

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2012

Martin Zmek

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

**Snižování emisí ve výfukových plynech
vznětových a zážehových motorů**

Bakalářská práce

2012

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Zmek**
Osobní číslo: **D08539**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Název tématu: **Snižování emisí ve výfukových plynech vznětových a zážehových motorů**
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

1.Úvod 2.Spalování paliva v pístovém spalovacím motoru 3.Emise spalovacích motorů 4.Snižování škodlivin u zážehových motorů 5.Snižování škodlivin vznětových motorů 6.Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

JAN, Zdeněk; ŽDÁNSKÝ, Bronislav. Automobily 3.. Brno : Avid, 2008.

GSCHEIDLE, R. a kol.. Příručka pro automechanika. Praha : Sobotáles, 2002.

VLK, František. Vozidlové spalovací motory, Brno : Vlk, 2003

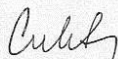
Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Jilek, DiS.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **24. února 2012**

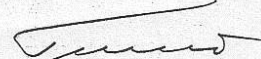
Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2012**



prof. Ing. Bohumil Culík, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. února 2012

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněná ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích 20. 5. 2012

Martin Zmek

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto formou poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Jilkovi, Dis. za odborné rady, konzultace a poskytnuté literární prameny. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mě podporovali nejen při psaní této práce, ale i během celého studia.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá prostředky na snižování emisí ve výfukových plynech vznětových a zážehových motorů. Je zde uveden mechanismus tvorby hlavních škodlivin ve spalinách a následně prostředky k jejich snižování. Tyto prostředky jsou následně rozděleny zvlášť pro vznětové a benzínové motory (recirkulace výfukových plynů, katalyzátory).

KLÍČOVÁ SLOVA

emise, motory, euro, výfuk, spalování

TITLE

Reducing exhaust emissions of diesel and gasoline engines

ANNOTATION

This work deals with the means to reduce exhaust emissions of diesel and gasoline engines. There is the mechanism of the main pollutants in the flue gas and then by means of their reduction. These appropriations are then allocated separately for diesel and gasoline engines (exhaust gas recirculation, catalytic converters).

KEYWORDS

emissions, engines, Euro, exhaust, combustion

Obsah:

1. Úvod.....	8
2. Spalování paliva v pístovém spalovacím motoru.....	9
2.1. Paliva pístových spalovacích motorů	9
2.2. Spalovací proces u čtyřdobého zážehového motoru.....	14
2.3. Spalovací proces u čtyřdobého vznětového motoru	18
3. Emise spalovacích motorů	20
3.1 Složení výfukových plynů	20
3.2. Evropské emisní normy	25
4. Snižování škodlivin u zážehových motorů.....	29
4.1. Zpětné vedení výfukových plynů	29
4.2 Systém sekundárního vzduchu	30
4.3. Systém odpařování paliva.....	31
4.4 Katalyzátory.....	32
5. Snižování škodlivin u vznětových motorů	40
5.1. Principy ke snížení emisí u vznětových motorů:.....	40
5.2. Kvalita spalování	40
5.3. Úprava výfukových plynů	40
6. Závěr.....	45
7. Seznam použité literatury	48
8. Seznam obrázků	50
9. Seznam zkratk a symbolů	51
10. Seznam tabulek	53

1. Úvod

Tématem této bakalářské práce je snižování emisí ve výfukových plynech vznětových a zážehových motorů silničních motorových vozidel.

Silniční doprava je nedílnou součástí dnešního života a s rostoucí globalizací a nutností mobility roste čím dál více zájem na přepravě osob a věcí. Zvyšujícím se počtem automobilů a intenzitou provozu dochází především v městských aglomeracích k vysokému znečištění ovzduší ze spalovacích procesů automobilových motorů, jelikož dochází k uvolňování škodlivin z výfukových plynů do okolí. Ty mají následně negativní vliv jednak na zdraví člověka, ale také na zátěž životního prostředí. V posledních letech je velice aktuální otázka globálního oteplování a podílu vlivu člověka na jeho příčině. Ke globálnímu oteplování dochází vlivem tvorby skleníkových plynů, které se drží v atmosféře a absorbují dlouhovlnné infračervené záření zpětně vyzařované z povrchu planety, kdy dochází k ohřívání spodní vrstvy atmosféry a zemského povrchu. Mezi skleníkové plyny se řadí oxid uhličitý (CO_2), metan (CH_4), oxid dusný (N_2O) a přízemní ozón (O_3). Všechny tyto plyny se v přírodě vyskytují jednak přirozeně, ale zároveň také všechny vznikají z provozování silniční dopravy, zejména spalováním fosilních paliv. V současné době vyprodukují silniční vozidla v Evropské unii přes 10% všech emisí skleníkových plynů. Jelikož to jsou látky škodlivé a jsou vypouštěny do atmosféry ze zdroje, kterým může být např. výfukové potrubí automobilu, vznikly v minulosti právní předpisy vydané Evropskou hospodářskou komisí (EHK). Jedním z prvních předpisů byla směrnice EHK 15 uvedená v roce 1971 s postupným vývojem až po současné emisní limity Euro 6.

Právě s těmito limity je spojena ekologičnost provozu, což je parametr, který přináší ve vývoji vozů a jejich pohonných jednotek mnoho zajímavých souvislostí a vedl mě k tomu, proč jsem se rozhodl věnovat se ve své bakalářské práci právě tomuto tématu. Vedle objasnění technických souvislostí a jejich srozumitelném pojednání považuji za přidanou hodnotu své práce zejména propojení technické stránky věci se strategickým marketingem automobilek a sekundárně se tvořícím náhledu a rozhodovacích kritérií budoucích kupujících a uživatelů vozů. Věřím, že i tento pohled zvýší přidanou hodnotu mé práce v očích jejich budoucích čtenářů.

2. Spalování paliva v pístovém spalovacím motoru

Pro účely pohonu silničních motorových vozidel se v současné době téměř výhradně používají spalovací motory, které mají při daném výkonu nejmenší hmotnost a dobrou účinnost. Nevýhodou je jejich větší hlučnost a emise zdraví škodlivých plynů. Pístové spalovací motory přeměňují chemickou energii na mechanickou práci. Ve válci motoru se spaluje vhodná směs paliva a vzduchu. Vlivem uvolněné energie prudce stoupne tlak a objem plynů ve válci. Vzniklý tlak plynů působí na píst, který je ve válci uložen pohyblivě. Posuvný pohyb pístu se pomocí klikového mechanismu přeměňuje na pohyb otáčivý.

2.1. Paliva pístových spalovacích motorů

Za palivo pístového spalovacího motoru považujeme látku, jejímž spálením, tedy prudkou oxidací se vyvine teplo. Paliva mohou být tuhá (uhelný prach, dřevo), plynná (propan-butan, svítiplyn, zemní plyn) nebo kapalná (ropa a její destiláty). Pro pohon silničních motorových vozidel se používají hlavně kapalná a plynná paliva, na která jsou kladeny různé požadavky.

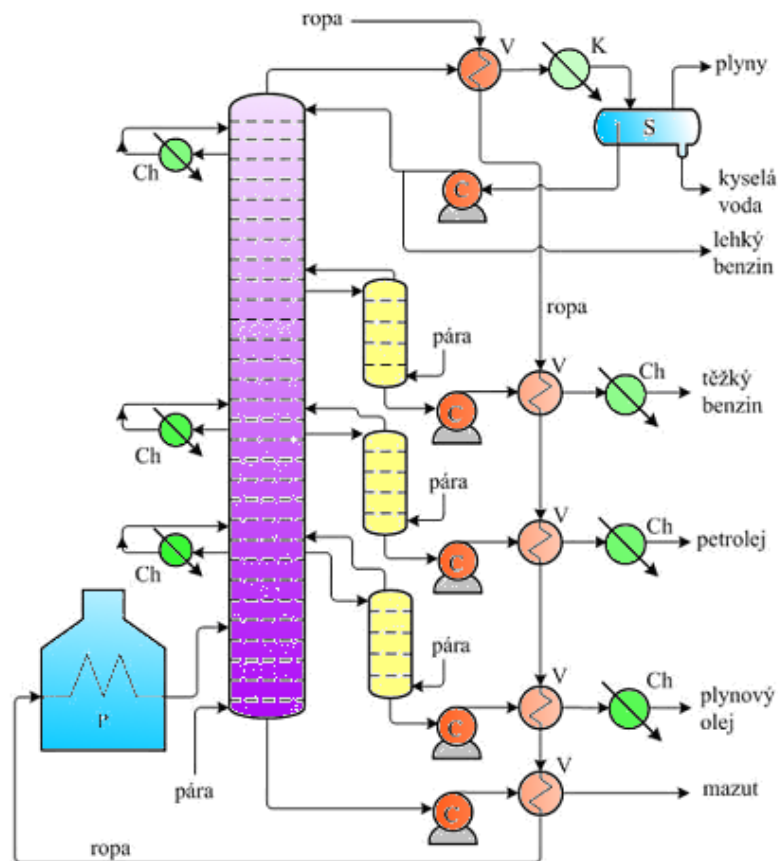
U benzínu požadujeme dobré odpařování i za nízkých teplot (pro snadnější spouštění studeného motoru), aby neobsahoval těžší frakční podíly, které by ředily olej a zvyšovaly škodlivost výfukových plynů, aby nepůsobil korozivně na motor, nezanášel sací cesty a aby bylo možné jeho dlouhodobé skladování. Kvalita benzínu se posuzuje především podle oktanového čísla (OČ). Čím vyšší je oktanové číslo, tím je palivo odolnější proti detonačnímu spalování.

Nároky na vlastnosti paliva pro vznětové motory se liší dle velikosti motoru, otáček a jeho určení. V silniční dopravě se používá frakce ropy vroucí přibližně v rozmezí (150 – 360 °C). Motorové nafty jsou při normální teplotě nepatrně zakalené a více či méně zbarvené. Mohou obsahovat přísady pro snížení meze filtrovatelnosti, přičemž tyto přísady se mohou přidávat i dodatečně. U paliv pro vznětové motory je rozhodujícím požadavkem snadné a rychlé vznícení.

Benzín i nafta se vyrábí z ropy. Ropa je směs uhlovodíků a lze z ní pomocí destilace (obr. 1) získávat jednotlivé frakce. Ropa se zahřívá bez přístupu vzduchu v destilačních věžích, v nichž se základní směs dělí na skupiny (frakce) s určitým rozmezím bodu varu. Zahříváním se jednotlivé frakce odpařují a následně jsou pomocí kondenzace zkapalňovány.

- lehká motorová paliva, převážně benzín – uhlovodíky s bodem varu do 180 °C
- středně těžká motorová paliva, petrolej – uhlovodíky s bodem varu od 180 °C do asi 280 °C
- těžká motorová paliva, motorová nafta – uhlovodíky s bodem varu od 210 °C do 360 °C
- olejové frakce – nelze již destilovat za normálního tlaku – uhlovodíky s bodem varu nad 360 °C

Benzín je frakce s poměrně nízkým bodem varu v rozmezí 30 – 200 °C. Těžšími složkami jsou nafta, oleje, parafín.



*C – čerpadlo, S – separátor, k – kondenzátor, P – trubková pec, V – výměník tepla,
Ch – chladič*

Obr. 1: Destilace ropy a její jednotlivé složky [1]

Samotnou destilací ropy lze získat jen malou část a to ještě s nevalnými vlastnostmi, proto se využívá krakování. Při krakování se tříští řetězce složitých uhlovodíků na jednodušší, čímž je možné získat další užitečné složky z daného objemu ropy. Krakování probíhá buď termicky (těžší složky ropy se vystaví vyšším teplotám) nebo katalyticky (využívá se přítomnosti katalyzátoru). Při termickém a zejména katalytickém krakování ropných frakcí vznikají vedle kapalných produktů také plynné nasycené a nenasycené uhlovodíky (5 – 20%). Tyto plynné uhlovodíky obsahují izobutan, propen a buteny, které se pomocí alkylace přeměňují na kapalně produkty s velkým oktanovým číslem. [1]

Paliva pro zážehové motory:

Nejpoužívanějšími palivy jsou benzíny. Automobilové benzíny jsou směsi kapalných uhlovodíků s teplotou varu v rozmezí (30 - 210 °C). Navíc obsahují inhibitor (látku zpomalující oxidaci), barvivo, látky zvyšující oktanové číslo a látky proti zanášení sacích cest.

U benzínu se zjišťuje jeho odpařitelnost, která má velký vliv na spouštění motoru. Aby elektrická jiskra svíčky mohla zapálit obsah válce, je třeba, aby se mezi elektrody dostala hořlavá směs par paliva a vzduchu. Aby bylo vůbec možné nastartovat studený motor, musí palivo obsahovat určitý podíl lehkých odpařitelných složek, jejichž podíl je charakterizovaný polohou 10% bodu na destilační křivce. To však zároveň zvyšuje nebezpečí vzniku bublin páry v palivové soustavě, které mohou být příčinou přerušování dodávky paliva a tím zastavení motoru. Proto palivové vedení stoupá a musí být v dostatečné vzdálenosti od výfuku.

Kvalita benzínu se posuzuje především podle oktanového čísla (OČ). Čím vyšší je oktanové číslo, tím je palivo odolnější proti detonačnímu spalování. Pro určení velikosti oktanového čísla se používá několik metod (výzkumná, motorová), ale v podstatě toto číslo odpovídá objemové koncentraci izooktanu (s OČ = 100) ve směsi s n-heptanem (OČ = 0), která se chová při spalování stejně jako zkoumané palivo. Oktanové číslo benzínu vyrobeného z ropy je poměrně malé vzhledem k požadavkům motoru (po destilaci jen OČ = 45). Současné motory však vyžadují zhruba OČ od 90 výše. Proto se musí oktanové číslo surového benzínu nějakým způsobem zvýšit. Běžně se tohoto zvýšení dosahovalo přimísením sloučenin olova. Protože je však olovo jedovatá látka, která se nespálí, ale odchází výfukem do ovzduší, a navíc by zničilo katalyzátor, vyrábí se v současnosti benzíny bezolovnaté, jejichž oktanové číslo je zvýšeno přimísením uhlovodíků éterického původu.

Benzíny v prodeji na našem trhu - v současné době pouze bezolovnaté

Natural 95 pro kompresní poměry nad 8,5 : 1

Natural 98 pro motory s vysokými kompresními poměry nad 10,5 : 1

Pozn. – Některé firmy nabízejí benzín, u něhož deklarují oktanové číslo až na hodnotě 100. Způsob dosahování těchto parametrů je z obchodních důvodů utajen, zároveň považují za nejasné, jaký je podíl skutečné kvalitativní dokonalosti takového paliva po chemické stránce a jaký podíl zaujímá marketingová deklaráce vůči kupujícím, pro účely mé práce proto s těmito „novinkami“ nepracuji.

Posuzování paliv pro zážehové motory

Automobilové benzíny můžeme posuzovat z mnoha hledisek - chemických, palivářských, provozních a motorářských. Nejdůležitější a dominantní jsou hlediska provozní a motorářské, jelikož ovlivňují zejména dynamické vlastnosti motoru a provozní spolehlivost jeho chodu.

Oktanové číslo - je jedním z dominantních kritérií prvořadého významu a jeho význam a je popsán v předcházejícím odstavci, včetně určování.

Karburační schopnost a odpařitelnost benzínu - je schopnost benzínu vytvořit v karburátoru směs par a podílu, který je tvořen rozprášenými kapičkami benzínu.

Výparné teplo - nepatří mezi normované hodnoty, avšak má velký význam pro funkci paliva v motoru. Rozumíme jím množství tepla v kJ, potřebné k převedení váhové nebo objemové jednotky paliva do plynného stavu. U zážehových motorů jsou vítána paliva s vysokým výparným teplem. Při vysokém výparném teple přichází směs z karburátoru do válce chladná, čímž zvyšuje se objemová účinnost válce. Nevypařený podíl, který se z velké části zplyňuje horkými stěnami válce, je schopen při vysokém teple válce dobře chladit. Tím se zvyšuje tepelná účinnost. U benzínu se palivo může pouhou přeměnou na páru ochladit oproti okolní teplotě až o 20 °C. Nevýhodou vysokého výparného tepla je nebezpečí, že pokles teploty směsi za karburátorem může být při nízké atmosférické teplotě tak značný, že palivo znovu kondenzuje nebo se dokonce v karburátoru a difuzoru vytvoří námraza.

Spalné teplo - je množství tepla, uvolněné úplným spálením paliva v kalorimetrické tlakové nádobě v prostředí stlačeného kyslíku při teplotě 25 °C, vztažené na jednotku jeho hmotnosti. Zbylými produkty jsou nejčastěji plynný kyslík, oxid uhličitý a voda, případně popel, kyselina siřičitá nebo dusičná.

Výhřevnost - je spalné teplo, zmenšené o výparné teplo vody, vzniklé z paliva během hoření.

Bod krystalizace - je teplota, při které se v daném palivu začnou vylučovat pevné podíly uhlovodíků, především aromátů. U benzínů je to méně než $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Skladovací stabilita - stálost benzínu v uskladnění se zvyšuje dokonalou rafinací a přísadami. Benzín nesmí při skladování výrazně měnit své vlastnosti.

Korozivnost benzínu - uhlovodíky ani jejich spalné zplodiny samy nekorodují. Z příměsí mají nejsilnější korozivní účinek sírné sloučeniny. Benzíny, které obsahují tzv. korozivní síru, napadají především měď a mosaz a tvoří lehce se odlupující vrstvičky, které mohou vyvolat poruchy v přívodu paliva. Benzín nesmí být agresivní na pryž, která je narušována především aromatickými uhlovodíky.

Hustota benzínu - pro funkci paliva je prakticky bez významu. Musí být stálá a nezávislá na okolní teplotě a v současné době se nijak nesleduje.

Viskozita a povrchové napětí - běžně se u benzínů neuvádí. Nízké povrchové napětí (provázené nízkou viskozitou) způsobí, že se kapalina v karburátoru snadno rozpráší do drobných kapének.

Mísitelnost složek a citlivost vůči vodě - jedná se o velice důležitý faktor. V popisech se neuvádí a zaručuje je výrobce.

Paliva pro vznětové motory:

U paliv pro vznětové motory je hlavním požadavkem snadné a rychlé vznícení paliva. Schopnost samozápalnosti (reaktivita) se vyjadřuje cetanovým číslem (CČ), které odpovídá objemovému procentu cetanu ve směsi s heptametylnonanem, a které k dosažení určité prodlevy vznícení v laboratorním motoru potřebuje stejný kompresní stupeň jako zkoušené palivo.

Orientační přepočítání OČ na CČ paliva lze realizovat podle vztahu:

$$OČ = 120 - 2 * CČ \quad (2.1.-1)$$

Obsah síry v motorové naftě je v ČR od roku 1995 stanovený max. 0,05%. Tato hodnota se stále snižuje a dnes se vyrábí motorová nafta o obsahu síry max. 10 mg/kg. Vysoký obsah síry v palivu zvyšuje emise a způsobuje korozi motoru. Sírné sloučeniny v naftě se projevují v podobě studené koroze, kdy napadají kovy, ale také i v podobě horké koroze, která je

důsledkem spalování těchto sloučenin. Vzniklé oxidy síry se slučují s vodou a tím vytváří kyseliny.

Bod vzplanutí je teplota, při které se nad hladinou paliva vytvoří vrstva směsi, jejíž složení při náhodné iniciaci hoření otevřeným plamenem vzplane.

Chladové vlastnosti nafty jsou charakterizovány teplotou vylučování parafinů – nafta se začíná kalit, ale zatím je tekutá.

Teplota filtrovatelnosti – vyloučené parafíny pokryjí vložku čističe a nafta nemůže procházet filtrem (dle této teploty se nafta rozděluje do tříd A – F).

Teplota tuhnutí – nafta přestává vlivem velkého množství vyloučených parafinů téci.

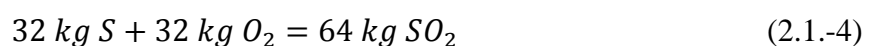
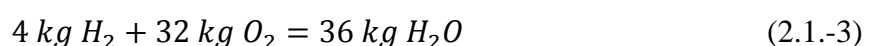
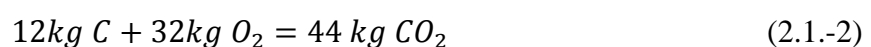
Na trhu v České republice jsou k dispozici dva druhy nafty a to zimní a letní, které se liší tzv. bodem filtrovatelnosti. Zimní motorová nafta distribuovaná v období 16. 11. do 28. 2. na našem trhu má bod zákalu nižší než $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a filtrovatelnost nižší než $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, přičemž její skutečná operabilita se pohybuje okolo $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Letní motorová nafta distribuovaná od 15. 4. do 30. 9. má filtrovatelnost nižší než $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. V období od 1. 3. do 14. 4. a od 1. 10. do 15. 11. je prodávána motorová nafta přechodová s filtrovatelností nižší než $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. V severských státech je distribuována arktická motorová nafta, která má bod filtrovatelnosti nižší než $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ a bod zákalu je nižší jak $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$. [1]

2.2. Spalovací proces u čtyřdobého zážehového motoru

Spalování je oxidační proces, při kterém se hořlavé složky paliva (C, H, případně S) slučují s kyslíkem. Energie se změní na teplo a jako oxidant působí okolní vzduch, který obsahuje 21 objemových procent kyslíku.

Teoretická potřeba kyslíku O_t

K dokonalému spálení 1 kg paliva je třeba určité množství vzduchu, které lze vypočítat z chemického složení paliva. Pro dokonalé spálení třech nejdůležitějších hořlavých prvků paliva, musí být splněny následující rovnice:



Pokud se v uvedených rovnicích vydělí hmotnost kyslíku, potřebná na dokonalé spálení, hmotností hořlavého prvku a výsledek se vynásobí hmotnostním podílem daného prvku v palivu, dostane se po sečtení množství kyslíku na dokonalé spálení 1 kg paliva následující rovnice.

$$O_t = \frac{8}{3} \mu C + 8 \mu H + \mu S - \mu O \quad (\text{kg kyslíku na 1 kg paliva} \rightarrow \text{kg/kg}) \quad (2.1.-5)$$

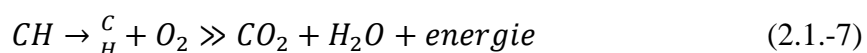
μC – hmotnostní obsah C v kg paliva, podobně μH , μS , μO

Teoretická potřeba vzduchu L_t

Na spalování se nepoužívá čistý kyslík, ale vzduch. Hmotnostní podíl kyslíku ve vzduchu je 0,23 kg/kg, a tedy teoretická potřeba vzduchu je:

$$L_t = \left(\frac{1}{0,23} \right) * \left(\frac{8}{3} \mu C + 8 \mu H + \mu S - \mu O \right) \quad (2.1.-6)$$

Palivo pro spalovací motory tvoří sloučeniny uhlovodíků s přísadami organických komponentů a aditiv, která zlepšují vlastnosti paliva. Při vlastním spalování dochází k rozdělení uhlovodíků na uhlík a vodík, následně k jejich sloučení s přiváděným kyslíkem nasávaného vzduchu.



Při ideálním spalování je nutné pro určité množství kyslíku přivést odpovídající množství paliva. K optimálnímu spalování paliva a vzduchu, tj. nevzniknou žádné škodlivé látky, dojde podle rovnice (2.1.-7). Tento ideální hmotnostní míšící poměr je označován jako stechiometrický směšovací poměr a činí 1:14,7, což odpovídá hmotnostnímu poměru 1 kg paliva na 14,7 kg vzduchu. V objemovém poměru to znamená, že na 1 litr benzínu je třeba přibližně 10 000 litrů vzduchu.

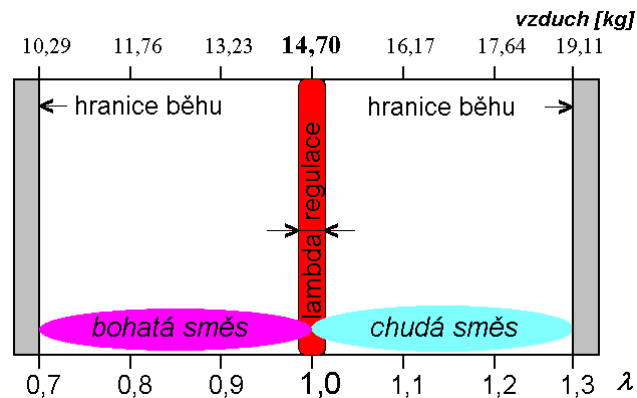
Součinitel přebytku vzduchu (vzdušný součinitel) λ

$$\lambda = \frac{m_{p\check{r}}}{m_{pO}} \quad (2.1.-8)$$

$m_{p\check{r}}$ – množství vzduchu skutečně přivedeného na 1 kg paliva

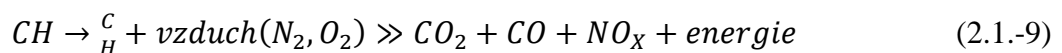
m_{pO} – množství vzduchu teoreticky potřebného ke spálení 1 kg paliva

Součinitel přebytku vzduchu λ udává kolikrát více vzduchu je ve směsi oproti ideálnímu stavu. Pro směsi chudé je $\lambda > 1$ a pro bohaté směsi je $\lambda < 1$ (obr. 2). Nejvyššího výkonu spalovacího motoru se dosahuje při mírném obohacení směsi a to přibližně při $\lambda = 0,85$. Motor má nejnižší spotřebu paliva při mírně chudé směsi a to při cca. $\lambda = 1,15$.

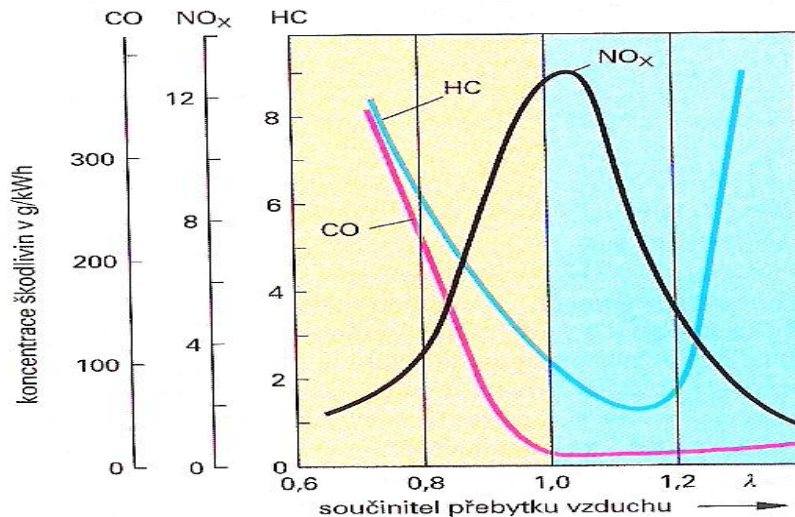


Obr. 2: Složení směsi v závislosti na λ [2]

Reálný spalovací proces se od ideálního odlišuje tím, že motor nasává vzduch, jehož hlavními složkami je dusík (N_2) a kyslík (O_2). Výsledné spalování je dáno rovnicí (2.1.-9).



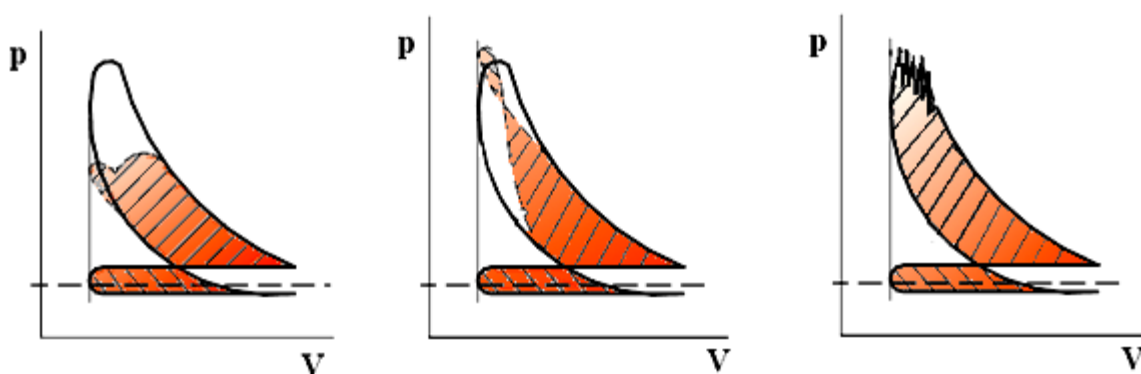
Vedle kyslíku, který je zde zastoupen 21%, nasává motor dusík (72,3%) a další plyny. Při vlastním spalovacím procesu se při jiné hodnotě λ než 1, část uhlovodíků CH nespálí, rovněž nedojde k úplné oxidaci na CO_2 a volný dusík se během procesu slučuje s kyslíkem a vytváří oxidy dusíku, které jsou jedovaté. Na vznik NO_x má vliv zejména vysoká teplota a tlak ve spalovacím prostoru, které zapříčiňují slučování dusíku s kyslíkem a vznikají sloučeniny dusíku (NO , NO_2 , N_2O). Tady je nutno ještě poukázat na závislost součinitele přebytku vzduchu, která je opačná než u CO a HC . Tedy při spalování chudých směsí stoupají s činitelem λ emisní složky NO_x (max. hodnoty NO_x leží mezi $\lambda = 1,05 - 1,1$). [2]



Obr. 3: Škodliviny ve výfukových plynech při různých směšovacích poměrech [2]

Detonační spalování

Směs se vznítí od elektrické jiskry a čelo plamene šířící se dále spalovacím prostorem zapaluje neprohořené části směsi. Plamen ohřívá nespálenou směs na teplotu vyšší než je zápalná teplota. Palivo se vznítí v i mimo čelo plamene a to nehoří v kulové ploše a rychlost šíření plamene je cca. 1000 m/s oproti standardní rychlosti šíření plamene 30 m/s. Detonační spalování se projevuje „klepavým“ chodem motoru (obr. 4) a sníženým výkonem motoru. Nebezpečí detonačního spalování se zmírní chlazením horkých míst spalovacího prostoru a co možná nejkratší dráhou čela plamene (tvarem spalovacího prostoru), intenzivním rozvířením směsi a vhodným umístěním svíčky.



Obr. 4: Vliv detonačního spalování na p-V diagram [3]

U zážehového motoru se určuje počátek hoření přeskokem jiskry mezi elektrodami zapalovací svíčky. Okamžik vytvoření jiskry a následného zapálení směsi je určující prvek pro funkci celého motoru. Jiskra musí vzniknout s ohledem na to, aby cca 10° za horní úvratí došlo ve válci k maximálnímu nárůstu tlaku vlivem hoření směsi. Okamžik zapálení před horní úvratí

je označována jako předstih zážehu. Předstih je možné regulovat v závislosti na otáčkách. Za předpokladu že směs má vždy stejnou rychlost hoření, je nutné mít v nízkých otáčkách malý předstih a se zvyšujícími se otáčkami předstih zvětšovat a to z důvodu rychlejšího pohybu pístu při vyšších otáčkách. Tato regulace se prováděla u mechanického zapalování pomocí odstředivých regulátorů nebo přímo řídicí jednotkou zapalování, případně řídicí jednotkou motoru. Regulace předstihu podle zatížení motoru je pro to, že se s odlišným složením dostává do válce různý objem směsi. [3]

2.3. Spalovací proces u čtyřdobého vznětového motoru

U vznětových motorů je na rozdíl od zážehových nasáván do pracovního válce pouze čistý vzduch, který je pístem stlačen na patnáctinu až dvacetinu původního objemu, což znamená, že kompresní poměr je 15:1 až 20:1. Tím dojde k jeho ohřátí na 550 až 800 °C. Do takto stlačeného a ohřátého vzduchu se před dosažením horní úvratě pístu vstříkne tryskou palivo. Z trysky uniká palivo velkou rychlostí do spalovacího prostoru a třením o stlačený a ohřátý vzduch se jemně rozprašuje.

První částice paliva vstříknuté do spalovacího prostoru se nevznítí ihned po opuštění vstříkovací trysky, ale až po jisté době, tzv. prodlevě neboli průtahu vznícení. Během této doby se kapičky paliva částečně odpaří a vlivem vysokého kompresního tlaku a teploty dochází k chemické změně paliva. Od začátku vstříku do okamžiku vznícení prvních částic paliva je do motoru vstříkováno další palivo, které po vznícení prvních částic velmi prudce shoří. To způsobí rychlý nárůst tlaku plynů ve válci a nastává tlakový ráz, který se projevuje akusticky tzv. klepáním motoru. Další vstříkované palivo již hoří průběžně. Příčinou hluku naftového motoru je detonační shoření první části paliva, které způsobuje tvrdý chod motoru a tím i zvýšené mechanické namáhání komponent motoru. Moderní vozidla s přímým vstříkem se snaží odstranit tuto nevýhodu předvstříkem menší dávky paliva pomocí dvoupružinového vstříkovače nebo elektronickým řízením vstříkávání.

Vznětový motor má konstantní hodnotu hmotnostního množství vzduchu přiváděného do spalovacího prostoru a změna výkonu motoru se řídí množstvím vstříkovaného paliva do spalovacího prostoru. Proto se mění hodnota součinitele přebytku vzduchu v širokém pásmu od $\lambda = 5$ a více při malých zatíženích až do $\lambda = 1,25$ při plném zatížení motoru.

U vznětových motorů se obdobně jako u zážehového motoru řídí počátek vstřiku. Časový rozdíl mezi vniknutím první kapičky paliva do spalovacího prostoru a polohou pístu v horní úvratí je nazýván předvstřík. Regulace předvstříku je realizována v závislosti na změně otáček motoru. Vznětové motory musí rovněž splňovat požadavky týkající se emisí plynných škodlivin a kouřivosti výfukových plynů. [12]

3. Emise spalovacích motorů

Emise v oblasti dopravy vznikají při chemických reakcích způsobených nedokonalým procesem spalování. Jejich složení závisí především na zdvihovém objemu, typu a stavu motoru, druhu paliva, dopravní intenzitě, režimu jízdy, popřípadě užití zařízení na snížení emisí (např. katalyzátoru). Podle odhadů je hmotnostní jednotka emisí z motorové dopravy ve městech 10 krát větší, než emise vznikající z jiných zdrojů (průmysl, topení) a 100 krát větší, než emise v oblastech mimo město. Tento fakt je i důvodem, proč se automobilky v posledních asi pěti letech tak významně zaměřili na tzv. „downsizing“ tedy snižování zdvihového objemu motoru, který pro dosažení maximálního výkonu doplňují moderními turbodmyčadly. Tento trend se velmi výrazně projevil zejména u zážehových motorů, u vznětových motorů je také markantní, zde se ovšem jedná o dlouhodobější uplatnění principu snižování zdvihového objemu a využití turbodmyčadel pro zvýšení výkonu. V praxi se uplatněním tohoto principu snižují emisní limity řádově o 25 - 30%.

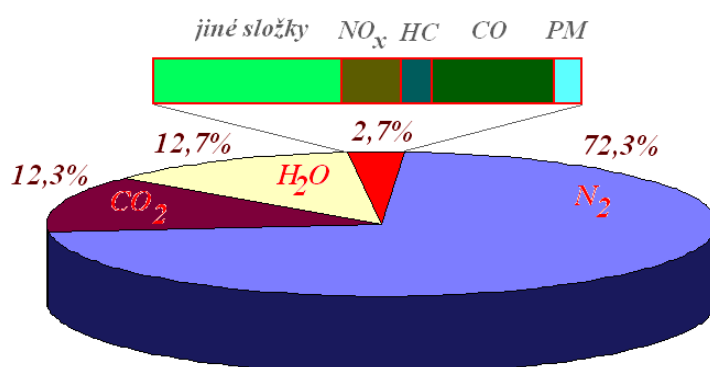
3.1 Složení výfukových plynů

Při reálném nedokonalém spalování vznikají různé látky, které se vyskytují ve výfukových plynech a souhrnně je tak vlastně i tvoří. Jedná se o neškodlivé látky jako je dusík N_2 , vodní páry H_2O a oxid uhličitý, ale bohužel také o látky škodlivé (ať již přímo zdraví člověka, či „jen“ životnímu prostředí jako celku), které reprezentují oxid uhelnatý CO , nespálené uhlovodíky HC , oxidy dusíku NO_x , oxid siřičitý SO_2 , sloučeniny olova a saze. Tyto škodlivé látky mají, jak již bylo uvedeno, neblahý vliv na životní prostředí. Každý dopravní prostředek (vybavený zážehovým či vznětovým motorem) tyto škodliviny emituje do ovzduší. Hlavně tedy v místech kumulace dopravy dochází k vysokým koncentracím těchto látek (emisí) v ovzduší.

Přibližné složení výfukových plynů zážehového motoru při $\lambda = 1$

Neškodlivé		Škodlivé	
dusík (N ₂)	72,3 %	oxid uhelnatý (CO)	0,850 %
vodní pára (H ₂ O)	12,7 %	oxidy dusíku (NO _x)	0,085 %
oxid uhličitý (CO ₂)	12,3 %	uhlovodíky (HC)	0,050 %
kyslík (O ₂)	0,7 %	pevné částice (PM)	0,005 %
jiné složky	1,0 %		

Tab. 1: Složení výfukových plynů zážehového motoru [4]



Obr. 5: Složení výfukových plynů zážehového motoru [4]

Škodlivé emise lze roztrždit do několika skupin:

- Přímo limitované složky (oxid uhelnatý, uhlovodíky a oxidy dusíku a částice).
- Nepřímo limitované složky (oxid uhličitý, oxid síry, olovo) – jsou limitovány spotřebou a složením paliva.

Nejpodstatnější složky výfukových plynů z dopravy, které mají negativní vliv na ovzduší, je možné rozdělit na látky limitované, na které se vztahují emisní limity a na látky, které limitované nejsou.

Mezi limitované látky patří oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku (NO_x), těkavé organické látky (VOC), a pevné částice (PM). I když díky přísnějším limitům daných normami EURO dochází s výjimkou PM u nových vozidel k poklesu škodlivin, v důsledku zvyšování objemu dopravy dochází k celkovému růstu emisí.

Mezi nelimitované látky patří oxid uhličitý (CO₂), metan (CH₄) a oxid dusný (N₂O), tyto látky nejvíce přispívají k dlouhodobému oteplování atmosféry. Dále sem můžeme zařadit škodliviny, které jsou nebezpečné pro zdraví a vznikají nedokonalým spalováním pohonných hmot, a to polyaromatické uhlovodíky (PAH), femoly, ketony, dehet, a benzen, toluen. Pokud je přítomnost chlóru ve spalovacím systému, mohou vznikat při spalování pohonných hmot ještě polychlorované dibenzodioxiny/furany (PCDD/F) a polychlorované difenyly (PBC). [2]

Škodlivé látky:

Oxid uhelnatý (CO)

Jedná se o bezbarvý plyn, který je zcela bez zápachu. Váže se na hemoglobin v krvi lépe než kyslík, čímž způsobuje otravu. Již relativně malé množství tohoto plynu může být pro člověka smrtelné. Tato látka je těžší než vzduch a proto se vyskytuje hlavně u podlahy. To může být za určitých okolností velice nebezpečné.

Oxid uhelnatý se nejvíce vyskytuje v oblasti bohaté směsi. V tomto případě je totiž při spalování paliva nedostatek kyslíku, který je nezbytný pro oxidaci uhlíku na oxid uhličitý.

Kolem hodnoty $\lambda = 1$ je obsah oxidu uhelnatého ve výfukových plynech cca 0,3 až 0,5 %. Právě kolem této hodnoty součinitele přebytku vzduchu je obsah vzduchu CO nejvíce ovlivněn zejména nestejným plněním všech válců. Respektive složení směsi v jednotlivých válcích je trochu rozdílné (např. lambda regulace mění složení směsi skokově), což má pochopitelně za následek i rozdílnost obsahu CO ve výfukových plynech. V některém válci je CO více, v jiném méně, a výsledný průměr je vyšší, než kdyby byla do jednotlivých válců dopravována směs s konstantním složením. Toto tedy platí v případě stechiometrického poměru směsi. Dále s rostoucí hodnotou $\lambda > 1$ je toto množství CO přibližně konstantní.

Oxidy dusíku (NO_x)

Nejprve zde vzniká oxid dusnatý NO, který na vzduchu oxiduje na oxid dusičitý NO₂ a oxid dusný N₂O. Zejména oxid dusičitý je velice nebezpečný. Tento hnědočervený zapáchající

plyn dráždí pokožku a plíce, leptá tkáň a je velice jedovatý. V neposlední řadě se také podílí na tvorbě smogu.

Průběh oxidů dusíku ve výfukových plynech je zcela opačný, než v předchozích dvou případech. Na vznik tohoto plynu mají vliv především vysoké látky ve spalovacím prostoru, společně s vysokými špičkovými teplotami. Tento plyn se vyskytuje nejvíce při složení směsi λ v rozmezí 1,05 až 1,1, tedy v chudé směsi. Na obě strany od této hodnoty poté jeho množství klesá.

Uhlovodíky (HC)

Výfukové plyny obsahují rozličné druhy uhlovodíků s různým působením na člověka. Jedná se hlavně o nasycené uhlovodíky, jež jsou zcela bez zápachu, dráždí pokožku a mají narkotický účinek. Dále o nenasycené uhlovodíky, které mají nasládlou chuť a také dráždí pokožku. Tyto se ještě navíc podílejí na tvorbě smogu a narušují ozónovou vrstvu. Posledními v řadě jsou aromatické uhlovodíky se svým charakteristickým zápachem. Tyto jsou asi nejnebezpečnější, neboť se jedná o rakovinotvorné nervové jedy.

Výskyt uhlovodíků HC ve výfukových plynech je do určité míry obdobný, jako u oxidu uhelnatého. Oba mají totiž podobný průběh v oblasti bohaté směsi. Zvýšený vznik HC je v tomto případě zřejmý. Směs palivo vzduch obsahuje větší množství paliva, než by bylo optimální, a to se poté bezzbytku nespálí. Uhlovodíky mají své minimum zhruba při $\lambda = 1,1$. Bohužel při rostoucím součiniteli přebytku vzduchu (chudá směs) jejich množství ve výfukových plynech neklesá (jako u CO), ale naopak stoupá.

Kouř, pevné částice, saze

Částice sazí, které se stávají převážně z atomů uhlíku, mají také negativní vliv na zdraví člověka. Pokusy na zvířatech se dospělo k závěru, že tyto látky způsobují rakovinu.

Je třeba poznamenat, že obsah těchto částic je ve výfukových plynech u zážehových motorů velice nízký. Tyto látky se vyskytují ve větší míře spíše ve výfukových plynech motorů vznětových. Z tohoto důvodu jsou moderní vznětové motory vybavovány tzv. filtry pevných částic (používaná zkratka DPF z německého Diesel Partikel Filter), o kterých se blíže zmiňují v kapitole 5.3.

Neškodlivé látky:

Oxid uhličitý (CO₂)

Jedná se o zdraví neškodný nejedovatý plyn obsažený ve výfukových plynech. Jeho hodnota je však přesto sledována, neboť CO₂ se podílí na narušování ozónové vrstvy.

Oxid uhličitý dosahuje maximálních hodnot (cca 14,7 obj. %) při hodnotě $\lambda = 1$. Na hodnotu emisí oxidu uhličitého má vliv zejména spotřeba paliva. Proto by měla být snaha nízkou spotřebou paliva tuto složku výfukových plynů také, s ohledem na budoucí generace eliminovat.

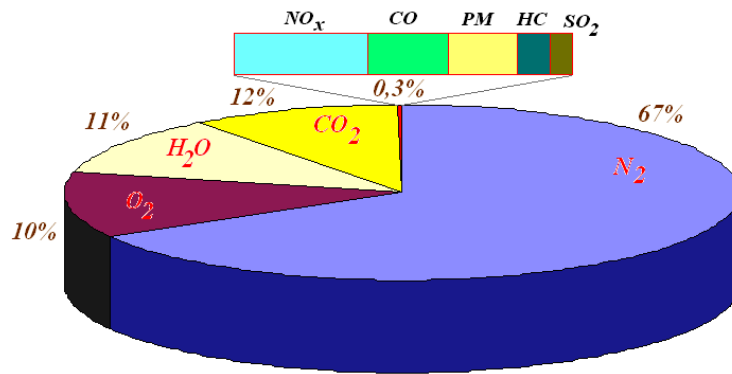
Kyslík (O₂)

Tento plyn se vyskytuje ve výfukových plynech, pokud je motor provozován v režimu s chudou směsí. Po překročení $\lambda = 1$ dochází k radikálnímu vzrůstu obsahu emisí kyslíku. [2]

Přibližné složení výfukových plynů vznětového motoru:

Složka výfukových plynů		volnoběh	nejvyšší výkon
Oxidy dusíku	[obj. %]	0,005 – 0,025	0,06 – 0,15
Uhlovodíky	[obj. %]	0,05 – 0,06	0,02 – 0,06
Oxid uhelnatý	[obj. %]	0,01 – 0,045	0,035 – 0,2
Oxid uhličitý	[obj. %]	až 3,5	až 12
Saze	[mg/m ³]	20	200
Teplota ve výfuku	[°C]	100 – 200	550 – 750

Tab. 2: Složení výfukových plynů vznětového motoru [4]



Obr. 6: Složení výfukových plynů vznětového motoru [4]

3.2. Evropské emisní normy

Jedním z prvních předpisů platný v Evropě byla směrnice Evropské hospodářské komise a to: EHK 15 uvedená v roce 1971. Předpisem EHK 15 určovaly emisní limity nejprve v g/test, později v g/km. Testování podle zmiňované směrnice se provádělo simulací jízdy v městském provozu čtyřmi opakovanými cykly v celkové délce ujeté vzdálenosti 4 052m. Podle zdvihového objemu nebo podle (hmotnosti vozidla) byly odstupňovány emisní limity týkající se EHK 15. Měřeno bylo především množství oxidu uhelnatého (CO) a nespálených uhlovodíků (HC). Později se rozšířilo měření o oxid dusíku (NO_x). Po několika přepracováních se vývoj EHK 15 chýlil ke konci a koncem osmdesátých let, bylo nahrazeno novou vyhláškou EHK 83. Vznikla jako základ pro dnes již platné předpisy. V původním znění tato vyhláška vstoupila v platnost roku 1989 (v ČR rokem 1991).

Předpis specifikuje tři typy hodnocení:

- Typ A je určen pro hodnocení vozidel se zážehovým motorem bez dodatečné úpravy spalin (dnes se již uplatňuje pouze na přezkušování emisních vlastností starších typů vozidel při jejich individuálním dovozu nebo při jejich přestavbě na použití alternativních paliv).
- Typ B se používá pro hodnocení vozidel se zážehovým motorem s katalyzátorem (používajících bezolovnatý benzín).
- Typ C je určen pro hodnocení vozidel se vznětovými motory (používajících motorovou naftu).

Od roku 1989 EHK 83 procházelo několika úpravami, týkající se především zpřísněním limitních hodnot. Počátkem devadesátých let v rámci jednotné legislativy ve státech Evropské unie, vznikají nové předpisy, jejichž základem je zmiňované EHK 83. Evropské emisní normy jsou souborem nařízení a požadavků, definující limity pro složení výfukových plynů všech automobilů prodávaných v členských zemích EU. Cílem je postupné snižování obsahu oxidů dusíku (NO_x), uhlovodíků (HC), oxidu uhelnatého (CO) a pevných částic (PM) v emisích. Oxid uhličitý (CO_2) jako takový není součástí tohoto balíčku směrnic, ale byl příslušný legislativní návrh na toto omezení před časem schválen. [14]

Emisní norma EURO

První směrnice s názvem EURO 1 (EM 1) vstoupila v platnost roku 1993 a v současné době je v platnosti směrnice EURO 5. Směrnice je vždy avizována 3 roky dopředu a vztahuje se pouze na nově vyrobená vozidla, registrovaná od data platnosti nařízení. V České republice se sledováním této legislativní problematiky pečlivě zabývá Sdružení automobilového průmyslu, které pravidelně informuje místní automobilky a jejich dodavatele o vývoji těchto limitů.

EURO 1

Tato směrnice byla poměrně mírná, benzínovým i naftovým typů motoru předepisovala limit na oxid uhelnatý okolo 3 g/km a emise NO_x a HC se sčítaly. Restrikce emisí pevných částic se týkaly jen dieselových motorů. Benzínové motory byly bez omezení, ovšem musely přejít k bezolovnatým palivům.

EURO 2

Euro 2 již oba typy motorů striktně oddělila: naftové motory mají větší benevolenci v emisích NO_x a HC (limit je stanoven pro jejich součet), benzín si naopak může dovolit více CO. Obsah pevných olovnatých částic, který škodí nejvíce lidskému zdraví, byl také snížen.

EURO 3

Euro 3 s platností od roku 2000 opět snižuje obsah PM o 50% u dieselových motorů a stanovuje pevný limit pro emise NO_x na 0,50 g/kg, CO snižuje o 36%. Benzínové motory musí nyní splňovat přísné podmínky pro emise NO_x a HC, což je před konkurencí mírně znevýhodňuje.

EURO 4

Norma Euro 4 emisní limity ještě zpřísnila. Oproti předchozí normě EURO 3, snížila obsah pevných částic a emisí oxidu dusíku ve výfukových plynech u automobilů na polovinu. V případě naftových motorů, pak donutila výrobce k výrazné redukci CO, NO₂, nespálených uhlovodíků a pevných částic. Euro 4 bylo zavedeno v roce 2005.

EURO 5

Emisní norma Euro 5 postihuje více dieselové motory. Největším úskalím je, že na naftu jezdí většina vozidel veřejné dopravy, nákladních automobilů nebo vozidel záchranné služby. Tato norma snižuje emisní limit pro PM na pětinu oproti současnému stavu, což se dá splnit jen při instalaci PM mikrofiltrů, které nejsou právě zrovna nejlevnější.

EURO 6

Ve srovnání s normou Euro 5 norma Euro 6 vyžaduje, aby obsah emisí oxidů dusíku (NO_x) ve výfukových plynech byl snížen o 77% a zároveň obsah emisí pevných částic byl snížen o 66%. Nejedná se však o jediné požadavky: motory Euro 6 musí tyto náročné limity splňovat po dobu sedmi let nebo do ujetí 700 000 km za všech provozních podmínek. V budoucnu budou úřady provádět náhodné kontroly, aby se přesvědčily, že vozidlo tyto normy plní, a nové systémy palubní diagnostiky řidiče upozorní, pokud by měly být překročeny. [14]

Tab. č. 3: Přehled emisních norem (g/km) pro vznětové a zážehové motory [5]

Název	Platnost	CO	HC	NOx	HC + NOx	PM
Diesel						
Euro 1	od 1993	3,16	-	-	1.13	0.18
Euro 2	1996	1.0	-	-	0.9	0.10
Euro 3	2000	0.64	-	0.50	0.56	0.05
Euro 4	2005	0.50	-	0.25	0.30	0.025
Euro 5	od září 2009	0.50	-	0.18	0.23	0.005
Euro 6	od září 2014	0.50	-	0.08	0.17	0.005
Benzín						
Euro 1	od 1993	3,16	-	-	1.13	-
Euro 2	1996	2,2	-	-	0.5	-
Euro 3	2000	1,3	0.20	0.15	-	-
Euro 4	2005	1.0	0.10	0.08	-	-
Euro 5	od září 2009	1.0	0.10	0.06	-	0.005
Euro 6	od září 2014	0.50	0,10	0.06	-	0.005

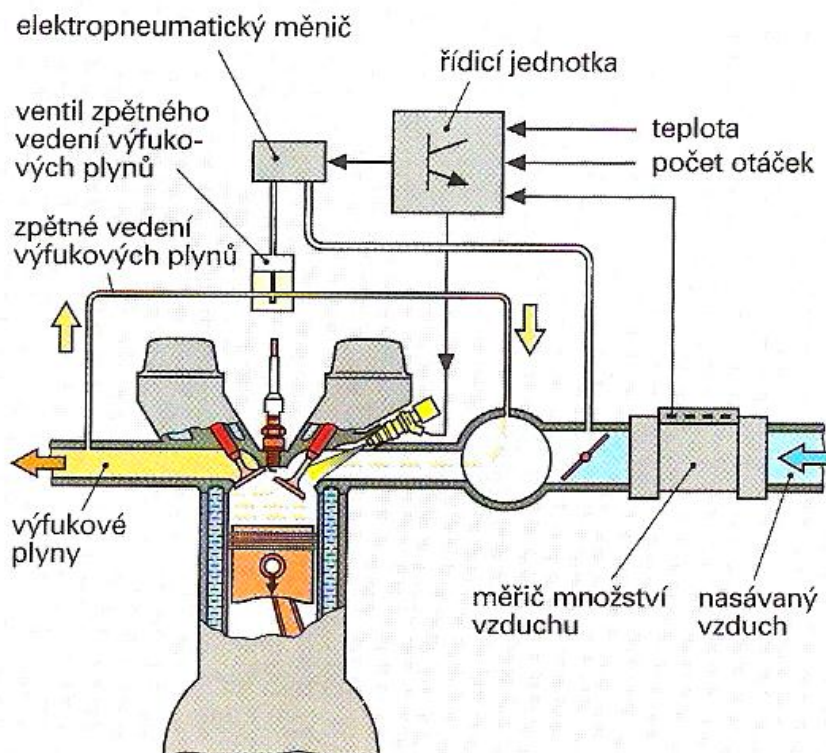
Z výše uvedených údajů je zřejmé, že automobilky musely na tyto zpřísnující se limity ve svém vývoji skutečně komplexně zareagovat. Primárně se vývoj samozřejmě zaměřil na optimalizaci pohonných jednotek, které škodliviny produkují, sekundárně se však tento legislativní tlak projevil na celém automobilu, zejména optimalizací konstrukce a nasazením nových moderních druhů materiálů s cílem snížit hmotnost při zachování požadované tuhosti karoserie. Snížení hmotnosti se pak stává klíčovým parametrem, který napomáhá snížení spotřeby paliva a tedy i snížení emisních limitů.

4. Snižování škodlivin u zážehových motorů

Mnoho konstrukčních detailů motorů ovlivňuje vznik škodlivých emisí. Proto lze množství škodlivin vznikajících u zážehových motorů snižovat různými technickými prostředky a opatřeními. Snížení procentního obsahu jedovatých složek výfukových plynů je dosahováno pomocí elektronického řízení motoru v kombinaci s tím, jaký prvek motoru ovlivňujeme. Ať už je to směšovací poměr a tvorba směsi, vnitřní opatření motoru k ovlivnění průběhu spalování nebo dodatečná redukce škodlivých emisí za motorem. Vývoj limitů emisí výfukových plynů pro zážehové motory bude čím dál přísnější. Opatření ke snížení emisí, učiněná uvnitř motorů, čím dál více dosahují svých limitů. Z toho vyplývá, že musí být podpořena především dalšími technologiemi mimo samotný motor a to následnou úpravou výfukových plynů.

4.1. Zpětné vedení výfukových plynů

Při zpětném vedení výfukových plynů se část spalin za výfukovým sběrným potrubím odebírá a znovu se mísí se směsí paliva a vzduchu v sacím potrubí motoru a dochází k opětovnému nasávání do motoru.



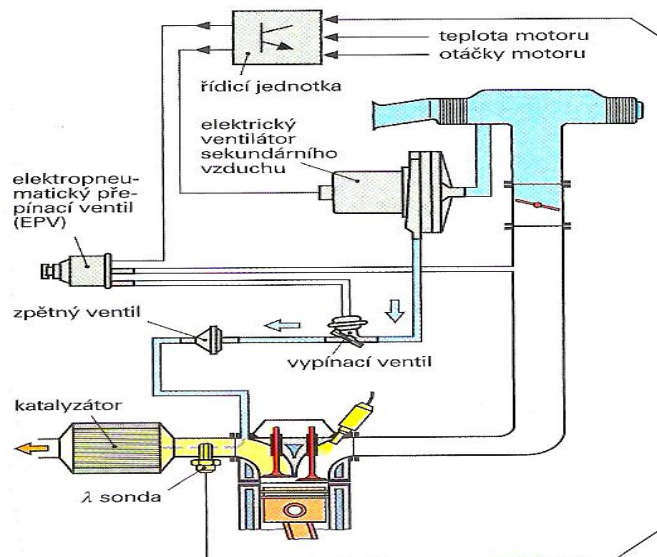
Obr. 7: Zpětné vedení výfukových spalin [2]

Zpětným vedením výfukových plynů se válce méně plní směsí paliva a vzduchu, protože se přivedené výfukové plyny již nemohou podílet na spalování, snižuje se teplota spalování. Při spalování vzniká výrazně méně oxidů dusíku (až o 60%). Se zvyšujícím se podílem necirkulujících výfukových plynů se zvyšuje jak obsah nespálených uhlovodíků HC, tak i spotřeba paliva. Oba tyto faktory určují hranici recirkulace, která je asi 15 až 20%.

Zpětné vedení výfukových plynů se používá při motoru zahřátém na provozní teplotu v oblasti částečného zatížení $\lambda = 1$. Vypíná se vždy, když se spaluje bohatá směs paliva a vzduchu, při které vzniká málo sloučenin NO_x , např. při spouštění studeného motoru, jeho ohřívání na provozní teplotu, akceleraci, plném zatížení. Při chodu naprázdno se zpětně vedení výfukových plynů kvůli klidnému chodu motoru vypíná. Při řízení zpětného vedení výfukových plynů je do zpětného potrubí a sacího potrubí umístěn ventil zpětného vedení výfukových plynů EGR (angl. Exhaust Gas Recirculation). Zpětné vedení má i své nevýhody a to: znečištění sacího potrubí, talířků a dříků sacích ventilů; nasávání teplého vzduchu prostřednictvím výfukových plynů, který způsobí zmenšení objemu nasátého vzduchu do válce; vyšší podíl recirkulovaných plynů snižující výkon motoru. [2]

4.2 Systém sekundárního vzduchu

Tato metoda se používá především k redukci hodnot emisí nespálených uhlovodíků HC a oxidu uhelnatého CO.



Obr. 8: Schéma sekundárního vzduchového systému [2]

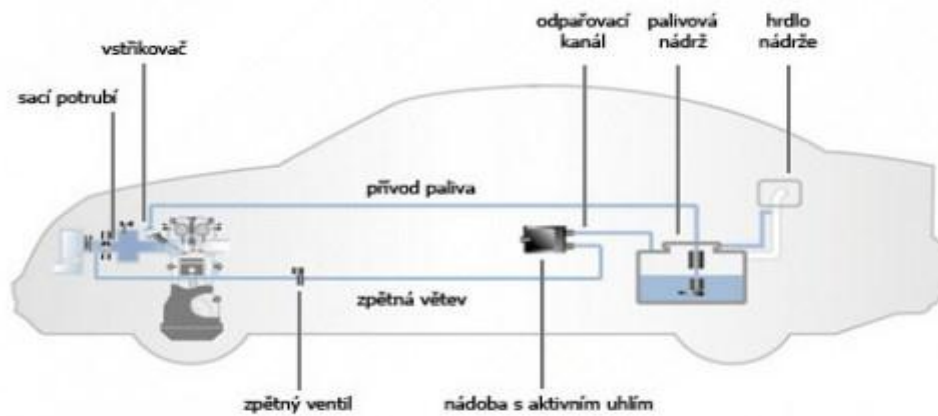
Přifukováním přidavného sekundárního vzduchu do výfukového potrubí přímo za válce, dochází totiž ke spálení horkých výfukových plynů. Tato exotermická reakce také ještě navíc rychleji zahřeje katalyzátor na provozní teplotu. To je důležité zejména po startu, kdy motor pracuje ve fázi zahřívání s bohatší směsí a v jeho výfukových plynech tak není pro tuto exotermickou reakci dostatek kyslíku. Proto se tam kyslík takto uměle dodá zvenčí. Schéma tohoto systému sekundárního vzduchu je na Obr. 8. [2]

4.2. Systém odpařování paliva

K unikání škodlivých látek (emisí HC) může docházet nejen z výfuku, kde jsou součástí výfukových plynů, ale i přímo z palivové nádrže odpařováním paliva. K odpařování paliva může odcházet jednak v případě, kdy se do nádrže vrací nevyužitě palivo (které se v motorovém prostoru zatím ohřálo), nebo i vlivem rozdílného tlaku v nádrži v kontrastu s podtlakem v okolí (například jízda do stoupání). Pokud by se ve všech těchto případech nebylo vozidlo vybaveno odvětrávací soustavou palivové nádrže, docházelo by k unikání emisí HC do okolí.

Princip systému odpařování paliva je následující. Z palivové nádrže vede trubička do nádoby s aktivním uhlím. Toto uhlí má schopnost na sebe vázat odpařené palivo z palivové nádrže. Z této nádoby s uhlím pak vede další trubička přímo do sacího potrubí. V sacím potrubí vzniká vlivem chodu motoru podtlak a tak nasává směs vzduchu (neboť nádoba

s aktivním uhlím má ještě jednu hadičku, kterou nasává čerstvý vzduch) a paliva z této nádoby. Množství této směsi dopravené do sacího potrubí je ještě regulováno regeneračním ventilem. Je třeba si totiž uvědomit, že takový přísun směsi paliva se vzduchem navíc, (kdy tedy používá regenerační ventil, který toto množství směsi nasáté navíc reguluje. Ventil je ovládán tak, aby nádoba s aktivním uhlím dostatečně promývána a odchylky hodnoty součinitele přebytku vzduchu λ byly minimální. [6]

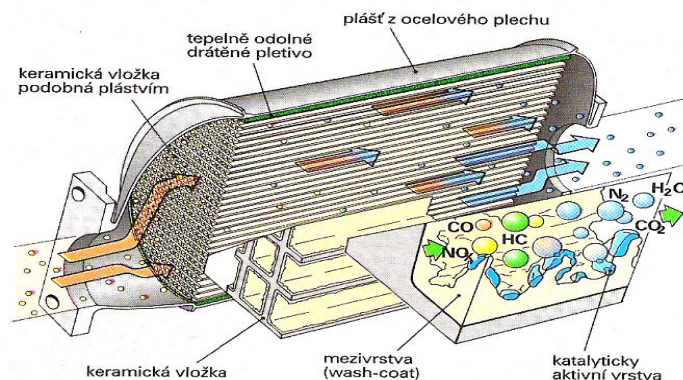


Obr. 9: Schéma způsobu odvětrávání palivové nádrže [6]

4.4 Katalyzátory

Katalyzátory – chemicky je katalyzátor látka, která ovlivňuje průběh reakce, aniž se jí sama zúčastňuje; správný název zařízení je katalytický konvertor. Katalyzátor není tedy filtr, který by zachycoval nečistoty. Katalyzátorem jsou vrstvy vzácných kovů (platina, rhodium), které vyvolávají reakci produktů nedokonalého hoření se zbytkovým kyslíkem a oxidy dusíku. Pro urychlení oxidačního procesu se nejčastěji používá platina, redukční proces urychluje rhodium.

První katalyzátory byly montovány do vozů Cadillac již od roku 1975. „První sériový vůz vybavený částečným katalyzátorem se stal Cadillac Seville. Tento katalyzátor do určité míry snižoval obsah škodlivin ve výfukových plynech, ale první skutečný katalyzátor byl vynalezen týmem engelhardských vědců pod vedením Johna J. Mooneye a Carla D. Keitha v roce 1979. O rok později byl vylepšen a vznikl tzv. třícestný katalyzátor.“ [16]



Obr. 10: Konstrukce a činnost katalyzátoru s keramickou vložkou [2]

a) Podle provedení rozlišujeme katalyzátory:

- oxidační (dvojecestné) – snižují CO a $C_m H_n$
- selektivní - snižují NO_x
- redukční (zásobník NO_x)
- kombinované (třícestné) – snižují všechny tři složky škodlivin

Oxidační katalyzátor

Oxidační katalyzátor pracuje s přebytkem vzduchu a přeměňuje pomocí oxidace (tj. spalování) CO a uhlovodíky na vodní páru CO_2 . Ke snižování oxidů dusíku oxidačními katalyzátory prakticky nedochází. U motorů se vstřikováním se získá kyslík potřebný k oxidaci většinou prostřednictvím chudé směsi s přebytkem vzduchu ($\lambda > 1$). Oxidační katalyzátory byly v důsledku zpřísnujících se limitů emisí škodlivých plynů poprvé použity v roce 1975 v USA. [2]



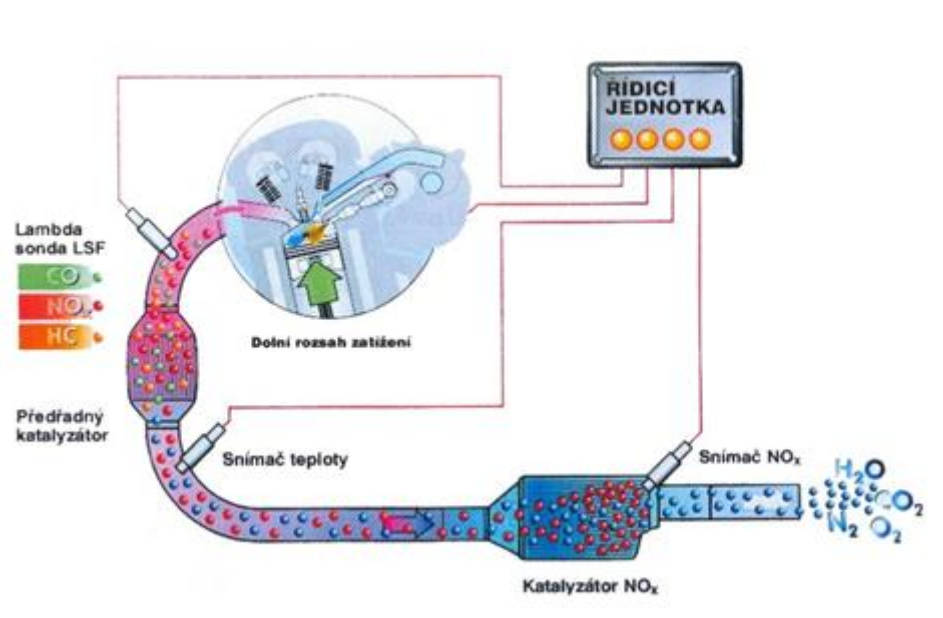
Selektivní katalyzátor

Selektivní katalyzátor pro benzínové motory patří do skupiny katalyzátorů typu SCR (= selektivní katalytická redukce). U klasického trojčinného katalyzátoru je do spalovacího prostoru nasávaná směs s hodnotou λ rovno jedné. Jelikož motory s přímým vstřikem paliva pracují s hodnotou $\lambda > 1$ (chudá směs), dochází při spalování ke zvýšení oxidu dusíku (NO_x) a aby došlo ke snížení škodlivých složek je zde kromě platiny také iridium. Vlastnost iridia je taková, že dokáže pracovat s vyšší účinností než předchozí rhodium.

Redukční reakce v katalyzátoru jsou podporovány i přítomností nespálených složek. Dostatek uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého (CO) je zajištěn např. obohacením směsi při akceleraci, uměle zhoršeným spalováním ve válcích (např. zmenšením úhlu předstihu), popř. dodatečným vstřikem paliva po jeho vyhoření. Jde jen o velmi malé množství paliva, aby nedocházelo ke zvyšování spotřeby a také teplota katalyzátoru zůstala ve vyhrazených mezích.

Redukční katalyzátor

Redukční katalyzátor patří do skupiny katalyzátorů používaných u zážehových motorů s přímým vstřikem benzínu (např. u motorů FSI). U těchto typů motorů s přímým vstřikem paliva pracují katalyzátory v určitých provozních oblastech s vrstveným plněním. Což znamená, že v daných oblastech pracují v režimu částečného zatížení, kdy motor pracuje s velkým přebytkem vzduchu ($\lambda > 1$) a proto není možná redukce oxidu dusíku třícestným katalyzátorem. Proto se za třícestný katalyzátor, který je umístěn v blízkosti motoru, začleňuje zásobník NO_x (obr. 11) pro dodatečné úpravy oxidů dusíku. Konstrukce redukčního katalyzátoru se skládá z keramického nosiče, na kterém je nanese vrstva ukládacího materiálu – oxid barnatý (BaO) nebo oxid draselný (KO).



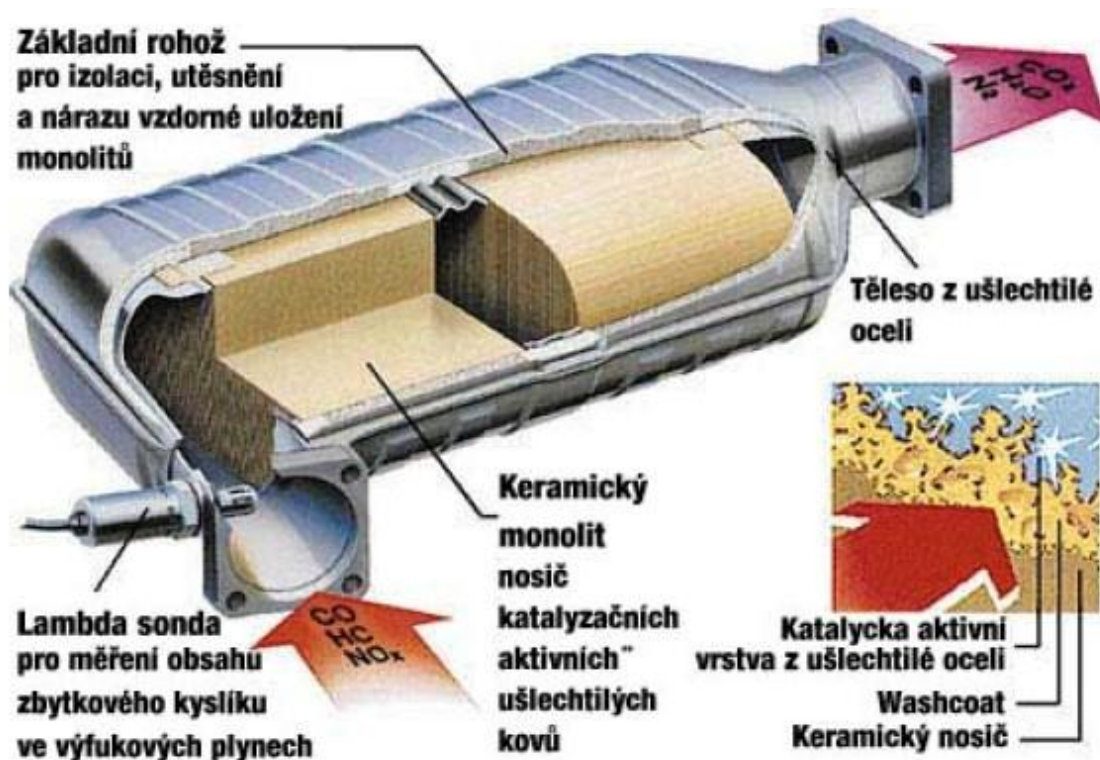
Obr. 11: Konstrukce a činnost redukčního katalyzátoru [7]

Za přítomnosti kyslíku, obsaženého ve spalinách po spálení chudých směsí, je zásobníkový katalyzátor schopen na svém povrchu nashromáždit oxidy dusíku ve formě dusičnanů. V momentě, kdy jsou jeho akumulární možnosti vyčerpány, musí být regenerován. Toto se provádí krátkodobým přepnutím na provoz s bohatou směsí, přičemž jsou dusičnany redukovány pomocí CO na dusík. [7]

Kombinovaný (třícestný) katalyzátor

Kombinovaný (třícestný) katalyzátor výrazně redukuje všechny tři škodlivé složky (CO , $\text{C}_m \text{H}_n$ a NO_x) zároveň. Předpokladem pro jeho činnost je, aby složení směsi přiváděné do válců odpovídalo poměru $\lambda = 1$. Dnes je třícestný katalyzátor ve spojení s regulací lambda neúčinnějším systémem redukce škodlivých emisí výfukových plynů. Většina dnes sériově vyráběných vozidel je vybavena tímto systémem. Maximální míra přeměny (účinnost) katalyzátoru je 94 až 98%, tzn., že 94 až 98% škodlivin se přemění na nejedovaté látky. Na rozdíl od katalyzátoru s neřízeným systémem přípravy směsi (neřízený katalyzátor), kde není použita sonda λ a jehož účinnost je přibližně 60%.

Třícestný katalyzátor se skládá z vlastních aktivních katalytických vrstev, z nosiče a plechového krytu vytvářejícího těleso. [8]



Obr. 12: Konstrukce a činnost třícestného katalyzátoru [8]

Nosiče se dělí na tři různé systémy:

- nosič sypaného materiálu – dnes se téměř nepoužívá
- keramické monolity – jsou to keramická (magnesium, hliník, silikát) tělesa s tisícem malých kanálků; tyto kanálky jsou pak opatřeny aktivními potahovými vrstvami
- kovové monolity – většinou se používají jako předřadné katalyzátory v blízkosti motoru; jsou sice kvalitnější než keramické monolity, nicméně v masivnějším používání jim zatím brání nepoměrně vyšší pořizovací cena

Potahové vrstvy

Keramický (či kovový) monolit je potažen ještě vrstvou z oxidu hliníku Al_2O_3 , která zvyšuje účinný povrch katalyzátoru o faktor 7000. Na tuto vrstvu je pak následně nanášena další účinná vrstva ze vzácných kovů platiny, paladia a rhodia. Těchto vzácných kovů obsahuje katalyzátor dle velikosti cca 1 až 3 gramy a právě reakcí výfukových plynů s touto vrstvou drahých kovů dochází k chemickým reakcím a požadovanému snížení emisí škodlivých látek.

Plechový kryt

Celý katalyzátor (nosič + katalytické vrstvy) je ukryt v plechovém tělese. To má za úkol ochránit katalyzátor před mechanickým poškozením, které by mohlo nastat působením jízdního provozu a plynů.

Z konstrukčního hlediska se nejvíce používá keramický monolitický katalyzátor. V současné době mají tyto katalyzátory 62 až 65 kanálků na 1 cm^2 . To představuje podle velikosti katalyzátoru okolo 5 000 kanálků v celém příčném průřezu. [7]

b) Druhy katalyzátorů podle řízení:

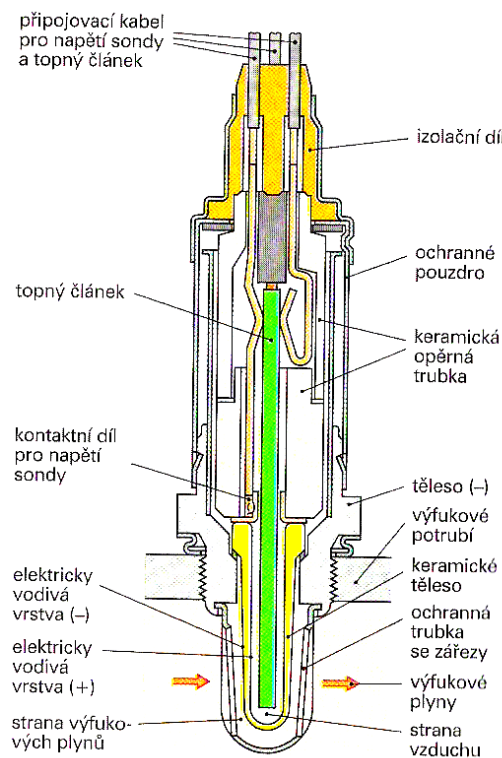
- řízený s kyslíkovou lambda sondou (zážehové motory s elektronicky řízeným karburátorem nebo elektronicky řízeným vstřikováním paliva).
- neřízený bez kyslíkové lambda sondy (zážehové motory s klasickým karburátorem),

Nejlépe redukuje škodlivé látky ve výfukových plynech řízený katalyzátor. Před vstupem výfukových plynů do katalyzátoru je umístěna kyslíková lambda sonda.

Lambda regulace

Lambda regulace ve spojení s třícestným katalyzátorem je dnes asi nejvíce používané řešení systému snižování emisí. Aby byl katalyzátor ve své přeměně škodlivých jedovatých látek na neškodlivé co nejúčinnější, musí být složení směsi co nejblíže stechiometrickému poměru

($\lambda = 1$). Požadované pásmo lambdy regulace, ve kterém musí poměr vzduch-palivo ležet, je proto velmi úzké a pohybuje se nejčastěji v rozsahu $\lambda = 0,98$ až $1,02$. Pro dosažení tohoto poměru se využívá uzavřený regulační okruh s lambda sondou. Lambda sonda je umístěn před katalyzátorem v proudu výfukových plynů a ze zbytkového obsahu kyslíku měří hodnotu lambda. Výsledek předává řídicí jednotce motoru, která dané hodnoty vyhodnotí a upraví přes jednotku přípravy směsi množství vstřikovaného paliva. Tak je neustále dosaženo složení vzduch-palivo kolem hodnoty $\lambda = 1$.



Obr. 13: Konstrukce λ sondy [2]

V praxi se používá několik typů lambda sond:

Napěťová lambda sonda

Vnitřní strana elektrody lambda sondy je v kontaktu s venkovním vzduchem, zatímco vnější strana s výfukovými plyny. Sonda sestává ze speciální keramiky, která se za vyšších teplot (od 300 °C) stává vodivou. Pokud se obsah kyslíku na obou stranách elektrody rozdílný, vznikne na elektrodách elektrické napětí. Velikost tohoto napětí je pak graficky závislé na hodnotě λ . Napěťová lambda sonda pak může být ještě dvojího typu podle možností regulace:

Dvoubodová regulace – tato lambda sonda rozeznává hodnotu lambda pouze mezi dvěma stavy. V oblasti bohaté směsi totiž je napětí na lambda sondě vysoké a při chudé směsi se skokově změní na nízké. Nelze však určit přesnou odchylku od λ . Lambda sonda tedy předává řídicí jednotce v podstatě pouze informaci, zda motor pracuje v režimu bohaté či chudé směsi. Řídicí jednotka dá pak následně povel jednotce přípravy směsi, aby buďto nepatrně zvýšila či snížila množství paliva

Spojité regulace – je možná pomocí širokopásmové lambda sondy. Jedná se v podstatě o kombinaci lambda sondy s omezením proudu pro chudou směs a zirkoniové sondy. Tento dvoučlankový snímač pak vysílá přesnou hodnotu výchylky od hodnoty lambda a to v rozsahu od 0,7 až do 4.

Vyhřívaná lambda sonda

Vyhřívaná lambda sonda s keramikou z dioxidu zirkonia je založena principu galvanického kyslíkového článku s elektrolytem jako pevnou látkou. Pevný elektrolyt se skládá z jednostranně uzavřeného, pro plyn neprůchodného, keramického tělíska z dioxidu zirkonia (ZrO_2 – oxid zirkoničitý), který je stabilizován oxidem yttria. Tato sloučenina oxidů, s funkcí vodiče kyslíkových iontů, odděluje prostor spalin ve výfuku od čistého okolního vzduchu. Povrchové plochy jsou oboustranně opatřeny elektrodami z tenké, vzduch propouštějící platinové vrstvy. Přídavně je na straně výfukových plynů porézní keramická vrstva, jako ochrana proti nečistotě. Kovová trubička s více otvory chrání keramické tělísko proti mechanickému poškození a teplotním šokům. Vnitřní otevřený prostor je ve spojení s okolním vzduchem, který slouží jako referenční plyn.

Použitý keramický materiál se stává od 350 °C vodivým pro ionty kyslíku. Je-li na opačných stranách sondy různý podíl kyslíku, vzniká mezi oběma hraničními plochami (platinovými elektrodami) elektrické napětí. To je měřítkem pro rozdíl podílu kyslíku na obou stranách sondy.

Zbytkový obsah kyslíku ve výfukových plynech zážehového motoru je ve velké míře závislý na poměru směsi paliva a vzduchu přivedené do motoru. Také při provozu s přebytkem paliva je ve výfukových plynech obsažen zbytkový kyslík; hodnota obsahu kyslíku při $\lambda = 1$ je asi 0,2 až 0,3 objemového procenta. Díky této závislosti je možné obsah kyslíku ve výfukových plynech jako měřítko pro vyhodnocení hodnoty součinitele přebytku vzduchu λ spálené směsi paliva a vzduchu.

Dnes jsou prakticky všechny lambda sondy opatřeny vyhříváním. U těchto sond zvyšuje elektrické topení při nízkém zatížení motoru (tzn. nízké teplotě výfukových plynů) teplotu keramiky. Vyhřívání lambda sonda umožňuje umístění dále od motoru a tím pádem je méně zatížená při plném výkonu motoru. Externí topení přispívá k rychlému zahřátí, takže zhruba 20 až 30 sekund po startu motoru se zahřeje sonda na provozní teplotu a může být zahájena regulace. Jelikož má vyhřívání sonda stále optimální provozní teplotu, je díky ní dosaženo nízkých a stabilních hodnot emisí výfukových plynů. Dnes používané vyhřívání lambda sondy vydrží za předpokladu dodržení provozních podmínek bez problému 150 000 km. Aby nedošlo k poškození katalyticky aktivní vnější platinové elektrody, musí být motor poháněn bezolovnatým palivem.

Planární lambda sonda

Rozdíl této lambda sondy od předchozích spočívá v konstrukci její elektrody. Ta je tvořena rovinnými fóliemi v pevné fázi. Planární element sondy má tvar dlouhé destičky s obdélníkovým průřezem. Jednotlivě funkční vrstvy se zhotovují sítotiskovou technologií. Laminování (překrytí) různých potištěných folií umožňuje integrovat také vyhřívání element do elementu snímače. Keramický těsnicí svazek drží planární element snímače v tělese sondy.

U katalyzátorů s neřízeným systémem přípravy směsi není použita sonda lambda. Tvorba směsi je podle systému řízena jen v závislosti na provozních stavech motoru a složení výfukových plynů se nekontroluje. Katalyzátory s neřízeným systémem tvorby směsi dosahují účinnosti přibližně 60% a používali se u motorů s karburátorem. [2]

5. Snižování škodlivin u vznětových motorů

Podíl škodlivin ve výfukových plynech je u vznětových motorů nižší než u benzinových. Pouze podíl NO_x , které vznikají především při vysokých spalovacích teplotách, je u tradičních dieselových motorů o něco vyšší než u motorů benzinových s třícestným řízeným katalyzátorem. U vznětových motorů nelze využít funkci třícestného katalyzátoru kvůli kolísajícím hodnotám směšovacího poměru a vysokého obsahu kyslíku ve výfukových plynech.

Nově vyvíjené spalovací motory musí odpovídat zvyšujícím se ekologickým požadavkům, a proto musí splňovat i přísnější emisní normy. U silničních vozidel jde o normy označované jako Euro 1-6 (u vozidel kategorie M1, N1), Euro I-V (u vozidel těžších než 3,5 tuny), viz. kapitola 3.2.

5.1. Principy ke snížení emisí u vznětových motorů:

- a) úprava kvality spalovacího procesu (uvnitř válců)
- b) úprava výfukových plynů

5.2. Kvalita spalování

Je závislá na mnoha parametrech motoru:

- optimalizace přívodu nasávaného vzduchu (turbodmychadla, chladič atd.)
- způsob vstřikování (vstřikovací zařízení s rychlými řídicími jednotkami schopnými v reálném čase sledovat podmínky v jednotlivých válcích, zvyšování vstřikovacích tlaků, elektronické řízení)
- konstrukční řešení spalovací komory (u vstřikovacích trysek se zvětšuje počet výstřikových otvorů)

5.3. Úprava výfukových plynů

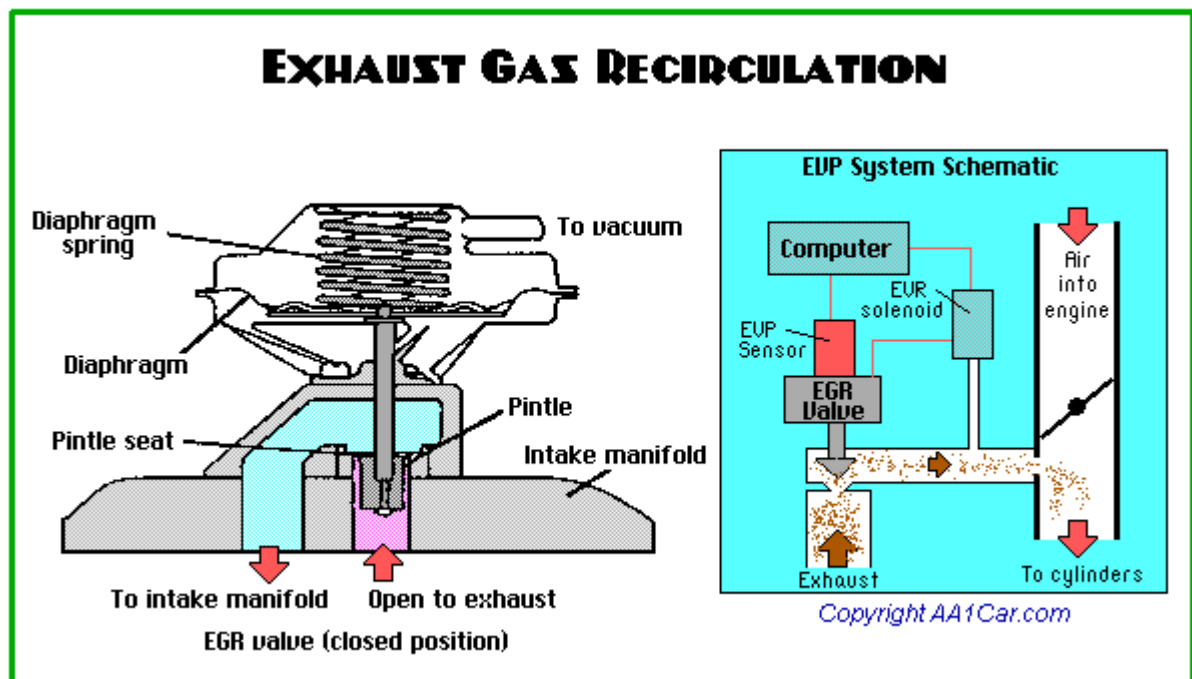
- Recirkulace výfukových plynů EGR (Exhaust gas recirculation)
- Technologie SCR (Selective Catalytic Reduction)
- Katalyzátor výfukových plynů
- Filtr pevných částic DPF (Diesel Particulate Filter)

Recirkulace výfukových plynů EGR (Exhaust gas recirculation)

Je způsob, jak snížit emise výfukových plynů vznětových motorů. Principem je, že část výfukových plynů se odvádí ventilem EGR většinou přes výměník tepla (chladič) zpět od sání motoru a dále do spalovacího prostoru, čímž se omezuje vznik dalšího NO_x (ve vzduchu je menší podíl kyslíku, výsledkem jsou nižší teploty v průběhu spalování a tím i nižší produkce oxidů dusíku).

Výhodou EGR je, že se snižuje emise přímo v místě jejich vzniku – ve spalovacím prostoru. Z tohoto důvodu není třeba přidávat žádná aditiva. Vozidla vybavená touto technologií je možné provozovat na běžnou motorovou naftu, která je dispozici na každé čerpací stanici.

Nevýhodou je jisté zvýšení měrné spotřeby paliva, ve srovnání se stejným motorem bez recirkulace výfukových plynů (s EGR díky nižšímu množství kyslíku je k dispozici menší hmotnostní množství paliva, tím méně tepla – tedy méně energie, kterou motor mění v mechanickou práci). Na Obr. 14 je schéma recirkulace spalin.



Obr. 14: Recirkulace spalin [9]

Technologii EGR používá většina vznětových motorů osobních a dodávkových vozů, které splňují předpis alespoň Euro 4. Z výrobců užitkových vozů pan zejména Scania (u řadových šestiválců splňujících emisní normy Euro 4.) a MAN (jen u některých motorů). [15]

Technologie SCR (Selective Catalytic Reduction)

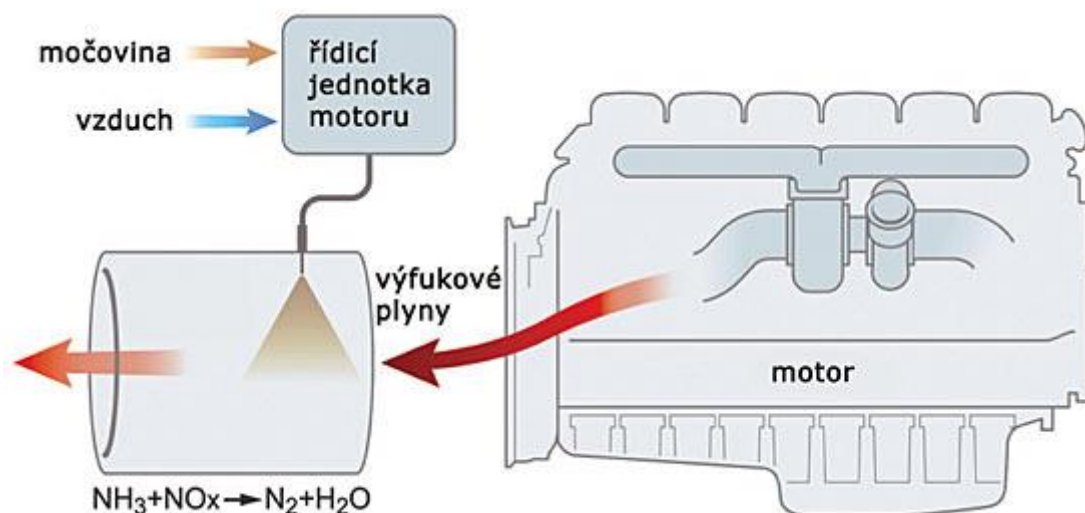
Selektivní katalytická redukce využívá reakci, při níž oxidy dusíku reagují v přítomnosti katalyzátoru s amoniakem NH_3 za vzniku palného dusíku a vody. Obě tyto látky jsou pak pro ovzduší a životní prostředí neškodné. Z principu je využití samotného čistého amoniaku nemožné, je totiž velmi jedovatý a navíc vysoce korozivní.

Z bezpečnostního hlediska se tedy jako zdroj amoniaku pro tyto účely používá močovina známá pod nejčastěji komerčně využívaným názvem AdBlue, umístěná v samostatné nádrži ve vozidle. Odstraňování oxidů dusíku metodou SCR probíhá v čistící jednotce, která je zařazena na samotný konec systému pro čištění výfukových plynů. Důmyslný dávkovací systém v kombinaci se SCR – katalyzátorem dokáže snížit emise oxidu dusíku o zhruba 85 % a částic sazí o 40 %.

Tato na první pohled jednoduchá a elegantní metoda má však svoje nevýhody. Především systém vyžaduje neustálé doplňování močoviny. Ta musí být velmi čistá; hlavně nesmí obsahovat ani stopa látek, které by zničily katalyzátor. Provoz SCR jednotky musí být navíc přesně řízen. Proces odstraňování oxidů dusíku je citlivý na teplotu, a ta musí být udržována ve velmi úzkém rozmezí. Dávkování močoviny také musí být velmi přesné: její nedostatek by omezil účinnost odstraňování NO_x a naopak přebytek by vedl k úniku jedovatého amoniaku. Velkým problémem je také skutečnost, že roztok AdBlue při nižších teplotách (od -10°C) tuhne a systém musí mít vyhřívání, což, zvětšuje technologickou a energetickou náročnost a dále pak prodražuje provoz.

Celý systém je však relativně složitý a prostorově náročný, proto se prosadil především u velkých motorů pro nákladní vozy autobusy, kde se cena za instalaci a provoz této technologie v celkových nákladech na pořízení a provoz vozidla projeví jen málo. I když rozšíření této technologie brzdí i nároky na infrastrukturu a logistiku dodávek AdBlue k běžným čerpacím stanicím, má tato metoda potenciál snížit obsahy dusíku ve výfukových plynech až někde k jedné desetině g/kWh.

Při poruše systému (nebo při nedostatku AdBlue) motor sice funguje dál, ale s vyššími emisemi proto u některých motorů zasáhne v tomto okamžiku řídicí jednotka a omezí výkon či rychlost na polovinu, aby donutila řidiče natankovat AdBlue, popřípadě nechat systém opravit. Na Obr. 15 je schéma technologie SCR.



Obr. 15: Technologie SCR [10]

U osobních vozů se s tímto systémem poprvé představila v roce 2007 automobilka Mazda na Frankfurtském autosalonu se svým modelem CX-7 s motorem 2.2 MZR-CD. [17]

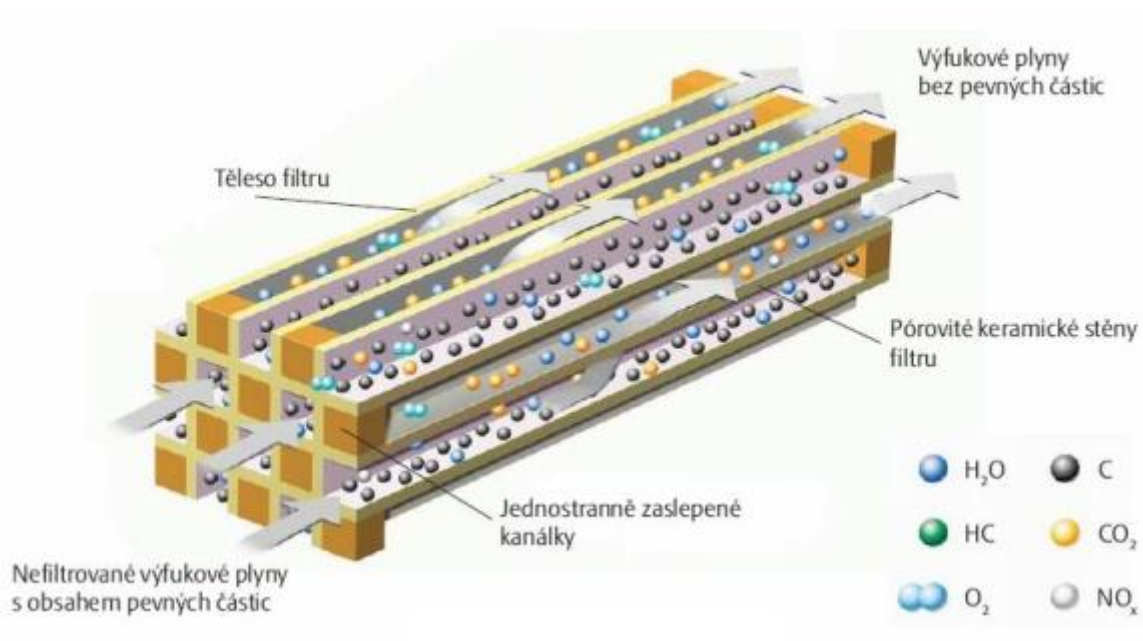
Katalyzátor výfukových plynů

Snižuje množství škodlivin ve výfukových plynech tím, že usnadňuje chemické reakce látek v nich obsažených. Dovedávna katalyzátor pouze u zážehových motorů, ovšem s nástupcem platnosti přísnějších emisních norem Euro 4 nachází uplatnění i u vznětových motorů jako součást systému SCR nebo DPF.

Filtr pevných (hmotných) částic DPF (Diesel Particulate Filter)

Zařízení určené k odstranění pevných částic (sazí) z výfukových plynů, které vznikají v každém vznětovém motoru, čemuž nelze úplně zabránit.

Princip filtru pevných částic: filtr pevných částic tvoří keramické těleso z karbidu křemíku uložené v kovovém plášti. Výfukové plyny procházejí tělesem filtru jednostranně zaslepenými kanálky s pórovitou keramickou stěnou, ve které jsou zachycovány částice. Aby nedocházelo k zanesení filtru a tím k omezení jeho funkčnosti, jsou zachycené částice spalovány a přeměňovány na oxid uhličitý – regenerace filtru. Filtr částic je součástí výfukového systému motoru. [5]



Obr. 16: Filtr pevných částic [5]

Filtrační materiály:

- Keramické: cordierit (nízká tepelná odolnost), karbid křemíku (vysoká tepelná odolnost, bod tání 2700 °C, vyšší cena).
- Kovové: kovová vlákna tkaná do monolitu (dražší než keramické materiály), sintrované kovy.

6. Závěr

Vývoj trendů v automobilovém průmyslu je rok od roku dynamičtější. Jedním z hlavních témat za posledních pět let je pro každou automobilku právě splnění emisních limitů při neustále se zpřísnující evropské legislativě. Právě tento legislativní tlak spustil vlnu masivních investic automobilek do vývoje stále dokonalejších systémů zabraňujícím pronikání škodlivých látek z výfukových plynů do ovzduší. Tyto systémy jsem podrobně pojednal v předchozích kapitolách. Podívejme se nyní, jakého efektu bylo s nasazením těchto nových systémů dosaženo. Velmi zajímavě vychází např. porovnání českých vozů se zážehovými motory. Škoda Favorit 1.3 LXi vyrobený před 20 lety a vybavený třicestným katalyzátorem první generace produkoval asi 3,16 g/km CO, což je více než trojnásobek oproti současné Škodě Fabia s motorem 1.2 TSi.

Podívejme se pro srovnání i na vznětové motory. První generace Škody Octavia 1.9 TDi vyráběné v letech 1996-2000 plnila normu Euro 3 s produkcí emisí CO cca 135 g/km ve srovnání s ní vychází emise současné Octavie s motorem 1.6 TDI a technologií common rail na 119 g/km, což je o 12% méně. V tomto případě ovšem posuzujeme vozy s časovým odstupem výroby pouze asi 12 let.

Nejlépe si z hlediska plnění emisních limitů stojí automobilky Fiat, Seat a Toyota. Tato jednoduchá srovnání nám ukazují, jaký přínos pro ekologický provoz mají technologické novinky popsané v této práci. Je zřejmé, že investice do těchto inovací automobilky promítají do prodejní ceny automobilů. Považuji však za pozoruhodné, jakým způsobem pronikly mnohé z těchto nových složitých systémů prostřednictvím marketingových kampaní do povědomí široké veřejnosti. Před deseti nebo patnácti lety byl marketing automobilek jednoznačně zaměřen čistě na emocionální stránku kupujících. Světoví hráči se předháněli u svých vozů v kvalitě zpracování, v atraktivitě designu či nabídce nových prvků luxusu. Dnešní kritéria posuzování vozu jsou významně odlišná, roste důraz na bezpečnost, ekonomiku a ekologičnost provozu, kvalita a vysoký stupeň komfortu se staly samozřejmostí.

Právě ekologičnost provozu je parametrem, který přináší ve vývoji vozů a jejich pohonných jednotek mnoho zajímavých souvislostí. Považuji za nesmírně zajímavou skutečnost vzájemného ovlivňování jednotlivých trendů. Honba za snižováním emisí iniciuje nejen neustálou optimalizaci pohonných jednotek. Cesta vede i přes snižování hmotnosti automobilů a to jak optimalizací konstrukce, tak i použitím nových druhů materiálů s vysokou

tuhostí a velmi nízkou hmotností. V oblasti ocelových materiálů hovoříme o tzv. Tailored blanks, což jsou ocele s proměnlivou tloušťkou v závislosti na tuhosti, ještě dynamičtější rozvoj pak zažívá oblast plastových materiálů, kde se ke slovu dostávají různé druhy sendvičových a kompozitních materiálů. Neustále se přitom jedná o optimální vybalancování parametrů hmotnosti a tuhosti konstrukce. Tyto zajímavé trendy jsou i důvodem, proč jsem se rozhodl věnovat se ve své bakalářské práci právě tomuto tématu. Vedle objasnění technických souvislostí a jejich srozumitelném pojednání považuji za přidanou hodnotu své práce zejména propojení technické stránky věci se strategickým marketingem automobilek a sekundárně se tvořícím náhledu a rozhodovacích kritérií budoucích kupujících a uživatelů vozů. Uvážíme-li, že do některých západoevropských velkoměst mají starší vozidla, nesplňující současné emisní limity, zakázaný vjezd, nebo že cena pohonných hmot měsíc od měsíce stoupá, je zcela zřejmé, že se otázka ekonomičnosti a ekologičnosti provozu nových vozů dostává do popředí zájmu jejich budoucích uživatelů.

Odhadovat další trendy ve vývoji pohonných jednotek v závislosti na snižování emisních limitů není snadné. U vznětových motorů se vývojáři zabývají zejména dalším zvýšením účinnosti turbodmychadel a to jak při vysokém, tak i při nízkém zatížení. Ústředním tématem je rovněž otázka optimálního nastavení kompresního poměru. Zdá se, že lze hledat prostor i v dalším zvyšování tlaků, a to až k hranici 3000 barů, tento trend ovšem klade extrémní nároky na kvalitu použitých ocelí.

U zážehových motorů se rovněž hovoří o nasazení filtru pevných částic, jako tomu je u dieselů. Zážehové motory sice netvoří viditelný kouř, to však neznamená, že neprodukují saze. Samozřejmě se setkáváme i s novými úvahami o alternativních palivech. Zdá se, že odborníci vidí budoucnost v plynových motorech, do popředí se dostává vodík a technologie palivových článků, která však naráží na prozatím řídkou síť plnicích stanic.

Některé automobilky pokračují v downsizingu, např. Fiat se vydal cestou přeplňovaného dvouválce TwinAir, který dokonce vyhrál anketu Motor roku 2011. I u dalších automobilek zůstává snižování objemu nadále trendem, tím spíše, když se některé automobilky jako Peugeot nebo Ford již vypořádaly s nectnostmi, jako je nepravidelný chod nebo slušný výkon pouze ve vyšších otáčkách.

Hybridní technologie budou dle mého soudu z důvodu vysoké finanční náročnosti spíše ustupovat, ačkoli např. Toyota už představila hybridní technologii v malém Yarisu, nepředpokládám její masové prosazení v tomto segmentu vozů právě v důsledku ceny.

Se zajímavým konceptem Skyactiv přišla Mazda na loňském autosalonu ve Frankfurtu. Jejich vývojáři vsázejí spíše než na downsizing na snižování kompresního poměru, a to až na hranici 14:1.

Domnívám se, že další zlepšování emisních limitů vycházející ze zpřísnování euro norem brzy narazí na neúměrnou investiční náročnost do vývoje a optimalizace pohonných jednotek. Pokud se tak stane, možná to bude impulzem k hledání dalších, dnes možná ještě netušených zdrojů energie pro pohonné jednotky vozidel budoucnosti.

7. Seznam použité literatury

- [1] *Petroleum* [online]. 2010 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z WWW: <http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-05.aspx>.
- [2] GSCHEIDLE, Rolf. a kol.: *Příručka pro automechanika*. Praha : Sobotáles, 2002. ISBN 80-85920-83-2.
- [3] *Systémy řízení motoru Motronic*. Praha 4 : Robert Bosch odbytová s.r.o., 1998. 65 s. ISBN 80-902585-3-0.
- [4] *Kraftfahrtechnisches Taschenbuch*. Plochingen : Robert Bosch GmbH, 2007. s. ISBN 978-3-8348-0138-8.
- [5] *Emisní norma Euro 5* [online]. 2010 [cit. 2012-05-04]. Dostupné z WWW: <http://kamionaci.cz/legislativa-v-doprave/emisni-norma-euro-5>.
- [6] *Evaporative Emission Control System* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z WWW: <http://cs.autolexicon.net/articles/eec-evaporative-emission-control-system/>
- [7] *Vstřikování paliva u zážehového motoru* [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z WWW: <http://sossoukyjov.cz/studovna/>
- [8] *Znečištění ovzduší z dopravy* [online]. [cit. 2012-05-11]. Dostupné z WWW: <http://www.vscht.cz/uchop/velebudice/ovzdusi/doprava.htm>
- [9] *Exhaust Gas Recirculation* [online]. [cit. 2012-05-13]. Dostupné z WWW: <http://www.aalcar.com/library/egr.htm>
- [10] *Motory Euro 4* [online]. 2010 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z WWW: <http://stavebni-technika.cz/clanky/motory-euro-4-egr-nebo-scr/>
- [11] *Diesel Particulate Filter* [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné z WWW: <http://cs.autolexicon.net/articles/dpf-diesel-particulate-filter/>
- [12] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vydání. Brno : Prof. Ing. František Vlk, DrSc. nakladatelství a vydavatelství, 2003. 579 s. ISBN 80-238-8756-4.

- [13] JAN, Zdeněk; ŽDÁNSKÝ, Bronislav. *Automobily : Motory (3)*. 5. vydání. Brno : Nakladatelství Avid, spol. s r. o., 2008.
- [14] *Sdružení automobilového průmyslu* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.autosap.cz/>
- [15] EGR. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/EGR>
- [16] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/katalyzator/>
- [17] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/scr-selective-catalytic-reduction/>

8. Seznam obrázků

Obr. 1: Destilace ropy a její jednotlivé složky

Obr. 2: Složení směsi v závislosti na λ

Obr. 3: Škodliviny ve výfukových plynech při různých směšovacích poměrech

Obr. 4: Vliv detonačního spalování na p-V diagram

Obr. 5: Složení výfukových plynů zážehového motoru

Obr. 6: Složení výfukových plynů vznětového motoru

Obr. 7: Zpětné vedení výfukových spalin

Obr. 8: Schéma sekundárního vzduchového systému

Obr. 9: Schéma způsobu odvětrávání palivové nádrže

Obr. 10: Konstrukce a činnost katalyzátoru s keramickou vložkou

Obr. 11: Konstrukce a činnost redukčního katalyzátoru

Obr. 12: Konstrukce a činnost třícestného katalyzátoru

Obr. 13: Konstrukce λ sondy

Obr. 14: Recirkulace spalin

Obr. 15: Technologie SCR

Obr. 16: Filtr pevných částic

9. Seznam zkratek a symbolů

CO ₂	Oxid uhličitý
CH ₄	Metan
N ₂ O	Oxid dusný
O ₃	Přízemní ozón
EHK	Evropská hospodářská komise
OČ	Oktanové číslo
kJ	Kilojouly
CČ	Cetanové číslo
O _t	Teoretická spotřeba kyslíku
Kg	Kilogramy
C	uhlík
O ₂	Kyslík
H ₂	Vodík
H ₂ O	Vodní pára
S	Síra
SO ₂	Oxid siřičitý
μC	hmotnostní obsah uhlíku v kilogramu paliva
μH	hmotnostní obsah vodíku v kilogramu paliva
μS	hmotnostní obsah síry v kilogramu paliva
μO	hmotnostní obsah kyslíku v kilogramu paliva
L _t	Teoretická spotřeba vzduchu

Λ	Lambda
$m_{P\check{R}}$	množství vzduchu skutečně přivedeného na 1 kg paliva
m_{PO}	množství vzduchu teoreticky potřebného ke spálení 1 kg paliva
m/s	metr za sekundu
N_2	Dusík
CO	Oxid uhelnatý
HC	Uhlovodíky
NO_x	Oxidy dusíku
PM	Pevné částice
VOC	Těkavé organické látky
PAH	Polyaromatické uhlovodíky
PCDD/F	Polychlorované dibenzodioxiny/furany
PBC	Polychlorované difenyly
ČR	Česká republika
G	Gram
EGR	Exhaust Gas Recirculation
BaO	Oxid barnatý
KO	Oxid draselný
Al_2O_3	Oxid hliníku
SCR	Selective Catalytic Reduction
DPF	Diesel Particulate Filter

10. Seznam tabulek

Tab. 1: Složení výfukových plynů zážehového motoru

Tab. 2: Složení výfukových plynů vznětového motoru

Tab. 3: Přehled emisních norem (g/kg) pro vznětové a zážehové motory