

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 výfukových plynů u vybrané skupiny  
traktorů

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

Autor diplomové práce: Bc. Jiří Opekar

České Budějovice, 2018

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

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří OPEKAR**  
Osobní číslo: **Z16288**  
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**  
Studijní obor: **Zemědělská a dopravní technika**  
Název tématu: **Porovnání emisních norem výfukových plynů u vybrané skupiny traktorů**  
Zadávací katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

*Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :*

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

1. Je zvolený diagnostický systém vhodný pro dostatečnou přesnost výsledků?
2. Odpovídají naměřené hodnoty direktivě EU?

*V práci se zaměřte:*

1. Popište používané diagnostické systémy pro měření emisí výfukových plynů.
2. Porovnejte konkrétní měření.
3. Porovnejte zjištěné a naměřené výsledky s doporučeními výrobce a direktivou EU.
4. Odpovězte na otázky z cíle této práce.
5. Výsledky vyhodnoťte.
6. Uveďte 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 Professiona, 390 s. ISBN 0071493719.  
GSCHIEDLE R., MICHŇA Z. a MICHŇOVÁ I. (2001): Příručka pro automechanika. Praha, Sobotáles, s. 280-288. ISBN 80-85920-76-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 vydavatelství Prof. Ing. František Vlk, DrSc., s 117-141. ISBN 80-238-8756-4.  
Firemní literatura.


Omezeně internetové zdroje:

<https://scholar.google.cz/>  
[https://books.google.com/advanced\\_book\\_search](https://books.google.com/advanced_book_search)  
<http://www.elsevier.com/online-tools/scopus>


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Antonín Dolan, Ph.D.**  
Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Datum zadání diplomové práce: **13. února 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2018**

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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentův náměstí 1602, 370 05 České Budějovice

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

V Českých Budějovicích dne 14. března 2017

### **Prohlášení:**

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 § 47 b 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 20. 4. 2018

.....

vlastnoruční podpis autora

### **Poděkování:**

Poděkování patří panu Ing. Antonínovi Dolanovi, Ph.D. za jeho cenné rady při vedení mé diplomové práce. Děkuji také STK Komat a majitelům zemědělských firem, kteří mi umožnili provést měření na svých traktorech.

**Abstrakt:**

Cílem diplomové práce je porovnat kouřivost traktorů John Deere řady 6 se čtyřválcovými motory. Na porovnání bylo vybráno 5 traktorů s rozdílem podle roku výroby. U těchto traktorů je cílem zjistit, zda systémy na snižování emisí výfukových plynů u nových traktorů John Deere vykazují lepší účinnost při snižování emisí než traktory starší. Dále se práce věnuje tématu, jaké konkrétní látky vznětové motory vypouštějí a jaký mají vliv na lidský organismus a na životní prostředí. Nechybí též základní informace o evropských a amerických normách a také způsoby, jak tyto škodlivé látky ze spalovacího motoru vypouštět do ovzduší co nejméně. Též jsou popsány jednotlivé diagnostické přístroje na měření emisí výfukových plynů vznětových motorů. Práce dále obsahuje charakteristiku měřených traktorů a pokračuje výsledky naměřených hodnot, které jsou zaznamenány do tabulek a jsou znázorněny graficky. V závěru jsou zhodnoceny výsledky a jsou uvedeny závěry pro praxi.

**Klíčová slova:** traktor; John Deere; emise; výfukové plyny; kouřivost

**Abstract:**

The aim in this thesis is to provide a comparison of smoke levels among John Deere 6 Family four-cylinder tractors. The comparison group consisted of 5 tractors, each with a different year of production. The aim is to ascertain if the systems provided in new John Deere tractors show higher efficiency in reducing emissions than those in older tractors. Further, the thesis deals with particular substances emitted by compression ignition engines and their influence on humans and the environment. Furthermore, basic information is provided about European and US standards as well as ways to reduce to the minimum these harmful substance emissions from compression ignition engines to the atmosphere. Diagnostic instruments for measuring exhaust gas emissions from compression ignition engines are described. Further, the thesis contains characteristics of tractors in the study group and results of measurements, arranged in tables and in graphs. Lastly, the results are evaluated and conclusions are made for practice.

**Key words:** tractor; John Deere; emission; exhaust gases; smoke index

## Obsah

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | Úvod.....  | 9  |
| 2.    | Literární přehled.....                             | 10 |
| 2.1   | Emise ze spalovacích prostorů .....                | 10 |
| 2.1.1 | Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> ) .....             | 11 |
| 2.1.2 | Oxid uhelnatý (CO) .....                           | 11 |
| 2.1.3 | Nespálené uhlovodíky (HC) .....                    | 11 |
| 2.1.4 | Oxidy dusíku (NO <sub>x</sub> ).....               | 12 |
| 2.1.5 | Oxid siřičitý (SO <sub>2</sub> ) .....             | 12 |
| 2.1.6 | Prachové částice .....                             | 13 |
| 2.2   | Emise z nespalovacích prostorů .....               | 13 |
| 2.3   | Evropské emisní limity traktorových motorů.....    | 14 |
| 2.3.1 | Stage I/II .....                                   | 14 |
| 2.3.2 | Stage III/IV .....                                 | 15 |
| 2.4   | Americké emisní normy traktorových motorů .....    | 16 |
| 2.4.1 | Normy Tier 1/2/3 .....                             | 16 |
| 2.4.2 | Normy Tier 4 .....                                 | 17 |
| 2.5   | Způsoby snižování emisí aktivními prostředky.....  | 18 |
| 2.5.1 | Tvorba směsi.....                                  | 18 |
| 2.5.2 | Vstřikování paliva.....                            | 19 |
| 2.5.3 | Víření směsi .....                                 | 21 |
| 2.5.4 | Přepřínování .....                                 | 21 |
| 2.6   | Způsoby snižování emisí pasivními prostředky ..... | 22 |
| 2.6.1 | Oxidační katalyzátor .....                         | 23 |
| 2.6.2 | Filtr pevných částic.....                          | 24 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.6.3 | Recirkulace výfukových plynů.....            | 29 |
| 2.6.4 | Selektivní katalytická redukce.....          | 32 |
| 2.6.5 | Zásobníkový katalyzátor oxidů dusíku.....    | 34 |
| 2.7   | Metody měření emisí u vznětových motorů..... | 35 |
| 2.7.1 | Filtrační metoda.....                        | 36 |
| 2.7.2 | Gravimetrické měření.....                    | 37 |
| 2.7.3 | Opacimetrie.....                             | 37 |
| 2.8   | Historie firmy John Deere.....               | 39 |
| 3.    | Cíl práce.....                               | 42 |
| 4.    | Metodika práce.....                          | 43 |
| 4.1   | Měřicí přístroj.....                         | 43 |
| 4.2   | Postup měření.....                           | 44 |
| 4.3   | Popis měřených traktorů.....                 | 49 |
| 4.3.1 | John Deere 6310.....                         | 50 |
| 4.3.2 | John Deere 6220.....                         | 51 |
| 4.3.3 | John Deere 6230 standard.....                | 52 |
| 4.3.4 | John Deere 6115 M.....                       | 53 |
| 4.3.5 | John Deere 6135 R.....                       | 54 |
| 5.    | Výsledky.....                                | 55 |
| 6.    | Vyhodnocení a diskuze.....                   | 60 |
| 7.    | Závěr.....                                   | 63 |
| 8.    | Seznam použité literatury.....               | 64 |



## 1. Úvod

Problematika emisních limitů patří v dnešní době k nejprobíranějším tématům v rámci problematiky znečišťování ovzduší. Na ochranu životního prostředí a snižování zdrojů jeho znečišťování jsou kladeny vysoké požadavky ve všech průmyslových odvětvích. Automobilová doprava je významný zdroj podílející se na produkci znečišťování ovzduší, proto již od sedmdesátých let 20. století je snaha toto znečišťování eliminovat. Na nesilniční vozidla v této době nebyl kladen téměř žádný důraz. Teprve roku 1996 byly vytvořeny normy, které upravují produkci výfukových spalin i pro nesilniční vozidla. Do této kategorie řadíme samojízdné pracovní stroje, tedy traktory, stavební stroje, lodní a drážní motory atd. Normy pro tyto stroje jsou označovány jinak než u vozidel silničních. V USA a Severní Americe jsou normy označovány jako „Tier“, naopak v Evropě jako „Stage“. Z hlediska složení škodlivých látek jsou kladeny nároky na snížení nezdravých a karcinogenních látek, které vznikají při nedokonalém spalování motoru. V posledních letech jsou tyto požadavky stále více zpřísnovány. Na rozdíl od minulých let nutí přísnější emisní normy výrobce spalovacích motorů snížit produkci oxidů dusíku a pevných částic. Výrobci však nejsou omezováni danou konstrukcí motorů a je na nich, jakou cestu si při výrobě zvolí.

V této diplomové práci bych se chtěl věnovat konkrétním emisím ze spalovacích prostorů především vznětových motorů, které jsou v zemědělství nejpoužívanější. Cílem této diplomové práce je zjistit, zda systémy traktorových motorů na snižování emisí výfukových plynů jsou účinné a zdali plní tak svou funkci. Dílčím cílem je též zjištění, zda systémy u nových traktorů John Deere vykazují ve srovnání se staršími modely lepší účinnost při snižování emisí.

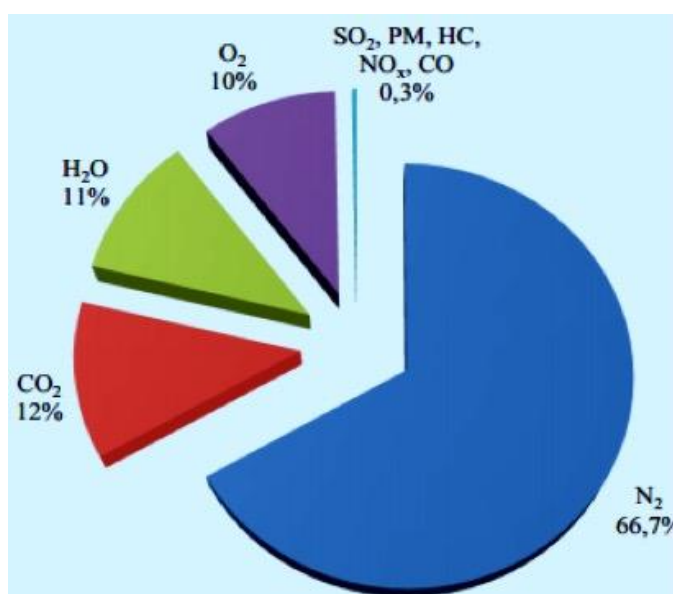
V teoretické části se budu zabývat tématy, jaké konkrétní látky vznětové motory vypouštějí a jaký mají vliv na lidský organismus a na životní prostředí. Dále se chci věnovat evropským i americkým emisním limitům a také způsobům a technickým řešením, jak tyto škodlivé látky ze spalovacího motoru vypouštět do ovzduší co nejméně. Též budou popsány jednotlivé diagnostické přístroje na měření emisí výfukových plynů vznětových motorů. V praktické části budou porovnány čtyřválcové motory John Deere středních výkonových traktorů řady 6 z hlediska účinnosti jejich systémů na snižování emisí.

## 2. Literární přehled

### 2.1 Emise ze spalovacích prostorů

Výfukové plyny jsou komplexní směsí chemických látek vznikajících při spalování uhlovodíkových fosilních paliv ve spalovacím prostoru motoru. Jednotlivé složky vznikají chemickou reakcí nejčastěji kyslíku a dalších složek obsažených v palivu. Množství výfukových spalin emitovaných z výfukového potrubí závisí na několika faktorech, zejména na typu paliva a jeho chemickém složení, tvaru spalovacího prostoru, způsobu tvoření směsi, typu a stavu spalovacího zařízení, okamžitých provozních podmínkách motoru a na typu zařízení ke snížení emisí.

Mezi nejvýznamnější složku spalin patří dusík ( $N_2$ ). Při dokonalém spalování vzniká oxid uhličitý ( $CO_2$ ) a voda ( $H_2O$ ), tento jev je ale velmi ojedinělý. V reálném procesu však dochází k nedokonalému spalování, a tak ke vzniku oxidu uhelnatého ( $CO$ ), nespálených uhlovodíků ( $HC$ ), oxidů dusíku ( $NO_x$ ), oxidu siřičitého ( $SO_2$ ) a dále ke vzniku makroskopických pevných látek, tzv. sazí. Složení výfukových plynů vznětového motoru je uvedeno na obrázku č. 1 (<http://cistenebe.cz/index.php/slovnicek-pojmu/18-vyfukove-plyny>, „staženo dne: 18. 1. 2018“).



Obrázek č. 1 - Složení výfukových plynů vznětového motoru, zdroj: VAŠKO (2011)

### 2.1.1 Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>)

Oxid uhličitý vzniká dokonalým spalováním uhlíku (C) obsaženého v palivu prostřednictvím kyslíku (O<sub>2</sub>), který se vyskytuje v nasávaném vzduchu. Oxid uhličitý je nejedovatý produkt spalování, tento plyn produkují i lidé a zvířata. Určité nebezpečí však existuje, protože při jeho vysoké koncentraci hrozí smrt zadušením. Zvyšující se obsah CO<sub>2</sub> v atmosféře navíc způsobuje tzv. „skleníkový efekt“ a má tak za důsledek stoupající teplotu atmosféry.

Maximální hodnoty oxidu uhličitého přibližně 14,7 objemových procent se dosahuje při stechiometrickým spalováním směsi. Naměřený CO<sub>2</sub> je nejen ukazatel dobrého spalování, těsnosti výfukové soustavy, ale také ukazatel funkčnosti katalyzátoru. Katalyzátor redukuje CO na méně škodlivý CO<sub>2</sub> (JAN a kol., 2007).

### 2.1.2 Oxid uhelnatý (CO)

Oxid uhelnatý je bezbarvý, nedráždivý, jedovatý plyn bez chuti a zápachu. V krvi se váže na červené krvinky a tím zabraňuje jejich základní úloze, tj. dopravě kyslíku z plic do ostatních částí lidského organismu. Nejcitlivějším orgánem na dodávku kyslíku je mozek, proto bývá oxid uhelnatý také označován jako nervový jed. K hlavním příznakům otravy tímto jedem patří bolest hlavy, závrať, srdeční obtíže a malátnost. Nejvíce poškozuje srdce, nervový systém, cévy. Je těžší než vzduch, proto se shromažďuje v dolních částech místností, což je velmi nebezpečné v nevětraných prostorech, zvláště v montážních jámách. Podílí se také na vzniku fotochemického (letního) smogu (JAN a kol., 2007).

### 2.1.3 Nespálené uhlovodíky (HC)

Za nespálené uhlovodíky považujeme sloučeniny, které do procesu spalování vstoupily jako palivo a v důsledku mnoha příčin nedošlo k jejich spálení či zoxidovaly jen z části. Nejmenší přímý vliv na organismus mají uhlovodíky, které jsou obsaženy v palivech a ve spalínách se objevují hlavně v důsledku přímé ztráty paliva zkratovým vyplachováním. Nejnebezpečnější jsou polycyklické aromatické uhlovodíky, které mají rakovinotvorný účinek. K nespáleným uhlovodíkům patří zejména:

- **Aromatické uhlovodíky** – vynikají specifickým zápachem a mají narkotický a rakovinotvorný účinek,
- **Nasycené uhlovodíky** – označované jako parafiny, jsou téměř bez zápachu, ale mají narkotický účinek a slabě dráždí pokožku,

- **Nenasycené uhlovodíky** – vyznačují se lehce nasládlou vůní a slabě dráždí pokožku.

Stejně jako u emisí oxidu uhelnatého stoupá množství uhlovodíků v oblasti bohaté směsi. Vysokou hodnotu nespálených uhlovodíků většinou způsobuje mechanické poškození, špatné seřízení a špatný celkový stav motoru. Na rozdíl od zážehových motorů vznětové spalovací motory vzhledem k vysokým přebytkům vzduchu nedosahují při provozní teplotě motoru tak vysoké koncentrace emisí uhlovodíků (JAN a kol., 2007).

#### **2.1.4 Oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>)**

Vysoká teplota a tlak ve spalovacím prostoru vede k oxidaci dusíku (N<sub>2</sub>), který je obsažen v nasávaném vzduchu. Mimo oxidu dusnatého (NO) vznikají v malých množstvích také oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>) a oxid dusný (N<sub>2</sub>O). Oxid dusnatý je bezbarvý plyn, který na vzduchu oxiduje a stává se z něj oxid dusičitý, což je hnědočervený plyn se silným zápachem. Dráždí plíce, leptá tkáň, je silně jedovatý a podílí se na vznik smogu. Kromě škodlivého působení na organismus se oxidy dusíku negativně projevují u stavebních materiálů, které chemicky napadají a ničí jejich vlastnosti.

Závislost emisí oxidů dusíku na hodnotě součinitele přebytku vzduchu je opačná než u oxidu uhelnatého a uhlovodíků. V oblasti chudé směsi emise oxidů dusíku klesají se zvyšující se hodnotou  $\lambda$ , jelikož s chudší směsí klesá teplota ve spalovacím prostoru a tím jsou omezovány podmínky pro vznik NO<sub>x</sub> (JAN a kol., 2007).

#### **2.1.5 Oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>)**

Tento plyn je bezbarvý, jedovatý, se štiplavým zápachem, je těžší než vzduch. SO<sub>2</sub> dráždí plíce, nosní sliznici a při vyšších koncentracích může u člověka způsobit otok hrtanu a plic. Vzniká sloučením síry (S) a kyslíku (O<sub>2</sub>), přičemž kyslík se nachází v nasátém palivu a síra v palivu. Limitní hodnoty síry se nacházejí více u nafty než u benzínu. Sloučením vody (H<sub>2</sub>O) a SO<sub>2</sub> vznikají kyseliny síry, které známe pod pojmem „kyselý déšť“, který má negativní vliv na životní prostředí (JAN a kol., 2007).

### **2.1.6 Prachové částice**

Pevné částice najdeme pouze u vznětových motorů. Ze 75 % obsahují primární uhlík (saze). Zbytek částic tvoří sulfáty, dusík, uhlovodíky a další neidentifikovatelné složky. Konkrétní složení a množství jednotlivých částí závisí zejména na typu motoru, jeho technickém stavu a na jeho stáří. Pevné částice způsobují u člověka podráždění očí, jícnu, průdušek. Dále vyvolávají dýchací potíže nebo nucení ke zvracení. Dlouhodobé vystavení účinkům těchto částic může způsobit rakovinotvorný efekt.

Základ PM (Partikulate Matter) vzniká při spalování neodpařených kapek paliva v prostředí s extrémně nízkým obsahem kyslíku při vysokých teplotách. Množství pevných částic ve výfukových plynech je podmíněno kvalitou rozprášení paliva během vstřiku do válce a obsahem kyslíku. Proto je u vznětových motorů možné někdy vidět tmavý kouř vycházející z výfukového potrubí (ŠUTA, 2008).

### **2.2 Emise z nespalovacích prostorů**

Obecně lze říci, že podstatná část znečištění pochází ze spalovacích procesů, ale nezanedbatelný podíl emisí zaujímají i emise nespalovací. Zatímco spalovací emise se s nákupem nové techniky snižují, emise nespalovací zůstávají na stejné výši a se vzrůstající intenzitou dopravy se zvyšují. Emise z nespalovacích prostorů vznikají například obrušováním různých namáhaných součástí (např. brzdové a spojkové obložení), kdy se do atmosféry uvolňuje měď (Cu), antimon (Sb), baryum (Ba), železo (Fe), zinek (Zn), hořčík (Mg), kadmium (Cd), molybden (Mo) a další. Totéž platí o pneumatikách, které také obsahují různé druhy pryží a jsou zdrojem především zinku, železa, vápníku i elementárního uhlíku.

Všechny tyto částice se díky své malé velikosti rychle usazují na povrchu vozovky a také v blízkosti zdrojů svého vzniku. Do ovzduší se dostávají resuspenzí v důsledku turbulentního proudění vzduchu vzniklého projíždějícími vozidly nebo vířením proudícího větru. Negativní účinky těchto exhalátů jsou podobné jako spalovací emise závislé na svých chemických a fyzikálních vlastnostech. Vozový prach obsahuje i velké částice, jako například písek, šterk, sůl. Na tyto velké částice se vážou výše uvedené malé částice a při velké intenzitě dopravy jsou tyto nespalovací emise na vozovce velmi dobře znatelné (ADAMEC, 2008).

## 2.3 Evropské emisní limity traktorových motorů

K výraznému rozvoji v oblasti emisí motorů došlo díky zavádění emisních limitů, které omezují množství vypouštěných škodlivin ve spalínách do ovzduší s cílem zachovat kvalitu ovzduší i pro další generace. Pro tento účel byly postupně zavedeny emisní normy, které stanovují maximální množství vypouštěných škodlivých látek do ovzduší v g.kWh<sup>-1</sup>. Mezi nejznámější limity pro pracovní stroje, jako jsou traktory, samojízdné stroje a další, patří Evropské limity STAGE I – IV (<http://mechanizaceweb.cz/emise-traktorovych-motoru-a-jejich-odbouravani/>, „staženo dne: 19. 1. 2018“).

### 2.3.1 Stage I/II

První evropské právní předpisy zabývající se emisemi pracovních strojů byly vyhlášeny 16. prosince 1997. Jednalo se o vydanou směrnici 97/68/ES. Omezení pro vznětové motory byla představena ve dvou etapách. Stage I začala platit v roce 1999 a Stage II byla aplikována od roku 2001 do roku 2004, v závislosti na výkonu motoru. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 1. Tyto předpisy se vztahovaly na širokou škálu strojů pro stavební, zemědělské a další účely, přičemž všechny tyto pracovní stroje měly společné předpisy. Výjimka nastala pouze u zemědělských a lesnických traktorů, kde byly jiné lhůty pro provedení. Vše uváděla směrnice 2000/25/ES (<https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>, „staženo dne: 19. 1. 2018“).

Tabulka č. 1 – Hodnoty emisních limitů Stage I/II

| Power P <sub>n</sub><br>kW | NO <sub>x</sub><br>g/kWh | HC<br>g/kWh | CO<br>g/kWh | Particulates<br>g/kWh | Date*  |
|----------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-----------------------|--------|
|                            | NO <sub>x</sub> + NMHC   |             |             |                       |        |
| <b>Stage I</b>             |                          |             |             |                       |        |
| 37 ≤ P <sub>n</sub> < 75   | 9.2                      | 1.3         | 6.5         | 0.85                  | Apr 99 |
| 75 ≤ P <sub>n</sub> < 130  | 9.2                      | 1.3         | 5.0         | 0.70                  | 1999   |
| 130 ≤ P <sub>n</sub> ≤ 560 | 9.2                      | 1.3         | 5.0         | 0.54                  | 1999   |
| <b>Stage II</b>            |                          |             |             |                       |        |
| 18 ≤ P <sub>n</sub> < 37   | 8.0                      | 1.5         | 5.5         | 0.8                   | 2001   |
| 37 ≤ P <sub>n</sub> < 75   | 7.0                      | 1.3         | 5.0         | 0.4                   | 2004   |
| 75 ≤ P <sub>n</sub> < 130  | 6.0                      | 1.0         | 5.0         | 0.3                   | 2003   |
| 130 ≤ P <sub>n</sub> ≤ 560 | 6.0                      | 1.0         | 3.5         | 0.2                   | 2002   |

Zdroj: [www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php](http://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php) („staženo dne: 19. 1. 2018“)

### 2.3.2 Stage III/IV

Emisní normy Stage III/IV pro dieselové motory pracovních strojů byly přijaty Evropským parlamentem dne 21. dubna 2004 (Směrnice 2004/26/EC). Pro zemědělské a lesnické traktory o necelý rok později, tj. dne 21. února 2005 (Směrnice 2005/13/ES). Dvě další směrnice byly přijaty v roce 2010. Směrnice 2010/26/EU, která přináší další technické údaje o testování a schválení motorů Stage III a Stage IV. Směrnice 2010/22/EU mění předchozí právní předpisy vztahující se na zemědělské a lesnické traktory. Předpisy Stage III jsou rozděleny na Stage IIIA a Stage IIIB a byly postupně zaváděny od roku 2006 do roku 2013. Stage IV vstoupila v platnost v roce 2014. Právní úprava pro Stage III/IV se vztahuje pouze na nová vozidla, zařízení a na náhradní motory pro použití v již provozovaných zařízeních. U motorů splňující Stage IIIB došlo oproti Stage II k rapidnímu poklesu produkce pevných částic. U této normy je požadována maximální produkce  $0,025 \text{ g.kW.h}^{-1}$ , což představuje snížení těchto emisí o 90 % oproti Stage II. Pro splnění těchto limitů budou motory muset být vybaveny filtry pevných částic. Stage IV také zavádí velmi přísné limity pro  $\text{NO}_x$  v hodnotě  $0,4 \text{ g.kW.h}^{-1}$ , pro splnění bude nutná úprava výfukového systému (např. systém SCR nebo ERG ventil). Hodnoty emisních norem Stage IIIA, Stage IIIB a Stage IV jsou vyobrazeny v tabulce č. 2 (<https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>, „staženo dne: 19. 1. 2018“).

Tabulka č. 2 – Hodnoty emisních limitů Stage IIIA, Stage IIIB a Stage IV

| Power $P_n$<br>kW       | $\text{NO}_x$<br>g/kWh      | HC<br>g/kWh | CO<br>g/kWh | Particulates<br>g/kWh | Date*    |
|-------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-----------------------|----------|
|                         | $\text{NO}_x + \text{NMHC}$ |             |             |                       |          |
| <b>Stage III A</b>      |                             |             |             |                       |          |
| $19 \leq P_n < 37$      | 7.5                         |             | 5.5         | 0.6                   | 2007     |
| $37 \leq P_n < 75$      | 4.7                         |             | 5.0         | 0.4                   | 2008     |
| $75 \leq P_n < 130$     | 4.0                         |             | 5.0         | 0.3                   | 2007     |
| $130 \leq P_n \leq 560$ | 4.0                         |             | 3.5         | 0.2                   | 2006     |
| <b>Stage III B</b>      |                             |             |             |                       |          |
| $37 \leq P_n < 56$      | 4.7                         |             | 5.0         | 0.025                 | 2013     |
| $56 \leq P_n < 75$      | 3.3                         | 0.19        | 5.0         | 0.025                 | 2012     |
| $75 \leq P_n < 130$     | 3.3                         | 0.19        | 5.0         | 0.025                 | 2012     |
| $130 \leq P_n \leq 560$ | 2.0                         | 0.19        | 3.5         | 0.025                 | 2011     |
| <b>Stage IV</b>         |                             |             |             |                       |          |
| $56 \leq P_n < 130$     | 0.4                         | 0.19        | 5.0         | 0.025                 | Oct 2014 |
| $130 \leq P_n \leq 560$ | 0.4                         | 0.19        | 3.5         | 0.025                 | 2014     |

Zdroj: [www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php](https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php) („staženo dne: 19. 1. 2018“)

## 2.4 Americké emisní normy traktorových motorů

Emisní normy známé pod pojmem Tier se vztahují pro státy USA a Severní Ameriku. Americké emisní normy zde uvádíme i proto, že některé traktory John Deere i jiné se vyrábějí v Americe a řídí se tedy těmito emisními limity (VIMR, 2015).

### 2.4.1 Normy Tier 1/2/3

První normy (Tier 1) pro nové vznětové motory byly přijaty v roce 1994, zaváděny však byly až od roku 1996 do roku 2000 a vztahovaly se pro motory s výkonem nad 37 kW. V roce 1996 EPA (Agentura pro ochranu životního prostředí) uzavřela dohodu s výrobcí motorů (Caterpillar, John Deere, New Holland atd.) a tato norma byla výrobcí brána v potaz. Později došlo k postupnému rozšiřování normy Tier 1 na celé spektrum výkonů motorů. Od roku 2001 do roku 2008 došlo k rozšíření norem Tier 2 a Tier 3. Tyto normy jsou splněny díky pokročilým konstrukcím motorů, a to buď bez omezeného užití zařízení upravujícího výfukové plyny, nebo s ním. Normy Tier 3 pro NO<sub>x</sub> + HC jsou v přísnosti dosti podobné normám pro silniční motory, nicméně Tier 3 pro limity prachových částic nebyly nikdy přijaty.

V roce 1998 byly stanoveny tři fáze zavádění normy pro pracovní stroje, které měly v několika následujících letech na sebe navazovat. Tier 1 platily od roku 1996 do roku 2000. Přísnější Tier 2 vstoupily v platnost v roce 2001, přičemž v roce 2006 byly nahrazeny přísnějšími Tier 3, které platily do roku 2008. Norma Tier 1 je uvedena v tabulce č. 3 (<https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>, „staženo dne: 19. 1. 2018“).

Tabulka č. 3 – Hodnoty emisního limitu Tier 1

| Power P <sub>n</sub><br>kW | NO <sub>x</sub><br>g/kWh | HC*<br>g/kWh | CO<br>g/kWh | Particulates<br>g/kWh | Date<br>as of MY |
|----------------------------|--------------------------|--------------|-------------|-----------------------|------------------|
|                            | NO <sub>x</sub> + NMHC   |              |             |                       |                  |
| <b>Tier 1</b>              |                          |              |             |                       |                  |
| P <sub>n</sub> < 8         | 10.5                     |              | 8.0         | 1.0                   | 2000             |
| 8 ≤ P <sub>n</sub> < 19    | 9.5                      |              | 6.6         | 0.8                   | 2000             |
| 19 ≤ P <sub>n</sub> < 37   | 9.5                      |              | 5.5         | 0.8                   | 1999             |
| 37 ≤ P <sub>n</sub> < 75   | 9.2                      | –            | –           | –                     | 1998             |
| 75 ≤ P <sub>n</sub> < 130  | 9.2                      | –            | –           | –                     | 1997             |
| 130 ≤ P <sub>n</sub> < 560 | 9.2                      | 1.3          | 11.4        | 0.54                  | 1996             |
| P <sub>n</sub> > 560       | 9.2                      | 1.3          | 11.4        | 0.54                  | 2000             |

Zdroj: [www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php](https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php) („staženo dne: 19. 1. 2018“)



V tabulce č. 4 jsou uvedeny hodnoty emisních limitů Tier 2 a Tier 3. U normy Tier 3 jsou u některých výkonových tříd hodnoty stejné jako u normy Tier 2, zpřísnění u těchto výkonových tříd pracovních strojů nastalo až u normy Tier 4 (<https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>, „staženo dne: 19. 1. 2018“).

Tabulka č. 4 – Hodnoty emisního limitu Tier 2 a 3

| Power $P_n$<br>kW       | NO <sub>x</sub><br>g/kWh | HC*<br>g/kWh | CO<br>g/kWh | Particulates<br>g/kWh | Date<br>as of MY |
|-------------------------|--------------------------|--------------|-------------|-----------------------|------------------|
|                         | NO <sub>x</sub> + NMHC   |              |             |                       |                  |
| <b>Tier 2</b>           |                          |              |             |                       |                  |
| $P_n < 8$               | 7.5                      |              | 8.0         | 0.8                   | 2005             |
| $8 \leq P_n < 19$       | 7.5                      |              | 6.6         | 0.8                   | 2005             |
| $19 \leq P_n < 37$      | 7.5                      |              | 5.5         | 0.6                   | 2004             |
| $37 \leq P_n < 75$      | 7.5                      |              | 5.0         | 0.4                   | 2004             |
| $75 \leq P_n < 130$     | 6.6                      |              | 5.0         | 0.3                   | 2003             |
| $130 \leq P_n < 225$    | 6.6                      |              | 3.5         | 0.2                   | 2003             |
| $225 \leq P_n < 450$    | 6.4                      |              | 3.5         | 0.2                   | 2001             |
| $450 \leq P_n \leq 560$ | 6.4                      |              | 3.5         | 0.2                   | 2002             |
| $P_n > 560$             | 6.4                      |              | 3.5         | 0.2                   | 2006             |
| <b>Tier 3</b>           |                          |              |             |                       |                  |
| $P_n < 8$               | no further reduction     |              |             |                       |                  |
| $8 \leq P_n < 19$       | no further reduction     |              |             |                       |                  |
| $19 \leq P_n < 37$      | no further reduction     |              |             |                       |                  |
| $37 \leq P_n < 75$      | 4.7                      |              | 5.0         | 0.4                   | 2008             |
| $75 \leq P_n < 130$     | 4.0                      |              | 5.0         | 0.3                   | 2007             |
| $130 \leq P_n \leq 560$ | 4.0                      |              | 3.5         | 0.2                   | 2006             |
| $P_n > 560$             | no further reduction     |              |             |                       |                  |

Zdroj: [www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php](http://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php) („staženo dne: 19. 1. 2018“)

#### 2.4.2 Normy Tier 4

Dne 11. května 2004 odsouhlasila společnost EPA zavedení zatím posledních emisních limitů Tier 4, které mají být postupně zaváděny v období roku 2008 až 2015. Tyto normy se skládají ze dvou částí. Mírnější formu Tier 4i (interim), což znamená zatímní, budou muset mít instalovány nové konstrukce pracovních strojů do roku 2014. Od tohoto roku vstoupí v platnost Tier 4f (final) finální verze. Tyto normy vyžadují snížení pevných částic o 90 % a oxidy dusíku o přibližně 50 %, než je předešlá norma Tier 3. Takové snížení emisí lze dosáhnout pomocí řízených technologií pokročilé úpravy výfukových plynů (EGR ventily, filtry pevných částic, selektivní katalytická redukce atd.). Hodnoty emisí oxidu uhelnatého zůstaly od předešlých norem beze změny. Hodnoty obou forem emisních limitů Tier 4 jsou uvedeny v

tabulce č. 5 (<https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>, „staženo dne: 19. 1. 2018“).

Tabulka č. 5 – Hodnoty emisního limitu Tier 4i a Tier 4f

| Power $P_n$<br>kW       | NO <sub>x</sub><br>g/kWh | HC<br>g/kWh | CO<br>g/kWh | Particulates<br>g/kWh | Date<br>as of MY |
|-------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-----------------------|------------------|
|                         | NO <sub>x</sub> + NMHC   |             |             |                       |                  |
| <b>Tier 4 interim</b>   |                          |             |             |                       |                  |
| $19 \leq P_n < 37$      | 7.5                      |             | 5.5         | 0.30                  | 2008             |
| $37 \leq P_n < 56$      | 4.7                      |             | 5.0         | 0.30                  | 2008             |
| $56 \leq P_n < 130$     | 3.4                      | 0.19        | 5.0         | 0.02                  | 2012             |
| $130 \leq P_n \leq 560$ | 2.0                      | 0.19        | 3.5         | 0.02                  | 2011             |
| $P_n > 560$             | 3.5                      | 0.4         | 3.5         | 0.10                  | 2011             |
| <b>Tier 4</b>           |                          |             |             |                       |                  |
| $P_n < 8$               | 7.5                      |             | 8.0         | 0.4                   | 2008             |
| $8 \leq P_n < 19$       | 7.5                      |             | 6.6         | 0.4                   | 2008             |
| $19 \leq P_n < 37$      | 4.7                      |             | 5.5         | 0.03                  | 2013             |
| $37 \leq P_n < 56$      | 4.7                      |             | 5.0         | 0.03                  | 2013             |
| $56 \leq P_n < 130$     | 0.4                      | 0.19        | 5.0         | 0.02                  | 2015             |
| $130 \leq P_n < 560$    | 0.4                      | 0.19        | 3.5         | 0.02                  | 2014             |
| $P_n > 560$             | 3.5                      | 0.19        | 3.5         | 0.04                  | 2015             |

Zdroj: [www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php](https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php) („staženo dne: 19. 1. 2018“)

## 2.5 Způsoby snižování emisí aktivními prostředky

Snižování emisních limitů škodlivin ve výfukových plynech na přijatelné hodnoty lze realizovat více způsoby. Podle toho, kde se dané prostředky pro snižování emisí nacházejí, rozdělujeme tyto prostředky na aktivní a pasivní.

Aktivní prostředky působí před spalovacím prostorem nebo přímo v něm. Funkce aktivních prostředků pro snižování emisí spočívá v úpravě paliva a spalovacího procesu. Použitím kvalitnější spalovací směsi dochází k plynulejšímu a rovnoměrnějšímu spalování, zvyšuje se účinnost paliva a klesá jeho spotřeba. Dále klesají emise pevných částic i uhlovodíků. Na druhou stranu se dosahuje vyšší spalovací teploty, což sebou přináší nárůst produkce nežádoucích NO<sub>x</sub> (VLK, 2003).

### 2.5.1 Tvorba směsi

Tvoření směsi vznětových motorů je realizováno dvěma způsoby, které mají nezanedbatelný vliv na emise motoru. U nedělených spalovacích prostorů se jedná o přímé vstřikování paliva. Při tomto způsobu je do objemu spalovací komory

vstřikováno palivo, které po vznícení poměrně rychle shoří. Tento způsob je s ohledem na emise mnohem efektivnější než způsob dělených pracovních prostor.

U dělených pracovních prostor se jedná o nepřímé vstřikování, kdy je palivo vstříknuto do samostatné komůrky umístěné většinou v hlavě válce. Tato komůrka je spojena s druhou částí spalovacího prostoru vytvořenou ve dnu pístu motoru jedním nebo více kanálky malého průměru.

Důležitým činitelem je také kompresní poměr, který ovlivňuje teplotu spalování a tím tedy i emise oxidů dusíku. Snížením kompresního poměru lze na jednu stranu dosáhnout poklesu spalovací teploty a emisí oxidů dusíku, ale na druhou stranu poklesne termická účinnost oběhu motoru a zhorší se spouštění motoru v chladných mrazivých teplotách (VLK, 2003).

### **2.5.2 Vstřikování paliva**

Základním faktorem účinného spalování je vznik homogenní směsi vzduchu a paliva, které musí být rozprášeno na co nejmenší části. Nutností je tedy výkonné vstřikovací zařízení, pracující s vysokými vstřikovacími tlaky a umožňující přesný regulovatelný počátek vstřiku a množství paliva. Důležitý je rovněž geometrický tvar vstřikovacích otvorů. Vstřikovaný paprsek paliva musí dosáhnout i do vzdálenějších míst spalovacího prostoru, ale nesmí dopadat na povrch stěn. To by vedlo k vysokým emisním hodnotám nespálených uhlovodíků a pevných částic. Pro dobré využití vzduchu je rovněž nutné použít trysky s více otvory, zajistit usměrněný pohyb náplní a přizpůsobit tvar vstřikovaného paprsku kompresnímu prostoru.

Počátek a průběh vstřiku mají také značný vliv na emise výfukových plynů a spotřebu paliva. Odchylka od optimálních hodnot, byť nepatrná, znamená větší množství emisí, hlučnější spalování a vyšší spotřebu. Zpoždění začátku vstřiku snižuje množství emisí oxidů dusíku vlivem nižší spalovací teploty cyklu a způsobuje zvýšení teploty výfukových plynů, což se využívá pro regeneraci filtru pevných částic. Zpoždění o 2° otočení klikové hřídele znamená zvětšení teploty spalin o 20 °C. Po určité hodnotě úhlu zpoždění však dochází k prudkému nárůstu emisí uhlovodíků a sazí. Dřívější vstřik naopak způsobuje zvýšení špičkového tlaku ve válci.

Pro dosažení co nejkvalitnějšího výsledku spalování je zapotřebí hmotnostní tok vstřikovaného paliva regulovat. Před hlavním vstřikem je nutností provést

předvstřík, což je malé množství paliva vstříknuté před hlavním vstříkem pod malým tlakem.

Palivo se vznítí a způsobí zanedbatelné zvýšení tlaku, ale především požadovaný nárůst teploty ve válci motoru. Hlavní množství paliva je poté dopravováno při větší teplotě ve spalovacím prostoru a má menší průtah vznícení. Průtah vznícení lze definovat jako prodlevu mezi počátkem vstříku a hořením. Pokud by bylo palivo vstříknuto najednou bez předvstříku, dojde ke skokovému nárůstu tlaku a teploty. To se následně negativně projevuje tvrdým chodem motoru a nárůstem emisí oxidů dusíku. Použití předvstříku napomáhá tedy ke zkrácení průtahu vznícení na minimum. Při použití předvstříku bude nárůst tlaku ve spalovacím prostoru pozvolný a v důsledku toho bude tišší chod a dojde k redukci emisí oxidů dusíku. Na pozvolný průběh hoření má také kladný vliv recirkulace výfukových plynů, která bude popsána v následujících kapitolách. V případě, že došlo k aplikaci většího množství paliva, se toto palivo kvůli recirkulovaným spalinám nevznítí najednou a shoří proto dokonale. Průběh vstřikovacího tlaku se musí rovněž zvyšovat, aby se zamezilo vzniku teplotních špiček, které podporují růst emisí oxidů dusíku. Na konci vstříku potom vstřikovací tlak musí rychle odpadnout a jehla musí co nejrychleji trysku zavřít. Tím se zabrání vniknutí větších kapiček paliva pod malým tlakem do válce a následně bude bráněno jejich nedokonalému spálení (VLK, 2003).

### **2.5.2.1 Common rail**

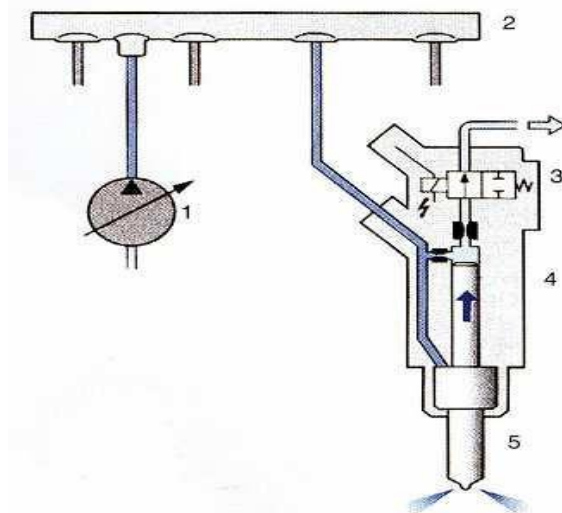
Požadavky na průběh a řízení vstřikování popsané v předchozí kapitole lze výborně realizovat pomocí vysokotlakého vstřikovacího systému Common Rail, který je dnes součástí příslušenství většiny moderních vznětových motorů.

Vstřikovací systém s tlakovým zásobníkem nabízí větší flexibilitu při řešení vstřikování než dnes již málo používané konvenční vačkou poháněné systémy. Common rail umožňuje široký rozsah použití od motorů pro osobní automobily až po motory s výkonem 300 kW na válec. K dalším výhodám tohoto systému řadíme, že pracuje s vysokým vstřikovacím tlakem až 250 MPa, navíc dávku lze rozdělit na několik menších částí.

U tohoto systému je odděleno vytváření tlaku a vstřikování paliva. Princip činnosti je znázorněn na obrázku č. 2. Vstřikovací tlak je vytvářen vysokotlakým čerpadlem (1) nezávisle na otáčkách motoru a na vstřikované dávce.

Palivo pro vstřikování je po celou dobu chodu motoru připraveno ve vysokotlakém zásobníku, tzv. railu (2). Vstřikovaná dávka je určena řídicím polohou pedálu.

Okamžik vstřiku a vstřikovací tlak jsou vypočteny z polí hodnot uložených v elektronické řídicí jednotce. Vstřikování je realizováno vstřikovačem (4) na každém válci prostřednictvím elektromagneticky řízeného ventilu (3), (BAUER a kol., 2006).



Obrázek č. 2 - Princip činnosti vstřikovacího systému Common rail,  
zdroj: BAUER a kol. (2006)

### 2.5.3 Víření směsi

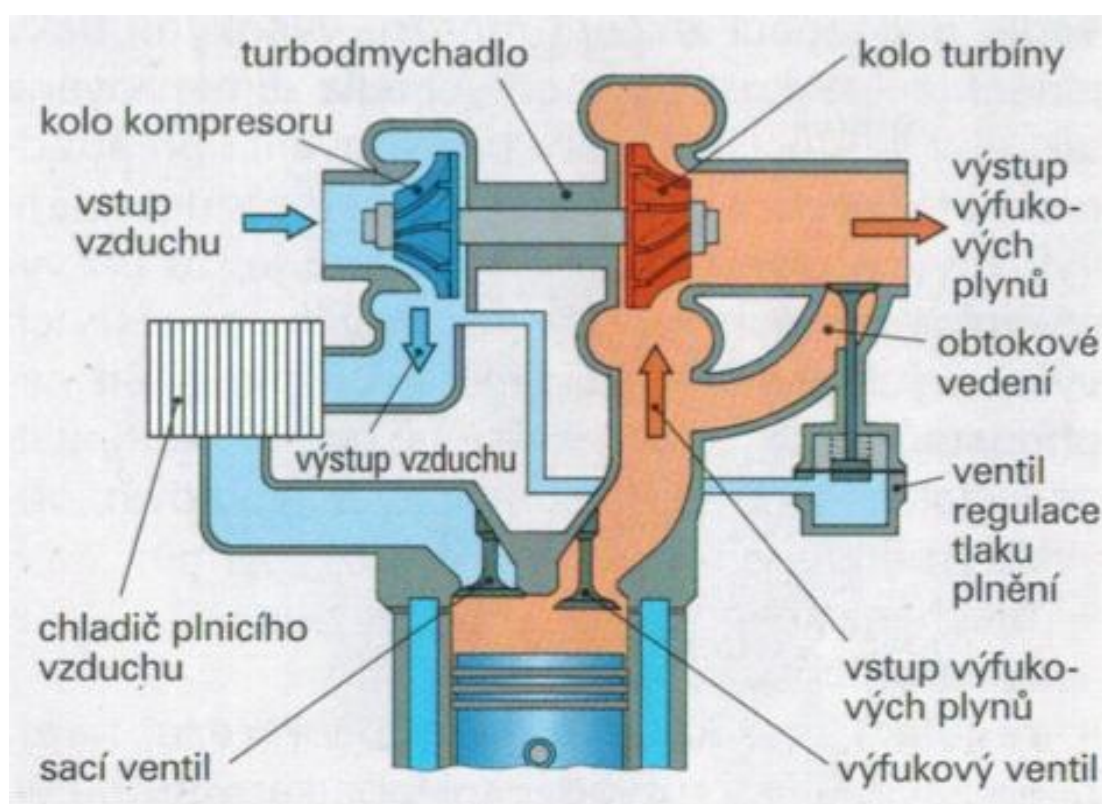
Dalším důležitým předpokladem pro dokonalé hoření směsi je, aby směs plnicího vzduchu ve válci rotovala. Na druhou stranu ale víření náplně s sebou přináší vyšší spotřebu energie a znamená větší tepelné ztráty. Neméně důležitým faktorem pro správné víření je vhodné tvarování sacích kanálů v hlavě válců. Zároveň by nemělo docházet ke zkřížení jednotlivých paprsků vstřikovaného paliva, poněvadž by to vedlo ke vzniku nehomogenní směsi a znamenalo by to nárůst produkce oxidu uhelnatého, nespálených uhlovodíků a pevných částic. Tvar spalovacího prostoru ve dně pístu hraje taktéž důležitou roli během přípravy náplně a průběhu hoření (VLK, 2003).

### 2.5.4 Přepřňování

K přepřňování vznětových motorů se používají nejčastěji turbodmychadla poháněná výfukovými plyny. Přepřňování může být realizováno jako jednostupňové či dvoustupňové. Úkolem přepřňování je přivést do spalovacího prostoru větší hmotnost vzduchu, což umožňuje zvýšit vstřikovanou dávku paliva. Z důvodu zvětšení objemové účinnosti motoru je plnicí vzduch navíc ochlazován v mezichladiči

(intercooler) umístěném za kompresorem, neboť během stlačování vzduchu roste jeho teplota.

V porovnání s motory s atmosférickými sáními mají motory přeplňované znatelně vyšší výkon při poměrně malém zvýšení spotřeby paliva a také menší obsah emisí škodlivin ve výfukových plynech. Vyšší plnicí tlak prokazatelně způsobuje vyšší teploty spalování, což se kladně odráží na množství emisí oxidu uhelnatého, uhlovodíků a pevných částí. Negativní stránka je, že vyšší teploty ve spalovacím prostoru znamenají zvýšenou tvorbu oxidů dusíku. Princip funkce turbodmychadla je znázorněn na obrázku č. 3 (VLK, 2003).



Obrázek č. 3 – Princip funkce turbodmychadla, zdroj:

<https://www.flexamiauto.cz/teorie/> („staženo dne: 25. 1. 2018“)

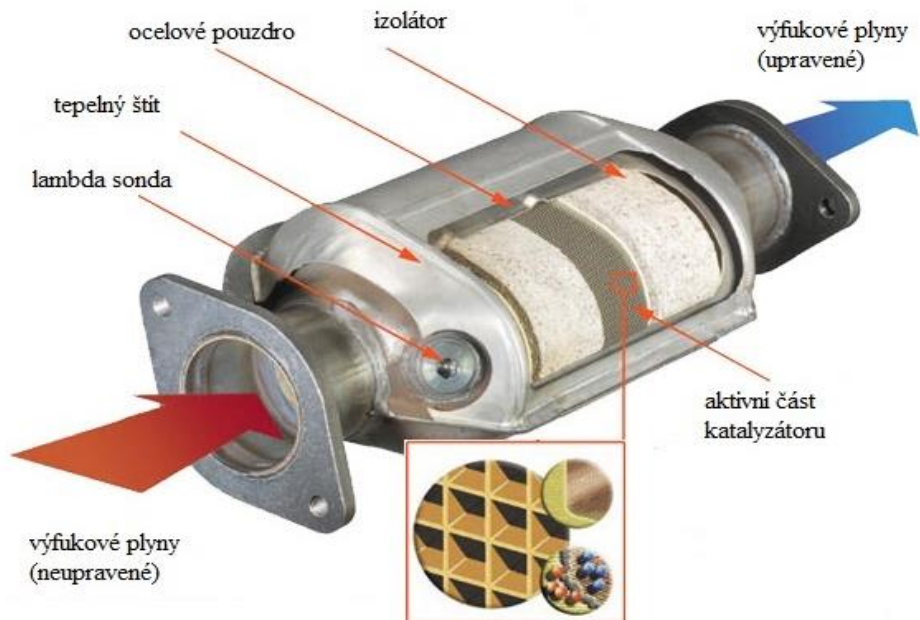
## 2.6 Způsoby snižování emisí pasivními prostředky

Pasivní prostředky snižují množství škodlivin ve výfukových plynech, které již byly motorem vyprodukovány. Pro splnění současných emisních limitů je podle potřeby nutné použití oxidačního katalyzátoru, filtru pevných částic a také některé z uvedených technologií pro snížení emisí oxidů dusíku. Nejčastěji používaný systém je recirkulace výfukových plynů, který by také mohl být zařazen mezi prostředky aktivní, neboť ovlivňuje proces spalování (HEISLER, 2002).



### 2.6.1 Oxidační katalyzátor

Vzhledem k tomu, že vznětové motory pracují s přebytkem vzduchu, což má za následek i trvalý přebytek vzduchu ve výfukových plynech, je možné k úpravě spalin použít pouze oxidační katalyzátor. Oxidační katalyzátor, který je zobrazen na obrázku č. 4 snižuje pouze emise oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků, a to za pomoci oxidace, kdy v katalyzátoru vzniká oxid uhličitý a vodní pára. Ke snížení oxidů dusíku nedochází, pouze oxid dusnatý se mění na oxid dusičitý. Eliminace emisí oxidů dusíku vyžaduje redukční atmosféru tvořenou oxidem uhelnatým, uhlovodíky nebo vodíkem, což u vznětového spalovacího motoru nelze zajistit. Proto se pro snížení oxidů dusíku používají jiné prostředky (VLK, 2003).



Obrázek č. 4 – Oxidační katalyzátor, zdroj:

<https://www.dpf-ftg.cz/funkce-katalyzatoru> („staženo dne: 25. 1. 2018“)

Z konstrukčního hlediska je katalyzátor tvořen obalem z nerezového plechu a nejčastěji používaného keramického nosiče, který je protažen množstvím drobných kanálků, jimiž proudí výfukové plyny. Keramické těleso nosiče vykazuje křehkost, a proto je mezi ním a obalem elastická vložka ke kompenzaci tepelných dilatací. Na povrchu kanálků se nachází mezivrstva oxidu hlinitého pro zvýšení povrchové plochy a na ní vrstva ušlechtilého kovu, nejčastěji platiny a paladia. Tyto kovy fungují jako katalyzátory a snižují aktivační energii reakcí, čímž je urychlují. Účinnost snížení emisí oxidu uhelnatého je 50 až 60 % a uhlovodíků 30 až 50 %.

Oxidační katalyzátor je v systému výfukového traktu umístěn nejbližší za motor a ostatní prostředky k úpravě spalin se umísťují až za ním. V odborné terminologii by se mělo používat označení oxidační katalytický konvertor, neboť katalyzátor je pouze prvek ovlivňující průběh reakce, ale označení katalyzátor pro celek je z dlouhodobého hlediska používané a zažité (HEISLER, 2002).

### **2.6.2 Filtr pevných částic**

Emise částic ve výfukových plynech lze efektivně snížit pomocí filtru pevných částic. V českém jazyce není zaveden jednotný název pro toto zařízení, a proto se lze setkat s výrazy jako filtr pevných částic, částicový filtr, zachycovač pevných částic, případně jinými. Označuje se většinou jako DPF (z německého názvu Diesel Partikulate Filter) nebo v případě koncernu PSA jako FAP (z franc. Le Filtre à Particules). Právě koncern PSA použil jako první v roce 2000 částicový filtr u svých sériově vyráběných vozů (HEISLER, 2002).

Některé zdroje však uvádí, že průkopníkem použití filtrů pevných částic mezi osobními vozy nebyl koncern PSA, který jej poprvé sériově uvedl v únoru 2000 v modelu Peugeot 607 2.2 HDi, ale německý Mercedes-Benz. Ten instaloval z dnešního pohledu pravěkou verzi filtru DPF do exportního naftového modelu 300 SD/SDL pro USA a Kanadu již v letech 1985 až 1987, z důvodu problematičnosti a nízké životnosti systému však od něj záhy upustil, a proto se uvádí jako první výrobce výše zmiňovaný koncern PSA ([www.autorevue.cz/filtry-pevných-částic-aneb-dpf-1/4-druhy-dpf-jejich-plusy-a-minusy](http://www.autorevue.cz/filtry-pevných-částic-aneb-dpf-1/4-druhy-dpf-jejich-plusy-a-minusy), „staženo dne: 25. 1. 2018).

Princip filtru částic spočívá v zachytávání částic při prostupu výfukových zplodin přes filtrační materiál. Částice se ve filtru hromadí a postupně dochází k nárůstu odporu filtračního prvku, což má negativní vliv na výkonové a ekonomické parametry motoru. Proto při dosažení plné kapacity filtru musí proběhnout obnova filtračního elementu na jeho původní vlastnosti. Tento proces se označuje jako regenerace filtru a znamená, že se spálí usazené látky ohřevem filtračního prvku. Vypálení usazených látek může probíhat díky tomu, že hlavní složkou částic jsou saze. Účinnost tohoto zařízení se pohybuje v rozmezí 50 až 95 % a závisí na konkrétním konstrukčním provedení filtru a provozních podmínkách (HEISLER, 2002).



Usazující se částice sazí postupně zanášejí filtrační prvek, a to má za následek vzrůstající odpor vůči proudění výfukových spalin. Aby se neomezila funkčnost filtru, v krajním případě nedošlo až k jeho zacpání, musí být v určitých intervalech pravidelně částic zbavován. Proces regenerace je nutno zabezpečit zcela automaticky bez zásahu řidiče tak, aby proběhl co nejrychleji, nejefektivněji a současně neovlivnil funkci motoru a jízdní komfort. Regenerace je řízena řídicí jednotkou motoru a spouštěna na základě dosažení informací stanoveného odporu proudění výfukových plynů filtrem pevných částic. Odpor proudění odvozuje řídicí jednotka z poměru rozdílu tlaků před a za filtrem a podle průtoku výfukových plynů. Ke stanovení hodnoty průtoku výfukových plynů využívá signály o hmotnosti plnicího vzduchu a teplotě výfukových plynů před filtrem. Během provozu se intervaly mezi jednotlivými regeneracemi pohybují zhruba mezi 300 až 700 km v závislosti na druhu provozu. Délka regenerace trvá 5 až 15 minut (VOJKŮVKA, 2010).

#### **2.6.2.1 DPF s aditivem**

System s aditivem se používá tam, kde je filtr pevných částic umístěn z konstrukčních důvodů ve větší vzdálenosti od motoru. Dráha výfukových plynů od motoru k filtru pevných částic tudíž neumožňuje dosažení potřebné vysoké teploty pro regeneraci filtru. Proto je nezbytné použít aditivum, které snižuje bod vzplanutí částic sazí na hodnotu přibližně 500 °C. Aditivum je kapalná látka obsahující sloučeniny na bázi železa nebo ceru a je rozpuštěna v palivové nádrži. Jeho doplňování probíhá přes zpětné vedení do palivové nádrže po každém natankování. Objem natankovaného paliva sleduje indikátor množství paliva a posílá údaje do řídicí jednotky motoru, která na jejich základě vypočítá potřebné množství potřebného aditiva. Doprava aditiva do nádrže je zajištěna prostřednictvím pístového čerpadla. Během provozu se palivo a aditivum promíchají a vytvoří společnou homogenní směs. Spalováním takto obohaceného paliva se dostává aditivum do filtru pevných částic a zde se následně usazuje mezi částicemi sazí a snižuje jejich zápalnou teplotu. Během provozu při vyšších zatíženích motoru dosahují výfukové plyny právě teploty až 500 °C a probíhá pasivní regenerace.

Pokud ale k pasivní regeneraci nedošlo a je dosaženo stanovené úrovně průtočného odporu filtru, učiní řídicí jednotka nutná opatření pro aktivní regeneraci. Zajištění dostatečné teploty výfukových plynů pro regeneraci je realizováno dodatečným vstříknutím paliva během expanzního zdvihu.

Kromě dodatečného vstřikování paliva je také nutné vypnout recirkulaci výfukových plynů, neboť ta snižuje teplotu ve spalovacím prostoru. Dále mohou být také aktivovány žhavicí svíčky, které zajistí nárůst teploty ve spalovacím prostoru. Pro řidiče vozu je zcela nerozpoznatelné, že regenerace filtru pevných částic právě probíhá. Při aktivní i pasivní regeneraci dochází k oxidaci částic sazí za vysoké teploty a vzniku oxidu uhličitého (VOJKŮVKA, 2010).

#### VÝHODY:

- proti uzavřenému bezaditivnímu DPF menší množství vyplývaného paliva
- menší ředění motorového oleje
- kratší doba regenerace

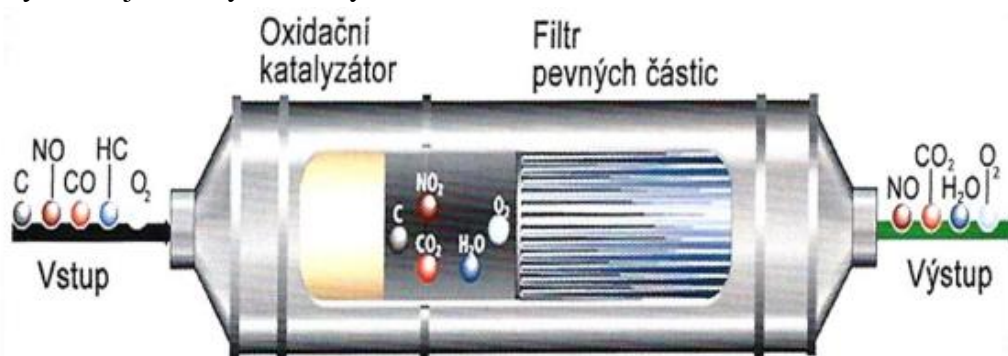
#### NEVÝHODY:

- větší složitost (vyžaduje systém dávkující aditivum do paliva)
- nutnost stálé přítomnosti aditiv, motor sám je přitom nepotřebuje – naopak některé druhy aditiv špatně reagují s biosložkami v palivu
- nižší životnost filtru DPF

(<https://www.autorevue.cz/filtry-pevnych-castic-aneb-dpf-1/4-druhy-dpf-jejich-plusy-a-minusy>, „staženo dne: 26. 1. 2018“).

#### 2.6.2.2 DPF bez aditiva

Filtr pevných částic bez aditiva je také nazýván jako kontinuální regenerační systém a je označován zkratkou CRT (z angl. Continuation Regeneration Trap). Používá se u vozidel, u nichž je filtr pevných částic umístěn blíže motoru, tím pádem je dráha výfukových plynů kratší a jejich teplota je dostatečně vysoká pro spálení usazenin. Součástí filtru je oxidační katalyzátor, který s částicovým filtrem tvoří jeden celek, jak je vidět na obrázku č. 5. Funkce filtru pevných částic a oxidačního katalyzátoru jsou tedy sloučeny.



Obrázek č. 5 – Kombinace oxidačního katalyzátoru a filtru pevných částic, zdroj: ŠMERDA a kol. (2015)

Odlišnost v konstrukci oproti filtru využívajícímu aditivum je v úpravě povrchu kanálků keramického voštinového tělesa. Povrch kanálku je zde navíc obalen vrstvou oxidu hlinitého, ta zvětšuje povrchovou plochu. Na této vrstvě je nanesena ještě vrstvička platiny nebo palladia. Ušlechtilý kov působí jako katalyzátor a snižuje zápalnou teplotu sazí, které jsou následně katalyticky spalovány. Zápalná teplota sazí je díky katalyzátoru snížena zhruba z 600 °C na 350 °C. V průběhu pasivní regenerace, probíhající bez zásahu řídicí jednotky, jsou částice vlivem následujícího sledu chemických reakcí kontinuálně přeměněny na akceptovatelný oxid uhličitý. Kromě spalování částic zde ještě probíhají reakce shodné s těmi, které se uskutečňují v klasických oxidačních katalyzátorech a snižují hodnoty emisí nespálených uhlovodíků a oxidu uhelnatého. Pasivní regenerace probíhá při teplotách výfukových plynů nad 350 °C. V případě, že tyto teploty vlivem provozu motoru při nízkém zatížení dosaženy nejsou, částice se ve filtru hromadí a nedochází k jejich spalování. Musí tedy proběhnout aktivní regenerace, která probíhá stejně jako u filtru částic, které používá aditivum. Zápalné teploty sazí je dosaženo hlavně dodatečným vstříkem nafty na konci expanzního zdvihu (VOJKŮVKA, 2010).

#### **VÝHODY:**

- Proti ostatním systémům je jednodušší a výrobně levnější
- není třeba dokupovat aditiva
- proti aditivnímu systému delší životnost filtru DPF

#### **NEVÝHODY:**

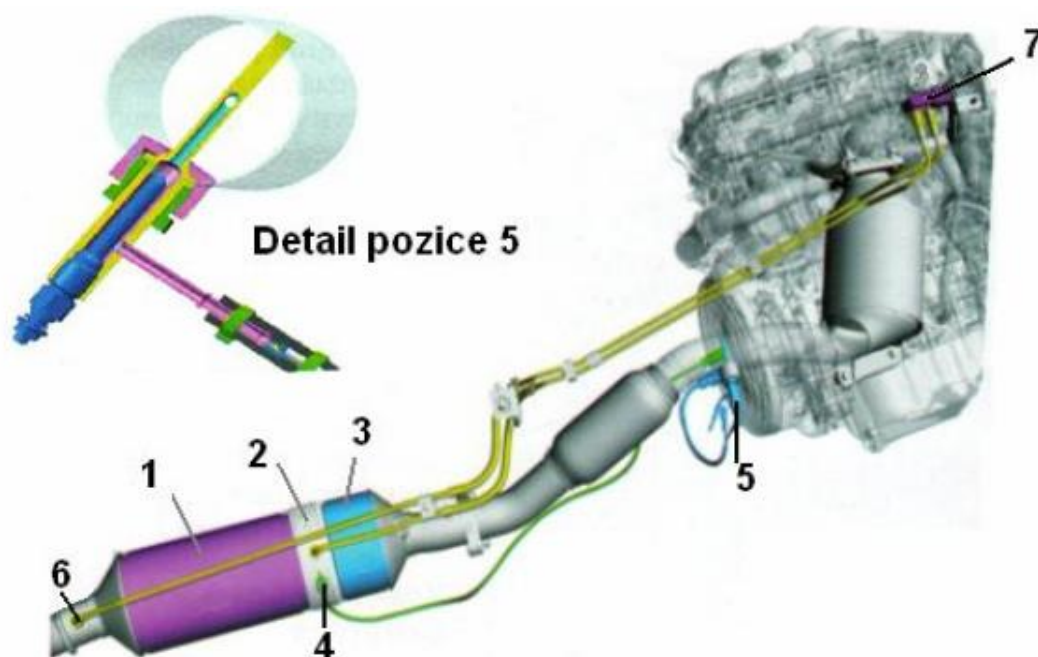
- zbytečně vysoké namáhání motoru při regeneraci
- nejvyšší citlivost na správnou kondici vstřikovačů i regulačních prvků
- proti aditivnímu systému vyšší teplotní zatížení výfukového systému
- nejdelší doba regenerace
- vyšší riziko ředění motorového oleje

(<https://www.autorevue.cz/filtry-pevnych-castic-aneb-dpf-1/4-druhy-dpf-jejich-plusy-a-minusy>, „staženo dne: 26. 1. 2018“).

#### **2.6.2.3 DPF se vstřikovačem**

Systém regenerace filtru pevných částic, který využívá vstřikovač nafty ve výfukovém potrubí, je z uvedených tří konstrukčních řešení regenerace nejmladší. Hlavní rozdíl proti výše popsaným DPF spočívá v tom, že použití modulu umístěného ve výfukovém traktu je před oxidačním katalyzátorem (VOJKŮVKA, 2010).

Tento modul bývá také označován jako splyňovač paliva ve výfukovém potrubí (viz obrázek č. 6).



Obrázek č. 6 - Výfukový trakt s filtrem pevných částic a zplyňovačem nafty motoru, zdroj: VOJKŮVKA (2010)

Legenda: 1) filtr pevných částic, 2) vývod tlaku před filtrem, 3) Oxidační katalyzátor, 4) Snímač teploty výfukových plynů, 5) Splyňovač nafty, 6) Vývod tlaku za filtrem, 7) Snímač diferenčních tlaků filtru pevných částic

Splyňovač je tvořen vstřikovačem nafty a žhavicí svíčkou. Během aktivní regenerace je vstřikovaná nafta odpařena teplem žhavicí svíčky. Výfukové plyny jsou obohaceny o odpařené palivo a dále vstupují do oxidačního katalyzátoru, který je umístěn v bezprostřední blízkosti před částicovým filtrem. V oxidačním katalyzátoru díky aktivnímu povrchu s katalytickým kovem, který snižuje aktivační energii, dochází k prudké reakci odpařené palivo s kyslíkem a palivo se vznítí. Vzniklý plamen sahá až do filtru pevných částic a efektivně vypaluje usazené částice. Pro úspěšnou regeneraci filtru tedy v tomto systému není zapotřebí dodatečný vstřík paliva během expanzního zdvihu, ale k dosažení potřebné teploty pro regeneraci slouží pouze hoření odpařené palivo v oxidačním katalyzátoru. Regenerace tedy může probíhat v daleko širších podmínkách provozních situací motoru a stačí, když výfukové plyny na vstupu do filtru pevných částic mají teplotu cca 200 °C.

Regenerace tedy může být uskutečněna i při jízdě při nízkém zatížení motoru nebo při kratších jízdách, kdy motor není zcela zahřátý na provozní teplotu. V porovnání se systémem regenerace, který vyžaduje dodatečný vstřík paliva na konci expanze, je přivádění paliva do výfukového traktu výhodné i z hlediska nižšího tepelného namáhání pístů, výfukových ventilů, svodů a turbíny turbodmychadla. Princip přímého vlévání nafty do výfuku může při dnešních požadavcích na efektivitu využití paliva působit trochu nezvykle, odpadá však problém s ředěním oleje nespálenou naftou a složitým vyvážením chodu motoru během postvstříků. K úvodnímu předhřívání výfukového potrubí zvýšením zátěže motoru a cíleným zhoršením termodynamické účinnosti zde však dochází (VOJKŮVKA, 2010).

#### **VÝHODY:**

- nejšetrnější k motoru
- poměrně snadná a rychlá regenerace
- žádné riziko ředění motorového oleje

#### **NEVÝHODY:**

- je nejsložitější (dva oxidační katalyzátory, další vstříkovač s vedením a kabeláží, často separátní palivové čerpadlo)
- v budoucnu i o něco vyšší riziko investic a poruch

(<https://www.autorevue.cz/filtry-pevnych-castic-aneb-dpf-1/4-druhy-dpf-jejich-plusy-a-minusy>, „staženo dne: 26. 1. 2018“).

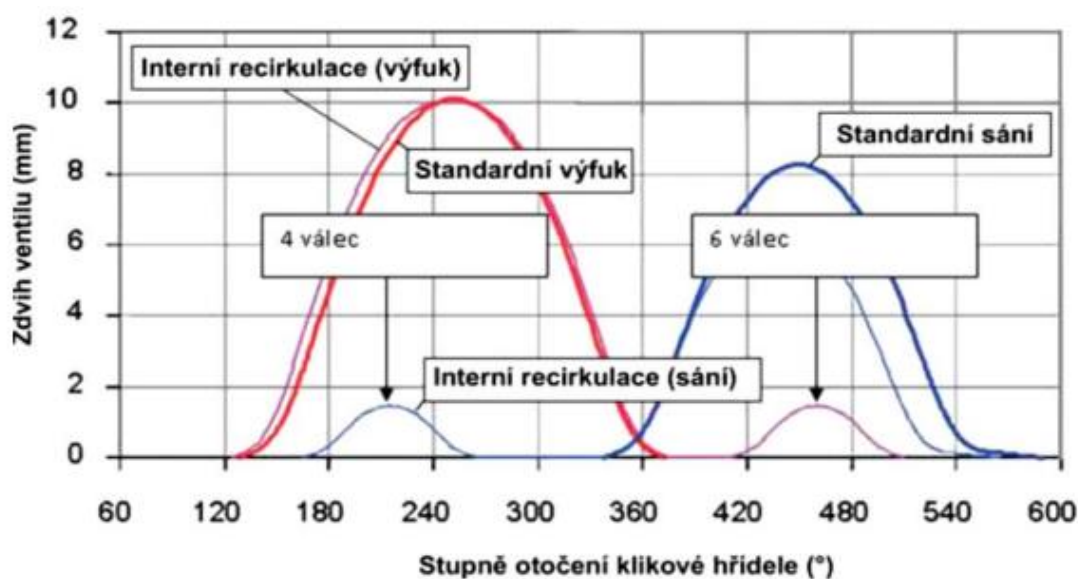
#### **2.6.3 Recirkulace výfukových plynů**

Princip je založen na zpětném přivedení části výfukových plynů zpět do spalovacího prostoru motoru, čímž se sníží množství přivedeného vzduchu a tím se sníží i koncentrace kyslíku. Množství přivedeného kyslíku musí být stále dostatečné, aby proběhla dokonalá oxidace paliva. Při vysokých teplotách reaguje volný vzdušný kyslík s dusíkem a tím produkuje oxidy dusíku, které jsou limitované normami. Výfukové plyny mají větší měrnou tepelnou kapacitu než vzduch. Podíl vody ve vrácených výfukových plynech snižuje teplotu ve válci, která ovlivňuje produkci oxidů dusíku a snižuje výfukové plyny odváděné do ovzduší (VLK, 2003).

Recirkulace se označuje německou zkratkou AGR (Abgasrückführung) nebo anglickou zkratkou EGR (Exhaust Gas Recirculation). U traktorových motorů lze recirkulaci výfukových plynů rozdělit podle konstrukčního uspořádání na dvě základní skupiny, a to na vnitřní a vnější recirkulaci (ŠMERDA a kol., 2013).

### 2.6.3.1 Vnitřní recirkulace

Princip vnitřní (interní) recirkulace je založen na změně časování ventilů v průběhu zdvihu pístu. U čtyřválcových motorů dochází k pootevření sacího ventilu během výfuku a tím dochází k částečnému vniknutí spalín do sání. Pomocí sacího kanálku se spaliny přivádějí do spalovacího prostoru smíšené s čerstvým vzduchem v průběhu sání. U šestiválcových motorů dochází k pootevření výfukového ventilu během sání a z výfukového kanálku se část spalín vrací zpět do spalovacího prostoru. Zmíněné varianty řešení recirkulace nejsou finančně náročné, ani nepotřebují zástavbový prostor. Nevýhodou je stále stejné nastavení bez ohledu na okamžité podmínky motoru. Není tedy možná jakákoliv možnost regulace množství recirkulovaných výfukových plynů. Varianta vnitřní recirkulace výfukových plynů s pootevřením sacího ventilu během výfuku u traktoru Case IH, je zobrazena na obrázku č. 7 (ŠMERDA a kol., 2013).



Obrázek č. 7 - Časování ventilů při použití vnitřní recirkulace výfukových plynů u motoru traktoru Case IH, zdroj: ŠMERDA (2013)

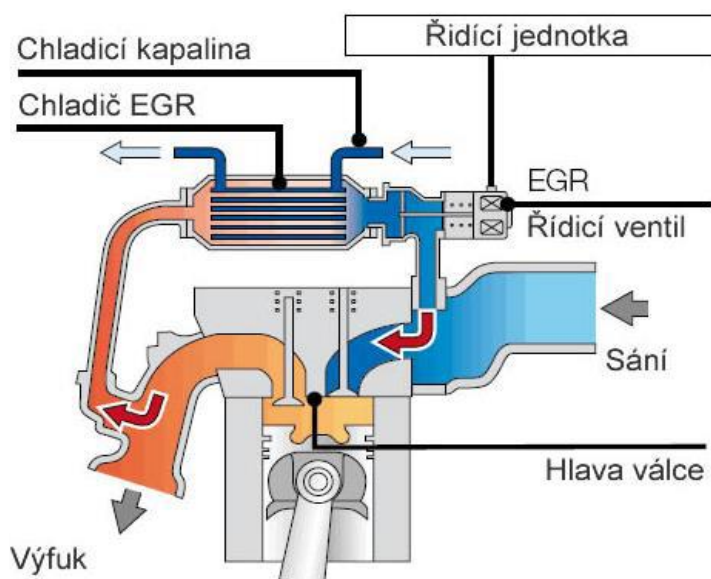
### 2.6.3.2 Vnější recirkulace

Vnější recirkulací dochází k odvedení výfukových zplodin přes EGR ventil zpět do sacího potrubí motoru. Podle možností chlazení výfukových plynů vnější recirkulaci rozdělujeme do tří skupin, tj. EGR bez ochlazování, EGR s plným ochlazením, EGR s částečným ochlazením (BAUER a kol., 2013).



Současné přeplňované vznětové motory používají řízenou vnější recirkulaci s chlazením výfukových plynů. Pomocí zpětného vedení se výfukové plyny přivádí v oblasti částečného zatížení motoru zpět do plnicího potrubí a následně do spalovacího prostoru motoru. Množství vrácených spalin se odvíjí od provozního režimu motoru a až do určitého poměru spalin a plnicího vzduchu má množství spalin požadovaný kladný vliv na přeměnu energie a snižuje emise oxidů dusíku. Tento poměr může být až 40 % výfukových plynů ku 60 % vzduchu. Maximální množství recirkulovaných spalin je omezeno požadavky na výkonové a ekonomické parametry motoru a taktéž omezujícím faktorem nárůstu emisí pevných částic. Po překročení určité hodnoty recirkulovaných spalin totiž dochází kvůli nedostatku kyslíku k nedokonalému spalování, které má za následek značné zvětšení emisí sazí, oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků. Z tohoto důvodu je objem spalin přiváděných zpět do spalovacího prostoru určován řídicí jednotkou motoru (VLK, 2003).

U recirkulace výfukových plynů bez ochlazování výfukové plyny neprocházejí přes výměník tepla, a tím zvyšují teplotu nasávaného vzduchu, což způsobuje rychlejší přechod paliva z kapalného do plynného stavu. U EGR s částečným ochlazením prochází přes výměník tepla jen část výfukových plynů z důvodů zabránění vnikání vody do spalovacího prostoru a udržení teploty plynů nad teplotou kondenzace. U EGR s plným ochlazením, který je znázorněn na obrázku č. 8, výfukové plyny prochází přes výměník tepla, který ale může způsobit kondenzaci vody a její následné vnikání do spalovacího prostoru (BAUER a kol., 2013).



Obrázek č. 8 – Vnější EGR s plným chlazením, zdroj: BAUER a kol. (2013)

Pokud pomineme mírné zvýšení spotřeby paliva, tak hlavní nevýhoda recirkulace výfukových plynů spočívá v tom, že recirkulované plyny nejsou nijak upraveny z hlediska emisí a do sacího potrubí se dostávají produkty nedokonalého spalování a saze. Neupravené výfukové plyny jsou značně agresivní, do spalovacího prostoru se tak dostávají sirné kondenzáty a zkracují životnost většiny pohyblivých částí motoru, které po určité době můžou podlehnout korozi. Problém rovněž způsobují saze, které se usazují v okruhu zpětného vedení výfukových plynů i plnicího potrubí a snižují jejich průchodnost a následně účinnost. Toto je poté třeba řešit servisním zásahem. Vlivem netěsností mezi písty a válci motoru se saze dostávají do motorového oleje a zapříčiňují jeho degradaci. Z tohoto důvodu je pro motory vybavené EGR potřeba používat speciální oleje s upravenou životností (<https://www.mmspektrum.com/clanek/snizovani-emisi-ve-vyfukovych-plynech.html>, „staženo dne: 26. 1. 2018“).

#### **2.6.4 Selektivní katalytická redukce**

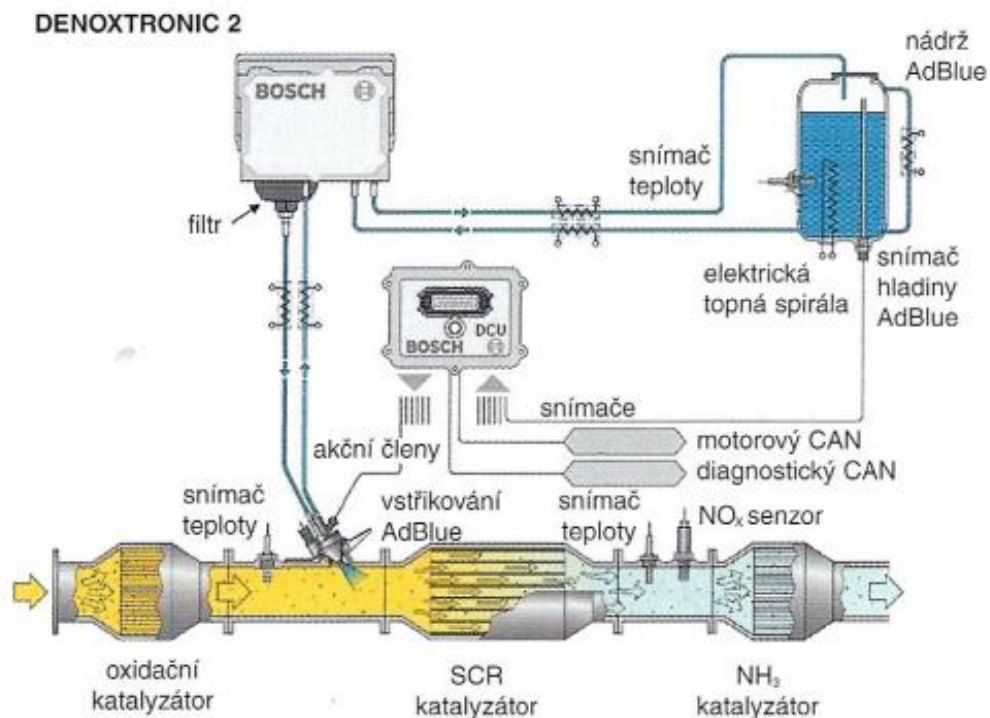
System selektivní katalytické redukce, označován zkratkou SCR (z angl. Selective Catalytic Reduction), je další možností, jak účinně zajistit snížení emisí oxidů dusíku ve výfukových plynech. Tato technologie je založena na použití kapalného aditiva AdBlue, což je 32,5 % vodný roztok močoviny. AdBlue je u stroje uloženo v samostatné vyhřívané nádrži, oddělené od nádrže s naftou, a je dávkováno buď do proudu stlačeného vzduchu, který jej dopravuje do výfukového potrubí, nebo přímo do výfukových plynů před katalyzátor SCR. Některé moderní systémy dokáží AdBlue rozprašovat přímo do výfukového potrubí a nepotřebují tedy k dopravě stlačený vzduch. Ve výfukových plynech se AdBlue mění hydrolytickou reakcí na amoniak a oxid uhličitý. Ideální teplota pro průběh reakce je 230 °C až 450 °C.

Oxid uhličitý a amoniak obsažený ve výfukových plynech zajistí redukční atmosféru. Použitím SCR katalyzátoru dochází prostřednictvím chemických reakcí amoniaku a oxidů dusíku k jejich přeměně na dusík a vodní páru. Amoniak je toxický štiplavý plyn, pokud během reakcí nebyl všechen amoniak spotřebován, což je možné v případě vstříknutí příliš velkého množství AdBlue, hrozí jeho únik do ovzduší. Tento problém se řeší použitím tzv. slip katalyzátoru. V podstatě se jedná o obyčejný oxidační katalyzátor, který oxiduje uniklý amoniak na dusík. Umisťuje se za SCR katalyzátorem.



Z důvodu toxické povahy amoniaku je také potřeba dopravní prostředek využívající technologii SCR vybavit nerezovým výfukovým potrubím, a to proto, aby nedocházelo k jeho korozi. Aditivum AdBlue je naopak látka zcela nejedovatá, bez zápachu, kterou lze natankovat ze stojanu čerpací stanice, stejně jako motorovou naftu. Spotřeba AdBlue se pohybuje v rozmezí přibližně 3 až 7 % spotřebované nafty. Vliv na spotřebu paliva má především zatížení motoru a vlhkost vzduchu.

Vstřikování AdBlue je řízeno vlastní řídicí jednotkou v závislosti na teplotě výfukových plynů a také především na obsahu emisí oxidů dusíku přicházejících do SCR katalyzátoru. Pokud je teplota výfukových plynů nižší než 200 °C, vstřikování se neuskutečňuje. Nedošlo by ke vzniku požadovaných chemických reakcí a také je při těchto teplotách obsah oxidů dusíku velmi nízký, protože ty vznikají až při vysokých spalovacích teplotách. Princip funkce systému selektivní katalytické redukce DENOXTRONIC 2 je znázorněn na obrázku č. 9. Tento systém již nepotřebuje k dopravě AdBlue stlačený vzduch (VOJKŮVKA, 2010).



Obrázek č. 9 – SCR systém od firmy Bosch s označením Denoxtronic 2,  
zdroj: BAUER a kol. (2013)

Motory využívající technologii SCR pracují v porovnání s motory se systémem recirkulace výfukových plynů s větším předvstřikem nafty. Znamená to sice zvýšenou tvorbu nežádoucích oxidů dusíku, které však systém SCR účinně odstraní, ale také na druhé straně až o 40 % nižší emise pevných částic. V porovnání mezi systémy SCR a EGR hraje také ve prospěch technologie SCR to, že nevyžaduje použití speciálních motorových olejů a umožňuje delší výměnné intervaly. To se nedá říci o recirkulaci výfukových plynů, která olej zanáší sazemi. Nevýhodou SCR je naopak nutnost doplňovat aditivum AdBlue ([www.mmspektrum.com/clanek/snizovani-emisi-ve-vyfukovych-plynech](http://www.mmspektrum.com/clanek/snizovani-emisi-ve-vyfukovych-plynech)), „staženo dne 27. 1. 2018“).

### **2.6.5 Zásobníkový katalyzátor oxidů dusíku**

Zásobníkový katalyzátor oxidů dusíku se označuje jako LNT (z angl. Lean Nox Trap) a kromě použití u vznětových spalovacích motorů se s ním lze setkat také u zážehových motorů s přímým vstřikem paliva do válce, kde pracuje při provozu motoru v režimu s přebytkem vzduchu. Zásobníkový katalyzátor funguje na principu ukládání oxidů dusíku a jejich přeměny na dusičnany. V okamžiku, kdy se katalyzátor naplní, proběhne jeho regenerace. Oxidy dusíku jsou uvolněny a následně přeměněny na dusík.

Z konstrukčního hlediska odpovídá oxidačnímu katalyzátoru, neboť je tvořen nosičem uloženým v obalu z nerezové oceli. Nosiče se vyrábí z keramického nebo kovového monolitu a jsou protaženy kanálky, kterými proudí výfukové plyny. Na těchto kanálcích je nanášena slabá vrstvička aktivních katalyzátorů, což je platina, rhodium a oxid barnatý. Právě oxid barnatý umožňuje přechodně ukládat oxidy dusíku do zásobníku. Úložná kapacita zásobního katalyzátoru je však omezená a po určitém nepravidelném intervalu je nutno provést regeneraci. Stupeň naplnění zjišťuje řídicí jednotka motoru pomocí snímače  $\text{NO}_x$ , který je umístěn za zásobníkový katalyzátorem. Další možnost, jak určit míru naplnění, je využití teploty zplodin vstupujících do zásobního katalyzátoru. Jakmile řídicí jednotka vyhodnotí, že je potřeba provést regeneraci, změní na několik vteřin složení směsi tak, aby směs byla bohatá. Přechodně uložené dusičnany se v redukčním prostředí s přebytkem oxidu uhelnatého a uhlovodíků stanou nestabilní a rozpadnou se na oxid dusnatý. Ten dále reaguje s oxidem uhelnatým a vznikne neškodný dusík. Zásobníkový katalyzátor je vyprázdněn a celý cyklus se může opakovat (VLK, 2003).

## 2.7 Metody měření emisí u vznětových motorů

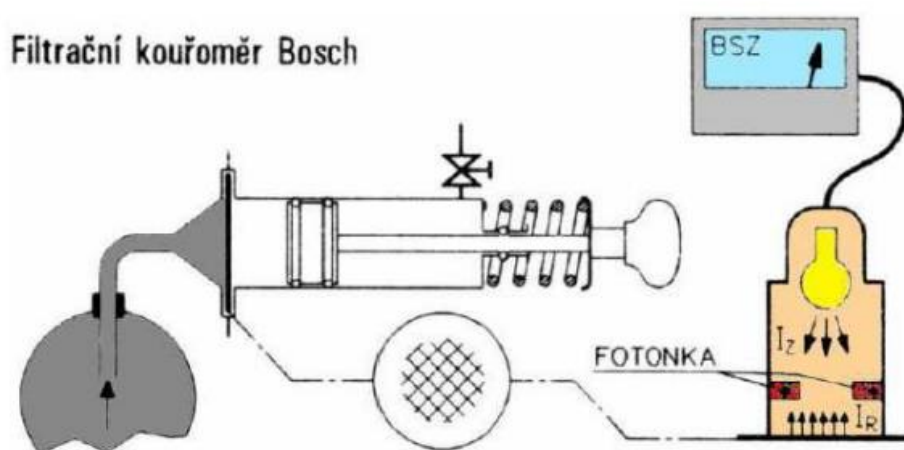
Když výrobce připravuje příchod nového modelu na trh, musí splnit celou řadu podmínek a pravidel. Jednou z podmínek pro to, aby stroj mohl uvést na trh, je získat takzvanou homologaci, tedy schválení pro provoz. Součástí homologace je i měření emisí. Během celého tohoto cyklu se měří nejen množství vypouštěného oxidu uhličitého, ale také emise ostatních škodlivin. Ty musí vyhovět v dané době aktuální nejpřísnější emisní normě. Z množství emisí se také dopočítá spotřebované množství paliva a určí se tabulková spotřeba. Samotné měření emisí během pravidelné technické kontroly je zcela jiný proces, který s tím homologačním úplně nesouvisí.

Měření na STK je oproti tomu homologačnímu mnohem jednodušší. Konkrétně u moderních vznětových motorů začíná proces vizuální kontrolou – motoru, sání, výfuku a podobně. Výfuk nesmí mít trhliny, vizuální kontrola by mohla odhalit třeba chybějící katalyzátor či filtr pevných částic. Následuje kontrola diagnostiky vozidla, a to její správná funkčnost. Pak teprve následuje samotné měření emisí. To se u vznětových motorů provádí takzvanou metodou volné akcelerace, kdy na provozní teplotu zahřátý motor zrychluje z volnoběžných otáček do maximálních na plný plyn, a v těchto maximálních otáčkách při měření setrvá tři sekundy, pak se nechá motor ustálit opět na volnoběh. Tato procedura se opakuje minimálně pětkrát. Stroj má přitom zařazený neutrál. Maximální i volnoběžné otáčky musí souhlasit s hodnotami, které udává výrobce. Co se emisí týče, měří se u vznětových motorů pouze kouřivost. Ta se zjišťuje nejčastěji opacimetrem, pro konečný výpočet se použije čtveřice měření, první slouží k vyčištění výfukového systému.

Limitní hodnoty kouřivosti jsou pak ve vyhlášce určeny zvlášť pro auta dle roku výroby, starší vozy mají volnější předpisy, u novějších aut se nesmí kouřivost o určitou hodnotu odchýlit od toho, co udává výrobce, který získal referenční hodnotu stejným způsobem a deklaruje ji při homologaci ([https://auto.idnes.cz/emise-rozdil-homologace-vs-stk-dzo-/automoto.aspx?c=A150924\\_192351\\_automoto\\_vok](https://auto.idnes.cz/emise-rozdil-homologace-vs-stk-dzo-/automoto.aspx?c=A150924_192351_automoto_vok), „staženo dne: 29. 1. 2018“).

### 2.7.1 Filtrační metoda

Tato metoda slouží ke zjištění kouřivosti motoru pomocí zachycení pevných částic na filtrační papír, přes který se prosaje vzorek spalin o určitém množství a určitou rychlostí, které jsou dány velikostí použité sondy. Užitý filtrační papír se vyhodnotí fotoelektrickým měřicím přístrojem. Tento měřicí přístroj je citlivý na množství světla odraženého od plochy kontaminovaného filtračního papíru, který má na sobě černé stopy od pevných částic. Vyhodnocení probíhá tak, že se porovnává množství světla odraženého od kontaminovaného papírku s množstvím světla odraženého od papírku nepoužitého. Výsledná hodnota je pak označována jako stupeň zčernání SZ (Schwarzungszahl, někdy též BSZ – Bosh Schwarzungszahl nebo Bn – Bosh Number) v jednotkách Bosh. Postup při měření kouřivosti pomocí filtrační metody je znárodněn na obrázku č. 10 (BAŘINKA, 2010).

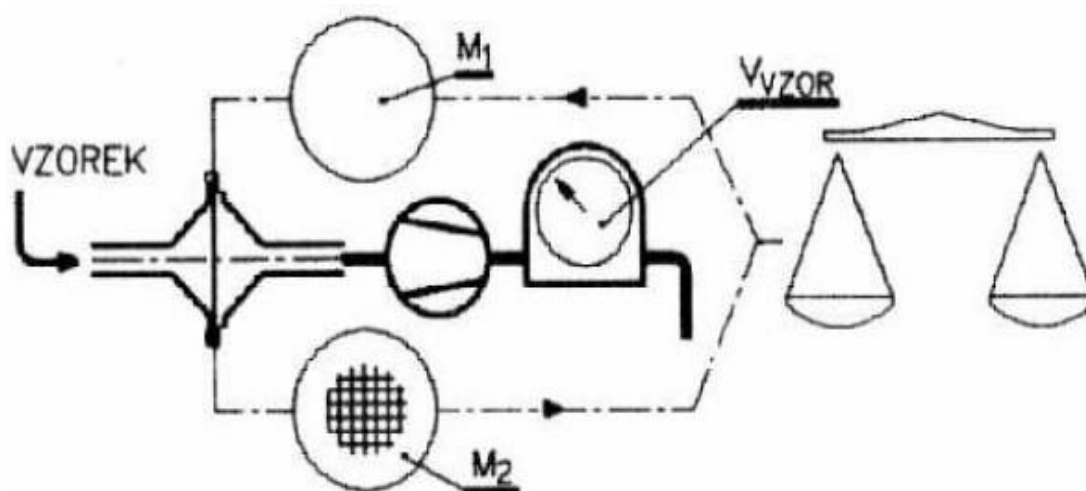


Obrázek č. 10 – Měření kouřivosti pomocí filtračního papíru, zdroj: BAŘINKA (2010)

Princip spočívá v tom, že pístek měřicí sondy se posune zcela doleva, kde se zajistí, a do příslušné štěrby se umístí čistý nekontaminovaný filtrační papírek. Poté se nátrubek sondy zavede do výfukového potrubí a odblokuje stlačenou pružinu, která uvede do pohybu pístek a ten provede sací zdvih, čímž nasaje množství výfukových plynů o objemu odpovídajícímu velikosti sondy rychlostí, která je nastavitelná pomocí škrtícího ventilu umístěného v zadní části sondy. Tato metoda je zastaralá a v dnešní se již nepoužívá (BAŘINKA, 2010).

### 2.7.2 Gravimetrické měření

Metoda stanovení množství obsahu pevných částic za pomoci gravimetrie je velmi jednoduchá. Princip spočívá v prosátí množství spalin přes filtrační element ze skleněných vláken potažených teflonem (Pallflex). Jako první se čistý nepoužitý filtrační element zváží na přesných laboratorních vahách, poté se umístí do speciálního držáku a pumpou se přes filtrační element prosává množství výfukových spalin. Po ukončení měření se filtrační element i se vzorkem spalin vyjme z držáku a opět se zváží na laboratorních vahách. Princip funkce této metody je zobrazen na obrázku č. 11 (TAKÁTS, 1997).



Obrázek č. 11 – Gravimetrické měření obsahu částic, zdroj: TAKÁTS (1997)

Hmotnostní koncentraci částic  $C_1$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ] u měřeného elementu vypočítáme empirickým vztahem č. 1.

$$C_1 = \frac{M_2 - M_1}{V} [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (1)$$

Kde:

$M_1$  - hmotnost nového filtračního elementu [kg],

$M_2$  - hmotnost filtračního elementu po měření [kg]

$V$  - objem prosátého množství spalin [ $\text{m}^3$ ].

V dnešní době se již tato metoda měření nepoužívá (TAKÁTS, 1997).

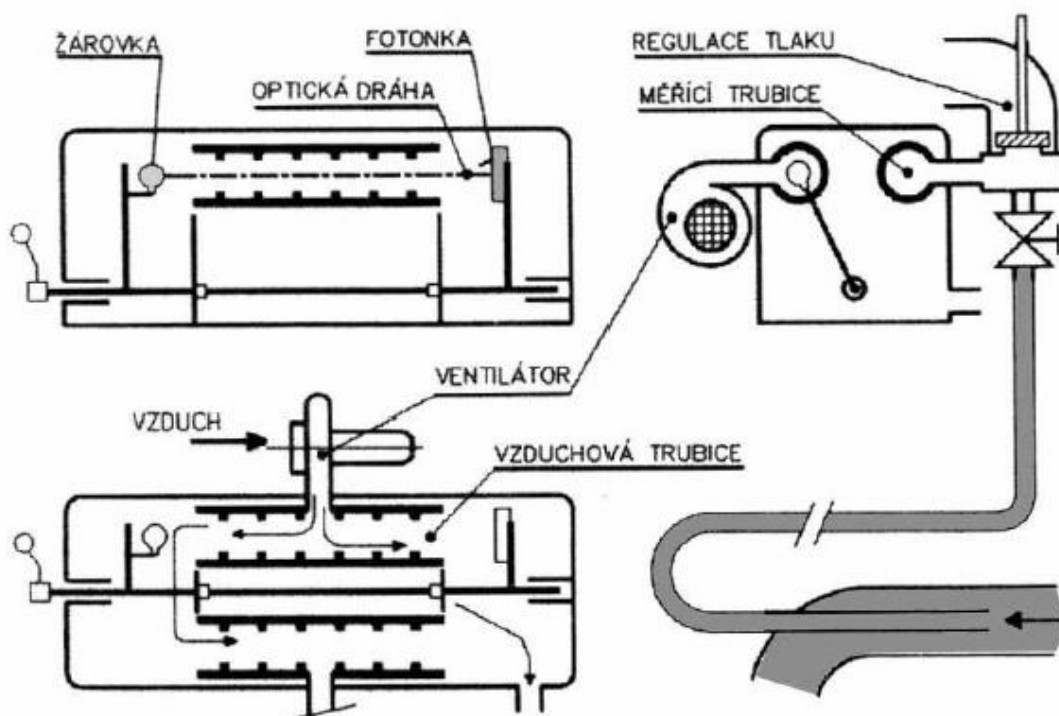
### 2.7.3 Opacimetrie

Opacimetrie, neboli přímé zjišťování pohltivosti světla sloupcem výfukových plynů definované délky většinou 430 mm, je jediná podle vyhlášky přípustná metoda

měření emisí u vznětových spalovacích motorů. Při opacimetrii se používá zvláště k tomu určených přístrojů, které nazýváme opacimetry, a měřenou veličinou je opacita, která se někdy též uvádí jako pohltivost světla, jejíž převrácená hodnota se nazývá průhlednost nebo též transparence.

Pro opacitu se někdy také používá opisné označení emise viditelného kouře (nebo též emise viditelných znečišťujících látek), a to zejména v nadnárodních emisních předpisech.

Vlastní měření opacity nepředstavuje nijak zvlášť těžký proces a je v podstatě velice jednoduché. Jedná se zde o prosvícení definovaného množství spalin viditelným světlem a následné zaznamenání propuštěného světla pomocí fotonky na konci měřicí trubice. Jediným problémem ovšem je, jak se vypořádat s nebezpečím znečištění povrchu zdroje světelného záření a čidla povlakem pevných částic, což má za následek nesprávné fungování opacimetru a zkreslování údajů. Tento problém je vyřešen tak, že se do opacimetru umísťuje tzv. vzduchová trubice, která je souběžná s trubicí měřicí a v které je pomocí ventilátoru udržován neustále proud čistého vzduchu, což je patrné na obrázku č. 12 (BAŘINKA, 2010).



Obrázek č. 12 – Princip funkce opacimetru, zdroj: BAŘINKA (2010)

Optická dráha opacimetru je za běžného provozu většinou souosá s touto vzduchovou trubicí a zdroj světelného záření i čidlo opacimetru jsou intenzivně omývány proudem čistého vzduchu, což zabraňuje usazování nečistot ve formě pevných částic na zdroji i čidle. Dále je uzavřen přívod spalin do měřicí trubice.

Teprve při provedení vlastního měření je umožněn přístup spalin do měřicí trubice a držák se zdrojem světla a čidlem se překlopí tak, že optická osa je koaxiální s osou měřicí trubice. Přístup vzduchu do měřicí trubice při provedení vlastního měření je zabezpečen dostatečným tlakem spalin. Po ukončení vlastního měření je držák se zdrojem světla a čidlem překlopen zpět do vzduchové trubice, kde z nich intenzivní proud vzduchu očistí případné usazené povlaky pevných částí (BAŘINKA, 2010).

## **2.8 Historie firmy John Deere**

Značka John Deere začíná psát svou historii v roce 1837 a začíná v obci Grand Detour ve státě Illinois, kdy kovář John Deere slyší obavy zemědělců, že jejich pluhu, určené pro písčnou půdu, která se nacházela v této oblasti, nezvládají hustou prériovou půdou. V reakci na to kovář Deere vyvine vysoce leštěnou ocelovou desku ze zlomeného pilové kotouče (<https://www.deere.com/en/our-company/history/>, „staženo dne 26. 3. 2018“).

Použitím této kvalitní anglické oceli dosáhl, že se na orební radlice nelepila půda, s čímž měli v té době zemědělci velký problém. Zpráva o skvělém Deerově pluhu, kterého bylo v těžkých podmínkách Ameriky opravdu potřeba, se roznesla daleko. Zemědělci brzy poznali, že jeho pluhu mají vynikající geometrii, dobře ořou, neucpávají se a jsou velice spolehlivé. V roce 1848 byla jeho výroba pluhů přesunuta do města Moline ve státě Illinois, kde má společnost Deere & Company své sídlo dodnes. To se již výroba rozvíjela v nové továrně, kterou John Deere vybavil na tu dobu pokrokovým výrobním zařízením. Rozšiřoval se i sortiment výrobků a za povšimnutí stojí, že již v roce 1857 továrna v Moline vyrobila celkem 13400 různých pluhů a nářadí na zpracování půdy.

Zajímavostí je, že nebýt soudního rozhodnutí z roku 1867 mohli jsme dnes jezdit v traktorech Moline. Podnik rodiny Deereových používal pro své výrobky značku Moline (jména města, ve kterém sídlil). Charles Deere, syn Johna Deera a pokračovatel firmy, žaloval konkurenci, že stejnou značku Moline používali také, ovšem soudní při tehdy prohrál.

K obrovskému rozvoji firmy dochází ve 20. století, kdy se s nástupem spalovacího motoru výroba až neuvěřitelně rozrůstá. Mimo pluhů firma začíná vyrábět traktory (1. traktor John Deere se jmenoval Waterloo boy, podle města ve státě Iowa, kde se traktory dodnes vyrábí), kombajny a další stroje potřebné pro mechanizaci zemědělství (STEHNO a kol., 2010).

V polovině 20. století byl John Deere na šachovnici zemědělské techniky již velkým hráčem, známým i na mezinárodním poli. Ale za hranicemi Ameriky se mu nedařilo, tak jak by si představoval. V roce 1956 tedy Deere & Company kupuje německou firmu Lanz A. G. a John Deere po této koupi začíná vyrábět své traktory v německém Manheimu.

Od roku 1963 se John Deere věnuje také výrobě zahradní a komunální techniky. Téhož roku firma John Deere předstihla firmu Harvester technology a stává se největším výrobcem zemědělské techniky na světě.

V roce 1986 vstoupil John Deere i na pole výroby strojů pro úpravu a sekání golfových hřišť.

V první polovině devadesátých let se traktory John Deere vyráběly i v České republice, konkrétně v brněnském Zetoru. Zetory 1. a 3. unifikované řady s výkony 37 až 79 kW se s mírnými úpravami zahrnující mimo jiné i zeleno – žluté lakování prodávaly v některých zemích jako traktory John Deere řady 2000 (STEHNO a kol., 2010).

Výrobci traktorů John Deere jako první přišly s motory, které se jako první zabíraly otázkou problematiky emisí výfukových plynů. Konkrétně se jednalo o rok 1996 a motory PowerTech (VIMR, 2015).

Ústředí společnosti John Deere se dnes rozkládá na tisíci hektarové ploše poblíž města Moline. John Deere vyrábí i stavební stroje, komunální techniku a další stroje pro různá odvětví průmyslu. Spolehlivé a osvědčené motory John Deere se používají v řadě mobilních i stacionárních zařízení v různých odvětvích.

Právě vlastní výroba motorů, speciálně určených pro zemědělské stroje, koncepce dlouhé životnosti jednotlivých komponentů i celků, robustní konstrukce spolu s vysokou kapacitou výzkumu a vývoje přispěla k světovému renomé této značky.



V současnosti působí John Deere po celém světě, kde má celkem 34 výrobních a vývojových podniků, z toho 16 z nich vyrábí zemědělskou techniku, 9 podniků vyrábí zahradní, komunální a golfovou techniku, 3 továrny vyrábějí stavební stroje a 6 závodů se zabývá výrobou komponentů.

Firma klade velký důraz na neustálý proces inovace a uplatňování nejnovějších poznatků vědy a techniky se zaměřením na kvalitu, ekologii, hospodárnost a maximální spokojenost zákazníka. V současné době společnost investuje každý den do výzkumu a vývoje nových výrobků 1 milion dolarů (<http://johndeeredistributor.cz/Zahradni-technika/O-nas/O-John-Deere>, „staženo dne: 30. 1. 2018“).

### **3. Cíl práce**

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

1. Je zvolený diagnostický systém vhodný pro dostatečnou přesnost výsledků?
2. Odpovídají naměřené hodnoty direktivě EU?

V práci se zaměřím:

1. Popsat používané diagnostické systémy pro měření emisí výfukových plynů.
2. Provést konkrétní měření.
3. Porovnat zjištěné a naměřené výsledky s doporučeními výrobce a direktivou EU.
4. Odpovím na otázky z cíle této práce.
5. Vyhodnotím výsledky.
6. Uvedu závěry pro praxi.

## 4. Metodika práce

Měření emisí u vybraných traktorů John Deere proběhlo v rámci STK (stanice technické kontroly) v Dolním Třeboníně mezi Českým Krumlovem a Českými Budějovicemi. Měření probíhalo v době od října 2017 do ledna 2018.

### 4.1 Měřicí přístroj

Měření bylo prováděno měřicím přístrojem od německého výrobce Bosch. Opacimetr Bosch RTM 430 se vyznačuje vysokou přesností měření díky optimálnímu proudění v měřicí komoře. Uchycení vysílače a přijímače je magnetické. Přístroj pracuje s měřicí komorou 430 mm. Měřicí rozsah přístroje je 0 až 100 % s rozlišením 0,1 %. Koeficient absorpce je u tohoto přístroje 0 až 10 m<sup>-1</sup>, rozlišení je 0,01 m<sup>-1</sup>. Maximální teplota na odběrové sondě je 250 °C a maximální teplota na vstupu do RTM 430 je 200 °C. Provozní teplota je 5 až 40 °C. Měřicí přístroj je nastaven na napájecí napětí síťového zdroje 90 až 264 VAC a frekvenci 50 až 60 Hz. Kabelový přenos do počítače přenáší data rychlostí 964 Mbit.s<sup>-1</sup>. Opacimetr je napojen na analyzátor Bosh Bea 030 s ovládacím softwarem BOSH BEA PC CZ V1.2 a administrativním softwarem EMISE 2016 (DEKRA a. s.). Analyzátor je dále vybaven snímačem otáček, dálkovým ovládním, inkoustovou tiskárnou, 19“ monitorem a pojízdným vozíkem.

Toto měřicí zařízení je schváleným typem přístroje pro měření emisí podle § 2 odstavce 4 přílohy č. 2 vyhlášky č. 302/2001 Sb., o technických prohlídkách a měření emisí vozidel. Opacimetr RTM 430 je zobrazen na obrázku č. 13.



Obrázek č. 13 – Opacimetr Bosch RTM 430

## 4.2 Postup měření

První bod měření emisí spočívá v identifikaci traktoru a jeho motoru podle typové dokumentace a technického průkazu. Dále je nutné ověřit homologační štítky traktoru a také motoru. V případě, že nelze identifikovat příslušný typ motoru z výrobního štítku, postupuje se tak, že příslušný typ motoru traktoru se určí z platné vozidlové dokumentace. Jestliže se na traktoru provádí již druhé nebo další měření, je nutné ověřit také osvědčení o měření emisí. Pokud jsou při kontrole zjištěny závady či porušení výše uvedeného zajištění podle předpisu výrobce, kontrola je ukončena, poněvadž takovéto vozidlo je nezpůsobilé k dalšímu provozu.

Po zkontrolování příslušné dokumentace je nutné pořídit 5 fotografií traktoru, a to konkrétně: pohled zezadu a zepředu na traktor, dále počítadlo motohodin traktoru, VIN traktoru a výrobní štítek. Fotografie musejí být ostré, dobře čitelné a na STK se musí archivovat nejméně 5 let na externích discích. Každá z fotografií musí být kvalitní, proto STK mají za povinnost vlastnit fotoaparát s rozlišením minimálně 5 mpix. Části traktoru, které se musí fotit, jsou uvedeny na obrázku č. 14.



Obrázek č. 14 – Části traktoru, které se musí při STK a ME fotit

Před zahájením vlastní operace měření kouřivosti se musí provést vizuální kontrola traktoru. Tato činnost zahrnuje celkovou kontrolu traktoru, dále jeho motoru a zejména pak sací a výfukové soustavy a dalších dílů, které mají vliv na vznik škodlivin.

Je nutné též provést vizuální kontrolu palivové soustavy, její těsnosti a neporušenosti spojů celé palivové soustavy. Nesmí se opomenout ani kontrola stavu a napětí rozvodového řemenu. Mazací soustava by měla být těsná a neměla by vykazovat známky poškození. Při kontrole sacího a výfukového systému je nutné překontrolovat čistič vzduchu. Čistič vzduchu nesmí být znečištěn nad maximální hodnotu tlakové ztráty stanovenou výrobcem traktoru nebo výrobcem motoru traktoru. U výfukové soustavy je třeba kontrolovat, aby neměla žádné oděrky, trhliny nebo jiné netěsnosti, které by mohly způsobovat zředování výfukových plynů přísávaným vzduchem. Případně u výfuků vybavených zařízeními sloužícím ke zředování výfukových plynů je třeba toto zařízení vyřadit z činnosti. Zařízení ke snižování obsahu škodlivin ve výfukových systémech, jako jsou filtry pevných částic, katalyzátory aj., musí být schválena podle typu daného traktoru. Pokud jsou schválena, tak musejí být také vizuálně zkontrolována. Kouřivost se měří při zapojení těchto zařízení.

Motor traktoru, na kterém je prováděno měření, musí být zahřátý na provozní teplotu, kterou udává výrobce motoru nebo výrobce traktoru. V případě, že dojde k ochlazení spalovacího prostoru traktoru nebo k jeho znečištění po delší době setrvání na volnoběžných otáčkách motoru, provede se pročištění a prohřátí spalovacího prostoru motoru opakovanou akcelerací. Tyto akcelerace nejsou zaznamenány a nepočítají se do finálního měření kouřivosti. Jakmile dojde k prohřátí motoru na provozní teplotu doporučenou výrobcem vozidla, připojí se k výfukovému potrubí sonda opacimetru a zařízení sloužící ke snímání otáček motoru, které se umístí na blok motoru traktoru. Snímač otáček i datový kabel opacimetru je spojen s analyzátozem Bosch Bea 030 s ovládacím softwarem BOSH BEA PC CZ V1.2. Připojená sonda opacimetru Bosch RTM 430 a snímač otáček motoru připojený na bloku motoru je zobrazen na obrázku č. 15.





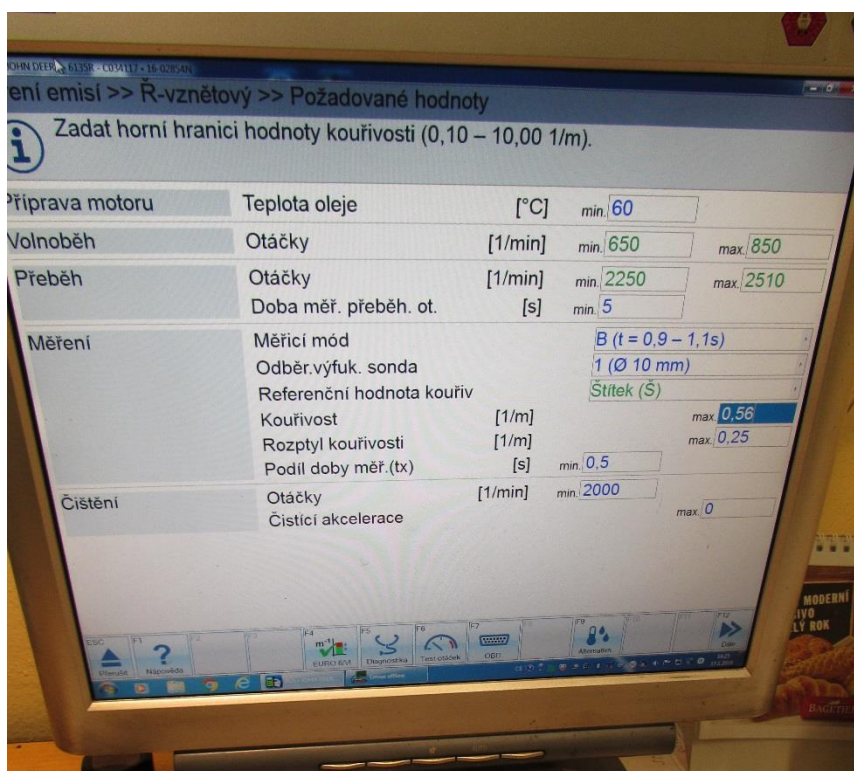
Obrázek č. 15 – Připojení sondy opacimetru a snímače otáček motoru

Před započítím samotného měření je nutné do počítače zapsat identifikační údaje, jako jsou tovární značka, obchodní označení, typ motoru, počet motohodin, typ emisního systému atd. Všechny tyto údaje jsou zobrazeny na obrázku č. 16.

| Identifikace vozidla    |                   |
|-------------------------|-------------------|
| Zadat rok výroby.       |                   |
| Tovární značka          | JOHN DEERE        |
| Obchodní označení (typ) | 6135R             |
| Výrobní číslo motoru    | -                 |
| Typ motoru              | 4045HL504         |
| Poč. ujeté vzdál.       | 350               |
| Typ emisního systém     | Ř-vznětový        |
| Druh paliva             | Nafta motorová    |
| Počet válců             | 4                 |
| Počet výf. systémů      | 1                 |
| Kategorie vozidla       | T                 |
| Druh vozidla            | traktor           |
| Registrační značka      | C034117           |
| Ident. č. vozidla (VIN) | 1L06135RCHP880170 |
| První registrace        | 25.5.2017         |
| Rok výroby              | 0                 |

Obrázek č. 16 – Identifikační údaje traktoru

Dalším krokem je načtení údajů o měřeném traktoru z databáze. Při této operaci se do programu načtou požadované hodnoty, které traktor musí splňovat. Data se vygenerují tak, že se do databáze napíše číslo typu motoru měřeného traktoru. Po vygenerování se na obrazovce objeví minimální teplota oleje, volnoběžné otáčky, přeběhové otáčky, maximální korigovaný součinitel kouřivosti, rozptyl kouřivosti atd. Všechny tyto požadované vygenerované hodnoty jsou vyobrazeny na obrázku č. 17.



Obrázek č. 17 – Požadované vygenerované hodnoty

Vlastní měření kouřivosti se provádí podle následujícího postupu. Za volnoběžných otáček motoru se pedál akcelérátoru přestaví do polohy, ve které je dodávka paliva maximální. Toto přestavení akcelérátoru by mělo být co nejkratší, zpravidla do 0,5 s. Takto nastavený akcelérátor se udržuje po dobu, dokud motor nedosáhne maximálních otáček omezovaných regulátorem. Tyto otáčky se označují jako přeběhové. V okamžiku, kdy motor dosáhne maximálních přeběhových otáček, je nutné jej na těchto otáčkách udržovat po dobu přibližně tří sekund, maximálně však do 5 sekund. Po uplynutí stanoveného třísekundového intervalu se akcelerační pedál uvolní a motor traktoru se nechá klesnout na volnoběžné otáčky. V průběhu třísekundového intervalu, kdy motor běží v režimu přiběhových otáček, opacimetr zaznamená maximální hodnotu kouřivosti v absolutních jednotkách  $m^{-1}$ . Dále se motor ponechá v režimu volnoběžných otáček po dobu 15 sekund.

Po uplynutí této doby je motor připraven k provedení dalšího cyklu měření. Výše uvedené měření je zapotřebí zopakovat nejméně pětkrát, přičemž první cyklus slouží k vyčištění spalovacího prostoru motoru a výfukové soustavy a další čtyři následující cykly měření jsou použity k zaznamenání hodnot kouřivosti a je z nich vypočítán aritmetický průměr. Tento průměr je považován za výslednou hodnotu kouřivosti motoru. Další podmínka, kterou musí měření splňovat, je, že čtyři po sobě provedené měření se nesmí lišit o více než  $0,25 \text{ m}^{-1}$ . Hodnoty udávané indikačním přístrojem opacimetru zaznamenané během režimu motoru ve volnoběžných otáčkách nejsou do výsledného aritmetického průměru započítány.

Výsledné hodnoty jsou po provedení měření zaznamenány do tabulek a program sám vyhodnotí, zdali traktor nepřesáhl předepsanou hodnotu kouřivosti a zdali nepřesáhl rozpětí čtyř po sobě jdoucích měření více jak o  $0,25 \text{ m}^{-1}$ . Příklad naměřených výsledků je uveden na obrázku č. 18.

| Otáčky<br>[1/min] | Kouřivost<br>[1/m] | Voln. akcel.     | Kouřivost<br>[1/m] | Doba zrych.<br>[s] | Volnoběh<br>[1/min] | Přeběh<br>[1/min] |
|-------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| 6000              | 1                  | ✓k1              | 0,13               | 0,98               | 780                 | 2482              |
|                   |                    | ✓k2              | 0,08               | 1,19               | 780                 | 2493              |
|                   |                    | ✓k3              | 0,08               | 1,56               | 780                 | 2492              |
|                   |                    | ✓k4              | 0,08               | 0,99               | 780                 | 2493              |
|                   |                    | ✓Rozpětí         | 0,05               | ---                |                     |                   |
|                   |                    | Max. hodnota     | 0,25               | ---                |                     |                   |
|                   |                    | ✓Střední hodnota | 0,09               |                    |                     |                   |
|                   |                    | Max. hodnota     | 0,56               |                    |                     |                   |

At the bottom of the screen, there are two yellow boxes with the values 781 and 0,08.

Obrázek č. 18 – Zaznamenané výsledky

K poslední operaci patří vytisknutí protokolu o měření emisí traktoru.



### 4.3 Popis měřených traktorů

Traktory John Deere se od konkurence liší tím, že využívají celorámovou konstrukci, která na sebe váže veškerou námahu a zátěž. Pro motor, převodovku, rozvodovou skříň, které jsou připevněné právě k rámu, je to z hlediska namáhání a rázů velmi výhodné. Traktory řady 6 se vyrábějí v německém městě Mannheim a patří do střední výkonové řady, kterou využívají z hlediska velikosti podniku hlavně malí a středně velcí farmáři. Traktory řady 6 patří v Evropě všeobecně k nejprodávanějším traktorům. V České republice je prodávanější jen tuzemský výrobce Zetor.

Traktory John Deere řady 6 používají mechanické převodovky PowrQuad a PowrQuad Plus. PowrQuad Plus se liší od PowrQuad tím, že čtyři rychlosti pod zatížením jsou řazené pomocí tlačítka na páce, tedy elektricky. Naopak u převodovky PowrQuad jsou rychlosti pod zatížením řazené pákou, tedy mechanicky. Další používané převodovky u těchto traktorů vyrobených v Německu jsou AutoQuad, kdy skupiny řazené pod zatížením jsou řazené sami, kdy řídicí jednotka přestavuje násobič podle zatížení a otáček motoru. Plynulá převodovka u této řady se nazývá AutoPowr, ta je vhodná například do dopravy či k lehčím pracím v rostlinné výrobě. U moderních traktorů nového označení řady M nebo R můžeme najít převodovku DirectDrive. Tato převodovka se chová jako automatická, ale je to mechanická převodovka, která využívá dvou spojkových lamel, kdy jedna řadí sudé převodové stupně a druhá je připravená na zařazení lichého stupně. Řazení je velmi rychlé, a proto převodovka může svým chováním připomínat automatickou převodovku.

K výbavě těchto traktorů patří celá škála příslušenství. Přísluší sem souvraťová automatika HMS, odpružená přední náprava či kabina, elektricky ovládané vnější hydraulické okruhy, přední tříbodový hydraulický systém společně s předním vývodovým hřídelem, na vývodové hřídeli 540, 540 v eko režimu nebo 1000 ot.min<sup>-1</sup>. Dále pak různá hodnota závaží do kol či do předního závěsu, mechanická nebo automatická klimatizace, střešní okno pro lepší výhled na čelní nakladač, plazivé rychlosti, různé velikosti ráfků a pneumatik, různý počet pracovních světel, ohřev bloku motoru při používání traktoru v zimních měsících, pneumaticky odpružené sedadlo, rádio s reproduktory atd.

### 4.3.1 John Deere 6310 SE

Tabulka č. 6 – Parametry John Deere 6310

|  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| Vyráběny v letech:   | 1997 až 2002                      |
| Zdvihový objem:  | 4,5 litru                         |
| Typ motoru:  | 4045TL052                         |
| Vrtání/zdvih:  | 106/127 mm                        |
| Rozsah otáček:   | 850-2460 ot. min <sup>-1</sup>    |
| Počet válců:   | 4                                 |
| Jmenovitý výkon motoru:  | 73,8 kW                           |
| Typ čerpadla:  | Axiální rotační                   |
| Emisní norma:  | Stage I                           |
| Korigovaný součinitel absorpce:                                  | 3,18 m <sup>-1</sup>              |
| Prostředky použité ke snížení emisí na požadovanou emisní normu: | Přeplňování, oxidační katalyzátor |
| Majitel:   | Václav Šítal, Mojnë               |
| Počet motohodin:   | 9 542                             |
| Rok výroby:  | 2001                              |

### 4.3.2 John Deere 6220 SE

Tabulka č. 7 – Parametry John Deere 6220

|  |  |
|--|--|
| Vyráběny v letech:   | 2002 až 2007   |
| Zdvihový objem:  | 4,5 litru  |
| Typ motoru:  | 4045TL272  |
| Vrtání/zdvih:  | 106/127 mm   |
| Rozsah otáček motoru:  | 850-2460 ot. min <sup>-1</sup>                             |
| Počet válců:   | 4  |
| Jmenovitý výkon motoru:  | 67,1 kW  |
| Typ čerpadla:  | Axiální rotační  |
| Emisní norma:  | Stage II   |
| Korigovaný součinitel absorpce:                                  | 2,45 m <sup>-1</sup>                                       |
| Prostředky použité ke snížení emisí na požadovanou emisní normu: | Přeplňování, intercooler, oxidační katalyzátor, EGR ventil |
| Majitel:   | BEMAGRO a.s., Malonty                                      |
| Počet motohodin:   | 5 118  |
| Rok výroby:  | 2007   |

### 4.3.3 John Deere 6230 standard

Tabulka č. 8 – Parametry John Deere 6230

|  |   |
|--|---|
| Vyráběny v letech:   | 2007 až 2012  |
| Zdvihový objem:  | 4,5 litru   |
| Kód motoru:  | 4045HL287   |
| Vrtání/zdvih:  | 106/127 mm  |
| Rozsah otáček:   | 850-2460 ot. min <sup>-1</sup>  |
| Počet válců:   | 4   |
| Jmenovitý výkon motoru:  | 70,1 kW   |
| Typ čerpadla:  | Common rail   |
| Emisní norma:  | Stage IIIA  |
| Korigovaný součinitel absorpce:                                  | 2,29 m <sup>-1</sup>  |
| Prostředky použité ke snížení emisí na požadovanou emisní normu: | Přeplňování, intercooler, oxidační katalyzátor, EGR ventil, Common rail |
| Majitel:   | Ing. Jiří Opekar, Todně   |
| Počet motohodin:   | 3 224   |
| Rok výroby:  | 2010  |

#### 4.3.4 John Deere 6115 M

Tabulka č. 9 – Parametry John Deere 6115 M

|  |   |
|--|---|
| Vyráběny v letech:   | 2013 až 2015  |
| Zdvihový objem:  | 4,5 litru   |
| Typ motoru:  | 4045HL497C  |
| Vrtání/zdvih:  | 106/127 mm  |
| Rozsah otáček:   | 850-2460 ot. min <sup>-1</sup>  |
| Počet válců:   | 4   |
| Jmenovitý výkon motoru:  | 85,8 kW   |
| Typ čerpadla:  | Common rail   |
| Emisní norma:  | Stage IIIB  |
| Korigovaný součinitel absorpce:                                  | 1,54 m <sup>-1</sup>  |
| Prostředky použité ke snížení emisí na požadovanou emisní normu: | Přeplňování s proměnlivou geometrií, intercooler, oxidační katalyzátor, chlazený okruh EGR, Common rail, filtr pevných částic |
| Majitel:   | AGROWALD, Přízeř  |
| Počet motohodin:   | 3 644   |
| Rok výroby:  | 2014  |

### 4.3.5 John Deere 6135 R

Tabulka č. 10 – Parametry John Deere 6135 R

|  |  |
|--|--|
| Vyráběny v letech:   | 2015 až doposud  |
| Zdvihový objem:  | 4,5 litru  |
| Typ motoru:  | 4045HL504  |
| Vrtání/zdvih:  | 106/127 mm   |
| Rozsah otáček:   | 850-2460 ot. min <sup>-1</sup>   |
| Počet válců:   | 4  |
| Jmenovitý výkon motoru:  | 99 kW  |
| Typ čerpadla:  | Common rail  |
| Emisní norma:  | Stage IV   |
| Korigovaný součinitel absorpce:                                  | 0,56 m <sup>-1</sup>   |
| Prostředky použité ke snížení emisí na požadovanou emisní normu: | Přepřívání, intercooler, oxidační katalyzátor, chlazený okruh EGR, Common rail, filtr pevných částic, selektivní katalytická redukce |
| Majitel:   | Ing. Jiří Opekar, Todně  |
| Počet motohodin:   | 350  |
| Rok výroby:  | 2017   |

## 5. Výsledky

Výsledky měření jsou znázorněny v přehledných tabulkách. V prvním sloupci je uvedeno číslo měření, v druhém sloupci se nachází hodnota volnoběžných otáček, v třetím sloupci následně otáčky referenční neboli maximální či přeběhové. Čtvrtý sloupec znázorňuje časový údaj, kdy byly otáčky udržované na maximální výši. Poslední sloupec ukazuje hodnotu kouřivosti, která byla na traktoru naměřena. Naopak na předposledním řádku sledujeme průměr posledních čtyř platných měření. Poslední řádek ukazuje rozmezí limitu, ve které se hodnoty musí nacházet.

Tabulka č. 11 – Výsledky John Deere 6310 SE

| <b>Platné měření</b>                   | <b>n_vol</b><br>[ot.min <sup>-1</sup> ] | <b>n_ref</b><br>[ot.min <sup>-1</sup> ] | <b>t_acc</b><br>[s] | <b>k</b><br>[m <sup>-1</sup> ] |
|--|---|---|---------------------|--------------------------------|
| 1                                      | 874                                     | 2440                                    | 1,07                | 2,99                           |
| 2                                      | 874                                     | 2460                                    | 1,26                | 3,01                           |
| 3                                      | 875                                     | 2450                                    | 1,15                | 3,08                           |
| 4                                      | 874                                     | 2450                                    | 1,36                | 2,92                           |
| Průměr posledních<br>4 platných měření | 874                                     | 2450                                    | 1,21                | 3,00                           |
| Limit                                  | 850 - 950                               | 2260 - 2460                             | max 5.00            | 3,18                           |

Tabulka č. 12 – Výsledky John Deere 6220 SE

| <b>Platné měření</b>                   | <b>n_vol</b><br>[ot.min <sup>-1</sup> ] | <b>n_ref</b><br>[ot.min <sup>-1</sup> ] | <b>t_acc</b><br>[s] | <b>K</b><br>[m <sup>-1</sup> ] |
|--|---|---|---------------------|--------------------------------|
| 1                                      | 888                                     | 2365                                    | 1,45                | 2,16                           |
| 2                                      | 890                                     | 2369                                    | 1,08                | 2,12                           |
| 3                                      | 889                                     | 2371                                    | 0,70                | 2,14                           |
| 4                                      | 889                                     | 2371                                    | 1,38                | 2,10                           |
| Průměr posledních<br>4 platných měření | 889                                     | 2369                                    | 1,15                | 2,13                           |
| Limit                                  | 850 - 950                               | 2260 - 2460                             | max 5.00            | 2,45                           |

Tabulka č. 13 – Výsledky John Deere 6230 standard

| <b>Platné měření</b>                   | <b>n_vol</b><br>[ot.min <sup>-1</sup> ] | <b>n_ref</b><br>[ot.min <sup>-1</sup> ] | <b>t_acc</b><br>[s] | <b>K</b><br>[m <sup>-1</sup> ] |
|--|---|---|---------------------|--------------------------------|
| 1                                      | 929                                     | 2467                                    | 0,94                | 1,28                           |
| 2                                      | 939                                     | 2463                                    | 1,56                | 1,28                           |
| 3                                      | 945                                     | 2470                                    | 1,58                | 1,28                           |
| 4                                      | 947                                     | 2460                                    | 2,564               | 1,27                           |
| Průměr posledních<br>4 platných měření | 940                                     | 2465                                    | 1,66                | 1,28                           |
| Limit                                  | 850 - 950                               | 2260 - 2460                             | max 5.00            | 2,29                           |



Tabulka č. 14 – Výsledky John Deere 6115 M

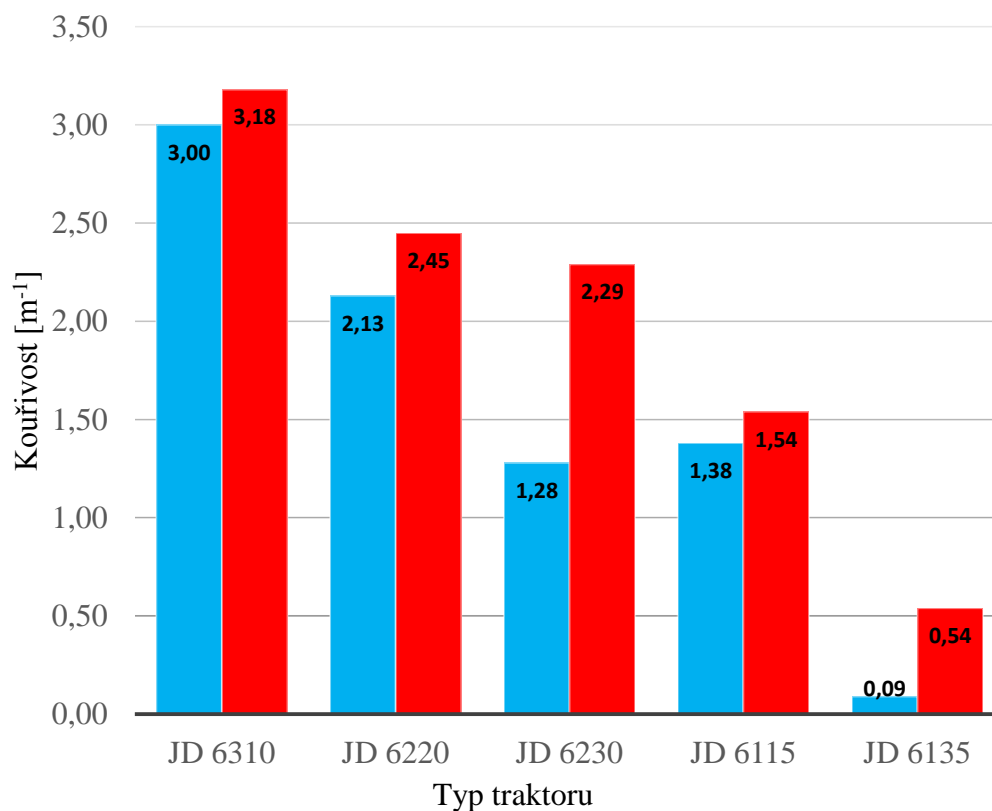
| <b>Platné měření</b>                   | <b>n_vol</b><br>[ot.min <sup>-1</sup> ] | <b>n_ref</b><br>[ot.min <sup>-1</sup> ] | <b>t_acc</b><br>[s] | <b>K</b><br>[m <sup>-1</sup> ] |
|--|---|---|---------------------|--------------------------------|
| 1                                      | 876                                     | 2441                                    | 1,94                | 1,38                           |
| 2                                      | 863                                     | 2442                                    | 1,56                | 1,39                           |
| 3                                      | 858                                     | 2439                                    | 3,51                | 1,38                           |
| 4                                      | 874                                     | 2428                                    | 2,13                | 1,37                           |
| Průměr posledních<br>4 platných měření | 868                                     | 2437                                    | 2,29                | 1,38                           |
| Limit                                  | 850 - 950                               | 2260 - 2460                             | max 5.00            | 1,54                           |

Tabulka č. 15 – Výsledky John Deere 6135 R

| <b>Platné měření</b>                   | <b>n_vol</b><br>[ot.min <sup>-1</sup> ] | <b>n_ref</b><br>[ot.min <sup>-1</sup> ] | <b>t_acc</b><br>[s] | <b>K</b><br>[m <sup>-1</sup> ] |
|--|---|---|---------------------|--------------------------------|
| 1                                      | 902                                     | 2452                                    | 0,98                | 0,13                           |
| 2                                      | 908                                     | 2448                                    | 1,19                | 0,08                           |
| 3                                      | 905                                     | 2440                                    | 1,56                | 0,08                           |
| 4                                      | 904                                     | 2446                                    | 0,99                | 0,08                           |
| Průměr posledních<br>4 platných měření | 905                                     | 2447                                    | 1,18                | 0,09                           |
| Limit                                  | 850 - 950                               | 2260 - 2460                             | max 5.00            | 0,54                           |

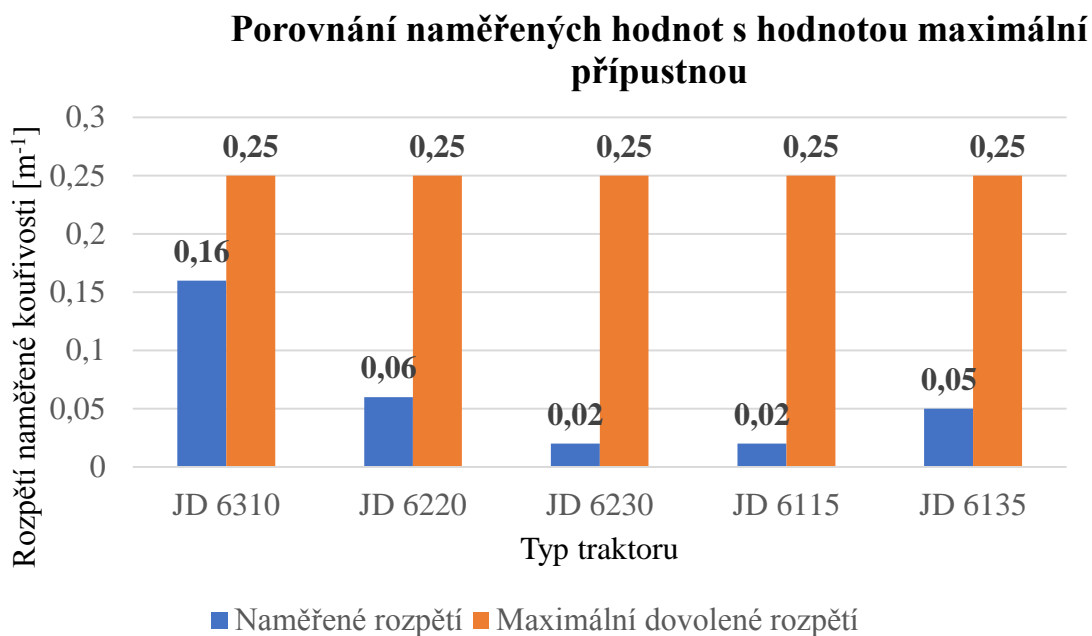
Srovnání naměřených hodnot s hodnotami maximálními dovolenými je graficky znázorněno v grafu č.1. Osa x obsahuje typ měřeného traktoru a osa y znázorňuje hodnotu kouřivosti. Modré sloupce ukazují hodnotu naměřenou a červené naopak hodnotu maximální, kterou traktor nesmí přesáhnout.

### Srovnání naměřených hodnot s hodnotami maximálními přípustnými



Graf č. 1 – Srovnání naměřených hodnot s hodnotami maximálními přípustnými

V grafu č. 2 je znázorněno porovnání rozpětí hodnot u jednotlivých měření. Na ose x je uveden typ traktoru a na ose y jsou znázorněny naměřené hodnoty kouřivosti. Sloupec oranžové barvy znázorňuje maximální přípustnou hodnotu, sloupec modré barvy znázorňuje naměřenou hodnotu.



Graf č. 2 – Porovnání naměřených hodnot s hodnotou maximální přípustnou

## 6. Vyhodnocení a diskuze

V diplomové práci bylo porovnáváno 5 traktorů řady 6 John Deere (viz tabulka č. 16).

Tabulka č. 16 – Naměřené výsledky

| Typ traktoru             | k [m <sup>-1</sup> ] | k <sub>max</sub> [m <sup>-1</sup> ] |
|--------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| John Deere 6310 SE       | 3,00                 | 3,18                                |
| John Deere 6220 SE       | 2,13                 | 2,45                                |
| John Deere 6230 standard | 1,28                 | 2,29                                |
| John Deere 6115 M        | 1,38                 | 1,54                                |
| John Deere 6135 R        | 0,09                 | 0,54                                |

Nejhůře dopadl John Deere 6310 SE. Vysoká hodnota kouřivosti u tohoto traktoru však není překvapením, jelikož traktor splňuje pouze normu Stage I a navíc má najeto již přes 9500 motohodin a podle mého názoru již tvorba směsi ve spalovacím prostoru není ideální. I John Deere 6220 SE vykazuje dle výsledků zvýšenou hodnotu kouřivosti. Podle obsluhy traktoru je do motoru zapotřebí jednou za 100 motohodin dolévat 3 litry motorového oleje. Motor však nikde nevykazuje žádnou netěsnost, takže je pravděpodobné, že se olej dostává do spalovacího prostoru a tím zvyšuje hodnotu kouřivosti. Model John Deere 6230 standard vzhledem ke své emisní normě Stage IIIA nevykazuje žádnou zvýšenou hodnotu. Naopak John Deere 6115 M sice emisní limit splnil, ale velmi se přibližuje k maximální hodnotě korigovaného součinitele absorpce. Podle majitele traktoru je to nejspíše způsobeno špatnou naftou, která byla do traktoru opakovaně natankována, což v blízké budoucnosti vyústí až k nutné výměně vstřikovačů paliva. John Deere 6135 R vzhledem k nejmodernějším technickým opatřením snižujícím emise a vzhledem k malému nájezdu motohodin vykazuje jen nepatrnou kouřivost.

Odpovědi na otázky uvedené v cíli práce:

Je zvolený diagnostický systém vhodný pro dostatečnou přesnost výsledků?

**Ano.** V současné době se na stanicích technické kontroly jiná metoda měření nežli měření metodou tzv. volné akcelerace pomocí opacimetrů nepoužívá. Přesnost měřících přístrojů je zajišťována tak, že každý rok jsou opacimetry kalibrovány a seřizovány.

Odpovídají naměřené hodnoty direktivě EU?

**Ano.** Každý z měřených traktorů nepřesáhl maximální přípustnou hranici emisí výfukových plynů. Dále rozptýl čtyř hodnot měření nepřesáhl maximální dovolenou hodnotu  $0,25\text{m}^{-1}$ .

Jak uvádí BAŘINKA (2010), metodika měření emisí v České republice a v Evropské unii bude podléhat neustálému vývoji. A to hlavně kvůli divergentním požadavkům kladeným na parametry stávajících a moderních vznětových spalovacích motorů.

Podle mého názoru díky zpřísnění měření emisí od roku 2018 již nebude možné projít emisní kontrolou tak snadno jako v dřívějších letech.

To potvrzuje i fakt, že polovina emisních kontrolních stanic po měsíci ukončila svou činnost právě kvůli novým emisním pravidlům ([https://ekonomika.idnes.cz/emise-zplodiny-emisni-stanice-technicke-kontroly-stk-pf2-/ekonomika.aspx?c=A180210\\_165524\\_ekonomika\\_ek1](https://ekonomika.idnes.cz/emise-zplodiny-emisni-stanice-technicke-kontroly-stk-pf2-/ekonomika.aspx?c=A180210_165524_ekonomika_ek1), „staženo dne 31. 3. 2018“)

BAŘINKA (2010) také uvádí, že trend snižování emisí už nebude řešen dalším snižováním produkce výfukových plynů jako do této doby. Moderní vznětové motory již produkují škodlivé výfukové plyny v tak malém množství, že technickými řešeními takřka nejdou tyto hodnoty snížit. Trend se bude ubírat jiným směrem. Předpokládá se, že se například zakáže vjezd vznětových motorů do center velkých měst a posléze i do samotných měst, což už je v některých městech v dnešní době praktikováno.

VÍT (2010) také uvažuje, že směr vývoje motorů se již nebude zaobírat snižováním pevných částic a oxidů dusíku, ale výrobci se zaměří na snižování podílu oxidu uhličitého a také na snižování spotřeby paliva.

Co se týče zemědělství, podle mého názoru zde budou právě vznětové motory mít ještě mnoho let velké zastoupení. Někteří výrobci traktorů již sice představili jiná řešení pomocí alternativních paliv, ale jejich používání je velmi omezené a stále představuje pro zemědělce jistá úskalí, která ještě nejsou výrobci vyřešena.

Další otázkou, kterou bych v této diskuzi zmínil, je, proč výrobci motorů John Deere používají ke splnění nejpřísnějších emisních norem oba systémy, které tyto

normy jsou schopny splnit, konkrétně jak metodu recirkulace chlazených výfukových plynů, tak i metodu selektivní katalytické redukce.

Na tuto otázku odpovídá VIMR (2015). Ten vysvětluje, že při použití samotné technologie selektivní katalytické redukce, jako to praktikují ostatní výrobci motorů, je velká spotřeba ADBlue, jelikož motor produkuje velké množství oxidů dusíku. K další nevýhodám podle něj patří pomalá reakce motoru a také má tato technologie negativní dopad na spolehlivost motoru.

Zda je tedy metoda kombinace obou systémů, kterou se vydala firma John Deere, tou správnou cestou, nejspíše ukážou až tisíce motohodin najetých u těchto traktorů splňujících Stage IV a také Tier IV.

## 7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo popsat problematiku emisí u traktorů, definovat používané diagnostické systémy pro měření emisí výfukových plynů. Bylo zjištěno, že pro měření kouřivosti vznětových motorů se v České republice používá výhradně metoda pohltivosti světla, tzv. opacimetrie. Lze říci, že tato metoda není zcela přesná, ale pro měření kouřivosti na stanicích technické kontroly, tedy ke zjištění nezávadnosti spalování motoru a funkce výfukové soustavy, je naprosto dostačující.

Dále bylo cílem provést konkrétní měření. Měření proběhlo na traktorech John Deere řady 6 na modelech, který měly stejný zdvihový objem a každý splňoval jinou emisní normu. Z výsledků je patrné, že každý z traktorů emisní zkouškou prošel a splňují tak limitující direktivu Evropské unie. U modelů John Deere 6310 SE a 6115 M se však díky zvýšeným naměřeným hodnotám projevila závada v tvorbě směsi ve spalovacím prostoru. Měření emisí tak zároveň správně zafungovalo jako diagnostika funkce spalování.

Provedené měření ukázalo fakt, že direktiva ze strany ministerstev životního prostředí u zemí, kde jsou emisní limity zavedené, je tou správnou cestou. A to proto, že tento tlak opravdu výrobce motorů donutil snížit emise výfukových plynů na minimum. Závěrem bych chtěl říci, že by se již limity na vypouštění škodlivých plynů ze spalovacích motorů neměly zpříšňovat, aby tyto opatření nepřekročily únosnou mez, kterou jsou konstruktéři motorů schopni akceptovat a hlavně motory a jejich příslušenství vyrobit tak, aby další přísnější limity dokázaly splňovat. Jestli tato technická řešení, která konstruktéři museli na své traktory instalovat, neovlivní jejich spolehlivost, ukáže až čas. Budoucností dopravy i zemědělství je bezesporu používání alternativních paliv. Než však budou tyto technologie schopné nastoupit místo spalovacích motorů, to bude ještě nějaký čas bezpochyby trvat. Direktiva ministerstev životního prostředí by se měla přesunout na jiná odvětví, které škodí životnímu prostředí mnohem více než spalovací motory jako například produkce průmyslového odvětví.

## 8. Seznam použité literatury

- ADAMEC V. (2008): *Doprava, zdraví a životní prostředí*. Praha: Grada, 160 s. ISBN 8024721562
- BAŘINKA I. (2010): *Metody měření emisí vznětových motorů*. Bakalářská práce. Brno, Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta. Vedoucí práce: Ing. Martin Fajman, Ph.D., 59 s.
- BAUER F., SEDLÁK P., ŠMERDA T. (2006): *Traktory*. 1 vydání. Praha: Profi Press s.r.o. 192 s. ISBN 80-86726-15-0
- BAUER F., SEDLÁK P., ČUPERA J., POLCAR A., FAJMAN M., ŠMERDA T., KATRENČÍK J. (2013): *Traktory a jejich využití*. Praha: Profi Press, s.r.o. 224 s. ISBN 978-80-86726-52-6
- HEISLER H. (2002): *Advanced Engine Technology*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 794 s. ISBN 1-56091-734-2
- HROMÁDKO J., HÖNIG V., HROMÁDKO J., MILER P. *Spalovací motory*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2011. 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0
- JAN Z., ŽDÁNSKÝ B. (2007): *Automobily 4 – Příslušenství*. Avid s.r.o., 286 s. ISBN 80-90367-18-0
- STEHNO L., BENEŠ P., JAVOREK F., PÁNEK P., PAULOVÁ M. (2010): *Historie traktorů*. Praha: Profi Press, 311 s. ISBN 978808672 6359.
- ŠMERDA T., ČUPERA J., FAJMAN M. (2013): *Vznětové motory vozidel*. Brno: CPress, 136 s. ISBN 978-80-264-0160-5
- ŠMERDA T., ČUPERA J., FAJMAN M. (2015): Nový emisní limit. *Mechanizace zemědělství*, Praha: Profi Press s.r.o., vydání 65 (1), 76–79 s. ISSN 0373-6776
- ŠUTA M. (2008): *Účinky výfukových plynů z automobilů na lidské zdraví*. Plzeň: Děti Země, 30 s. ISBN 80-86678-10-5.
- TAKÁTS M. (1997): *Měření emisí spalovacích motorů*. Praha: České vysoké učení technické, 111 s. ISBN 80-01-01632-3
- VAŠKO R. (2011): *Plnění emisních norem u traktorových motorů*. Bakalářská práce. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce: doc. Ing. Radim Dundálek, Ph.D., 59 s.



VIMR F. in voice (2015): *Emisní limity u traktorů John Deere*. (přednáška) Týn nad Vltavou: Školení mechanizátorů a obsluh John Deere, Daňhel agro a. s. 20. 2. 2015

VÍT J. (2012): *Plnění emisních norem Stage IV u traktorových motorů*. Bakalářská práce. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce: doc. Ing. Radim Dundálek, Ph.D., 36 s.

VLK F. (2003): *Vozidlové spalovací motory*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc, 578 s. ISBN 80-238-8756-4

VOJKŮVKA F. (2010): *Návrh plicího systému motoru s uvažováním recirkulace výfukových plynů*. Diplomová práce. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce: doc. Ing. Radim Dundálek, Ph.D., 94 s.

#### **Internetové zdroje:**

<http://cistenebe.cz/index.php/slovnicek-pojmu/18-vyfukove-plyny>, „staženo dne: 18. 1. 2018“

<http://mechanizaceweb.cz/emise-traktorovych-motoru-a-jejich-odbouravani/>, „staženo dne: 19. 1. 2018“

<https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php> „staženo dne: 19. 1. 2018“

<https://www.flexamiauto.cz/teorie/> „staženo dne: 25. 1. 2018“

<https://www.dpf-ftg.cz/funkce-katalyzatoru> „staženo dne: 25. 1. 2018“

[www.autorevue.cz/filtry-pevnych-castic-aneb-dpf-1/4-druhy-dpf-jejich-plusy-a-minusy](http://www.autorevue.cz/filtry-pevnych-castic-aneb-dpf-1/4-druhy-dpf-jejich-plusy-a-minusy), „staženo dne: 25. 1. 2018“

<https://www.mmspektrum.com/clanek/snizovani-emisi-ve-vyfukovych-plynech.html>, „staženo dne: 26. 1. 2018“

[https://auto.idnes.cz/emise-rozdil-homologace-vs-stk-dzo-automoto.aspx?c=A150924\\_192351\\_automoto\\_vok](https://auto.idnes.cz/emise-rozdil-homologace-vs-stk-dzo-automoto.aspx?c=A150924_192351_automoto_vok) „staženo dne: 29. 1. 2018“

<http://johndeeredistributor.cz/Zahradni-technika/O-nas/O-John-Deere>, „staženo dne: 30. 1. 2018“

<https://www.deere.com/en/our-company/history/> „staženo dne 26.3.2018“

[https://ekonomika.idnes.cz/emise-zplodiny-emisni-stance-technicke-kontroly-stk-pf2-/ekonomika.aspx?c=A180210\\_165524\\_ekonomika\\_ekl](https://ekonomika.idnes.cz/emise-zplodiny-emisni-stance-technicke-kontroly-stk-pf2-/ekonomika.aspx?c=A180210_165524_ekonomika_ekl) „staženo dne 31.3.2018“