



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

# PLNĚNÍ EMISNÍCH NOREM U TRAKTOROVÝCH MOTORŮ

EMISSION LEVELS FOR TRACTOR ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

ROMAN VAŠKO

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Roman Vaško

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

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

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

### **Plnění emisních norem u traktorových motorů**

v anglickém jazyce:

### **Emission Levels for Tractor Engines**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení základních pojmů zadané problematiky. Zamyšlení nad budoucností a smyslem snižování množství škodlivých sloučenin ve výfukových plynech spalovacích motorů.

Cíle bakalářské práce:

Popis emisních limitů platných pro traktorové motory. Vytvoření přehledu různých technologií sloužících pro snížení škodlivin ve výfukových plynech. Příklady instalace do vozidel.

Seznam odborné literatury:

- [1] Exhaust Systems for Motor Vehicles : Catalytic Converters for Otto Cycle Engines.  
Landsberg/Lech : Verlag Moderne Industrie, 2001. 70 s.  
[2] Internet

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 23.11.2011

L.S.

---

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty



## ABSTRAKT

Předkládaná bakalářská práce se zabývá emisními normami traktorových motorů. V posledních letech dochází obecně k jejich zpřísnění. Úvodní pasáž práce je věnována popisu konkrétních škodlivin, které jsou exhalovány do ovzduší. Druhá část práce se zabývá nově zaváděnými normami Tier 4i (Stage IV). Technologie úprav motorů pro splnění nových předpisů jsou předmětem třetí části. Poslední kapitoly se zabývají přehledem největších výrobců traktorů, včetně tuzemského výrobce Zetor a jejich přístupu k problematice emisí.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Emise traktorových motorů, emisní složky, emisní limity, Tier, Stage, technologie SCR, SCR katalyzátor, močovina, roztok AdBlue, CEGR + DPF, výfukové filtry, Tier 4i, Tier 4 konečná verze, Stage IV.

## ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the emission standards of tractor engines. There is a tightening of standards in recent year generally. The former part of the thesis contains description of specific pollutants that are exhaled into the air. The second part is focused on newly presented Tier 4i standards (Stage IV). The third part includes technologies, which provide engines to meet new regulations. The last chapters deal with an overview of the largest manufacturers of tractors, including Zetor, and their approach to emissions.

## KEYWORDS

Emission standards for mobile nonroad diesel engines, emission parts, emission limits, Tier, Stage, SCR technology, SCR catalytic converter, urea, AdBlue solution, CEGR + DPF, exhaust filters, Tier 4i, Tier 4 Final, Stage IV.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

VAŠKO, R. *Plnění emisních norem u traktorových motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 59 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 23. května 2012

.....

Roman Vaško



## **PODĚKOVÁNÍ**

V této části bych rád poděkoval vedoucímu předkládané bakalářské práce panu Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D., za jeho pomoc a rady v průběhu tvoření této práce. Dále děkuji zaměstnancům distributorských firem, kteří mi ochotně poskytli informace k dané problematice.



## OBSAH

Úvod .....	10
1 Problematika emisí .....	11
1.1 Emisní složky .....	12
1.1.1 Oxid uhelnatý (CO) .....	12
1.1.2 Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> ) .....	12
1.1.3 Oxidy dusíku (NO <sub>x</sub> ) .....	12
1.1.4 Nespálené uhlovodíky (HC) .....	12
1.1.5 Oxidy síry (SO <sub>x</sub> ) .....	13
1.1.6 Pevné částice (PM) .....	13
1.1.7 Olovo (Pb) .....	13
1.2 Mechanismus vzniku škodlivin .....	13
1.2.1 Vznik oxidu uhelnatého .....	13
1.2.2 Tvorba oxidů dusíku .....	14
1.2.3 Produkce nespálených uhlovodíků .....	14
1.2.4 Produkce pevných částic .....	15
1.3 Úpravy vznětových motorů pro snížení emisí .....	15
1.3.1 Úpravy na vstupu motoru .....	15
1.3.2 Úpravy u motoru .....	15
1.3.3 Úpravy na výstupu motoru .....	16
2 Emisní limity traktorových motorů .....	17
2.1 Evropské emisní normy .....	17
2.1.1 Stage I/II .....	17
2.1.2 Stage III/IV .....	18
2.2 Americké emisní normy .....	19
2.2.1 Normy Tier 1–3 .....	19
2.2.2 Normy Tier 4 .....	20
3 Technologie dosažení emisních limitů .....	23
3.1 CEGR + DPF .....	23
3.1.1 Nevýhody CEGR + DPF .....	24
3.1.2 Výhody technologie CEGR + DPF .....	24
3.2 SCR .....	25
3.2.1 Nevýhody technologie SCR .....	25
3.2.2 Výhody technologie SCR .....	25
3.3 Závěrem .....	27
4 Výrobci traktorů a jejich řešení emisí Stage IIIB .....	28





4.1	ZETOR.....	28
4.1.1	Technologie pro splnění limitů podrobněji .....	28
4.2	John deere .....	30
4.2.1	Kombinovaný postup.....	30
4.3	JCB Fastrac .....	34
4.4	Case.....	36
4.5	Valtra .....	39
4.6	Massey Ferguson .....	42
4.6.1	Nový systém SCR 2. generace .....	42
4.7	New Holland .....	45
4.8	Fendt .....	49
5	Výrobci a jejich návrhy pro normy Stage IV .....	52
5.1	Stage IV pro John Deere .....	52
5.1.1	Řešení pro motory malých výkonů.....	52
5.1.2	Řešení pro motory velkých výkonů.....	52
5.2	Case.....	55
5.3	Výrobce motorů AGCO SISU Power .....	55
	Závěr.....	56
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	59



## ÚVOD

V důsledku zvýšení požadavků na ochranu životního prostředí se problematika emisí obecně stala aktuální. Emisní limity spalovacích motorů se řadí mezi často kladené otázky. V minulosti byla pozornost věnována především osobní a nákladní dopravě, na nesilniční vozidla nebyly kladeny zvláštní požadavky.

Od roku 1996 byly vytvořeny normy, které upravují produkci výfukových plynů právě u nesilničních vozidel. Tato kategorie se vztahuje na samojízdné pracovní stroje, traktory, případně na lodní a drážní motory. Normy pro tato vozidla jsou označovány odlišně od vozidel silničních. V USA a Severní Ameriku jsou normy značeny jako „Tier“, v Evropě jako „Stage“. Z hlediska složení emisí je kladen důraz na snížení nezdravých a karcinogenních látek, které jsou produkovány při nedokonalém spalování.

V posledních několika letech dochází k intenzivní diskuzi o podobě norem a jejich konkrétním změnám. Hlavním důvodem je nutnost funkčního zavedení nových, přísnějších limitů, především na pevné částice a oxidy dusíku. Tyto požadavky podstatně ovlivní samotnou konstrukci spalovacích motorů, přičemž výrobci nebudou při řešení omezováni, jakou cestu zvolí, aby tyto limity splnili.

Cílem předkládané bakalářské práce bude tuto problematiku podrobněji rozebrat. Prostor bude věnován samotným emisím, emisním limitům i různým způsobům snižování emisí a dosažení již zmíněných limitů u vznětových motorů, které v zemědělství dominují.



# 1 PROBLEMATIKA EMISÍ

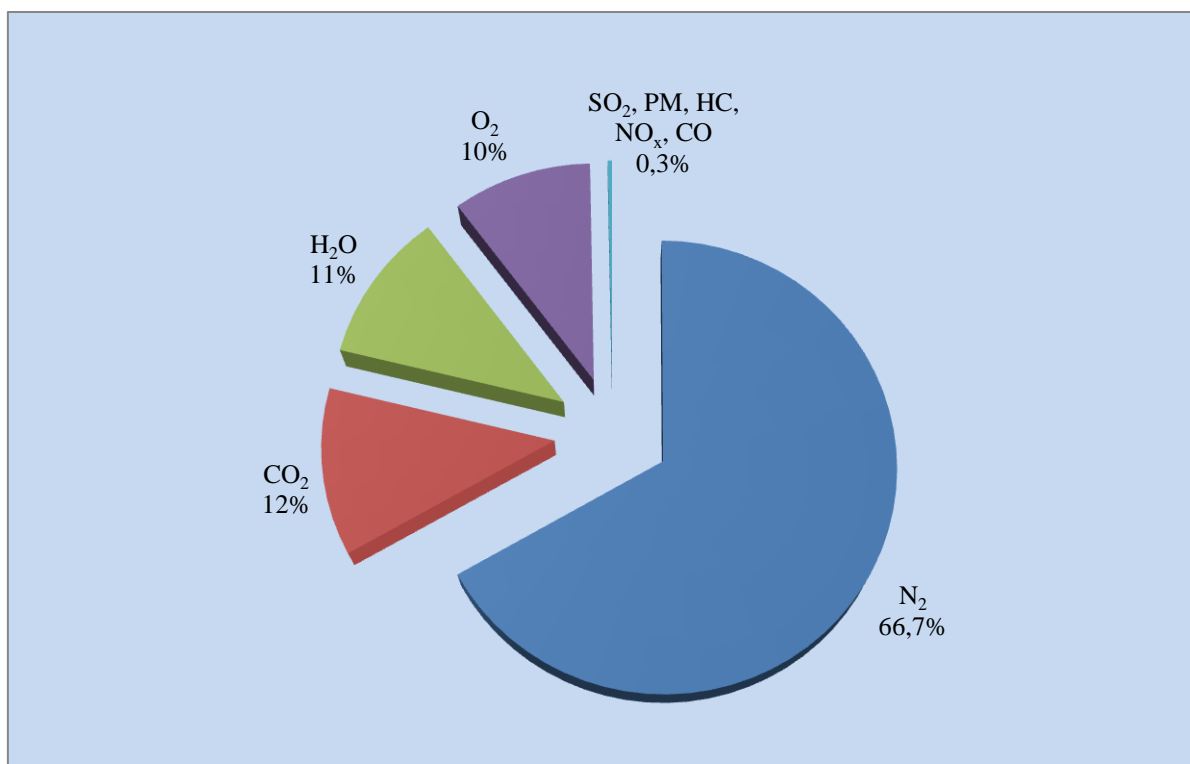
První kapitola zahrnuje samotnou problematiku emisí, jednotlivými emisními složkami, mechanismy vzniku škodlivin a úpravami motorů ke snížení emisí.

Při spalování uhlovodíkových paliv vzniká při dokonalé oxidaci oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) a voda ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Při nedokonalé oxidaci jsou přítomny oxid uhelnatý ( $\text{CO}$ ) a vodík ( $\text{H}_2$ ). V případě vznětových motorů se objevuje ve výfukovém potrubí i kyslík ( $\text{O}_2$ ), neboť motor pracuje s přebytkem vzduchu.

Mezi nejvýznamnější složky spalin patří dusík ( $\text{N}_2$ ). Za vysokých teplot ve spalovacím prostoru vznikají oxidací vzdušného dusíku oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), které zastupuje zejména oxid dusnatý ( $\text{NO}$ ). Dále v nižší míře oxid dusičitý ( $\text{NO}_2$ ) a oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Při velmi nepříznivých podmínkách pro oxidaci paliva vznikají nespálené uhlovodíky ( $\text{HC}$ ).

Při úplném nepřístupu vzduchu (uvnitř kapičky kapalného paliva) nastává při vysoké teplotě dekompozice molekul uhlovodíků, jejímž výsledkem je přítomnost pevného uhlíku (sazí) ve spalinách. S výfukovými plyny odchází z motoru velmi malé množství dalších pevných částic ( $\text{PM}$ ), např. vysokomolekulové produkty tepelného poklesu mazacího oleje, prach, popel, částičky rzi atd.

Dalším prvkem může být síra, která je obsažena v některých uhlovodíkových palivech. Vytváří při spalování v motoru oxidy síry, které se následně objevují ve spalinách. [1]



Obr. 1.1 Složení výfukových plynů [1]



## 1.1 EMISNÍ SLOŽKY

### 1.1.1 OXID UHELNATÝ (CO)

Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu, lehčí než vzduch, nedráždivý, výbušný. Váže se na hemoglobin (krevní barvivo) 200-300 krát rychleji než kyslík, který je tímto způsobem vytěšňován, tím je zabráněno přenosu vzduchu z plic do tkání – je jedovatý. Vzniká při nedokonalém spalování uhlovodíků. V normálních koncentracích v ovzduší poměrně brzo oxiduje na oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>). [1]

### 1.1.2 OXID UHLIČITÝ (CO<sub>2</sub>)

Jedná se o produkt dokonalé oxidace a jeho přítomnost ve spalinách je důsledkem kvalitně uskutečněného spalovacího procesu. Je bezbarvý, bez zápachu, velmi stabilní a málo reaktivní. Škodlivě působí na lidský organismus, až když jeho koncentrace ve vdechovaném vzduchu začne vytěšňovat kyslík.

CO<sub>2</sub> patří mezi tzv. skleníkové plyny, které způsobují vznik radiační clony, omezující sdílení tepla země s okolím. [1]

### 1.1.3 OXIDY DUSÍKU (NO<sub>x</sub>)

Samotná škodlivost oxidu dusnatého na živý organismus není brána jako závažná. Po delší době v atmosféře dochází k reakci a mění se na oxid dusičitý, jehož škodlivost je klasifikována jako závažnější. Při vdechování se na stěnách sliznice tvoří kyselina dusičná (HNO<sub>3</sub>). Dýchací soustava reaguje na vdechování HNO<sub>3</sub> jako na začínající hoření a automaticky přivírá přístup vzduchu do plic. Důsledkem toho je pocit dušení a nucení ke kašli. Tento nežádoucí jev nastává již při velmi nízkých koncentracích, resp. při krátkých expozičních dobách. Oxidy dusíku se výrazně podílejí na tvorbě letního smogu. Spolupodílejí se též na tvorbě kyselých dešťů.

Řešením redukce oxidů dusíku je např. katalytická redukce pomocí aditiva AdBlue. [1]

### 1.1.4 NESPÁLENÉ UHLOVODÍKY (HC)

Tyto látky jsou směsí různých skupin uhlovodíků, které vstupují jako palivo do oxidačního procesu nebo vznikají v průběhu spalování paliva ve válci motoru. K méně škodlivým obvykle patří některé původní skupiny uhlovodíkového paliva, větší škodlivost (někdy až extrémní) vykazují potom ty druhy uhlovodíků, které vznikají jako meziprodukty oxidace původních uhlovodíkových molekul, u kterých vlivem různých okolností proběhne cyklus oxidačních reakcí pouze zčásti (např. účinkem ochlazení v blízkosti stěn válce). Některé meziprodukty oxidačních reakcí patří do skupiny rakovinotvorných látek a jejich škodlivost je potom navíc mimořádná ve spojení s pevnými částicemi ve výfukovém potrubí (nespálené uhlovodíky se váží na pevné částice a vdechováním se dostávají do lidského organismu).



Z plynných škodlivin se z celé řady nespálených či částečně zoxidovaných uhlovodíků považují za nejnebezpečnější polycyklické aromatické uhlovodíky (např. benzpyren 3,4), jejichž škodlivost je zesílena zmíněnou vazbou na povrch emitovaných pevných částic. Ze skupiny částečně zoxidovaných uhlovodíků se ve výfukových plynech vyskytují skupiny aldehydů R-CHO, které vznikají zejména v procesu přeoxidovaných reakcí a jejichž existence se často spojuje s nižším teplotním režimem motoru (např. po spuštění studeného motoru, v nízkém zatížení motoru apod.). Aldehydy způsobují charakteristický zápach výfukových plynů. Nespálené uhlovodíky působí v lidském organismu škodlivě na sliznice, vedou k poruchám podmíněných reflexů a poškozují dýchací cesty. [1]

### 1.1.5 OXIDY SÍRY (SO<sub>x</sub>)

K produkci těchto sloučenin dochází hlavně u vznětových motorů. Podíl emisí plynoucích ze spalovacích motorů je na celkovou produkci zanedbatelný, neboť obsah síry v motorové naftě neustále klesá. [1]

### 1.1.6 PEVNÉ ČÁSTICE (PM)

Pevné částice jsou produkovány výhradně u vznětových motorů. Obsahují primární uhlík, organický uhlík a malé množství sulfátu, dusíku, vody a další neidentifikovatelné složky. Obsah základního uhlíku se blíží k 75 %. Nicméně složení je závislé na typu motoru a na dodatečných zařízeních, např. filtru pevných částic. Jádro částic se skládá z pevného uhlíku a popele. Organické a sulfátové směsi a další prvky jsou sorbované na povrch jádra během koagulace, adsorpce a kondenzace částic.

Krátkodobá expozice může způsobit podráždění oka, jícnu, průdušek, neurofyziologické symptomy, např. nucení ke zvracení a dýchací potíže. Pevné částice jsou velmi malé co do velikosti, většina je menších než 1 μm a více než 90% může být ultra malých < 0,1 μm. V některých případech se vyskytují částice menší než 50 nm. PM mají velký povrch, který může absorbovat různorodé směsi, jež mohou být toxické, mutagenní a karcinogenní, např. polycyklické aromatické uhlovodíky. [1]

### 1.1.7 OLOVO (Pb)

Olovo je těžký a jedovatý kov. Dnes již se v palivech nevyskytuje, jeho mazací schopnosti byly nahrazeny aditivami. [1]

## 1.2 MECHANISMUS VZNIKU ŠKODLIVIN

### 1.2.1 VZNIK OXIDU UHELNATÉHO

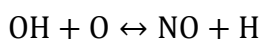
U vznětových motorů vzniká vesměs při nedokonalém spalování uhlovodíků. Koncentrace CO jsou desetinové ve srovnání se zážehovými motory. K výraznějšímu nárůstu dochází



v oblastech vyššího zatížení, ale dříve než se projeví nárůst emisí CO, je dosažena hranice kouře, na kterou se nastavuje maximální dávka paliva dorazem regulační tyče vstřikovacího čerpadla. Nejvyšší produkce CO se tvoří u spalovacích systémů s tvorbou směsi ze stěny při nízkém zatížení (běh naprázdno). Tvorba směsi je nepříznivě ovlivněna nízkou teplotou stěny. [1]

### 1.2.2 TVORBA OXIDŮ DUSÍKU

Vznik NO je velmi závislý na teplotě. Tvorba plynu je popsána Zeldvičovou řetězovou rovnicí. [1]



Reakce mohou probíhat i obráceně, v závislosti na okamžitých koncentracích volných radikálů N, O, H a teplotě reakce. K tvorbě je zapotřebí vysokých teplot (1900–2000 °C) a dostatku času, jinak tyto reakce zamrzají a nedojde k tvorbě oxidů dusíku.

Nejvyšších teplot se dosahuje spalováním mírně bohatých směsí. Podmínkou vysokých koncentrací NO<sub>x</sub> je však kromě vysoké teploty také dostatečný obsah kyslíku. Z tohoto důvodu je maximum koncentrace NO<sub>x</sub> při  $\lambda = 1,05$ –1,1.

U vznětových motorů je výskyt NO<sub>x</sub> nižší ve srovnání se zážehovými (při optimalizaci z hlediska energetických vlastností). Důvodem je větší přebytek vzduchem. S rostoucím přebytkem vzduchu jejich koncentrace klesá vlivem zředění přebytečným vzduchem a poklesem spalovacích teplot. Přesto patří k problematickým škodlivinám s ohledem na plnění zákonných předpisů. U komůrkových motorů jsou emise NO<sub>x</sub> nižší než u přímo vstřikových motorů vlivem výraznějšího vrstvení směsi a pomalejší rychlosti hoření. [1]

### 1.2.3 PRODUKCE NESPÁLENÝCH UHLOVODÍKŮ

Nespálené uhlovodíky jsou obsaženy ve výfukových plynech. Vznikají v důsledku předčasně zastavených oxidačních reakcí v některých zónách spalovacího prostoru (nejčastěji na chladnějších stěnách válce) nebo vynecháním či poruchou spalování. Na obsah nespálených uhlovodíků má značný vliv teplotní režim motoru, konstrukce spalovacího prostoru, konstrukce pístu (tzv. „zhašecí prostory“ s určujícím činitelem výšky uložení 1. pístního kroužku) a samozřejmě bohatost směsi. Optimální směšovací poměr z hlediska obsahu HC je v oblasti chudé směsi při přebytku vzduchu  $\lambda = 1,1$ –1,2. Nižší i vyšší součinitel přebytku vede ke zvyšování koncentrace HC ve výfukových plynech. [1]



### 1.2.4 PRODUKCE PEVNÝCH ČÁSTIC

Primární uhlík se tvoří při spalování neodpařených kapek paliva v prostředí s vysokou teplotou a při extrémně nízkých lokálních hodnotách přebytku vzduchu. Emise PM tedy souvisí zejména s kvalitou rozprášení paliva při jeho vstřikování do válce. Je zřejmé, že přísun kyslíku k částicím paliva se zlepšuje se zvětšováním celkového množství vzduchu, proto se emise částic snižuje s jeho rostoucí hodnotou.

Organické složky pevných částic (SOF – Soluble organic fraction) pocházejí z nespáleného paliva, motorového oleje, z produktů částečného spalování a pyrolýzy (tepelného rozkladu). SOF vznikají v případě, že je nespálené palivo a mazací olej uvězněn ve štěrbinách válce nebo v chladných bodech uvnitř válce bez možnosti oxidace nebo pyrolýzy. Při vysokých teplotách ve výfukovém potrubí jsou tyto směsi v plynné formě, ale při zchlazení a zředění některé z méně těkavých organických sloučenin mohou sorbovat na povrch částic. Jestliže je málo adsorpčních míst, organické sloučeniny mohou kondenzovat např. kyselinu sírovou a tvořit jádra nanočástic.

Tvoření sulfátů závisí na obsahu síry v palivu a v mazacím oleji. Většina síry je emitována jako  $\text{SO}_2$ , jen 2–3 % jsou přeměněna na  $\text{SO}_3$ . Použitím přídavných oxidačních zařízení (oxidační katalyzátor) dojde k oxidaci zhruba 70 %  $\text{SO}_2$  na  $\text{SO}_3$ . [1]

## 1.3 ÚPRAVY VZNĚTOVÝCH MOTORŮ PRO SNÍŽENÍ EMISÍ

### 1.3.1 ÚPRAVY NA VSTUPU MOTORU

Při tvorbě směsi ve válci je důležitý optimální návrh plnicí soustavy motoru. Cílem je vytvoření řízeného pohybu náplně válce, obvykle ve tvaru tečné rotace. Tento požadavek nabývá na důležitosti s nižšími energiemi vstřiku paliva do válce (horší rozprášení paliva), nižším počtem vstřikovacích otvorů trysky a u motorů s atmosférickým plněním (vlivem nižších rychlostí nátoky vzduchu do válce nižší turbulentní energie proudu). Cílem je zajištění co nejkratší doby pro promísení paliva se vzduchem ve válci. U přeplňovaných motorů záleží na stupni přeplnění a na případném mezichlazení plnicího vzduchu. [1]

### 1.3.2 ÚPRAVY U MOTORU

Volba způsobu tvoření směsi již sama o sobě ovlivňuje emise škodlivin. Existují různé vlivy ovlivňující množství škodlivin. Mezi ně patří způsob přívodu dávky paliva (jednotná dávka nebo rozdělená dávka), značný vliv má úhel předstřiku paliva. Pozdějším vstřikem paliva můžeme snižovat emise  $\text{NO}_x$ , což se často využívá pro splnění emisních limitů, ale současně se zvyšuje spotřeba paliva. Proto výhoda motorů s přímým vstřikem paliva zaniká před komůrkovými motory. Navíc se zvyšuje kouřivost motoru a emise CO. V případě přeplňovaných motorů může pomoci ke snížení obsahu oxidů dusíku mezichlazení plnicího vzduchu.

V otázce nespálených uhlovodíků lze ovlivnit jejich produkování provedením vstřikovací soustavy a trysky. Snahou je zabránění dostřiku paliva po skončení výstřiku a zmenšení



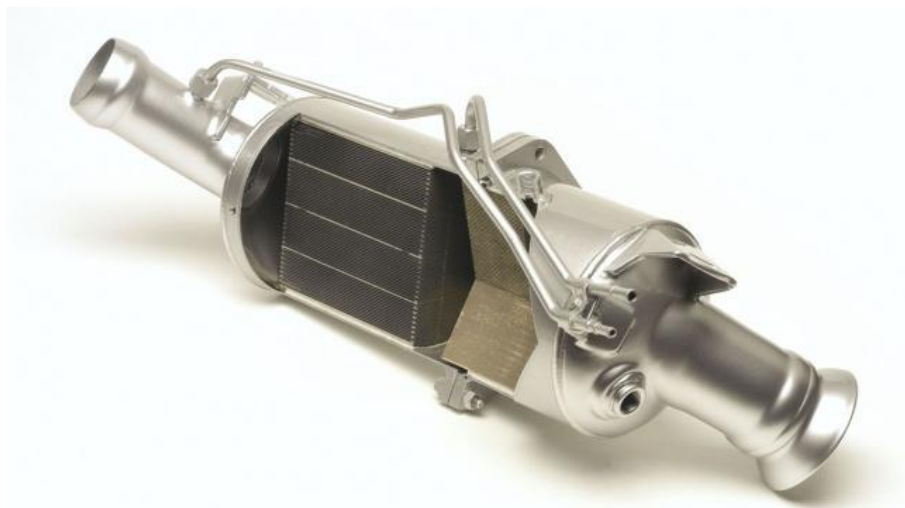
škodného prostoru pod sedlem jehly trysky. Výhodou je umístění otvorů přímo v sedle trysky, čímž lze dosáhnout snížení emisí HC o 75 %.

Kouřivost motoru je ovlivněna hlavně přebytkem vzduchu a rozprášením paliva při vstřiku do válce. Jemnějšího rozprášení paliva se docílí vyššími vstřikovacími tlaky, které jsou umožněny moderními vstřikovacími systémy.

Pro snížení emisí  $\text{NO}_x$  se uplatňuje systém vnější recirkulace výfukových plynů EGR. Tento systém bývá užíván v kombinaci s chlazením označen jako CEGR. Princip spočívá v náhradě nadbytečného vzduchu s obsahem kyslíku výfukovými spalinami. Tento proces je však závislý na provozu a zatížení motoru. Při nízkých zatíženích lze recirkulovat velké procento výfukových plynů, které nesmějí být tak velké, aby nedošlo k překročení směšovacího poměru na hranici kouřivosti. Kouřivost roste se zvyšováním podílu výfukových plynů. Nemůžeme tedy používat recirkulaci v oblasti plného zatížení, kde je produkce emisí oxidů dusíků nejvyšší. [1]

### 1.3.3 ÚPRAVY NA VÝSTUPU MOTORU

Vznětové motory mohou pracovat pouze s oxidačními katalyzátory, které se užívají spíše u osobních automobilů. Tyto katalyzátory snižují obsah CO a HC. Ke snížení obsahu PM se musí použít speciální filtry (filtry pevných částic DPF). V současné době se objevuje další možnost snižování obsahů  $\text{NO}_x$  a to pomocí selektivní katalytické redukce SCR, kde se užívá redukčního činidla. V zemědělství nebo v dopravě, kde se užívají motory vyšších výkonů, výrobci užívají technologie CEGR, DPF a SCR samostatně, nebo v kombinaci, aby dosáhli předepsaných emisních limitů. [1]



Obr. 1.3 Příklad katalyzátoru DPF [4]





## 2 EMISNÍ LIMITY TRAKTOROVÝCH MOTORŮ

Již v úvodu této práce bylo zmíněno, že důraz bude kladen na normy Tier a Stage, které se vztahují k traktorovým motorům. V následujících dvou podkapitolách budou postupně rozebrány.

### 2.1 EVROPSKÉ EMISNÍ NORMY

Evropské emisní normy pro diesellové motory byly zpracovány do několika úrovní známých jako Stage I až Stage IV.

#### 2.1.1 STAGE I/II

První evropské právní předpisy upravující emise pracovních strojů byly vyhlášeny 16. prosince 1997. Jednalo se vydanou směrnicí 97/ 68/ ES. Omezení pro diesellové motory byly představeny ve dvou etapách. Stage I vešla v platnost v roce 1999 a Stage II byla implementována od roku 2001 do roku 2004, v závislosti na výkonu motoru.

Tyto předpisy se vztahovaly na širokou škálu strojů pro stavební, zemědělské a další účely, přičemž všechny tyto stroje měly společné předpisy, pouze u zemědělských a lesnických traktorů byly jiné lhůty pro provedení (směrnice 2000/ 25/ ES).

Dne 9. prosince 2002 přijal Evropský parlament směrnicí 2002/ 88/ ES, která změnila směrnicí 97/ 68/ ES ve smyslu přidání emisních předpisů pro malé, benzínové motory do výkonu 19 kW, užívané pro pohon účelových strojů. Směrnice rovněž rozšířila uplatnění Stage II pro motory pracující při konstantních otáčkách. Emise pro malé užitkové motory byly do značné míry sjednoceny s americkými emisními standarty.

Tabulka na obr. 2.1 udává hodnoty emisí motorů pro normy Stage I a Stage II, které nesmí být přesáhnuty. Uvedené lhůty platí pro motory, které byly uvedeny na trh po tomto datu. [6]

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

Obr. 2.1 Emisní hodnoty EU Stage I/II [8]



### 2.1.2 STAGE III/IV

Emisní předpisy Stage III/IV pro stroje byly přijaty Evropským parlamentem dne 21. dubna 2004 (Směrnice 2004/26/EC). Pro zemědělské a lesnické traktory 21. února 2005 (Směrnice 2005/ 13 /ES).

Dvě další směrnice byly přijaty v roce 2010. Směrnice 2010/ 26/ EU, která přináší další technické podrobnosti o testování a schválení motorů Stage IIIB a Stage IV. Směrnice 2010/ 22/ EU mění předchozí právní předpisy vztahující se na zemědělské a lesnické traktory.

Předpisy Stage III, které jsou dále rozděleny na Stage IIIA a Stage IIIB, jsou postupně zaváděny od roku 2006 do roku 2013. Stage IV vstoupí 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. Výjimkou jsou motory pro pohon v oblasti železnic a vnitrozemských vodních cest.

Následující tabulka na Obr. 2.2 udává podrobné hodnoty pro normy Stage IIIA, Stage IIIB a Stage IV. Taktéž se vztahuje na motory, které byly uvedeny na trh po uvedených datech. [6]

Power $P_n$ kW	NO <sub>x</sub> g/kWh	HC g/kWh	CO g/kWh	Particulates g/kWh	Date*
	NO <sub>x</sub> + 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

Obr. 2.2 Emisní hodnoty EU Stage III/IV [8]

Stage III/IV také zahrnují limity pro emise amoniaku, které nesmí překročit v průměru 25 ppm v průběhu zkušebního cyklu.

Stage IIIB představuje limit pro pevné částice o hodnotě 0,025 g/kWh, což představuje snížení o 90 % těchto emisí oproti Stage II. Pro splnění těchto limitů se předpokládá, že motory budou muset být vybaveny filtry pevných částic. Stage IV také zavádí velmi přísné



limity pro NO<sub>x</sub> v hodnotě 0,4 g/kWh, pro splnění bude nutná úprava výfukového systému (např. systém SCR nebo ERG, případně CERG). [6]

## 2.2 AMERICKÉ EMISNÍ NORMY

Probírané normy Tier 1 až Tier 4 se vztahují na Severní Ameriku a USA.

### 2.2.1 NORMY TIER 1–3

První federální normy (Tier 1) pro nové dieselové motory byly přijaty v roce 1994. Pro motory nad výkon 37 kW byly postupně zaváděny od roku 1996 až 2000. V roce 1996 EPA (Agentura pro ochranu životního prostředí) uzavřela dohodu s výrobcí motorů (Caterpillar, Cummins, Deere, Detroit Diesel, Isuzu, Komatsu, Kubota, Mitsubishi, Navistar, New Holland, Mdr-Con a Yanmar). Později došlo k postupnému rozšiřování normy Tier 1 na celou škálu výkonů motorů. Od roku 2001 do roku 2008 došlo k rozšíření norem Tier 2 a Tier 3. Tyto normy jsou splněny díky pokročilé konstrukci motoru, bez nebo s omezeným užitím zařízení upravující výfukové plyny. Normy Tier 3 pro NO<sub>x</sub> + HC jsou v přísnosti dosti podobné normám pro silniční motory, nicméně Tier 3 pro limity PM 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 platili do roku 2008. [7]

Na obr. 2.3 je znázorněna tabulka s hodnotami emisí pro normy Tier 1 až Tier 3



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

Obr. 2.3 Hodnoty emisí EPA Tier 1-3 [8]

## 2.2.2 NORMY TIER 4

Dne 11. května 2004 odsouhlasila společnost EPA zavedení zatím posledních norem Tier 4, které mají být postupně zaváděny v období roku 2008–2015. Tier 4 normy vyžadují snížení PM o 90 % a NO<sub>x</sub> o zhruba 50 %. Takové snížení emisí lze dosáhnout pomocí řízených technologií úpravy výfukových plynů. [7]

Následující obrázky obr. 2.4 a obr. 2.5 zobrazují přehled hodnot emisí pro překlenovací a pro konečnou verzi norem Tier 4.



Power $P_n$ kW	NO <sub>x</sub> g/kWh	HC* g/kWh	CO g/kWh	Particulates g/kWh	Date 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

Obr. 2.4 Hodnoty emisí EPA Tier 4i [8]

Power $P_n$ kW	NO <sub>x</sub> g/kWh	HC g/kWh	CO g/kWh	Particulates g/kWh	Date as of MY
	NO <sub>x</sub> + NMHC				
<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

Obr. 2.5 Hodnoty emisí EPA Tier 4 [8]

\* Ručně spouštěcí, vzduchem chlazené přímo vstřikové motory mohou být certifikovány pro normy Tier 2 přes rok 2009 a dle obsahu PM do 0,6 g/kWh.

\*\* PM/CO: plný soulad od roku 2012  
NO<sub>x</sub>/HC:

- Varianta 1 (Pokud se užijí zbylé Tier 2) – 50% motorů musí být v souladu 2012-2013.
- Varianta 2 (Nezůstaly žádné Tier 2) – 25% motorů musí být v souladu mezi roky 2012-2014, v plném souladu od 31. prosince 2014.

\*\*\* PM/CO: v plném souladu od roku 2011; NO<sub>x</sub>/HC: 50% motorů musí odpovídat mezi roky 2011-2013. [8]



Dosud platné normy adresovaly početné množství škodlivin, ovšem nejvíce pozornosti si zasloužily emise PM a NO<sub>x</sub>. Oxidy dusíku přispívají k tvorbě smogu, zatímco pevné částice způsobují rakovinu a alergie.

Pro konstruktéry není velký problém snížit produkci pevných částic. Bohužel následkem toho je zvýšení produkce oxidů dusíků. Toto platí i naopak. Cestou k řešení tohoto problému je úprava výfukových plynů za motorem.

V předchozí kapitole byly zmíněny technologie SCR a CEGR + DPF. Tyto technologie jsou nutné pro dosažení limitů Tier 4. Výrobci se vydali dvojitou cestou. Buďto sníží tvorbu oxidů dusíků a z výfukových plynů odchyťávají PM pomocí filtrů (CEGR + DPF), nebo sníží produkci PM a následně pomocí katalytické redukce (SCR) sníží obsah NO<sub>x</sub>. Tyto technologie budou podrobněji rozebrány v následující kapitole. [5]



### 3 TECHNOLOGIE DOSAŽENÍ EMISNÍCH LIMITŮ

V této kapitole budou podrobněji probrány systémy, které upravují hodnoty emisí u traktorových motorů. U každého systému budou uvedeny výhody a nevýhody.

#### 3.1 CEGR + DPF

Zkratka CEGR označuje zařízení recirkulace a chlazení výfukových plynů (Cooled Exhaust Gas Recirculation nebo také Cooled ERG). V souvislosti s tímto zařízením pracují také další systémy: systém proměnného vstřikování paliva pod vysokým tlakem, řízení turbodmychadel, elektronický systém řízení motoru a úpravou výfukových plynů za pomoci filtru pevných částic DPF.

Tento systém recirkulace pracuje na principu snižování obsahu kyslíku ve spalovací komoře, díky tomu snižuje maximální teplotu hoření a tím i tvorbu oxidů dusíku – hlavního požadavku nových limitů.

DPF filtr se vyrábí z karbidu křemíku, který se nachází pod kovovým opláštěním. Tento filtr plní zároveň i funkci tlumiče. Obsahuje soustavu kanálků s póry na povrchu, kde dochází k zachycování pevných částic. PM se po zachycení uchovávají po určitou dobu. Jakmile dojde k nahromadění kapacity filtru, spustí se proces regenerace filtru. Při této tepelné regeneraci dochází ke spálení nahromaděných částic za teplot přesahujících 700 °C. Proces regenerace bývá alespoň částečně zautomatizován, aby usnadnil řidiči provoz stroje.

Regenerace může být pasivní, aktivní nebo kombinací obojího. Pasivní regenerace probíhá samovolně v případě, že je motor ve větší zátěži a teplota spalin se zvýší na 500–550 °C. Teplota spalin pro pasivní regeneraci může být snížena asi o 100 °C užitím filtru s katalytickým povlakem. Tato varianta se užívá u motorů, které mají po celou dobu dostatečnou zátěž a teplotu spalin, která neklesá pod uvedené hodnoty. V opačném případě musí nastoupit aktivní regenerace, která probíhá za vysokých teplot a spalování je podpořeno přidáním většího množství paliva.

U pracovních strojů a traktorů nelze spoléhat na pasivní regeneraci z důvodu možnosti nepravidelného provozu, případně krátkodobého provozu nebo provozu při nízkých otáčkách. Tudíž není dosahováno potřebné teploty a musí se užívat regenerace aktivní.

Technologie CEGR + DPF vyžaduje pro svou činnost užívání nafty, která obsahuje méně než 0,15 % síry, což v Evropě ani v USA není žádný problém. Navíc je důležité dbát na užívání motorových olejů, které jsou pro tento provoz určeny. Předepsaný olej omezuje usazování PM ve filtru a prodlužuje čas mezi jednotlivými regeneracemi.

Dnešní moderní traktory jsou vybaveny elektronickými řídicími jednotkami, které musí zvládat řízení jednotlivých procesů. Jedním z úkonů je řídit proces recirkulace – správně dávkovat množství výfukových plynů pro smíchání s čistým vzduchem tak, aby se příliš nesnižoval výkon motoru a nedocházelo k většímu zvýšení spotřeby paliva, než je nutné. [5]



### 3.1.1 NEVÝHODY CEGR + DPF

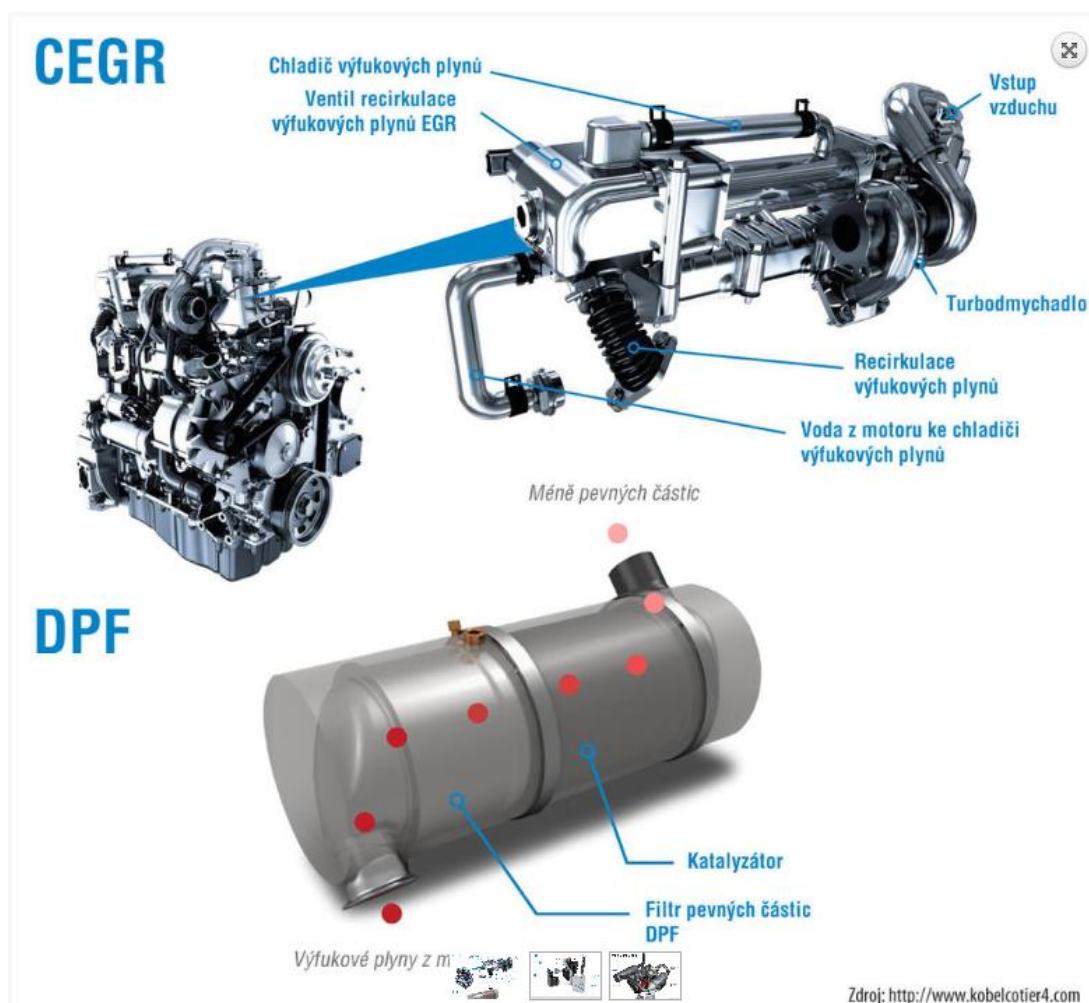
Nevýhodou je filtr DPF, který tvoří ve výfukovém systému překážku. Dochází ke snížení výkonu motoru, a tím i ke zvyšování spotřeby paliva. Motory tedy musí být seřízeny na vyšší dodávku paliva, která se v průběhu regenerace ještě dále zvyšuje.

V průběhu procesu regenerace nesmí dojít k vypnutí motoru, aby mohla regenerace úspěšně proběhnout. Regenerace trvá 30–45 minut a děje se jednou za 10–12 provozních hodin. Nejedná se tedy o zanedbatelné omezení. Na druhou stranu má řidič možnost regeneraci odmítnout a provést ji později při nejbližší možné příležitosti (zpravidla nejpozději do tří hodin). Některé stroje sice disponují tzv. automatickým systémem regenerace, nicméně i v tomto případě je doporučeno provádět úplnou regeneraci každý den.

Bohužel po určité době čištění filtru formou regenerace nestačí a musí nastat jeho výměna. Předpokládá se, že k výměně bude muset dojít během každých cca 5000 Mh. [5]

### 3.1.2 VÝHODY TECHNOLOGIE CEGR + DPF

Hlavní výhodou je velká úspora místa spojená s absencí přídavného roztoku.



Obr. 3.1 Systém CEGR + DPF [5]





## 3.2 SCR

System SCR (selektivní katalytická redukce) pracuje na principu vstřikování roztoku močoviny (známý pod názvem AdBlue) do výfukového systému, kde se rozloží na čpavek, který reaguje s oxidy dusíku v katalyzátoru SCR za vzniku vody (vodní páry) a dusíku.

AdBlue je kapalný stabilní netoxický roztok syntetické močoviny a deionizované vody (32,5 % močoviny a 67,5 % vody). Má dlouhou trvanlivost (až 2 roky) při uskladnění v teplotách v rozmezí -11 °C až 32 °C. Zmraznutí a roztání nemění chemické vlastnosti.

Technologie SCR je složena z komponentů, které zajišťují dopravu a vstřikování AdBlue, SCR katalyzátoru a soustavy snímačů, podle kterých se zajišťuje množství vstřikované kapaliny. Z nádrže je kapalina dopravena přes soustavu filtrů pomocí membránového čerpadla do vstřikovací jednotky, která je umístěna na výfukovém potrubí. Voda obsažená v AdBlue se po vstříknutí odpařuje a zbylá močovina se přeměňuje při chemických reakcích na amoniak. Tento amoniak reaguje v SCR katalyzátoru s oxidy dusíku za vzniku vody a dusíku.

Množství AdBlue, vstřikované do výfukového systému, závisí na zatížení, otáčkách motoru, teplotě výfukových plynů a vlhkosti nasávaného vzduchu. Kontrolním prvkem je snímač obsahu NO<sub>x</sub>, který je umístěn za katalyzátorem. Aby nedocházelo k zamrznutí kapaliny v přívodním potrubí do vstřikovací jednotky, odčerpává čerpadlo kapalinu zpět do nádrže. Pro ohřev AdBlue je použita chladicí kapalina spalovacího motoru, která je přiváděna do nádrže prostřednictvím spirál. Při nastartování studeného traktoru do doby jeho ohřátí pracuje traktor naprosto normálně s možností využití plného výkonu. [9]

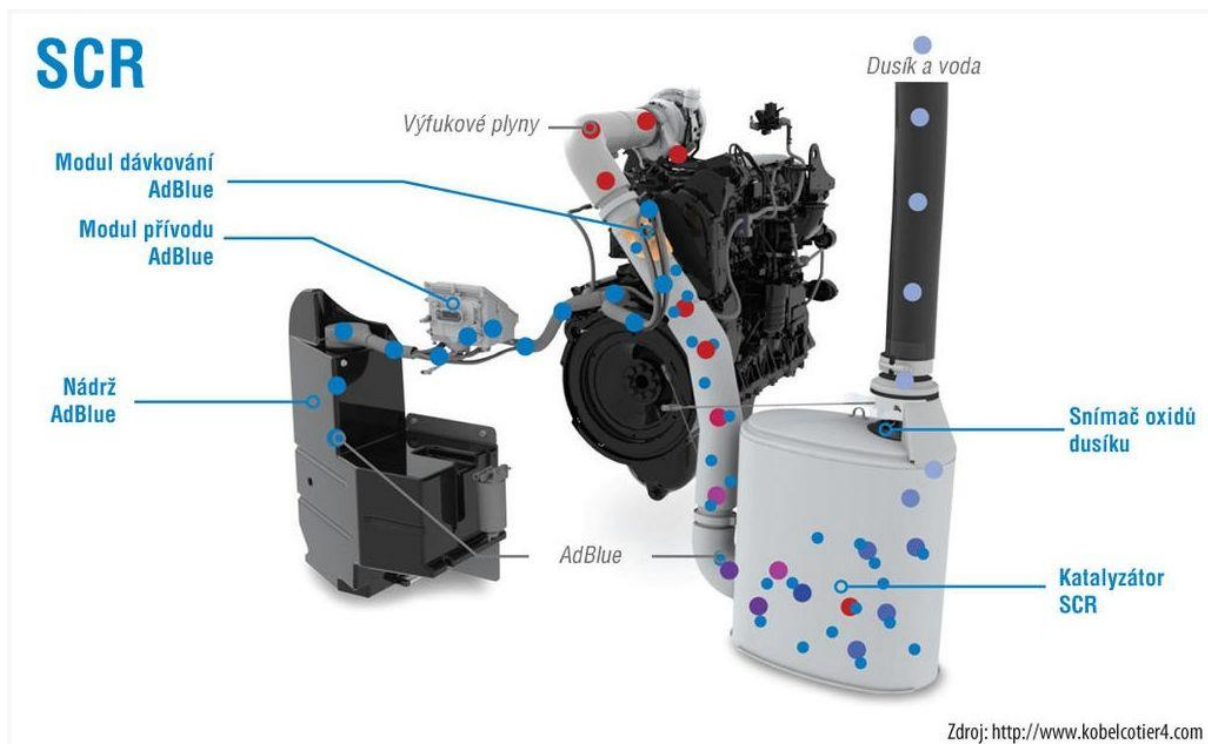
### 3.2.1 NEVÝHODY TECHNOLOGIE SCR

Hlavní nevýhodou technologie SCR je montáž samostatné nádrže pro AdBlue, do které se musí pravidelně dolévat roztok. S tím je spojená i případná logistika a skladování AdBlue.

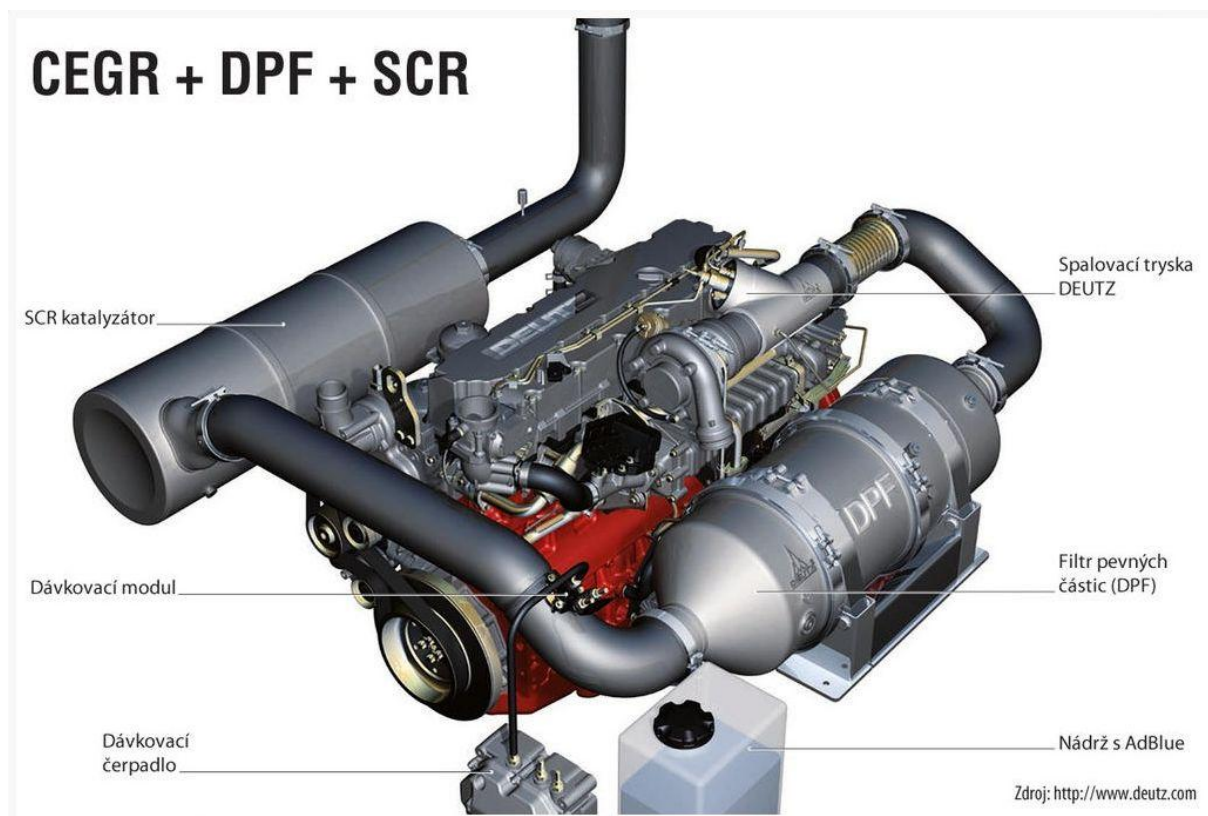
Bohužel technologie SCR je náročnější na prostor, na rozdíl od CEGR zaujímá více místa a je problém s instalací celého systému do menších strojů, kam se musí nainstalovat nádrž, chladiče a katalyzátor SCR. Proto výrobci dávají u menších traktorů přednost filtru pevných částic a recirkulaci spalin. [5]

### 3.2.2 VÝHODY TECHNOLOGIE SCR

- Hlavní výhodou proti CEGR je nižší spotřeba paliva.
- Zvýšení životnosti motoru díky nižší produkci PM přímo v motoru.
- Optimalizovaný proces spalování chrání fyzikální vlastnosti oleje, snižuje potřebu údržby obnovy, což je často vyžadováno právě technologií EGR. [9]



Obr. 3.2 Technologie SCR [5]



Obr. 3.3 Technologie CEGR+DPF+SCR [5]

### 3.3 ZÁVĚREM

Uvedené technologie mají své výhody i nevýhody. Výrobci traktorů postupem času nasbírali zkušenosti, pro které případy je vhodnější využít technologii SCR a pro které zase EGR. Např. traktory John Deere využívají systém CEGR + DPF. Naproti např. Case a New Holland volí i stroje se systémem SCR. Důvodem může být dostupnost roztoku AdBlue, která je dosti velká v Evropě, ale ve zbytku světa nikoliv.

S příchodem finální verze normy Tier 4 může dojít ke spojení technologii EGR + SCR, tedy, že se AdBlue stane běžnou provozní kapalinou jako např. náplň ostříkovačů. I tuto možnost nelze vyloučit. Někteří výrobci již postupně zveřejňují své plány pro dosažení limitů finální verze Tier 4. Těmto plánu se více věnuje poslední kapitola této práce. [5]



## 4 VÝROBCI TRAKTORŮ A JEJICH ŘEŠENÍ EMISÍ STAGE IIIB

Ve čtvrté kapitole jsou uvedeny hlavní světoví a jeden tuzemský výrobce traktorů. U každého výrobce jsou uvedeny úpravy pro splnění norem, případně obrázky aplikací úpravných systémů na traktorech.

### 4.1 ZETOR

ZETOR je v současnosti jediný tuzemský výrobce traktorů. Traktory Zetor se snaží držet krok s ostatními výrobci.

Pro splnění limitů Stage IIIB byly provedeny mnohé úpravy. Hlavní změnou je užití nové čtyřventilové techniky, která byla poprvé aplikována na motoru Zetor 1605. Následovala aplikace chlazené a řízené recirkulace výfukových plynů společně s filtrem DPF.

Pro splnění limitů Stage IV (Tier 4) v roce 2014, půjde Zetor cestou technologie SCR. [10]

#### 4.1.1 TECHNOLOGIE PRO SPLNĚNÍ LIMITŮ PODROBNĚJI

##### ČTYŘI VENTILY NA VÁLEC

Díky variantě dvou sacích a dvou výfukových ventilů na válec dochází ke zvýšení efektivity spalování, zlepšení průběhu krouticího momentu a ke snížení spotřeby paliva.

##### PIST

Centrická poloha spalovací komůrky způsobuje rovnoměrné tepelné zatížení pístu a správné definování proudění uvnitř spalovacího prostoru.

##### VSTŘIKOVACÍ ČERPADLO S ELEKTRONICKÝMI PRVKY

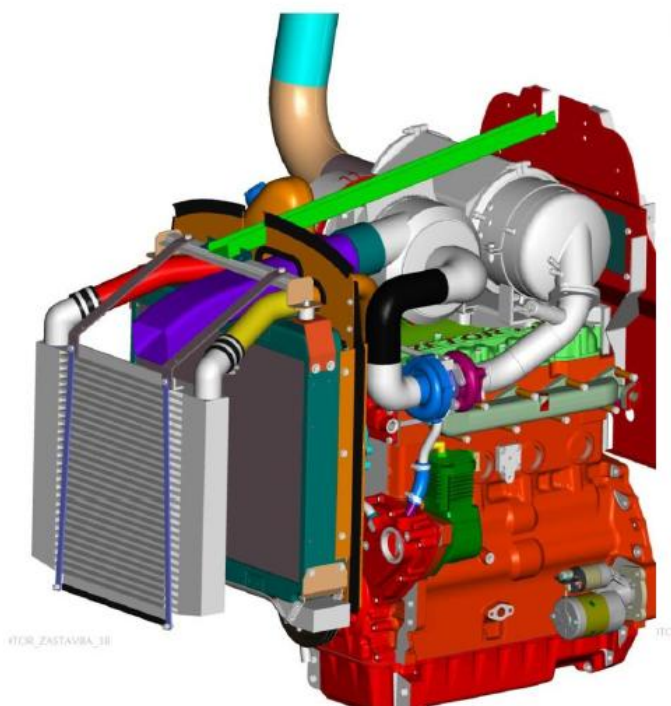
Řízení podle zatížení motoru a podle otáček byl již na čerpadle pro Stage IIIA. Pro splnění Stage IIIB bylo nutné vyvinout čerpadlo s posílenými elektronickými prvky pro přesnější sledování polohy regulační tyče.

##### SVISLE POSTAVENÉ VSTŘIKOVAČE

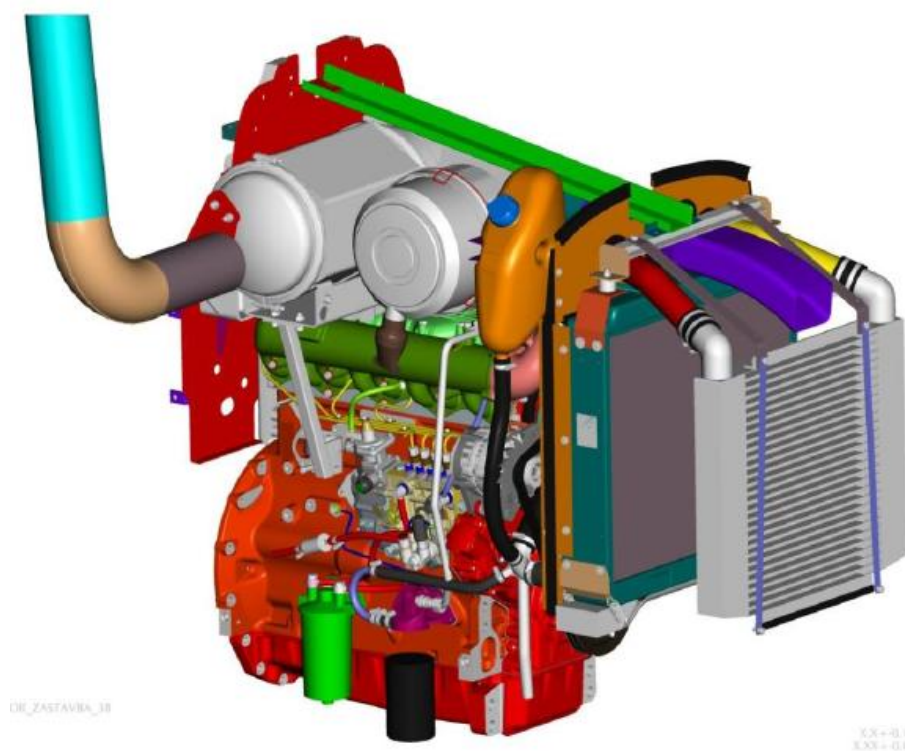
Palivo vstříknuté do spalovacího prostoru ze svisle postaveného vstřikovače umožňuje rovnoměrněji pokrýt spalovací prostor palivem, což vede vytvoření stejnorodější směsi paliva se vzduchem.

##### RECIRKULACE VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

EGR ventil s proporcionalním řízením umožňuje lépe přizpůsobit podíl recirkulovaných výfukových plynů provoznímu režimu motoru s ohledem na snížení emisí NOx. [10]



*Obr. 4.1.1 Model motoru ZETOR s filtrem DPF [11]*



*Obr. 4.1.2 Model motoru ZETOR s filtrem DPF [11]*



*Obr. 4.1.3 Umístění filtru DPF [12]*

## 4.2 JOHN DEERE

Pro traktory John Deere byl z technologického hlediska zvolen stejný postup jako u traktorů Zetor. Cílem bylo zachovat jednoduchost palivového systému. Výsledkem bylo vyvinutí nového motoru, který je označován jako John Deere PowerTech PSX. Tento motor pomocí optimalizace vlastností a účinnosti splňuje normu Stage IIIB (Tier 4i) a navíc, jak uvádí výrobce, jde o řešení přátelské k životnímu prostředí, nemající markantní vliv na výkon motoru. [13]

### 4.2.1 KOMBINOVANÝ POSTUP

Pro splnění nové emisní normy byl zvolen kombinovaný postup pro omezení škodlivin ve výfukových plynech.

#### SÉRIOVÉ TURBODMYCHADLO

Nejdříve je vzduch nasán do nízkotlakého turbodmychadla (s pevnou geometrií lopatek) a stlačen. Ve druhé fázi přichází do vysokotlakého turbodmychadla (s proměnlivou geometrií lopatek), kde dochází k dalšímu stlačení. Následuje vedení vzduchu pod vysokým tlakem do mezichladiče a po ochlazení dále do sacího potrubí motoru. Rozdělení plnění mezi dvě



turbodmychadla způsobuje, že spojení obou turbodmychadel může pracovat s maximální účinností při nižších otáčkách. Díky nižším otáčkám došlo k omezení namáhání jednotlivých součástí turbodmychadel a tím ke zvýšení spolehlivosti.

Dvě sériově zapojená turbodmychadla jsou schopna vytvořit vyšší tlak, než jedno velké turbodmychadlo. To znamená vyšší výkon, vyšší nárůst točivého momentu při nižších otáčkách, lepší hospodárnost a provozní vlastnosti ve všech režimech motoru.

## EGR

Jak už bylo rozebíráno, tento systém snižuje nejvyšší teplotu spalování a tím omezuje tvorbu oxidů dusíku.

## VÝFUKOVÉ FILTRY

U motorů Power Tech PSX je užito katalyzátorového výfukového filtru, který obsahuje oxidační katalyzátor DOC a filtr pevných částic DPF. Reagující katalyzátor DOC snižuje obsah uhlovodíků a část PM ve spalinách. Následuje filtr DPF, který zachytí zbylé pevné částice. U těchto motorů je hlavně využito pasivní regenerace, kdy dochází ke spalování PM ve filtru DPF neustále a za běžných provozních podmínek. [13]



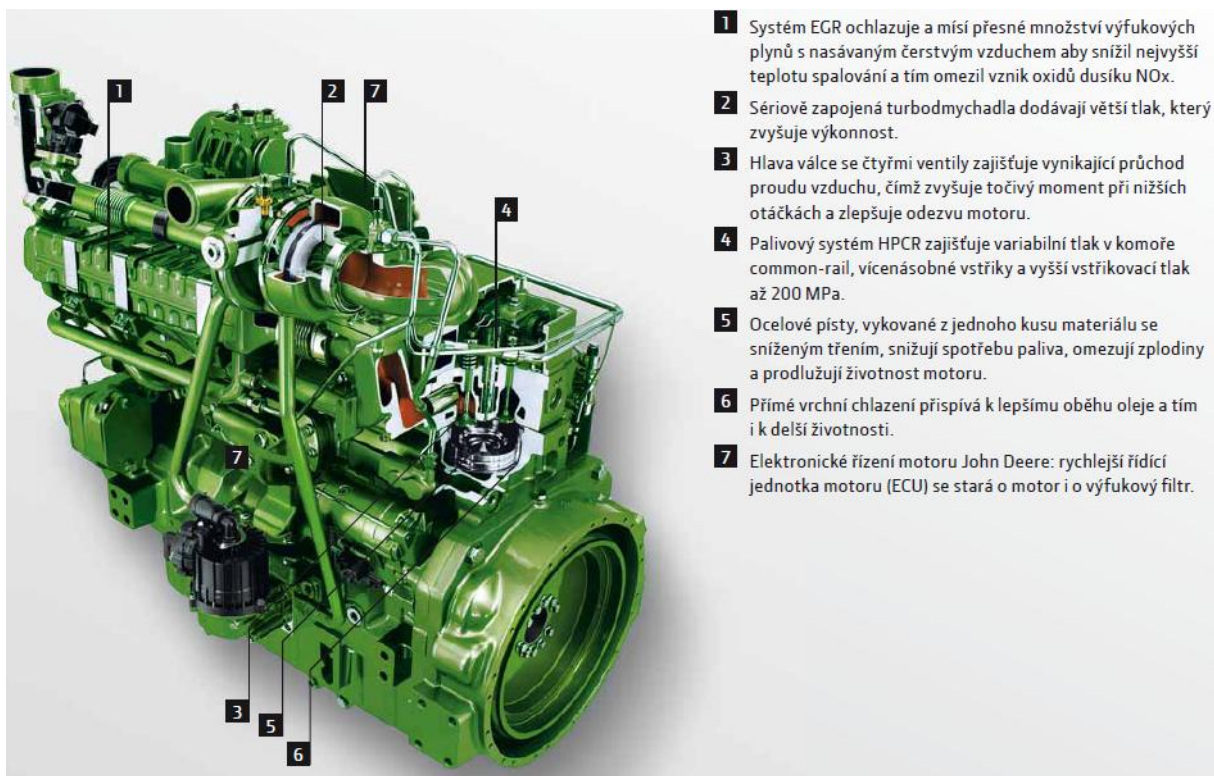
**1** Diesellový oxidační katalyzátor (DOC)

**2** Filtr pevných částic (DPF)

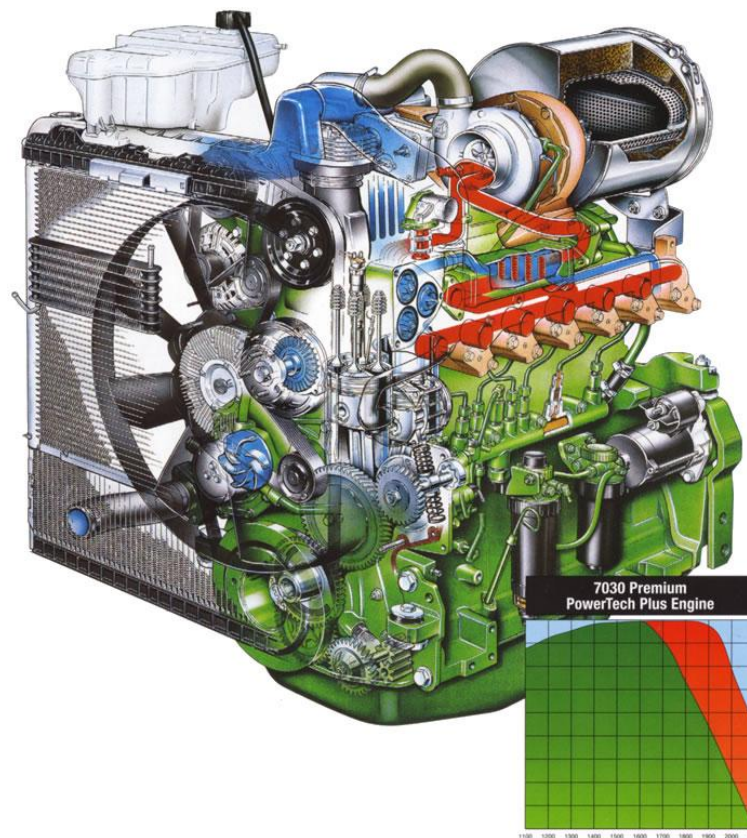
### Samočisticí filtr

Vyspělý samočisticí výfukový filtr napomáhá k odstranění i těch nejmenších pevných částic.

*Obr. 4.2.1 Katalyzátor motorů Power Tech PSX [13]*

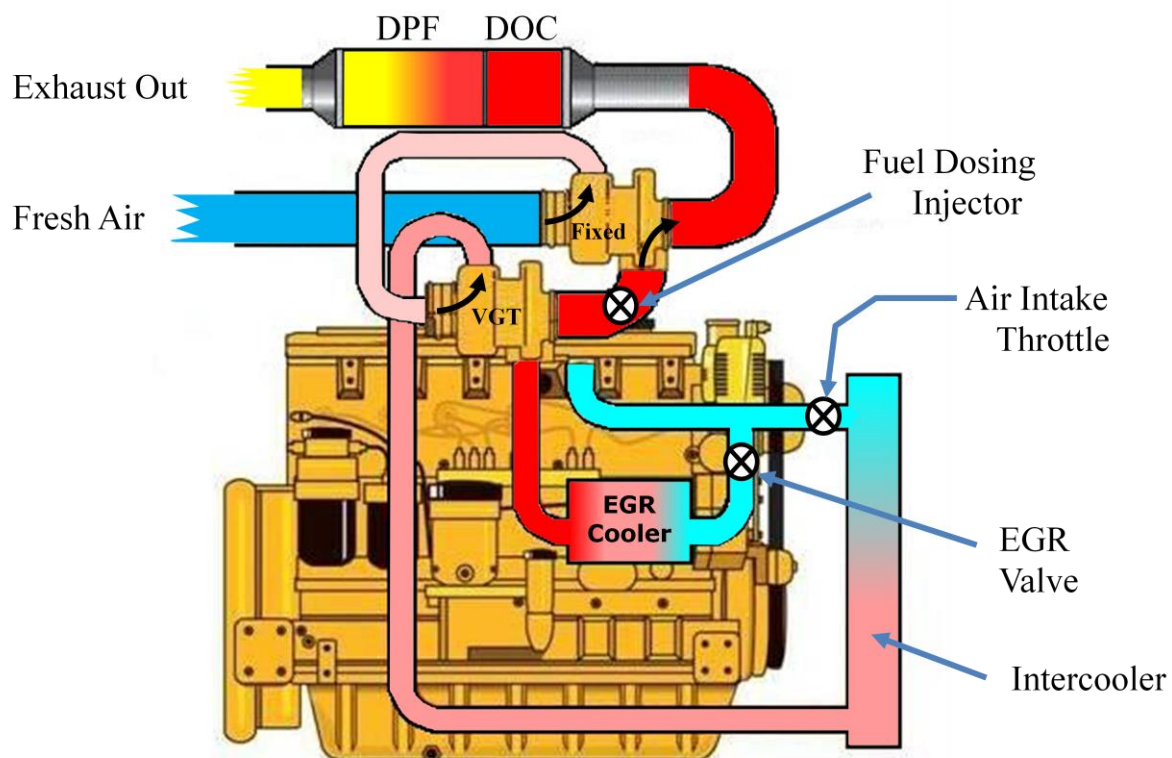


Obr. 4.2.2. Zobrazení motoru John Deere Power tech PSX [13]



Obr. 4.2.3. Motor John Deere Power Tech s technologií EGR [14]





Obr. 4.2.4 Motor John Deere 6.8L PSX Stage IIIB [15]



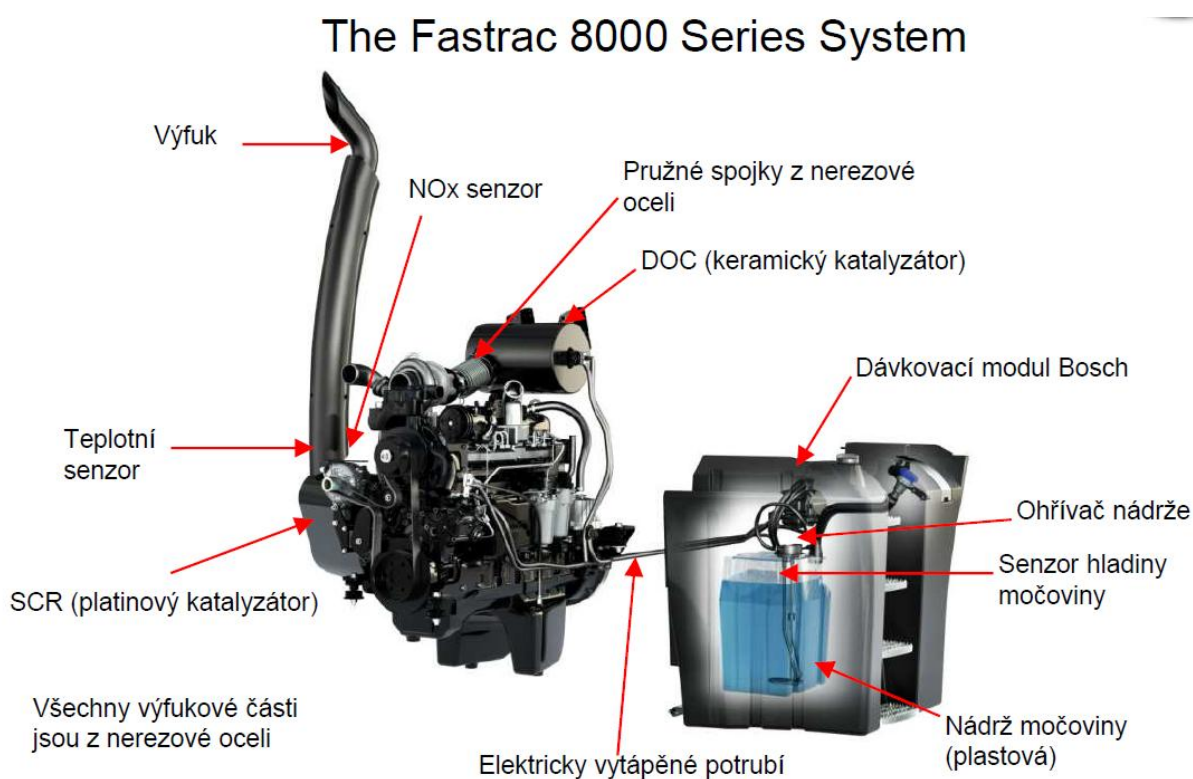
Obr. 4.2.5. DOC a DPF filtr motoru John Deere [15]



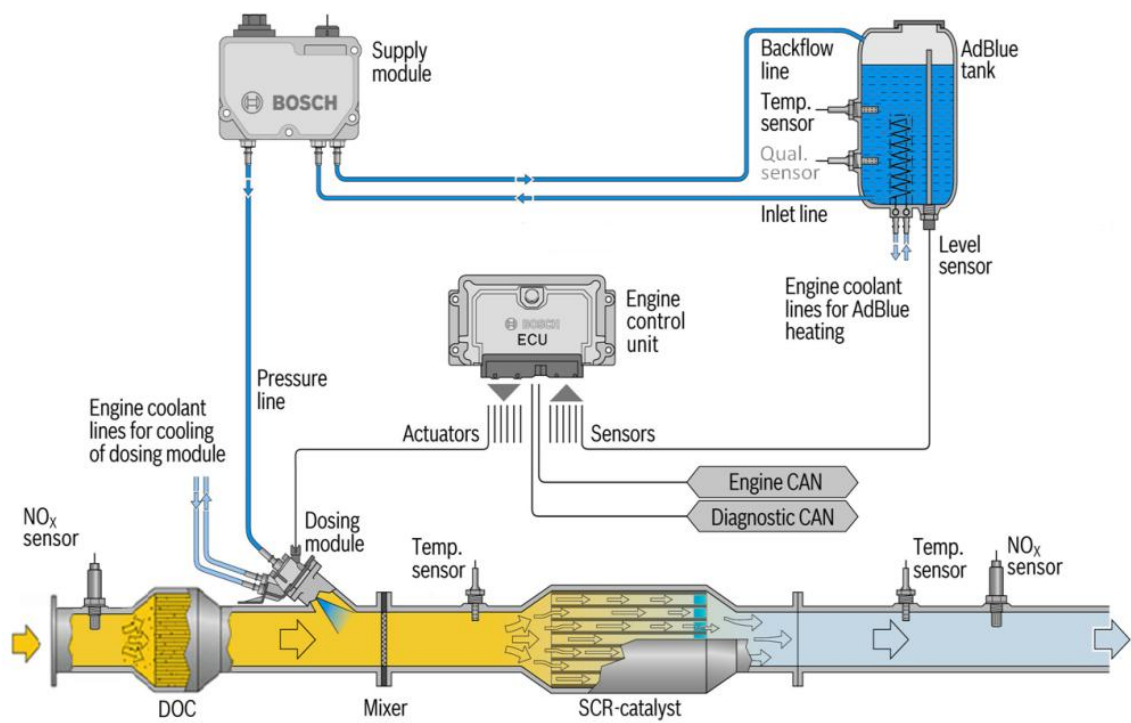
### 4.3 JCB FASTRAC

Firma JCB zaujímá svůj post v zemědělství řadou svých strojů, systémových nosičů Fastrac. V této části práce bude zmíněna hlavně nejvyšší výkonová řada Fastrac 8000, neboť výrobce JCB do této řady vložil kvalitní motory AGCO SISU Tier 4i, které se vyrábí ve Finsku.

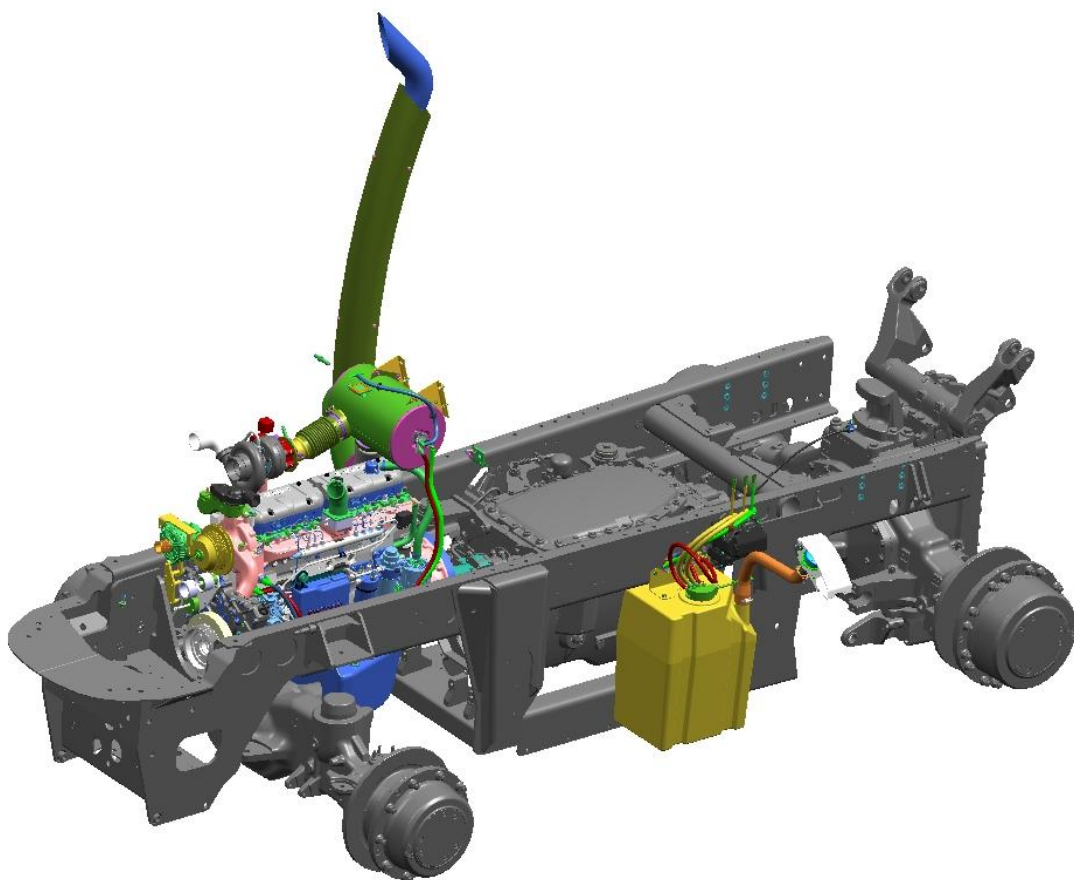
Jedná se o čtvrtou generaci motorů firmy SISU, která byla vybrána z důvodu plnění nových emisních limitů. V řadě 8000 jsou užity dva 6-ti válcové motory o objemu 8.4L. Tyto motory byly přímo vyvinuty pro silné traktory určené pro vysokou zátěž. Mají vysokou účinnost spalování, pro plnění emisí užívají systém SCR. Traktory jsou vybaveny komplexním elektronickým systémem, který se stará o správný chod motoru. Mezi další přednosti patří následné snížení spotřeby paliva, vyšší krouticí moment a zmenšení hlučnosti motoru. [16]



Obr. 4.3.1. Uspořádání motoru Fastrac 8000 [17]



Obr. 4.3.2. Řídicí systém výfukových spalin motoru Fastrac [17]



Obr. 4.3.3. Uspořádání systému SCR na traktoru Fastrac řady 8000 [17]



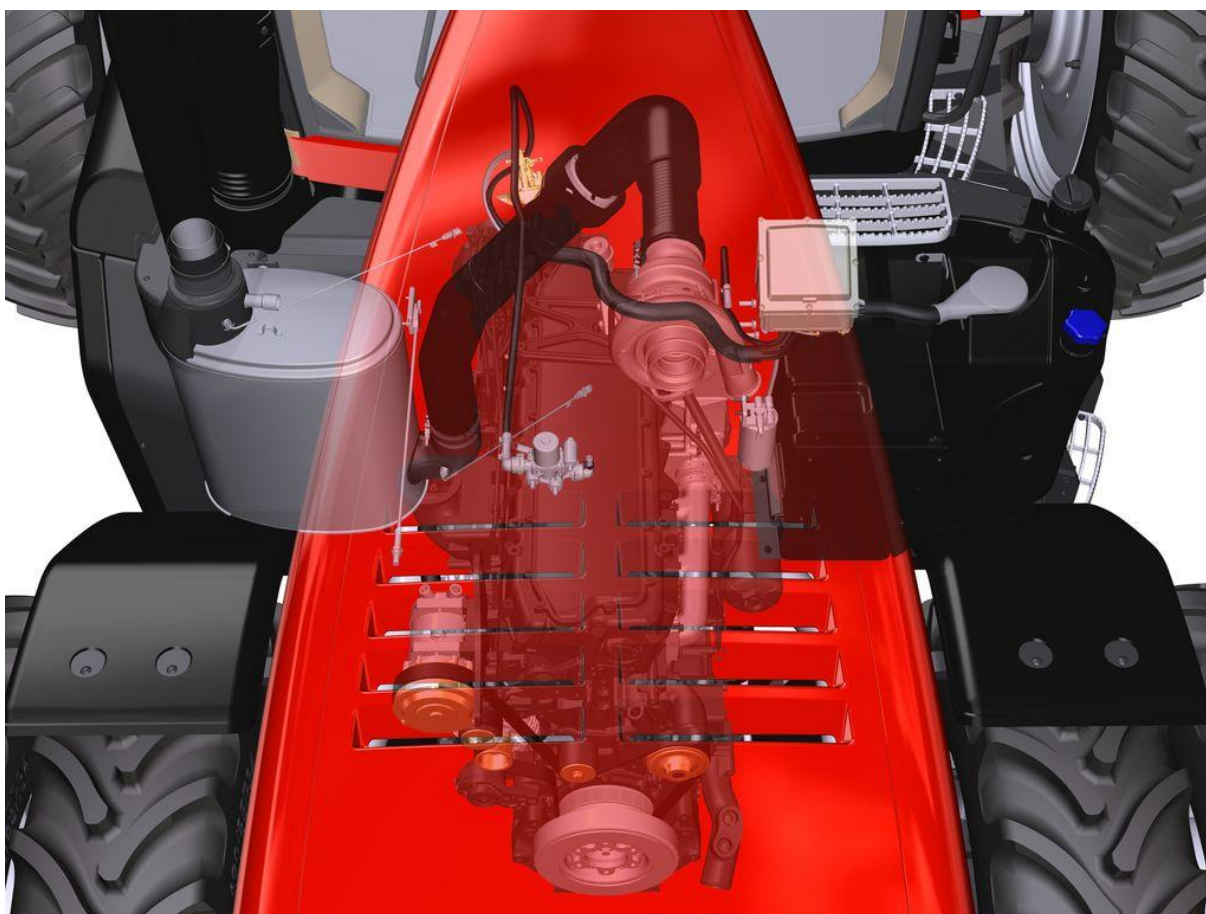
#### 4.4 CASE

Společnost Case IH instaluje do svých traktorů motory společnosti FPT Powertrain Technologies. Jedná se o světovou firmu z Rakouska, která vyrábí motory pro různá odvětví. S technologií SCR pracují od roku 2006.

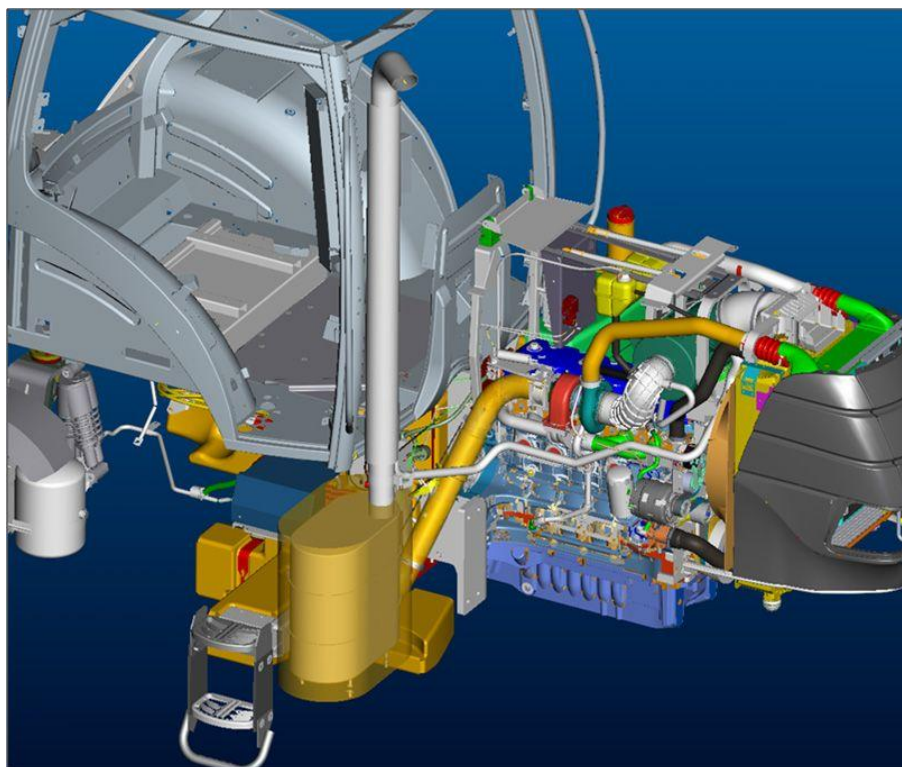
Společnost Case přistoupila k novým emisním normám následovně. Pro motory s výkonem větším než 100 k bude užívat technologii SCR a pro motory s výkonem pod 100 k technologii EGR.

Pro výkony nad 100 k se rozhodli užívat technologii SCR, neboť nabízí vylepšené řešení pro zemědělské aplikace vysokých výkonů. Varianta systému SCR pro zemědělské činnosti je výhodnější při stálém 100% zatížení. Dále z důvodu užívání motorů v drsných podmínkách, kde by recirkulace EGR mohla způsobit poškození motoru. Celkově podporuje vyšší životnost motoru, vyšší spolehlivost, vysokou účinnost a hlavně snížení spotřeby paliva.

V případě motorů s výkonem do 100 k bylo užito systému EGR, neboť nabízí přijatelné řešení pro zemědělské potřeby nižších výkonů. Komponenty systému EGR jsou méně náročné na prostor a tudíž vhodnější pro menší traktory. Traktory s těmito výkony mají nižší spotřebu, tudíž hospodárnost motoru má nižší dopad. [18]



*Obr. 4.4.1. Model traktoru Case s umístěním systému SCR [18]*



*Obr. 4.4.2. Model umístění katalyzátoru SCR na traktoru Case [18]*



*Obr. 4.4.3. Umístění nádrže AdBlue u traktoru Case [25]*



*Obr. 4.4.4 Umístění katalyzátoru a výfuku traktoru Case [25]*

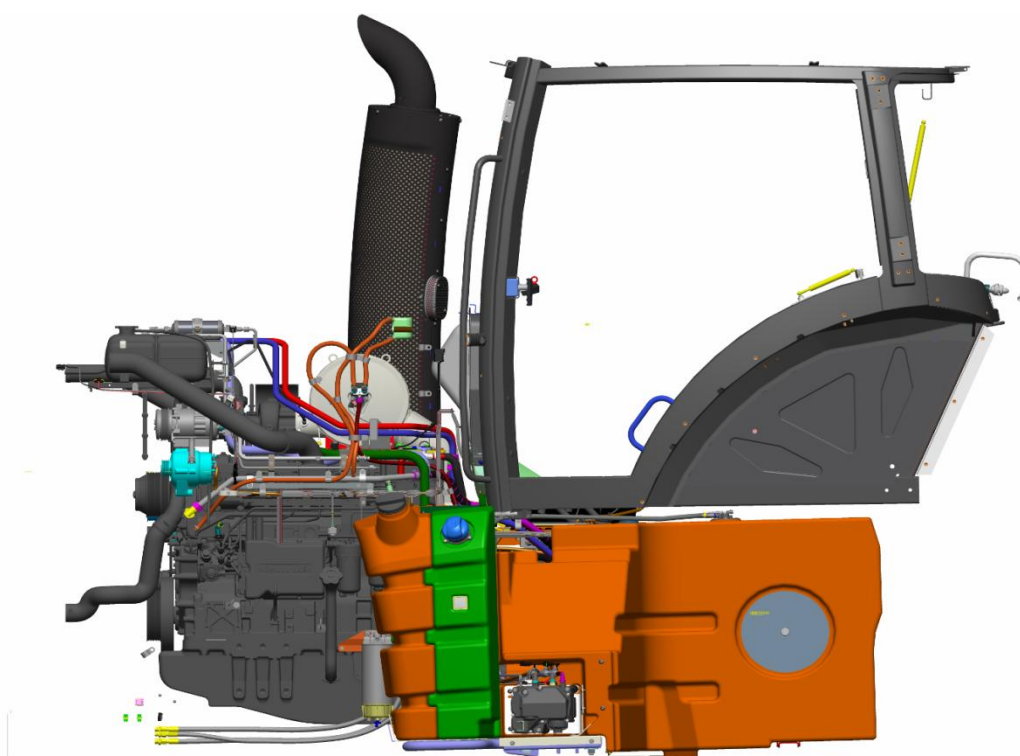


## 4.5 VALTRA

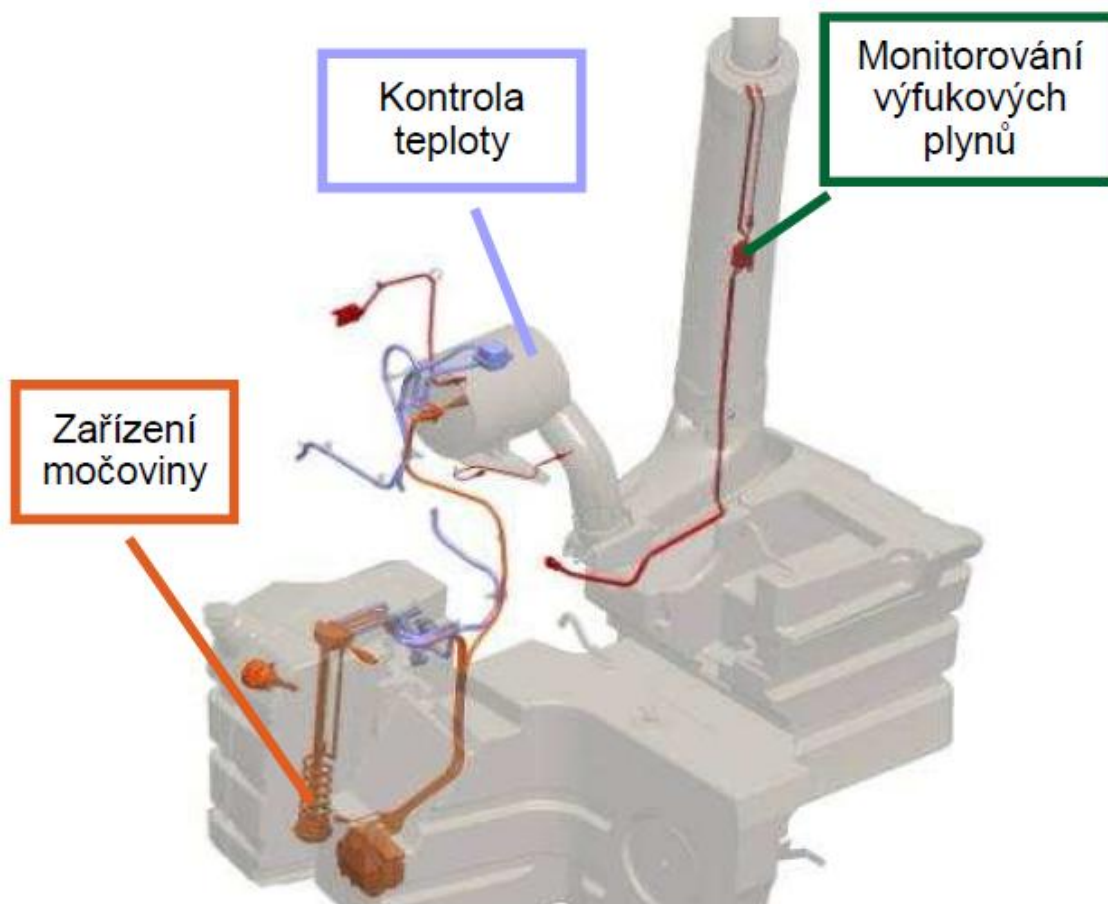
Traktory Valtra patří do týmu společnosti AGCO Sisu Power již více než 50 let. O této společnosti již byla řeč v souvislosti s traktory JCB Fastrac.

V samotné koncepci řešení emisí se traktory Valtra a Fastrac od sebe neliší. Valtra do své série traktorů Valtra S vložila motor Sisu Power SCR 8,4CTA-4V, který, jak už z názvu vyplývá, užívá také systém SCR.

SCR technologie se standardně montuje do modelu S352 a volitelnou výbavou na ostatní modely série S. Ohledně účinnosti jsou motory SCR nejdostupnější na trhu a mají o 3–7 % nižší spotřebu paliva ve srovnání s konkurencí. Traktory Valtra užívají společně s těmito novými motory plynulé převodovky AGCO a inteligentní řídicí systém ITC, díky kterému traktor splňuje potřeby všech uživatelů. [19]



*Obr. 4.5.1. Model systému SCR u traktorů Valtra [20]*



Obr. 4.5.3. Kontrola systému SCR u traktorů Valtra [20]



Obr. 4.5.2. Umístění nádrže AdBlue i traktoru Valtra [19]





*Obr. 4.5.3 Umístění katalyzátoru a výfuku traktoru Valtra [25]*



## 4.6 MASSEY FERGUSON

Massey Ferguson patří mezi světové značky společnosti AGCO Corporation. Traktory jsou osazeny motory Sisu Power. Technologie SCR byla jako první užitá u řady traktorů MF 8600. Massey Ferguson byl první výrobce, který tuto technologii začal používat u zemědělských traktorů. Díky zkušenostem byla tato technologie dovedena k nejlepším možným výsledkům, které zaručují nízkou údržbu a nízkou spotřebu paliva. Všechny nové zkušenosti byly užity na nové řadě MF 7600 využívající motory AGCO Sisu Power o zdvihovém objemu 6.6 nebo 7.4 litrů. [21]

### 4.6.1 NOVÝ SYSTÉM SCR 2. GENERACE

- Nový systém SCR 2. generace obsahuje modernější soustava výfuku, která obsahuje katalytické konvertory a katalyzátory uvnitř tlumiče výfuku. Jedinečné řešení z hlediska účinnosti a úspory místa.
- Nový oxidační DOC katalyzátor pod kapotou, který svoji vhodnou polohou neomezuje přístup ani výhled a nevyžaduje žádnou zvláštní údržbu.
- Systém zabezpečuje dokonalejší regulaci oxidů dusíku a teploty výfukových plynů, díky vyšší přesnosti vstřikování kapaliny AdBlue do výfuku.
- Nový systém vytápění s použitím kombinace elektrického vytápění a vytápění chladicí kapalinou motoru.
- Nová poloha nádrže pro AdBlue, vybavena lepší izolací pro provoz za nízkých teplot. Dále díky zvětšení palivové nádrže a nádrže AdBlue delší pracovní doba.
- Došlo i ke změnám na samotném systému SCR, který byl vybaven novým vstřikovacím systémem a hlavně komplexním systémem snímačů emisí, který v daných místech měří aktuální produkci emisí a upravuje tak systém vstřikování podle potřeby. [21]

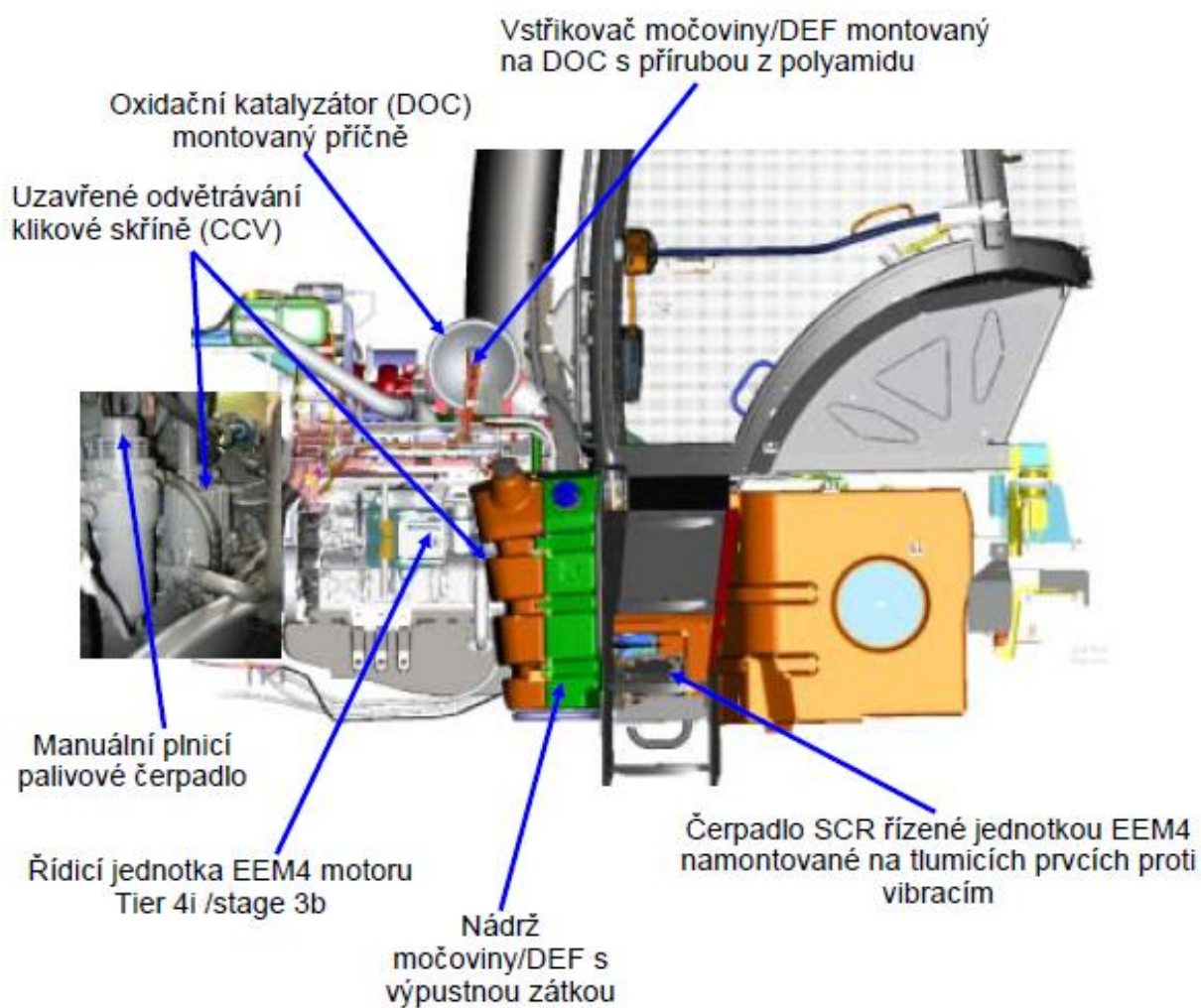


Vstřikování močoviny/ DEF

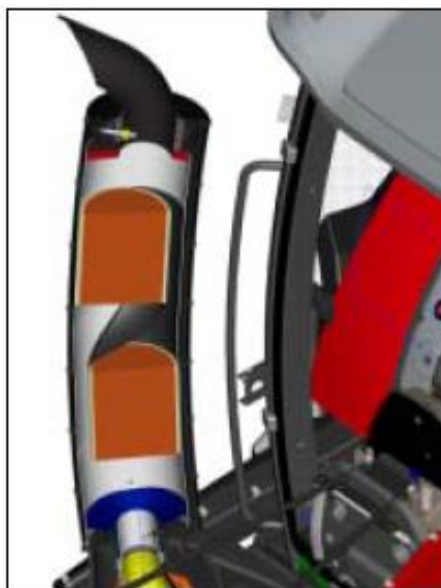


Tlumič výfuku vychází z oxidačního katalyzátoru (DOC) a vstupuje do svislého výfukového potrubí obsahujícího katalyzátory

Obr. 4.6.1. Katalyzátory traktorů MF [21]



Obr. 4.6.2. Systém SCR 2. generace traktorů MF [21]



Obr. 4.6.3 Nový tlumič výfuku obsahující katalytický konvertor [21]



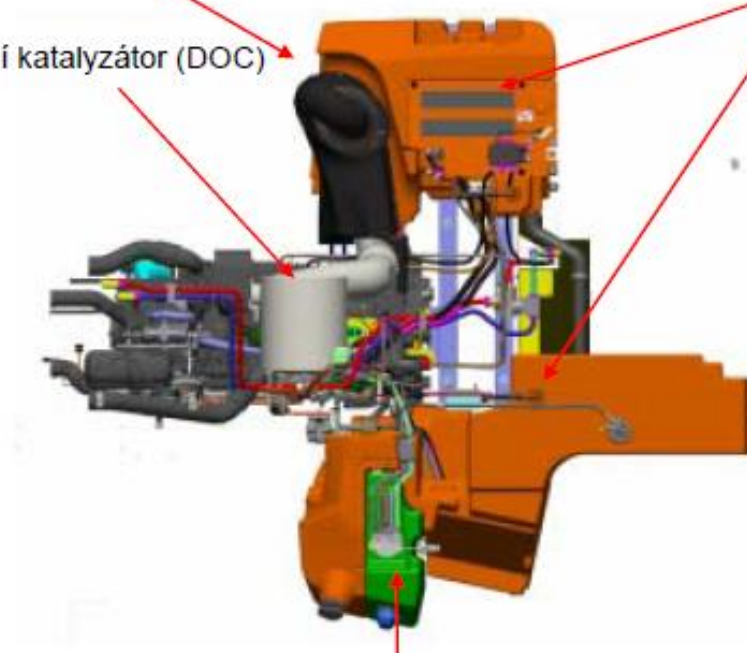
### Instalace Stage 3b (pohled shora)

Pouzdro výfuku

Obsahuje katalyzátory SCR a Slip

Palivové nádrže na motorovou naftu

Oxidační katalyzátor (DOC)



Nádrž AdBlue



Oxidační katalyzátor (DOC)



Obr. 4.6.4. Části systému SCR u traktorů MF [21]



## 4.7 NEW HOLLAND

Společnost New Holland se ujala role zlepšit životní prostředí relativně vážně. Taktéž docházelo k rozhodování mezi systémy CEGR a SCR. Nakonec bylo rozhodnuto podobné řešení jako u traktorů Case. Pro nízké výkony užití systému CEGR, pro vysoké výkony systému SCR. V současnosti je aktuální uvedení nové řady traktorů New Holland T7000, kde došlo k inovaci staršího modelu za použití nových technologií uplatněných na motoru.

Traktory New Holland používají motory výrobce FPT Powertrain, který produkuje právě nové SCR motory. Postupně se připravují změny na nástup konečné verze normy Tier 4, která připraví velice tvrdé normy pro obsahy škodlivin. Podle dostupných zpráv už firma FPT aplikovala úspěšně technologie pro splnění těchto předpisů na nové řadě svých motorů označované jako NEF.

Rozdíl u řady T7000 není na první pohled až tak patrný. Nádrž pro AdBlue, která přibyla, je u těchto traktorů integrována do palivové nádrže a má modrý uzávěr. Objem je určen, aby vystačil na dvě naplnění palivové nádrže. Výrobce udává, že poté přicházejí pouze výhody, které se projevují na výkonu, spotřebě i na krouticím momentu a z motorů mohou dostat maximum. [22]

Následující obr. 4.7.1 a obr. 4.7.2 udává tabulky změn parametrů oproti starší řadě traktorů:

NEF motor	Tier 3 EGR (T7070)	Tier 4A SCR (Nový T7070)	ZLEPŠENÍ
Maximální výkon	185 kW / 252 hp (CV)	198 kW / 269 hp (CV)	+ 7%
Krouticí moment Mk	1025 Nm	1160 Nm	+ 13%
Záloha Mk	32%	40%	+ 25%
Navýšení výkonu	19 kW / 27 hp (CV)	30 kW / 41 hp (CV)	+ 52%

Obr. 4.7.1 Změny parametrů motoru u řady T7000 [22]

NEF motor	Tier 3 EGR (T7040)	Tier 4A SCR (Nový T7040)	ZLEPŠENÍ
Spotřeba paliva	288 g/kWh	259 g/kWh	+ 10%

Obr. 4.7.2 Zlepšení spotřeby paliva u řady T7000 [22]



*Obr. 4.7.3 Traktor NH řady T7000 [22]*



*Obr. 4.7.4 Tankování nádrže AdBlue NH řady T8000 [22]*



*Obr. 4.7.5 Umístění nádrže Adblue u traktorů NH řady T8000 [22]*



*Obr. 4.7.6 Umístění katalyzátoru SCR u traktorů NH T8000 [22]*

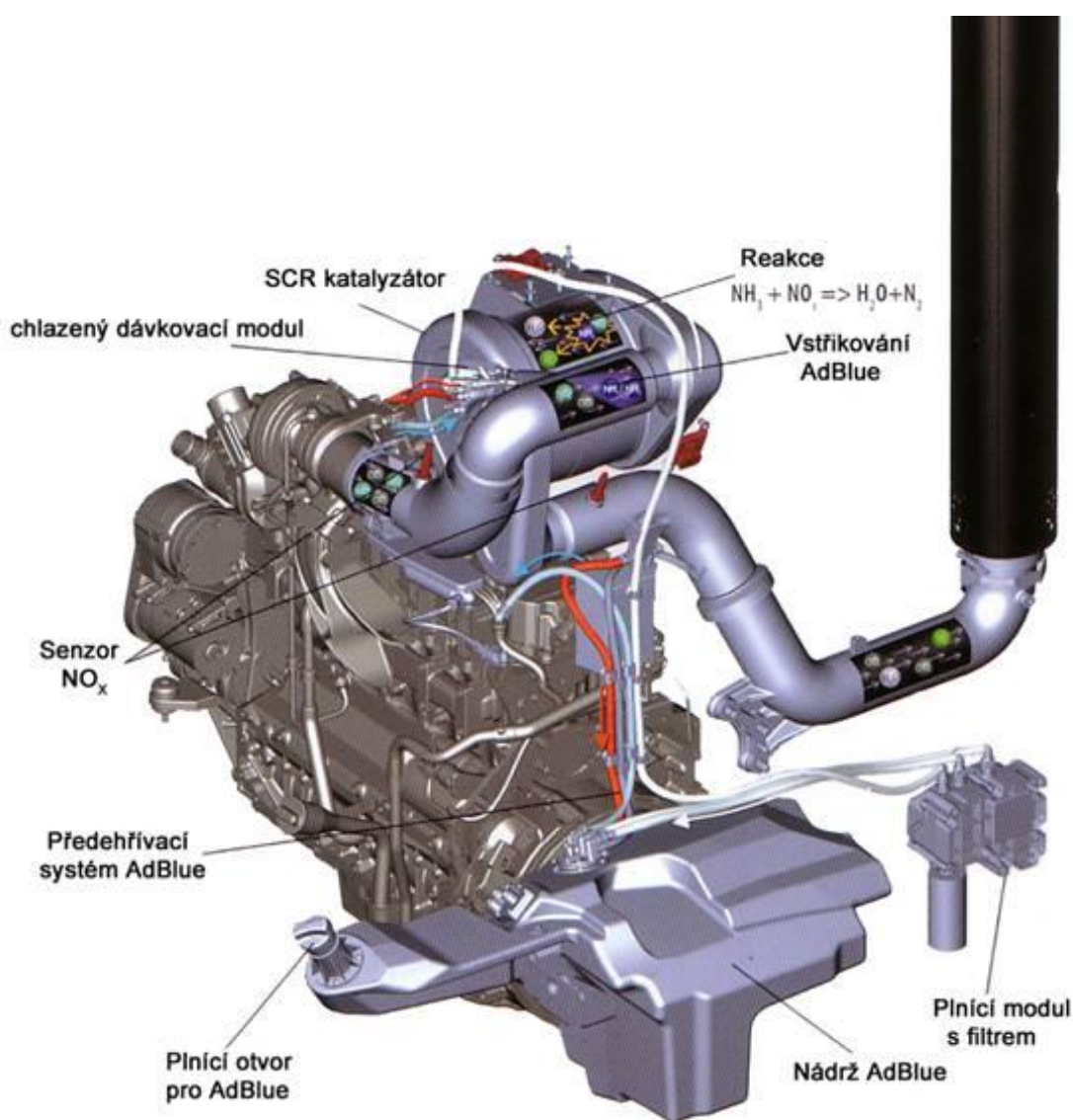




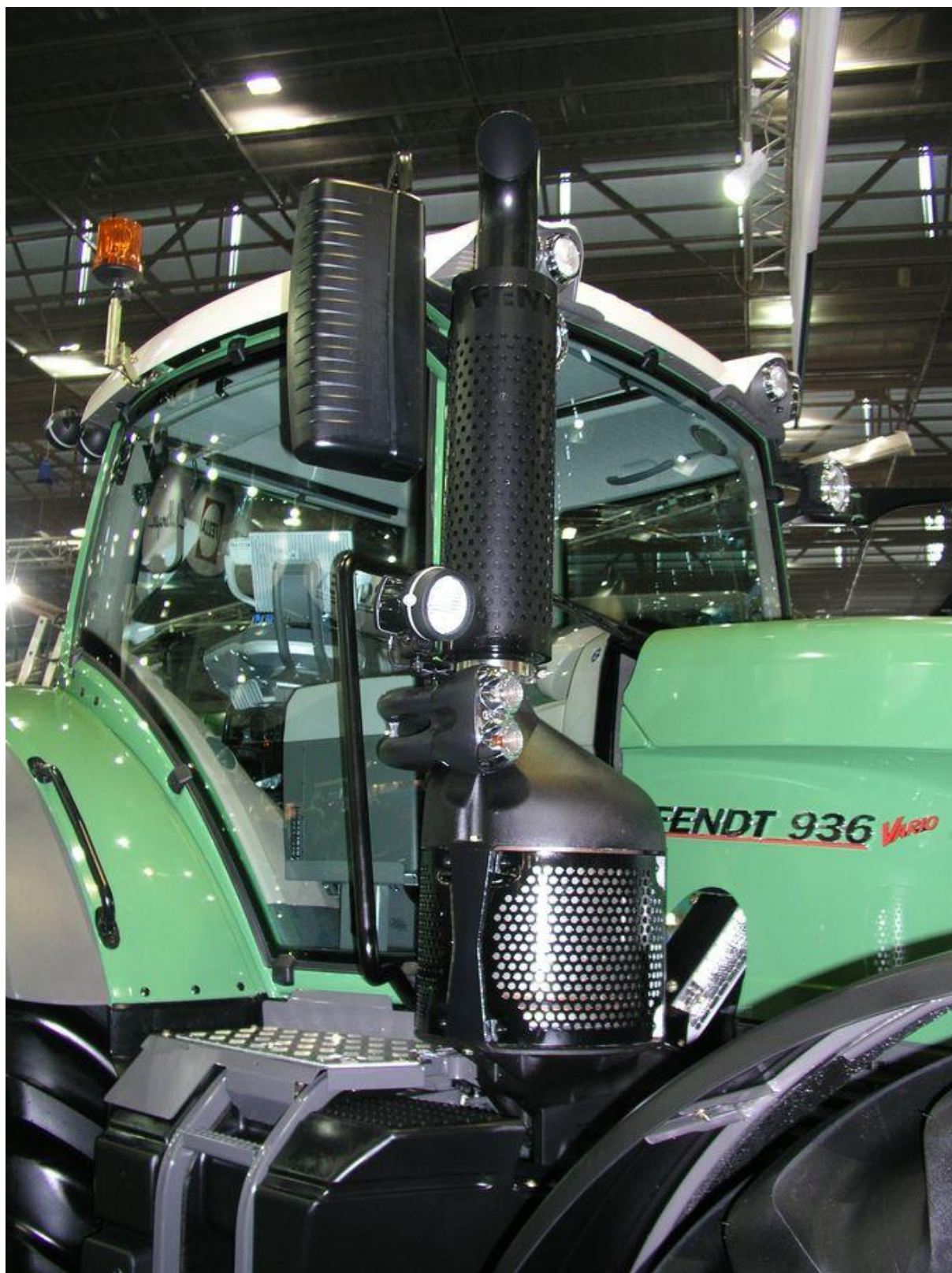
## 4.8 FENDT

Pro traktory Fendt bylo užito technologie SCR. U motorů je spalování optimalizováno pro dosažení vysokých teplot spalovacího procesu. Tento způsob přináší výhody ve formě snížení spotřeby paliva a zřetelné snížení potřeby chladicího výkonu. Vzhledem k tomu, že se jedná z hlediska výkonu i velikost o vyšší třídu traktorů, nedocházelo k problémům s implementováním komponentů SCR systému do traktorů. Postupně byly upraveny řady traktorů Fendt 700 Vario SCR, 800 Vario SCR a 900 Vario SCR. [23]

Tyto nové řady traktorů jsou poháněny novými, přepracovanými motory Deutz. Vyrábějí se ve třech objemových řadách pro jednotlivé řady traktorů a každý je upraven na různou škálu výkonů. Motory jsou vybaveny např. moderním systémem vstřikování Common-Rail a řízenými turbodmychadly. Tyto systémy společně s úpravou spalin pomocí SCR systému vedou k dodržování nových emisních norem bez problémů. [24]



Obr. 4.8.1. Schéma SCR systému na motorech traktorů Fendt SCR Vario [23]



*Obr. 4.8.2 Zobrazení SCR katalyzátoru traktoru Fendt 936 SCR Vario [25]*



*Obr. 4.8.3 Umístění nádrže AdBlue traktoru Fendt 936 SCR Vario [25]*



## 5 VÝROBCI A JEJICH NÁVRHY PRO NORMY STAGE IV

Někteří výrobci traktorů již představili své plány pro řešení dalších, ještě přísnějších norem Stage IV/ Tier 4 final. Mnozí pouze spekulují, nebo ještě nepadlo jejich konečné rozhodnutí o řešení. Konečná verze normy Tier 4 pro motory s výkony 37 kW–55 kW začne platit v roce 2013. Pro třídy nad 56 kW postupně od roku 2014 až do roku 2015. V následujících podkapitolách uvedu plány některých výrobců traktorů a motorů.

### 5.1 STAGE IV PRO JOHN DEERE

#### 5.1.1 ŘEŠENÍ PRO MOTORY MALÝCH VÝKONŮ

Pro toto řešení je zvolena kombinace technologií pro redukci oxidů dusíku a přidání vlastního výfukového filtru pro kontrolu a zachycování PM. Toto řešení se osvědčilo mezi mnoha zákazníky John Deere, kteří preferují jednoduchost. [26]

#### 5.1.2 ŘEŠENÍ PRO MOTORY VELKÝCH VÝKONŮ

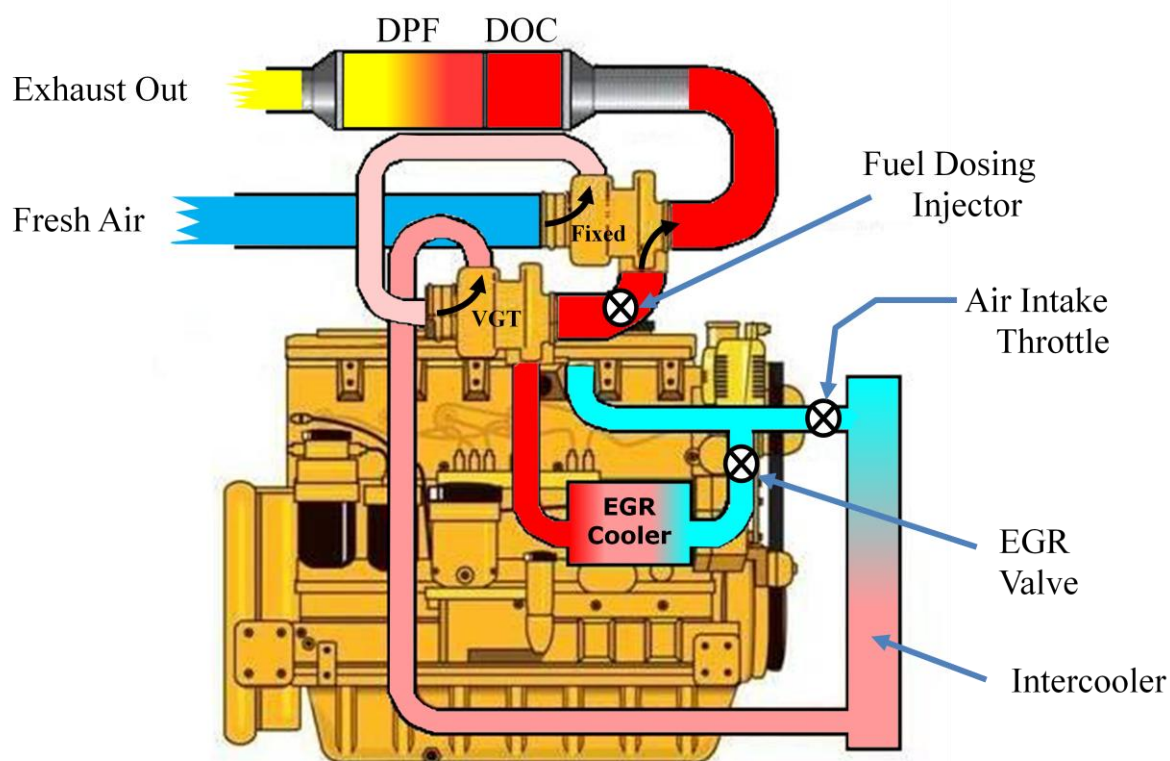
Traktory John Deere užívají zařízení IEC (Integrovaná kontrola emisí), které využívá úprav výfukových plynů. Je to vlastně název pro komplexní řešení instalované na strojích. Pro normu Tier 4 final tento systém obsahuje systém CEGR, oxidační katalyzátor DOC, filtr pevných částic DPF a navíc přichází i systém katalytické redukce SCR, který je speciálně navržen pro přísné požadavky zemědělských aplikací. Celé zařízení na úpravu výfukových plynů bude řízeno v nové a rozšířené elektronické řídicí jednotce ECU. Tento přístup, který užívá kombinaci CEGR, výfukového filtru a SCR technologie, umožňuje traktorům John Deere spotřebovávat méně kapaliny DEF než běžný systém SCR. [26]

#### JOHN DEERE UVÁDÍ MNOHÉ VÝHODY JEJICH NOVÉHO SYSTÉMU.

Pro novou řadu traktorů je připraven optimalizovaný systém IEC, který má pod kontrolou všechny komponenty systému, jako CEGR, inteligentní filtr a SCR. Celý systém je optimalizován pro plnění emisí, ale zároveň pro dosažení maximálního výkonu, spolehlivosti a odolnosti.

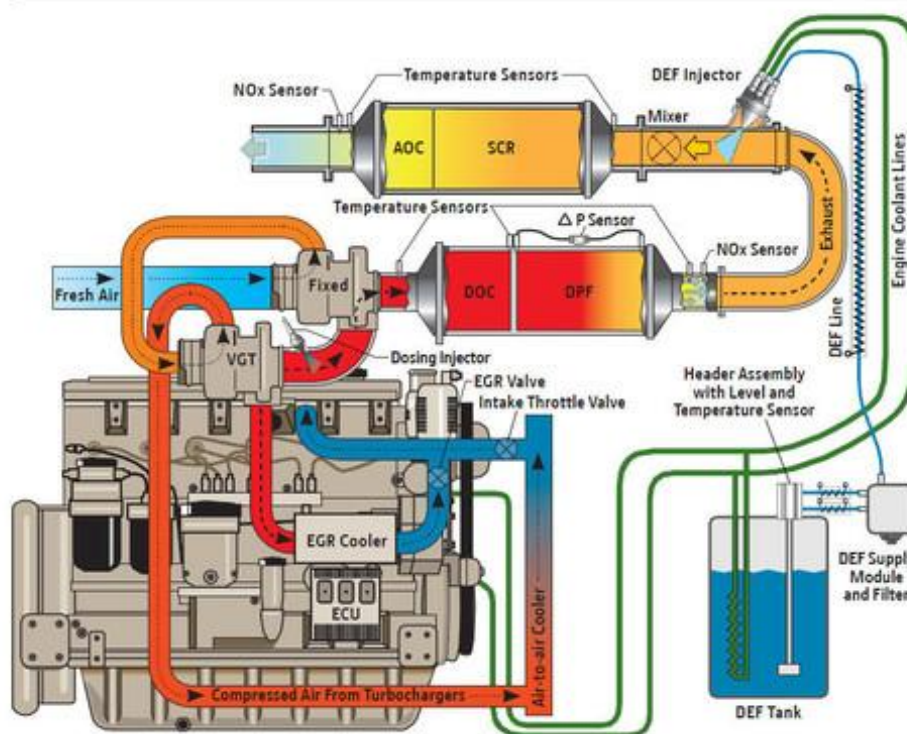
Upravený systém CEGR, který dociluje maximální efektivity z hlediska využití paliva i kapaliny DEF. Cílem je dosáhnout úspor kapalin oproti předchozím traktorům s motory Tier 4i / Stage IIIB.

Vzhledem k užívání technologie CEGR u předchozích modelů, byla prokázána spolehlivost tohoto systému. John Deere díky svému vlastnímu vývojovému týmu optimalizoval právě kombinaci systému CEGR a SCR pro zvládnutí všech úskalí polí. [27]



Obr. 5.1.1 Schéma motoru John Deere PSX Tier 4i [15]

### Final Tier 4



Obr. 5.1.2 Schéma nového motoru John Deere PSS Tier 4 Final pro srovnání [26]



*Obr. 5.1.3 Motor John Deere PowerTech PSS 9.0L Tier 4 Final [28]*



*Obr. 5.1.4 Motor John Deere PowerTech PSS 9.0L Tier 4 Final [28]*

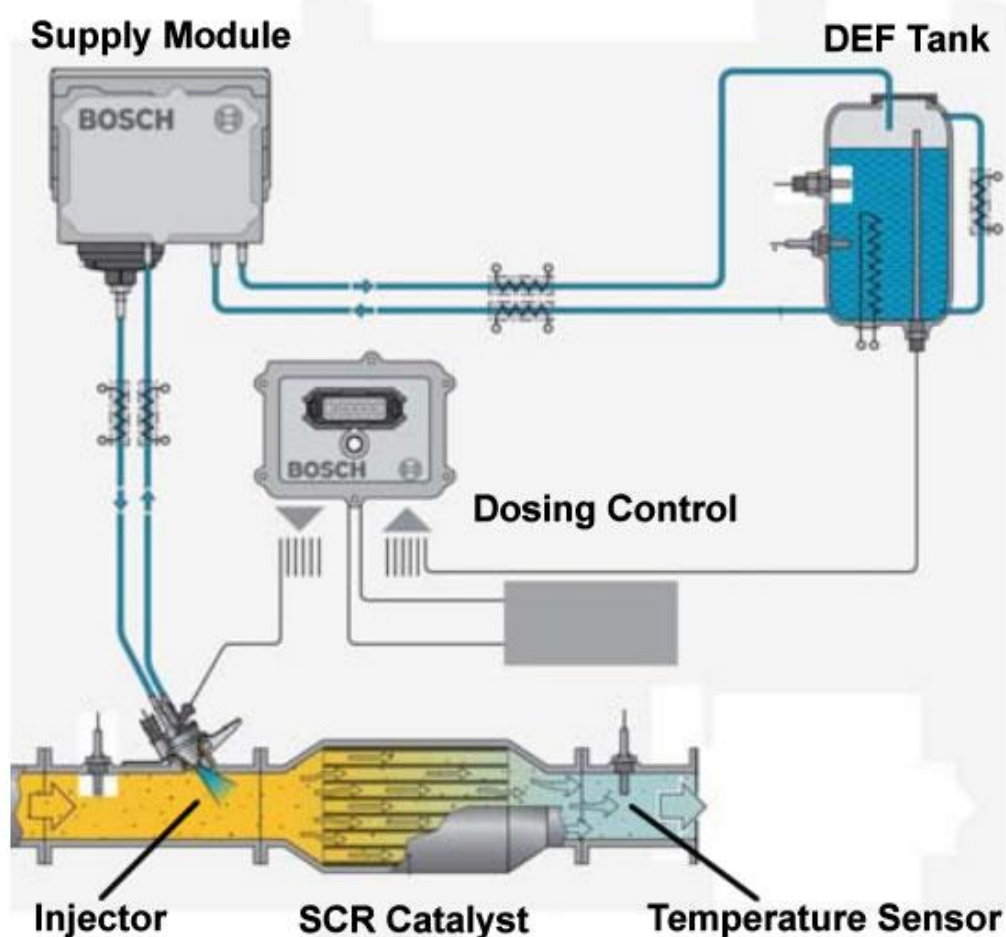


## 5.2 CASE

Firma Case, která užívá ve svých traktorech motory FPT PowerTrain Technologies, ohlásila, že i pro plnění konečné verze Tier 4 v roce 2014 bude pouze technologie SCR. Stejná technologie jako na předchozích motorech normy Tier 4i. Nové motory nebudou vyžadovat technologii EGR nebo CEGR. Definitivní podoba a konkrétní řešení pro tyto normy bude teprve představena. [29]

## 5.3 VÝROBCE MOTORŮ AGCO SISU POWER

Motory tohoto výrobce užívají především traktory Massey Ferguson, Valtra a JCB Fastrac. V řešení norem Tier 4 Final jde tento výrobce ruku v ruce se společností FPT, jejíž motory užívají Case nebo New Holland. Jejich řešení je výhradně proti vracení výfukových spalin zpět do motoru a spolu s užíváním SCR technologie. Tento hybridní systém, jak bylo řečeno, užívá John Deere. Motory AGCO budou užívat upravený systém s technologií SCR, který umožní splňovat normy Tier 4 Final. [30]



Obr. 5.3.1 AGCO řešení motorů Tier 4 Final [30]



## ZÁVĚR

V rámci této bakalářské práce bylo provedeno shrnutí teorie problematiky emisních norem nesilničních vozidel. Dále byl proveden popis aktuálního dění v technologickém vývoji spalovacích motorů pro dosažení daných hodnot škodlivin výfukových plynů. V souvislosti s uvedením verzí norem Tier 4i a Tier 4 byly představeny technologie SCR a EGR, případně kombinace obou technologií.

Pro splnění norem Tier 4i jsou výrobci voleny obě technologie. Technologie EGR pro nižší výkonové řady a technologie SCR pro vyšší výkonové řady. Dle konečné verze normy Tier 4 někteří výrobci svá řešení již zveřejnili. Z dosud dostupných zpráv vyplývá, že většina výrobců bude užívat technologii SCR. Výrobci, kteří byli schopni dosud plnit předpisy s technologií EGR, budou nyní nuceni přecházet na technologii SCR, případně tyto technologie kombinovat. Příkladem jsou traktory John Deere, které v novém výfukovém systému budou tuto kombinaci využívat.

Z dostupných materiálů byl v této práci vytvořen přehled výrobců, který představuje konkrétní přístupy aplikované na jejich traktorech.

Myslím si, že produkce emisí nesilničních vozidel je důležité téma, které by nemělo být i nadále přehlíženo. Se zvyšujícím se počtem obyvatel roste i počet pracujících traktorů. Taktéž roste i jejich vliv na produkce emisí. Podle mého názoru bude pravděpodobný vývoj pokračovat cestou technologie SCR a jejími případnými inovacemi.

.





## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] HROMÁDKO, Jan, HROMÁDKO, Jiří, HÖNIG, Vladimír, MILER, Petr. *Spalovací motory*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2011. 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [2] SAJDL, Jan. *Emise výfukových plynů* [online]. [cit. 2011-12-22]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/emise-vyfukovych-plynu>>
- [3] *AdBlue®* [online] [cit. 2011-12-24]. Dostupné z: <<http://www.adblue-bluesky.cz/o-technologie-scr.php>>
- [4] *Filtr pevných částic DPF, FAP* [online] [cit. 2011-12-24]. Dostupné z: <<http://www.autokontakty.cz/clanky/filtr-pevnnych-castic-dpf-fap>>
- [5] HÁJEK, Ondřej. *Emisní norma Tier4i: jak fungují nové motory v zemních strojích a na co si dát pozor* [online]. [cit. 2011-12-22]. Dostupné z: <[http://bagry.cz/clanky/technika/emisni\\_norma\\_tier\\_4i\\_jak\\_funguji\\_nove\\_motory\\_v\\_zemnich\\_strojich\\_a\\_na\\_co\\_si\\_dat\\_pozor](http://bagry.cz/clanky/technika/emisni_norma_tier_4i_jak_funguji_nove_motory_v_zemnich_strojich_a_na_co_si_dat_pozor)>
- [6] *Emission Standarts: Europe: Nonroad Diesel Engines* [online] [cit. 2012-01-17]. Dostupné z: <<http://www.dieselnets.com/standards/eu/nonroad.php>>
- [7] *Emission Standarts: USA: Nonroad Diesel Engines* [online] [cit. 2012-01-17]. Dostupné z: <<http://www.dieselnets.com/standards/us/nonroad.php>>
- [8] *Exhaust emission legislativ Diesel-and gas engines* [PDF online] [cit. 2012-01-17]. Dostupné také z: <[http://www.vdma.org/wps/portal/!ut/p/c5/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gLDx8LQwsLIwuLIDcLA6OwMH-zYLOAEC8\\_M6B8JG55byPSdBsFuQLI3Uwd3UxdjQ38TYjR7ezu6GFi7mNgYOECkncyNfMMNHAXMPA0JaA7HORX3CqCzPHLg\\_yGKo\\_pepA8PveB5A1wAEcDfT-P\\_NxU\\_YLc0NAIg0zPLBNHRQBS-XG2/dl3/d3/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnZ3LzZfOEhMODE4ODI4OFJGODAyVIZPNIM2UFRKNDU!/?template=searchAllKategorien&initsearch=emission](http://www.vdma.org/wps/portal/!ut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gLDx8LQwsLIwuLIDcLA6OwMH-zYLOAEC8_M6B8JG55byPSdBsFuQLI3Uwd3UxdjQ38TYjR7ezu6GFi7mNgYOECkncyNfMMNHAXMPA0JaA7HORX3CqCzPHLg_yGKo_pepA8PveB5A1wAEcDfT-P_NxU_YLc0NAIg0zPLBNHRQBS-XG2/dl3/d3/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnZ3LzZfOEhMODE4ODI4OFJGODAyVIZPNIM2UFRKNDU!/?template=searchAllKategorien&initsearch=emission)>
- [9] *SCR Technologie VOBOSYStÉM s.r.o.* [online] [cit. 2012-01-17]. Dostupné z: <<http://www.vobosystem.cz/scr-technologie>>
- [10] *Životní prostředí – ZETOR TRAKTORS a.s* [online] [cit. 2012-01-26]. Dostupné z: <<http://www.zetor.cz/zivotni-prostredi>>
- [11] *Filtr pevných částic* [PDF online] [cit. 2012-01-26]. Dostupné z: <[http://www.zetormorava.cz/fotky525/news\\_2011/Filtr\\_pevnch\\_astic\\_MI.pdf](http://www.zetormorava.cz/fotky525/news_2011/Filtr_pevnch_astic_MI.pdf)>
- [12] *Informační servis Mechanizace zemědělství* [online] [cit. 2012-01-26]. Dostupné z: <[http://www.mechanizaceweb.cz/@AGRO/informacni-servis/Forterra-Power-predstavena\\_\\_s544x58493.html](http://www.mechanizaceweb.cz/@AGRO/informacni-servis/Forterra-Power-predstavena__s544x58493.html)>
- [13] *John Deere – Traktory řady 8 R* [PDF online] [cit. 2012-01-27]. Dostupné z: <<http://johndeeredistributor.cz/Zemedelska-technika/Informace/Prospekty>>



- [14] *John Deere 7030 Series Premium* [online] [cit. 2012-01-27]. Dostupné z: <<http://www.ongmac.com.au/tractors/jd7030premium/engine.htm>>
- [15] [cit. 2012-01-27] Prezentace Tractor Fundamentales 7R Series poskytnutá firmou STROM Praha a.s.
- [16] PÍCHA, Vladimír. *Nová generace Fastrac Katalog zemědělské techniky* [online] [cit. 2012-02-08]. Dostupné z: <<http://www.agromachinery.cz/post/nova-generace-fastrac-298/>>
- [17] [cit. 2012-02-08] Prezentace JCB Fastrac 8280 and 8310 poskytnutá firmou TOKO AGRI a.s.
- [18] [cit. 2012-02-11] Materiály poskytnuté firmou AGRI CS a.s.
- [19] *Valtra CZ – Motor*. [online] [cit. 2012-02-11]. Dostupné z: <[http://www.valtra.cz/?page\\_id=294](http://www.valtra.cz/?page_id=294)>
- [20] [cit. 2012-02-11] Materiály poskytnuté firmou TOPAGRI s.r.o.
- [21] CZ 04-11 MF 8600 [PDF online] [cit. 2012-02-22]. Dostupné z: <<http://www.zacekag.cz/files/>>
- [22] *CHVÁTAL, Alois. Nová norma Tier 4a* [online] [cit. 2012-03-14]. Dostupné z: <<http://www.pal.cz/article/5357.traktory-new-holland>>
- [23] *SCR Katalyzátor v nové řadě 800 Vario* [online] [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: <<http://www.agromex.cz/d83-scr-katalyzator-v-nove-rade-800-vario.html>>
- [24] *Fendt 900 Vario SCR – Motor* [online] [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: <<http://www.agromex.cz/d214-motor.html>>
- [25] Vlastní fotografie z veletrhu Techagro 2012
- [26] *Final Tier 4* [online] [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <[http://www.deere.com/en\\_US/docs/zmags/agriculture/online\\_brochures/emissions/final\\_tier\\_4.html](http://www.deere.com/en_US/docs/zmags/agriculture/online_brochures/emissions/final_tier_4.html)>
- [27] *Final Tier 4 Technologies from John Deere* [online] [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <[http://www.deere.com/wps/dcom/en\\_US/services\\_and\\_support/emissions\\_information/tier\\_4\\_technologies/final\\_tier\\_4/final\\_tier4.page?](http://www.deere.com/wps/dcom/en_US/services_and_support/emissions_information/tier_4_technologies/final_tier_4/final_tier4.page?)>
- [28] *John Deere Announces Tier 4 Final Engine Technology* [online] [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <[http://www.oemoffhighway.com/press\\_release/10637093/john-deere-announces-tier-4-final-stage-iv-engine-technology](http://www.oemoffhighway.com/press_release/10637093/john-deere-announces-tier-4-final-stage-iv-engine-technology)>
- [29] *Case IH Announces Its Tier 4 Final Solution* [online] [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <<http://growingny.com/news/2011/09/case-ih-announces-its-tier-4-final-solution>>
- [30] *Deere follows AGCO's Lead on Tier IV Final* [online] [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <<http://www.macallisterag.com/deere-follows-agcos-lead-on-tier-iv-final/>>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CEGR	recirkulace a chlazení výfukových plynů
CO	oxid uhelnatý
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
DEF	Diesel Exhaust Fluid
DPF	filtr pevných částic
H <sub>2</sub> O	molekula vody
HC	nespálené uhlovodíky
Mh	motohodina
N	atom dusíku
N <sub>2</sub>	molekula dusíku
N <sub>2</sub> O	oxid dusný
NEF	označí motorů Tier 4i pro traktory New Holland
NO	oxid dusnatý
NO <sub>2</sub>	oxid dusičitý
NO <sub>x</sub>	oxidy dusíku
O	atom kyslíku
Pb	olovo
PM	pevné částice
ppm	jednotka vyjadřující počet částic na jeden milion (1 % = 10 000 ppm)
SCR	selektivní katalytická redukce
SOF	organické složky pevných částic
SO <sub>x</sub>	oxidy síry
Stage	Označení emisní normy nesilničních strojů pro Evropu
Tier	Označení emisní normy nesilničních strojů pro Severní Ameriku a USA
λ	součinitel přebytku vzduchu