



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

## EMISNÍ LIMITY

EMISSION STANDARDS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAKUB NEVTÍPIL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Jakub Nevtípil

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:

### **Emisní limity**

v anglickém jazyce:

### **Emission Standards**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

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

Cíle bakalářské práce:

Vytvoření přehledu emisních norem. Způsoby snižování škodlivých emisí ve výfukových plynech. Přehled uplatněných řešení. Vyzdvihnutí zvláštních konstrukčních řešení.

Seznam odborné literatury:

[1] Internet

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

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 19.11.2012

L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

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



## **ABSTRAKT**

Předkládaná bakalářská práce se zabývá evropskými emisními standardy spalovacích motorů. V posledních letech dochází obecně k jejich zpřísnění. Úvodní pasáž práce je věnována popisu konkrétních škodlivin, které jsou emitovány do ovzduší. Druhá část práce se zabývá samotnými emisními normami pro silniční a mimosilniční provoz. Závěrečná pasáž je věnována přehledu způsobů a zařízení pro snižování emisí.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Výfukové plyny, normy EURO, normy STAGE, zařízení pro snižování emisí výfukových plynů

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis deals with the European emission standards of internal combustion 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 main emission standards for road and non-road engines. The last chapter deals with an overview of the ways and appliances for reducing the emissions.

## **KEYWORDS**

The exhaust gases, EURO emissions standards, STAGE emission standards, equipment to reduce exhaust emissions



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

NEVTÍPIL, J. *Emisní limity*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 35 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 24. května 2013

.....

Jméno a přímení



## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Radimu Dundálkovi, PhD., za jeho pomoc a odborné připomínky k této bakalářské práci. Dále děkuji své rodině, přítelkyni a blízkým přátelům za trpělivost a podporu při studiu.



## OBSAH

Úvod .....	10
1 Složení výfukových plynů .....	11
1.1 Oxid uhelnatý (CO) .....	11
1.2 Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> ).....	12
1.3 Oxid siřičitý (SO <sub>2</sub> ) .....	12
1.4 Oxidy dusíku (NO <sub>x</sub> ) .....	12
1.5 Uhlovodíky (HC) .....	12
1.6 Pevné částice (PM) .....	13
1.7 Olovo (Pb).....	13
2 Evropské emisní limity .....	14
2.1 Vozidla pro silniční provoz.....	14
2.1.1 Základní informace.....	14
2.1.2 Vývoj emisních norem .....	17
2.1.3 Norma EURO 1 .....	17
2.1.4 Norma EURO 2 .....	17
2.1.5 Norma EURO 3 .....	17
2.1.6 Norma EURO 4 .....	18
2.1.7 Norma EURO 5 .....	19
2.1.8 Norma EURO 6 .....	19
2.1.9 Homologační zkoušky .....	19
2.1.10 Budoucnost emisních norem .....	21
2.2 Vozidla pro mimosilniční provoz .....	21
2.2.1 Normy Stage I/II.....	21
2.2.2 Normy Stage III/IV.....	22
3 Způsoby snižování emisí .....	24
3.1 Aktivní prostředky .....	24
3.1.1 Tvorba směsi .....	24
3.1.2 Vstřikování paliva .....	24
3.1.3 Víření směsi.....	25
3.1.4 Přepřňování.....	25
3.2 Pasivní prostředky.....	26
3.2.1 Katalyzátor.....	26
3.2.2 Filtr pevných částic.....	27
3.2.3 Recirkulace výfukových plynů.....	27
3.2.4 Selektivní katalytická redukce.....	28





---

Závěr.....	30
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	34
Seznam obrázků a tabulek .....	35



## ÚVOD

Se stále zvyšujícími se nároky na ochranu životního prostředí a snižování zdrojů jeho znečišťování jsou kladeny vysoké nároky na všechna průmyslová odvětví. Automobilová doprava je významný zdroj podílející se na znečištění ovzduší a proto existuje již od sedmdesátých let 20. století snaha toto znečišťování co nejvíce omezit. Motorová vozidla produkují velké množství výfukových plynů, které poškozují nejen životní prostředí, ale také mají neblahý vliv na lidský organismus.

Se vzrůstajícím počtem automobilů se začalo zvyšovat množství látek znečišťujících životní prostředí a úkolem výrobců je snížit a omezit množství výfukových plynů v ovzduší. Tyto snahy výrobců jsou podmíněny splněním požadavků, které vyžadují platné emisní standardy, označované jako standardy EURO a STAGE. V posledních letech je patrný trend tyto standardy cíleně a striktně zpřísnovat. Požadavky na moderní motor se rovněž neustále stupňují. Kromě plnění emisních norem rostou nároky na výkon motoru, spotřebu paliva a také jeho hlučnost.

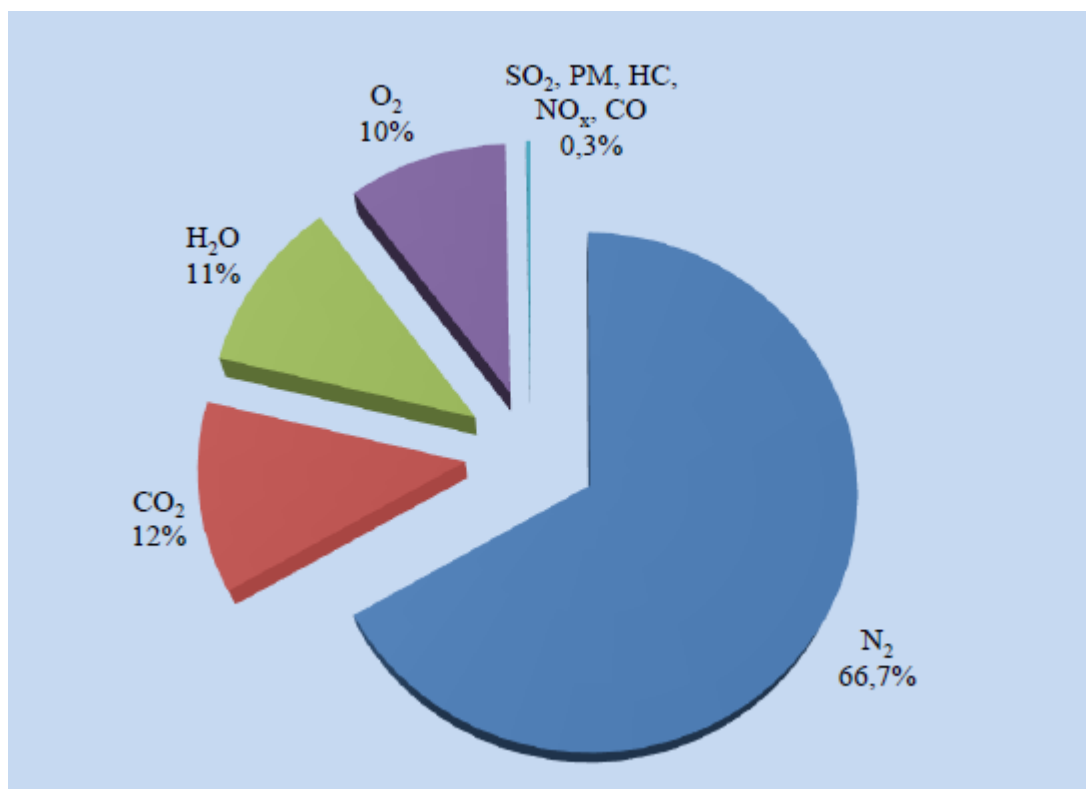
V této rešeršní práci se zabývám nejen jednotlivými emisními složkami a příslušnými emisními normami. Důraz je kladen i na prostředky pro snižování emisí, protože v dnešní době existuje již řada způsobů a prostředků, které dokáží množství unikajících škodlivin regulovat. Jedná se o úpravy spalovací směsi, výfukových rozvodů i spalovacího motoru samotného.



# 1 SLOŽENÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Výfukové plyny jsou komplexní směsí chemických látek vznikajících při spalování uhlovodíkových paliv ve spalovacích motorech. Jednotlivé prvky vznikají chemickou reakcí většinou kyslíku s dalšími složkami obsaženými v palivu. Množství výfukových plynů emitovaných z výfukového potrubí závisí na mnoha faktorech, zejména na typu paliva, tvaru spalovacího prostoru, způsobu tvoření směsi, typu a stavu spalovacího zařízení a na užití zařízení ke snížení emisí.

Mezi nejvýznamnější složku spalin patří dusík ( $N_2$ ). Při dokonalém spalování vzniká oxid uhličitý ( $CO_2$ ) a voda ( $H_2O$ ). V reálném procesu spalování jsou však emitovány i složky nedokonalého spalování, především oxid uhelnatý ( $CO$ ), nespálené uhlovodíky ( $HC$ ), oxidy dusíku ( $NO_x$ ), oxidy síry ( $SO_x$ ) a makroskopické pevné látky ( $PM$ ). [9]



Obrázek 1 Složení výfukových plynů

## 1.1 OXID UHELNATÝ ( $CO$ )

Oxid uhelnatý je hořlavý a prudce jedovatý bezbarvý plyn, bez chuti a bez zápachu. V normálních koncentracích v ovzduší poměrně brzy oxiduje na oxid uhličitý ( $CO_2$ ). Vzniká při spalování uhlikatých paliv (což jsou dnes všechna paliva vyjma čistého vodíku) za nízké teploty a nedostatku spalovacího vzduchu (kyslíku), kdy nedochází k úplné oxidaci uhlovodíků (případně uhlíku) na oxid uhličitý a vodní páru (vzniká například i při lesních



požárech a vulkanickou činností). Dalším důvodem emisí mohou být konstrukční chyby či závady na spalovacím zařízení. [1] [2]

## 1.2 OXID UHLIČITÝ (CO<sub>2</sub>)

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn, bez chuti a bez zápachu. Pro člověka není nijak jedovatý, ale zvyšuje účinky oxidu uhelnatého a podílí se na vzniku skleníkového efektu. Množství oxidu uhličitého, emitovaného do ovzduší spalovacími motory, je přímo určeno spotřebou paliva. Snižování emisí CO<sub>2</sub> je tedy možné pouze snížením spotřeby paliva motoru a je tedy značně problematické. [1][3]

## 1.3 OXID SIŘIČITÝ (SO<sub>2</sub>)

Oxid siřičitý vzniká spalováním paliva s obsahem síry a je to bezbarvý štiplavě páchnoucí jedovatý plyn. Množství oxidu siřičitého ve výfukových plynech není legislativně přímo omezeno, ale normami Evropské unie je stanoveno maximální množství síry v motorové naftě, kde mezní hodnoty jsou vyšší u motorové nafty než u benzínu. [1][4]

## 1.4 OXIDY DUSÍKU (NO<sub>x</sub>)

Oxidy dusíku je souhrnné označení pro oxid dusnatý (NO, bezbarvý plyn bez zápachu) a oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>, červenohnědý plyn štiplavého zápachu). Emise oxidů dusíku jsou dnes velmi závažným problémem hlavně díky tomu, že jsou spojeny se spalováním i ušlechtilých paliv a biomasy. Emise oxidů dusíku mají navíc v dnešní době rostoucí charakter. Při spalování ušlechtilých paliv v motorových vozidlech je dosahováno vysoké teploty hoření, a proto zde dochází k oxidaci vzdušného dusíku (N<sub>2</sub>) na oxidy dusíku. [1][5]

## 1.5 UHLOVODÍKY (HC)

Souhrnné označení uhlovodíky zahrnuje nespálené uhlovodíky z paliva, produkty jejich oxidace a uhlovodíky, které vznikly termochemickými reakcemi během spalování. Radíme sem alkany, alkoholy, aldehydy, ketony a aromatické uhlovodíky. Stejně jako oxid uhelnatý vznikají uhlovodíky při nedokonalém spalování. Spolu s oxidy dusíku se podílejí na tvorbě smogu a přízemního ozonu.

Další skupinou uhlovodíků, které se vyskytují ve spalinách, jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU). Jsou bílé nebo nažloutlé barvy, velmi špatně rozpustné ve vodě a mají karcinogenní účinky. Do skupiny PAU náleží například následující látky: naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten a pyren. [1][6]



## 1.6 PEVNÉ ČÁSTICE (PM)

Pevné částice zahrnují částice pevného a kapalného materiálu o velikosti od několika nanometrů až po 0,5 mm, které setrvávají po určitou dobu v ovzduší. Jsou označovány PM (z anglického jazyka „Particulate matter“). V atmosféře se s nimi setkáváme v podobě složité heterogenní směsi z hlediska velikosti částic a jejich chemického složení. Množství (počet částic či hmotnost částic na krychlový metr vzduchu) a fyzikální a chemické vlastnosti částic v ovzduší jsou závislé na zdrojích a vstupech do ovzduší, mechanismu vzniku a transformacích částic v ovzduší, vzdálenosti od zdrojů a meteorologických podmínkách. [1]

## 1.7 OLOVO (Pb)

Olovo je jedovatý těžký kov. V dnešní době se již olovo v palivech nevyskytuje, jeho mazací vlastnosti byly nahrazeny aditivami. [1]



## 2 EVROPSKÉ EMISNÍ LIMITY

V souvislosti se zvyšujícími se ekologickými požadavky a nároky na nově vyvíjené spalovací motory a dopravní prostředky vůbec, zavedla Evropská unie závazné emisní normy pro spalovací motory. Jejich hlavním cílem je průběžně snižovat emise dopravních prostředků spolu se zaváděním přísnějších norem. Tyto předpisy upravují emise oxidu uhelnatého, uhlovodíků, oxidů dusíku, a mikroskopických pevných částic.

### 2.1 VOZIDLA PRO SILNIČNÍ PROVOZ

Evropské emisní normy pro vozidla určená pro silniční provoz byly zpracovány do několika úrovní známých jako EURO 1 až EURO 6. Někdy se značí římskými číslicemi EURO I až EURO VI.

#### 2.1.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE

Efektivní způsob snižování emisí a zlepšení kvality ovzduší přináší standardy, které jsou známé jako evropské emisní předpisy (nebo normy EURO) a byly stanoveny v sadě směrnic Evropské unie. Pro účely emisních norem a dalších předpisů pro motorová vozidla, jsou vozidla zařazena do kategorií, které jsou uvedeny v tabulce 1.

*Tabulka 1 Kategorie motorových vozidel*

Kategorie	Popis
M	Motorová vozidla s nejméně čtyřmi koly určená pro přepravu osob.
M <sub>1</sub>	Vozidla určená pro dopravu osob s nejvýše osmi sedadly kromě řidiče.
M <sub>2</sub>	Vozidla určená pro dopravu osob s více než osmi sedadly kromě sedadla řidiče a s maximální hmotností pět tun.
M <sub>3</sub>	Vozidla určená pro dopravu osob, s více než osmi sedadly kromě sedadla řidiče, a s maximální hmotností vyšší než pět tun.
N	Motorová vozidla s nejméně čtyřmi koly určená pro dopravu zboží.
N <sub>1</sub>	Vozidla určená pro dopravu nákladů s maximální hmotností nepřevyšující tři a půl tuny.
N <sub>2</sub>	Vozidla určená pro dopravu nákladů s maximální hmotností vyšší než tři a půl tuny, ale nepřesahující hmotnost dvanáct tun.
N <sub>3</sub>	Vozidla určená pro dopravu nákladů s maximální hmotností vyšší než dvanáct tun.



O	Přívěsy, včetně návěsů
G	Terénní vozidla

Emisní normy pro lehká užitková vozidla platí pro všechna vozidla kategorie M1, M2, N1 a N2 s referenční hmotností nepřesahující 2610 kg. Předpisy EU zavádějí různé emisní limity pro vznětové (diesel) a zážehové (benzín, CNG, LPG, ethanol) motory. Vznětové motory mají přísnější normy emisí oxidu uhelnatého, ale jsou povoleny vyšší emise oxidů dusíku. Zážehové motory byly osvobozeny od emisí pevných částic normami prostřednictvím standardu Euro 4. [11]

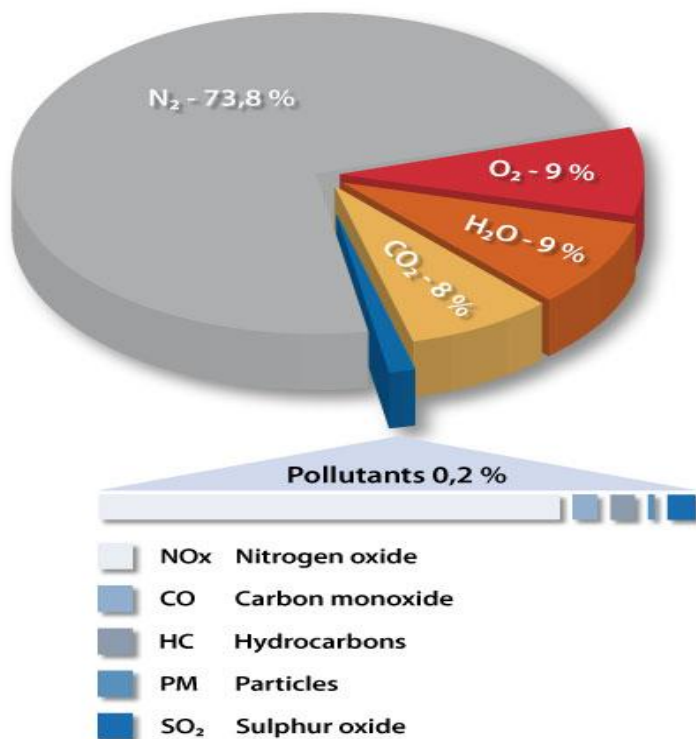
V roce 2000 byly standardy doplněny zavedením přísnějších regulací pohonných látek, které vyžadují minimální cetanové číslo nafty 51. Od roku 2009 je povolen maximální obsah síry v motorové naftě 10 mg/km. Z porovnání maximálních hodnot emisí norem Euro je zřetelný trend postupného a cíleného zpřísnování těchto hodnot. Jednotlivé přípustné hodnoty emisních složek jsou uvedeny v tabulce 2 a 3. Procentuální zastoupení škodlivin ve výfukových plynech je uvedeno v obrázcích 2 a 3. [8] [11]

*Tabulka 2 Hodnoty emisních limitů EURO pro vznětové motory*

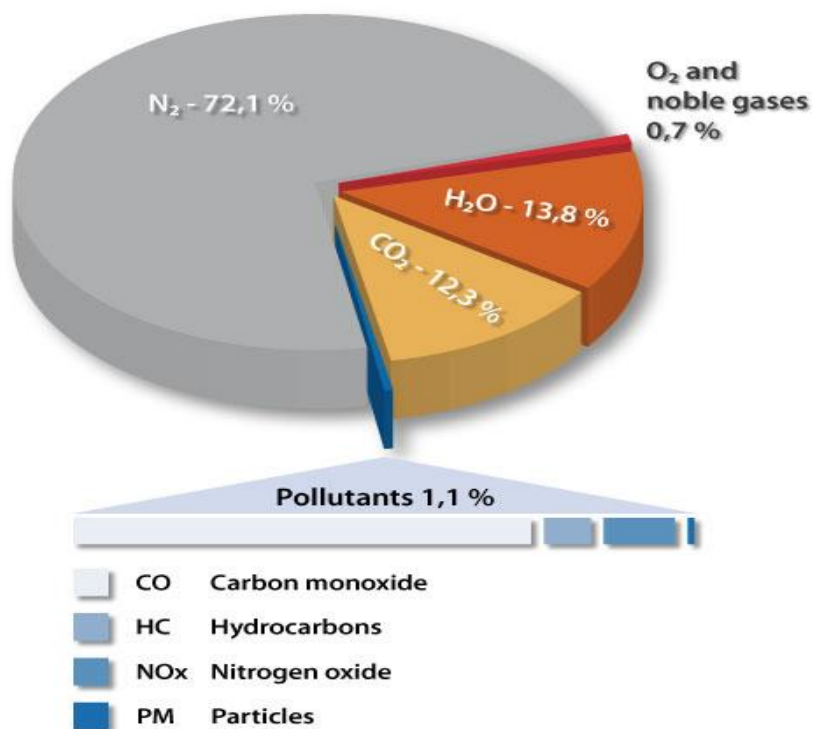
Norma	Platnost	CO [g/km]	NOx [g/km]	HC [g/km]	HC+NOx [g/km]	PM [g/km]
Euro 1	1992	2,72	-	-	0,97	0,14
Euro 2	1996	1,0	-	-	0,7	0,08
Euro 3	2000	0,64	0,50	-	0,56	0,05
Euro 4	2005	0,50	0,25	-	0,30	0,025
Euro 5	2011	0,50	0,18	-	0,23	0,005
Euro 6	2014	0,50	0,08	-	0,17	0,005

*Tabulka 3 Hodnoty emisních limitů EURO pro zážehové motory*

Norma	Platnost	CO [g/km]	NOx [g/km]	HC [g/km]	HC+NOx [g/km]	PM [g/km]
Euro 1	1992	2,72	-	-	0,97	-
Euro 2	1996	2,2	-	-	0,5	-
Euro 3	2000	2,3	0,15	0,20	-	-
Euro 4	2005	1,0	0,08	0,10	-	-
Euro 5	2009	1,0	0,06	0,10	-	0,005
Euro 6	2014	1,0	0,06	0,10	-	0,005



Obrázek 2 Procentuální zastoupení škodlivin u vznětového motoru [24]



Obrázek 3 Procentuální zastoupení škodlivin u zážehového motoru [25]





### 2.1.2 VÝVOJ EMISNÍCH NOREM

První norma zabývající se množstvím výfukových zplodin vznikla v Kalifornii v roce 1968. V Evropě začala platit první emisní norma až v roce 1971, jednalo se o vyhlášku EHK 15. Po mnoha přepracováních byla vyhláška EHK 15 koncem osmdesátých let nahrazena novou vyhláškou EHK 83. Na počátku devadesátých let v rámci jednotné legislativy ve státech Evropské unie vychází nové emisní předpisy, jejichž základem je právě EHK 83. Tyto nově vznikající standardy však již ale nesou název podle zvyklostí EU. Tyto emisní předpisy se začaly nazývat normami EURO. První EURO norma vznikla v roce 1992. Od té doby téměř pravidelně každé čtyři roky vychází nová emisní norma EURO. Čím vyšší číslo tím větší přísnost normy.[7] [10] [13]

### 2.1.3 NORMA EURO 1

V roce 1992 začal ve státech Evropské unie platit předpis 91/441/EG, známější spíše jako EURO 1, tento předpis začal platit v roce 1995 i jako druhá revize vyhlášky EHK 83 (označení EHK 83.02) v ostatních státech. Tato norma stanovuje maximální hodnoty emisí oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků. Spolu se zavedením normy EURO 1 vznikly různé metody zkoušek pro zjišťování emisí výfukových plynů. U zážehových motorů se jedná o tři typy zkoušení – napodobení emisí z výfuku po studeném startu, emise oxidu uhelnatého při volnoběžných otáčkách a emise plynů z klikové skříně. U vznětových motorů je tomu podobně – napodobení emisí z výfuku po studeném startu a trvanlivost zařízení proti znečišťování. [13]

### 2.1.4 NORMA EURO 2

Od 1. 1. 1996 platily ve státech Evropské unie předpisy 94/12/EG a 96/69/EG, označované jako EURO 2. Tyto normy zavedly opět přísnější limity a ve státech řídicích se podle předpisů EHK vstoupily v platnost jako třetí a čtvrtá revize EHK 83 (EHK 83.03 a EHK 83.04) v roce 1996, resp. v roce 1999. Tato norma upravuje mezní hodnoty oxidu uhličitého ve výfukových plynech, ale také specifitější mezní hodnoty pro uhlovodíky a oxidy dusíku. Došlo také ke zdokonalení zkušebních metod jako je studený start, startování za nízkých nebo zimních teplot, trvanlivost protiemisních zařízení a emise způsobené vypařováním. Vyšší zřetel je brán také na jakost paliva z hlediska nebezpečných látek, jako je například benzen. [13]

### 2.1.5 NORMA EURO 3

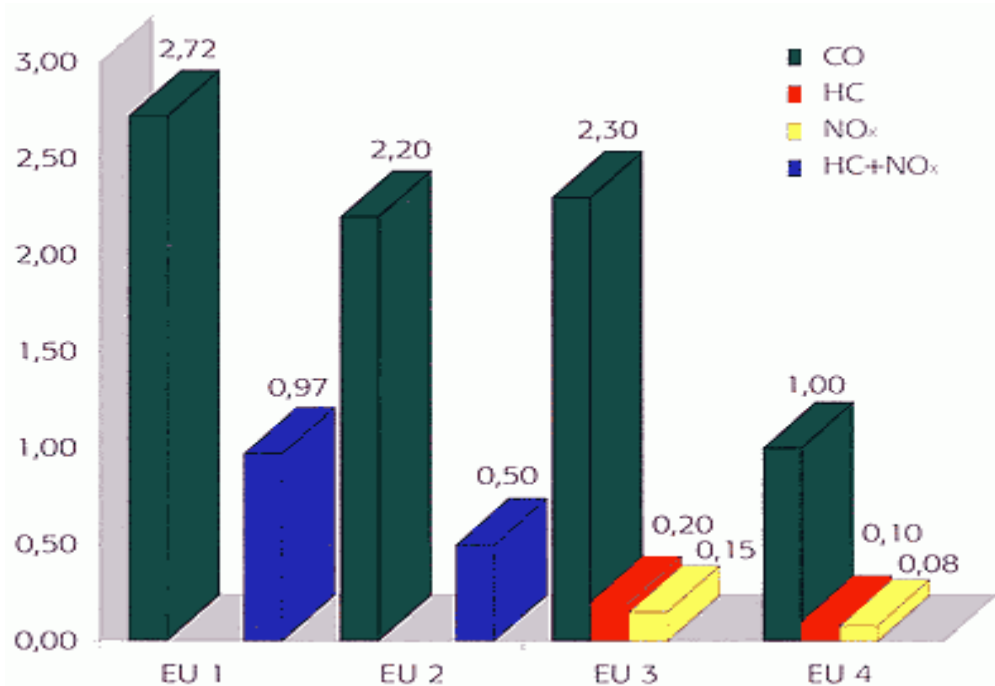
Od 1. 1. 2000 platí ve státech Evropské unie předpis 98/69EG - A (EURO 3) a od 1. 4. 2001 jako předpis EHK 83.05 platí i v ČR. Tento předpis již počítá s odděleným vyhodnocováním emisí oxidů dusíku a nespálených uhlovodíků, které byly dříve vyhodnocovány společně. Změny se též částečně týkají uspořádání jízdního cyklu. Směrnice je vztažena na emise z výfuku při běžné a nízké teplotě okolí, emise způsobené vypařováním, emise plynů z klikové skříně a pro životnost zařízení proti znečišťujícím látkám a palubní diagnostické systémy (OBD) pro motorová vozidla vybavená zážehovým motorem.



Vozidla se zážehovými motory se musí podrobit zkouškám typu I (ověření průměrných emisí z výfuku po studeném startu), typu II (emise oxidu uhelnatého při volnoběhu), typu III (emise plynů z klikové hřídele), typu IV (emise způsobené vypařováním), typu V (životnost zařízení proti znečišťujícím látkám), typu IV (ověření průměrných emisí oxidu uhelnatého a uhlovodíků z výfuku po studeném startu při nízkých teplotách okolí) a nově zkoušce systému OBD. Vozidla se zabudovaným vznětovým motorem se musí podrobit zkouškám typu I (ověření průměrných emisí z výfuku po studeném startu), zkoušce typu V (životnost zařízení proti znečišťujícím látkám) a kde to přichází v úvahu zkoušce systému OBD. [11] [13]

#### 2.1.6 NORMA EURO 4

Platnost normy je od ledna 2005 dle předpisu 98/69/EG - B (EUR04). Motory splňující tuto normu jsou vybaveny dvěma katalyzátory, mají dvě sondy lambda a disponují samočinnou palubní diagnostikou všech řídicích funkcí EOBD. První katalyzátor je umístěn hned za vývodem výfukového potrubí z motoru, aby došlo k jeho rychlému ohřátí na pracovní teplotu. Slouží pouze ke snižování emisí při studeném startu motoru, kdy je účinnost klasického třicestného katalyzátoru nižší z důvodů jeho nedostatečné teploty. Funkce druhého katalyzátoru zůstává stejná jako u vozů s jedním katalyzátorem. První lambda sonda je umístěna před vstupem do katalyzátorů a má řídicí funkci. Druhá sonda je součástí systému EOBD a je situována až za oběma katalyzátory, kde kontroluje jejich funkčnost. [11]



Obrázek 4 Průběh vývoje limitů obsahu složek CO, HC, NO<sub>x</sub>, HC+NO<sub>x</sub>



### 2.1.7 NORMA EURO 5

Aktuálně platná norma EURO 5 vstoupila v platnost 1.9 2009. Norma EURO 5 tentokrát postihuje více dieselové motory a snaží se je, co se obsahu zplodin týče, srovnat s motory benzínovými. Tato norma je jedním z opatření na omezení emisí látek podporujících vznik ozonu, jako jsou oxidy dusíku, uhlovodíky a částice. Euro 5 omezuje emise oxidu dusíku na 60 mg u benzínových a 180 mg u naftových motorů. Hmotnost částic (PM) se ve srovnání s Euro 4 snížila o 80 % z 25 mg na 5 mg. Emise uhlovodíků pak u benzínových motorů nesmí překročit 100 mg, emise uhlovodíků a oxidů dusíku u naftových motorů 230 mg. EURO 5 zahrnuje legislativní změny a nové emisní měřicí metody pro měření pevných částic a upravuje omezení obsahu pevných částic a upravuje rozdíly mezi výsledky při používání staré a nové metody. [22]

### 2.1.8 NORMA EURO 6

Norma EURO 6 vejde v platnost v září roku 2014. Přinese razantní snížení emisí oxidů dusíku a pevných částic. Současná směrnice, platící od 1. 9. 2009, je pro většinu evropských zákonodárců již nedostačující, přichází tak k nástupu předem odsouhlasená EURO 6. Ta je ve znamení stále se zpřísňujících požadavků na kvalitu spalování a s tím souvisejících škodlivin ve výfukových exhalacích. Oproti předcházející se však soustředí především na dvojici sloučenin z celkového počtu, obsažených ve výfukových plynech. Nová právní legislativa nezpřísňuje množství oxidu uhelnatého a uhlovodíků, rapidní pokles má však nastat v otázce vypouštěných pevných částic a oxidů dusíku. U oxidů dusíku je to ze současných 0,18 g/km na 0,08 g/km.

Ani to však nemusí být konec „zelených“ zákonů. Součástí hlasování Evropského parlamentu má být dodatečné zpřísnění limitů v otázce vypouštěného oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) ze 130 g/km na 95 g/km a spotřeby paliva. Ta má nově poklesnout na aktuálně neuvěřitelnou hranici 2,7 l/100 km.

Jakým způsobem se situace vyvine, není dosud jasné. V případě odsouhlasení výše uvedených legislativ, dojde k navýšení výrobních nákladů na vůz. Východiskem by pak bylo mírné zdražení produktů. Plug-in hybridy, automobily na vodík a jiné se tak zřejmě stanou běžným prostředkem na dopravních komunikacích. [23]

### 2.1.9 HOMOLOGAČNÍ ZKOUŠKY

Ke zjištění množství emisí unikajících z motoru se používá řada zkoušek daných příslušnou evropskou legislativou. Předpis EHK 83 pro testování emisí motorových vozidel je pojmenován v přesném znění jako Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska emisí znečišťujících látek podle požadavků na motorové palivo. Byl ratifikován již 20. 3. 1958 v Ženevě. Rozdělení zkoušek je uvedeno v tabulce 4 [13]

Předpis EHK 83 zahrnuje tyto typy zkoušek:

- Typ I - ověření průměrných emisí z výfuku po studeném startu
- Typ II - emise oxidu uhelnatého CO při volnoběhu



- Typ III - emise plynů z klikové skříně
- Typ IV - emise způsobené vypařováním
- Typ V - životnost zařízení proti znečišťujícím látkám
- Typ VI - ověření průměrných emisí oxidu uhelnatého a uhlovodíků z výfuku při nízkých okolních teplotách po startu za studena
- Zkouška systému OBD

Předpis EHK 83 rozlišuje následující typy homologací:

- Homologace A - pro vozidla poháněná motorem spalující olovnatý benzín  
(zrušeno od verze 83.05)
- Homologace B - pro vozidla poháněná motorem spalující bezolovnatý benzín
- Homologace C - pro vozidla poháněná motorem spalující motorovou naftu
- Homologace D - pro vozidla poháněná motorem spalující LPG a NG

Tabulka 4 Rozdělení zkoušek pro schválení typu a rozšíření schválení typu

Zkouška pro schválení typu	Vozidla kategorií M a N se zážehovým motorem			Vozidla kategorií M <sub>1</sub> a N <sub>1</sub> se vznětovým motorem
	Vozidlo na benzín	Dvoupalivové vozidlo	Jednopalivové vozidlo	
Typ I	Ano (max. hmotnost ≤ 3,5t)	Ano (max. hmotnost ≤ 3,5t, oba druhy paliva)	Ano (max. hmotnost ≤ 3,5t)	Ano (max. hmotnost ≤ 3,5t)
Typ II	Ano	Ano (oba druhy paliva)	Ano	-
Typ III	Ano	Ano (jen s benzínem)	Ano	-
Typ IV	Ano (max. hmotnost ≤ 3,5t)	Ano (max. hmotnost ≤ 3,5t, jen s benzínem)	-	-



Typ V	Ano (max. hmotnost $\leq 3,5t$ )	Ano (max. hmotnost $\leq 3,5t$ , jen s benzínem)	Ano (max. hmotnost $\leq 3,5t$ )	Ano (max. hmotnost $\leq 3,5t$ )
Typ VI	Ano (max. hmotnost $\leq 3,5t$ )	Ano (max. hmotnost $\leq 3,5t$ , jen s benzínem)	-	-
OBD	Ano	Ano	Ano	Ano

### 2.1.10 BUDOUCNOST EMISNÍCH NOREM

Snížení množství emisí ze silniční dopravy je významným faktorem pro zlepšení kvality ovzduší v městských oblastech, a to hlavně proto, že roste počet dieselových automobilů. Při modelování dopadů EURO 6 na životní prostředí a na zdraví obyvatel se uvažuje s emisními limity pro dieselové automobily ve výši 80 mg/km, které vstoupí v platnost v roce 2014.

Předpovědi a analýzy naznačují, že zavedení normy EURO 6 nebude mít významný dopad na emise CO<sub>2</sub> nebo na prodej dieselových automobilů. Snížení emisí oxidů dusíku podle EURO 6 zvýší zdravotní přínosy o přibližně 60 - 90 % ve srovnání s EURO 5. Ve srovnání se zavedením normy EURO 5 by mělo kolem roku 2020 dojít k dodatečnému snížení celkových emisí oxidů dusíku z lehkých nákladních automobilů až o 24%. Snižování emisí bude pokračovat i po r. 2020 s tím, že starší vozidla, která více znečišťují životní prostředí, budou postupně vyřazována z provozu.

## 2.2 VOZIDLA PRO MIMOSILNIČNÍ PROVOZ

Evropské emisní normy pro vozidla určená pro mimosilniční provoz byly zpracovány do několika úrovní známých jako STAGE I až STAGE IV.

### 2.2.1 NORMY STAGE I/II

První evropská právní předpisy pro regulaci emisí z mimosilničních vozidel, mobilní zařízení byla vydána 16.12 1997. Jednalo se o směrnici 97/68/ES. Pravidla pro mimosilniční provoz byla zavedena ve dvou etapách: Norma STAGE I byla realizována v roce 1999 a norma STAGE II byla implementována mezi lety 2001 a 2004. Dané emisní limity byly zavedeny v závislosti na výkonu motoru.

Tyto normy se vztahovaly na širokou škálu strojů, především průmyslová vrtná zařízení, kompresory, stavební nakladače, buldozery, bagry, vysokozdvížné vozíky, zařízení na údržbu silnic a sněžné pluhy. Zemědělské a lesnické traktory musely plnit stejné emisní normy, ale měly různé lhůty pro provedení (směrnice 2000/25/ES). Motory používané v lodích, železničních lokomotivách a letadlech v normách zahrnuté nebyly.

Dne 9. prosince 2002 přijal Evropský parlament směrnici 2002/88/ES, která změnila směrnici 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.

Hodnoty emisí motorů pro normy STAGE I a STAGE II, které nesmí být přesáhnuty, jsou uvedeny v tabulkách 5 a 6. [12] [21]

Tabulka 5 Hodnoty emisních limitů STAGE I

Netto výkon P [kW]	Platnost	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO <sub>x</sub> [g/kWh]	PM [g/kWh]
130 ≤ P ≤ 560	1999/01	5,0	1,3	9,2	0,54
75 ≤ P < 130	1999/01	5,0	1,3	9,2	0,70
37 ≤ P < 75	1999/04	6,5	1,3	9,2	0,85

Tabulka 6 Hodnoty emisních limitů STAGE II

Netto výkon P [kW]	Platnost	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO <sub>x</sub> [g/kWh]	PM [g/kWh]
130 ≤ P ≤ 560	2002/01	3,5	1,0	6,0	0,2
75 ≤ P < 130	2003/01	5,0	1,0	6,0	0,3
37 ≤ P < 75	2004/01	5,0	1,3	7,0	0,4
18 ≤ P < 37	2001/01	5,5	1,5	8,0	0,8

## 2.2.2 NORMY STAGE III/IV

Emisní předpisy STAGE III/IV pro stroje byly přijaty Evropským parlamentem dne 21. 4. 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.

Hodnoty emisí motorů pro normy STAGE III a STAGE IV, které nesmí být přesáhnuty, jsou uvedeny v tabulkách 7, 8 a 9.[12] [21]



Tabulka 7 Hodnoty emisních limitů STAGE IIIA

Netto výkon P [kW]	Platnost	CO [g/kWh]	NO <sub>x</sub> + HC[g/kWh]	PM [g/kWh]
130 ≤ P ≤ 560	2006/01	3,5	4,0	0,2
75 ≤ P < 130	2007/01	5,0	4,0	0,3
37 ≤ P < 75	2008/01	5,0	4,7	0,4
18 ≤ P < 37	2007/01	5,5	7,5	0,6

Tabulka 8 Hodnoty emisních limitů STAGE IIIB

Netto výkon P [kW]	Platnost	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO <sub>x</sub> [g/kWh]	PM [g/kWh]
130 ≤ P ≤ 560	20011/01	3,5	0,19	2,0	0,025
75 ≤ P < 130	20012/01	5,0	0,19	3,3	0,025
37 ≤ P < 75	2012/01	5,0	0,19	3,3	0,025
18 ≤ P < 37	2013/01	5,0	4,7		0,025

Tabulka 9 Hodnoty emisních limitů STAGE IV

Netto výkon P [kW]	Platnost	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO <sub>x</sub> [g/kWh]	PM [g/kWh]
130 ≤ P ≤ 560	2014/01	3,5	0,19	0,4	0,025
56 ≤ P < 130	2014/10	5,0	0,19	0,4	0,025



## 3 ZPŮSOBY SNIŽOVÁNÍ EMISÍ

Snižování emisí škodlivin ve výfukových plynech na přijatelné hodnoty lze realizovat více způsoby. Podle toho, kde se jednotlivé prostředky pro snižování nacházejí, rozdělujeme tyto prostředky na aktivní a pasivní. Aktivní prostředky působí před nebo přímo ve spalovacím prostoru. Pasivní prostředky redukuje obsah škodlivin ve výfukových plynech a působí tedy až za spalovacím prostorem.

### 3.1 AKTIVNÍ PROSTŘEDKY

Princip aktivních prostředků pro snižování emisí spočívá v úpravě paliva a spalovacího procesu. Použitím kvalitnější spalovací směsi dochází k rovnoměrnějšímu spalování, zvyšuje se účinnost paliva a klesá jeho spotřeba, emise částic a uhlovodíků. Na druhou stranu se dosahuje vyšší spalovací teploty, což sebou přináší nárůst produkce  $\text{NO}_x$ . [10]

#### 3.1.1 TVORBA SMĚSI

Významnou roli při tvorbě spalovací směsi hraje regulace výkonu. Úkolem regulace je měnit výkon od volnoběhu po maximální zatížení podle okamžité potřeby energie. Regulačním orgánem je obvykle škrtecí klapka a zařízení pro vstřikování paliva. U zážehových motorů s nepřímým vstřikováním se používá kvantitativní regulace. Její podstatou je změna množství směsi podle aktuálního zatížení motoru při současně malé změně směšovacího poměru. U vznětových a dvoudobých motorů je typická regulace kvalitativní, při které se mění pouze množství paliva. Poslední regulací je smíšená, kde se mění směšovací poměr a nasávané množství směsi.

Tvoření směsi u vznětových motorů realizováno dvěma způsoby. U nedělených spalovacích prostorů jde o přímé vstřikování. Při tomto způsobu je do objemu spalovací komory vstřikováno palivo, které po vznícení poměrně rychle shoří. U dělených pracovních prostor se jedná o nepřímé vstřikování, kdy je palivo vstříknuto do samostatné komůrky umístěné zpravidla v hlavě válce. Komůrka je spojena s druhou částí spalovacího prostoru vytvořenou ve dnu pístu motoru jedním nebo více kanálky malého průměru

Důležitým faktorem je také kompresní poměr, který ovlivňuje teplotu spalování a tedy emise oxidů dusíku. Snížením kompresního poměru lze na jednu stranu dosáhnout poklesu spalovací teploty a emisí oxidů dusíku, ale na druhou stranu poklesne termická účinnost oběhu motoru a zhorší se spouštění motoru v chladných podmínkách. [10]

#### 3.1.2 VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

Základním předpokladem účinného spalování je vznik homogenní směsi vzduchu a paliva, které musí být rozprášeno co nejjemněji. Zapotřebí je tedy výkonné vstřikovací zařízení, které pracuje s vysokými vstřikovacími tlaky a umožňuje přesně regulovat počátek vstřiku a množství paliva. Důležité je rovněž geometrické provedení vstřikovacích otvorů. Vstřikovaný paprsek paliva musí dosáhnout i do vzdálených míst spalovacího prostoru, ale nesmí dopadat na povrch stěn, což by vedlo k vysokým emisním hodnotám nespálených uhlovodíků a sazí.





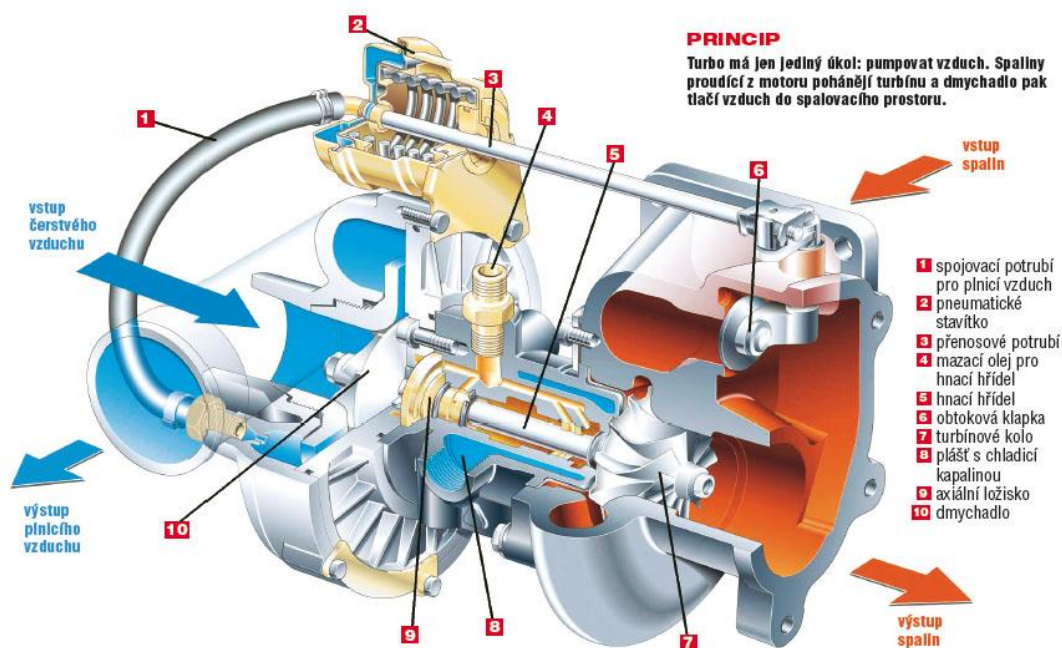
Pro dobré využití vzduchu je rovněž nutné použít trysky s více otvory, zajistit usměrněný pohyb náplně a přizpůsobit tvar vstřikovaného paprsku kompresnímu prostoru. [14]

### 3.1.3 VÍŘENÍ SMĚSI

Důležitým faktorem pro dokonalé hoření směsi je, aby směs plnicího vzduchu ve válci rotovala. Na druhou stranu ale víření náplně sebou přináší vyšší spotřebu energie a znamená větší tepelné ztráty. Neméně důležitou podmínkou pro správné víření je i vhodné tvarování sacích kanálů v hlavě válců. Zároveň by nemělo docházet ke zkřížení jednotlivých paprsků vstřikovaného paliva, protože by to vedlo ke vzniku nehomogenní směsi a znamenalo nárůst produkce oxidu uhelnatého, nespálených uhlovodíků a sazí. Tvar spalovacího prostoru ve dně pístu hraje rovněž důležitou roli během přípravy náplně a průběhu hoření. [10]

### 3.1.4 PŘEPLŇOVÁNÍ

K přeplňování vznětových motorů se používají výhradně turbodmychadla poháněná výfukovými plyny a přeplňování může být realizováno jako jednostupňové nebo případně dvoustupňové. Účelem přeplňování je přivést ke spalování větší hmotnost vzduchu, což umožňuje zvýšit vstřikovanou dávku paliva. Z důvodu zvětšení objemové účinnosti motoru je plnicí vzduch navíc ochlazován v mezichladiči umístěném za kompresorem, neboť během stlačování vzduchu roste jeho teplota. V porovnání s motory s atmosférickým sáním mají motory přeplňované podstatně vyšší výkon při poměrně malém zvýšení spotřeby paliva a také menší množství emisí škodlivin ve výfukových plynech. Rostoucí plnicí tlak totiž způsobuje vyšší teploty spalování, což se kladně odráží na množství emisí oxidu uhelnatého, uhlovodíků a sazí. Na druhou stranu však vyšší teploty ve spalovacím prostoru znamenají zvýšenou tvorbu oxidů dusíku. [18]



Obrázek 5 Schéma fungování turbodmychadla [26]

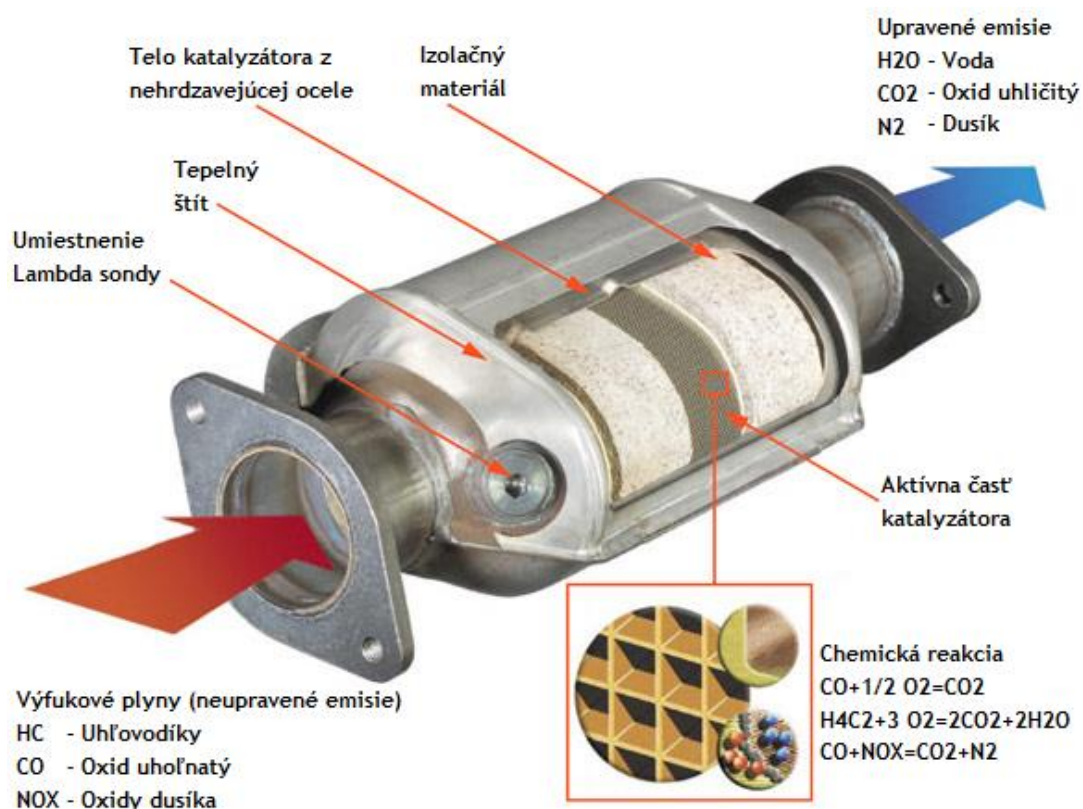


## 3.2 PASIVNÍ PROSTŘEDKY

Pasivní prostředky jsou zařízení, která se nacházejí za spalovacím prostorem. Princip jejich fungování spočívá v zachytávání již vzniklých škodlivin

### 3.2.1 KATALYZÁTOR

Katalyzátor je zařízení pro katalytické čištění výfukových spalin motorových vozidel. Katalyzátor obsahuje účinnou chemickou látku (většinou ušlechtilý kov jako je např. platina nebo rhodium), keramický nebo kovový nosný materiál a podle druhu konstrukce různá regulační zařízení k řízení čistícího procesu. Podle druhu katalyzátoru dochází k oxidační přeměně kysličníku uhelnatého na kysličník uhličitý, uhlovodíků na kysličník uhličitý a vodu a k redukci kysličníku dusnatého na plynný dusík a kyslík. Moderní katalyzátory snižují množství škodlivin ve spalinách až o 90 %. V automobilech se používají třícestné katalyzátory (zážehové motory) a oxidační katalyzátory (vznětové motory). Oxidační katalyzátor snižuje emise oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků. Podmínkou pro správnou funkci je dostatečné množství kyslíku ve spalinách. Třícestný katalyzátor na rozdíl od oxidačního redukuje také emise oxidů dusíku. Třícestný katalyzátor může správně fungovat pouze v úzké oblasti poměru paliva a vzduchu. [15] [16]



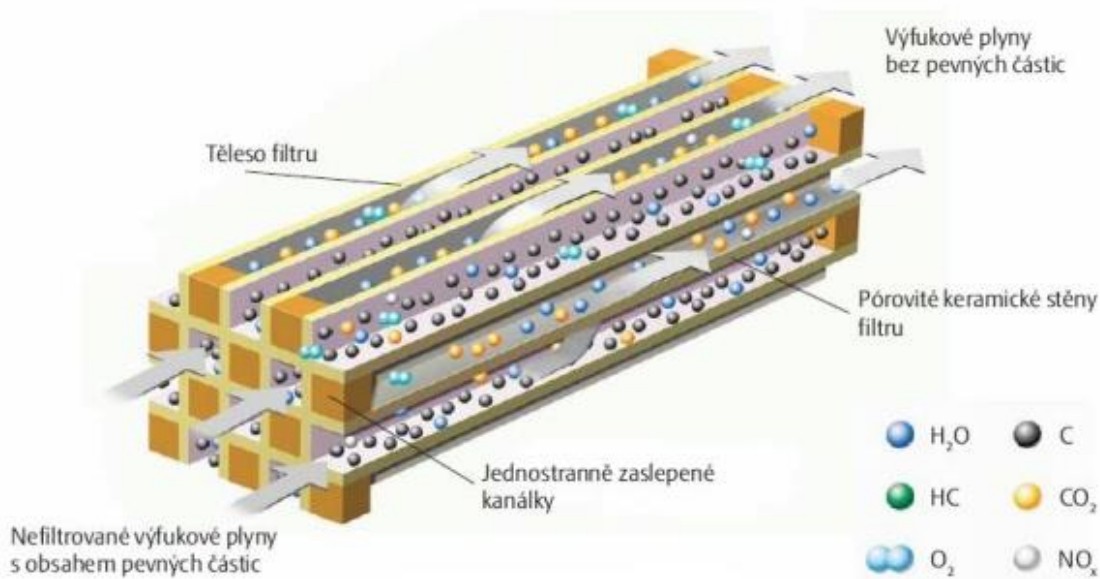
Obrázek 6 Schéma katalyzátoru [27]



### 3.2.2 FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC

Vznětové motory mají ve výfukových plynech poměrně vysoký obsah karcinogenních mikročastic. Tato vysoce škodlivá složka nejde odbourat pomocí klasického katalyzátoru, a proto byl vyvinut tzv. filtr pevných částic, který je schopen zachytit více jak 95% těchto uhlíkových mikročastic. Toto zařízení umožňuje vznětovým motorům dosáhnout nižší produkce pevných částic a plnit tak emisní předpisy. Jeho název je převzat z anglického jazyka Diesel Particulate Filter (DPF).

V každém vznětovém motoru vznikají při spalování paliva pevné částice, jejich množství je odvislé od kvality spalování. Ta závisí na mnoha parametrech motoru, jako jsou přívod nasávaného vzduchu, způsob vstřikování paliva a rozložení plamene, ale i složení a kvalita paliva. Základ filtru tvoří keramické těleso s voštinovou strukturou vytvořenou z karbidu křemíku, které je umístěno v kovovém plášti. Tělesem filtru procházejí výfukové plyny skrze pórovitou keramickou stěnu, ve které jsou pevné částice zachycovány. Aby nedocházelo k zanesení a ucpání filtru, jsou zachycené částičky spalovány a přeměňovány na oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) – tzv. regenerace filtru. [17]



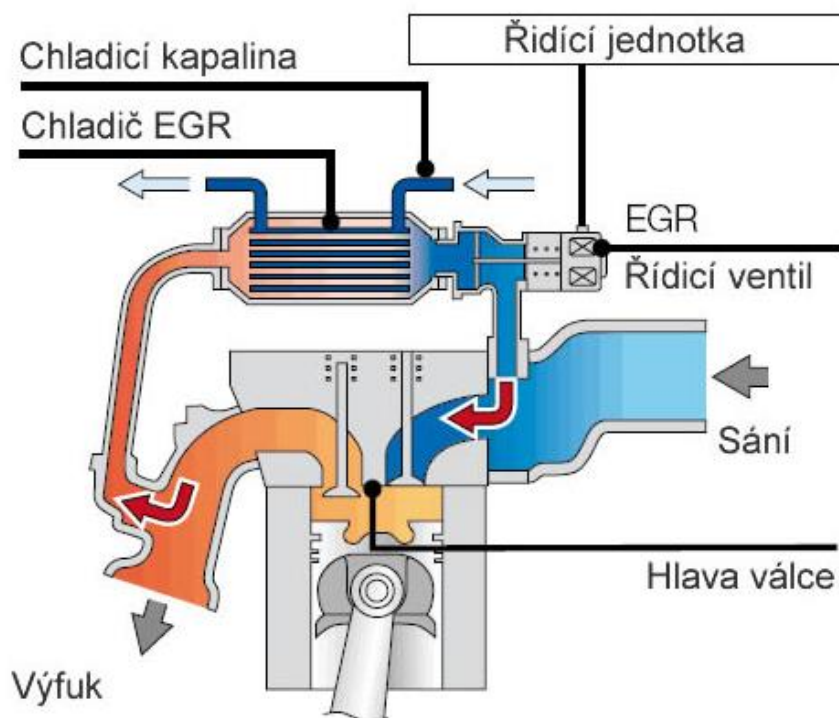
Obrázek 7 Schéma filtru pevných částic DPF [28]

### 3.2.3 RECIRKULACE VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Recirkulace výfukových plynů, označovaná zkratkou EGR (z angl. Exhaust Gas Recirculation) znamená kontrolované zavádění výfukových plynů zpět do spalovacího prostoru. Přitom se spalovací teplota snižuje a množství oxidů dusíku se snižuje již v motoru. Proces je velmi účinný, jelikož obsah oxidů dusíku se se vzrůstající teplotou spalování výrazně zvyšuje. Nižší spalovací teploty a menší koncentrace kyslíku ve směsi na druhou stranu ale znamenají zhoršení účinnosti spalování a zvýšení spotřeby paliva.



U moderních motorů s chlazením recirkulovaných výfukových plynů je však toto navýšení spotřeby paliva minimální. Existují dvě metody recirkulace spalin: interní recirkulace spalin v okamžiku současného otevření sacích i spalovacích ventilů a externí recirkulace prostřednictvím zpětných ventilů a speciálního vedení. [19]

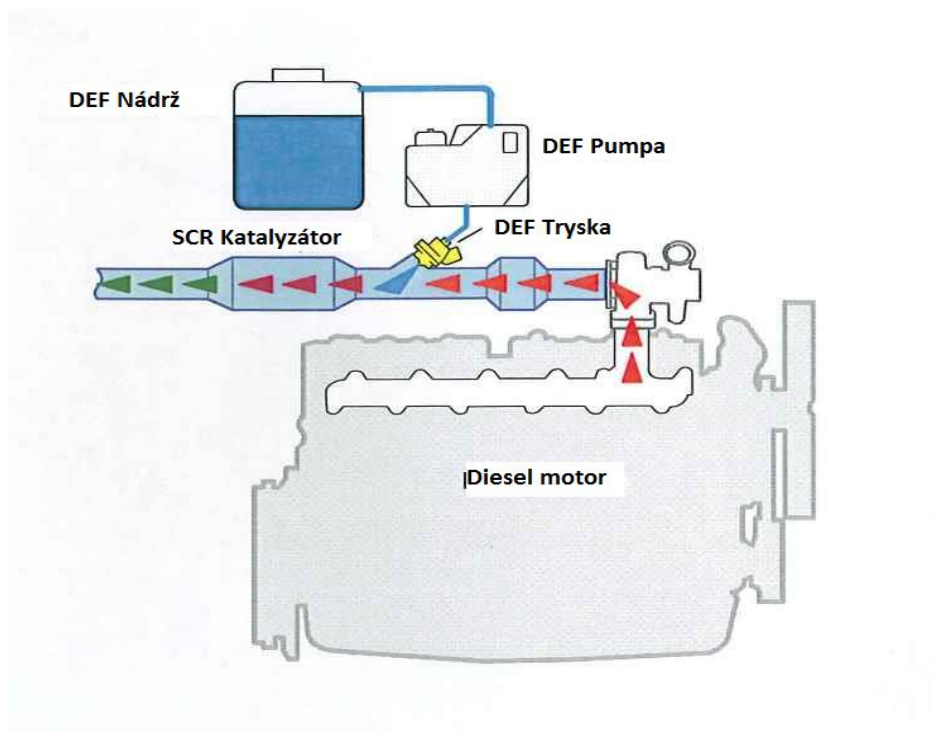


Obrázek 8 Schéma EGR [29]

### 3.2.4 SELEKTIVNÍ KATALYTICKÁ REDUKCE

Metoda selektivní katalytické redukce, označovaná SCR (z angl. Selective Catalytic Reduction), je nejrozšířenější metodou k redukci oxidů dusíku ve výstupních plynech ve spalovacích zařízeních. Podstatou této technologie je použití kapalného aditiva AdBlue, což je 32,5% vodný roztok močoviny. AdBlue je u vozu uloženo v samostatné vyhřívané nádrži, oddělené od nádrže s naftou a je dávkováno buď do proudu stlačeného vzduchu, který jej dopravuje do výfukového potrubí nebo přímo do výfukových plynů před katalyzátor SCR.

Mezi hlavní výhody metody SCR patří snížení emisí oxidů dusíku až o 90% a žádné vedlejší složky znečištění. Nevýhoda selektivní katalytické redukce se týká úniku čpavku. K tomu dochází následkem neúplné reakce  $\text{NH}_3$  s oxidy dusíku, když spolu se spalinami opouštějí reaktor malá množství čpavku. Tento jev je známý, jako strhávání čpavku. [10]



Obrázek 9 Schéma SCR [30]



## ZÁVĚR

Výsledkem mé rešeršní bakalářské práce je studie o emisích výfukových plynů, evropských emisních normách a způsobech snižování emisí ve výfukových plynech.

Množství škodlivin ve výfukových plynech nebylo dlouhou dobu nijak regulováno. To mělo a stále má neblahý dopad nejen na životní prostředí, ale i na zdraví člověka. Posledních 20 let se nese ve znamení významného pokroku ve snižování emisí. Tomu napomáhá především sjednocování evropských předpisů, které se problematikou emisí zabývají. V obecném povědomí většiny obyvatelstva existují pouze limity EURO, které omezují emise vozidel běžného silničního provozu. Neméně důležitými evropskými standardy jsou však rovněž limity STAGE. Tyto limity se týkají většinou vznětových motorů vozidel určených pro nesilniční provoz. Obě skupiny norem se stále vyvíjejí a je patrný trend jejich neustálého zpřísnování.

V dnešní době již existuje řada prostředků ke snižování emisí. Neustálý vývoj emisních norem však tlačí na výrobce v automobilovém průmyslu vyvíjet stále lepší a účinnější prostředky. Zanedlouho vstoupí v platnost nová norma EURO VI. Pouze výzkumem a vývojem nových technologií budou automobilky schopny vyhovět budoucím limitům.

Se vzrůstajícím počtem obyvatelstva roste i počet automobilů v provozu. Myslím si tedy, že redukování škodlivých emisí ve výfukových plynech je velice aktuální a důležité téma, kterému by měla být v blízké budoucnosti kladena větší pozornost, než tomu bylo doposud.



## 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] MULLEROVÁ, M. a M. ŠVÁB. VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE, Ústav chemie ochrany prostředí. [online]. Praha, Červenec 2006 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z URL: <[http://www.irz.cz/repository/latky/oxid\\_uhelnaty.pdf](http://www.irz.cz/repository/latky/oxid_uhelnaty.pdf)>
- [3] MULLEROVÁ, M. a M. ŠVÁB. VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE, Ústav chemie ochrany prostředí. [online]. Praha, Červenec 2006 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z URL: <[http://www.irz.cz/repository/latky/oxid\\_uhlicity.pdf](http://www.irz.cz/repository/latky/oxid_uhlicity.pdf)>
- [4] MULLEROVÁ, M. a M. ŠVÁB. VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE, Ústav chemie ochrany prostředí. [online]. Praha, Červenec 2006 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z URL: <[http://www.irz.cz/repository/latky/oxidy\\_siry.pdf](http://www.irz.cz/repository/latky/oxidy_siry.pdf)>
- [5] MULLEROVÁ, M. a M. ŠVÁB. VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE, Ústav chemie ochrany prostředí. [online]. Praha, Červenec 2006 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z URL: <[http://www.irz.cz/repository/latky/oxidy\\_dusiku.pdf](http://www.irz.cz/repository/latky/oxidy_dusiku.pdf)>
- [6] MULLEROVÁ, M. a M. ŠVÁB. VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE, Ústav chemie ochrany prostředí. [online]. Praha, Červenec 2006 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z URL: <[http://www.irz.cz/repository/latky/polycyklicke\\_aromaticke\\_uhlovodiky.pdf](http://www.irz.cz/repository/latky/polycyklicke_aromaticke_uhlovodiky.pdf)>
- [7] ADAMEC, V. Vliv emisí pevných částic z dopravy na zdraví obyvatel. [online]. Praha, Květen 2005 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z URL: <<http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/0299A788-AA82-498F-A459-E847CD68749E/0/Emiseazdraviweb505.pdf>>
- [8] SAJDL, Jan. *Emise výfukových plynů* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/emise-vyfukovych-plynu>>
- [9] *Výfukové plyny* [online]. [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: <<http://cistenebe.cz/index.php/slovnicek-pojmu/18-vyfukove-plyny>>
- [10] VOJKŮVKA, Bc. František. *Návrh plicního systému motoru s uvažováním recirkulace výfukových plynů*. Brno, 2010. Dostupné z: <[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=26356](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=26356)>  
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Radim Dundálek, PhD.
- [11] *Emission Standards: Europe: Cars and Light Trucks* [online] [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <<http://www.dieselnets.com/standards/eu/ld.php>>
- [12] *Emission Standarts: Europe: Nonroad Diesel Engines* [online] [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <<http://www.dieselnets.com/standards/eu/nonroad.php>>



- [13] ANDRES, Bc. Jaroslav. *Pracoviště pro měření emisí silničních motorových vozidel*. Pardubice, 2008. Dostupné z: <[http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/30402/1/AndresJ\\_Pracoviste%20pro%20mereni\\_MG\\_2008.pdf](http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/30402/1/AndresJ_Pracoviste%20pro%20mereni_MG_2008.pdf)> Diplomová práce. Universita Pardubice dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce doc. Ing. Milan Graja CSc.
- [14] VLK F. Přímé vstřikování benzínu. [online]. Brno, 2004 [cit. 2013-04-29]. Dostupné z URL: <<http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-01-67-71.pdf>>
- [15] *Katalyzátor* [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <<http://audiklub.cz/techwiki/katalyzator>>
- [16] SAJDL, Jan. *Katalyzátor* [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/> <http://cs.autolexicon.net/articles/katalyzator/>>
- [17] SAJDL, Jan. *DPF (Diesel Particulate Filter)* [online]. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/dpf-diesel-particulate-filter/>>
- [18] ČUMPELÍK, Jiří. *Snižování emisí ve výfukových plynech* [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/snizovani-emisi-ve-vyfukovych-plynech.html>>
- [19] *Recirkulace výfukových plynů* [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <<http://app.audi.cz/lexicon/recirkulace/>>
- [20] *EURO standards* [online]. [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <<http://www.ngk.de/en/technology-in-detail/lambda-sensors/basic-exhaust-principles/euro-standards/>>
- [21] *Technologie snižování emisí u nákladních vozidel* [online]. [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <<http://lukybloguj.blogspot.cz/2008/06/technologie-sniovn-emis-u-nkladnch.html>>
- [22] *Emisní norma EURO 5* [online]. [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <<http://kamionaci.cz/legislativa-v-doprave/emisni-norma-euro-5>>
- [23] *Emisní norma EURO 6: razantní snížení škodlivých exhalací* [online]. [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <<http://news.autoroad.cz/zajimavosti/36354-emisni-norma-euro-6-razantni-snizeni-skodlivych-exhalaci/>>
- [24] Procentuální zastoupení škodlivin u vznětového motoru, [08. 05. 2013], dostupné z: <<http://www.ngk.de/en/technology-in-detail/lambda-sensors/basic-exhaust-principles/exhaust-and-harmful-emissions/>>
- [25] Procentuální zastoupení škodlivin u zážehového motoru, [08. 05. 2013], dostupné z: <<http://www.ngk.de/en/technology-in-detail/lambda-sensors/basic-exhaust-principles/exhaust-and-harmful-emissions/>>
- [26] Schéma fungování turbodmychadla, [09. 05. 2013], dostupné z: <<http://www.autopruvodce.cz/magazin/technika-preplnovani> >





- [27] Schéma katalyzátoru, [09. 05. 2013], dostupné z:  
<<http://www.autorubik.sk/technika/na-co-sluzi-a-ako-funguje-katalyzator/>>
- [28] Schéma filtru pevných částic DPF, [09. 05. 2013], dostupné z:  
<<http://cs.autolexicon.net/articles/dpf-diesel-particulate-filter/>>
- [29] Schéma EGR, [09. 05. 2013], dostupné z:  
<[http://bagry.cz/cze/clanky/recenze/nova\\_rada\\_pasovych\\_rypadel\\_hitachi\\_zaxis\\_3\\_zveda\\_latku\\_zakladni\\_vybavy](http://bagry.cz/cze/clanky/recenze/nova_rada_pasovych_rypadel_hitachi_zaxis_3_zveda_latku_zakladni_vybavy)>
- [30] Schéma SCR, [09. 05. 2013], dostupné z:  
<[http://www.agcocorp.com/e3/egr\\_scr.aspx](http://www.agcocorp.com/e3/egr_scr.aspx)>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CNG	Compressed Natural Gas
CO	Oxid uhelnatý
CO <sub>2</sub>	Oxid Uhličitý
DEF	Diesel Exhaust Fluid
DPF	Filtr pevných částic
EGR	Exhaust Gas Recirculation
H <sub>2</sub> O	Molekula vody
HC	Nespálené uhlovodíky
LPG	Liquefield Petroleum Gas
N	Atom dusíku
N <sub>2</sub>	Molekula Dusíku
NOX	Oxid dusíku
O	Atom kyslíku
OBD	On-Board Diagnostics
PAU	Polyaromatické uhlovodíky
Pb	Olovo
PM	Particulate matter
SCR	Selective Catalytic Reduction
SOX	Oxidy síry
STAGE	Označení evropské emisní normy mimosilničních vozidel



## SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1	Složení výfukových plynů
Obrázek 2	Procentuální zastoupení škodlivin u vznětového motoru
Obrázek 3	Procentuální zastoupení škodlivin u zážehového motoru
Obrázek 4	Průběh vývoje limitů obsahu složek
Obrázek 5	Schéma fungování turbodmychadla
Obrázek 6	Schéma katalyzátoru
Obrázek 7	Schéma filtru pevných částic PDF
Obrázek 8	Schéma EGR
Obrázek 9	Schéma SCR
Tabulka 1	Kategorie motorových vozidel
Tabulka 2	Hodnoty emisních limitů EURO pro vznětové motory
Tabulka 3	Hodnoty emisních limitů EURO pro zážehové motory
Tabulka 4	Rozdělení zkoušek pro schválení typu a rozšíření schválení typu
Tabulka 5	Hodnoty emisních limitů STAGE I
Tabulka 6	Hodnoty emisních limitů STAGE II
Tabulka 7	Hodnoty emisních limitů STAGE IIIA
Tabulka 8	Hodnoty emisních limitů STAGE IIIB
Tabulka 9	Hodnoty emisních limitů STAGE IV