

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Zemědělská a dopravní technika

Katedra: Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Porovnání emisních norem u motorů JCB

Vedoucí diplomové práce: Ing. Antonín Dolan, Ph.D.

Autor diplomové práce: Bc. Tomáš Ryšavý

České Budějovice, 2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš RYŠAVÝ**
Osobní číslo: **Z15306**
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**
Studijní obor: **Zemědělská a dopravní technika**
Název tématu: **Porovnání emisních norem u motorů JCB**
Zadávací katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je provedení měření emisí výfukových plynů u motorů s různou technologií na jejich snížení a odpověď na otázky:

1. Je zvolený diagnostický systém dostatečně přesný?
2. Odpovídají naměřené hodnoty direktivě EU a datům od výrobce?


V práci se zaměřte na:

1. Popis používaných diagnostických systémů pro měření emisí výfukových plynů.
2. Provést konkrétní měření.
3. Odpovědi na otázky z cílů této práce.
4. Zhodnocení výsledků.
5. Uvést závěry pro praxi.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 50 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

- BAUMRUK P. (1996): Příslušenství spalovacích motorů. Praha, ČVUT, s. 61. ISBN 80-01-01103-8.
BOSCH R. (2009): EPS 200 Manual Automotive Aftermarket- diagnostics, [překl.] Robert Bosch GmbH. 72 s.
DEMPSEY P. (2007): Troubleshooting and repair of diesel engines. 4th ed. Maidenhead: McGraw-Hill Professional, 390 s. ISBN 0071493719.
FIREMNÍ LITERATURA JCB (2016).
GSCHIEDLE R., MICHNA Z. a MICHŇOVÁ I. (2001): Příručka pro automechanika. Praha, Sobotáles, s. 280-288. ISBN 80-85020-76-X.
JAN Z., ŽDÁRSKÝ B. (2003). Automobily 4. 1. Vydání. Brno: Nakladatelství Avid, s.r.o., 266 s. ISBN 80-3752463-4.
MARTYR A. J., PLINT M. A. (2007): Engine testing theory and practice. 3. vydání, Oxford: Burlington, MA. 442 s. ISBN 978-0-7680-1850-9.
VLK F. (2003): Vozidlové spalovací motory. 1.vyd. Brno, nakladatelství a vydavatel. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., s 117-141. ISBN 80-238-8756-4.
Omezené internetové zdroje:
<http://www.jcb.co.uk/About/Our-Story.aspx>
<https://scholar.google.cz/>
https://books.google.com/advanced_book_search
<http://www.elsevier.com/online-tools/scopus>

Vedoucí diplomové práce: Ing. Antonín Dolan, Ph.D.
Katedra zemědělské dopravy a manipulační techniky
Datum zadání diplomové práce: 31. ledna 2017
Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2018


prof. Ing. Michal Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
střední oddělení
Budovská 1928, 370 05 České Budějovice


doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 14. března 2017

Prohlášení autora, souhlas s uveřejněním práce:

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s využitím informací z literatury, jejíž seznam je součástí této práce a je uveden v kapitole Seznam citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 18. 4. 2018

.....

podpis autora

Poděkování:

Poděkování patří především vedoucímu práce, Ing. Antonínu Dolanovi, Ph.D., za jeho cenné a ochotné rady při vedení mé diplomové práce a také při jejím zpracování.

Abstrakt:

Cílem této diplomové práce je porovnání posledních emisních norem u motorů JCB, které jsou použity v teleskopických nakladačích značky JCB. První část této práce je zaměřena na historii firmy JCB, vývoj teleskopických nakladačů JCB Loadall a dále se zabývá problematikou emisí, jejich vznikem, působením na člověka a na ovzduší. Dále jsou zde uvedeny způsoby řešení, kterými lze emise snižovat, a to jak způsoby snížení škodlivin konstrukčním řešením spalovacího prostoru, tak snižování pomocí systémů jako je SCR (Selective Catalytic Reduction), DOC (Diesel Oxidation Catalyst), EGR (Exhaust Gas Recirculation) a filtry pevných částic a také jsou zde uvedeny emisní předpisy. Druhá část této práce je zaměřena na provedení vlastního měření emisí výfukových plynů u motorů JCB s různou technologií pro jejich snižování. Naměřené hodnoty budou dále zpracovány a vloženy do tabulek a grafů, které budou pak následně mezi sebou porovnány.

Klíčová slova: emise; snižování emisí; motory JCB; měření výfukových plynů

Abstract:

The aim of this diploma thesis is to compare the latest emission standards for JCB engines that are used in JCB telescopic loaders. The first part of this work is focused on the history of JCB, the development of JCB Loadall telescopic loaders and also deals with issues of emissions, their origin, effects on humans and the atmosphere. In addition, there are listed ways how to reduce emissions, both ways of reducing pollutants by designing the combustion chamber and reducing them by systems such as SCR (Selective Catalytic Reduction), DOC (Diesel Oxidation Catalyst), EGR (Exhaust Gas Recirculation) and particulate filters. Emission regulations are included as well. The second part of this work is focused on the actual measurement of the exhaust gas emissions of JCB engines with different technologies for their reduction. The measured values will be further processed and inserted into tables and graphs that will then be compared to each other.

Key words: emissions; reduction of emissions; JCB engines; exhaust gas measurement

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Literární přehled.....	11
2.1 Historie značky JCB.....	11
2.2 Časová osa manipulátorů JCB Loadall	13
2.3 Emise spalovacích motorů.....	15
2.3.1 Vznik emisí u vznětových motorů	15
2.4 Složení emisí u vznětových motorů	15
2.4.1 Oxid uhelnatý CO	15
2.4.2 Nespálené uhlovodíky HC	16
2.4.3 Oxidy dusíku NO _x	17
2.4.4 Pevné částice PM	17
2.4.5 Oxidy síry (SO _x).....	18
2.4.6 Oxid uhličitý (CO ₂).....	18
2.5 Produkce škodlivých emisí z hlediska negativního působení na člověka ...	19
2.5.1 Oxid uhelnatý CO	19
2.5.2 Oxidy dusíku NO _x	20
2.5.3 Nespálené uhlovodíky HC	20
2.5.4 Pevné částice PM	20
2.6 Vliv emisí z dopravy na životní prostředí	21
2.7 Konstrukční řešení motorů s příznivým vlivem na snižování emisí	22
2.7.1 Kompresní poměr.....	22
2.7.2 Tvar spalovacího prostoru.....	22
2.7.3 Časování ventilů.....	23
2.7.4 Uspořádání sacího systému.....	23
2.7.5 Zvyšování vstřikovacího tlaku	24

2.7.6	Přepřínování motorů	26
2.8	Způsoby snižování emisí mimo spalovací prostor vznětových motorů	28
2.8.1	Recirkulace výfukových plynů	30
2.8.2	Filtry pevných částic	33
2.8.3	Oxidační katalyzátor	35
2.8.4	Selektivní katalýza	36
2.9	Emisní předpisy	37
2.10	Rozdělení a popis modelové řady teleskopických nakladačů JCB.....	40
2.10.1	Rozdělení dle zdvihu a nosnosti.....	40
2.10.2	Rozdělení dle výkonu.....	40
2.10.3	Rozdělení dle převodového ústrojí	41
2.10.4	Rozdělení dle výkonu hydraulického systému.....	42
2.11	Metody měření emisí u vznětových motorů	42
3.	Cíl práce	44
4.	Metodika	45
4.1	Popis vybraných motorů pro měření	45
4.1.1	JCB Dieselmax Tier III	45
4.1.2	JCB Ecomax Tier IVi.....	47
4.1	Přístroje použité k měření kouřivosti u vybraných strojů	48
4.1.1	Popis přístroje BOSCH ESA/RTM 430.....	48
4.1.2	Popis přístroje MAHA MDO – 2	50
4.2	Metodický postup při měření emisí u vznětových motorů.....	50
5.	Vlastní práce.....	54
5.1	Naměřené hodnoty emisí u motorů Dieselmax s emisní normou Tier III... 54	
5.1.1	Stroj č. 1	54
5.1.2	Stroj č. 2	55

5.1.3	Stroj č. 3	56
5.1.4	Stroj č. 4	57
5.1.5	Stroj č. 5	58
5.1.6	Stroj č. 6	59
5.2	Naměřené hodnoty emisí u motorů Ecomax s emisní normou Tier IVi.....	60
5.2.1	Stroj č. 1	60
5.2.2	Stroj č. 2	61
5.2.3	Stroj č. 3	62
5.2.4	Stroj č. 4	63
5.2.5	Stroj č. 5	64
5.2.6	Stroj č. 6	65
6.	Výsledky	66
6.1	Výsledné hodnoty emisí u motorů Dieselmax s emisní normou Tier III	66
6.2	Výsledné hodnoty emisí u motorů Ecomax s emisní normou Tier IVi.....	68
6.3	Porovnání výsledných hodnot naměřených emisí strojů s motory s emisní normou Tier III a Tier IV	70
7.	Diskuse.....	71
8.	Závěr	74
9.	Zdroje	75

1. Úvod

Emise výfukových plynů ze spalovacích motorů jsou v dnešní době stále více řešeným tématem a to hlavně z důvodu jejich škodlivosti k lidskému zdraví a také k ovzduší. Výfukové emise spalovacích motorů vznikají při spalovacím procesu. U vznětových motorů jsou nejvíce škodlivými emisemi oxid uhelnatý (CO), nespálené uhlovodíky (HC), oxidy dusíku (NO_x), pevné částice (PM) a v neposlední řadě také oxid uhličitý (CO₂), který není škodlivý pro člověka, ale způsobuje tzv. globální oteplování.

Řešení problémů s emisemi spalovacího motoru je mnoho. Mohou to být opatření, která emise snižují, a to buď redukcí spalin konstrukčním řešením motorů jako například tvar spalovacího prostoru, kompresní poměr, vstřikovací tlaky, nebo přeplňování motorů. Dále to pak mohou být systémy, které redukují spaliny mimo spalovací prostor a těmi systémy jsou například EGR, SCR, filtry pevných částic a DOC.

Množství výfukových spalin u zemědělských traktorů, které může motor vyprodukovat, je dán směrnicí č. 2000/25/EC s novelou č. 2005/13/EC o opatřeních proti emisím plynných znečišťujících látek a znečišťujících částic z motorů používaných k pohonu zemědělských a lesních traktorů. Tato novela respektuje metodiku a stanovené limity ze směrnice č. 97/68/EC, kde jsou limitovanými emisemi oxid uhelnatý CO, uhlovodíky, resp. těkavé organické sloučeniny HC, suspendované částice PM a oxidy dusíku NO_x.

2. Literární přehled

2.1 Historie značky JCB

Joseph Cyril Bamford se narodil v Anglii v roce 1916 a byl předurčen k tvoření velkých věcí. Jako jediný majitel a zakladatel společnosti JCB byl Joseph mužem se základními inženýrskými dovednostmi, který začal svůj profesionální život v roce 1945, kdy založil malou dílnu ve své garáži o rozměrech (3,6 x 4,5 metrů) na výrobu přívěsů z přebytečných materiálů z války.

Jeho prvním produktem byl zemědělský vyklápěcí přívěs, který přinesl na místní trh a prodával ho za pouhých 45 britských liber.

Do roku 1948 zaměstnal šest lidí a obrátil svou pozornost k vývoji prvního evropského hydraulického sklápěcího přívěsu s názvem Si - draulic.

První továrna JCB se nacházela v malé vesnici Rocerster v Staffordshire, kde sídlí také jedna z prvních vodovodních továren.

Rok 1953 znamenal zlom v historii společnosti spuštěním prvního rýpadlo-nakladače. Stroj byl tak oblíbený, že se stal prvním kusem zařízení vyráběného společností JCB, které vlastně nese logo společnosti.

V roce 1960 společnost JCB představila dvojité hydraulický systém a tříbodovou lopatu. Stejný rok společnost také pronikla se svými produkty na severoamerický trh.

V roce 1963 spustila společnost JCB 3C rýpadlo-nakladač. 3C byl navržen s komfortem domova - měl schopnost vařit v konvici uvnitř kabiny stroje.

Do roku 1964 vyrobila a prodala společnost JCB více než 3 000 kusů těchto produktů.

Do roku 1969 byla vyvezena polovina veškeré výroby společnosti JCB.

Bamford byl také poněkud skvělý marketer a guru pro styk s veřejností, tyto dovednosti mu nepochybně pomohly vést jeho rostoucí podnik k celosvětovému úspěchu.

Během šedesátých let 20. století získala společnost JCB také popularitu pro to, co se brzy stalo tradicí - "JCB kousky". To zahrnovalo takové mimořádné taktiky,

jako je zdvihání bagrů na hydraulických ramenech. Cílem bylo ukázat sílu a všestrannost strojů. Tyto přehlídky, nazvané "Dancing Diggers", se staly hlavním lákadlem na zemědělských výstavách a zůstávají oblíbenými u davů dodnes.

Od poloviny šedesátých let společnost JCB přinesla na trh řadu strojů.

V roce 1978 společnost zahájila výrobu manipulátorů Loadall. Loadall se podílel na transformaci stavebnictví umožňující přepravu cihel a přepravu na paletách, nikoli ručně.

Dalším významným vývojem v historii společnosti byl traktor Fastrac. Tento výrobní stroj v 90. letech získal řadu ocenění včetně ocenění Prince of Wales za inovace. Jako první a jediný "vysokorychlostní traktor" měl Fastrac stále všechny výhody normálního traktoru, ale s větší univerzálností včetně rychlosti jízdy až 75 km.h⁻¹ v závislosti na modelu. V průběhu let společnost obdržela řadu ocenění včetně 15 ocenění královny za technologii a exportní úspěch.

Syn Sir Anthony Bamford pokračoval ve stopách svého otce tím, že převzal funkci předsedy společnosti JCB. Řízení firmy převzal v lednu 1976 ve věku 30 let. Pan JCB zemřel 1. března 2001 ve věku 84 let. Anthony ztělesňoval stejnou horlivost, kterou otec vystavoval pro podnikání. Pod jeho vedením představil stále úspěšný teleskopický manipulátor Loadall a soustředil úsilí na rozšíření stávajících výrobních linek společnosti, zejména do kolových a pásových rypadel.

V roce 1994 se výpad JCB do diverzifikace produktů vyplatil. 140 milionů liber z odhadovaných 565 milionů liber v prodeji produktů pocházelo přímo z produktů, které byly zahájeny v předchozích pěti letech.

Dnes je firma JCB v soukromém vlastnictví rodiny Bamfordů a předseda, Sir Anthony Bamford, je nejstarším synem pana JCB.

Podle webové stránky společnosti Spojeného království je JCB nyní jedním z největších světových výrobců stavebních zařízení. Společnost zaměstnává 8 000 lidí, provozuje 17 závodů po celém světě a prodává různé druhy sortimentu, více než 279 různých strojů ve více než 150 zemích prostřednictvím sítě 1 300 prodejců, (<http://www.ritchiewiki.com/wiki/index.php/JCB>, „staženo dne: 20. 2. 2018“).

2.2 Časová osa manipulátorů JCB Loadall

- 1977 JCB uvedl na trh teleskopický manipulátor s pohonem dvou kol s označením 520, maximálním zdvihem 2,48 t a výškou 6,4 m, který je na obrázku č. 1, těžší zvedání 525 bylo přidáno v roce 1980,



Obrázek č. 1 - První vyrobený manipulátor s označením 520, zdroj:

<http://www.liftandaccess.com/content/jcb-produces-200000th-loadall-telescopic-handler-construction-news> staženo 20.2.2018, („staženo dne: 20. 2. 2018“)

- 1981 zavedena lehčí druhá generace 520-2 a 520-4, která zavádí pohon všech kol, upínací zařízení Q-fit a větší zadní kola pro lepší trakci a flotaci,
- 1982 společnost JCB přijala název "Loadall" pro svůj rozsah teleskopických manipulátorů,
- 1986 uvedena převodovka Synchro Shuttle, která poskytuje větší jízdní rychlost,
- 1987 JCB zavádí řídicí systém servoovládání hydraulických pohonů dotykem tlačítka,
- 1989 předvedena nová generace Loadall 525-58 a 525-67, stroje jsou vybaveny motorem uloženým uprostřed stroje, což zlepšuje viditelnost směrem dozadu. Kola se stejnou velikostí zlepšují manévrovací schopnost a trakci s vícenásobným způsobem řízení,
- 1997 uvedeny první modely s motorem na boku stroje, Loadall 530, 540, 532 a 537 poskytují optimální přístup k hnacím ústrojím a dále zlepšují viditelnost v pravé a zadní části stroje,

- 2001 společnost JCB představila svůj dosud největší manipulátor Loadall, 540-170, který nabízí 17 m výšku zdvihu ze čtyřstupňového výložníku,
- 2005 první motor JCB - 4.4 - litrový, 100 HP, mechanické vstřikování paliva Dieselmax - je instalován v modelech se vznětovými motory,
- 2006 Loadall se stane první značkou teleskopických manipulátorů, která dosáhla milníku 100 000 vyrobených kusů,
- 2009 společnost uvedla na trh model Loadall 527-58, první kompaktní model s hydrostatickým pohonem, s kapacitou 2,98 tuny a téměř 6 m výškou zdvihu v kompaktním a vysoce manévrovatelném obalu,
- 2012 Nový motor JCB Ecomax o objemu 4,4 litru s turbodmychadlem s variabilní geometrií lopatek,
- 2013 nejvyšší vztlak Loadall, 540-200 má pětistupňový výložník s výsuvem 20 m. Ultra - kompaktní hydrostatický pohon Loadall 525-60,
- 2014 Systém Smart Technology na strojích Wastemaster zahrnuje regenerační hydraulický zdvihový válec, který zrychluje nakládací cykly až o 20 % a snižuje spotřebu paliva o 15%,
- 2015 řada Loadall doplňuje motory Ecomax T4_F s jednoduchým výfukovým systémem SCR bez jednotek DPF pro finální předpisy Tier IV, zobrazený na obrázku č. 2,



Obrázek č. 2 – Motor JCB splňující normu Tier IV final, zdroj:

https://www.farminguk.com/News/JCB-unveils-Ecomax-Tier-4-engine-strategy_25392.html, („staženo dne: 20. 2. 2018“)

- 2016 výroba Loadall dosahuje 200 000 vyrobených strojů,
- Duben 2016 uvedena nová převratná převodovka DualTech VT s kombinací hydrostatické a powershift převodovky na trh a zahájení prodeje, (<https://www.forconstructionpros.com/rental/lifting-equipment/telescopic-handler/press-release/12192270/jcb-americas-jcb-produces-200000th-loadall-telescopic-handler>, „staženo dne: 20. 2. 2018“).

2.3 Emise spalovacích motorů

2.3.1 Vznik emisí u vznětových motorů

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

- Produkce CO₂ (Oxid uhličitý) při dokonalém spálení 1 kg nafty je 3,15 kg,
- Pro dokonalé spálení 1 kg nafty se spotřebuje 3,4 kg O₂,
- Pro dokonalé spálení 1 kg nafty se spotřebuje 14,78 kg vzduchu (ŠMERDA, 2013).

2.4 Složení emisí u vznětových motorů

2.4.1 Oxid uhelnatý CO

Oxid uhelnatý vzniká nedokonalým spalováním při nedostatku kyslíku ve spalované směsi nebo se může jednat o lokální nedostatek kyslíku ve spalovacím

prostoru. Jeho vznik lze také přisuzovat tzv. disociaci spalín, při které dochází k rozkladu produktů dokonalého spalování CO_2 a H_2O (voda) na CO a H_2 (vodík) při teplotách nad $2000\text{ }^\circ\text{C}$. Při měřeních se často může zjistit obsah CO i při vysokém součiniteli přebytku vzduchu a v důsledku zpomalení reakcí ve fázi, kdy má dojít k oxidaci CO na CO_2 . To odpovídá provozu např. na volnoběh. Ze zdravotního hlediska patří k nejjedovatější složce ve výfukových plynech. Typické složení výfukových plynů u vznětového motoru lze vidět v tabulce č. 1. (ŠMERDA, 2013)

Tabulka č. 1 – Typické složení výfukových plynů vznětového motoru

Složky výfukových plynů	Jednotka	Při volnoběhu	Při max. zatížení
Oxidy dusíku NO_x	ppm	50 - 100	600 - 2000
Uhlovodíky HC	ppm	50 - 500	< 50
Oxid uhelnatý CO	ppm	100 - 450	< 300
Oxid uhličitý CO_2	% vol.	...3,5	Přibližně 12
Vodní pára H_2O	% vol.	2 - 4	... 11
Kyslík O_2	% vol.	18	4 - 8
Dusík N_2		zbytek	zbytek
Teplota výfukových plynů	$^\circ\text{C}$	100-150	550-800
ppm (parts per milion) - miliontina množství			

Zdroj: ŠMERDA a kol., (2013)

2.4.2 Nespálené uhlovodíky HC

Nespálené uhlovodíky HC jsou zastoupeny ve výfukových plynech v různé formě souhrnně označované jako HC. Vznikají za velmi nepříznivých oxidačních podmínek. Vznikají buď z paliva (uhlovodíky destilující na konci destilační křivky) jako výsledek předčasně zastavených reakcí v tzv. zhášecích zónách (vysoký součinitel přebytku vzduchu, nízká teplota hoření v blízkosti stěn) nebo jako produkt tepelných krakovacích a dalších chemických reakcí. Nejmenší škodlivost mají obvykle původní uhlovodíky z paliva, nejrizikovější jsou polycyklické aromatické uhlovodíky PAH vytvořené polymerizací jiných uhlovodíků nebo při spalování za vysokých teplot při nedostatku kyslíku. Druhou skupinu tvoří zbytky mazacího oleje, především těžko odpařitelné podíly, které se vážou na pevné částice. Motory s přímým vstřikem vykazují zpravidla vyšší hodnoty než motory komůrkové (ŠMERDA, 2013).

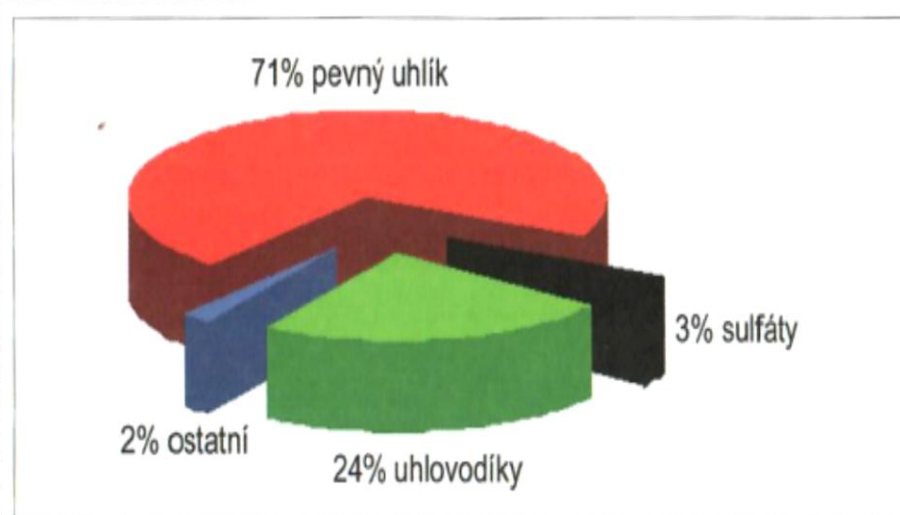
2.4.3 Oxidy dusíku NO_x

Vznikají oxidací dusíku dopraveného do spalovacího prostoru v nasávaném vzduchu společně s kyslíkem určeným pro oxidaci paliva nebo kyslíkem obsaženým v palivu, jehož význam se projevuje především u biopaliv. Oxidy dusíku tvoří NO – oxid dusnatý, N₂O – oxid dusný a NO₂ - oxid dusičitý. Oxidy dusíku vznikají při vysokých teplotách (nutná velká aktivační energie pro zahájení reakcí) a tlacích ve spalovacím prostoru a jejich tvorba je tedy závislá na bohatosti směsi a koncentraci kyslíku. Pak množství oxidů dusíku u vznětových motorů klesá s rostoucím součinitelem přebytku vzduchu. Svého maxima pak dosahuje při hodnotách 1,6 až 1,8. Tato hranice odpovídá i největší bohatosti směsi u vznětových motorů. Při vzniku NO_x tak v tomto režimu práce převládá vliv velikosti teploty ve spalovacím prostoru nad koncentrací kyslíku. V literatuře se uvádí tvorba NO jako „termická“ v oblasti plamene s nízkým obsahem kyslíku při teplotách od 1300 °C (laboratorní podmínky), kdy dochází k disociaci dusíku. Ve spalovacím motoru je to až od 1900°C, 2000°C, 1800 K. Kromě toho vzniká tzv. „rychlý NO“ z HC a vzdušného kyslíku při teplotách 1200 – 1600 K. Největší zastoupení má oxid dusnatý z 95 %, který je také toxický. Po ochlazení pod 650 °C, např. ve výfuku dochází k jeho oxidaci na NO₂. Pro tvorbu oxidů dusíku je charakteristické, že svého maxima dosahuje v režimu motoru, kde pracuje s největší účinností a koncentrace ostatních emisí je velmi nízká, především HC a CO (ŠMERDA, 2013).

2.4.4 Pevné částice PM

Pevné částice PM se vyskytují v kapalném i plynném stavu, např. saze, karbon, popel, zbytky nespáleného motorového oleje a paliva, otěrové částice atd. Přitom neexistuje žádná všeobecná definice pro pevné částice. Podle definice organizace EPA (Environmental Protection Agency) se rozumí pod pojmem pevné částice všechny, které jsou při teplotě 51,7 °C v naředěném plynu v pevné nebo kapalně formě a jsou zachyceny na filtru. Saze (pevný uhlík) se tvoří při spalování bez přístupu kyslíku s okolními vysokými teplotami, ke které může docházet místně v důsledku nehomogenity směsi a souvisí s její přípravou. Maiboom uvádí, že minimální teplota pro tvorbu sazí je 1400 °C. Jejich množství klesá s rostoucím součinitelem přebytku vzduchu. Ve většině případů se rozměr částic pohybuje v rozmezí 0,3 – 1 μm, a na jejich povrchu se usazují těžko odpařitelné skupiny

nespálených uhlovodíků PAH (polycyklické aromatické uhlovodíky), které patří k hygienicky nejškodlivějším složkám. K usazování dochází ve výfukovém potrubí při ochlazování spalin. Složení pevných částic nelze jednoznačně stanovit, neboť závisí na mnoha různých parametrech. Vedle uspořádání spalovacího prostoru a provedení palivové soustavy zde hraje svoji roli také zatížení motoru, vlastnosti motorového oleje a paliva, opotřebení pístní skupiny atd. Složky označené jako SOF (Soluble organic fraction) zahrnují především uhlík z motorového oleje a jen malá část má původ v palivu. Vznikají zejména při nízkém zatížení a vysokých otáčkách motoru, kdy je nízká teplota výfukových plynů, při které se omezuje oxidace paliva a oleje, složení pevné částice je na obrázku č. 3 (ŠMERDA, 2013).



Obrázek č. 3 – Složení pevné částice u vznětového motoru v %, zdroj:

ŠMERDA a kol., (2013)

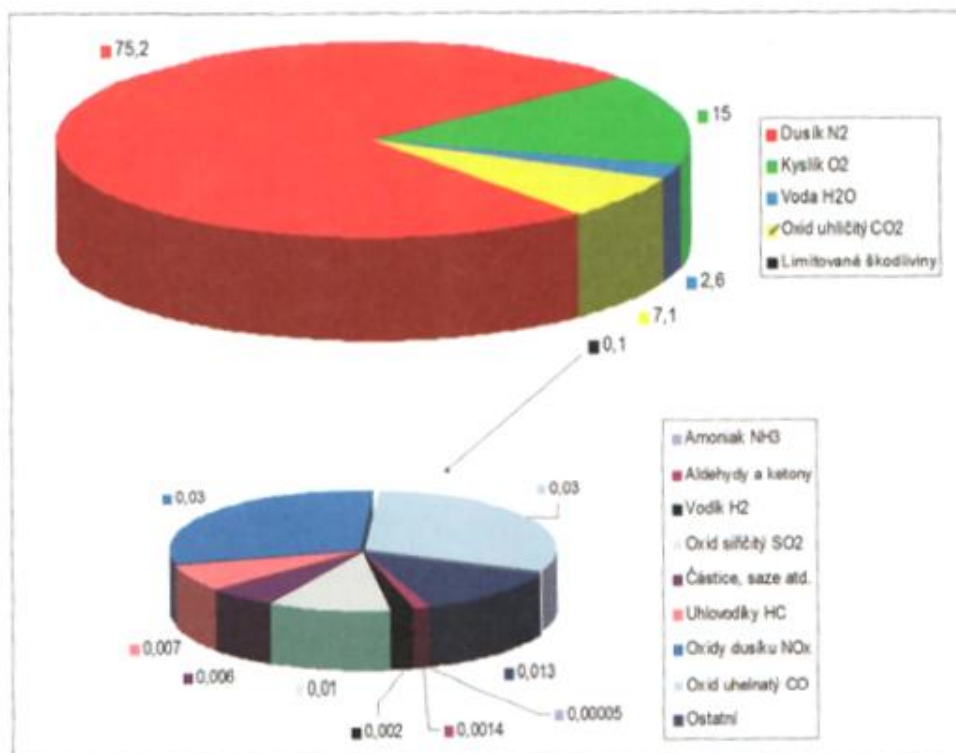
2.4.5 Oxidy síry (SO_x)

Podíl emisí oxidů síry ze spalovacích motorů na jejich celkových emisích z průmyslu je zanedbatelný. Jsou produkovány především vznětovými motory. Protože obsah síry v motorové naftě neustále klesá, klesají i jejich emise ze spalovacích motorů (ŠMERDA, 2013).

2.4.6 Oxid uhličitý (CO₂)

Oxid uhličitý není považován za škodlivinu, a proto také není jeho emitované množství legislativně omezeno. Obsah CO₂ v atmosféře však neustále vzrůstá. Je to velmi stabilní a poměrně málo reaktivní látka. Jeho výskyt ve výfukových plynech je

známkou kvalitního spalovacího procesu. Na lidský organismus nemá přímé negativní účinky, ale životní prostředí ovlivňuje poměrně podstatně. Jedná se totiž o významný skleníkový plyn. Na celkové produkci CO₂ se doprava podílí asi 20 %. Typické složení výfukových plynů u vznětového motoru v % lze vidět na obrázku č. 4 (KOHOUTEK, 1996).



Obrázek č. 4 – Typické složení výfukových plynů u vznětového motoru v %, zdroj:

ŠMERDA a kol., (2013)

2.5 Produkce škodlivých emisí z hlediska negativního působení na člověka

2.5.1 Oxid uhelnatý CO

Pro lidský organismus je jedovatý. S krevním barvivem vytváří velmi pevný karboxyhemoglobin (200krát raději se váže na hemoglobin než kyslík), který omezuje přenos kyslíku z plic do krevního oběhu. Tím jsou jednotlivé orgány poškozovány nedostatkem kyslíku, i když by tento byl obsažen ve vdechovaném vzduchu v dostatečném množství. Oxid uhelnatý se dále podílí na vzniku fotochemického (letního) smogu. Celková roční emise CO z antropogenních zdrojů je řádově srovnatelná s přírodními emisemi (HROMÁDKO, 2012).

2.5.2 Oxidy dusíku NO_x

Přímá škodlivost oxidu dusnatého na živý organismus je vcelku nízká. Při dalším pobytu v atmosféře dochází k jeho oxidaci na oxid dusičitý, jehož škodlivost je klasifikována jako závažnější. Při vdechování se na stěnách sliznice tvoří kyselina dusičná (HNO₃). Dýchací soustava reaguje na vdechování HNO₃ jako na začínající hoření a automaticky přivírá přístup vzduchu do plic. Důsledkem toho je pocit dušení a nucení ke kašli. Tento nežádoucí jev nastává již při velmi nízkých koncentracích, resp. při krátkých expozičních dobách. Oxidy dusíku se významně podílejí na tvorbě letního smogu. Spolupodílejí se též na tvorbě kyselých dešťů (HROMÁDKO, 2012).

2.5.3 Nespálené uhlovodíky HC

Nespálenými uhlovodíky jsou směsi různých skupin uhlovodíků, které vstupují jako palivo do oxidačního procesu nebo vznikají v průběhu spalování paliva ve válci motoru. Nejmenší škodlivost obvykle mají některé původní skupiny uhlovodíkového paliva, větší škodlivost (někdy až extrémní) vykazují potom ty druhy uhlovodíků, které vznikají jako meziprodukty oxidace původní uhlovodíkové molekuly, u kterých vlivem různých okolností proběhne cyklus oxidačních reakcí pouze z části (např. účinkem ochlazení v blízkosti stěn válce). Některé meziprodukty oxidačních reakcí patří do skupiny rakovinotvorných látek a jejich škodlivost je potom navíc mimořádná ve spojení s další výfukovou škodlivinou, pevnými částicemi (nespálené uhlovodíky se zachycují na povrchu částic a vdechováním se tak dostávají do lidského organismu velmi nebezpečné látky). Z plynných škodlivin se z celé škály nespálených či částečně zoxidovaných uhlovodíků považují za nejnebezpečnější polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), jejichž škodlivost je zesílena zmíněnou vazbou na povrch emitovaných pevných částic. Nejznámější polycyklický aromatický uhlovodík je benzo[a]pyren, u něhož byly karcinogenní účinky prokázány nejdříve (HROMÁDKO, 2012).

2.5.4 Pevné částice PM

Vznikají převážně u vznětových motorů. Obsahují primární uhlík, organický uhlík a malé množství sulfátu, dusíku, vody a další neidentifikovatelné složky. Obsah základního uhlíku se blíží k 75 %. Nicméně složení je závislé na typu motoru a na dodatečných zařízeních, např. filtru pevných částic. Jádro částic se skládá

z pevného uhlíku a popele. Organické a sulfátové směsi a další prvky jsou sorbované na povrch jádra během koagulace, adsorpce a kondenzace částic. Krátkodobá expozice může způsobit podráždění oka, jícnu, průdušek, neurofyziologické symptomy, např. nucení ke zvracení a dýchací potíže (dušnost). Chronická expozice může způsobit zánět a histopatologické změny v plicích. Odhad takzvané referenční koncentrace, která nezpůsobuje rakovinotvorný efekt po dlouhou dobu expozice je $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Částice v ovzduší se nacházejí v různých velikostech. Velké částice jsou odstraněny například polykáním nebo jsou zachyceny v horních cestách dýchacích. Menší částice, zvláště pod $0,1 \mu\text{m}$, mohou dosáhnout povrchu plic. Tyto částice mohou být odstraněny při čištění plicních sklípků, ale mohou být také unášeny do lymfatického systému a možná dále až do krve. Nejmenší částice o velikosti 1 nm mohou hrát důležitou roli v toxicitě okolních částic. Pevné částice jsou velmi malé částice co do velikosti, většina částic je menších než $1 \mu\text{m}$ a více než 90% může být ultra malých $< 0,1 \mu\text{m}$. V některých případech se vyskytují částice menší než 50 nm . Částice mají velký povrch, který může adsorbovat různorodé směsi, které mohou být toxické, mutagenní a karcinogenní, např. benzo[a]pyren (HROMÁDKO, 2012).

2.6 Vliv emisí z dopravy na životní prostředí

Z různých přehledových zpráv (např. BENDL 2008) vyplývá, že největší podíl přináší dopravě silniční, jejíž negativní vliv se projevuje především v produkci emisí znečišťujících ovzduší. Mezi významné složky výfukových emisí patří oxid uhličitý, jehož riziko spočívá v tom, že je to významný „skleníkový plyn“. Podle HOUGHTONA (1998) má silniční doprava největší podíl na produkci oxidu uhličitého mezi všemi ostatními formami dopravy. Stále více se podílí na zvyšování jeho koncentrace v atmosféře a mění tak jednu z planetárních složek o historicky nezanedbatelný podíl. Doprava také odčerpává neobnovitelné přírodní zdroje a při stále neudržitelném světovém růstu populace je zřejmé, že zásoby ropy budou předčasně vyčerpány se všemi negativními ekonomickými i sociálními důsledky. Podle J. BENDLA (2008) je třeba se „v předstihu připravit na ropný zlom“.

Mezi další automobilové emise patří sloučeniny dusíku. Vedle oxidu siřičitého se podílí na kyselých deštích, které jsou příčinou acidifikace půdy.

Fotochemický smog (zejména přízemní ozón), který rovněž doprovází silniční dopravu, poškozují vedle lidského zdraví i vegetaci. Negativně rovněž působí kontaminace půdy, vody a bioty v důsledku úniků znečišťujících látek z dopravních prostředků a vlivem aplikace posypových solí při zimní údržbě komunikací (http://www.ped.muni.cz/z21/knihy/2011/38/texty/cze/horka_hromadka.pdf, „staženo dne: 27. 11. 2017“).

2.7 Konstrukční řešení motorů s příznivým vlivem na snižování emisí

2.7.1 Kompresní poměr

Kompresní poměr má rozhodující vliv na stupeň tepelné účinnosti motoru. Proti zavedení vysokého kompresního poměru stojí především dva faktory:

- vyšší sklon ke klepání,
- vyšší emise škodlivých plynů.

Se zvyšujícím se kompresním poměrem roste hodnota teploty ve spalovacím prostoru. Tím dochází ke zvýšení počtu předčasných reakcí paliva, které vedou k samozapálení oblastí palivové směsi, ještě dříve než jsou dosaženy normálně se šířícím plamenem. Tento zvýšený sklon ke klepání zvyšuje nárok motoru na oktanové číslo paliva. Jako protiúčinek tomuto efektu může částečně pomoci vhodné uspořádání spalovacího prostoru (VLK, 2006).

2.7.2 Tvar spalovacího prostoru

Tvar spalovacího prostoru ovlivňuje velmi výrazně hodnotu nespálených uhlovodíků. Protože emise nespálených uhlovodíků vznikají ze sloupců a vrstev poblíž stěny válců, způsobují složité spalovací prostory s vysokým poměrem povrchu zvýšený vznik emisí HC. Výhodné jsou proto především kompaktní spalovací prostory s malým povrchem, které redukuje díky intenzivní turbulenci při vyplňování spalovacího prostoru a rychlému spalování nárok na oktanové číslo. Díky tomu lze při použití vyššího kompresního poměru lehčeji realizovat koncepci motorů s chudou směsí a tím se dosáhne nižší hodnoty emisí škodlivých látek výfukových plynů při dobrém stupni účinnosti (VLK, 2006).

2.7.3 Časování ventilů

Vyplachování válců, tj. výměna spálené směsi ve válci za čerstvou, probíhá při vhodném otevírání a zavírání sacích a výfukových ventilů. Průběh vyplachování válců je dán tvarem vačkové hřídele, která určuje časování ventilů, tedy jednotlivé okamžiky otevření a zavření sacích a výfukových ventilů a zároveň i křivky jejich zdvihů. Do válců proudící množství čerstvého vzduchu určuje točivý moment a výkon motoru. Podíl zbytku výfukových plynů, tzn. množství spálené směsi, které zůstane ve válci a není během otevření výfukového ventilu vytlačeno, ovlivňuje zapálení a spalování směsi. Tento podíl je důležitý pro stupeň účinnosti a hodnotu emisí nespálených uhlovodíků a oxidů dusíku. Během fáze překrytí ventilů, tj. v okamžiku, kdy jsou sací i výfukové ventily zároveň otevřeny, může v závislosti na tlakových poměrech proudit čerstvá směs do výfuku, nebo spálená do sání. Tím se výrazně ovlivní stupeň účinnosti a emise nespálených uhlovodíků. Optimálním řešením je časování ventilů v závislosti na otáčkách a zatížení. To se děje u systémů se dvěma vačkovými hřídeli, kde se pootáčí s vačkovou hřídelí sacích ventilů. Tím lze dosáhnout zvýšení překrytí ventilů ve vyšších otáčkách, a tedy vyšších výkonů a dobrého chodu motoru. Zároveň dochází v nižších otáčkách díky menšímu překrytí ventilů ke snížení emisí nespálených uhlovodíků (VLK, 2006).

2.7.4 Uspořádání sacího systému

Průběh výplachu válců je ovlivněn nejenom časováním ventilů, ale také uspořádáním sacího a výfukového systému. Sacími zdvihy pístu je vytvářeno v sacím potrubí periodické kolísání tlaku. Tyto tlakové vlny probíhají sacím potrubím a jsou na konci odraženy. Uspořádání délky sacího potrubí přizpůsobené časování ventilů má za účinek, že tlaková vlna dorazí k sacímu ventilu krátce před ukončením sacího taktu. Tento přetlakový efekt dodá do válce vyšší množství čerstvé směsi. Tlakové rázy vznikající v sacím potrubí působí podobně jako turbulence ve spalovacím prostoru. Plnicí pohyby umožňují zároveň rychlou přeměnu směsi paliva a vzduchu ve spalovacím prostoru. To zvyšuje stupeň účinnosti a schopnost spalování chudých směsí. Díky těmto prostředkům je možné realizovat motory s nízkými hodnotami škodlivých emisí výfukových plynů (VLK, 2006).

2.7.5 Zvyšování vstřikovacího tlaku

O snižování emisí vznětových motorů zvyšováním vstřikovacího tlaku mluvíme u vstřikovacích systémů, které jsou řízeny elektronikou, pomocí tzv. ECU (Electric Control Unit), neboli řídicí jednotkou, která je schopna díky informacím z jednotlivých čidel vyhodnotit nejlepší možné množství paliva pro vstříknutí v nejlepším možném čase a opakování. U traktorových motorů se jedná převážně o vstřikovací systémy s tlakovým zásobníkem Common Rail. Reálně lze počítat se snížením CO až o 40 %, HC až o 50 % a pevných nespálených částic až o 60 %. Vzhledem ke snížení měrné spotřeby paliva lze počítat i s poklesem produkce CO₂ až o 20 %, jak uvádí ve své publikaci (JAN, 2010).

2.7.5.1 Vstřikovací systém Common Rail

V šedesátých letech si inženýři uvědomili, že používání počítačem řízeného systému Common Rail s extrémně vysokým palivovým tlakem, nabízí revoluční možnosti pro vznětový motor. Jak ukazuje obrázek č. 5, moderní systém Common Rail používá vzdálené čerpadlo, které tlačí palivo do tzv. railu (trubice), která funguje jako nádrž, nebo jako akumulátor. Rail slouží k tomu, aby tlumil tlakové špičky čerpadla a stabilizoval se při otevření vstřikovačů. Vzhledem k tomu, že tlak v railu je téměř konstantní, může palivo vstřikovat nezávisle na čerpadle. V kombinaci s elektronickými vstřikovači dodávka paliva začíná brzy během kompresního zdvihu. Dva inženýři společnosti Nippon Denso - Shokei Itoh a Mashiko Miyaki - byli zodpovědní za první komerční verzi systému, která se objevila u modelů Hino Rising Ranger z roku 1995. Mezitím společnost Fiat a její dceřiná společnost Magneti Marelli Power pracovaly na systému Common Rail pro osobní automobily a lehké nákladní automobily. Koncem devadesátých let minulého století byl předán prototyp od společnosti Robert Bosch GmbH pro výrobu.

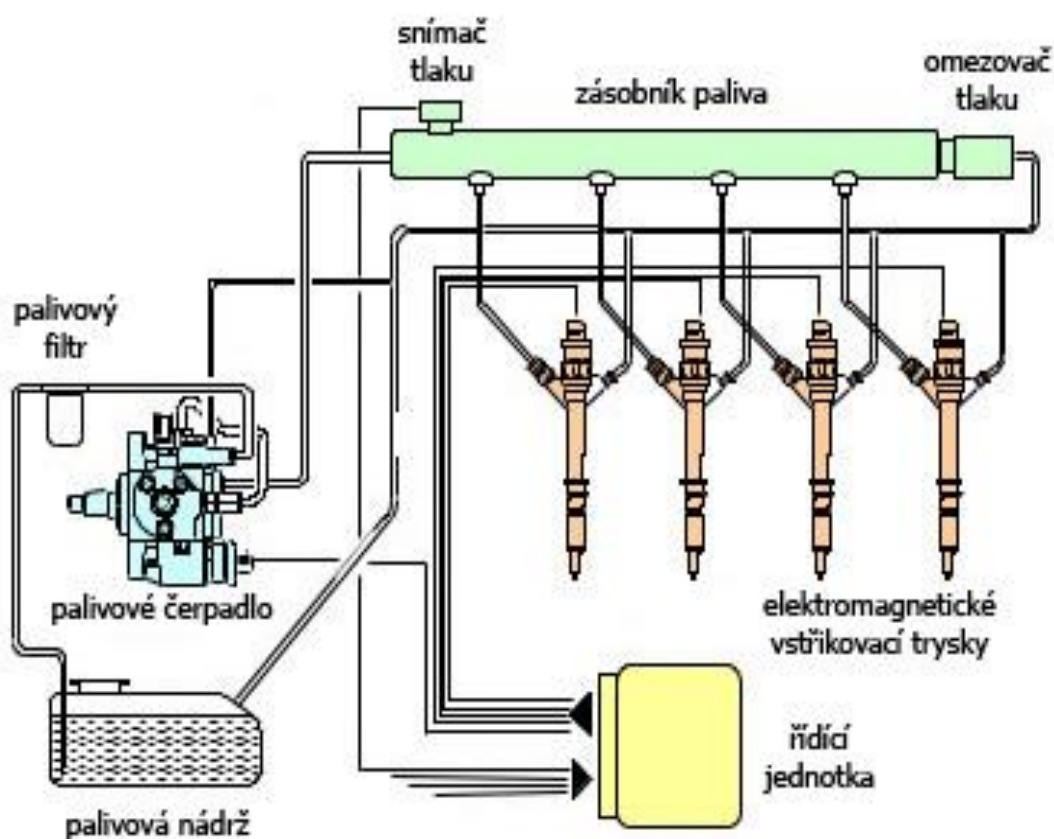
První generace: 135 MPa systém Bosch Common Rail debutoval v roce 1997, vysokorychlostní cestovní automobily Alfa Romeo a Mercedes-Benz. Následující vývoj společnosti Bosch byl rychlý:

- 1999 - první generace, systém nákladních vozidel 148 MPa (Renault),
- 2001 - systém druhé generace, 160 MPa pro osobní a nákladní automobily (Volvo a BMW),
- 2002 - druhá generace, systém nákladních automobilů 160 MPa (MAN),

- 2003 - třetí generace, 160 MPa systém pro osobní automobily (Audi V - 6), Piezo vstřikovače snížily emise o 20%, zvýšily výkon o 5%, snížily spotřebu paliva 3% a hluk motoru o 3 dB,
- 2006 - čtvrtá generace s vyššími tlaky ve vývoji.

Vzhledem k tomu, že Common Rail není chráněn patentem (nizkotlaké verze byly používány již kolem roku 1920), technologie se stala téměř univerzální pro celý automobilový průmysl a také pro menší nákladní automobily vyráběné různými společnostmi jako Hyundai, Cummins a Mercedes-Benz. Common rail není omezen pouze na automobilové aplikace - L'Orange GmbH prototypoval upgrade Common Railu pro námořní motory s průměry válce i 500 mm a Cummins brzy předvede soupravu Common - Rail pro lokomotivy (DAMPSEY, 2008).

Nyní pracuje systém Common Rail s tlaky nad 250 MPa.



Obrázek č. 5 – Schéma vstřikovacího systému s tlakovým zásobníkem Common Rail, zdroj:

<http://www.autolexicon.net/cs/articles/common-rail/>, („staženo dne: 21. 11. 2017“)

Výhody systému Common Rail

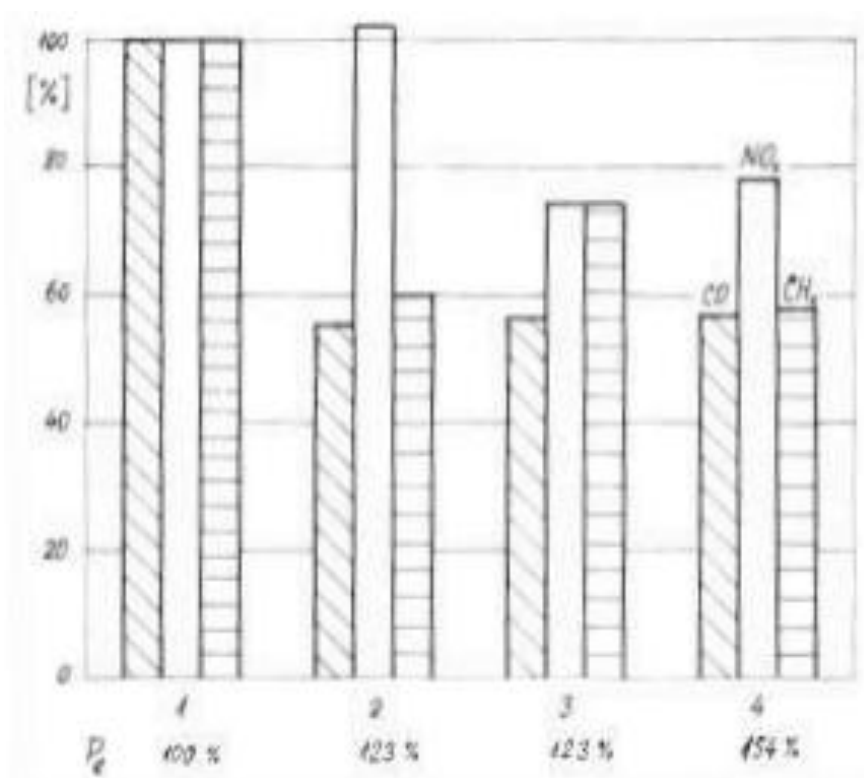
- přímé vstřikování paliva pod dostatečně vysokým tlakem (u 1. generace až 135 MPa, u 2. generace až 160 MPa zajišťuje jeho velmi jemné rozprášení, okamžité odpaření a vznik kvalitní směsi se vzduchem. Na základě toho pracuje motor s ekonomičtějším spalováním se všemi výhodami, které z toho plynou,
- motor vykazuje tišší, měkčí chod. Přispívá k tomu i tzv. úvodní (pilotní) vstřík. Několik milisekund před hlavním vstřikem se totiž uskuteční „předehřátí“ spalovacího prostoru úvodním vstřikem malého množství paliva (1 mm³ až 4 mm³). Nárůst tlaku ve spalovacím prostoru není tak prudký (zkrácení prodlevy vznícení) a běh motoru se přibližuje motorům zážehovým,
- emise ve výfukových plynech jsou podstatně nižší než u vznětových motorů předchozí generace. Reálně lze počítat se snížením CO až o 40 %, HC až o 50 % a pevných nespálených částic až o 60 %. Vzhledem ke snížení měrné spotřeby paliva lze počítat i s poklesem produkce CO₂ až o 20 % (JAN, 2010).

2.7.6 Přepřňování motorů

Vznik produktů nedokonalého spalování souvisí do značné míry s přebytkem vzduchu ve válci motoru. Při nízkém zatížení je přebytek spalovacího vzduchu u motorů přepřňovaných turbodmychadly jen málo rozdílný vůči motorům nepřepřňovaným a se stoupajícím zatížením klesá mnohem pozvolněji. U motorů nepřepřňovaných nebo přepřňovaných mechanicky je zpravidla maximální výkon motoru omezen hranicí kouřivosti, kde s ohledem na malý spalovací přebytek vzduchu, způsob tvoření směsi a velikost válce dochází k nadměrné emisi sazí. U motorů přepřňovaných turbodmychadly, kde spalovací přebytek vzduchu je větší a s růstem zatížení klesá pozvolně, je mez kouřivosti posunuta a značně vzdálena od maxima efektivního výkonu, daného většinou maximálně možným tepelným či mechanickým namáháním určitých konstrukčních skupin motoru. Z těchto důvodů je i emise sazí u motorů přepřňovaných turbodmychadly v celém rozsahu otáček a zatížení nižší než u motorů nepřepřňovaných nebo přepřňovaných mechanicky.

Při prudké akceleraci motoru, přepřňovaného turbodmychadly, však v důsledku setrvačnosti rotoru turbodmychadla a tím opožděného růstu plnicího tlaku dochází k silnému kouření. Tento nedostatek se řeší tím, že se omezí množství vstřikovaného paliva v závislosti na plnicím tlaku. Tímto krokem se ovšem akcelerace zpomalí.

Na obrázku č. 6 je znázorněna závislost emise na stupni přepřňování. Oxidu uhelnatého (CO) je v důsledku většího spalovacího přebytku vzduchu u přepřňovaných motorů v celém rozsahu zatížení a otáček o více jak 40 % méně. Emise nespálených uhlovodíků (HC) a oxidů dusíku (NO_x) je do značné míry závislá na spalovacích tlacích a teplotách. Při růstu tlaků a teplot emise NO_x vzrůstá, emise HC klesá a naopak (HOFMANN, 1985).



Obrázek č. 6 – Závislost emise na stupni přepřňování, zdroj:

HOFMANN (1985)

Pro obrázek č. 6 platí tyto pozice:

1. Pro nepřepřňovaný motor je exhalace CO, NO_x a HC (CH_x) uvažována jako 100 % při efektivním výkonu taktěž 100 %.

2. Pro stejný motor přeplňovaný, což odpovídá zvýšení výkonu na 123 %, je zvýšením spalovacích teplot a tlaků emise NO_x vyšší a emise HC (CH_x) nižší. Zvýšenému přebytku vzduchu odpovídá také pokles CO.

3. Pro motor přeplňovaný jako v pozici 2, ale s chlazením plnicího vzduchu, je s ohledem k poklesu spalovací teploty a částečně i tlaku patrný pokles NO_x a vzrůst HC (CH_x).

4. U motoru se zvýšeným stupněm přeplňování odpovídající výkonu 154 % a s chlazením plnicího vzduchu NO_x opět mírně vzroste, přičemž poklesnou nespálené uhlovodíky HC (CH_x), (HOFMANN, 1985).

2.8 Způsoby snižování emisí mimo spalovací prostor vznětových motorů

Snahy snižovat nežádoucí projevy činnosti spalovacího motoru vedou mimo jiné i k používání biopaliv. Nicméně používání biopaliv nevede podle prokázaných výsledků výzkumu ke snižování všech limitovaných složek emisí, a proto musí být použita další řešení, jak jejich velikost omezit, aby bylo dosaženo limitů, zejména pak hodnot Etapy IIIb a IV (viz kapitola 2.9, str. 36). Řešení, která se dnes používají, vychází jednak z konstrukce spalovacího motoru a jeho precizního řízení (nárůst vstřikovacích tlaků, vícenásobný vstřik paliva, plnicí tlak a rotace nasávaného vzduchu, regulace předvstřiku atd.) a jednak z dodatečné redukce emisí mimo spalovací prostor ve výfukovém traktu spalovacího motoru. Do této skupiny patří zařízení typu:

- recirkulace výfukových plynů,
- filtry na pevné částice,
- oxidační katalyzátory,
- kombinace předešlých řešení (ŠMERDA, 2013).

Podle odborníků z vývojového centra AVL (Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen) lze přepokládat jejich postupné zavádění i pro spalovací motory využívané u motorových vozidel patřících do skupiny „Off – road“, tzn. také traktory s tím, jak se budou zpřísňovat limity emisí, viz obrázek č. 7 (ŠMERDA, 2013).



Obrázek č. 7 – Řešení dodatečné úpravy emisí u motorů nesilničních vozidel, zdroj:

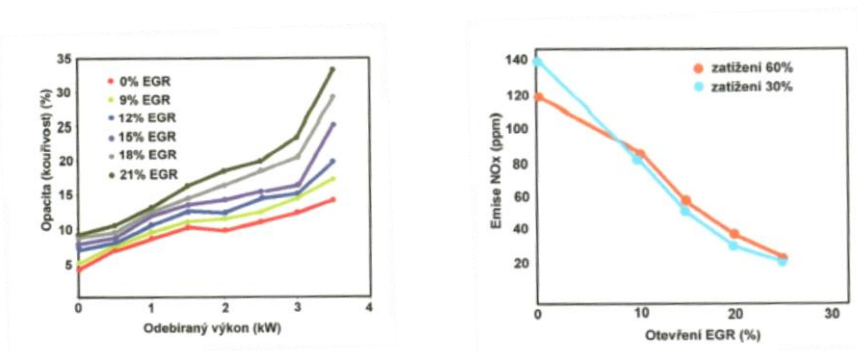
ŠMERDA a kol., (2013)

- 1 – Mechanický vstřikovací systém, bez recirkulace výfukových plynů,
- 2 – Mechanický vstřikovací systém, vnitřní recirkulace výfukových plynů,
- 3 – Elektronický vstřikovací systém, vnitřní nebo vnější recirkulace výfukových plynů, opožděné vstřikování,
- 4 – Elektronický vstřikovací systém, vnitřní recirkulace výfukových plynů, filtr pevných částic DPF (Diesel Particulate Filter),
- 5 – Elektronický vstřikovací systém, vnitřní nebo vnější recirkulace výfukových plynů s ochlazováním, filtr na pevné částice DPF nebo elektronický vstřikovací systém > 180 MPa, vnější recirkulace s chlazením, oxidační katalyzátor DOC a filtr na pevné částice DPF,
- 6 – Elektronický vstřikovací systém, vnější recirkulace výfukových plynů s ochlazováním, filtr pevných částic DPF, nebo elektronické vstřikování > 1600 bar, katalyzátor se selektivní redukcí SCR, bez recirkulace a filtru pevných částic,
- 7 – Elektronický vstřikovací systém, vnější recirkulace výfukových plynů s ochlazováním, katalyzátor se selektivní redukcí SCR, filtr na pevné částice (ŠMERDA, 2013).

Všechny varianty řešení přechází z oblasti silničních motorových vozidel, kde jsou již delší dobu používány, a tak i jejich vývoj je v této oblasti dále. Autoři obrázku č. 7 upozorňují na to, že nebude až tak snadné aplikovat např. SCR, DPF, POC (Particle - Oxidation Catalyst) na vozidla „OFF - road“ z důvodu specifických podmínek jejich provozu, tzn. např. pracovního zatížení motoru (vliv na teplotu výfukových plynů, která je důležitá pro činnost těchto zařízení, zejména regenerace filtrů na pevné částice), prašné prostředí, vibrace, zástavbové prostory (DPF a SCR vyžadují velmi velký prostor) atd. (ŠMERDA, 2013).

2.8.1 Recirkulace výfukových plynů

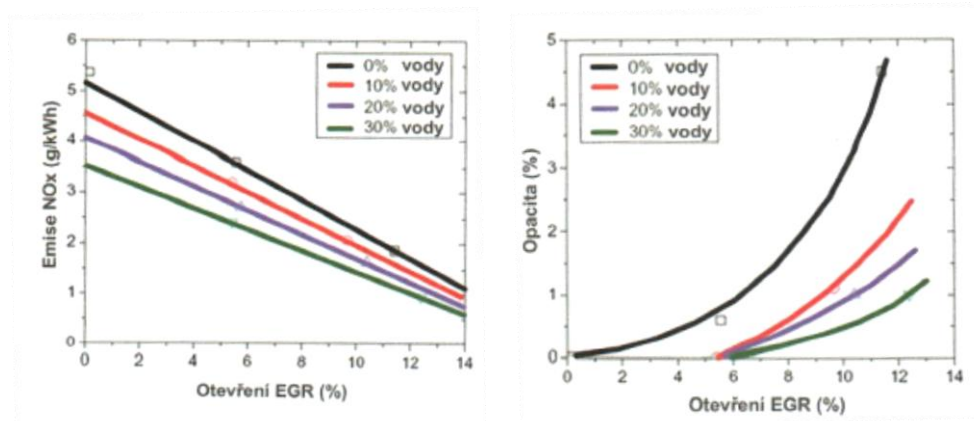
První ze zmíněných řešení problematiky redukce emisí je recirkulace výfukových plynů, která se u traktorových motorů již dlouhodobě používá. Její smysl je založen na tom, že se přivedením části výfukových plynů zpět do spalovacího prostoru sníží množství přivedeného vzduchu a tím i méně kyslíku (to je jeden z důvodů, používání regulace plnicího tlaku u turbodmychadla nebo varianta s variabilním nastavením lopatek, např. John Deere 8530 při rostoucím zatížení motoru). Přitom musí být jeho množství stále dostatečné pro dokonalé shoření - oxidaci paliva. S volným vzdušným kyslíkem reaguje dusík za vysokých teplot na NO_x , které jsou limitované normami. Druhým faktorem je ta skutečnost, že spaliny mají větší měrnou tepelnou kapacitu než vzduch, tzn., že jsou schopny přijmout více tepla ze spalovacího prostoru, a tím snižovat teplotu ve spalovacím prostoru, která ovlivňuje tvorbu NO_x , vliv zatížení motoru a hodnoty vráceného objemu výfukových plynů na emise NO_x a opacitu lze vidět na obrázku č. 8 a č. 9. (ŠMERDA, 2013).



Obrázek č. 8 a č. 9 – Vliv zatížení motoru a hodnoty vráceného objemu výfukových plynů na emise NO_x a opacitu, zdroj:

ŠMERDA a kol., (2013)

Snižováním teploty ve spalovacím prostoru a NO_x s využitím kombinace vstřikování vody a EGR se zabýval Chadwell a kol. Praktickými zkouškami prokázali snižování NO_x při směšování vody a motorové nafty přímo ve vstřikovači s následným vstříknutím směsi do spalovacího prostoru při kombinaci s EGR, viz obrázek č. 10 a č. 11 (ŠMERDA, 2013).



Obrázek č. 10 a č. 11 – Vliv podílu vody v dávce paliva a EGR na NO_x a opacitu upraveného spalovacího motoru Volvo při 90 % jmenovitém momentu, zdroj:

ŠMERDA a kol., (2013)

Recirkulace se často označuje německou zkratkou AGR (Abgasrückführung) nebo anglickou EGR zkratkou. Konstrukční uspořádání, která se používají u traktorových motorů, lze rozdělit do dvou základních skupin:

- vnitřní,
- vnější (ŠMERDA, 2013).

2.8.1.1 Vnitřní recirkulace výfukových plynů

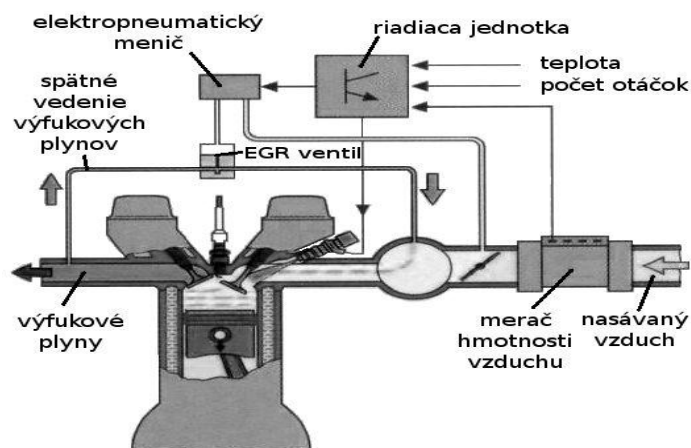
Vnitřní recirkulace je založena na úpravě časování ventilů při okamžiku výfuku. Během výfuku dochází na okamžik k pootevření sacího ventilu a částečnému úniku spalin do sacího prostoru. U čtyřválcových motorů dochází k pootevření sacího ventilu během výfuku, zatímco u šestiválcových motorů se otevírá na okamžik výfukový ventil během sání motoru. Tento způsob řešení není finančně náročný a nezvyšuje nároky na zástavbový prostor. Nevýhodou je stálé nastavení bez možnosti regulace množství výfukových plynů (ŠMERDA, 2013).

2.8.1.2 Vnější recirkulace výfukových plynů

Druhou skupinu tvoří tzv. vnější recirkulace, u které dochází k odvádění spalin přes tzv. EGR ventil zpět do sání motoru. Modifikace existují v možnosti chlazení odměřeného množství spalin, rozlišují se tři skupiny:

- EGR bez ochlazování - výfukové plyny neprocházejí přes výměník tepla a tím zvyšují teplotu nasávaného vzduchu, rychlejší přechod paliva z kapalného do plynného stavu, viz obrázek č. 12,
- EGR s plným ochlazením – výfukové plyny prochází přes výměník tepla, přitom může docházet ke kondenzaci vody a její dopravě do spalovacího prostoru,
- EGR s částečným ochlazením – pouze část výfukových plynů prochází přes výměník, aby se zabránilo vnikání vody do spalovacího prostoru tím, že se bude udržovat teplota vráceného množství plynů nad teplotou varu.

Proces řízení EGR zajišťuje řídicí jednotka, která ovládá EGR ventil podle informací ze senzorů umístěných na motoru, např. teplota chladicí náplně, teplota motorového oleje, teplota nasávaného vzduchu, teplota výfukových plynů, plnicího tlaku, otáček motoru, vstřikovaného množství paliva, polohy stlačení pedálu akcelérátoru či ručního plynu atd. (ŠMERDA, 2013).

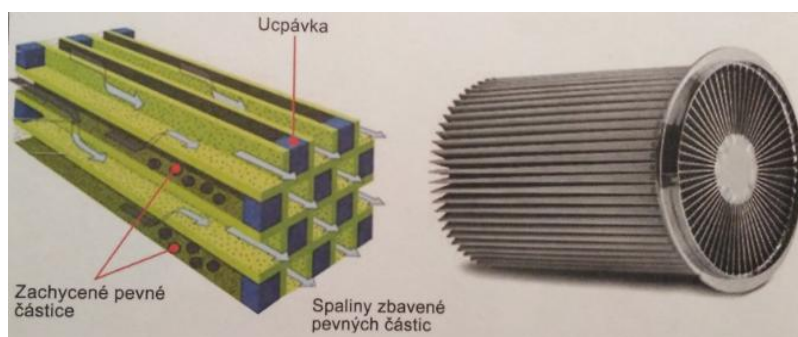


Obrázek č. 12 – Vnější recirkulace výfukových plynů, zdroj:

<http://www.aurubik.sk/clanky/co-je-to-a-ako-funguje-egr-ventil/>, („staženo dne: 3. 11. 2017“)

2.8.2 Filtry pevných částic

Snížování limitů pevných částic a úhlu předvstříku vede výrobce spalovacích motorů k používání filtrů – DPF, které mají za úkol s vysokou účinností pevné částice zachytit. Umisťují se do výfukového potrubí, často ve společném tělese s katalyzátorem. Filtr má voštinovou, nebo vláknovou podobu a je vyroben např. ze silikátů, dotovaných např. hliníkem (Cordeirit), spékaných kovů atd. Výfukové plyny se na vstupu do filtru rozdělují do mnoha komor, které jsou mezi sebou odděleny porézními stěnami o tloušťce 300 – 400 μm . Jimi musí plyn procházet dál, aby se dostal z filtru ven, a přitom dochází k zachytávání pevných částic uvnitř těchto stěn. Schematicky je zobrazen na obrázku č. 13 (ŠMERDA, 2013).

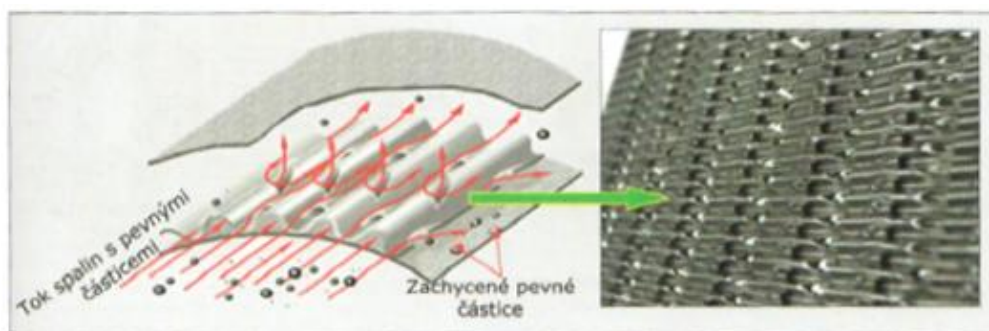


Obrázek č. 13 – Filtr pevných částic, uzavřený způsob filtrace, zdroj:

ŠMERDA a kol., (2013)

Uvedené řešení se označuje jako uzavřený systém, neboť částice nemají volný průchod přes filtr.

Druhé řešení se označuje jako otevřený systém, např. TwinTec, u kterého nemusí proudící plyn překonávat žádnou překážku, čímž se snižuje odpor proudění. Příklad tohoto řešení je uveden na obrázku č. 14 (ŠMERDA, 2013).



Obrázek č. 14 – Filtr pevných částic, otevřený způsob filtrace, zdroj:

ŠMERDA a kol., (2013)

U tohoto systému se proud plynu rozděluje pomocí tvarovaných výstupků, které ho usměrnují na povrch ze spékaných materiálů, na kterém se pevné částice zachycují.

Zachytáváním částic dochází k jeho postupnému zaplňování, což vyžaduje buď jeho výměnu, nebo použití regenerativního systému. Ten umožňuje kontinuální nebo periodické automatické čištění, při kterém dochází ke spalování zachycených částic na CO₂ s malým podílem sazí. Pevné částice, jak již bylo výše zmíněno, tvoří z větší části saze, zbytky paliva a oleje. Aby docházelo ke spalování (vypalování) sazí, musí se teplota výfukových plynů zvýšit nad hodnotu meze zápalnosti, tzn. 600 °C. Protože tak vysoká teplota je v praxi obtížně dosažitelná během provozu, musí její velikost „uměle“ navýšit, nebo snížit teplotu vznícení sazí. Systémy regenerace lze rozdělit na:

- aktivní,
- pasivní.

Aktivní systémy jsou charakteristické přiváděním dodatečné energie pro zvýšení teploty spalin např. pomocí topné spirály, hořením paliva v komoře filtru (hořák), opožděným vstříkem paliva se spálením ve spalovacím prostoru, opožděným vstříkem se zapálením v katalyzátoru, zatímco pasivní systémy používají taková opatření např. s předřazeným oxidačním katalyzátorem, filtry s aktivní vrstvou (platina) CDPF (Catalyzed Diesel Particulate Filter), přidáváním aditiv do paliv atd., která snižují teplotu vznícení sazí na 250 – 300 °C, nebo 450 – 500 °C a jejich spalování tak probíhá kontinuálně. Doba regenerace se pohybuje řádově v několika minutách podle použitého systému, delší čas až 1 h je třeba např. u elektrické topné spirály. Životnost filtru se pohybuje mezi 80 000 – 120 000 km u silničních motorových vozidel. Doba mezi regeneracemi se u traktorů pohybuje mezi 8 až 30 provozními hodinami v závislosti na otáčkách a zatížení motoru. Účinnost dnešních filtrů se pohybuje na hranici 99 %. Podle asociace výrobců spalovacích motorů EMA (Engine Manufacturers Association) lze u traktorů použít systém regenerace s přidáváním aditiv, oxidační katalyzátor s CRT (Continuously Regenerating Trap) technologií nebo filtr s aktivní vrstvou (EMA/Euromont). Z důvodu omezených zástavbových se jeví jako výhodnější používání buď CRT technologie, nebo filtru s aktivní vrstvou. Využití oxidačního katalyzátoru s CRT technologií společně s filtrem na pevné částice používá např. firma John Deere (ŠMERDA, 2013).

2.8.3 Oxidační katalyzátor

Oxidační katalyzátor (DOC) s principem činnosti CRT umožňuje kontinuální regeneraci filtru při nižších teplotách, než je teplota vznícení sazí. Oxidační katalyzátor vytváří podmínky pro reakci limitovaných složek CO, HC a NO (95 % z NO_x) s kyslíkem, to vede k jejich přeměně na méně škodlivé CO₂, CO₂ + H₂O a NO₂. Pomocí vyššího obsahu NO₂ (působí jako oxidační činitel) ve výfukových plynech lze spalovat saze při nižších teplotách 300 °C – 450 °C. Při teplotách pod 300 °C probíhá oxidace sazí velmi pomalu a naopak nad teplotou 450 °C dochází k rozpadu NO₂. Proces regenerace probíhá účinně jen tehdy, jestliže je poměr NO₂ / sazí větší než 8:1, 20:1, nebo 12:1. Při používání filtrů vznikají problémy s jejich postupným zanášením od zbytků motorového oleje (především aditiv), které neshoří na CO₂ a ve filtru nadále zůstává. Oxidační katalyzátor umožňuje snižovat plynné emise CO a HC až o 90 % při dostatku kyslíku ve výfukových plynech, tzn. $\lambda > 1$. Vedle toho může také omezovat HC unášené na pevných částicích. Tvoří ho nerezový obal, ve kterém je uložen nosič (kovový nebo keramický) s aktivní vrstvou. Uvnitř monolitu se nachází velké množství tenkostěnných, axiálně řazených kanálků (0,15 – 0,3 mm), kterými proudí výfukové plyny. Počet kanálků se pohybuje mezi 62 – 65 na 1 cm². V příčném průřezu mají kanálky nejčastěji obdélníkový nebo čtvercový průřez. Povrch nosiče je potažen nosnou porézní vrstvou z oxidu hlinitého (Al₂O₃), která zvětšuje účinnou plochu. Na ní je nanášena účinná (katalytická) vrstva z ušlechtilých kovů, platiny, nebo paládia. Šířka kanálků je přibližně 1 mm, což postačuje k činnosti katalyzátoru. Tím, že dochází k přeměně NO na NO₂, zvyšuje se i molekulární hmotnost NO_x jako limitované složky. Oxidační katalyzátor s principem činnosti lze vidět na obrázku č. 15 (ŠMERDA, 2013).



Obrázek č. 15 – Oxidační katalyzátor s principem činnosti CRT, zdroj:

ŠMERDA a kol., (2013)

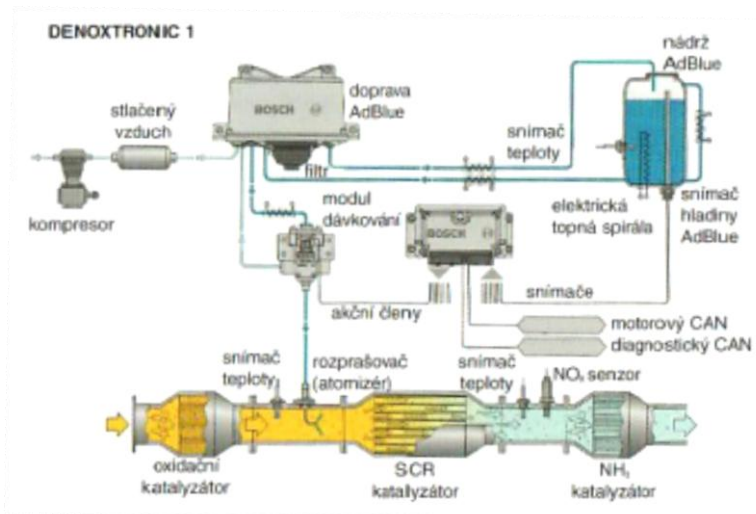
2.8.4 Selektivní katalýza

SCR katalyzátor je zařízení určené ke snižování produkce NO_x ve výfukových plynech. Jeho používání úzce souvisí s nastaveným režimem řízení spalovacího motoru. Motoristická opatření ke snižování sledovaných emisních složek jdou proti termické účinnosti spalovacího motoru. To se týká především NO_x a HC, u kterých je velmi obtížné dosáhnout současného snížení vzhledem ke vzájemné rovnováze. Obecně platí, že snižováním teploty ve spalovacím prostoru dochází k poklesu NO_x , tento problém se řeší opožděným vstřikováním paliva. To má ale za následek zvýšenou produkci HC a pevných částic, proto je třeba používat opatření, např. filtr na pevné částice, recirkulaci atd. Nižší termická účinnost se pak projevuje kromě zmíněných emisí také vyšší spotřebou paliva. Druhé řešení pro snižování NO_x je používání SCR katalyzátoru ve výfukové potrubí, případně v tlumiči výfuku a motor při tom může být provozován v oblasti, kde produkuje vyšší množství NO_x . Celé řešení vychází z použití SCR katalyzátoru, ve kterém s pomocí amoniaku NH_3 dochází k reakci s oxidy dusíku a jejich přeměně na dusík N_2 a vodní páru H_2O . Amoniak je toxická látka a z toho důvodu se získává až chemickou cestou po vstříknutí kapaliny AdBlue do výfukového potrubí. Kapalina AdBlue je složena z 32,5 % z močoviny $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, a zbylou částí je demineralizovaná voda, která se po vstříknutí odpaří a využije se dále při chemických reakcích. Amoniak se získá ve výfukovém traktu během dvou chemických reakcí, a to:

- Termolýzou,
- Hydrolýzou.

Někteří výrobci spalovacích motorů používají ještě směšovače (spaliny - AdBlue MAN, nebo tlakový vzduch – AdBlue Mercedes), do kterých je AdBlue dávkováno. Při teplotě $-11\text{ }^\circ\text{C}$ dochází ke krystalizaci AdBlue, a proto musí být zajištěn ohřev např. pomocí topných spirál, při teplotách nad $25\text{ }^\circ\text{C}$ se naopak rozkládá. SCR katalyzátor se používá v kombinaci například s oxidačním katalyzátorem nebo oxidačním katalyzátorem s filtrem na pevné částice. To je také předpoklad pro splnění emisních limitů s posledním stupněm – etapa IV. Při použití oxidačního katalyzátoru se zvyšuje množství NO_2 , které se může spotřebovat při použití filtru k oxidaci pevných částic. Nadbytečné množství NO_2 , které se nespotřebuje k oxidaci, tak bude zvyšovat množství NO_x a motor tak nemusí splnit přísnější limity. Zařazením SCR katalyzátoru může docházet k jejich snižování

o více než 80 % a k poklesu pevných částic o více než 30 %. Příklad systému SCR je zobrazen na obrázku č. 16 (BAUER 2013).



Obrázek č. 16 – Systém vstřikování močoviny SCR, zdroj:

BAUER a kol., (2013)

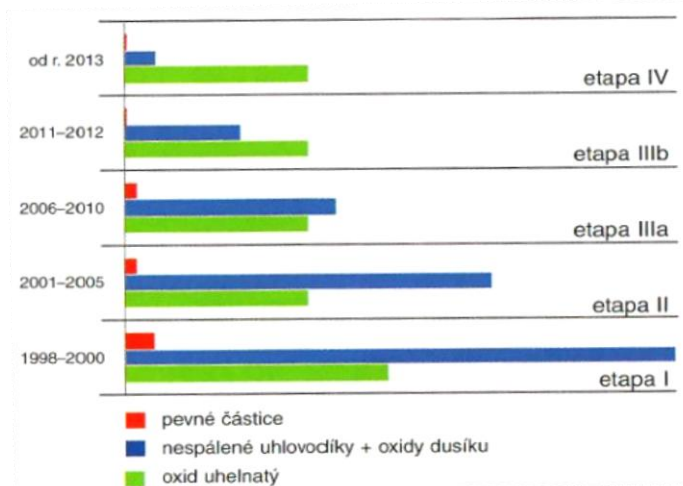
Pokud je vstřikováno větší množství AdBlue, vytvoří se tak nadbytečné množství amoniaku, který se nevyužije na reakci s oxidy dusíku, dochází k jeho únikům za SCR katalyzátor a je nežádoucí vzhledem ke své toxicitě. Z toho důvodu je součástí SCR katalyzátoru oxidační zóna (součást SCR katalyzátoru nebo samostatný díl), ve kterém se amoniak rozkládá při reakci s kyslíkem na dusík N_2 a vodu H_2O . Z předešlého popisu vyplývá, že celý SCR systém musí být velmi přesně řízen. To vyžaduje mimo jiné používání senzorů NO_x před SCR katalyzátorem i za ním při použití oxidačního katalyzátoru a filtru na pevné částice.

Dávkování AdBlue probíhá podle otáček motoru a vstřikovaného množství paliva (zatížení). Kromě těchto parametrů se provádí korekce podle obsahu NO_x , před katalyzátorem před katalyzátorem a za ním, teploty výfukových plynů aj. Vstřikované množství AdBlue se pohybuje mezi 0,1 až 10 %, vztaženo k aktuální hodnotě spotřeby paliva (BAUER, 2013).

2.9 Emisní předpisy

Negativní vlivy provozu spalovacího motoru na okolní prostředí jsou eliminovány emisními limity, které musí každý spalovací motor splňovat při zavádění na trh. Emisní limity jsou stanovovány příslušnými vládami, které je obvykle přejímají v plném znění nebo s výhradami, případně posunutou dobou

platnosti, do své legislativy. Mezi tyto organizace patří OSN, resp. Evropská hospodářská komora EHK OSN, EU a EPA (Environmental Protection Agency), které mají největší vliv na tvorbu legislativy v této oblasti průmyslu. Tato globalizace usnadňuje výrobcům spalovacích motorů přijímat opatření pro redukci emisí, aby nemuseli na každý trh přivádět motory s různým stupněm emisí. V rámci EU platí směrnice č. 97/68/EC z roku 1997 novelizovaná směrnicí č. 2004/26 EC, která se týká opatření proti emisím plyných znečišťujících látek a znečišťujících částic ze spalovacích motorů určených pro nesilniční pojízdné stroje. Do této skupiny patří traktorové motory, lodní motory, motory pro lokomotivy atd. Přímou pro zemědělské traktory se používá směrnice č. 2000/25/EC s novelou č. 2005/13/EC o opatřeních proti emisím plyných znečišťujících látek a znečišťujících částic z motorů používaných k pohonu zemědělských a lesních traktorů. Uvedená novela respektuje metodiku a stanovené limity ze směrnice č. 97/68/EC. Emisní limity se vyjadřují pro stanovený rozsah výkonu motoru a období platnosti a uvádí se v g.kWh^{-1} . Limitovanými emisemi jsou oxid uhelnatý CO, uhlovodíky, resp. těkavé organické sloučeniny HC, suspendované částice PM a oxidy dusíku NO_x . Emisní limity mezi lety 1998 až 2014 jsou rozděleny do čtyř etap. Mezi etapou I a IV dochází k redukci PM o 95 %, CO o 30 %, HC o 85 % a NO_x o 95 % pro rozsah výkonu 130 až 560 kW viz obrázek č. 17 (BAUER, 2013).



Obrázek č. 17 – Vývoj limitů emisí motorů s výkonem 130 – 560 kW u nesilničních motorových vozidel, zdroj: BAUER a kol., (2013)

Pro emisní limity se používá v EU výraz Stufe, Phase, Etapa, zatímco v USA Tier. Přehled limitních hodnot pro následující vývoj je uveden v tabulce č. 2 a č. 3 (BAUER, 2013).

Tabulka č. 2 – Emisní limity nesilničních motorových vozidel, etapa IIIb

Efektivní výkon Pe (kW)	Oxid uhelnatý CO (g.kWh ⁻¹)	Nespálené uhlovodíky HC (g.kWh ⁻¹)	Oxidy dusíku NO _x (g.kWh ⁻¹)	Pevné částice PM (g.kWh ⁻¹)	Platnost
130 ≤ P ≤ 560	3,5	0,19	2,0	0,025	po 31. prosinci 2010
75 ≤ P ≤ 130	5,0	0,19	3,3	0,025	po 31. prosinci 2011
56 ≤ P ≤ 75	5,0	0,19	3,3	0,025	po 31. prosinci 2011
37 ≤ P ≤ 56	5,0	4,7		0,025	po 31. prosinci 2012

Zdroj: BAUER a kol., (2013)

Tabulka č. 3 – Emisní limity nesilničních motorových vozidel, etapa IV

Efektivní výkon Pe (kW)	Oxid uhelnatý CO (g.kWh ⁻¹)	Nespálené uhlovodíky HC (g.kWh ⁻¹)	Oxidy dusíku NO _x (g.kWh ⁻¹)	Pevné částice PM (g.kWh ⁻¹)	Platnost
130 ≤ P ≤ 560	3,5	0,19	0,4	0,025	po 31. prosinci 2013
56 ≤ P ≤ 130	5,0	0,19	0,4	0,025	po 30. září 2014

Zdroj: BAUER a kol., (2013)

S tím, jak se limity s přibývajícím rokem zpřísňují, dochází ke snižování obsahu síry v motorové naftě. Snižování obsahu síry je důležité z pohledu používaných technologií na následnou úpravu limitovaných emisí – např. katalyzátory, filtry na pevné částice, u kterých působí síra snižování účinnosti a životnosti. Obsah síry v naftě je pro etapu IIIa snížen na 300 mg.kg⁻¹ a pro etapu IIIb na 10 mg.kg⁻¹.

Kromě splnění emisních limitů se musí výrobci zavázat k tzv. emisní životnosti, neboli že motor bude splňovat emisní limity po dobu určenou ve směrnici č. 97/68/EC. U motorů pro traktory s výkonem nad 37 kW je tato doba stanovena na 8 000 hodin provozu.

V rámci hodnocení emisí se v USA (EPA) používá ještě jeden parametr, tzv. nemetanové uhlovodíky NMHC (Non-methane hydrocarbons), které jsou podmnožinou těkavých organických sloučenin VOC (Volatile Organic Compounds), uvolňujících se do troposféry např. během spalování. Tyto látky pak společně s oxidy dusíku podstupují fotochemické reakce v atmosféře, čímž se dále produkují přízemní ozon a další látky. Proto se v emisních limitech často uvádí součet NMHC a NO_x. Mezi NMHC patří sloučeniny s obsahem uhlíku, např. aldehydy, ketony atd.

V rámci EU nejsou samostatné sloučeniny typu NMHC sledovány v této kategorii spalovacích motorů a používá se souhrnný parametr HC (BAUER, 2013).

2.10 Rozdělení a popis modelové řady teleskopických nakladačů JCB

2.10.1 Rozdělení dle zdvihu a nosnosti

Rozdělení teleskopických nakladačů JCB dle zdvihu a nosnosti je zobrazeno v tabulce č. 4 a v tabulce č. 5 jsou rozděleny nakladače dle výkonu. Na obrázku č. 18 je vyobrazen teleskopický nakladač JCB 541 – 70.

Tabulka č. 4 – Rozdělení teleskopických nakladačů JCB dle zdvihu a nosnosti

Označení	Nosnost zdvihu [t]	Výška zdvihu [m]
531 – 70	3,1	7
535 – 95	3,5	9,5
536 – 60	3,6	6
536 – 70	3,6	7
541 – 70	4,1	7
550 – 80	5,5	8
560 – 80	5,6	8

Zdroj: FIREMNÍ LITERATURA FAST AGRI, (2018)



Obrázek č. 18 - Teleskopický manipulátor JCB 541 – 70, zdroj:

<https://www.pekass.eu/o-spolecnosti/aktualne/40-let-vyroby-teleskopicky-ch-manipulatoru-jcb-loadall-oslava-vyroci.html>, („staženo dne: 28. 2. 2018“)

2.10.2 Rozdělení dle výkonu

S příchodem emisních norem s označením Tier II začala firma JCB vyrábět pro své teleskopické nakladače vlastní motory. Tyto motory vyrábí i dnes s určitými

opatřeními pro plnění dnešních emisních norem, přesněji emisní normy Tier IV_F (final) s použitím systému SCR vstřikování AD Blue (močoviny). Motory mají obsah 4,4 l a 4,8 l v závislosti na výkonu motoru.

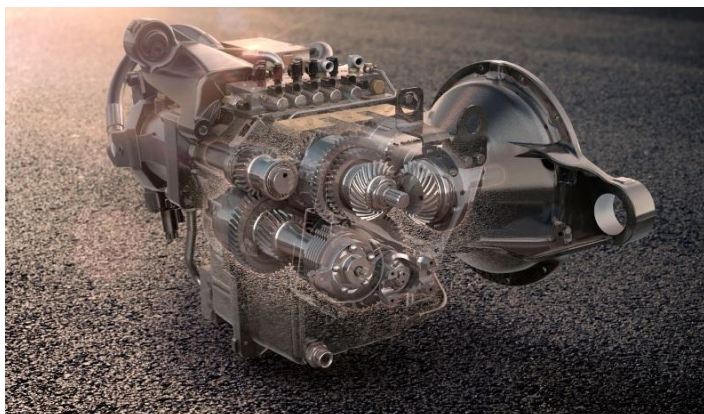
Tabulka č. 5 – Rozdělení teleskopických nakladačů JCB podle výkonu

Emisní norma	Výkon [kW]
Tier II	55, 63 a 74
Tier III	74, 81, 93 a 97
Tier IV _i (interim)	68, 81, 93 a 108
Tier IV _F	68, 81, 93 a 108

Zdroj: FIREMNÍ LITERATURA FAST AGRI, (2018)

2.10.3 Rozdělení dle převodového ústrojí

- Čtyřstupňová převodovka POWERSHIFT s rychlostí maximálně 33 km.h⁻¹,
- Čtyřstupňová převodovka POWERSHIFT se zámekem hydrodynamického měniče na 4. rychlostním stupni (torque lock) s maximální rychlostí 40 km.h⁻¹,
- Šestistupňová převodovka POWERSHIFT se zámekem hydrodynamického měniče při 5. a 6. rychlostním stupni (torque lock) s rychlostí maximálně 40 km.h⁻¹,
- Převodovka DUALTECH VT, viz obrázek č. 19 – převodové ústrojí kombinuje hydrostatický pohon s POWERSHIFT převodovkou, kde od rychlosti 0 až 19 km.h⁻¹ pracuje hydrostatická část převodovky a od rychlosti 20 km.h⁻¹ je uvedena v činnost POWERSHIFT převodovka, maximální rychlost je 40 km.h⁻¹, (FIREMNÍ LITERATURA JCB, 2018).



Obrázek č. 19 - Převodovka DUALTECH VT, zdroj:

<https://agripro.jcb.com/dualtechvt.html>, („staženo dne: 28. 2. 2018“)

2.10.4 Rozdělení dle výkonu hydraulického systému

- Do roku 2010 – vícesekční zubové čerpadlo s maximální dodávkou oleje $110 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ a maximálním tlakem oleje 26 MPa,
- Od roku 2010 – montováno pístové čerpadlo s naklápěcí deskou s maximálním průtokem oleje $140 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ a maximálním tlakem až 26 MPa,
- Od roku 2017 mají všechny teleskopické manipulátory tzv. SYSTEM SMART HYDRAULIK, tento systém zvyšuje rychlost hydraulických cyklů až o 19%, (FIREMNÍ LITERATURA FAST AGRI, 2018).

2.11 Metody měření emisí u vznětových motorů

- **Filtrační metoda** - tato metoda je založena na zachycení částic kouře na filtrační papírek, přes který se prosaje definované množství výfukových plynů definovanou rychlostí. Množství částic se vyhodnocuje opticky podle zčernání filtračního papírku v porovnání s novým papírkem. Pro dynamické měření spalovacích motorů je tato metoda nevhodná, (<http://docplayer.cz/4536625-Produkce-emisnich-slozek-vyfukovych-plynu.html>, „staženo dne: 26. 2. 2018“).
- **Hmotnostní měření koncentrace částic** - nejprve se provede zvážení filtračního elementu před měřením a poté následuje jeho opětovné zvážení po měření. Hmotnostní koncentrace částic v analyzovaném vzorku c se stanoví na základě vzorce, kde M představuje hmotnost buď nového M_1 nebo použitého M_2 filtračního elementu, V je objem prosátého množství spalin.

$$c = \frac{M_2 - M_1}{V} [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}] \quad (1)$$

c = hmotnostní koncentrace částic v analyzovaném vzorku [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],

M_1 = hmotnost nového vzorku [kg],

M_2 = hmotnost použitého vzorku [kg],

V = objem prosátého množství spalin [m^3], (<http://docplayer.cz/4536625-Produkce-emisnich-slozek-vyfukovych-plynu.html>, „staženo dne: 26. 2. 2018“).

- **Opacimetrie** – pomocí opacimetru, který je na obrázku č. 20, se měří pohltivost světla při průchodu výfukovými plyny na principu Behr - Lambertova zákona. Z výfukového potrubí jsou plyny vedeny do měřící

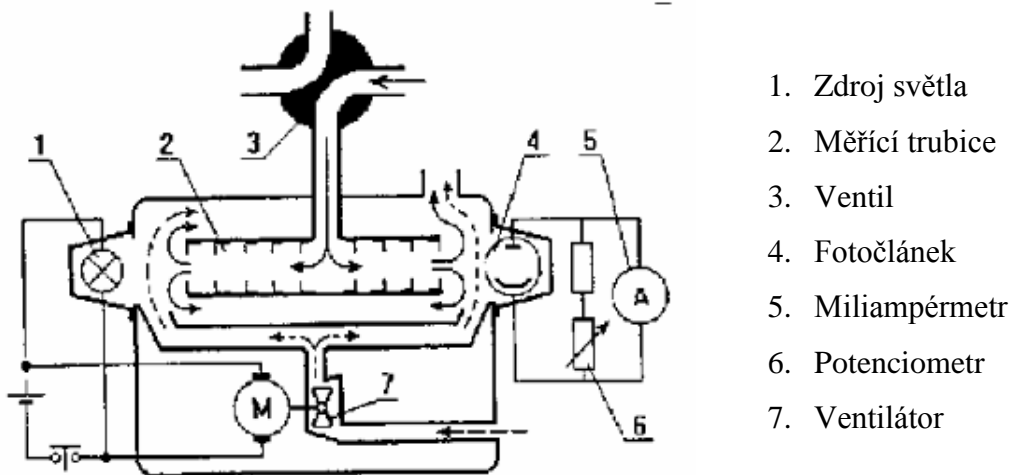
trubice (2) opacimetru. Na jedné straně trubice je fotočlánek (4) a na druhé zdroj světla (1). Plyny procházejí trubicí a pohlcují část dopadajícího světla na fotočlánek. Vzniklý proud je indikován miliampérmetrem (5). Před vlastním měřením se nechá trubicí proudit čistý vzduch a potenciometrem (6) se nastaví $N = 0$. N je lineární stupeň absorpce světla, k je součinitel absorpce. Toto jsou dvě nejčastější veličiny, přičemž je přesně definován jejich vztah. Měřený motor nelze zpravidla trvale zatěžovat a měření kouřivosti vyžaduje plnou dodávku paliva, a proto se měření zpravidla provádí při rozběhu motoru na plnou dodávku paliva.

$$k = \frac{-1}{L} * \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right) [\%], [m^{-1}] \quad (2)$$

k = součinitel absorpce - pokles intenzity světelného paprsku při průchodu sloupcem spalin o tloušťce 1 m [%], [m^{-1}]

L = účinná dráha světelných paprsků procházejících výfukovými plyny, vzdálenost mezi zdrojem světla a čidlem (fotonkou), [m]

N = lineární stupeň absorpce světla - údaj z opacimetru v HSU, (HSU – Hartridge Smoke Unit), (<http://docplayer.cz/4536625-Produkce-emisnich-slozek-vyfukovych-plynu.html>), „staženo dne: 26. 2. 2018“).



Obrázek č. 20 – Schéma a popis opacimetru, zdroj:

<http://docplayer.cz/4536625-Produkce-emisnich-slozek-vyfukovych-plynu.html>,
(„staženo dne: 26. 2. 2018“)

3. Cíl práce

Cílem práce je provedení měření emisí výfukových plynů u motorů s různou technologií na jejich snižování a odpovědět na otázky:

- Je zvolený diagnostický systém dostatečně přesný?
- Odpovídají naměřené hodnoty direktivě EU a datům od výrobce?

V práci se zaměřím na:

1. Popis používaných diagnostických systémů pro měření emisí výfukových plynů.
2. Provedení konkrétních měření.
3. Zodpovězení otázek z cílů této práce.
4. Zhodnocení výsledků.
5. Uvedení závěrů pro praxi.

4. Metodika

4.1 Popis vybraných motorů pro měření

Pro měření emisí (kouřivosti) byly použity teleskopické nakladače s motory Dieselmax o výkonu 97 kW splňující emisní normu Tier III a Ecomax o výkonu 108 kW splňující emisní normu Tier IVi.

4.1.1 JCB Dieselmax Tier III

Motor JCB Dieselmax Tier III, viz obrázek č. 21 se oproti předchozímu motoru s emisní normou Tier II liší především tím, že má chladič stlačeného vzduchu a motory s výkonem 97 kW vstříkací systém Common rail. V tabulce č. 6 jsou popsány parametry motoru Dieselmax Tier III.

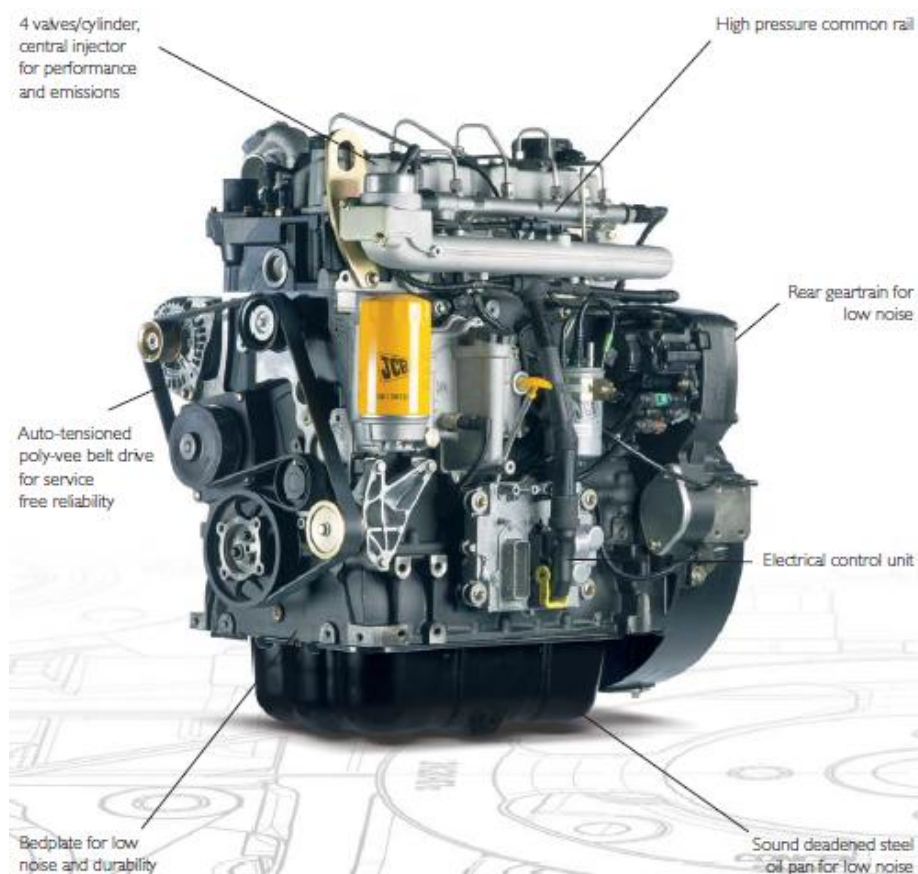
Tabulka č. 6 - Popis a parametry motoru JCB Dieselmax Tier III

Typ motoru	TCAE 97
Maximální výkon	97 kW
Při otáčkách	2200.min ⁻¹
Max. točivý moment	532 N.m
Při otáčkách	1500.min ⁻¹
Maximální otáčky motoru	2420.min ⁻¹
Volnoběžné otáčky	850.min ⁻¹
Průměrná rychlost pístu při jmenovitých otáčkách	9,7 m.s ⁻¹
Objem motoru	4,4 l (4399 cm ³)
Počet ventilů na válec	4
Způsob chlazení	Vodou
Kompresní poměr	16,9 : 1

Tabulka č. 6 - Popis a parametry motoru JCB Dieselmax Tier III

Systém vstřikování	Common Rail
Přívod vzduchu do sání	TCA (Turbocharged Aftercooled) – přepřňovaný s chlazením vzduchu
Průměr válce	103 mm
Zdvih pístu	132 mm
Průměrná spotřeba paliva	205 g.kWh ⁻¹
Hmotnost bez náplní (suchá hmotnost)	477 kg
Hluk motoru při maximálním zatížení	89 dB

Zdroj: FIREMNÍ LITERATURA JCB (2012)



Obrázek č. 21 - Vznětový motor JCB Dieselmax splňující emisní normu Tier III, zdroj:

FIREMNÍ LITERATURA JCB (2012)

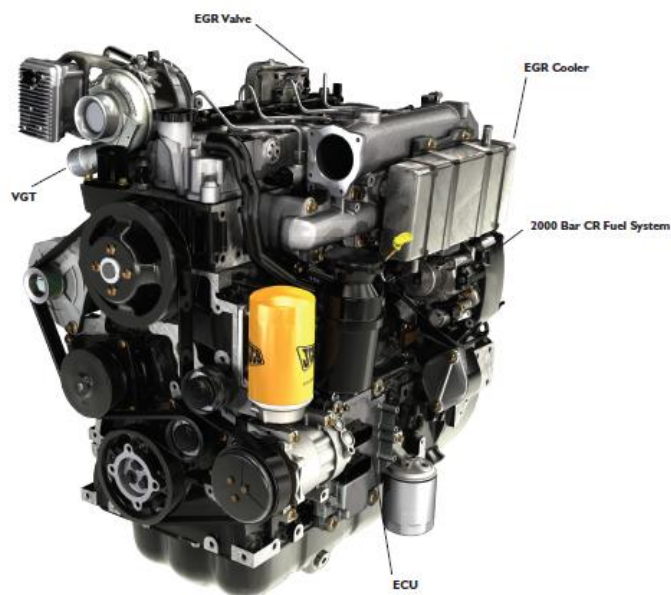
4.1.2 JCB Ecomax Tier IVi

Motor JCB Ecomax Tier IVi je zobrazen na obrázku č. 22 a v tabulce č. 7 jsou parametry tohoto motoru.

Tabulka č. 7 - Popis a parametry motory JCB Ecomax Tier IVi

Typ motoru	448 TA4i – 108 L1
Maximální výkon	108 kW
Při otáčkách	2200.min ⁻¹
Max. točivý moment	550 N.m
Při otáčkách	1500.min ⁻¹
Maximální otáčky motoru	2370.min ⁻¹
Volnoběžné otáčky	850.min ⁻¹
Průměrná rychlost pístu při jmenovitých otáčkách	9,9 m.s ⁻¹
Objem motoru	4,8 l (4765 cm ³)
Počet ventilů na válec	4
Způsob chlazení	Vodou
Kompresní poměr	16,9 : 1
System vstřikování	Common Rail
Vstřikovací tlak	Až 200 MPa
Přívod vzduchu do sání	TCAE – přeplňovaný s chlazením vzduchu a recirkulací výfukových plynů
Průměr válce	106 mm
Zdvih pístu	135 mm
Průměrná spotřeba paliva	185 g.kWh ⁻¹

Zdroj: FIREMNÍ LITERATURA JCB (2016)



Obrázek č. 22 - Vznětový motor JCB Ecomax splňující emisní normu Tier IVi, zdroj:

FIREMNÍ LITERATURA JCB (2016)

4.1 Přístroje použité k měření kouřivosti u vybraných strojů

K měření emisí (kouřivosti) u vybraných motorů strojů JCB byly použity přístroje BOSCH ESA/RTM 430 a přístroj MAHA MDO – 2.

4.1.1 Popis přístroje BOSCH ESA/RTM 430

Přístroj Bosch ESA (Emisní Systémová Analýza), který lze vidět na obrázku č. 23 je zařízení vyvinuté zejména pro pracoviště zabývající se měřením emisí. Současně také umožňuje diagnostiku a základní seřízení motoru. ESA je modulárně řešený systém, jehož funkce je možné podle potřeb postupně rozšiřovat. Jako základ lze zvolit sestavy, které umožňují měření emisí zážehových (ESA 3.140), vznětových (ESA 3.110) nebo zážehových a vznětových motorů (ESA 3.250). Měřit lze i motory poháněné alternativními palivy (LPG, CNG, metanol) s tím, že součinitel lambda je vypočítán podle zvoleného druhu paliva (pouze v některých verzích analyzátoru). ESA kromě plyných emisí, případně kouřivosti, zajišťuje nejen potřebné měření otáček a teploty oleje, ale umožňuje provádět i jednoduché funkce motortesteru. Dokáže změřit předstih a dynamický předvstřík pomocí stroboskopické lampy nebo snímače HÚ, úhel sepnutí má možnost zobrazit i signály (např. napětí lambda sondy, doba vstříku, atd.) a nabízí i funkci multimetru.

Součástí softwaru ESA je databanka předepsaných hodnot některých vozidel a databanka zákazníků. Databanku předepsaných hodnot ostatních vozidel lze doplnit jako zvláštní výbavu. Tiskne protokoly o měření emisí se všemi náležitostmi, automaticky čísluje protokoly, hlídá platnost osvědčení techniků, zajišťuje vedení evidence kontrolních nálepek, osvědčení a vypracovává pravidelná hlášení. Emisní systémová analýza je určena nejen pro úřední měření emisí, ale také pro diagnostiku a základní seřízení motoru. Jedná se o modulárně řešený systém, ve kterém je modul analyzátoru ETT 8.70/ETT 8.71, opacimetru RTM 430 i měřicí modul MTM plus řízen počítačem. Modul analyzátoru ETT 8.70 provádí měření čtyř základních složek výfukových plynů CO, HC, CO₂, O₂ a z nich pak vypočítává hodnotu součinitele přebytku vzduchu lambda pro právě měřené palivo (benzín, LPG, CNG a metanol). Modul ETT 8.71 je navíc připraven na montáž snímače pro měření No_x. Modul opacimetru RTM 430 se vyznačuje unikátně řešeným systémem vzduchových závěsů, který zaručuje vysokou přesnost měření a dlouhé intervaly údržby. Výfuková sonda s nastavitelnou délkou umožňuje bezproblémové připojení na výfuk i vozidel s extrémně krátkou nebo nezvykle tvarovanou koncovkou výfuku. Magnetické uchycení přijímače a vysílače zrychluje již tak velmi jednoduchou údržbu (<http://zkusebna.wz.cz/esa.htm>, „staženo dne: 21. 2. 2018“).



- 1 – Monitor
- 2 – Dálkové ovládání
- 3 – Inkoustová tiskárna
- 4 – Měřicí modul MTM Plus
- 5 – Modul opacimetru RTM 430
- 6 – Klávesnice
- 7 – PC modul)
- 8 – Modul analyzátoru ETT 008.70-1
- 9 – Dílenský vozík

Obrázek č. 23 - Přístroj použitý k měření opacity vybraných motorů JCB, zdroj:

<http://zkusebna.wz.cz/esa.htm>, („staženo dne: 21. 2. 2018“)

4.1.2 Popis přístroje MAHA MDO – 2

Tester emisí vznětových motorů MDO2 - LON je zařízení pro měření kouřivosti s částečným proudem spalin, jedná se o oficiální emisní zkoušku pro automobily a nákladní automobily poháněné dieselovým motorem.

Prostřednictvím ovládacího prvku obsluhy pomocí menu umožňuje optický přístroj MAHA MDO2 - LON snadné testování a diagnostiku výfukových plynů vyzařovaných z vozidel poháněných naftou. MDO2 - LON se skládá z alespoň dvou částí, které se navzájem doplňují:

1) ZÁKLADNÍ JEDNOTKA MDO2-LON

Základní jednotka slouží k určení množství, které má být měřeno, tedy ke zčernání nebo zakalení dieselového kouře. Neprůhlednost dieselového kouře je indikována v jednotce $k [m^{-1}]$ a [%]. Hodnoty otáček a teploty oleje lze měřit buď v základní jednotce, nebo zadat ručně pomocí terminálu. Základní jednotka je připojena k ručnímu terminálu svorkovnicí přes 4 - řádkový kabel. Základní jednotka má být umístěna v blízkosti výfukového potrubí.

2) RUČNÍ TERMINÁL S TISKÁRNOU DAT

Přenosný ruční terminál usnadňuje provoz celého systému a může být přenosný do vozidla. Provozní pole se skládá z membránové klávesnice s maximální ochranou před okolními podmínkami, i když se nedoporučuje vystavovat klávesnici, nebo celý ruční terminál záměrně okolnímu prostředí, protože obsahuje korozní části. Integrovaný LCD displej ručního terminálu slouží k zobrazení výsledků měření a vede uživatele prostřednictvím různých programů (<http://cdn.mycdmm.de/file/a67f6f8a38ec65501347d1ce79d4df97b44464df>, „staženo dne: 16. 3. 2018“).

4.2 Metodický postup při měření emisí u vznětových motorů

1. Je povinností používat schválený měřicí program určený pro úřední měření. Je nepřijatelné využívat měřicích programů pro diagnostická měření.
2. Volič převodových stupňů musí být v poloze "N" (neutrál) nebo "P" (parking), resp. dle pokynů výrobce, spojka u mechanických převodovek sepnutá. Motor musí

být nastartovaný po dobu nejméně 1 minuty a zahřátý na provozní teplotu. Jako ukazatel provozní teploty se přejímá údaj o teplotě chladicí kapaliny z diagnostického rozhraní vozidla. Není-li toto rozhraní k dispozici, použije se údaj o teplotě oleje z olejové měrky. Není-li možné změřit teplotu oleje, je možné použít ruční zadání teploty s tím, že motor musí být v tomto případě nastartovaný nejméně 5 minut.

3. Zkontrolujeme provozní teplotu motoru. Nestanoví-li výrobce jinak, rozumí se provozní teplotou teplota nejméně 60 °C, bez ohledu na to, z jakého zdroje byla získána (sonda olejové měrky, přenosy z diagnostického rozhraní).

4. Snímání otáček motoru se pro vozidla s OBD rozhraním nebo rozhraním dle SAE J-1939 provádí přednostně prostřednictvím těchto rozhraní. Při výpadku a opětovném navázání komunikace se opakuje příslušná probíhající fáze měření znovu. Pokud není možné snímat otáčky z těchto rozhraní (výpadky komunikace u některých starších vozidel, vozidla, která neobsahují v diagnostickém protokolu otáčky, vícepalivová vozidla využívající palubní diagnostiky pro slave systémy), zvolí se jiný zdroj snímání otáček a odůvodnění mechanik uvede do poznámky.

5. Kontrola regulace volnoběhu, provádí se u všech vozidel s výjimkou hybridních elektrických vozidel. Po 10 sekundách stabilizace volnoběhu zapneme všechny významně elektrické spotřebiče (osvětlení vozidla, vyhřívání skel), u vozidel s klimatizací zapneme klimatizaci, u vozidel se servořízením otáčíme volantem - nesmí dojít k trvalému poklesu volnoběžným otáček pod spodní hranici otáčkového pásma na dobu delší než 3 sekundy. Po vypnutí všech spotřebičů musí otáčky motoru zůstat ve stanoveném otáčkovém pásmu. Při nesplnění stanovených podmínek hodnotíme vozidlo jako nevyhovující. Maximální doba kontroly regulace volnoběhu je 5 minut.

6. Kontrola omezovače (referenčních otáček). Postupně sešlapujeme pedál akcelerace, až se otáčky motoru přestanou zvyšovat. Přitom kontrolujeme, zda nedochází k překročení maximálních přípustných otáček podle údajů výrobce.

Jestliže dochází k překročení maximálních přípustných otáček motoru, kontrola se ukončí, protokol se vystaví s negativním výsledkem.

7. Doporučeno propláchnutí výfukového systému u vozidel uvedených do provozu nejpozději do 31. 12. 2011. Provedou se 3 akcelerace motoru ze základního

volnoběhu při plném sešlápnutí pedálu akcelerace, je doporučeno dosáhnout alespoň 2/3 otáček maximálního výkonu motoru nebo otáček OEM omezovače, pokud je nastaven na nižší hodnotu. Tyto proplachové akcelerace se nezapočítávají do počtu prováděných měření.

8. Měření kouřivosti volnou akcelerací. Akcelerační pedál rychle sešlápneme do maximální polohy, avšak bez kick - downu (nejzazší poloha pedálu akcelerace, dostupná po překonání odporu přídavné pružiny, vyskytuje se pouze u vozidel s automatickými převodovkami) a držíme jej v této poloze, dokud není dosaženo tolerančního pásma referenčních otáček (omezovače). Jakmile je dosaženo tolerančního pásma referenčních otáček, je možné akcelerační pedál okamžitě uvolnit. Výsledná hodnota kouřivosti je nejvyšší zaznamenaná hodnota kouřivosti během akcelerace.

9. Kontrola doby akcelerace. Pokud je doba akcelerace motoru delší než 5 sekund, měření není platné, avšak započítává se do počtu provedených měření.

10. Po poklesu otáček do pásma základního volnoběhu následuje pauza v délce nejméně 15 sekund.

11. Počet opakování bodů 8-10.

- a) Pro vozidla homologovaná podle 715/2007/ES resp. 595/2009/ES a novějších předpisů (vozidla s DPF, viz Příloha 5), je přípustné provést pouze jedno platné opakování za předpokladu, že všechny Readiness kódy jsou nastaveny a naměřená hodnota kouřivosti nepřesahuje limit.
- b) Pro vozidla homologovaná podle 98/69/ES resp. 2005/55/ES a novějších předpisů (viz Příloha 5), vybavená OBD, je přípustné provést pouze 2 platná opakování dle bodů 8-10 za předpokladu, že všechny Readiness kódy jsou nastaveny, naměřená hodnota kouřivosti nepřesahuje limit a vzájemný rozdíl naměřených hodnot kouřivosti není větší než 0.25 m^{-1} . Výsledná hodnota kouřivosti se stanoví jako aritmetický průměr z obou opakování.
- c) Pro ostatní vozidla nebo při nesplnění stanovených podmínek, nebo pokud není možné identifikovat homologační předpis dle TP vozidla se postup podle bodů 8-10 opakuje nejméně 4x. Výsledná hodnota kouřivosti se stanoví jako aritmetický průměr ze 4 posledních platných opakování.

12. Pokud bylo dosaženo povoleného rozptylu kouřivosti (0.25 m^{-1} , pro traktory do roku výroby 1980 včetně 0.5 m^{-1}) a výsledná hodnota kouřivosti nepřesahuje limit, měření se ukončí s kladným výsledkem.

13. Měření podle bodů 8-10 je možné opakovat v případě nevyhovujícího výsledku až 10x, avšak pouze v případě, že průměrná naměřená hodnota nepřesahuje dovolenou míru kouřivosti o více než 0.5 m^{-1} . Po 10 - ti opakováních se měření vždy ukončí.

14. Limitní hodnoty stanovuje výrobce vozidla, pokud je nestanovil, použijí se limitní hodnoty dle Přílohy č. 1 vyhlášky, (<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:POTCa2cuqeEJ:https://www.mdcz.cz/getattachment/Dokumenty/Silnicni-doprava/SME/Metodicky-postup-pro-mereni-emisi-motorovych-vozid/Metodicky-postup-mereni-emisi-vozidel-ve-stanicich-mereni-emisi.doc.aspx%3Flang%3DcsCZ+&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz,> „staženo dne: 21. 2. 2018“).

Korigovaný součinitel absorpce – je hodnota na štítku motoru, která udává maximální přípustnou hodnotu kouřivosti motoru.

n_{vol} – otáčky volnoběžné,

n_{ref} – otáčky referenční,

t_{acc} – čas jednoho měření,

k – výsledná naměřená opacita.

5. Vlastní práce

5.1 Naměřené hodnoty emisí u motorů Dieselmax s emisní normou Tier III

5.1.1 Stroj č. 1

V tabulce č. 8 je popis měřeného stroje, tabulka č. 9 zobrazuje hodnoty z měření kouřivosti stroje a v tabulce č. 10 jsou konečné výsledky z měření u stroje č. 1. Vysvětlení tabulek viz str. 53.

Tabulka č. 8 - Popis měřeného stroje

Značka vozidla	JCB
Typ vozidla	541 – 70
Typ motoru	TCAE - 97
Stav Mth	4 576
Typ emisního systému	Řízený
Měřeno přístrojem	MAHA MDO - 2

Tabulka č. 9 - Hodnoty čtyř po sobě jdoucích měření

Platné měření	n_vol	n_ref	t_acc	k
1	849	2 420	0,23	0,8
2	850	2 419	1,56	0,82
3	850	2 420	0,99	0,84
4	850	2 420	0,16	0,93
Průměr posledních 4 platných	850	2 420	0,74	0,85
Limit	750 – 950	2 200 – 2 550	max. 5.00	1,96

Tabulka č. 10 - Výsledná tabulka z měření

Otáčky [min^{-1}]	Předepsané	Naměřené	
Volnoběžné	750 – 950	850	
Přeběhové	2 200 – 2 550	2 420	
Korigovaný součinitel absorpce (ze štítku) [m^{-1}]	1,96		
Hodnota kouřivosti naměřená [m^{-1}]	naměřená	0,85	
Rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření [m^{-1}]	dovolené	0,25	
	naměřené	0,13	

5.1.2 Stroj č. 2

V tabulce č. 11 je popis měřeného stroje, tabulka č. 12 zobrazuje hodnoty z měření kouřivosti stroje a v tabulce č. 13 jsou konečné výsledky z měření u stroje č. 2.

Tabulka č. 11 - Popis stroje

Značka vozidla	JCB
Typ vozidla	541 – 70
Typ motoru	TCAE - 97
Stav Mth	3 898
Typ emisního systému	Řízený
Měřeno přístrojem	MAHA MDO - 2

Tabulka č. 12 - Hodnoty čtyř po sobě jdoucích měření

Platné měření	n_vol [min ⁻¹]	n_ref [min ⁻¹]	t_acc [s]	k [m ⁻¹]
1	850	2 418	1,13	0,62
2	849	2 419	0,99	0,49
3	850	2 418	1,42	0,47
4	848	2 420	1,26	0,44
Průměr posledních 4 platných	849	2 419	1,20	0,51
Limit	750 – 950	2 200 – 2 550	max. 5.00	1,96

Tabulka č. 13 - Výsledná tabulka z měření

Otáčky [min ⁻¹]	Předepsané	Naměřené	
Volnoběžné	750 – 950	849	
Přeběhové	2 200 – 2 550	2 419	
Korigovaný součinitel absorpce (ze štítku) [m ⁻¹]		1,96	
Hodnota kouřivosti naměřená [m ⁻¹]		naměřená	0,51
Rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření [m ⁻¹]		dovolené	0,25
		naměřené	0,18

5.1.3 Stroj č. 3

V tabulce č. 14 je popis měřeného stroje, tabulka č. 15 zobrazuje hodnoty z měření kouřivosti stroje a v tabulce č. 16 jsou konečné výsledky z měření u stroje č. 3.

Tabulka č. 14 - Popis stroje

Značka vozidla	JCB
Typ vozidla	536 – 70
Typ motoru	TCAE - 97
Stav Mth	4 356
Typ emisního systému	Řízený
Měřeno přístrojem	MAHA MDO - 2

Tabulka č. 15 - Hodnoty čtyř po sobě jdoucích měření

Platné měření	n_vol [min ⁻¹]	n_ref [min ⁻¹]	t_acc [s]	k [m ⁻¹]
1	850	2 420	1,25	0,49
2	849	2 419	2,21	0,42
3	849	2 419	0,89	0,34
4	848	2 418	1,36	0,38
Průměr posledních 4 platných	849	2 419	1,43	0,41
Limit	750 – 950	2 200 – 2 550	max. 5.00	1,96

Tabulka č. 16 - Výsledná tabulka z měření

Otáčky [min ⁻¹]	Předepsané	Naměřené	
Volnoběžné	750 – 950	849	
Přeběhové	2 200 – 2 550	2 419	
Korigovaný součinitel absorpce (ze štítku) [m ⁻¹]		1,96	
Hodnota kouřivosti naměřená [m ⁻¹]		naměřená	0,41
Rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření [m ⁻¹]		dovolené	0,25
		naměřené	0,15

5.1.4 Stroj č. 4

V tabulce č. 17 je popis měřeného stroje, tabulka č. 18 zobrazuje hodnoty z měření kouřivosti stroje a v tabulce č. 19 jsou konečné výsledky z měření u stroje č. 4.

Tabulka č. 17 - Popis stroje

Značka vozidla	JCB
Typ vozidla	541 – 70
Typ motoru	TCAE - 97
Stav Mth	4 198
Typ emisního systému	Řízený
Měřeno přístrojem	BOSCH ESA/RTM 430

Tabulka č. 18 - Hodnoty čtyř po sobě jdoucích měření

Platné měření	n_vol [min ⁻¹]	n_ref [min ⁻¹]	t_acc [s]	k [m ⁻¹]
1	851	2 401	3,69	1,32
2	853	2 398	4,25	1,25
3	857	2 399	4,11	1,14
4	852	2 401	2,51	1,34
Průměr posledních 4 platných	853	2 400	3,64	1,26
Limit	800 – 1 000	2 350 – 2 450	max. 5.00	1,96

Tabulka č. 19 - Výsledná tabulka z měření

Otáčky [min ⁻¹]	Předepsané	Naměřené	
Volnoběžné	800 – 1 000	853	
Přeběhové	2 350 – 2 450	2 400	
Korigovaný součinitel absorpce (ze štítku) [m ⁻¹]	1,96		
Hodnota kouřivosti naměřená [m ⁻¹]	naměřená	1,26	
Rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření [m ⁻¹]	dovolené	0,25	
	naměřené	0,20	

5.1.5 Stroj č. 5

V tabulce č. 20 je popis měřeného stroje, tabulka č. 21 zobrazuje hodnoty z měření kouřivosti stroje a v tabulce č. 22 jsou konečné výsledky z měření u stroje č. 5.

Tabulka č. 20 - Popis stroje

Značka vozidla	JCB
Typ vozidla	541 – 70
Typ motoru	TCAE - 97
Stav Mth	5 877
Typ emisního systému	Řízený
Měřeno přístrojem	BOSCH ESA/RTM 430

Tabulka č. 21 - Hodnoty čtyř po sobě jdoucích měření

Platné měření	n_vol [min ⁻¹]	n_ref [min ⁻¹]	t_acc [s]	k [m ⁻¹]
1	859	2 408	0,36	0,53
2	859	2 411	0,25	0,54
3	861	2 409	0,18	0,58
4	862	2 408	0,87	0,57
Průměr posledních 4 platných	860	2 409	0,42	0,56
Limit	800 – 1 000	2 350 – 2 450	max. 5.00	1,96

Tabulka č. 22 - Výsledná tabulka z měření

Otáčky [min ⁻¹]	Předepsané	Naměřené	
Volnoběžné	800 – 1 000	860	
Přeběhové	2 350 – 2 450	2 409	
Korigovaný součinitel absorpce (ze štítku) [m ⁻¹]	1,96		
Hodnota kouřivosti naměřená [m ⁻¹]	naměřená	0,56	
Rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření [m ⁻¹]	dovolené	0,25	
	naměřené	0,05	

5.1.6 Stroj č. 6

V tabulce č. 23 je popis měřeného stroje, tabulka č. 24 zobrazuje hodnoty z měření kouřivosti stroje a v tabulce č. 25 jsou konečné výsledky z měření u stroje č. 6.

Tabulka č. 23 - Popis stroje

Značka vozidla	JCB
Typ vozidla	536 – 70
Typ motoru	TCAE - 97
Stav Mth	4 917
Typ emisního systému	Řízený
Měřeno přístrojem	BOSCH ESA/RTM 430

Tabulka č. 24 - Hodnoty čtyř po sobě jdoucích měření

Platné měření	n_vol [min ⁻¹]	n_ref [min ⁻¹]	t_acc [s]	k [m ⁻¹]
1	869	2 414	1,28	0,79
2	871	2 413	0,78	0,61
3	872	2 413	0,97	0,75
4	870	2 412	0,49	0,68
Průměr posledních 4 platných	871	2 413	0,88	0,71
Limit	800 – 1 000	2 350 – 2 450	max. 5.00	1,96

Tabulka č. 25 - Výsledná tabulka z měření

Otáčky [min ⁻¹]	Předepsané	Naměřené	
Volnoběžné	800 – 1 000	871	
Přeběhové	2 350 – 2 450	2 413	
Korigovaný součinitel absorpce (ze štítku) [m ⁻¹]	1,96		
Hodnota kouřivosti naměřená [m ⁻¹]	naměřená	0,71	
Rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření [m ⁻¹]	dovolené	0,25	
	naměřené	0,18	

5.2 Naměřené hodnoty emisí u motorů Ecomax s emisní normou Tier IVi

5.2.1 Stroj č. 1

V tabulce č. 26 je popis měřeného stroje, tabulka č. 27 zobrazuje hodnoty z měření kouřivosti stroje a v tabulce č. 28 jsou konečné výsledky z měření u stroje č. 1.

Tabulka č. 26 - Popis stroje

Značka vozidla	JCB
Typ vozidla	541 – 70
Typ motoru	448 TA4i – 108 L1
Stav Mth	5 576
Typ emisního systému	Řízený
Měřeno přístrojem	MAHA MDO - 2

Tabulka č. 27 - Hodnoty čtyř po sobě jdoucích měření

Platné měření	n_vol [min ⁻¹]	n_ref [min ⁻¹]	t_acc [s]	k [m ⁻¹]
1	851	2 369	1,42	0,26
2	850	2 370	1,28	0,29
3	851	2 370	1,74	0,32
4	849	2 368	2,30	0,25
Průměr posledních 4 platných	850	2 369	1,69	0,28
Limit	750 – 950	2 200 – 2 550	max. 5.00	1,60

Tabulka č. 28 - Výsledná tabulka z měření

Otáčky [min ⁻¹]	Předepsané	Naměřené	
Volnoběžné	750 – 950	850	
Přeběhové	2 200 – 2 550	2 369	
Korigovaný součinitel absorpce (ze štítku) [m ⁻¹]	1,60		
Hodnota kouřivosti naměřená [m ⁻¹]	naměřená	0,28	
Rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření [m ⁻¹]	dovolené	0,25	
	naměřené	0,07	

5.2.2 Stroj č. 2

V tabulce č. 29 je popis měřeného stroje, tabulka č. 30 zobrazuje hodnoty z měření kouřivosti stroje a v tabulce č. 31 jsou konečné výsledky z měření u stroje č. 2.

Tabulka č. 29 - Popis stroje

Značka vozidla	JCB
Typ vozidla	541 – 70
Typ motoru	448 TA4i – 108 L1
Stav Mth	3 721
Typ emisního systému	Řízený
Měřeno přístrojem	MAHA MDO - 2

Tabulka č. 30 - Hodnoty čtyř po sobě jdoucích měření

Platné měření	n_vol [min ⁻¹]	n_ref [min ⁻¹]	t_acc [s]	k [m ⁻¹]
1	850	2 368	1,54	0,19
2	848	2 370	1,47	0,13
3	847	2 369	1,12	0,18
4	849	2 368	1,03	0,17
Průměr posledních 4 platných	849	2 369	1,29	0,17
Limit	750 – 950	2 200 – 2 550	max. 5.00	1,60

Tabulka č. 31 - Výsledná tabulka z měření

Otáčky [min ⁻¹]	Předepsané	Naměřené	
Volnoběžné	750 – 950	849	
Přeběhové	2 200 – 2 550	2 369	
Korigovaný součinitel absorpce (ze štítku) [m ⁻¹]	1,60		
Hodnota kouřivosti naměřená [m ⁻¹]	naměřená	0,17	
Rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření [m ⁻¹]	dovolené	0,25	
	naměřené	0,06	

5.2.3 Stroj č. 3

V tabulce č. 32 je popis měřeného stroje, tabulka č. 33 zobrazuje hodnoty z měření kouřivosti stroje a v tabulce č. 34 jsou konečné výsledky z měření u stroje č. 3.

Tabulka č. 32 - Popis stroje

Značka vozidla	JCB
Typ vozidla	560 – 80
Typ motoru	448 TA4i – 108 L1
Stav Mth	4 247
Typ emisního systému	Řízený
Měřeno přístrojem	MAHA MDO - 2

Tabulka č. 33 - Hodnoty čtyř po sobě jdoucích měření

Platné měření	n_vol [min ⁻¹]	n_ref [min ⁻¹]	t_acc [s]	k [m ⁻¹]
1	850	2 370	0,47	0,07
2	852	2 369	1,11	0,11
3	848	2 369	1,14	0,09
4	849	2 370	0,68	0,08
Průměr posledních 4 platných	850	2 370	0,85	0,09
Limit	750 – 950	2 200 – 2 550	max. 5.00	1,60

Tabulka č. 34 - Výsledná tabulka z měření

Otáčky [min ⁻¹]	Předepsané	Naměřené	
Volnoběžné	750 – 950	850	
Přeběhové	2 200 – 2 550	2 370	
Korigovaný součinitel absorpce (ze štítku) [m ⁻¹]	1,60		
Hodnota kouřivosti naměřená [m ⁻¹]	naměřená	0,09	
Rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření [m ⁻¹]	dovolené	0,25	
	naměřené	0,04	

5.2.4 Stroj č. 4

V tabulce č. 35 je popis měřeného stroje, tabulka č. 36 zobrazuje hodnoty z měření kouřivosti stroje a v tabulce č. 37 jsou konečné výsledky z měření u stroje č. 4.

Tabulka č. 35 - Popis stroje

Značka vozidla	JCB
Typ vozidla	550 – 80
Typ motoru	448 TA4i – 108 L1
Stav Mth	3 925
Typ emisního systému	Řízený
Měřeno přístrojem	BOSCH ESA/RTM 430

Tabulka č. 36 - Hodnoty čtyř po sobě jdoucích měření

Platné měření	n_vol [min ⁻¹]	n_ref [min ⁻¹]	t_acc [s]	k [m ⁻¹]
1	867	2 361	0,38	0,27
2	866	2 363	1,27	0,21
3	864	2 359	1,11	0,17
4	866	2 364	0,98	0,25
Průměr posledních 4 platných	866	2 362	0,94	0,23
Limit	800 – 1 000	2 250 – 2 450	max. 5.00	1,60

Tabulka č. 37 - Výsledná tabulka z měření

Otáčky [min ⁻¹]	Předepsané	Naměřené	
Volnoběžné	800 – 1 000	866	
Přeběhové	2 250 – 2 450	2 362	
Korigovaný součinitel absorpce (ze štítku) [m ⁻¹]	1,60		
Hodnota kouřivosti naměřená [m ⁻¹]	naměřená	0,23	
Rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření [m ⁻¹]	dovolené	0,25	
	naměřené	0,10	

5.2.5 Stroj č. 5

V tabulce č. 38 je popis měřeného stroje, tabulka č. 39 zobrazuje hodnoty z měření kouřivosti stroje a v tabulce č. 40 jsou konečné výsledky z měření u stroje č. 5.

Tabulka č. 38 - Popis stroje

Značka vozidla	JCB
Typ vozidla	550 – 80
Typ motoru	448 TA4i – 108 L1
Stav Mth	6 104
Typ emisního systému	Řízený
Měřeno přístrojem	BOSCH ESA/RTM 430

Tabulka č. 39 - Hodnoty čtyř po sobě jdoucích měření

Platné měření	n_vol [min ⁻¹]	n_ref [min ⁻¹]	t_acc [s]	k [m ⁻¹]
1	847	2 349	4,29	1,57
2	842	2 347	3,57	1,58
3	845	2 342	3,75	1,54
4	842	2 348	4,25	1,56
Průměr posledních 4 platných	844	2 347	3,97	1,56
Limit	800 – 1 000	2 250 – 2 450	max. 5.00	1,60

Tabulka č. 40 - Výsledná tabulka z měření

Otáčky [min ⁻¹]	Předepsané	Naměřené	
Volnoběžné	800 – 1 000	844	
Přeběhové	2 250 – 2 450	2 347	
Korigovaný součinitel absorpce (ze štítku) [m ⁻¹]	1,60		
Hodnota kouřivosti naměřená [m ⁻¹]	naměřená	1,56	
Rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření [m ⁻¹]	dovolené	0,25	
	naměřené	0,19	

5.2.6 Stroj č. 6

V tabulce č. 41 je popis měřeného stroje, tabulka č. 42 zobrazuje hodnoty z měření kouřivosti stroje a v tabulce č. 43 jsou konečné výsledky z měření u stroje č. 6.

Tabulka č. 41 - Popis stroje

Značka vozidla	JCB
Typ vozidla	535 – 95
Typ motoru	448 TA4i – 108 L1
Stav Mth	4 721
Typ emisního systému	Řízený
Měřeno přístrojem	BOSCH ESA/RTM 430

Tabulka č. 42 - Hodnoty čtyř po sobě jdoucích měření

Platné měření	n_vol [min ⁻¹]	n_ref [min ⁻¹]	t_acc [s]	k [m ⁻¹]
1	859	2 362	1,36	0,24
2	858	2 364	0,45	0,18
3	854	2 361	0,81	0,21
4	857	2 360	0,36	0,23
Průměr posledních 4 platných	857	2 362	0,75	0,22
Limit	800 – 1 000	2 250 – 2 450	max. 5.00	1,60

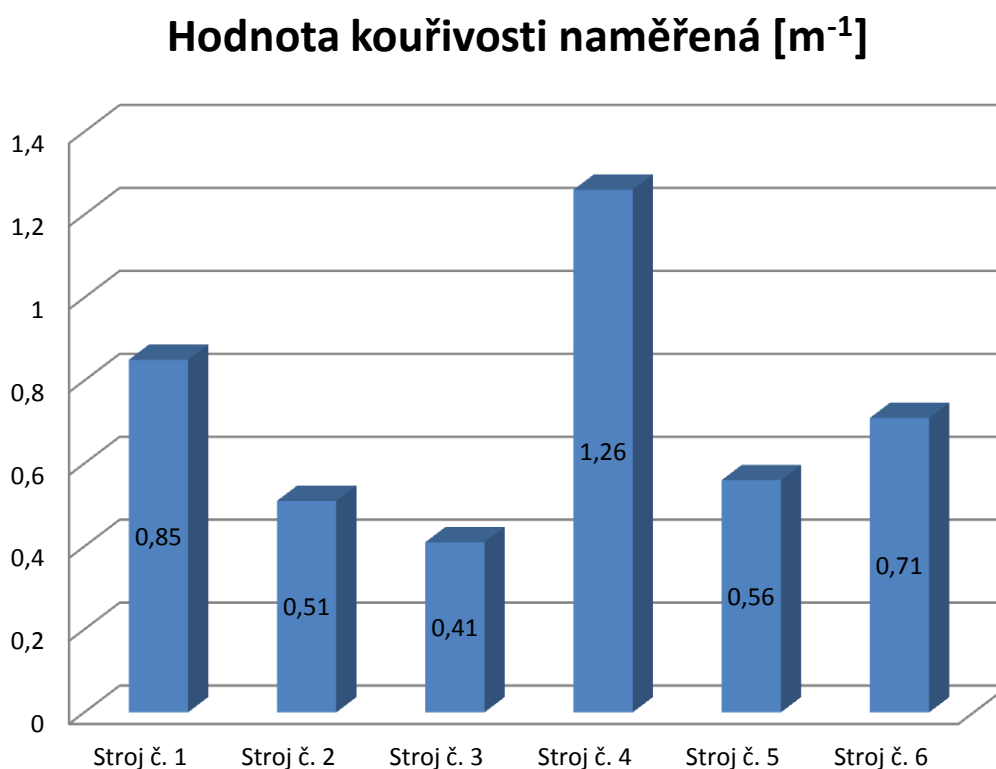
Tabulka č. 43 - Výsledná tabulka z měření

Otáčky [min ⁻¹]	Předepsané	Naměřené	
Volnoběžné	800 – 1 000	857	
Přeběhové	2 250 – 2 450	2 362	
Korigovaný součinitel absorpce (ze štítku) [m ⁻¹]	1,60		
Hodnota kouřivosti naměřená [m ⁻¹]	naměřená	0,22	
Rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření [m ⁻¹]	dovolené	0,25	
	naměřené	0,06	

6. Výsledky

6.1 Výsledné hodnoty emisí u motorů Dieselmax s emisní normou Tier III

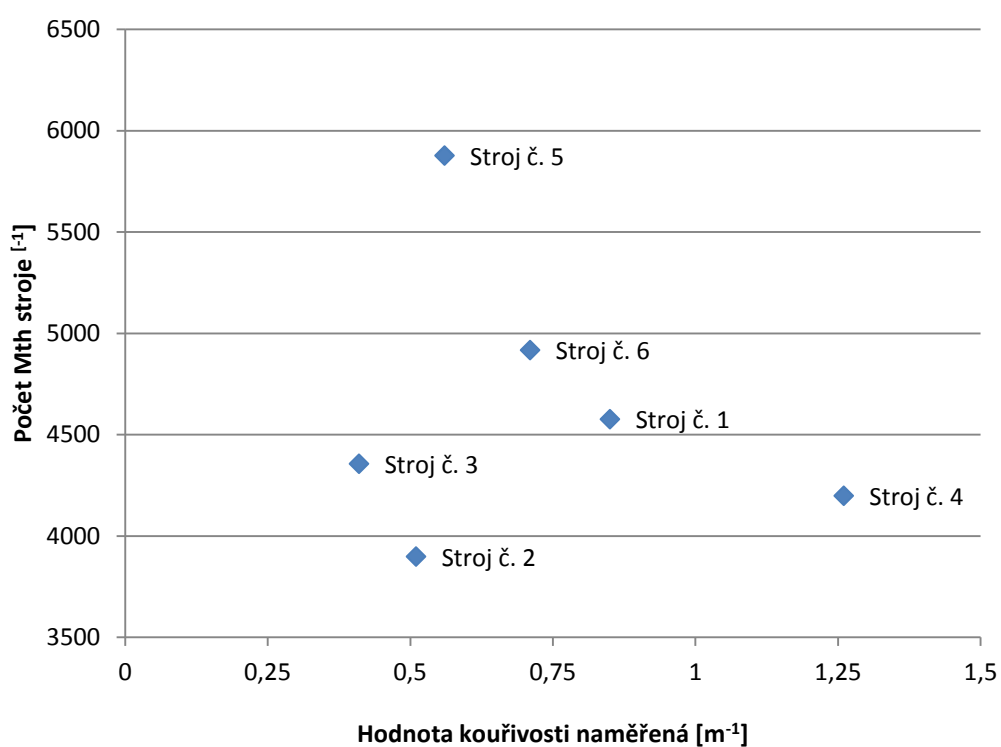
V grafu č. 1 jsou zaznamenány hodnoty kouřivosti naměřené u motorů Dieselmax plnící emisní normu Tier III, tabulka č. 44 zobrazuje seřazení strojů s motory s emisní normou Tier III podle odpracovaných Mth a graf č. 2 zobrazuje naměřené hodnoty kouřivosti u strojů s motory plnící emisní normu Tier III v závislosti na odpracovaných motohodinách.



Graf č. 1 – Naměřené hodnoty kouřivosti u jednotlivých měřených strojů s motory Dieselmax s emisní normou Tier III

Tabulka č. 44 - Seřazení strojů s motory s emisní normou Tier III podle odpracovaných Mth

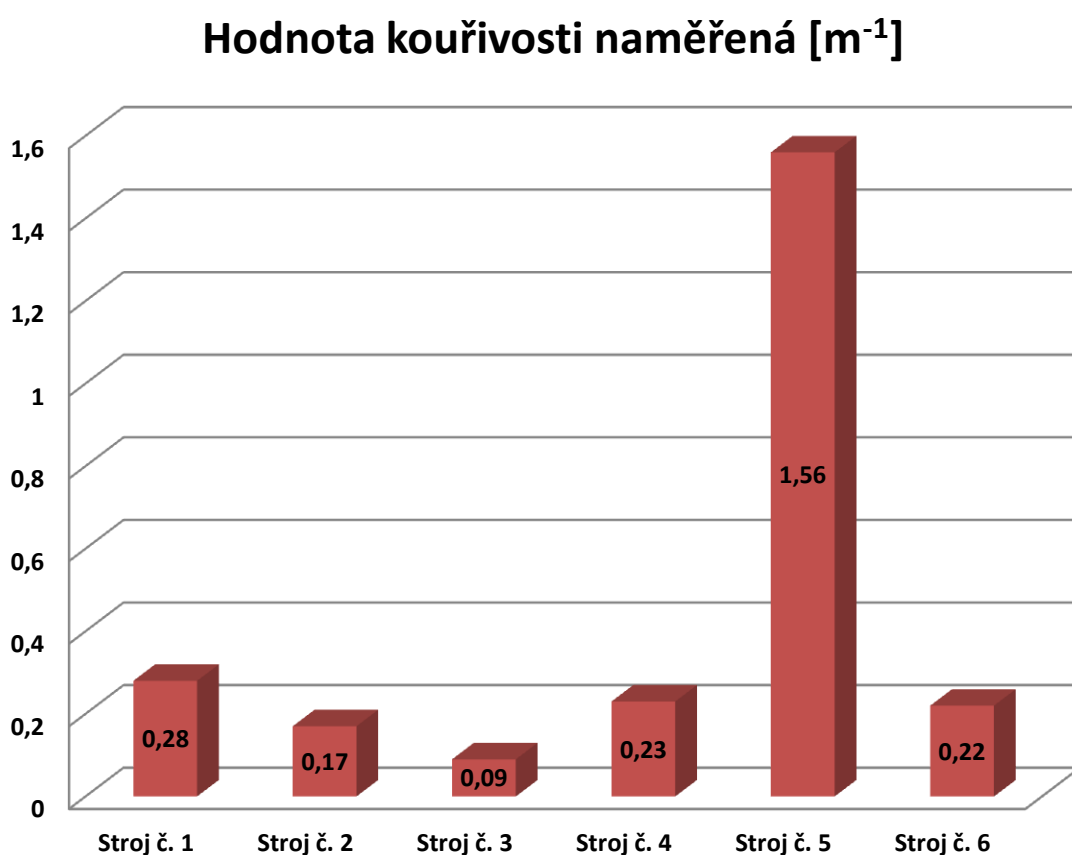
	Počet Mth stroje [⁻¹]	Hodnota kouřivosti naměřená [m^{-1}]
Stroj č. 2	3 898	0,51
Stroj č. 4	4 198	1,26
Stroj č. 3	4 356	0,41
Stroj č. 1	4 576	0,85
Stroj č. 6	4 917	0,71
Stroj č. 5	5 877	0,56



Graf č. 2 – Naměřená hodnota kouřivosti u strojů s motory plnící emisní normu Tier III v závislosti na odpracovaných motohodinách

6.2 Výsledné hodnoty emisí u motorů Ecomax s emisní normou Tier IVi

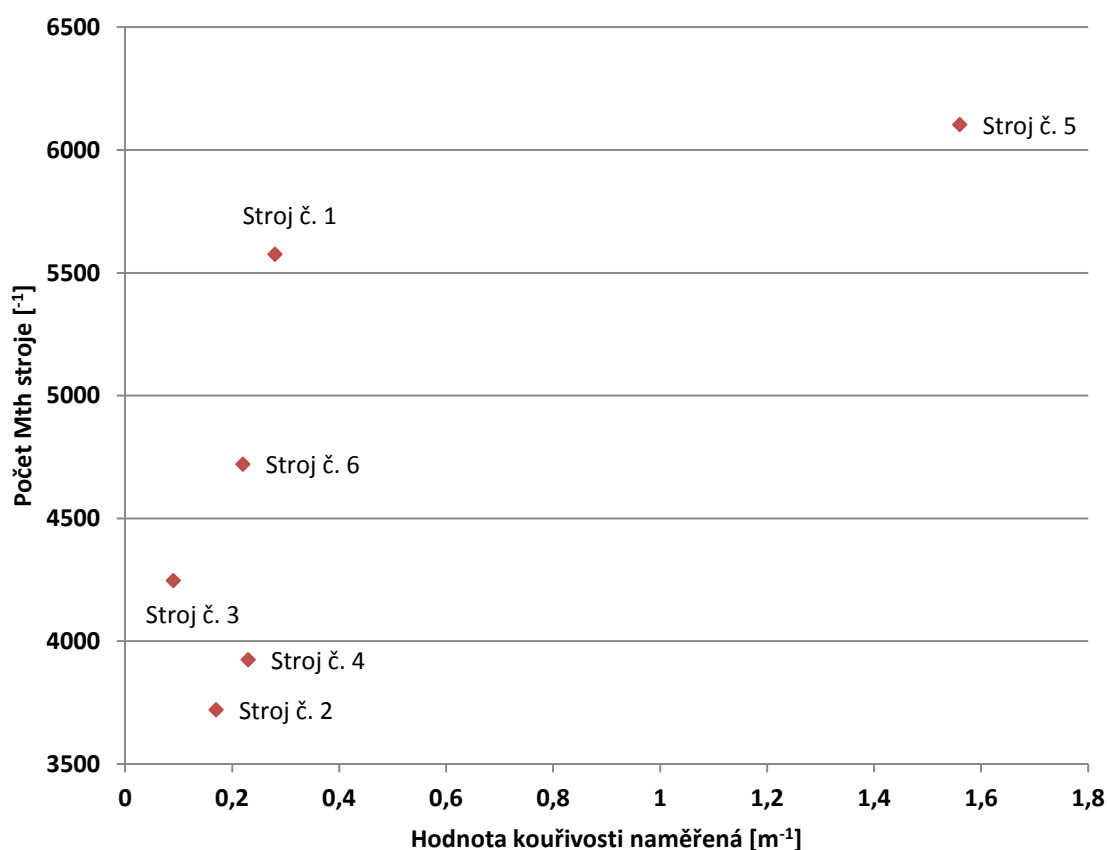
V grafu č. 3 jsou zaznamenány hodnoty kouřivosti naměřené u motorů Dieselmax, plnicí emisní normu Tier IVi, tabulka č. 45 zobrazuje seřazení strojů s motory s emisní normou Tier IVi podle odpracovaných Mth a graf č. 4 zobrazuje naměřené hodnoty kouřivosti u strojů s motory plnicí emisní normu Tier IVi v závislosti na odpracovaných motohodinách.



Graf č. 3 - Naměřené hodnoty kouřivosti u jednotlivých měřených strojů s motory Ecomax s emisní normou Tier IVi

Tabulka č. 45 - Seřazení strojů s motory s emisní normou Tier IVi podle odpracovaných Mth

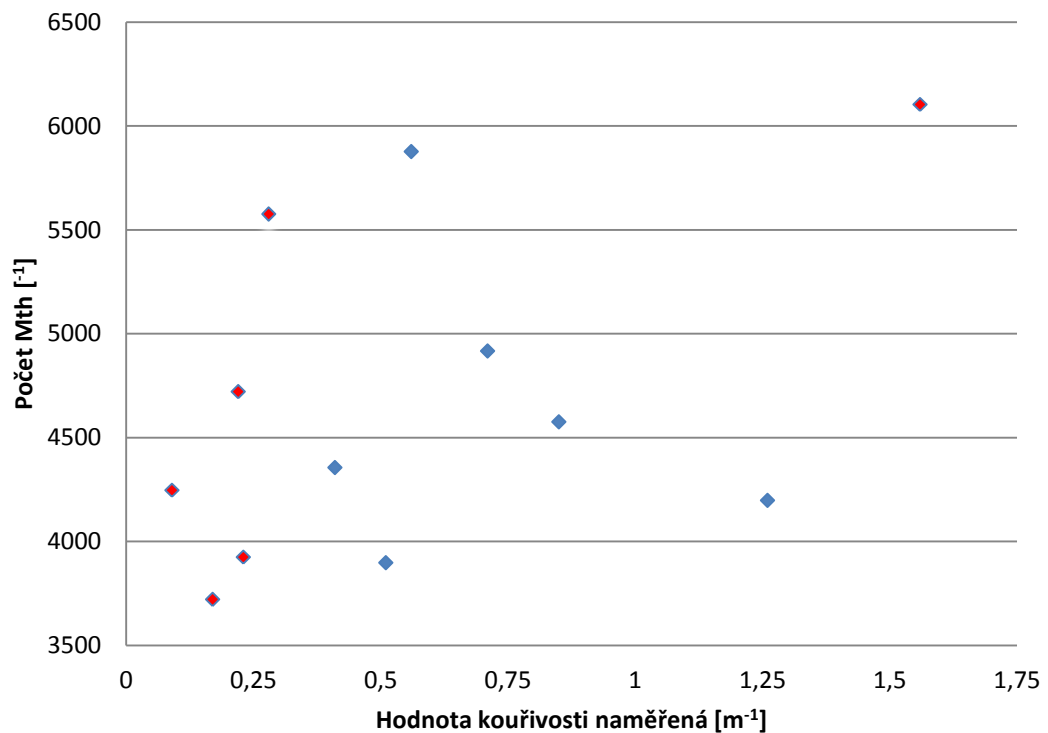
	Počet Mth stroje [⁻¹]	Hodnota kouřivosti naměřená [m^{-1}]
Stroj č. 2	3 721	0,17
Stroj č. 4	3 925	0,23
Stroj č. 3	4 247	0,09
Stroj č. 6	4 721	0,22
Stroj č. 1	5 576	0,28
Stroj č. 5	6 104	1,56



Graf č. 4 – Naměřená hodnota kouřivosti u strojů s motory plnící emisní normu Tier IVi v závislosti na odpracovaných motohodinách

6.3 Porovnání výsledných hodnot naměřených emisí strojů s motory s emisní normou Tier III a Tier IV

V grafu č. 5 jsou zobrazeny a porovnány naměřené hodnoty kouřivosti u motorů s emisní normou Tier III a Tier IVi, kde červené body značí hodnoty kouřivosti u motorů s emisní normou Tier IVi a modrými body jsou vyznačeny hodnoty kouřivosti u motorů s emisní normou Tier III.



Graf č. 5 – Porovnání naměřených hodnot kouřivosti mezi stroji s motory s emisní normou Tier III a Tier IVi

7. Diskuse

Ze zjištěných hodnot v mé diplomové práci lze odpovědět na otázky z cíle této práce.

Je zvolený diagnostický systém dostatečně přesný?

Ano, k měření emisí u vybraných strojů s motory JCB s rozdílnými emisními normami byly použity 2 měřicí přístroje na dvou odlišných stanicích SME (stanice měření emisí). Použitými přístroji byly BOSCH ESA/RTM 430 a MAHA MDO – 2. Přístrojem MAHA MDO-2 byly měřeny stroje č. 1, 2 a 3 s motorem plnicí emisní normu Tier III a také Tier IVi a přístrojem BOSCH ESA/RTM 430 byly měřeny stroje č. 4, 5 a 6 plnicí normu Tier III a Tier IVi. Z výsledných měření je patrné, že přístroj MAHA MDO – 2 je přesnější, hodnoty naměřených otáček volnoběžných i přeběhových se přibližují hodnotám, které jsou udávány výrobcem motoru více, než hodnoty otáček naměřené přístrojem BOSCH ESA/RTM 430. Možnými příčinami by mohlo být chybné vyhodnocení otáček přístrojem nebo byly hodnoty zadány do přístroje ručně, a proto se liší od hodnot udávaných výrobcem.

Odpovídají naměřené hodnoty direktivě EU a datům od výrobce?

Ano, naměřené hodnoty u všech vybraných strojů odpovídají jak direktivě EU, tak datům od výrobce. V této diplomové práci byly zjištěny hodnoty kouřivosti, které byly dále vloženy do grafů a porovnány. U každého z měřených strojů byla naměřena hodnota kouřivosti a ta byla porovnána s korigovaným součinitelem absorpce, který je uveden na štítku stroje. Hodnota kouřivosti byla měřena 4x v řadě za sebou a poté bylo vypočítáno rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření, které nesmělo přesáhnout hodnotu $0,25 \text{ m}^{-1}$. U všech 12 strojů byly zjištěny hodnoty kouřivosti, které nepřesahovaly daný korigovaný součinitel absorpce na štítku stroje, a také žádný ze strojů nepřesáhl maximální hranici rozpětí hodnot čtyř po sobě jdoucích měření, kterou udává direktiva EU.

Graf č. 1 znázorňuje hodnoty kouřivosti naměřené u sledovaných strojů, které mají motory plnicí emisní normu Tier III.

V grafu č. 2 lze vidět hodnoty kouřivosti naměřené u strojů s motory s emisní normou Tier III v porovnání s odpracovanými motohodinami strojů. Z grafu je patrné, že stroje č. 1, 2, 3, 5 a 6, které disponují odpracovaným počtem Mth od 3 898

do 5 877, mají hodnotu kouřivosti v rozmezí od 0,41 do 0,85 m⁻¹. Výjimkou je stroj č. 4, který má hodnoty kouřivosti podstatně vyšší, a to přesně 1,26 m⁻¹. To může být způsobeno závadou na některé ze součástí motoru. Možnou příčinou by mohla být závada na turbodmychadle, kde by docházelo k úniku oleje potřebného k mazání ložisek turbodmychadla do sání motoru, a to by způsobovalo nárůst kouřivosti. Další z možností je únik oleje okolo tzv. vodítek ventilů nebo okolo pístních kroužků na pístu ve válci motoru, kde by mohlo též docházet k úniku oleje do spalovacího prostoru, ale za předpokladu odpracovaných 4 198 Mth stroje je to dost nepravděpodobné. Dalšími možnými příčinami by mohl být například ucpaný filtr sání vzduchu do motoru nebo závada na palivové soustavě.

Graf č. 3 opět znázorňuje hodnoty kouřivosti naměřené u vybraných strojů, ale s motory plnící emisní normu Tier IVi.

V grafu č. 4 vidíme hodnoty kouřivosti naměřené u strojů s motory s emisní normou Tier IVi v porovnání s odpracovanými motohodinami. U strojů č. 1, 2, 3, 4 a č. 6 se v rozmezí od 3 721 do 5 576 Mth pohybují hodnoty naměřené kouřivosti od 0,09 do 0,28 m⁻¹, výjimkou je stroj č. 5, který má 6 104 Mth a naměřenou hodnotu kouřivosti 1,56 m⁻¹. Tato hodnota je vysoká, ale je ještě v toleranci, takže stroj měřením emisí prošel. Problém, který způsobuje vyšší kouřivost motoru, by mohl být opět zapříčiněn některou z již popisovaných závad, které byly zmíněny v odstavci uvedeném výše, popisující graf č. 2.

Posledním grafem je graf č. 5, který porovnává výsledné hodnoty naměřené kouřivosti u motorů s emisní normou Tier III a Tier IVi v závislosti na odpracovaných motohodinách mezi sebou. Naměřené hodnoty kouřivosti měřených strojů byly zprůměrovány a porovnány. Motory s emisní normou Tier III disponují hodnotou 0,72 m⁻¹ a stroje s emisní normou Tier IVi hodnotou 0,42 m⁻¹.

Výhody motoru Ecomax oproti motoru Dieselmax - motory JCB Ecomax Tier IVi jsou vybaveny pokročilým spalovacím systémem, což zajišťuje velmi nízké emise. S využitím chlazení spalin pomocí EGR, systému Common Rail pracujícím až do 200 MPa a turbodmychadla s proměnnou geometrií motory JCB Ecomax Tier IVi nevyžadují filtr pevných částic. Největší výhodou oproti motoru Dieselmax je spotřeba paliva, a to o 5 až 10 %.

THYAGO AUGUSTO MEDEIROS LIRA a kol. (2016) ve své práci porovnává hodnoty kouřivosti u traktoru Valtra BM 125i s turbodmychadlem a chladičem stlačeného vzduchu o výkonu 91,9 kW s emisní normou Tier III. Měření provádí 3x. Poprvé provádí měření při spalování čisté nafty, podruhé s podílem 50 % bionafty a potřetí spaluje čistou bionaftu. Výsledné hodnoty jsou při spalování čisté nafty $2,12 \text{ m}^{-1}$, při spalování nafty s podílem 50 % bionafty je to hodnota $1,62 \text{ m}^{-1}$ a při spalování čisté bionafty se dostane na hodnotu $1,11 \text{ m}^{-1}$. Z jeho výsledků je patrné, že bionafta má opravdu velký vliv na snižování emisí, ale při porovnání se mnou měřenými stroji je při uvážení stejné emisní normy hodnota kouřivosti podstatně vyšší.

OPEKAR (2018) ve své diplomové práci porovnává hodnoty kouřivosti u traktorů JOHN DEERE. U měřeného traktoru JOHN DEERE 6115m, který díky VGT turbodmychadlu, EGR systému a vysokotlakému vstřikování paliva Common Rail plní emisní normu Tier IVi, stejně jako mnou měřené motory u teleskopických nakladačů JCB Ecomax, zjistil hodnotu kouřivosti $1,38 \text{ m}^{-1}$. V porovnání s motory, u kterých jsem měřil hodnotu kouřivosti ve své práci, je tato hodnota poněkud vyšší. To mohlo být způsobeno buď poruchou na některé z částí motoru, stářím stroje nebo může být příčina v rozdílnosti zpracování systémů pro snižování emisí.

8. Závěr

Cílem mé diplomové práce bylo zjistit a porovnat hodnoty emisí u motorů teleskopických nakladačů JCB s rozdílnými emisními normami. Zjistit, zda je zvolený diagnostický systém dostatečně přesný a zda naměřené hodnoty odpovídají direktivě EU a hodnotám uvedeným výrobcem.

K měření kouřivosti motorů u strojů JCB byly použity 2 měřicí přístroje, respektive byly hodnoty zjištěny na dvou odlišných stanovištích SME. Těmito přístroji byly BOSCH ESA/RTM 430 a MAHA MDO – 2. Výsledky z obou přístrojů byly mezi sebou porovnány a přesněji vycházely hodnoty u měřicího přístroje MAHA MDO – 2.

K porovnání byly vybrány teleskopické manipulátory JCB s motory Dieselmax splňující emisní normu Tier III a motory Ecomax, které plní emisní normu Tier IVi. Stav motohodin strojů byl v rozmezí 3 721 až 6 104 a po porovnání dat bylo zjištěno, že hodnota kouřivosti není závislá na počtu odpracovaných Mth stroje. Dále bylo zjištěno, že měřené motory plnící emisní normu Tier III mají hodnotu kouřivosti o 42% vyšší než motory plnící emisní normu Tier IVi. To je dáno tím, že motory Ecomax jsou opatřeny recirkulací výfukových spalin EGR, turbodmychadlem s variabilní regulací naklápění lopatek a vyššími vstřikovacími tlaky paliva, což snižuje kouřivost motoru.

9. Zdroje

BAUER F., SEDLÁK P., ČUPERA J., POLCAR A., FAJMAN M., ŠMERDA T., KATRENČÍK J. (2006): *Traktory a jejich využití*, 1. vydání. Brno, Profí Press, 192s., ISBN 978-80-86726-52-6

DAMPSEY P. (2008): *Troubleshooting and Repairing Diesel Engines*, 4. vydání. New York, nakladatelství The McGraw - Hil, 390 s., DOI 10.1036/0071493719

FIREMNÍ LITERATURA JCB (2018)

FIREMNÍ LITERATURA Fast Agri (2018)

HOFMANN K. (1985): *Turbodmychadla, vozidlové turbíny a ventilátory: přeplňování spalovacích motorů*, 2. vydání. Brno, SNTL - Nakladatelství technické literatury, 134 s.

HROMÁDKO J. (2012): *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*, 1. vydání. Praha, Grada, 160s., ISBN 978-80-247-4455-1

JAN Z., ŽDÁNSKÝ B. (2010): *Automobily – Příslušenství*, 3. vydání. Brno, Avid, 312s., ISBN 978-80-87143-16-2

KOHOUTEK J., HOLOUBEK I. (1996): *Vývoj složení emisí z automobilové dopravy v závislosti na technickém pokroku v konstrukci vozidel*, 1. vydání. Brno, Tocoen, 21s.

LIRA M. A. T., MORETI F. C. T., LOPES A., SANTOS P. A., OLIVEIRA J. C. M., NEVES T. C. M., IAMAGUTI S. P., LIMA P. L., KOIKE A. H. G., SILVA A. R. (2016). Smoke opacity of ethyl biodiesel from babassu and two types of diesel at different daytimes. *African agricultural journal research*, vol. 11, issue 4, pp. 4055 - 4061. ISSN: 1991-637X DOI: 10.5897/AJAR2016.11582. Dostupné také z: <http://www.academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/02CF89E60991>

ŠMERDA T., ČUPERA J., FAJMAN M. (2013): *Vznětové motory vozidel*, 1. vydání. Brno, CPress, 136 s., ISBN 978-8-264-0160-5

VLK F. (2006): *Paliva a maziva motorových vozidel*, 1. vydání. Brno, F. Vlk, 376 s., ISBN 80-239-6461-5

Internetové zdroje

<http://www.autorubik.sk/clanky/co-je-to-a-ako-funguje-egr-ventil/> „staženo dne: 3. 11. 2017“

<http://www.autolexicon.net/cs/articles/common-rail/> „staženo dne: 21. 11. 2017“

http://www.ped.muni.cz/z21/knihy/2011/38/texty/cze/horka_hromadka.pdf „staženo dne: 27. 11. 2017“

<http://www.ritchiewiki.com/wiki/index.php/JCB> „staženo dne: 19. 2. 2018“

<https://www.forconstructionpros.com/rental/lifting-equipment/telescopic-handler/press-release/12192270/jcb-americas-jcb-produces-200000th-loadall-telescopic-handler> „staženo dne: 19. 2. 2018“

<http://www.liftandaccess.com/content/jcb-produces-200000th-loadall-telescopic-handler-construction-news> staženo „staženo dne: 20. 2. 2018“

https://www.farminguk.com/News/JCB-unveils-Ecomax-Tier-4-engine-strategy_25392.html „staženo dne: 20. 2. 2018“

<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:POTCa2cuqeEJ:https://www.mdcz.cz/getattachment/Dokumenty/Silnicni-doprava/SME/Metodicky-postup-pro-mereni-emisi-motorovych-vozid/Metodicky-postup-mereni-emisi-vozidel-ve-stanicich-mereni-emisi.doc.aspx%3Fflang%3Dcs-CZ+%&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz> „staženo dne: 21. 2. 2018“

<http://zkusebna.wz.cz/esa.htm> „staženo dne: 21. 2. 2018“

<http://docplayer.cz/4536625-Produkce-emisnich-slozek-vyfukovych-plynu.html> „staženo dne: 26. 2. 2018“

<https://agripro.jcb.com/dualtechvt.html> „staženo dne: 28. 2. 2018“

<https://www.pekass.eu/o-spolecnosti/aktualne/40-let-vyroby-teleskopickyh-manipulatoru-jcb-loadall-oslava-vyroci.html> „staženo dne: 28. 2. 2018“

<http://cdn.mycdmm.de/file/a67f6f8a38ec65501347d1ce79d4df97b44464df> „staženo dne: 16. 3. 2018“