



**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**

**EMMISSION DIRECTIVES FOR TRACTOR ENGINES**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**PETR JELÍNEK**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**ING. RADIM DUNDÁLEK, PH.D.**

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Akademický rok: 2013/2014

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Petr Jelínek

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 Directives 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] HEISLER, Heinz. Advanced Engine Technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 1-56091-734-2.
- [3] ŠUMAN-HREBLAY, Marián. Historie traktorů Zetor: [vývoj, technika, prototypy a unifikované řady]. 1. vyd. Brno: CPress, 2012, 167 s. Autosalon (CPress). ISBN 978-80-264-0042-4.
- [4] Internet

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 19.11.2013

L.S.

---

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

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



## **ABSTRAKT**

V této bakalářské práci se pojednává o současných emisních normách, které stěžují výrobcům traktorů vývoj nových motorů a o technologiích, které účinně snižují škodlivé látky ve výfukových plynech a jednotlivých výrobcích traktorů a jejich způsobu využití různých technologií.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Emise, technologie, výrobci, motor, spaliny, recirkulace výfukových plynů, filtr pevných částic, oxidační filtr, selektivní katalytická redukce, výfukové plyny

## **ABSTRACT**

*This bachelor's thesis deals with the current emission standards that complain tractor manufacturers to develop new engines and the technologies that effectively reduce harmful substances in exhaust gases and various tractor manufacturers and their method of use of various technologies.*

## **KEYWORDS**

Emission, technology, manufacture, engine, flue gas, exhaust gas recirculation, diesel, particulate filter, oxidation filter, selective catalytic reduction, exhaust gas



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

JELÍNEK, Petr. *Plnění emisních norem u traktorových motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 39 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 25. května 2014

.....

Petr Jelínek



## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D. za odbornou pomoc, konzultace a vstřícnost při vedení bakalářské práce.



## OBSAH

Úvod .....	9
2 Spalovací motor.....	10
2.1 Historie spalovacích motorů.....	10
2.2 Princip .....	11
2.3 Pístové spalovací motory.....	11
2.4 Základní typy pístových spalovacích motorů.....	11
2.5 Účinnost jednotlivých pístových spalovacích motorů.....	12
2.6 Paliva pro spalovací motory .....	13
2.7 Složení výfukových plynů vznikajících ve spalovacím motoru.....	13
2.7.1 Hlavní emisní složky vznikající při spalování .....	13
3 Emisní normy spalovacích motorů.....	16
3.1 Limitní normy výfukových plynů pro osobní a lehká užitková vozidla do 3,5 tuny .	17
3.2 Limitní normy výfukových plynů pro těžká nákladní vozidla a autobusy nad 3,5 tuny .....	18
3.3 Limitní normy výfukových plynů pro nesilniční pojízdná vozidla.....	19
4 Technologie snižující škodliviny ve výfukových plynech .....	20
4.1 Technologie recirkulace výfukových plynů (EGR) .....	20
4.1.1 Hlavní typy u systému EGR.....	21
4.2 Filtr pevných částic (DPF) .....	22
4.3 Oxidační katalyzátor.....	24
4.4 Selektivní katalytická redukce (SCR) .....	25
4.4.1 Výhody technologie SCR.....	26
4.4.2 Nevýhody technologie SCR .....	26
5 Jednotliví výrobci traktorů.....	27
5.1 John Deere .....	27
5.2 Zetor .....	29
5.3 CASE IH.....	30
5.4 Fendt .....	31
5.5 Challenger .....	33
5.6 Srovnání jednotlivých výrobců traktorů.....	34
Závěr.....	35
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	39



## ÚVOD

V současnosti, kdy se kladou velké nároky na ekologický provoz všech spalovacích motorů a ochranu životního prostředí, musejí výrobci traktorů navrhovat své motory a vyvíjet nové technologie tak, aby splňovaly nejpřísnější ekologická nařízení STAGE IV, které bylo uvedeno v platnost v 1. 1. 2014 od Evropské legislativy, která určuje maximální přípustné hodnoty škodlivin ve výfukových plynech. Cílem těchto norem a ustanovení je co nejmenší dopad na životní prostředí a snížení nezdravých a karcinogenních látek, které jsou produktem spalovacích motorů. Současní výrobci traktorů se snaží o vývoj nových nebo vylepšení již vynalezených technologií, které by snížily podíl škodlivých látek ve výfukových plynech a tím i dodržení emisních norem.

V této bakalářské práci bych Vás chtěl seznámit se vznikem škodlivých plynů ve spalovacích motorech, s normami, které musí splňovat, a s technologiemi, které dokáží tyto škodlivé plyny snižovat.



# 1 SPALOVACÍ MOTOR

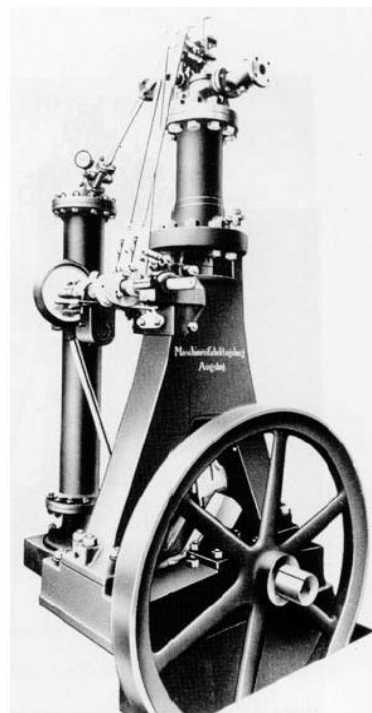
## 1.1 HISTORIE SPALOVACÍCH MOTORŮ

Spalovací motor je v dnešní době jedním z nejvýznamnějších energetických strojů na světě. Jeho historie sahá až do 17. století. Významným posun v oboru spalovacího motoru udělal roku 1807 Issac de Rivaz (1803-1883) získal patent na vozidlo poháněné výbušným motorem. Vůz byl i postaven a vyzkoušen. Největšího úspěchu dosáhl až německý vynálezce N. A. Otto, který v roce 1876 vyrobil čtyřtákní motor se zvýšeným kompresním poměrem a v roce 1877 ho nechal patentovat. Ottův motor se stal základem pro stavbu budoucích spalovacích motorů. Zážehové motory jsou dodnes označovány jako „Ottovi motory“. Z tohoto pohledu byl N. A. Otto jednou z nejvýznamnějších osobností ve světě spalovacích motorů. Svůj motor však Otto nedovedl až k dokonalosti. Velká hmotnost a malý výkon, to byla největší nevýhoda Ottových motorů.

Roku 1892 obdržel Rudolf Diesel (1858-1913) patent s názvem „ Způsob práce a druh provedení spalovacího motoru“. R. Diesel doufal, že jeho motor bude fungovat s účinností 70 až 80 % a v rozsahu tlaků 25-35 MPa. Tohoto výsledku ale nedosáhl. O rok později přišel s prvním prototypem poháněný uhelným prachem. V roce 1896 byl postaven jeho druhý prototyp s vodním chlazením a vstříkovaním benzínu. V době zkoušení druhého prototypu nahradil benzín lampovým petrolejem. Až jeho třetí prototyp, který byl zhotoven v roce 1896 a o rok později odzkoušen, naplnil očekávání a s výkonem 14,7 kW a účinností 26 % tak vznikl vznětový čtyřdobý motor. Proto je rok 1897 brán, jako rok vzniku vznětového motoru. Tyto motory se ze začátku, z důvodu velké hmotnosti a velikosti vysokotlakého kompresoru, používaly jako motory stacionární nebo motory lodní.



Obr. 1 Ottův motor [20]

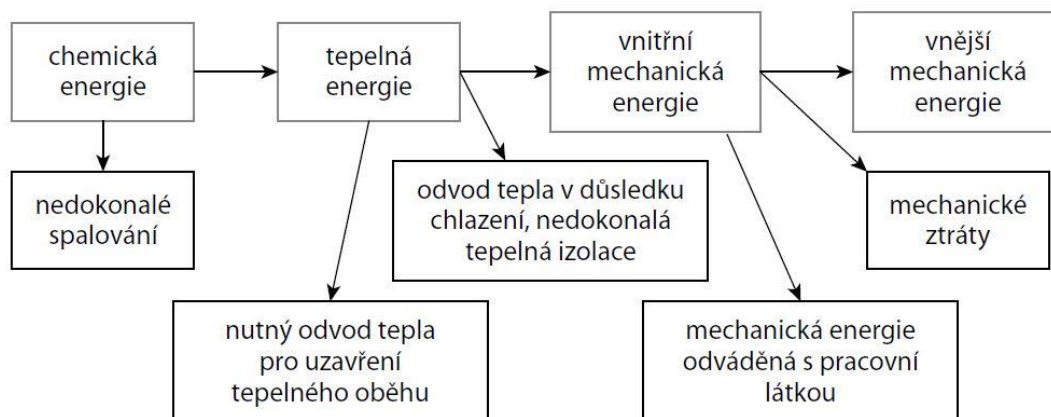


Obr. 2 Dieselův motor[20]



## 1.2 PRINCIP

Je to mechanický tepelný stroj a jeho hlavní funkce spočívá v přeměně energie, konkrétně v přeměně energie chemické obsažené v palivu na tepelnou energii a z tepelné na mechanickou práci. Tato práce je pak spotřebována na pohon jiných součástí nebo strojních zařízení. Při těchto energetických změnách, dochází ve spalovacím motoru k různým ztrátám, jako je nedokonalé spalování paliva nebo tepelné a tlakové ztráty ve spalovací komoře atd. Všechny tyto ztráty snižují účinnost motoru, kterou lze odvodit z Carnotova cyklu, popřípadě z Ottova nebo Dieslova cyklu.



Obr. 3 Přeměna energií ve spalovacím motoru [24]

## 1.3 PÍSTOVÉ SPALOVACÍ MOTORY

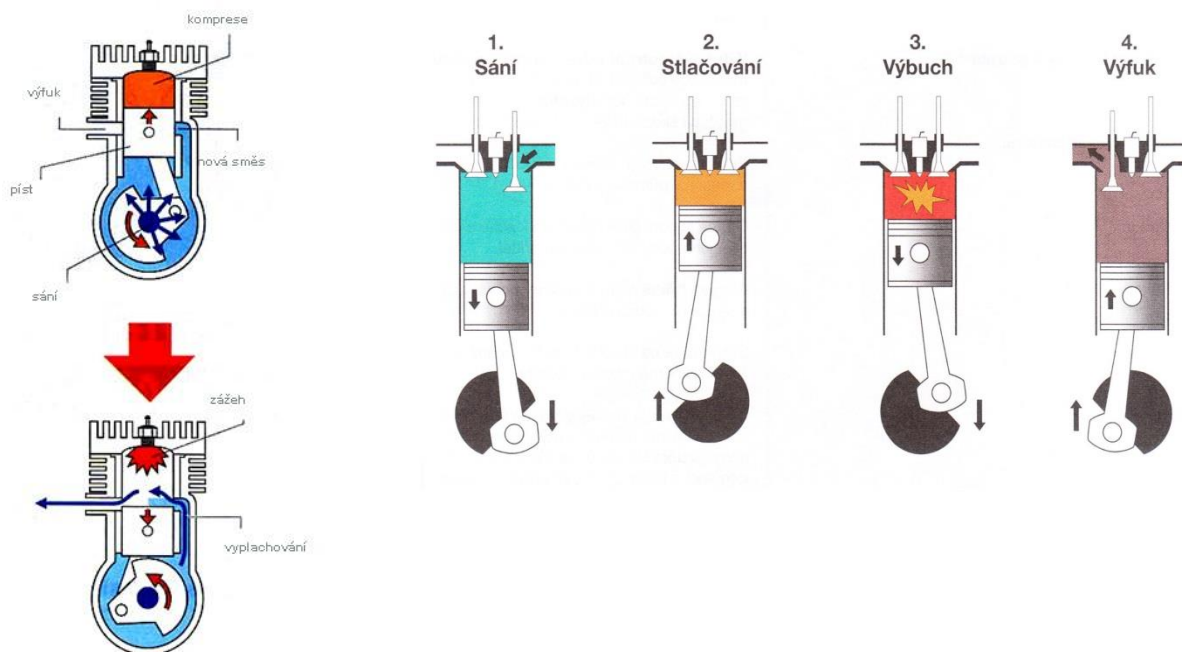
U tohoto typu motorů se vstřikuje směs paliva a vzduchu do spalovací komory, zde se směs stlačí díky pohybu pístu. Poté se stlačená směs zapálí a uvolněná energie se přenáší na píst klikového. Právě tomuto typu motoru se budeme dále podrobněji věnovat.

## 1.4 ZÁKLADNÍ TYPY PÍSTOVÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

- Dle zapálení směsi:
  - Zážehové motory – u toho typu se palivo zažehne jiskrou od elektrické svíčky mezi jejími kontakty. Nejčastější použití je u benzínových a plynových motorů
  - Vznětové motory – tento typ motoru využívá samovznícení zápalné směsi. Směs se stlačí a tím vzroste teplota směsi nad teplotu samozápalu směsi. Tento způsob se používá u naftových motorů.
- Dle druhu paliva:
  - Benzínové motory
  - Naftové motory
  - Plynové motory
- Dle pracovního oběhu:
  - Dvoudobé – neboli dvoutaktní. U těchto typů proběhne pracovní oběh během dvou zdviží pístu.
  - Čtyřdobé – neboli čtyřtaktní. U těchto typů proběhne pracovní oběh během čtyř zdviží pístu.



- Dle uspořádání válců (pouze základní):
  - Řadové – válce jsou seřazeny do řady
  - Vidlicové – válce jsou seřazeny do V
- Dle způsobu plnění válců
  - Nepřeplňované – u těchto motorů se spalovací komora plní vzduchem, který má atmosférický tlak
  - Přeplňované – u těchto motorů je spalovací komora plněna vzduchem, který má tlak vyšší než je atmosférický
- Dle způsobu chlazení:
  - Chlazené vzduchem
  - Chlazené kapalinou
  - Se smíšeným chlazením



Obr. 4 Schéma dvoutaktního motoru [25], schéma čtyřtaktního motoru [26]

## 1.5 ÚČINNOST JEDNOTLIVÝCH PÍSTOVÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

Pístové spalovací motory mají relativně velkou celkovou účinnost. Je to díky dobré tepelné účinnosti pracovních oběhů, vysoké chemické účinnosti při spalování paliva a vysoké mechanické účinnosti.

U čtyřdobých zážehových (benzínových a plynových) se celková účinnost pohybuje mezi 25 a 35 %. Čtyřdobé vznětové motory (naftové) se pohybují s celkovou účinností poněkud výš, než zážehové, mezi 35 a 45 %. Je to díky větší tepelné účinnosti pracovního cyklu. U motorů přeplňovaných se dá dosáhnout ještě vyšších hodnot celkových účinností.

Zážehové dvoudobé motory se s celkovou účinností pohybují kolem 10 až 15 %, ale jejich účinnost rychle stoupá se zavedením přímého vstřikování benzínu. Vznětové dvoudobé



motory přesahují celkovou účinnost 50 %. Pro srovnání, prání stroj se pohybuje s celkovou účinností mezi 5 a 10 %, parní turbíny, 25 až 35 % a spalovací turbíny se pohybují s celkovou účinností v rozmezí 10 až 30 %. Naopak elektromotory dosahují celkových účinností až 90 %, zde se ale musí dodávat elektrická energie.

## 1.6 PALIVA PRO SPALOVACÍ MOTORY

V dnešní době se jako pohonné látky pro pístové spalovací motory využívá převážně produktů ropy a zemního plynu. Tyto zdroje patří mezi neobnovitelné zdroje energie. Pro běžné pístové spalovací motory se dnes převážně používají fosilní uhlovodíková paliva kapalná (benzín, nafta, petrolej) a v druhé řadě až fosilní uhlovodíková paliva plynná (propan - butan), které jsou získávány frakční destilací ropy. Na obrázku je vidět základní rozdělení kapalných uhlovodíkových paliv a teplota jejich odpaření. Pro vznětové motory se používá motorová nafta a pro zážehové motory se používá benzín.



Obr. 5 Kapalná uhlovodíková paliva[21]

## 1.7 SLOŽENÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ VZNIKAJÍCÍCH VE SPALOVACÍM MOTORU

Při spalování uhlovodíkových paliv, která obsahují organické přísady a různá aditiva, která zlepšují vlastnosti paliva, dochází k rozdělování uhlovodíku na vodík a uhlík. Poté dochází ke sloučení s kyslíkem z nasávaného vzduchu. Při ideálním spalování je pro určité množství paliva potřeba přesné množství kyslíku, aby došlo k oxidaci kyslíkem. Budeme-li uvažovat ideální spalování, tak nevznikají žádné škodlivé látky ze spalování, pouze vodní páry a oxid uhličitý. Při reálném spalování ale dochází k nedokonalému spalování a vznikají tak škodlivé látky. Vždy dochází k tomu, že je buď více paliva než nasávaného vzduchu (bohatá směs) nebo je více nasávaného vzduchu než přiváděného paliva (chudá směs). Tento poměr určuje součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$ . Součinitel přebytku vzduchu může být menší, větší nebo rovný 1. Když bude  $\lambda > 1$  směs paliva a vzduchu je chudá. Je-li  $\lambda < 1$  je směs paliva a vzduchu bohatá. Pokud je  $\lambda = 1$  znamená to, že je množství přivedeného paliva rovna množství potřebného vzduchu tj. probíhá dokonalé spalování a nevznikají žádné škodliviny.

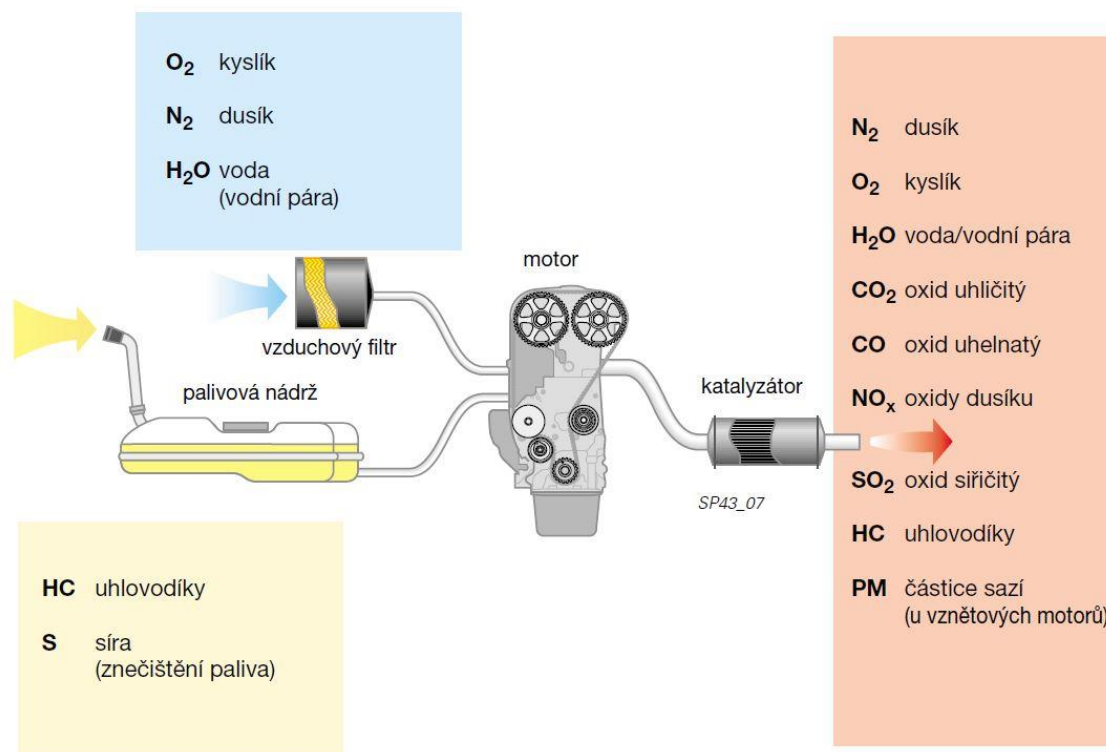
### 1.7.1 HLAVNÍ EMISNÍ SLOŽKY VZNIKAJÍCÍ PŘI SPALOVÁNÍ

- Oxid uhelnatý (CO) – CO je bezbarvý plyn bez zápachu. Je jedovatý a je těžší než vzduch. Vzniká při bohaté směsi (nedostatek obsahu kyslíku ve směsi) u zážehových motorů. Při chudé směsi (přebytek obsahu kyslíku ve směsi) je vznik CO nízký.
- Oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ) – při spalování směsi za vysokých teplot a tlaků dochází k oxidaci dusíku obsaženého v nasávaném vzduchu. Vzniká tak oxid dusnatý (NO) a ve velmi malém množství další plyny (oxid dusičitý  $\text{NO}_2$  a oxid dusný  $\text{N}_2\text{O}$ ). Jejich množství



je závislé především na teplotě hoření. Čím vyšší teplota hoření, tím větší množství  $\text{NO}_x$  vznikají.  $\text{NO}$  je bezbarvý bez zápachu,  $\text{NO}_2$  je červenohnědý štiplavě zapáchající.

- Nespálené uhlovodíky HC - vznikají při nedokonalém spalování tj. při nedostatku kyslíku (bohatá směs). Nejmenší množství HC bude v oblasti, kdy je součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$  mezi hodnotami 1,1 a 1,2. Výfukové plyny obsahují různé typy uhlovodíků, jako jsou např. nasycené uhlovodíky (parafíny), nenasycené uhlovodíky (olefiny, acetylény), atd.
- Oxid siřičitý  $\text{SO}_2$  – určité množství síry je obsaženo v každém palivu a při jeho spalování se přeměňuje na  $\text{SO}_2$ . Cílem konstruktérů je dosáhnout úplného odstranění  $\text{SO}_2$ . Je štiplavě zapáchající, bezbarvý.
- Oxid uhličitý  $\text{CO}_2$  – je produktem dokonalé oxidace a je důkazem kvalitního spalování.  $\text{CO}_2$  je bezbarvý, není jedovatý, bez zápachu.
- Pevné částice PM – jsou produkovány výhradně u vznětových motorů a obsahují hlavně uhlík a dále pak sulfáty, dusík, vodu a neidentifikovatelné složky. Množství pevných částí ve výfukových plynech závisí na technickém stavu a typu motoru. PM nejsou nějak nebezpečné z krátkodobého hlediska pobytu v nich.



Obr. 6 Schéma produkce výfukových plynů



Obr. 7 Procentuální podíl prvků ve spalinách u zážehového motoru



Obr. 8 Procentuální podíl prvků ve spalinách u vznětového motoru



## 2 EMISNÍ NORMY SPALOVACÍCH MOTORŮ

Emisní normy jsou ustanovení, ohledně maximálního množství škodlivin obsažených ve výfukových plynech naftových a benzínových motorů do ovzduší. První emisní norma vznikla v roce 1968 v Kalifornii. První evropskou normou byla norma z roku 1971 s označením EHK 15.

V roce 1992 se objevila první norma EURO, která platí v zemích Evropské unie. Od roku 1992 se téměř každé čtyři roky vydala obnova této normy. S každou novou normou, která vzejde v účinnost, se nároky na snížení škodlivin ve výfukových plynech zvyšují. Norma řeší maximální množství většiny látek (CO, HC, No<sub>x</sub> a PM), ale například CO<sub>2</sub>, který je často považován za příčinu globálního oteplování, tyto normy neřeší.

Při zavedení normy EURO 2 bylo zavedeno rozdělení emisní normy na zážehové a vznětové motory protože zážehové motory nemusejí splňovat emisní normu na pevné částice. Od roku 2005, kdy byla zavedena norma EURO 4, se musejí auta vybavovat filtrem pevných částic.

Od 1. ledna 2014 vstoupila v platnost v Evropské unii emisní norma EURO 6. Od tohoto data už není možné uvést na trh motor, který by splňoval pouze EURO 5. Zatímco v předchozích letech byl přechod z nižší na vyšší normu podstatně větší u snížení CO (oxid uhelnatý), NO (oxid dusíku), PM (pevné částice), tak přechod z normy EURO 5 na EURO 6 byl poměrně malý a pro konstruktéry obtížný. Konstruktéři museli řešit řadu problémů spojených s vyššími teplotami spalování, většími tlaky a řízením vstřikováním a úpravou výfukových plynů.



## 2.1 LIMITNÍ NORMY VÝFUKOVÝCH PLYNŮ PRO OSOBNÍ A LEHKÁ UŽITKOVÁ VOZIDLA DO 3,5 TUNY

Tab. 1 Limitní normy výfukových plynů pro osobní a lehká užitková vozidla do 3,5 tuny

Norma	Typ motoru	Platná v ČR od roku	Limity [g/km]				
			Oxid uhelnatý CO	Nespalené uhlovodíky HC	Oxidy dusíku NO <sub>x</sub>	HC+NO <sub>x</sub>	Pevné částice PM
EHK 15/00	Bez ohledu na typ motoru	1972	39,10	3,00	-	-	-
EHK 15/01		1975	31,80	2,50	-	-	-
EHK 15/02		1977	31,80	2,50	3,50	-	-
EHK 15/03		1979	25,60	2,27	3,00	-	-
EHK 15/04		1982	19,70	-	-	6,30	-
EURO I	zážehový	1993	2,72	-	-	0,97	-
EURO I	vznětový	1993	2,72	-	-	IDI 0,97	IDI 0,14
				-	-	DI 1,36	DI 0,20
EURO II	zážehový	1996	2,20	0,50	-	-	-
EURO II	vznětový	1996	1,00	-	-	IDI 0,70	IDI 0,08
				-	-	DI 0,90	DI 0,10
EURO III	zážehový	2000	2,30	0,20	0,15	-	-
EURO III	vznětový	2000	0,64	-	0,50	0,56	0,05
EURO IV	zážehový	2005	1,00	0,10	0,08	-	-
EURO IV	vznětový	2005	0,50	-	0,25	0,30	0,025
EURO V	zážehový	2009	1,00	0,10	0,06	-	0,005
EURO V	vznětový	2009	0,50	-	0,18	0,23	0,005
EURO VI	zážehový	2014	1,00	0,10	0,06	-	0,005
EURO VI	vznětový	2014	0,50	-	0,08	0,17	0,005

Hodnoty EHK 15/.. jsou přepočteny z původních hodnot na g/km

IDI – komůrkový vznětový motor (nepřímé vstřikování)

DI – vznětový motor s přímým vstřikováním



## 2.2 LIMITNÍ NORMY VÝFUKOVÝCH PLYNŮ PRO TĚŽKÁ NÁKLADNÍ VOZIDLA A AUTOBUSY NAD 3,5 TUNY

Tab. 2 Limitní normy výfukových plynů pro těžká nákladní vozidla a autobusy nad 3,5 tuny

Norma	Platna v ČR od roku	Limity [g/km]			
		Oxid uhelnatý CO	Nespálené uhlovodíky HC	Oxidy dusíku NO <sub>x</sub>	Pevné částice PM
EURO 0	1990	12,30	2,60	15,80	-
EURO I	1993	4,90	1,23	9,00	0,40/0,68
EURO II	1996	4,00	1,10	7,00	0,15
EURO III	2000	2,10	0,66	5,00	0,10/0,13
EURO IV	2005	1,50	0,46	3,50	0,02
EURO V	2009	1,50	0,46	2,00	0,02
EURO VI	2014	1,50	0,25	2,00	0,02

Pro nesilniční pojízdné stroje také platí ustanovení, která limitují maximální množství škodlivin ve výfukových plynech. Do této skupiny patří traktorové motory, lodní motory, motory pro lokomotivy atd. Emisní limity pro traktorové motory se rozdělují podle výkonu motoru a období platnosti a jsou v jednotkách gram na kilowatt-hodinu (g/kW.h). Limitované škodliviny jsou obdobné, jako u silničních vozidel (oxid uhelnatý CO, nespálené uhlovodíky UH, pevné částice PM, oxidy dusíku NO<sub>x</sub>). Pro emisní normy v EU pro nesilniční pojízdné stroje se používá označení STAGE, v USA Tier.



## 2.3 LIMITNÍ NORMY VÝFUKOVÝCH PLYNŮ PRO NESILNIČNÍ POJÍZDNÁ VOZIDLA

Tab. 3 Limitní normy výfukových plynů pro nesilniční pojízdná vozidla

Norma	Výkon P [kW]	Platná od	Limity [g/kW.h]			
			Oxid uhelnatý CO	Nespálené uhlovodíky HC	Oxidy dusíku NO <sub>x</sub>	Pevné částice PM
STAGE I	130≤P≤560	1.6.1998	5	1,3	9,2	0,54
	75≤P≤130	1.6.1998	5	1,3	9,2	0,7
	37≤P≤75	1.6.1998	6,5	1,3	9,2	0,85
STAGE II	130≤P≤560	1.1.2001	3,5	1	6	0,2
	75≤P≤130	1.1.2002	5	1	6	0,3
	37≤P≤75	1.1.2003	5	1,3	7	0,4
	18≤P≤37	1.1.2000	5,5	1,5	8	0,8
STAGE IIIa	130≤P≤560	1.1.2006	3,5	4		0,2
	75≤P≤130	1.1.2006	5	4		0,3
	37≤P≤75	1.1.2007	5	4,7		0,4
	19≤P≤37	1.1.2006	5,5	7,5		0,6
STAGE IIIb	130≤P≤560	1.1.2011	3,5	0,19	2	0,025
	75≤P≤130	1.1.2012	5	0,19	3,3	0,025
	56≤P≤75	1.1.2012	5	0,19	3,3	0,025
	37≤P≤56	1.1.2013	5	4,7		0,025
STAGE IV	130≤P≤560	1.1.2014	3,5	0,19	0,4	0,025
	56≤P≤130	1.10.2014	5	0,19	0,4	0,025

Když porovnáme emisní limity osobních, nákladních a nesilničních vozidel, je vidět, že jejich hodnoty se liší. Vezmeme-li poslední platné emisní normy, která platí pro rok 2014 a dál, je vidět, že osobní a lehká užitková vozidla do 3,5 tuny musí splňovat nejpřísnější emisní limity. U limitní normy výfukových plynů pro nesilniční pojízdná vozidla STAGE (do této normy spadají traktory) jsou limitní hodnoty, oproti osobním a užitkovým vozidlům, daleko vyšší. Některé limitní hodnoty škodlivin jsou i desetkrát vyšší pro nesilniční vozidla, než pro osobní vozidla pro rok 2014.



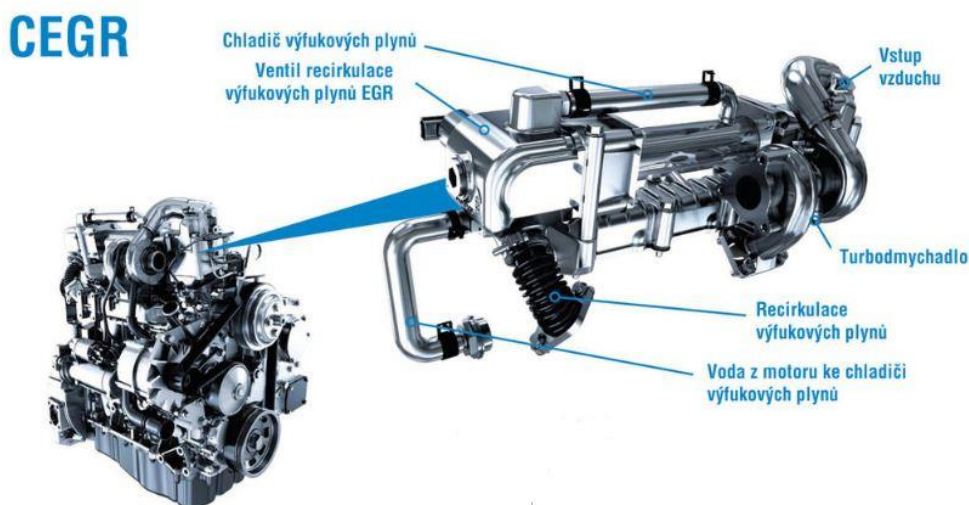
### 3 TECHNOLOGIE SNIŽUJÍCÍ ŠKODLIVINY VE VÝFUKOVÝCH PLYNECH

Díky těmto ustanovením a předpisům, musejí výrobci všech silničních i nesilničních vozidel vyvíjet nové komponenty do svých motorů, které budou splňovat tyto normy. Jednou z hlavních věcí, která ovlivňuje množství emisí ve výfukových plynech je spotřeba paliva. Tu se snaží výrobci co nejvíce omezit.

Velký vliv na snížení spotřeby paliva je hmotnost vozidla. Všechny bezpečnostní a komfortní prvky ve vozidle znamenají nárůst hmotnosti vozidla. Proto se výrobci snaží dělat celou konstrukci vozidla, motory a další části z lehkých slitin. Z pohledu technologií, které snižují emise, se dají, díky své charakteristice, rozdělit na dvě skupiny. Na vnitřní a vnější. Vnitřní jsou uvnitř motor, ty vnější jsou naopak vně, na vstupu nebo na výstupu z motoru. U vnitřních se jedná o směs paliva přiváděné do spalovací komory nebo způsobu vstříkávání paliva, i úhel vstříkávání paliva nebo počet ventilů sání a výfuku na válec má svůj podíl na spotřebě paliva a následné tvorbě škodlivin ve výfukových plynech. Pro snížení emisí se také používá systému EGR. Jedná se o technologii, která využívá výfukových plynů a přivádí je zpět do spalovací komory, kde jsou znovu spalovány. Tyto spaliny nahrazují přebytečný vzduch s obsahem kyslíku v komoře. U vnitřních se jedná hlavně o úpravu procesu hoření tak, aby vznikalo co nejméně škodlivých látek vycházejících z motoru. U vnějších jde například o přidané komponenty, které účinně snižují množství škodlivin na výstupu z motoru. U vnějších se jedná o oxidační katalyzátory nebo filtry pevných částic. Cíl vnitřních a vnějších technologií a snižování spotřeby paliva je stejný a to co nejvíce snížit množství škodlivin ve výfukových plynech tak, aby splňovali příslušné normy.

#### 3.1 TECHNOLOGIE RECIRKULACE VÝFUKOVÝCH PLYNŮ (EGR)

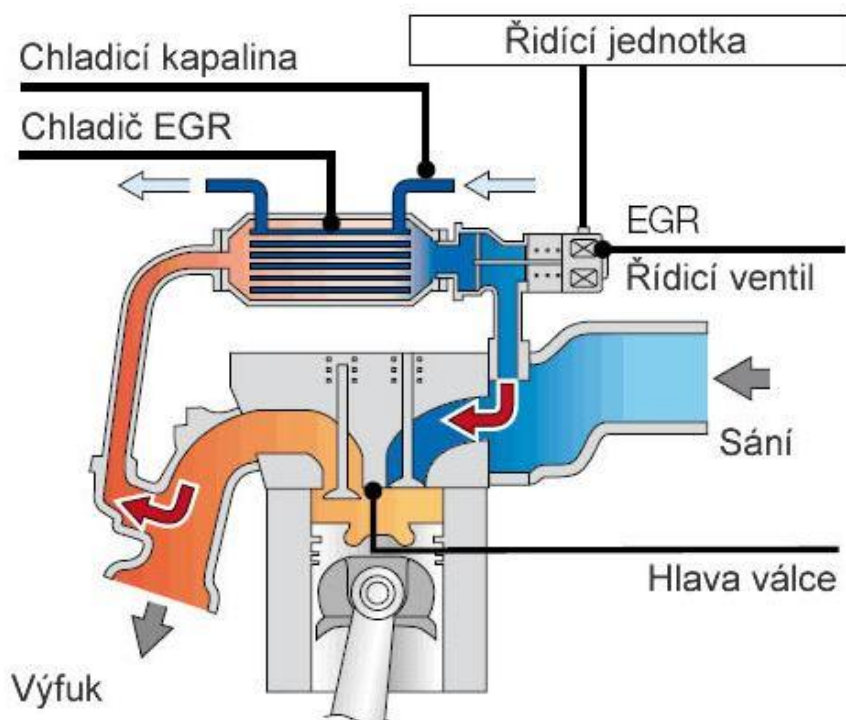
Tato technologie spočívá v přívodu výfukových plynů zpět do spalovací komory vznětového motoru (tzv. recirkulaci výfukových plynů). Recirkulací výfukových plynů se snižují emise  $\text{NO}_x$  (oxid dusíku).



Obr. 9 Motor s technologií recirkulace výfukových plynů [27]



Princip vnější recirkulace je takový, že se výfukové plyny procházející výfukovým potrubím přivádějí přes tzv. EGR ventil do přívodu sání vzduchu. Zde se výfukové plyny mísí s přiváděným vzduchem a tím se snižuje nejen podíl kyslíku ve směsi, ale i výbušnost směsi v průběhu spalování. Přivedené spaliny pohlcují vytvořené teplo a tím klesá teplota ve spalovacím prostoru a snižují se emise  $\text{NO}_x$ , ale zvyšuje se koncentrace pevných částic (PM) a nespálených uhlovodíků (HC). To se dá omezit přidáním filtru pevných částic do výfukového potrubí. V systému EGR se používalo většinou pneumatických a mechanických systémů k ovládnutí ventilu, ale kvůli nepřesnostem v dávkování výfukových plynů těchto systémů se spíše, v této době, využívá elektronických systémů. Systém recirkulace výfukových plynů EGR lze použít jen v určitých zatíženích motoru. Při plném zatížení nelze tento proces využít, protože produkce spalin je nejvyšší a při spalovacím procesu se musí dodržet směšovací poměr tak, aby nedošlo k překročení hranice kouřivosti a také aby nedocházelo k velkému poklesu výkonu (díky nedostatku vzduchu ve směsi). Poměr spalin ve směsi zajišťuje řídicí jednotka. Ta určuje tento poměr z informací, které dostane ze senzorů umístěných v motoru (teplota chladicí náplně, teplota nasávaného vzduchu, teplota výfukových plynů, otáček motoru, plnicího tlaku atd.) a ovládá velikost otevření elektropneumatického ventilu.



Obr. 10 Schéma technologie EGR[30]

### 3.1.1 HLAVNÍ TYPY U SYSTÉMU EGR

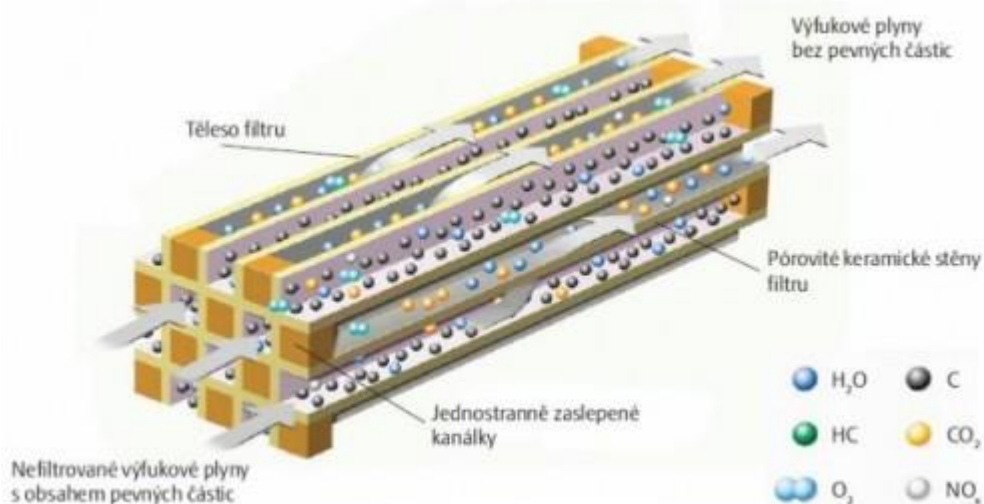
- EGR bez ochlazování – zde spaliny nejsou ochlazovány a zvyšují teplotu vzduchu, který je nasáván.
- EGR s plným ochlazením – zde jsou spaliny ochlazovány. Při plném ochlazení může dojít ke kondenzaci vody a následnému dostání se do spalovací komory
- EGR s částečným ochlazením – spaliny procházejí jen částečně přes výměník tepla. Díky tomu nedochází k velkému ochlazení spalin a ke kondenzaci vody.



Zpětného nasání výfukových plynů lze dosáhnout také úpravou časování ventilů. Při výfuku dojde na malou chvíli k pootevření sacího ventilu a tím dojde ke zpětnému nasání výfukových plynů do sacího potrubí (dochází k překrytí ventilů). Jde o to, že se při expanzním zdvihu spalovacího motoru vytlačují výfukové plyny výfukovými ventily ven ze spalovacího prostoru. Těsně před horní úvratí (HÚ) se otevřou sací ventily a část výfukových plynů se nasaje do sacího potrubí. Po překonání horní úvratě se výfukové ventily uzavřou a přichází na řadu sání, při kterém vzniká podtlak a nasáté spaliny, z předešlého cyklu, se nasají zpět do spalovacího prostoru motoru. Na množství podílu výfukových plynů a vzduchu závisí překrytí sacích a výfukových ventilů. Způsob vnitřní recirkulace je nevhodný z důvodu nastavení bez možnosti regulace množství spalin (není variabilní), protože je dán načasováním rozvodů z výroby. Výrobci se tento problém snaží řešit proměnným časováním ventilů. To dokáže regulovat úhel překrytí a vyhovět každé situaci, která nastane. Proměnné časování ventilů je ale poměrně těžké navrhnout tak, aby bylo konstrukčně co nejjednodušší a dostatečně účinné. Proto se používá spíše vnější recirkulace pomocí ventilu (EGR).

### 3.2 FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC (DPF)

Jedná se o zařízení, které zachycuje většinu PM pevných částic vycházejících ze spalovacího prostoru vznětového motoru. Bývá často označován jako DPF (anglická zkratka „Diesel Particle Filter“) nebo FAP (francouzská zkratka "Filtre Anti Particules"). V roce 1980 se objevil první filtr, ale pouze u stacionárních strojů. Do vozidel se začaly montovat až v roce 2000, díky zpřísnění emisních limitů. Filtr pevných částic je umístěn ve výfukovém potrubí a má za úkol zachytávat karcinogenní pevné částice (PM), pomocí jemného sítky, kterým je vybaven. Filtr pevných částic se používá pro splnění nejpřísnějších emisních kritérií a bez něj se dnešní vznětové motory neobejdou. Obvykle je používán zároveň s technologií EGR (recirkulaci výfukových plynů).



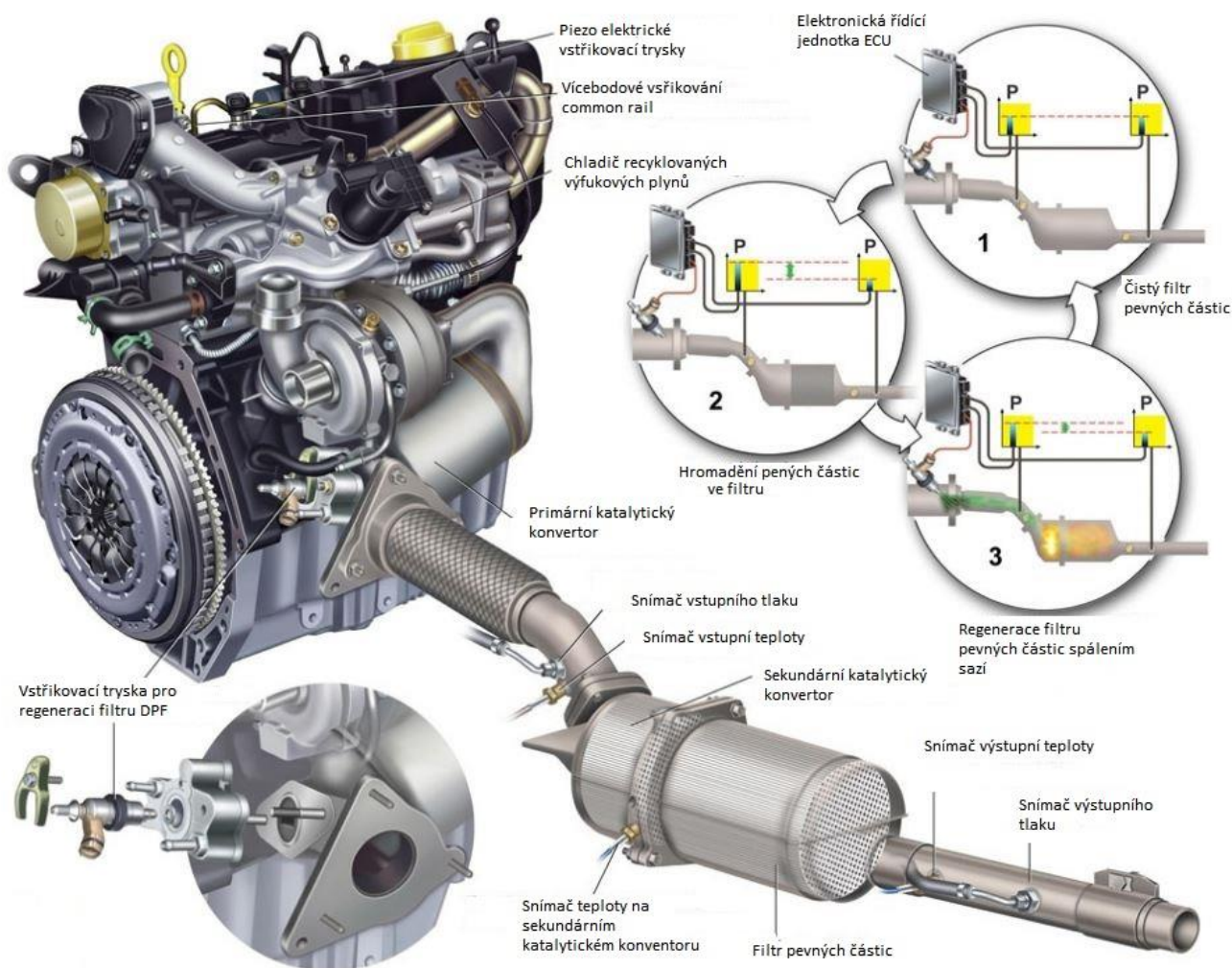
Obr. 11 Schéma technologie filtru pevných částic DPF [31]



Filtr má vláknovou nebo buňkovou podobu a bývá vyroben například ze silikátů s přidaným hliníkem a spékanými kovy. Spaliny vstupují do filtru pevných částic a zde se rozdělují do mnoha malých komůrek, které jsou od sebe odděleny stěnami o tloušťce 300 – 400  $\mu\text{m}$ . Spaliny procházejí skrz komůrky a během průchodu se na stěnách uchytávají pevné částice. Toto řešení je nazýváno jako uzavřený systém, protože pevné částice nemají volný průchod přes filtr.

Další řešení se je nazýváno jako otevřený systém. U něj nemusí proudící spaliny překonávat žádnou překážku. Tím se snižuje odpor proudění. Proud spalin se dělí pomocí vytvářených výstupků, které mají za úkol nasměrovat spaliny na povrch ze spékaných materiálů, na kterém se pevné částice uchytí.

Největší nevýhodou filtru pevných částic je jeho zanášení pevnými částicemi. Po úplném zanesení je potřeba filtr buď vyměnit za nový, což je poměrně nákladné (v řádu deseti tisíc až sta tisíc), nebo použít regenerativního systému. Tento systém umožňuje periodické nebo kontinuální čištění. Při čištění dochází ke spálení uchycených pevných částic. K tomu je potřeba vyšší teplota, než je teplota zápalnosti.



Obr. 12 DPF filtr se schematem regenerace filtru [32]



Regenerační systémy lze rozdělit na dva:

- Aktivní
- Pasivní

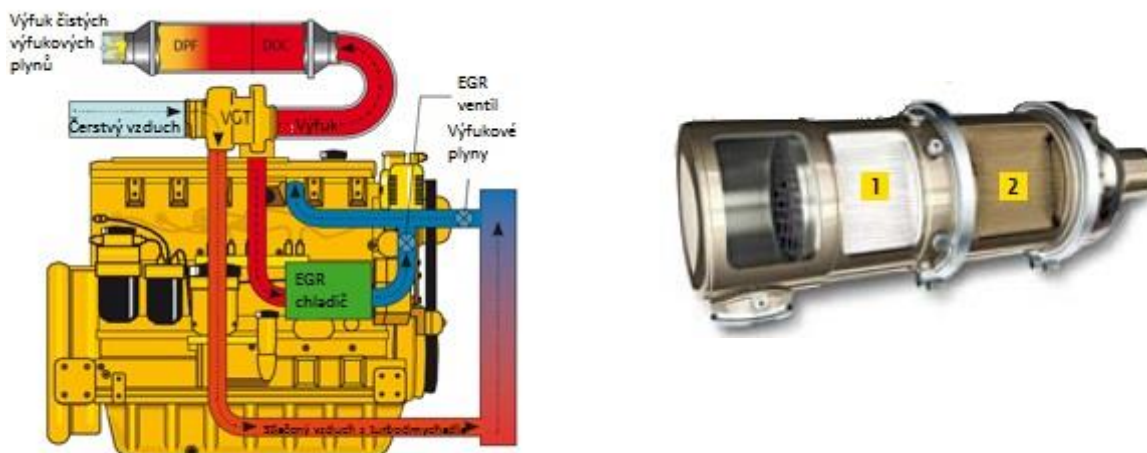
U aktivních systémů se musí dodávat energie, aby se zvýšila teplota spalin a pevné částice se z filtru vypálily. Možnosti zvýšení teploty jsou různé, například hořením paliva v komoře filtru, pomocí topné spirály atd. U pasivních systémů se používají různá opatření, například filtry s aktivní vrstvou nebo s předřazeným oxidačním katalyzátorem atd., k tomu, aby snížila teplotu vznícení pevných částic a jejich spalování probíhalo kontinuálně.

Doba regenerace je závislá na použité technologii, ale řádově se pohybuje v minutách. Čas mezi jednotlivými regeneracemi se u traktorů pohybuje mezi 8 až 30 provozními hodinami v závislosti na otáčkách a zatížení motoru. Účinnost filtrů pevných částic se pohybuje nad hranicí 90%.

Výhodou DPF filtru je, že zachytává velké procento karcinogenních pevných částic, které produkuje motor. Jeho největší nevýhodou je jeho zanášení a nutná regenerace, která je neúčinná při velkém zahlcení filtru pevnými částicemi a pak je nutná výměna filtru.

### 3.3 OXIDAČNÍ KATALYZÁTOR

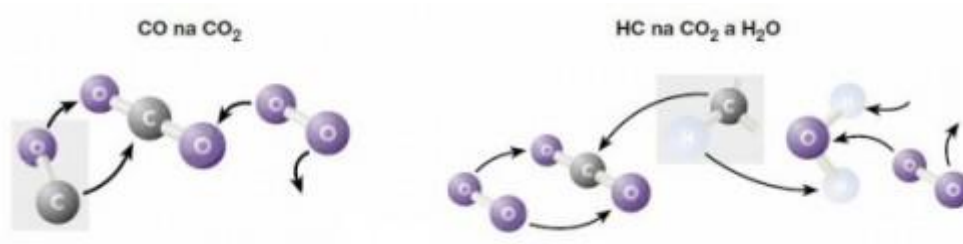
Oxidační katalyzátor pracuje na principu přeměny toxických složek výfukových plynů na složky netoxické u vznětových motorů. Pracuje s chudou zápalnou směsí a vytváří podmínky pro reakci uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého (CO) a dalších škodlivin s kyslíkem. Díky oxidaci se přeměňují škodlivé složky výfukových plynů na méně škodlivé složky a to na oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) a vodní páru (H<sub>2</sub>O) a další netoxické složky. Obsah oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>) se po průchodu oxidačním katalyzátorem nemění. Díky tomu, že nesnižuje obsah oxidu dusíku (NO<sub>x</sub>), se používá systému recirkulace výfukových plynů (EGR). Oxidační katalyzátor dokáže snížit složky oxidu uhelnatého (CO) a uhlovodíků (HC) až o 90 % při dostatečném obsahu kyslíku ve výfukových plynech.



Obr. 13 Motor s technologií EGR, DPF a DOC [22] a filtr DPF (2) s oxidačním katalyzátorem DOC (1) [23]



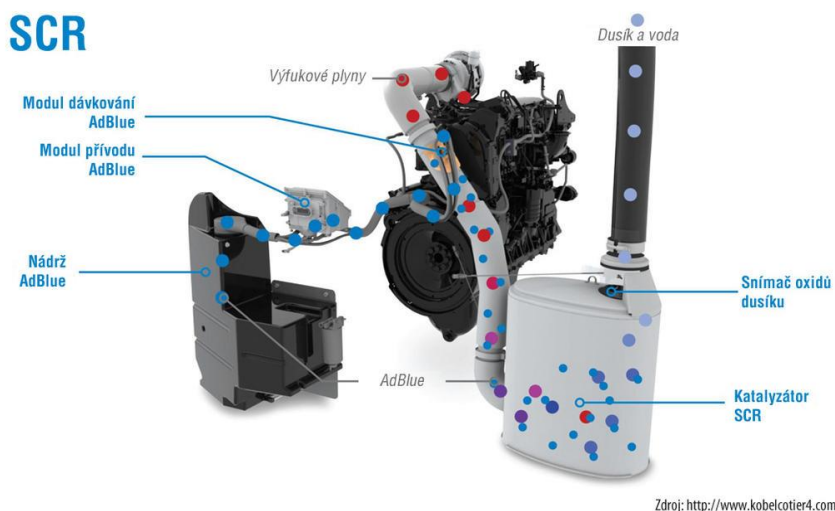
Je tvořen z nerezového obalu. V obalu je uložen nosič (kovový nebo keramický a je potažen ušlechtilým kovem, jako je platina nebo rhodium) s aktivní vrstvou, ve kterém je velké množství tenkostěnných, axiálně řazených kanálků. Těmito kanálky pak proudí výfukové plyny. Kanálky mají nejčastěji čtvercový nebo obdélníkový průřez. U vznětových motorů se nepoužívá řízené čištění výfukových plynů a oxidační katalyzátor ve výfukových plynech přeměňuje jen ty složky plynů, které může měnit oxidací.



Obr. 14 Redukce škodlivin ve výfukových plynech [33]

### 3.4 SELEKTIVNÍ KATALYTICKÁ REDUKCE (SCR)

SCR je jednou z dalších možností, jak snižovat množství škodlivých látek ve výfukových plynech. Tato technologie účinně snižuje obsah oxidu dusíku (NO<sub>x</sub>) ve výfukových plynech, a proto může motor pracovat v oblastech s větší produkcí oxidu dusíku a nižší produkcí pevných částic (PM).



Obr. 15 Technologie selektivní katalytické redukce SCR [28]



Snižování obsahu oxidu dusíku se děje už úpravou spalovacího procesu v motoru (úpravou doby vstřikování výbušné směsi nebo poměrem vzduchu a paliva ve směsi se sníží obsah pevných částic a zvýší obsah oxidu dusíku) a dále pak ve výfukovém potrubí, kde se pomocí vstřikování roztoku močoviny (označený pod názvem AdBlue) do potrubí mísí s výfukovými plyny. Voda obsažená v roztoku močoviny (AdBlue) se v potrubí odpařuje a močovina, která po odpaření zbyla, se mění díky chemickým reakcím (termolýze a hydrolýze) na amoniak (čpavek). Amoniak je sama o sobě toxická látka, proto se chemicky získává až ve výfukovém potrubí odpařením vody. Výfukové plyny společně s amoniakem proudí potrubím až ke SCR katalyzátoru, kde oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ) pomocí amoniaku ( $\text{NH}_3$ ) a dostatečné teploty spolu reagují a přeměňují se na vodní páru ( $\text{H}_2\text{O}$ ) a dusík ( $\text{N}_2$ ). Dávkování AdBlue určuje řídicí jednotka, která dávkuje potřebné množství roztoku podle informací, které získává od snímačů v motoru a ve výfukovém potrubí (v potrubí snímá teplotu a obsah oxidu dusíku  $\text{NO}_x$ ).

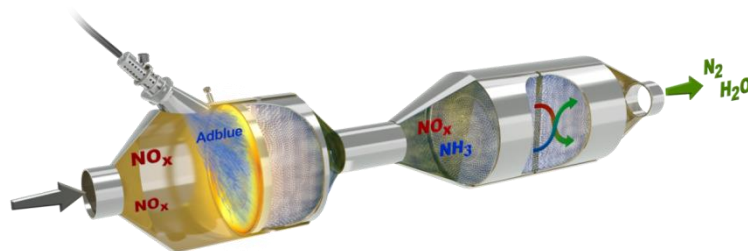
Roztok močoviny AdBlue je složen z 32,5 % z močoviny  $\text{CO}(\text{NH}_2)$  o vysoké chemické čistotě a zbylou část tvoří demineralizovaná voda. Roztok je náchylný na nízké a vysoké teploty. Při teplotě  $-11^\circ\text{C}$  dochází k zamrznutí (krystalizaci) roztoku močoviny. Při teplotě vyšší než  $40^\circ\text{C}$  se zase roztok močoviny rozkládá. Proto je nutné dodržet rozpětí teplot například topnými spirálami, aby nedocházelo k dodávce neúčinného roztoku nebo ke krystalizaci roztoku. Spotřeba roztoku moči (AdBlue) se pohybuje mezi 4-8 % ze spotřebované nafty (tj. 4-8 litrů roztoku na 100 litrů nafty).

### 3.4.1 VÝHODY TECHNOLOGIE SCR

Mezi výhody technologie selektivní katalytické redukce (SCR) patří nižší spotřeba paliva oproti technologii EGR nebo zvýšení životnosti motoru díky nižší produkci pevných částic (PM) v motoru. Největší výhodou SCR je velká účinnost. Díky SCR katalyzátoru lze snížit obsah oxidu dusíku až o 90 % a produkce pevných částic v motoru může klesnout až o 30 %.

### 3.4.2 NEVÝHODY TECHNOLOGIE SCR

Mezi hlavní nevýhody patří potřeba prostoru pro přídavnou nádrž s roztokem močoviny (AdBlue), umístění systému dopravy roztoku do výfuku a SCR katalyzátor. Nevýhodou může být také nedostatečná dostupnost AdBlue. Jedna z nevýhod je také nutnost doplňování roztoku do nádrže. Když roztok dojde, tak na výkonu a funkci motoru se nic nezmění, ale už se nesnižuje obsah oxidu dusíku. To znamená, že vozidlo už nemusí splňovat potřebné emisní limity. S tím může být spojeno opatření od výrobce, že pokud dojde v nádrži roztok močoviny, tak řídicí jednotka omezí výkon motoru, a tím donutí provozovatele vozidla chybějící roztok doplnit. Technologie selektivní katalytické redukce (SCR) bývá u některých výrobců spojována i s jinými technologiemi, jako je oxidační katalyzátor nebo filtr pevných částic.



Obr. 16 Vstřikování AdBlue se SCR katalyzátorem [34]



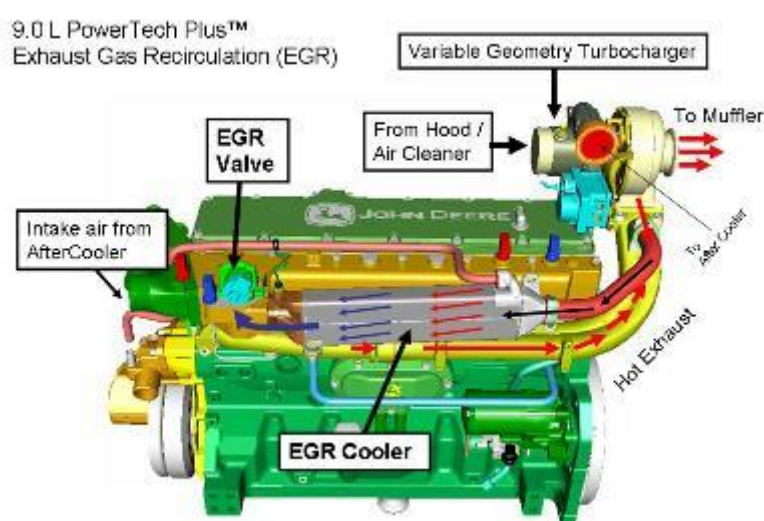
## 4 JEDNOTLIVÝ VÝROBCI TRAKTORŮ

Každá společnost, která vyrábí traktory a jiné zemědělské stroje, se musí vypořádat s podmínkami, které musí jejich výrobky splňovat. Díky nástupu nové normy od 1. 1. 2014 musí traktorové motory s výkonem od 130 kW do 560 kW splňovat emisní normu STAGE IV (TIER 4) a od 1. 10. 2014 budou muset splňovat tuto normu i traktory s výkonem 56 kW až 130 kW. Díky neúčinnosti technologie EGR proti pevným částicím, používají výrobci traktorových motorů s EGR také filtr pevných částic DPF. Každý z výrobců traktorových motorů se vydal svojí cestou, ať už s použitím technologií EGR + DPF nebo SCR, ale všichni se snaží snížit emise svých motorů co nejvíce. Pro vysoké nároky na emisní limity teď budou muset výrobci traktorových motorů kombinovat technologie, které snižují škodlivé látky ve výfukových plynech. Díky vyšším nárokům na emisní limity budou muset výrobci nejspíš kombinovat i EGR + DPF s technologií SCR.

Výrobců traktorů je na celém světě mnoho a každý z těchto výrobců má různé druhy traktorů s různými výkonnostními třídami. Proto se zde zaměříme jen na určité výrobce a jen na určitý výkonnostní okruh těchto traktorů. Ve výběru se dostaneme i k nejznámější české značce Zetor.

### 4.1 JOHN DEERE

Tato společnost byla založena v roce 1837, kde mladý kovář John Deere vyrobil první samočisticí ocelový pluh. Už v té době vynikal velkou kvalitou. Od té doby proběhla firma John Deere mnoha změnami, ale vysoká kvalita výrobků zůstala. Dnes vyrábí stavební stroje, komunální techniku a další stroje pro průmysl. Traktory značky John Deere se pohybují s výkonem svých motorů od 40 kW do 412 kW (55 až 560 koní). Díky svému velkému výběru výkonnostních tříd a široké škále výbavy má velké uplatnění v zemědělství.



Obr. 17 Motor značky John Deere s technologií EGR[35]



Firma John Deere zvolila pro splnění emisních limitů u nejsilnějších výkonnostních tříd (s označením 6R, 7R, 8R, 9R) cestu zapojení dvou typů turbodmychadel nebo jediného turbodmychadla. U motorů s označením PSX jsou do série zapojená dvě turbodmychadla vysokotlaké a nízkotlaké (s variabilní a pevnou geometrií lopatek). U motorů s označením PVX je turbodmychadlo s variabilní geometrií lopatek. U verze PSX jde vzduch nejprve do nízkotlakého turbodmychadla s pevnou geometrií lopatek kde je stlačen a pak je veden do vysokotlakého turbodmychadla s variabilní geometrií lopatek pro další stlačení. Tento stlačený vzduch je následně veden skrz chladič vzduchu do sacího potrubí motoru. Díky dvěma turbodmychadlům může každé pracovat se špičkovou účinností při nižších otáčkách a mají také větší výkon, hospodárnost provozu a lepší vlastnosti než jediné turbodmychadlo. U verze PVX je vzduch nasáván do turbodmychadla s variabilní geometrií a je stlačen, následně je veden skrz chladič vzduchu do sacího potrubí motoru. Obě verze motorů obsahují účinné chlazení motoru s označením VariCool a vysokotlaké vstřikování common-rail, které přispívají ke snížení škodlivin ve výfukových plynech. Tyto typy motorů také obsahují chlazenou recirkulaci výfukových plynů (EGR) a tuto technologii doplňuje externí filtr spalin, který obsahuje oxidační katalyzátor (DOC) a filtr pevných částic (DPF). Filtr pevných částic (DPF) využívá automatického čistícího procesu používající pasivního čištění filtru. Všechny tyto technologie společně pomáhají značce John Deere splnit ty nejpřísnější emisní limity.



*Obr. 18 Motor značky John Deere [36]*



## 4.2 ZETOR

Další značkou, na kterou se zaměříme, je nejznámější tuzemský výrobce traktorů Zetor. Název vznikl spojením názvu „Zet“ (používaného Zbrojovkou Brno) a z posledních dvou písmen slova traktor – „or“. První traktor byl vyroben ve Zbrojovce Brno v roce 1945 a nesl označení Z 25. Motory Zetor se vyrábí už od roku 1924. Vyráběli se benzínové automobilové motory, motory letecké a další. Nejvíce se prosadily traktorové vznětové motory. Od té doby prošly traktory Zetoru a jejich motory vývojem a rozšířily se do mnoha koutů světa.



*Obr. 19 Traktor značky Zetor [37]*

Motory Zetor se vyznačují svojí spolehlivostí, jednoduchostí a spotřebou paliva. Všechny typy jsou čtyřtákní, řadové čtyř-válcové, přeplňované a vyhovují všem emisním normám. Vstřikování paliva je přímé a motory jsou chlazeny vodou. Turbodmychadlo s mezichlazením plnicího vzduchu je nedílnou součástí dnešních motorů Zetor. Osm ventilů mají válce u motorů splňující normu STAGE IIIA a u motorů splňující normu STAGE IIIB mají válce v motoru 16 ventilů. Mají tlakové mazání pomocí zubového čerpadla nebo čerpadla typu Gerotor. Rozvod ventilů je poháněn koly se šikmými zuby. Výběr motorů se výkonově pohybují mezi 48 kW a 100kW (65 a 136 koní). Pro snížení škodlivin ve výfukových plynech se v motorech Zetor používají dva sací a dva výfukové ventily na válec, aby se zvýšila efektivita spalovacího procesu, snížila spotřeba paliva a zlepšil průběh točivého momentu. Centrická poloha spalovací komory způsobí rovnoměrné tepelné zatížení pístu a správné proudění ve spalovacím prostoru. Vstřikovací trysky jsou umístěny svisle a tím umožňují rovnoměrněji vyplnit prostor palivem a tím vytvořit stejnorodější směs paliva se vzduchem. Motor obsahuje také technologii řízené a chlazené recirkulace výfukových plynů (EGR) ke snížení oxidu dusíku  $\text{NO}_x$  a také obsahuje filtr pevných částic (DPF) na snížení jejich obsahu ve výfukových plynech. Všechny tyto detaily pomáhají snižovat škodlivé látky ve výfukových plynech a tím i splnit nejpřísnější emisní normy.



*Obr. 20 Motor značky Zetor[38]*

### 4.3 CASE IH

Od roku 1842 se do zemědělského sektoru začaly vyrábět první silné stroje značky CASE IH. Nyní nabízí traktory s velkou škálou výkonnostních tříd. Od malých traktorů s výkonem od 55 koní až po těžké traktory s výkonem 670 koní. Tyto traktory se vyznačují spolehlivostí a nízkou spotřebou paliva.



*Obr. 21 Traktor značky CASE IH [39]*



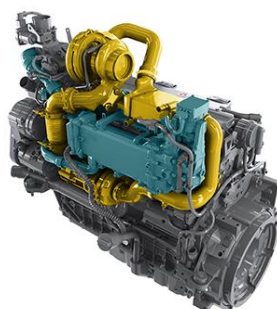
Firma CASE IH se rozhodla jít cestou dvou druhů snižování škodlivin ve výfukových plynech. A to tak, že u traktorů s výkonem motoru menším než 100 koní se bude používat technologie recirkulace výfukových plynů (EGR), díky menším emisním limitům doplněné oxidačním filtrem (DOC) a filtrem pevných částic (DPF). A pro traktory s výkonem motoru větším než 100 koní se bude používat technologie selektivní katalytické redukce (SCR), protože tato technologie oproti technologii EGR nesnižuje výkon motoru a může být využit maximální možný výkon motoru, vyladění spalovacího procesu umožňuje zároveň s úpravou spalin až za spalovacím prostorem značné snížení spotřeby paliva. Díky nižšímu teplotnímu zatížení se také zvyšuje životnost. Mezi nejsilnější a nejnovější používané motory značky CASE IH patří motory označené Efficient Power, které se vyznačují vysokým výkonem a i přes vysoký výkon nízkou spotřebou. Všechny takto označené motory splňují emisní limity s technologií selektivní katalytické redukce (SCR).



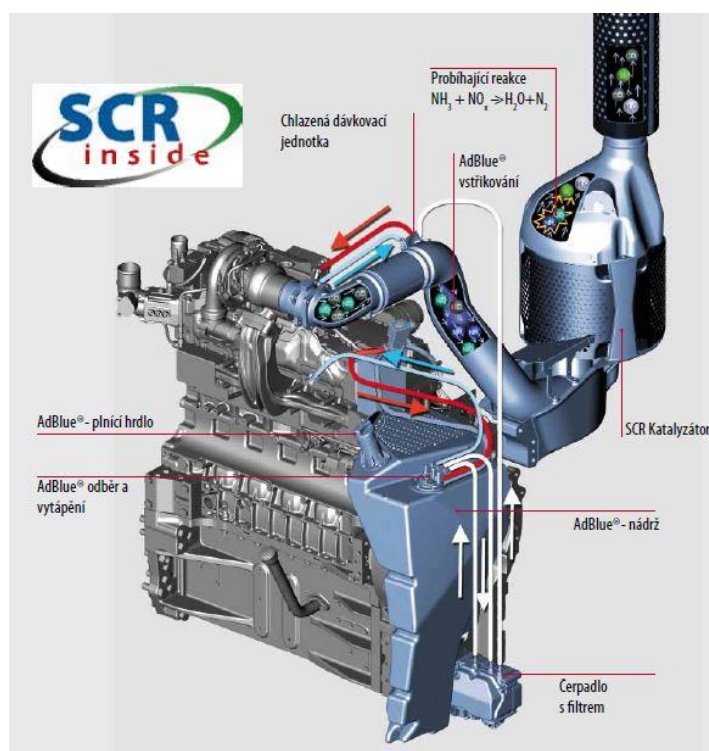
*Obr. 22 Motor značky CASE IH[40]*

#### 4.4 FENDT

Firma Fendt už existuje přes 80 let. Dnes nabízí firma středně velké až velké polní traktory. Jejich výkonost se pohybuje mezi 51 kW a 287 kW (70 koní a 390 koní). Je to jedna z mála firem, která má pro rok 2014 uvedeny na trh nové traktory, které splňují nejnovější emisní normu STAGE IV.



*Obr. 23 Motor značky Fendt [41]*



Obr. 24 Motor značky Fendt s technologií SCR [42]

Tato značka přináší modely traktorů s různou škálou řešení problémů s emisemi. Traktory s typovým označením 200 obsahují tři válcové motory s výkonem pohybujícím se mezi 51 kW a 81 kW (70 a 110 koní) a řešení snížení škodlivin ve výfukových plynech je řešeno pomocí technologie vnější recirkulace výfukových plynů (EGR). Tuto technologii doplňuje navíc chlazení těchto recirkulovaných plynů. Pro traktory s označením 300 a 500 je použito čtyř válcových motorů s výkonem 70 kW až 121 kW (95 až 165 koní) a ke snížení škodlivin ve výfukových plynech je použito technologie selektivní katalytické redukce (SCR). Tuto technologii používají i u šesti válcových motorů v modelech s označením 700, 800 a 900 s výkonem mezi 107 kW a 287 kW (145 a 390 koní). Všechny tyto traktory byly uvedeny na trh před rokem 2014, proto jim stačí splňovat normu STAGE IIIb. V roce 2014 uvedla firma Fendt na trh další dva traktory s označením 800, 900 s motory, které se výkonově pohybují mezi 162 kW a 287 kW (220 a 390 koní). Tyto dva modely jsou následníky předchozí řady a díky nastoupení nové normy STAGE IV od 1. 1. 2014 musejí nové traktory jdoucí na trh splňovat přísnější emisní normy. Díky těmto normám firma Fendt zvolila cestu spojení více způsobů snížení škodlivin ve výfukových plynech. Konkrétně spojila technologii recirkulace výfukových plynů (EGR) s filtrem pevných částic (DPF) a tyto dvě technologie doplňuje ještě selektivní katalytická redukce (SCR). Všechny tyto tři technologie účinně snižují škodliviny ve výfukových plynech a díky tomu můžou traktory Fendt splnit normu STAGE IV.



## 4.5 CHALLENGER

Založení této značky se připisuje Američanům Benjaminu Holtovi a Danielovi Bestovi, kteří roku 1890 začali experimentovat s různými druhy parních traktorů pro zemědělství.



*Obr. 25 Traktor značky Challenger [43]*

Challenger má ve svém sortimentu, jako jedna z mála značek, dva typy traktorů. A to normální s obyčejnými koly a pak druhý typ, který jako kontaktního prvku používá gumové pásy. Pásový pohon u traktorů Challenger nezhuťuje tolik zeminu, díky rozložení váhy celého traktoru po ploše pásu, která je mnohem větší než u obyčejných kol. Gumové pásy obsahují výstupky, stejně jako pneumatiky, a tím zvyšují záběr pásů na měkké zemině. Tyto traktory jsou konstruovány tak, že nemají sebe menší problém dosahovat rychlostí až 40 km/h na silničním povrchu. Traktory s obyčejnými koly jsou k výběru čtyři s rozmezím výkonů mezi 96 a 609 koni. Traktory s gumovými pásy se vyznačují velkým výkonem. Stejně jak druhý typ traktorů Challenger jsou v nabídce čtyři typy traktorů s výkony pohybující se mezi 335 a 646 koni. Všechny motory značky Challenger jsou od výrobce AGCO.

Jako nejslabší dodávaný traktor s gumovými pásy je Challenger s typovým označením MT700D, který v nejslabší verzi má 250 kW (335 koní) a v nejsilnější verzi 285 kW (382 koní). U tohoto typu je řešeno snižování škodlivin ve výfukových plynech pomocí selektivní katalytické redukce (SCR) a oxidačního katalyzátoru (DOC). Jako druhý nejslabší pásový traktor nabízí model MT700E s řadovým sedmi válcem. V nejslabším provedení má motor maximální výkon 282 kW (384 koní) a v nejsilnějším provedení má motor 322 kW (438 koní). Tento traktor je na rozdíl od slabšího kolegy vybaven, kromě technologie selektivní katalytické redukce (SCR), také recirkulací výfukových plynů (EGR) s chlazením. Pak je zde traktor Challenger s označením MT800C, který má dvanácti válců řazené do V s výkony od 348 kW (473 koní) do 448 kW (609 koní). Tyto traktory stejně jako předchozí obsahují technologii selektivní katalytické redukce (SCR) a chlazené recirkulace výfukových plynů (EGR) aby splnily emisní normu STAGE IV. Nejsilnějším pásovým traktorem firmy Challenger je traktor s označením MT800E, obsahující motor V12 (dvanácti válců řazených do V) s výkony od 362 kW (492 koní) do 475 kW (646 koní) a ke snížení škodlivin ve

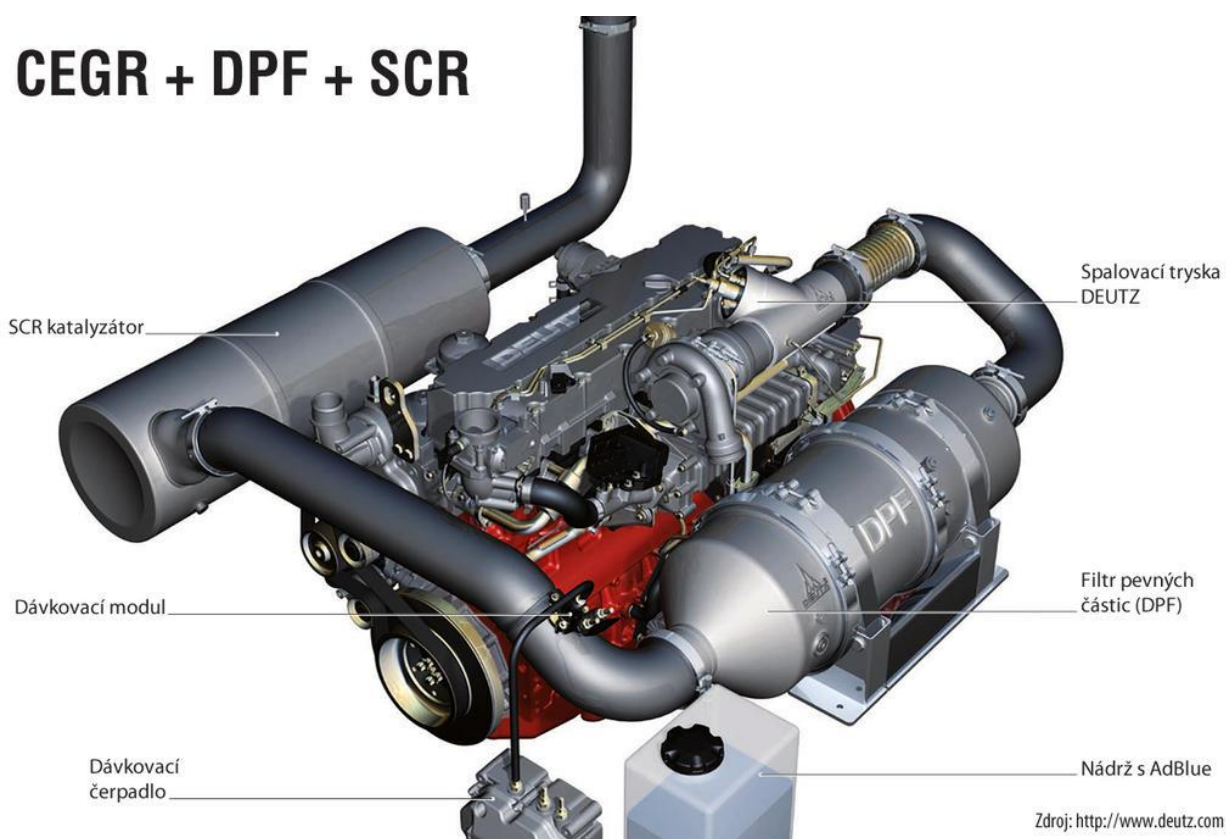


výfukových plynech používají selektivní katalytickou redukci (SCR) a chlazenou recirkulaci výfukových plynů (EGR).

#### 4.6 SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VÝROBCŮ TRAKTORŮ

Při srovnání traktorů jednotlivých výrobců je vidět, že všechny značky jsou limitovány emisními normami, takže všichni výrobci musí používat účinné technologie ke snížení škodlivin ve výfukových plynech. Někteří výrobci používají selektivní katalytickou redukci SCR, někteří používají technologie redukce výfukových plynů EGR (popřípadě chlazenou recirkulaci výfukových plynů) a tu doplňuje filtr pevných částic DPF. Popřípadě doplňuje tyto technologie ještě oxidační katalyzátor (DOC). Je také vidět, že výrobci traktorových motorů používají jiné metody ke zvýšení výkonu, ke stálejšímu průběhu výkonu (nebo kroučícího momentu). Například využitím dvojitého turbodmychadla pro nízké tlaky a vysoké tlaky (s pevnou a variabilní geometrií lopatek), s využitím přímého vstřikování nebo dalších technologií. Téměř každý výrobce disponuje širokým výběrem různých traktorů různých využití s velkým výběrem výkonu.

### CEGR + DPF + SCR



Obr. 26 Motor s použitím technologií EGR, DPF a SCR [29]



## ZÁVĚR

V dnešní době, kdy ekologové se snaží pomocí schválených emisních norem, co nejvíce omezit jakékoli škodlivé látky unikající do ovzduší z motorových vozidel, je velice těžké pro výrobce, ať už silničních nebo nesilničních vozidel, splnit tyto normy. Vždy, když vyjde v platnost nová emisní norma, tak jsou všechny limity všech škodlivých látek nižší. Proto musí výrobci spalovacích motorů svoje motory upravovat tak, aby měli co nejnižší produkci škodlivých látek a zbylé škodlivé látky, které už nelze snížit v motoru, se pokusit potlačit nějakou externí technologií, jako je selektivní katalytická redukce (SCR), filtr pevných částic (DPF), recirkulaci výfukových plynů (EGR) nebo oxidační katalyzátor (DOC).

Při používání recirkulace výfukových plynů (EGR) je výfukový systém většinou doplněn filtrem pevných částic (DPF), protože při opětovném přivádění výfukových plynů do spalovacího prostoru a jejich následném spálení, se vytvářejí další pevné částice (PM) a klesá obsah oxidu dusíku ( $\text{NO}_x$ ). Tento typ snižování škodlivých látek snižuje výkon motoru kvůli míchání spalin do spalovací směsi, a tím se snižuje výbušnost. Navíc filtr pevných částic zpomaluje výfukové plyny a zanáší se a jeho výměna při úplném zanesení je poměrně drahá.

Oproti technologii EGR je selektivní katalytická redukce (SCR) o poznání výhodnější. Spalovací směs se míchá v takovém poměru, kdy při spalovacím procesu motor produkuje nejmenší množství pevných částic a velké množství oxidu dusíku ( $\text{NO}_x$ ) a ve výfukovém potrubí se do spalin vstříkuje roztok močoviny AdBlue a ten mění oxidy dusíku na dusík a vodní páru. Tato technologie nesnižuje výkon motoru. Jediná nevýhoda je v nutnosti doplňovat roztok močoviny AdBlue, která není dostupná ve všech koutech světa.

Při srovnání výrobců traktorů jsme dospěli k tomu, že všechny značky disponují širokou škálou výběru podle použití. A ještě ke každému typu nabízí výběr z několika výkonnostních tříd. U všech jsme se setkali s různými způsoby, jak snižují škodliviny ve výfukových plynech. Ale všichni výrobci se vydali buď cestou selektivní katalytické redukce (SCR) nebo cestou recirkulace výfukových plynů (EGR). Díky nástupu nové emisní normy STAGE IV od 1. 1. 2014 některé nově uvedené traktory na trh museli přejít ke kombinaci těchto technologií.

Podle nejnovějších trendů se budou do budoucna emisní limity dále snižovat a výrobci budou muset radikálně změnit přístup k vývoji nových motorů, například vývojem vodíkového pohonu.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] HROMÁDKO, Jan, HROMÁDKO, Jiří, HONIG, Vladimír, MILER, Petr. *Spalovací motory*. 1. Vyd. Praha: Grada Publishing, a.s. 2011. 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [2] ČUPERA, Jiří, ŠMERDA, Tomáš, FAJMAN, Martin. *Vznětové motory vozidel*. 1. Vyd. Praha: Computer Press 2013. 112s. ISBN 978-80-264-0160-5
- [3] SAJDL, Jan. *DPF (Diesel Particulate Filter)* [online]. [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/dpf-diesel-particulate-filter/>
- [4] *EU zpřísňuje emisní normy pro motory nad 130kW* [online]. [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.pragotechnik.cz/novinky/9-10-2013-manitowoc-upozornuje-na-zpriseni-emisnich-norem-pro-motory-nad-130-kw/>
- [5] PETR, Aleš. *New Holland a řešení normy TIER 4* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://stavebni-technika.cz/clanky/new-holland-a-reseni-normy-tier-4/>
- [6] *Zetor* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.zetor.cz>
- [7] *Fendt* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.fendt.cz>
- [8] *Agrics* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.agrics.cz>
- [9] *Challenger* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.challenger-ag.com/EMEA/int-en/default.aspx>
- [10] *John Deere* [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://johndeeredistributor.cz>
- [11] *Specialista na AdBlue* [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.greenchem-adblue.cz/?1195/specialista-na-adblue>
- [12] *Základní informace o AdBlue* [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.adblue-bluesky.cz/adbluer-zakladni-informace/>
- [13] OLIVÍK, Pavel. *Katalyzátor SCR: Euro 6 s nižší spotřebou* [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/katalyzator-scr-euro-6-s-nizsi-spotrebou>
- [14] *Filtr pevných částic* [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.odstraneni filtru.cz/o-filtru-dpf.html>
- [15] SAJDL, Jan. *Katalyzátor* [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/katalyzator/>
- [16] SAJDL, Jan. *SCR (Selective Catalytic Reduction)* [online]. [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/scr-selective-catalytic-reduction/>
- [17] HÁJEK, Ondřej. *Emisní norma Tier 4i* [online]. [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: [http://bagry.cz/cze/clanky/technika/emisni\\_norma\\_tier\\_4i\\_jak\\_funguji\\_nove\\_motory\\_v\\_zemnich\\_strojich\\_a\\_na\\_co\\_si\\_dat\\_pozor](http://bagry.cz/cze/clanky/technika/emisni_norma_tier_4i_jak_funguji_nove_motory_v_zemnich_strojich_a_na_co_si_dat_pozor)



- [18] *E-SCR* [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.emitec.com/news/news-uebersicht/article/e-scrR.html>
- [19] SAJDL, Jan. *Emisní norma EURO* [online]. [cit. 2014-01-12]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>
- [20] Obrázek Ottova a Dieselova motoru, [20.05.2014]. Dostupné z: HROMÁDKO, Jan, HROMÁDKO, Jiří, HONIG, Vladimír, MILER, Petr. *Spalovací motory*. 1. Vyd. Praha : Grada Publishing, a.s. 2011. 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0
- [21] Obrázek Kapalná uhlovodíková paliva, [20.05.2014]. Dostupné z: HROMÁDKO, Jan, HROMÁDKO, Jiří, HONIG, Vladimír, MILER, Petr. *Spalovací motory*. 1. Vyd. Praha : Grada Publishing, a.s. 2011. 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0
- [22] Obrázek Motor s technologií EGR, DPF a DOC, [20.05.2014]. Dostupné z: HROMÁDKO, Jan, HROMÁDKO, Jiří, HONIG, Vladimír, MILER, Petr. *Spalovací motory*. 1. Vyd. Praha : Grada Publishing, a.s. 2011. 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0
- [23] Obrázek Filtru DPF s oxidačním katalyzátorem DOC, [20.05.2014], dostupné z: [http://www.evergreen-implement.com/Emissions\\_Regulation.html](http://www.evergreen-implement.com/Emissions_Regulation.html)
- [24] Obrázek Přeměna energií ve spalovacím motoru, [20.05.2014]. Dostupné z: HROMÁDKO, Jan, HROMÁDKO, Jiří, HONIG, Vladimír, MILER, Petr. *Spalovací motory*. 1. Vyd. Praha : Grada Publishing, a.s. 2011. 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0
- [25] Obrázek Schéma dvoutaktního motoru, [20.05.2014]. Dostupné z: <http://www.heliservis.cz/puvodni/motory.htm>
- [26] Obrázek Schéma čtyřtaktního motoru, [20.05.2014]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Vznětový\\_motor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Vznětový_motor)
- [27] Obrázek Motor s technologií recirkulace výfukových plynů, [20.05.2014]. Dostupné z: [http://bagry.cz/cze/clanky/technika/emisni\\_norma\\_tier\\_4i\\_jak\\_funguji\\_nove\\_motory\\_v\\_zemnich\\_strojich\\_a\\_na\\_co\\_si\\_dat\\_pozor](http://bagry.cz/cze/clanky/technika/emisni_norma_tier_4i_jak_funguji_nove_motory_v_zemnich_strojich_a_na_co_si_dat_pozor)
- [28] Obrázek Technologie selektivní katalytické redukce SCR, [21.05.2014]. Dostupné z: [http://bagry.cz/cze/clanky/technika/emisni\\_norma\\_tier\\_4i\\_jak\\_funguji\\_nove\\_motory\\_v\\_zemnich\\_strojich\\_a\\_na\\_co\\_si\\_dat\\_pozor](http://bagry.cz/cze/clanky/technika/emisni_norma_tier_4i_jak_funguji_nove_motory_v_zemnich_strojich_a_na_co_si_dat_pozor)
- [29] Obrázek Motor s použitím technologií EGR, DPF a SCR, [21.05.2014]. Dostupné z: [http://bagry.cz/cze/clanky/technika/emisni\\_norma\\_tier\\_4i\\_jak\\_funguji\\_nove\\_motory\\_v\\_zemnich\\_strojich\\_a\\_na\\_co\\_si\\_dat\\_pozor](http://bagry.cz/cze/clanky/technika/emisni_norma_tier_4i_jak_funguji_nove_motory_v_zemnich_strojich_a_na_co_si_dat_pozor)
- [30] Obrázek Schéma technologie EGR, [21.05.2014]. Dostupné z: [http://bagry.cz/cze/clanky/recenze/nova\\_rada\\_pasovych\\_rypadel\\_hitachi\\_zaxis\\_3\\_zveda\\_1\\_atku\\_zakladni\\_vybavy/common\\_rail\\_a\\_egr](http://bagry.cz/cze/clanky/recenze/nova_rada_pasovych_rypadel_hitachi_zaxis_3_zveda_1_atku_zakladni_vybavy/common_rail_a_egr)
- [31] Obrázek Schéma technologie filtru pevných částic DPF, [21.05.2014]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/dpf-diesel-particulate-filter/>



- [32] Obrázek DPF filtr se schematem regenerace filtru, [22.05.2014]. Dostupné z: <http://revistacoche.blogspot.cz/2011/09/motores-renault.html>
- [33] Obrázek Redukce škodlivin ve výfukových plynech, [22.05.2014]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/katalyzator/>
- [34] Obrázek Vstřikování AdBlue s SCR katalyzátorem, [22.05.2014]. Dostupné z: <http://www.emitec.com/news/news-uebersicht/article/e-scrR.html>
- [35] Obrázek Motor značky John Deree s technologií EGR, [23.05.2014]. Dostupné z: <http://johndeeredistributor.cz/Zemedelska-technika/Produkty/Traktory>
- [36] Obrázek Motor značky John Deree, [23.05.2014]. Dostupné z: <http://johndeeredistributor.cz/Zemedelska-technika/Produkty/Traktory>
- [37] Obrázek Traktor značky Zetor, [23.05.2014]. Dostupné z: <http://www.zetor.cz>
- [38] Obrázek Motor značky Zetor, [23.05.2014]. Dostupné z: <http://www.zetor.cz>
- [39] Obrázek Traktor značky CASE IH, [23.05.2014]. Dostupné z: <http://www.agrics.cz/traktory-case-ih>
- [40] Obrázek Motor značky CASE IH, [23.05.2014]. Dostupné z: <http://www.agrics.cz/traktory-case-ih>
- [41] Obrázek Motor značky Fendt, [23.05.2014]. Dostupné z: <http://www.fendt.com/int/default.asp>
- [42] Obrázek Motor značky Fendt s technologií SCR, [23.05.2014]. Dostupné z: <http://www.fendt.com/int/default.asp>
- [43] Obrázek Traktor značky Challenger, [23.05.2014]. Dostupné z: <http://www.challenger-ag.com/EMEA/int-en/default.aspx>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CO	Oxid uhelnatý
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
DPF	Filtr pevných částic
H <sub>2</sub> O	Voda (vodní pára)
HC	Nespálené uhlovodíky
N <sub>2</sub>	Dusík
NO	Oxid dusný
NO <sub>2</sub>	Oxid dusičitý
NO <sub>x</sub>	Oxidy dusíku
O <sub>2</sub>	Kyslík
PM	Pevné částice
SCR	Selektivní katalytická redukce
SO <sub>2</sub>	Oxid siřičitý
SO <sub>x</sub>	Oxidy síry
Λ	Součinitel přebytku vzduchu