavků zákona č. 56/2001 Sb. a jeho prováděcích předpisů. Vzhledem k šířce této problematiky a probíhajícím novelizacím uvedených norem a metodických postupů v roce 2017 se domníváme, že by toto mělo být námětem pro samostatnou odbornou práci.

Motor je vybaven systémem na dozpracování výfukových plynů (EATS). Systémem regenerace filtru DPF (AFI).

Vozidlo je v souladu s legislativou EU vybaveno zařízením monitorujícím plnění emisních limitů.

ECM elektricky ovládaný pojistný ventil **(14)**, který palivo zpětným potrubím **(15)** do podélného palivového kanálu **(10)** v hlavě válců.

Pokud se tlak v rozdělovacím potrubí Common Rail **(12)** příliš zvýší, elektricky ovládaný pojistný ventil **(14)** se otevře a vrátí palivo přes zpětné potrubí **(15)** do nádrže a skříně čističe paliva. Otevírací tlak pojistného ventilu tak, aby byl vždy mírně vyšší než požadovaný tlak v rozdělovacím potrubí Common Rail. Pojistný ventil automaticky uvolní palivo z vysokotlaké strany na nízkotlakou stranu, pokud tlak v rozdělovacím potrubí Common Rail bude příliš vysoký vzhledem k požadovanému tlaku v rozdělovacím potrubí Common Rail.

ECM používá signál ze snímače tlaku paliva **(13)** k ovládní elektrického zpětného ventilu **(14)** a čerpacích vstřikovacích trysek **(11)**.

Vracené palivo z palivového kanálu v hlavě válců **(10)** je vedeno do skříně čističe paliva **(4)** přes přetokový ventil **(16)** a zpět do nádrže přes jednosměrný ventil **(17)**. Přetokový ventil reguluje tlak v přecházejících místech potrubí. Ve zpětném potrubí do nádrže je umístěn omezovač **(18)** za účelem udržování tlaku v přecházejících místech potrubí. Vracené se palivo se směšuje s palivem z nádrže v kanálu, který vede skříní čističe paliva, a dále je nasáváno do vstupu podávacího čerpadla (strana sání).

Vracené palivo z palivového kanálu **(10)** hlavy válců se rovněž využívá k ohřevu skříně čističe paliva **(4)**. Pomocí jednosměrného ventilu **(17)** je palivo vraceno do skříně čističe paliva **(4)** přes recirkulační ventil **(19)** .

V podávacím čerpadle jsou dva ventily - pojistný ventil **(20)** umožňuje při příliš vysokém tlaku průtok paliva na stranu sání, například při zaneseném palivovém filtru, zatímco jednosměrný ventil **(21)** se otevírá při použití ručního palivového čerpadla **(5)**, čímž usnadňuje ruční čerpání paliva.

Palivová soustava se odvzdušňuje automaticky při startování motoru. Odvzdušňovací ventil **(22)** na primárním filtru je připojen ke zpětnému potrubí do přívodu podávacího čerpadla (strana sání). Jakýkoli vzduch v primárním filtru může proudit přes ventilační ventil a napájecí čerpadlo do hlavního filtru. Na hlavním filtru je odvzdušňovací ventil **(23)** připojen ke zpětnému potrubí do palivové nádrže, takže veškerý vzduch v soustavě

proudí zpět do nádrže i s malým množstvím paliva. Po dokončení odvzdušnění přestane odvzdušňovacím ventilem (23) proudit vzduch a kuželka ventilu (24) je vytlačena palivem nahoru, čímž uzavře průtok do zpětného potrubí.

Při výměně hlavního filtru (9) se uzavře kuželka ventilu (24) v odvzdušňovacím ventilu (23) a zabrání vytékání paliva vyšroubování filtru. Při výměně primárního filtru (7) je nemůže palivo vytékat z přetokového ventilu (16) a podávací čerpadlo (1) se nachází níže než skříň čističe paliva (4).

Skříň čističe paliva obsahuje kanál napájení dávkovací jednotky (25) pro systém AFI (Palivový vstříkovací ventil pro následné zpracování) palivem. Dávkovací jednotka rovněž obsahuje snímač tlaku paliva (26), který měří přívodní tlak za hlavním filtrem.

Snímač výšky hladiny (27) v odlučovači vody (8) signalizuje přítomnost vody v palivové soustavě. Vypouštění se provádí tlačítky na volantu. Pomocí nich se prostřednictvím řídicí jednotky motoru otevře elektrický vypouštěcí ventil (28).

3.6.2. AFI - vstříkování paliva následné úpravy D16K750

Systém AFI (vstříkování paliva následné úpravy) vstříkuje motorovou naftu do výfukového systému za účelem zvýšení teploty výfukových plynů na úroveň, která je potřebná pro regeneraci (oxidaci) filtru DPF a katalyzátoru SCR.

Tento proces se nazývá aktivní regenerace, která zabraňuje vytvoření velkého množství sazí ve filtrech. Provádí se, pokud není pasivní regenerace dostatečná (teplota výfukových plynů je během normálního provozu nízká). Čistota palivo-vého potrubí je udržována přiváděním stlačeného vzduchu.

Systém AFI je řízen jednotkou ECM a obsahuje tyto hlavní součásti:

- Dávkovací jednotka, na tělese palivového filtru
- Vstříkovací ventil
- Vzduchové/palivové potrubí ke vstříkovacím ventilům
- Palivové potrubí

- Vzduchové potrubí

3.6.3. EGR – recirkulace výfukových plynů D16K750

Recirkulace výfukových plynů (EGR) je technologie řízení emisí, která značným způsobem snižuje emise NO_x z motorů.

U motorů Euro 6 se systém EGR se používá společně s technologií SCR.

Systém EGR je účinný způsob řízení emisí NO_x z motorů.

Systém EGR snižuje emise NO_x snížením koncentrace kyslíku ve spalovací komoře a také pohlčováním tepla.

4. ZÁVĚR

Vývoj emisních norem a vývoj technologie vznětových spalovacích motorů, včetně systémů na dodatečné zpracování emisí zaručuje vyšší ochranu životního prostředí a ochranu zdraví obyvatel. Organizace Spojených Národů si toto uvědomuje a například dokument o vlivu emisí vznětových motorů, který vydala v roce 2014 v Ženevě, pod názvem “Emise diesellových motorů, mýty a skutečnost” ukazuje, že dopad emisí vznětových motorů na zdraví obyvatel světa je nezanedbatelný a stojí za to se tímto problémem zabývat.

Pokud se podíváme na problematiku emisí z globálního pohledu viz 2.1., uvědomíme si, že rozdíly v požadavcích na emisní limity se velmi liší. Důvody nejsou ovšem, pouze ekonomické, ale i technologické. Přísné emisní limity zvyšují požadavky nejen na kvalitu paliva, kdy je nutný nízký obsah síry a nízký obsah biosložek v palivu. Také se zvyšují požadavky na uživatele, vznikají paradoxní situace, kdy uživatelé ředí AD Blue vodou. Nebo jej kontaminují ropnými látkami, to vše má za následek poškození systémů dodatečného zpracování emisí. A jen pro zajímavost cena kompletního tlumiče výfuku se systémem EATS pro nákladní vozy VOLVO se pohybuje okolo 10 000 Euro. Z tohoto důvodů se domnívám, že bude opravdu celosvětové zavedení přísnějších emisních norem během na dlouhou trať. Přísné emisní normy mají přímý vliv na cenu přepravy komodit a mohou způsobovat i jisté zpomalování ekonomiky tam, kde je hospodářství závislé na přepravě a infrastruktura neumožňuje jiné řešení, než těžkou nákladní dopravu po silnici.

Nemohu opomenout i výrazně vyšší nároky na servisní síť, nové systémy dopracování emisí jsou vysoce sofistikované a jejich vývoj za posledních deset let byl doslova překotný. To vše zvedá náklady jak na výrobu vozidel, tak na jejich provoz i servis. V současné době se setkávám stále častěji s názorem, že ačkoliv je vznětový motor hospodárnější než motor zážehový, se vzrůstajícím tlakem na přísnější emisní limity jeho obliba klesá. U osobních automobilů dokonce automobilky jako VOLVO, nebo RENAULT dokonce uvažují o postupném ukončení výroby. A v případě těžkých nákladních automobilů, zatím není budoucnost nastíněna vůbec. Stejně jako nyní, i v budoucnu se budeme setkávat se situací, kdy emisní úroveň vozidel bude mít stále podstatnější dopad na spoustu faktorů, například na :

- Poplatky výrobců vozidel za produkci vozidel nesplňujících určitou úroveň hodnoty CO2 (pozn.: zatím je limitováno a hodnoceno pouze u vozidel kategorie M1, N1, ale dá se brzy očekávat i u dalších kategorií)
- Poplatky za vjezdy do měst, přístavů, nízko emisních zón (již nyní platný zákaz vjezdu vozidel určité emisní úrovně v SRN, Francii, Itálii, Rakousku, Dánsku, Velké Británii)
- Poplatky za parkování (zvýhodnění “ekologických” vozidel)
- Výši silničního mýta
- Poplatky při přeregistraci vozidel (platné i v ČR, SK pro vozidla určitých kategorií)
- Výši silniční daně apod.

5. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

DEKRA Školení pracovníků SME., [Online] 2015. [Citace: 10. Duben 2017.] Dostupné na: <http://www.dekra-kurzy.cz/prohlubovaci/kurzy_verejne?group=SME>.

DELPHI: Worldwide Emissions Standards Heavy Duty and Off-Highway Vehicles. [On-line]. Verze 2014-2015, [Citace dne: 10. Duben 2017]. Dostupné na: <<http://delphi.com/docs/default-source/old-delphi-files/2014-2015-delphi-worldwide-emissions-standards-heavy-duty-off-highway-vehicles.pdf>>.

Stejskalík J. . Snižování emisí škodlivin u vznětových motorů. [Online] 2017. [Citace: 10. Duben 2017]. Dostupné na: <<http://www.ssa-krnov.cz/upload/soubory/00032.pdf>>.

TÜV SÜD Czech s.r.o: Platné emisní limity EURO 5 a EURO 6 [Online] 2017. [Citace: 10. Duben 2017]. Předpis EHK 49: E/ECE/324Rev.1/Add.48/Rev.6 – nákladní vozy [Online] Předpis EHK 83: E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.82 – osobní vozy [Online] Dostupné na: <<http://www.tuv-sud.cz/cz-cz>>

VLK, František. Vozidlové spalovací motory. Brno: František Vlk, 2003. Str.119. ISBN 80-238-8756-4.

VLK, František. Vozidlové spalovací motory. Brno: František Vlk, 2003. Str.233. ISBN 80-238-8756-4.

VOLVO TRUCK., 2017. IMPACT 4.02.11. Motory D16 [Online] 2017. [Citace: 10. Duben 2017]. Dostupné na: <<http://secure2.volvo.com/impact3/application/#serviceTab>>.

VOLVO TRUCK., 2017. IMPACT 4.02.11VOLVO Truck academy, školení EATS [Online] 2017. [Citace: 10. Duben 2017.] Dostupné na: <<http://grouptruckportal.volvo.com/ebusiness/ContentTemplate1.aspx?Top=C5CADB4F-A0DE-4199-8CDE-236DF82303D6>>.