

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

**Úprava složení výfukových plynů zážehových motorů
použitím katalyzátorů o materiálně didaktická pomůcka**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR: Vladimír Těnk

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Jaromír Folvarný

2010

UNIVERSITY OF PARDUBICE
JAN PERNER TRANSPORT FACULTY

**Exhaust gas composition modification of spark ignition
engines by using exhaust ó gas catalyst ó materiál
education gadget**

BACHELOR WORK

AUTHOR: Vladimír Těnk

SUPERVISOR: Ing. Jaromír Folvarný

2010

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vladimír ŠENK**

Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**

Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**

Název tématu: **Úprava složení výfukových plynů zážehových motorů
použitím katalyzátoru - - materiálně didaktická pomůcka**

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

- 1) Motorová paliva, jejich směsi se vzduchem a termochemie hoření.
- 2) Tvoření směsi a její spalování v zážehových motorech.
- 3) Složení výfukových plynů zážehových motorů a vlastnosti škodlivých složek.
- 4) Vývoj emisních předpisů EHK a norem pro kategorie vozidel M1, N1.
- 5) Úprava složení výfukových plynů použitím oxidačního, třísložkového a zásobníkového katalyzátoru.
- 6) Konstrukční provedení katalyzátorů a lambda sond.
- 7) Zhotovení materiálně didaktické pomůcky ? výukového panelu.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- (1) BEROUN, S., SCHOLZ, C.: Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001 (2) KYSELA, T., TOMČALA.: Spalovací motory II, Skriptum VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2004, ISBN 80-248-0682-2 (3) VLK, F.: Příslušenství vozidlových motorů. Brno: Nakladatelství VLK, 2002, ISBN 80-238-8755-6 (4) GREGORA, S., MAŠEK, Z.: Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel. Skriptum Univerzity Pardubice, Pardubice 2008, ISBN 978-80-7395-082-8 (5) YAMAGATA, H.: The science and technology of materials in automotive engines, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2005, 318 s., ISBN 1-85573-742-6

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jaromír Folvarčný

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **20. února 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce: **1. června 2009**

prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.

doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

PROHLÁŠENÍ

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 kolektivního 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 oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladu, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne: 29.11. 2010

Vladimír Tenk

ANOTACE

Bakalářská práce je zaměřena na úpravu a složení výfukových plynů zážehových motorů použitím katalyzátoru s materiálně didaktickou pomocí uzavřeného regulačního obvodu, včetně výfukové soustavy motocyklu Skoda Fabia 1.4 16V (55 kW). V úvodní části se zabývám motorovými palivy a uhlíkem jejich složením, tvorbou a spalováním. V dalších částech se zaměřuji na složení výfukových plynů a vlastnosti škodlivých složek, které vznikají při spalování paliva v souvislosti se součinitelem přebytku vzduchu, vývojem emisních předpisů EHK a rozdělením norem EU. Dále porovnávám naměřené emisní hodnoty pro motocykl Skoda Fabia 1.4 16V splňující normu EURO 4 a 1.2 TSI s normou EURO 5. V závěrečné fázi se dostáváme k úpravě složení výfukových plynů za použití katalyzátoru a lambda sond a následně jejich konstrukci.

ANNOTATION

The thesis is focused on treatment and the composition of exhaust gases from the engine using a catalyst material and teaching aids closed loop, including the exhaust system Skoda Fabia 1.4 16V (55 kW). In the first part focuses on motor fuels, whether their composition, formation and combustion. In the following sections focus on the composition of exhaust gases and the properties of harmful substances generated by the combustion of fuel in connection with excess air coefficient, the development of emission regulations EHK and distribution of EU standards. Furthermore, comparing the measured emission rates for engine Skoda Fabia 1.4 16V meeting Euro 4 and 1.2 TSI with Euro 5 In the final stage, we come to modify the composition of exhaust gases using a catalytic converter and lambda probe, and consequently their structures.

KLÍČOVÁ SLOVA

motorová paliva, pístový spalovací motor, zážehové motory, výfukové plyny, součinitel přebytku vzduchu, emise, recirkulace výfukových spalin, katalyzátor, lambda sonda

KEYWORDS

engine fuel, cylinder engine, spark ignition engine, exhaust fines, excess air coefficient, emissions, Exhaust Gas Recycling, catalyst, lambda probe

PODĀKOVÁNĀ

Na záv r této bakalář ské práce nesmím zapomenout podĀkovat lidem, kte ří mi pomohli a poskytli k dispozici p edvád ěcí voz ě z TMKoda Fabia 1.2 TSI firmou Olfín Car Palace Hradec Králové, pro získání a porovnání emisních hodnot. M ěření se provád ělo na stanici emisní kontroly SOTM a SO_U Vocelova Hradec Králové, kde d ěkuji p. Kulhavému a p. Hradeckému. A v neposlední ř ad ě bych cht ěl podĀkovat vedoucímu mé bakalář ské práce panu Ing. Jaromíru Folvar nému za odborné konzultace.

OBSAH:

ÚVOD	10
1 Motorová paliva, jejich smíšení se vzduchem a termochemie hoření	11
1.1 Uhlovodíky s otevřenou vazbou atomů uhlíku	12
1.2 Uhlovodíky s kruhovou vazbou atomů uhlíku	14
1.3 Alkoholová paliva (líh)	15
1.4 Požadavky na paliva pro zářehové motory	16
1.5 Smíšení paliva a vzduchu, termochemie	21
2 Tvoření směsi a její spalování v zářehových motorech	23
2.1 Zářeh směsi a normální průběh hoření	27
2.2 Poruchy průběhu spalovacího procesu v zářehových motorech	34
3 Složení výfukových plynů zářehových motorů a vlastnosti –kodlivých slofleků	38
3.1 –Kodliviny v závislosti na součiniteli přebyteku vzduchu	39
3.2 Vlastnosti –kodlivých slofleků výfukových plynů	41
4 Vývoj emisních předpisů EHK a norem pro kategorii vozidel M1, N1	43
4.1 Rozdělení emisních norem EURO	46
4.2 Porovnání emisních hodnot –Koda Fabia 1.4 16V a 1.2 TSI	49
4.2.1 Technické parametry motorů 1.4 16V a 1.2 TSI	50
5 Úprava složení výfukových plynů použitím oxidacího, třísoflového a zásobníkového katalyzátorů	53
5.1 Opatření na motoru pro snížení –kodlivin z výfukových plynů	53
5.2 Zpětné vedení výfukových plynů	54
5.2.1 Elektromagnetický ventil zpětného vedení (EGR)	55
5.2.2 Sekundární vzduchový systém	56
5.3 Úprava výfukových plynů v katalyzátoru	58
5.4 Účinnost katalyzátoru a rozdělení katalyzátorů	58

5.4.1	Katalyzátor s řízeným p ípravou sm sí (řízený katalyzátor)	65
5.4.2	Katalyzátor s ne řízeným p ípravou sm sí (ne řízený katalyzátor)	66
5.5	Provozní podmínky a kontrola katalyzátorů	66
6	Konstrukční provedení lambda sond a katalyzátorů	69
6.1	Teorie a (historie) sondy	69
6.2	Funkce dvoubodové i skokové sondy	69
6.3	Princip činnosti odporové sondy	72
6.4	Princip činnosti širokopásmové sondy	75
6.4.1	Vnitřní uspořádání sondy	76
6.4.2	Měřímeček (švyvařování kyslíku)	77
6.4.3	Modulace sm sí	79
6.4.4	Provozní charakteristika	79
6.5	Konstrukce a činnost katalyzátorů	82
6.6	Výhody a nevýhody keramického nosiče oproti kovovému	83
ZÁVĚR		84
SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ		85
SEZNAM TABULEK		86
SEZNAM OBRÁZKŮ		87
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK		90
SEZNAM PŘÍLOH		91

Úvod

V dnešní době, kdy se kladou velké nároky na snižování emisí výfukových plynů u spalovacích motorů automobilů (zážehových i vznětových) z důvodu snížení obsahu škodlivých látek v ovzduší z výfukových plynů a ochrany životního prostředí, rozhodl jsem se nahlédnout na samotný proces vývoje emisních předpisů EHK (EVROPSKÉ HOSPODÁŘSKÉ KOMISE), jehož proces se datuje k roku 1971 a na způsob jakým výrobci automobilů plní požadované emise výfukových plynů pro danou následně platnou normu EURO.

Z názvu mého tématu bakalářské práce plyne, že se budu zabývat především zážehovými motory, ale povrchně jsem se zaměřil na které informace o vznětových motorech. Cílem mé bakalářské práce bylo zjistit, jakým způsobem dochází k úpravě výfukových plynů u zážehových motorů VW Fabia 1.4 16V první generace (rok výroby 2003) a VW Fabia 1.2 TSI druhé generace (rok výroby 2010), a porovnat naměřené emisní hodnoty v závislosti na rozdílných technických parametrech těchto dvou motorů splujících rozdílné emisní normy. U těchto motorizací jsou rozdílné emisní normy EURO, kde motor 1.4 16V plní normu EURO 4 a motor 1.2 TSI normu EURO 5 s použitím širokopásmové lambda sondy a řízeného katalyzátoru u obou typů. Dalším cílem bylo vytvořit výukový panel výfukové soustavy motoru 1.4 16V s následným jeho popisem.

Tato bakalářská práce je rozdělena na samotná motorová paliva, jejich vlastnosti a požadavky, které musí splňovat, tvorbu směsi ve válci spalovacího motoru a vývoj emisních předpisů, které musejí výrobci automobilů splňovat. Dále porovnává dva typy motorů s rozdílnými emisními normami a způsobem jakým dochází ke snížení škodlivin z výfukových plynů. Na závěr se zaměří na vytvoření samotného výukového panelu znázorněným regulačním obvodem a výfukovou soustavou motoru 1.4 16V.

1 Motorová paliva, jejich směsi se vzduchem a termochemie hoření

Nejvíce používaná paliva v pístových spalovacích motorech jsou kapalná uhlovodíková paliva, která získáváme tzv. frakční destilací ropy. Destilací rozdělíme jednotlivé skupiny uhlovodíků do dvou skupin motorových paliv podle dané teploty:¹

- a) (35 až 200°C) jsou lehké odpařitelná jako je (benzín), v teplotní frakce C₄ až C₁₀
- b) (150 až 360°C) o těžkou odpařitelná jako je (nafta), v teplotní frakce C₉ až C₂₂

Složení uhlovodíků se v obou skupinách a), b) upravují dalšími metodami, jako je například (krakování, reforming, hydrogenace a pod.) Z dalších kapalných vhodných pro PSM, lze připomenout líh (metanol i etanol) a další paliva biologického původu, například metylester epkového oleje.²

Ve PSM lze rovněž (a s určitou výhodou) používat paliva plynná, především zemní plyn (tvořený z podstatné části metanem) a tekuté rafinérské plyny (LPG), obsahující směs propanu a butanu. Z dalších plyných paliv lze použít jako motorové palivo kalový plyn (bioplyn), obsahující cca 60-65% metanu. Jako perspektivní plyné palivo (označované jako palivo budoucnosti) se uvažuje i vodík.

Všechna motorová paliva musí vyhovovat základním požadavkům, mezi které patří zejména:³

¹ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 66); viz členění a, b

² BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 66)

³ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 66)

- vysoká výh evnost,
- schopnost vytvá et v podmínkách válce (spalovacího prostoru) motoru kvalitní sm s se vzduchem,
- schopnost spolehlivého zářehu (vznícení) sm si a tém úplného vyho ení,
- vysoká istota jako p edpoklad bezproblémové dodávky paliva do motoru,
- stabilita vlastností p i skladování a doprav , dostate n bezpečná manipulace,
- minimální obsah síry (volné i vázané).⁴

šUhlovodíková (ale i lihová) paliva jsou tvo ena slou eninami uhlíku s vodíkem. U uhlovodíkových paliv má uhlík jako tyrmocný prvek valen ní vazbu bu s vodíkem nebo s dal-ím atomem uhlíku a vytvá í tak složit j-í et zce atom uhlíku. Vazba atom uhlíku v molekule m fle být bu et zová nebo uzav ená kruhová (cyklická). Struktura uhlovodíkové molekuly (tj. zp sob vazby uhlíkových atom) má zásadní vliv na vlastnosti uhlovodík s ohledem na vhodnost pro poufití v motorech zářehových nebo vzn tových.⁴

1.1 Uhlovodíky s et zovou vazbou atom uhlíku

šMolekuly t chto uhlovodík obsahují maximální moflný počet atom vodíku, (100% nasycení vodíkem ó nazývají se proto **nasycené**), jejich obecný vzorec je C_nH_{2n+2} a pro p ímý et zce atom uhlíku je druhový název t chto uhlovodík n ó alkany (d íve n parafiny). Do této skupiny pat í kup . metan, etan, propan, butan, oktan, atd.

⁴ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motor* , Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 66)

Uhlovodíky typu n-alkany jsou vhodnou složkou motorové nafty (ať se snadno rozpadá, dobrá schopnost pro vznik oxidů).⁵

Atomy uhlíku mohou vytvářet (při stejném vzorci) různé tvary ať se o druhový název těchto uhlovodíků je izoalkany (dříve izoparafíny): z této skupiny jsou nejznámější izobutan a izooktan. Izoalkany jsou vhodné pro benzínová paliva.⁶

Ve vazebním řetězci uhlíkových atomů se může vytvořit zdvojená vazba uhlíku na úkor atomů vodíku: vznikne tak nenasycený uhlovodík s obecným vzorcem C_nH_{2n-2} (alkeny a dříve název olefiny). Tyto uhlovodíky nejsou vhodnou složkou motorových paliv (nenasycenost je příčinou určité nestálosti; dochází k pomalým reakcím s atmosférickým kyslíkem, k polymerizaci a vzniku makromolekulárních pryskyřic).⁷

Další skupinou uhlovodíků s řetězovou vazbou uhlíkových atomů jsou nenasycené uhlovodíky typu C_nH_{2n-2} alkiny, ve kterých mají sousední atomy uhlíku trojnou vazbu: nejznámější z těchto uhlovodíků je etin (acetylen) C_2H_2 . Pro motorová paliva jsou tyto uhlovodíky nevhodné (ze stejných důvodů jako alkeny).⁸

⁵ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 67)

⁶ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 67)

⁷ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 67)

⁸ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 67)

1.2 Uhlovodíky s kruhovou vazbou atom uhlíku

Jedná se o nasycené uhlovodíky typu C_nH_{2n} , jejich fl et zec je uzav ený (sto ený do kruhu). Zna ené jsou jako cyklany (nafteny); jsou p ijatelnou slofkou benzinových paliv.

šDal-í skupinou uhlovodík s kruhovou vazbou atom uhlíku, která ale na rozdíl od cyklan mají v kruhu uhlíkových atom i dvojn é vazby mezi atomy uhlíku, tvo í tzv. cykloalkeny. Jsou to nenasyené uhlovodíky; t chto skupin uhlovodík mohou být i vzájemn navázány dva kruhy uhlík (nebo i více kruh) a vzniknou tzv. polycyklany (C_nH_{2n-2} aj.).⁹

šVelkou skupinou uhlovodík s kruhovou vazbou atom tvo í aromáty (obecný vzorec C_nH_{2n-6}): základem molekuly je -esti lenný uhlíkový kruh se t emi dvojnými vazbami uhlíku (benzén ó benzol). U t chto uhlovodík vzniká ada derivát (nap . p i nahrazení jednoho nebo n kolika atom vodíku skupinami CH_3 i C_2H_5 , vzájemným propojením n kolika kruhových vazeb apod.), které mohou být popsány rozmanitými obecnými vzorci (nap . ó metyl-naftalen $C_{11}H_{10}$ je uhlovodík vytvo ený ze dvou benzenových jader, kde jeden atom vodíku nahradila metylová skupina ó CH_3).¹⁰

šUhlovodíky s kruhovou vazbou atom uhlíku jsou vhodnou slofkou benzínových paliv: n které skupiny t chto uhlovodík (nap . benzen, toluen, xylen, polycyklické aromatické uhlovodíky) v-ak p edstavují velká hygienická rizika a proto se jejich obsah v benzinových palivech za íná výrazn omezovat (v nedávné dob byl obsah aroma v benzínových palivech kolem 40%, technologií tzv. reformulace benzin se dnes snižuje obsah aromát afl na 25%).¹¹

⁹ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motor* , Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 67)

¹⁰ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motor* , Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 67)

¹¹ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motor* , Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 67)

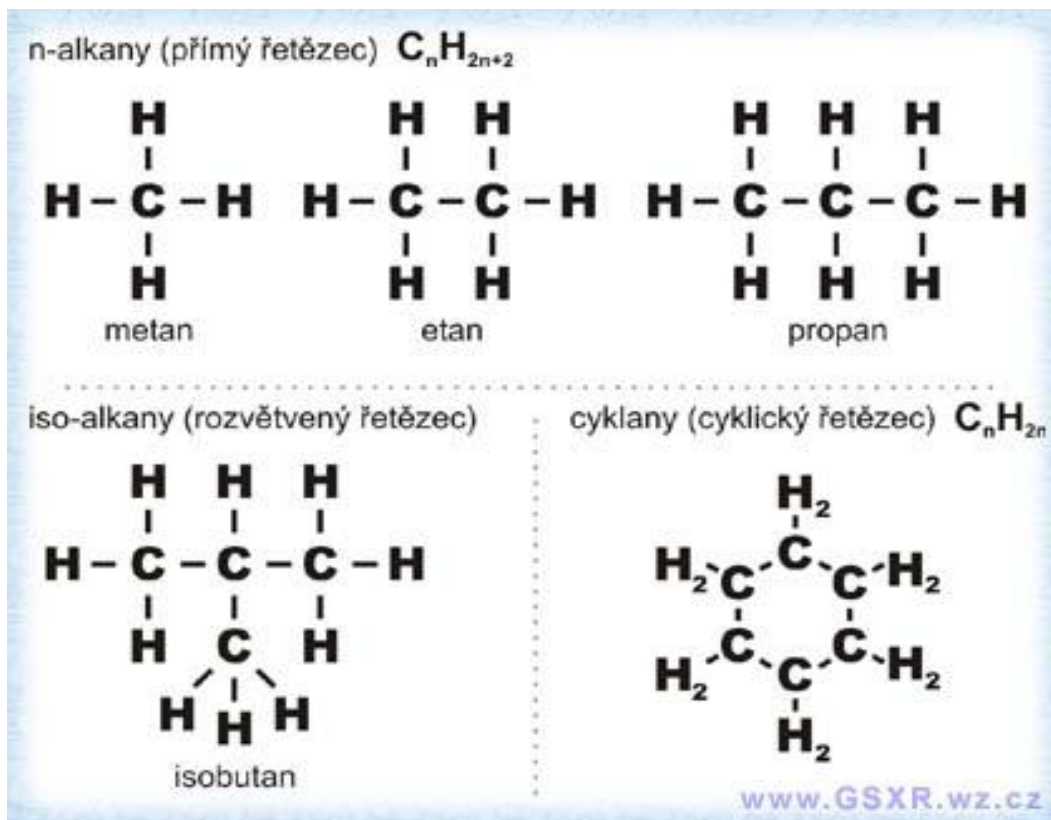
1.3 Alkoholová paliva (lív)

Mířeme je za adit mezi uhlovodíková paliva, tvořená náhradou atomu vodíku sloučeninou atomu kyslíku s atomem vodíku (hydroxylovou OH). Vzniká tak molekula typu R-OH : metylalkohol CH_3OH , etylalkohol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.¹² Alkoholová paliva se používají jako vhodná složka paliv pro zážehové motory (a to ve směsi s benzínovými palivy, například pro zvláštní účely i samostatně).

Zvláštní skupinou derivátů uhlovodíkových paliv jsou étery, vytvořené ze dvou radikálů uhlovodíkových paliv pomocí vazby atomem kyslíku: R-O-R . Využití éterů v dalších různých sloučeninách (tzv. oxisloučeniny, například metylterciár-butyl-éter MTBE), přidávaných do benzínů, zvyšuje v benzínech hmotnostní obsah kyslíku až na 2% (tzv. oxibenzíny) a napomáhá tak ke snížení emisí CO . V moderních benzínech je dnes výskyt obsah látek typu MTBE kolem 10% (objemových) s cca 2% hmotnostního podílu O_2 v benzínu.¹³

¹² BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 67)

¹³ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 68)



Obr.1: Uhlovodíky s přímým, rozvětveným a cyklickým řetězcem¹⁴

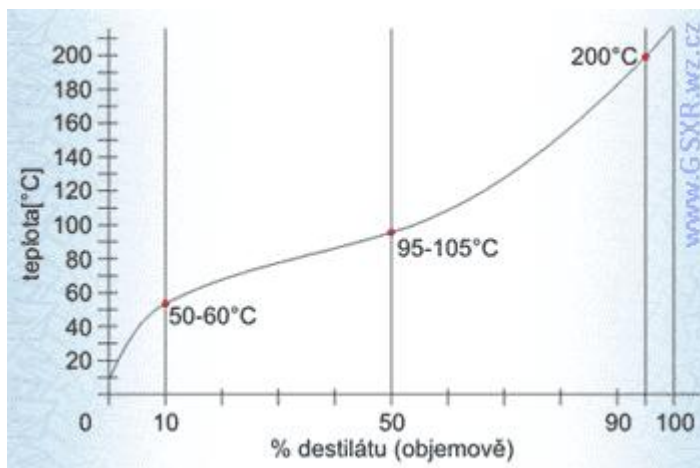
1.4 Požadavky na paliva pro zážehové motory

ŠZákladními požadavky jsou schopnost snadno tvořit zápalnou směs se vzduchem, schopnost snadného zapálení (zážehnutí) směsí pomocí řízeného zdroje zážehu (vysokonapíňovacího výboje na zapalovací svíčky) a odolnost proti samovolnému (neřízenému) rozkladu oxidačních reakcí v podmínkách pracovního oběhu ve válci motoru.¹⁵

¹⁴ Dostupné z <<http://www.GSXR.wz.cz>>

¹⁵ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 68)

Schopnost vytvářet směs palivových par se vzduchem je závislá u kapalných paliv hlavně na jejich odpařitelnosti. Odpařitelnost je posuzována podle *destilační křivky*, která udává závislost odpařeného množství paliva na teplotě viz obr. 2¹⁶



Obr. 2: Destilační křivka¹⁷

- Teplota zaátku destilace ovlivuje ztráty při manipulaci s palivem, a tím rozhoduje i o bezpečnosti při práci s palivem. V našich klimatických podmínkách se tato teplota pohybuje v rozsahu 30 až 35°C.
- Teplota 10% bodu ovlivuje startovatelnost studeného motoru, tendence je snižovat tuto teplotu pod 65°C. V oblasti do teploty 10% bodu se zvyšuje při teplotě 40°C i tlak nasycených par, který rovněž charakterizuje odpařovací schopnost paliva: pro léto je hodnota tlaku 40-70 kPa, v zimě potom úpravou benzínu pro zimní provoz se zvyšuje na 60-90 kPa.

¹⁶ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001 (str. 68)

¹⁷ Dostupné z <[http:// www.GSXR.wz.cz](http://www.GSXR.wz.cz)>

- Teplota 50% bodu rozhoduje o rychlosti ohřevu motoru po studeném startu na provozní teplotu a o akceleračních vlastnostech motoru při rychlém otevření křtící klapky (vliv na opotřebení motoru, emisní vlastnosti). Moderní benziny dnes mají tuto teplotu již v blízkosti 80°C (dříve se dokonce tato teplota mohla pohybovat až kolem 140°C).¹⁸
- Teplota 95°C bodu má vliv na účinnost vzhůru paliva ve válci motoru: uhlovodíky s teplotou varu nad 200°C se v zářehovém motoru spálí neúplně (i ve zcela prohřátém motoru). Přípustná teplota 95°C bodu je proto 180°C, snaha motorářů je dosáhnout 95% bodu při teplotách 160-170°C.
- Konec destilace: teplota konce destilace není v případě destilace nízkivky stanovena (obtížné určení této teploty jednak z důvodu tzv. destilací ztrát v parách nejtěžších uhlovodíků, jednak proto těžko definovatelný a měřitelný destilací zbytek), uvažuje se však s teplotou nejvýše 215°C. V této přítomnosti těžko odpažitelných uhlovodíků v benzinech může způsobovat zvýšené emise nespálených uhlovodíků ve výfukových plynech a dále se mohou tyto uhlovodíky objevit i v mazacím oleji (ředění mazacího filmu na stěně válce, pronikání přes pístní kroužky do klikové skříně) a zhoršovat kvalitu mazacího oleje.¹⁹

Jedna z nejvýznamnějších vlastností paliv pro zářehové motory je jejich vysoká antide-tonační odolnost: schopnost paliva odolávat samovolnému (ne řízenému) rozbuhu oxidačních reakcí v podmínkách pracovního oběhu ve válci motoru (zejména ve fázi postupujícího hoření od ohniska zářehu směrem k zatím nespálené směsi) se vyjadřuje pomocí jednotek oktanového čísla (OČ). OČ paliv pro zářehové motory se zjišťuje speciálním postupem na zkušebním jednoválcovém motoru jako porovnávací měření se směsí standardních paliv.

¹⁸ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 68)

¹⁹ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 69)

Standardními palivy jsou pro tato měření:

- izooktan C_8H_{18} , jehož antidetonací odolnost je ohodnocena $O = 100$
- n-ó heptan C_7H_{16} s antidetonací odolností $O = 0$ ²⁰

Tyto standardní paliva se budou mísit v takovém poměru, aby ve zkušebním motoru tato směs vykazovala stejné vlastnosti (z hlediska intenzity detonací) jako vyšetřované palivo: objemové procento izooktanu ve směsi standardních paliv je potom O vyšetřovaného paliva.²¹

Při hodnocení antidetonací odolnosti paliv se používají dvě metody, odlišující se provozními parametry zkušebního motoru: v obou případech je hodnotícím kritériem kompresní poměr.

- *Motorová metoda* (MM) s $n = 900$ 1/min, změnou písti v závislosti na kompresním poměru a vstupní teplotou směsi $149^\circ C$
- *Výzkumná metoda* (VM) s $n = 600$ 1/min, konstantním pístím 13° a vstupní teplotou směsi $52^\circ C$ (novější metoda).²²

²⁰ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 69)

²¹ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 69)

²² BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 69)

O zjištěné postupem podle VM je v lepší shodě s praktickými (provozními) poznatky; proti MM je stanovené O pomocí VM zpravidla vyšší (rozdíl může být i dosti výrazný, až 16 jednotek). Odchyly O mezi VM a MM jsou výrazem tzv. citlivosti paliva na změnu provozních podmínek a tato citlivost závisí hlavně na složení paliva: velkou citlivost vykazují paliva s vyšším obsahem aromátů. Moderní benziny s nižším podílem aromátů mají výrazně menší citlivost na změnu provozních podmínek motoru.²³

Tab. 1: Hodnoty O, hustoty a oxidační stability pro moderní benziny²⁴

	Special 91	Natural 95	Super plus 98
O -výzk. metoda	91	95	98
O -mot. metoda	82	85	88
hustota p i 15°C [kg/m ³]	725-775	725-775	725-775
oxidační stabilita [min]	360	360	360

Pozn.: Vlastnosti paliv z hlediska požadavků na antideponační odolnost a na schopnost samovznícení jsou protichůdné: palivo s vysokou hodnotou O má nízkou hodnotu C a naopak. Orientační je tento vztah vyjádřen rovnicí:

$$O = 120 \text{ ó } 2 * C, \text{ resp. } C = 60 \text{ ó } 0,5 * O \quad (VI)^{25}$$

²³ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 69)

²⁴ Dostupné z: <<http://www.chlfbikers.cz/technika/benzin/benzin.htm>>

²⁵ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 70)

1.5 Sm s paliva a vzduchu, termochemie

Pro oxidačním procesu paliva se musí vhodným způsobem k palivu (tj. hořlavin) přivést oxidizační činidlo, tj. kyslík z atmosférického vzduchu. Při dokonalé oxidaci paliva, tj. k úplnému vyhoření všech paliva a vzniku produktů dokonalého hoření (tj. CO₂ a H₂O) je zapotřebí přivést k 1 kg paliva nejméně tzv. teoretické množství vzduchu L_{VT}. Směs paliva a vzduchu, která obsahuje pouze toto teoretické množství vzduchu, se označuje jako směs stechiometrická. Teoretické množství vzduchu L_{VT} se stanoví výpočtově, podle chemického složení paliva. Poměr mezi množstvím paliva a vzduchu ve směsi se označuje jako bohatost směsi a obvykle se vyjadřuje pomocí součinitele přebytku vzduchu λ: jeho velikost určuje rovnice:

$$\lambda = \frac{M_v}{M_p \cdot L_{VT}} \quad (V2)^{26}$$

M_v hmotnost vzduchu ve směsi [kg]

M_p hmotnost paliva ve směsi [kg]

L_{VT} teoretické množství vzduchu potřebné k dokonalé oxidaci 1 kg paliva
[kg/kg]

λ = 1 jde o stechiometrické složení (n když se uvádí 100% bohatost), λ < 1 jde o směs bohatou (bohatost > 100%, nedostatek vzduchu), λ > 1 znamená směs chudou (bohatost < 100% s přebytkem vzduchu).

λ < 1 dochází k nedokonalému spalování s produkcí škodlivin (hygienicky škodlivých látek ve výfukových plynech), především CO. Z toho důvodu, ale především z důvodu nevyužití energetického potenciálu v palivu, není vhodné pracovat v režimu λ < 1. V PSM přesto k takovému spalování v určitých případech dochází: nekvalitní

²⁶ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001 (str. 71)

homogenizace směsi s lokálním nedostatkem vzduchu v důsledku funkčních poruch v motoru, chybné seřízení motoru apod.

S režimem $\lambda = 1$ pracuje převážně v tísňových zážehových motorech. Realizace tohoto způsobu tvoření směsi (odmítnutí množství paliva a vzduchu) vyžaduje elektronicky řízený palivový systém se způsobem vazby (sonda na výstupu výfukových plynů z motoru).

V režimu $\lambda > 1$ pracují ze zážehových motorů určité skupiny plynových motorů: zejména tyto motory musí zajistit jednak spolehlivý zážeh chudé směsi (chudá směs má horší zápalnost, navíc plynná paliva vyžadují větší zapalovací energii pro vytvoření kvalitního ohniska zážehu), jednak dostatečnou rychlost vyhoívání chudé směsi (chudá směs hoří proti $\lambda = 1$ výrazně pomaleji). Všechny vznetové motory musejí být seřizeny pro palování směsí s $\lambda > 1$: celkový přebytek vzduchu u těchto motorů se při 100% zatížení pohybuje v rozsahu $\lambda \approx 1,3$ až 2 , při volnoběhů pracují tyto motory s přebytkem vzduchu $\lambda \approx 667$.²⁷

Pozn.: Zážehové a vznetové motory se od sebe zejména liší kvalitou hořlavé směsi. Zážehové motory pracují zpravidla s homogenní směsí palivových par a vzduchu, u vznetových motorů jde o heterogenní směs palivových kapek (nafty) a vzduchu. Součinitel přebytku vzduchu je popsán vřídly sumárním poměrem paliva a vzduchu v náplni válce a nejsou zde zahrnuty lokální poměry bohatosti ve směsi.²⁸

²⁷ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 71)

²⁸ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 72)

2 Tvoření směsi a její spalování v zážehových motorech

Zážehové motory používají lehce odpařitelná kapalná paliva nebo také paliva plynná. Směs, která je vytvořena palivovým systémem motoru se musí během fáze plnění válce a kompresního zdvihu zcela homogenizovat, tj. kapalné palivo se musí úplně odpařit a palivové páry se musí s ním dokonale promístit se vzduchem.²⁹

Aby byl spolehlivý zážeh směsi musí být také její bohatost ve válci (spalovacím prostoru) motoru v rozsahu mezi zápalností pro dané palivo. To je možné u protáhlého motoru jak změnou palivového systému, tak úpravou ohřevných stěn sacího potrubí a stěn pracovního prostoru ve válci na první náplň (a na první odpařování kapalného paliva) a úpravou zvýšení teploty náplně při kompresi: špo studeném startu motoru v-ak úinek ohřevu od stěn chybí, palivo se odpaří pouze z části a směs ve válci se jeví jako chudá o tento nedostatek se u neprotáhlého motoru napravuje pomocí zvláštních funkcí na palivovém systému (obohacení směsi při spouštění a protáhlání motoru).

Pozn.: Meze zápalnosti pro vybraná paliva ukazuje tabulka.

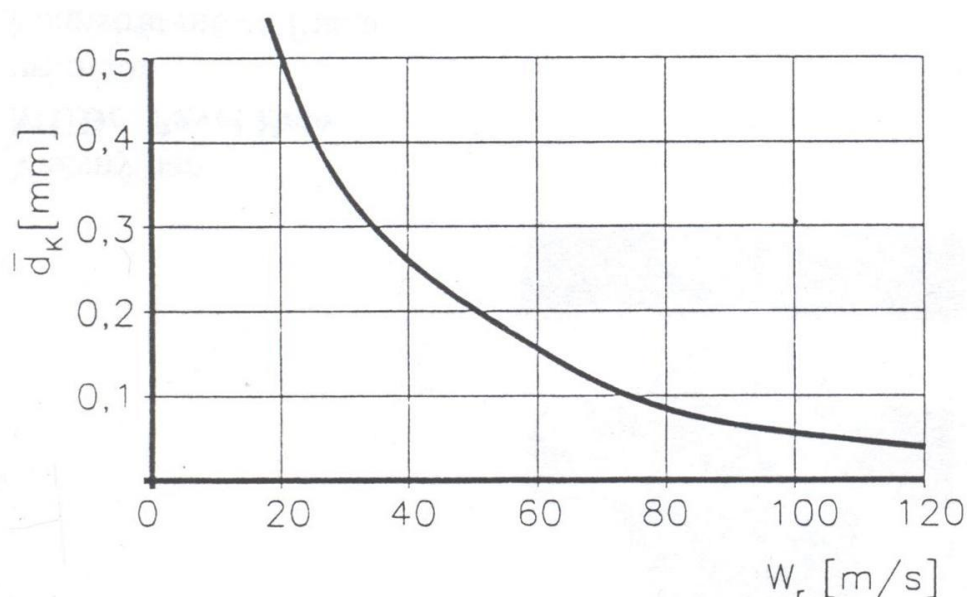
Benzin	$0,45 < \lambda < 1,5$
Metanol	$0,45 < \lambda < 1,65$
Zemní plyn	$0,30 < \lambda < 1,8$
Vodík	$0,15 < \lambda < 10^3$ ³⁰

²⁹ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 73)

³⁰ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 73)

Hodnoty meze zápalnosti ukazujú p edev-ím skute nost, fle zápalnost sm sí pohybuje –irokém rozsahu. Z ady d vod je dnes p ijatelná oblast s hodnotou $\times 1$.

Ke tvorb kvalitní sm si je mořnost docílení pomocí palivové soustavy. řVzhledem asovému intervalu, který je k dispozici pro homogenizaci sm si (nap . u ty dobého motoru p i otá kách $n=3000$ 1/min je tato doba pouze 0,018s), musí palivový systém p ivád t do proudícího vzduchu (p íp. p ímo do válce) palivo ve form velmi malých kapek. V karburátoru se palivový aerosol vytvá í ú inkem p ítoku paliva do vzduchu proudící vysokou rychlostí (obr. 3) ukazuje závislost st edního pr m ru kapek benzínu na rychlosti proud ní vzduchu ve sm –ovací komo e karburátoru), vst íkovacím za ízením se vytvá í řpalivová mlhaõ p i vst íkování benzínu do sacího potrubí (vst íkovací tlaky cca. 0,1 ó 0,3 MPa).õ³¹



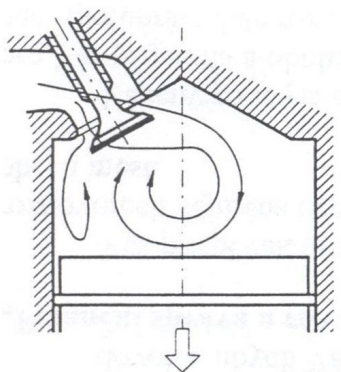
Obr. 3: Závislost st edního pr m ru kapek benzínu na rychlosti proud ní vzduchu ve sm –ovací komo e karburátoru³²

³¹ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motor*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 74)

³² BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motor*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 74)

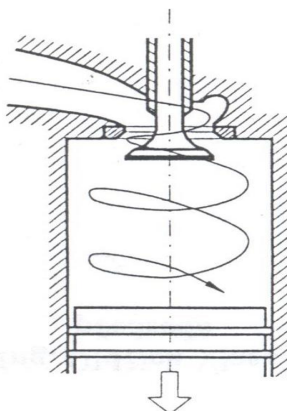
Aby směs byla homogenní ve válci napomáhá tomu rozvíjení první náplně při vstupu do válce: toto rozvíjení může mít povahu:

- **příného šumbleo** víru s osou kolmo k podélné ose válce, vyvolaného vhodným namírováním sacího ventilu (obr.4),



Obr. 4: Vířící směs s osou kolmo k podélné ose válce³³

- **tangenciálního šwirlu** víru s osou v podélném směru válce, vyvolaného vhodnou konstrukcí vtokového kanálu (obr. 5).



Obr. 5: Vířící směs s osou v podélném směru válce³⁴

³³ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 74)

šB hem kompresního zdvihu (zejména v záv ru) se m fle i výrazn projevit radiální šsquishō vír, vyvolaný vyt s ováním ástí válce do spalovacího prostoru: toto rozví ení se uplat uje p edev-ím u vzn tových motor s p ímým vst íkem, má ale význam i u záflehových motor .õ³⁵

šNa pr b h vytvá ení sm si, ale zejména na charakter rozví ení nápln válce v záv re né fázi kompresního zdvihu (tj. p ed záflehem sm si), má významný vliv uspo ádání a tvar spalovacího prostoru. e-ení spalovacího prostoru sleduje n kolik cíl , p edev-ím pak:

- optimalizaci kompresního pom ru,
- vytvo ení p ím ené turbulence s velký po tem lokálních vír malých rozm r jako prost edku k optimalizaci pr b hu spalovacího procesu,
- minimalizaci produkci nespálených uhlovodík .õ³⁶

³⁴ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motor* , Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 74)

³⁵ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motor* , Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 74)

³⁶ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motor* , Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 75)

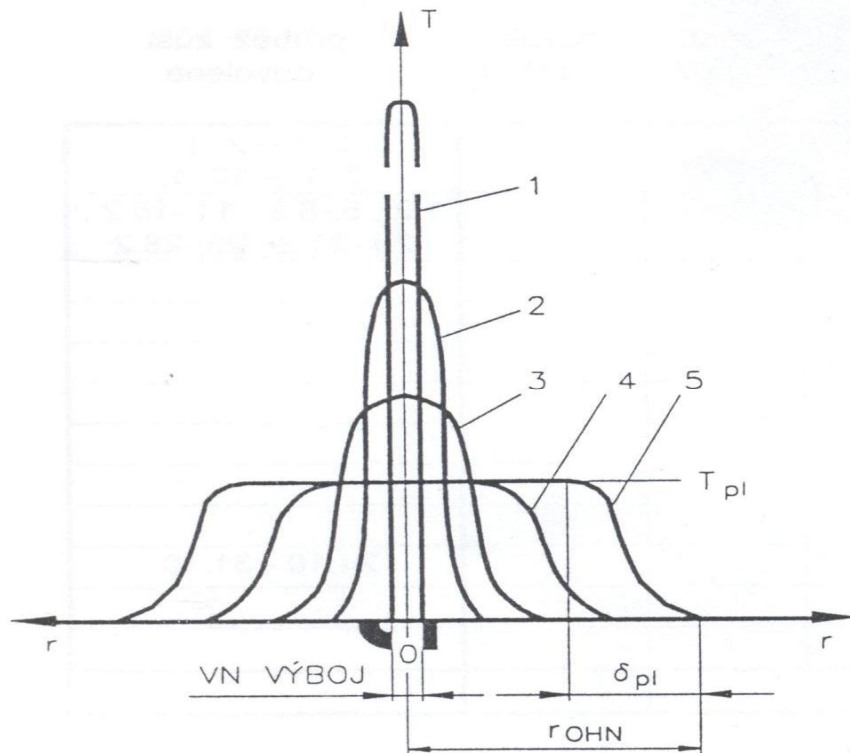
šZáŕehové motory vyuffívají v t-í mnoŕství r zných tvar ŕpalovacích prostor vytvo ených p edev-ím v hlav válc , elo pístu bývá zpravidla zcela rovné nebo s m lkou kulovou miskou i s nízkou kulovou úse í (vrchlíkem). V poslední dob se za ínají objevovat e-ení hlub-ích ŕpalovacích prostor v hlav válc a vy-ím deflektorem na ele pístu. U plynových záŕehových motor ŕ pro ŕpalování velmi chudých sm sí se jako vhodná e-ení ukazují hlub-í ŕpalovací prostory, umíst né v hlav pístu. Obecn lze íci, ŕe v e-ení ŕpalovacích prostor záŕehových motor se dnes hledají rezervy k dal-ímu technickému zlep-ení vlastností této nejroz-í en j-í kategorie PSM.õ³⁷

2.1 Záŕeh sm si a normální pr b h ho ení

šIniciace ho ení v záŕehovém motoru je zaji-t na zaŕehnutím sm si pomocí vysokonap ového elektrického výboje. Ve velmi omezeném objemu sm si, mezi elektrodami zapalovací sví ky, dojde k extrémn rychlému zvý-ení teploty ó teplota mezi elektrodami p ekrá uje hodnotu 10^4 °C. Vedle tepelné disociace molekul dochází k intenzivní ionizaci prost edí v okolí jisk i-t . To vzwolá bezprost ední reakce sloŕek ve sm si, které probíhají vysokou rychlostí a rezultují nakonec zavr-ením této po áte ní fáze záŕehu vytvo ením ŕlivotaschopného ohniska záŕehu. Pro homogenní sm s se sloŕením blízkým stechiometrickému sm -ovacímu pom ru posta uje zapalovací energie ve velikosti do 3 ó 5mJ, p ivedená b hem 0,5 ó 1 ms; pro spolehlivý záŕeh chud-ích sm sí je pot eba výrazn zvý-ít dodanou zapalovací energii (afl na 30 ó 120 mJ) a prodlouŕit dobu jejího p sobení (na 1,5 ó ms). Mechanismus záŕehu sm si vysokonap ovým výbojem má n kolik fází: schematicky to ukazuje rozloŕení teplotního pole v blízkosti jisk i-t zapalovací sví ky na obr.6.õ³⁸

³⁷ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových ŕpalovacích motor* , Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 75)

³⁸ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových ŕpalovacích motor* , Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 75)



Obr. 6: Schématické rozložení teplotního pole v blízkosti jisk i-t zapalovací svíčky³⁹

1. V daném okamžiku vysokonapověho výboje prudce vzroste teplota mezi elektrodami zapalovací svíčky (křivka 1)
2. Vedením tepla se z ohniska výboje za ne rozšířovat oblast zvýšení teploty (křivka 2,3), teplota v ohnisku VN výboje postupně klesá.

³⁹ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motor*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 75)

3. Jakmile dochází ke kladnému zbarvení probíhajících reakcí ve směsi a zároveň se ohnisko a jeho nejbližší okolí, pokles teploty se zpomalí, odvod tepla bude kompenzován uvolněným teplem při oxidaci (4,5). Kritické podmínky pro vytvoření se ohnisko zářehu lze vztáhnout k rozměru kulového objemu, jehož poloměr r_{OHN} při poklesu teploty na úroveň teploty zapálení musí být $\sim 3 \times$ větší než kritický poloměr r_{KRIT} na hraně ohniska zářehu ($r_{\text{KRIT}} = 3 \cdot r_{\text{pl}}$): kulová plocha plamene s $r_{\text{OHN}} \times r_{\text{KRIT}}$ je schopna samostatného dalšího rozvoje spalovacího procesu.⁴⁰

ŠZ hlediska chemických procesů, spojených s vytvořením ohniska zářehu, lze mechanismus zářehu vysvětlit nastartováním předoxidací reakcí únikem vysokonapíového výboje, při kterých vznikají rozpadem struktury uhlovodíkového paliva a vazbou s molekulami kyslíku sloučeniny přesycené kyslíkovou vazbou o peroxidy. Tento proces vyjadruje schéma $C_xH_y + O_2 \rightarrow ROOH$.

Peroxidy jsou málo stabilní a rozpadajíce, při čemž dochází ke vzniku aktivovaných částic-volných radikálů podle schéma $ROOH \rightarrow RO + OH$.

Při dosažení určité potrubné koncentrace aktivovaných částic vznikne otevřený plamen. Tato doba vytváření potrubné koncentrace produktů předoxidací reakcí se označuje jako indukční doba (průtah zářehu, resp. vznícení).⁴¹

⁴⁰ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 75)

⁴¹ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 76)

Pozn.: Teplota zapálení (zápalná teplota) ho lavé sm si není fyzikální konstantou pro dané palivo. Závisí sice na velikosti a stavb molekuly paliva, ovliv ují ji v–ak i dal–í podmínky (sm –ovací pom r, celková tepelná bilance v ohnisku záflehu i vznícení a pod.) a asové dispozice pro dynamiku procesu zapálení. Vzájemné souvislosti hlavních parametr po áte ního procesu ho ení vyjad uje vztah

$$\tau \cdot p^n \cdot e^{\frac{-E}{R \cdot T_z}} = konst \quad (V3)^{42}$$

í í .pr tah zapálení (záflehu, vznícení), tzv. induk ní doba

T_z í .teplota zapálení

pí í tlak ho lavé sm si

ní í ád reakce (obvykle $1 < n < 2$)

E í aktiva ní energie

R í í plynová konstanta

šP i srovnatelných podmínkách je teplota zapálení ur ena p edev–ím velikostí aktiva ní energie. Mechanizmus zapálení je proto podmín n zvý–ením energetické hladiny molekul sm si nad hodnotu aktiva ní energie (v ur ítém objemu sm si), p ítom vznikají aktivované ástice a ur ítá koncentrace aktivovaných ástic (aktivních radikál) vede ke vzniku otev eného plamene s následným samovolným pokrač ováním et zových spalovacích reakcí. Pro uhlovodíková paliva se velikostí aktiva ních energií pohybují v rozsahu 20 ó 400 MJ/kmol (nafta ~ 45 MJ/kmol, benzin ~ 90 - 150 MJ/kmol, plynná uhlovodíková paliva ~ 250 ó 400 MJ/kmol).

⁴² BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motor* , Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 76)

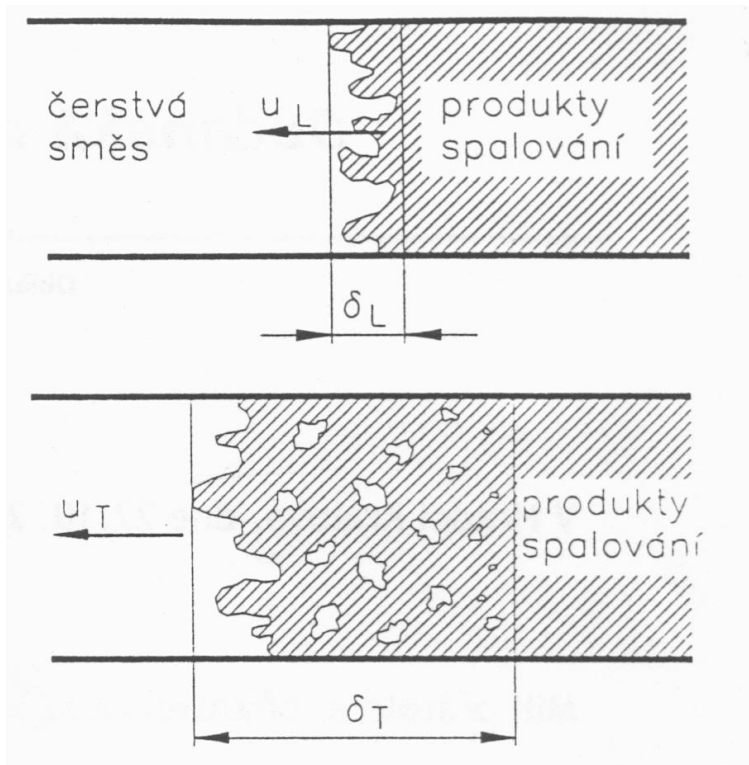
Hodnoty aktivních energií vysvětlují údaje o zápalných teplotách pro která paliva, uváděné v různých pramenech:

Nafta	í 250 ó 350°C
Benzín	í 280 ó 350°C
Butan	í 475 ó 550°C
Propan	í 510 ó 580°C
Zemní plyn	í 680 ó 750°C ⁴³

ŠZ ohniska zářehu se hoení rozíuje postupem elá plamene: rychlost postupu je ur ena p edevím mnofstvím aktivovaných ástic, které ze zóny hoení pronikají do nespálené sm si. V klidném prost edí pronikají aktivované ástice p ed zónu hoení p sobením molekulární dif ze, hloubka zóny hoení δ_T je malá a stejn tak rychlost postupu plamene u_L je relativn malá (do ~ 1 m/s). V podmínkách válce motoru se na rychlosti postupu plamene podílí turbulentní dif ze: rozdíl mezi molekulární a turbulentní dif zí lze vysv tít jako rozdíl mezi p enosem jednotlivých molekul a vyná-ením celých elementárních objem (schematicky to ukazuje obr. 7). Intenzita turbulentní dif ze se od molekulární odli-uje ádov ó podle intenzity turbulence to m fle být afl o 2 ó 3 ády. Tato okolnost zvý-í hloubku zóny hoení na δ_T ($\delta_T \sim 10\text{mm}$), rychlost postupu elá plamene se zvý-í na ~ 20 ó 40 m/s.⁴⁴

⁴³ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motor*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 76)

⁴⁴ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motor*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 76)



Obr. 7: Rozdíl mezi molekulární a turbulentní difúzí⁴⁵

Postupným rozšiřováním hoření do celého objemu spalovacího prostoru se uvolněným teplem zvyšuje tlak náplně ve válci: při jeho hoření homogenní směsi v zářehových motorech má povahu kinetického hoření homogenní směsi v zářehových motorech, rychlost oxidačních reakcí je určena chemicko-kinetickými závislostmi a uplatňuje se přitom postupné zvyšování teploty směsi v důsledku jejího uvolněného tepla i zvyšování tlaku v uzavřeném objemu. Pokles rychlosti oxidačních reakcí (tj. i pokles rychlosti uvolňování tepla dQ/dt) nastane až v závěrečné fázi vyhořívání v důsledku snížení koncentrací obou složek směsi v náplni válce. Při normálním průběhu vyhořívání náplně válce se tlakové maximum ve válci nachází v poloze cca 15° za HÚ, celková délka hoření se pohybuje v úhlu $\sim 50^\circ$ pootočení KH.⁴⁶

⁴⁵ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 77)

⁴⁶ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 77)

Celkový pohled na fázování proces tvorby směsi, jejího hoření a průběhu rychlosti uvolnění tepla je znázorněn na obr. 8

Pozn.: Zákon chemické kinetiky pro rychlost reakcí v podmínkách válce motoru je možno vyjádřit vztahem:

$$w = -\frac{dx}{d\tau} = K \cdot (a_0 - x)^n \cdot e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (V4)^{47}$$

a_0 je poáte ní koncentrace určující složky reagujících látek (paliva)

x je množství spotřebovaného paliva

n je řád reakce ($1 < n < 2$)

K je konstanta

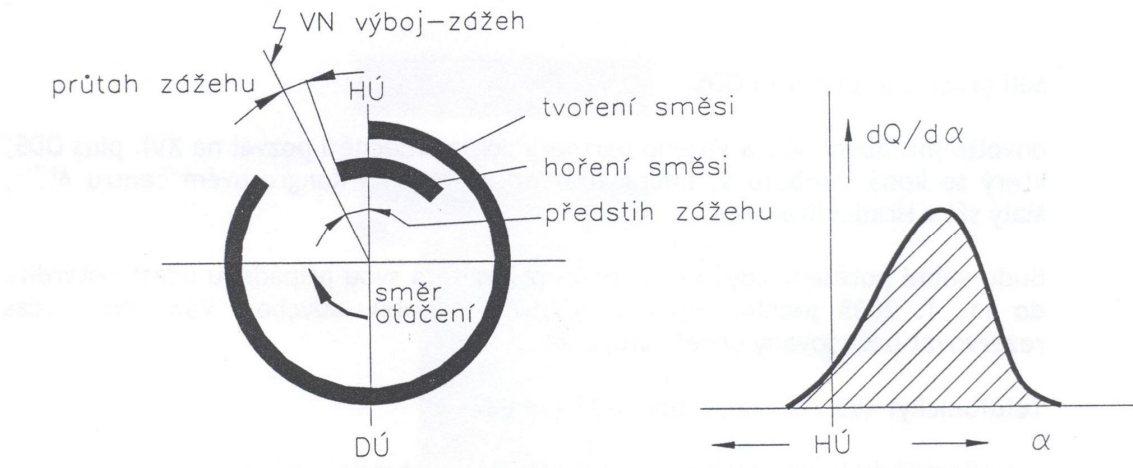
T je teplota reakce (proměnlivá)

$K \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$ je Arrheniov exponentiální zákon rychlosti (Arrheniov faktor)

Spalovací proces v zážehových motorech se vyznačuje velkou proměnlivostí pracovních cyklů, cyklus od cyklu má tlak ve válci jiný průběh. Příčiny této variability se vysvětlují působením nebo méně příznivých skutečných podmínek pro rozvoj hoření zpočátku ohniska zážehu: turbulentnost v nejtěsnějším okolí jiskrit, určitá nehomogenita směsi, ední první náplň zbytkovými spalinami apod. Z hlediska dalšího rozvoje a zvyování technické úrovně zážehových motorů je problém snižování mezicyklové variability mimořádně významný jak pro zvyování celkové účinnosti zážehových motorů, tak pro snižování emisí výfukových kódlivin (HC).⁴⁸

⁴⁷ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 77)

⁴⁸ BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 77)



Obr. 8: Fázování proces tvorby směsi, jejího hoření a průběhu rychlosti uvolnění tepla⁴⁹

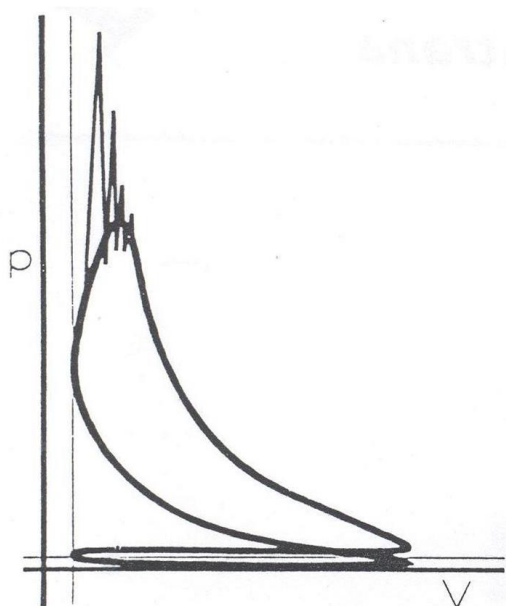
2.2 Poruchy průběhu spalovacího procesu v zážehových motorech

Detonační hoření: U zážehových motorů je možné mimořádně vzniknout rychlý průběh spalování směsi v důsledku samovznícení zbytku ještě nespálené, ale za to silně stlačené směsi, vystavené úniku aktivovaných částic, které pronikly ze zóny hoření do této nespálené směsi. Toto tzv. detonační hoření limituje možnost dalšího zvyšování kompresního poměru a s tím spojeného dalšího zvyšování účinnosti zážehových motorů.

Šedetonace jako výsledek samovznícení při téměř konstantním objemu vznikají v těchto částech spalovacího prostoru, kam se hoření z ohniska zážehu dostává až na konec. Náplň je v těchto místech vystavena působení vysokých teplot i tlaku (detonační spalování se ale může za určitých okolností objevit i v průběhu hlavní fáze hoření, v blízkosti HÚ). Samovznícení probíhá takovou explozivní rychlostí, že nemůže dojít k vyrovnání tlaku a v náplni válce vznikne rázová vlna. Rozšíření samovznícení do jiných (okrajových) míst spalovacího prostoru pak následuje jako mechanismus detonace souhrnně s rázovou vlnou, při čemž uvolněné teplo tento úinek ještě znásobuje.

⁴⁹ Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Vozidlové motory*, Skriptum TU v Liberci

Periodický odraz rázových vln od stěn válce, hlavy válce a stěn spalovacího prostoru (pístu) lze zaznamenat tlakovým snímačem v podobě tlakových oscilací (vibrací) frekvencí několik kHz (viz obr.9), odraz pak vyvolává ostrý kovový (zvonivý) zvuk vysokého tónu, který je nejvýraznějším příznakem detonačního hoření v motoru. Tlakový snímač (pokud má vhodné vlastnosti) zaznamená frekvenci tlakových oscilací kolem cca 4 až 8 kHz, což při rozměrech válce 70 až 130 mm ukazuje na rychlost tlakové vlny kolem 1000 m/s. Mezi nebezpečné účinky detonačního hoření na motor patří zvýšení tepelných ztrát z náplně válce do stěn motoru vlivem vysokých teplot na stěně rázových vln a současně zvýšení součinitele přestupu tepla: motor se přehřívá a může dokonce nastat i místní poškození povrchu spalovacího prostoru, při déletrvajícím provozu s výskytem intenzivního detonačního spalování může nastat i trvalé velmi vážné poškození motoru (propálení dna pístu apod.).⁵⁰



Obr. 9: Příběh detonačního hoření v zářehovém motoru⁵¹

⁵⁰ Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Vozidlové motory*, Skriptum TU v Liberci

⁵¹ Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Vozidlové motory*, Skriptum TU v Liberci

Pozn.: Moderní elektronické řídicí a ochranné systémy u dnešních zářehových motorů svojí inností zabezpečují motor (předeevším zmnou se řízení přestihu zářehu) před výše uvedenými poruchami hoření směsí a souasn optimalizují provozní režim motoru z hlediska účinnosti pracovního oběhu tím, že udržují přestih zářehu prakticky na hranici počátku výskytu (spíše náznaku) detonací.

šPředasný (neřízený) zářeh směsí: Detonací hoření představuje odchylku od normálního průběhu spalování v samotném závěru spalovacího procesu (ale i v hlavní fázi hoření) v zářehovém motoru: za určitých podmínek se někdy může objevit i jiné i vážné narušení celého průběhu spalovacího procesu. Příčinou takového jevu je předasný, neřízený zářeh směsí jeť před zafřehnutím směsí VN výbojem (jde spíše o lokální vznícení směsí působením vysoké teploty od přehřátých míst ve spalovacím prostoru). K předasnému nastartování oxidačního procesu dojde od přehřátých součástí ve spalovacím prostoru (např. elektrod zapalovací svíčky, talíře výfukového ventilu, usazeného karbonu, přesahující hrany těsnění apod.). Tření plamene z ohniska předasného zářehu je pak velice podobné tomu, jako kdyby došlo k zářehu elektrickým výbojem. Hoření však za nedíve a s tím jsou spojeny další, pro následný průběh hoření nepříznivé, důsledky: vyšší p_{max} , T_{max} , nepravidelné průběhy tlaku nebo okamžiky předasného zářehu se mní, vysoká pravděpodobnost vzniku detonací, zvýšené energetické nároky na kompresní zdvih, zvýšený odvod tepla do stěny. Nebezpečí předasného zářehu je především u výkonově exponovaných benzinových motorů s vyšším kompresním poměrem.⁵²

šVznícení směsí při zastavování (doběhu) zářehového motoru: Zvyšování kompresního poměru u zářehových motorů (zejména u starších typů motorů s karburátorovým palivovým systémem) může být spojeno s dalšími jevy, komplikujícími jejich provoz. Ó lze kupř. uvést problémy se zastavováním (vypínáním) motoru, kdy za určitých podmínek dochází i bez zapalovacího vysokonapíového výboje k zářehu (v tomto případě k samovznícení) směsí a motor je schopen po určitou dobu pracovat s vypnutým zapalováním.

⁵² Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Vozidlové motory*, Skriptum TU v Liberci

Pracuje velmi nepravidelně, se silnými rázy: tento jev vzniká v dle sledku doby pro tahu vznícení, která při kompresní teplotě nad 350°C dosahuje pro benzínová paliva velikosti cca 30 ms a při rozložení tohoto pro tahu vznícení do oblasti $\pm 20^\circ$ po otočení klikového hřídele kolem horní úvrati dojde ke vznícení a vyhoření náplně válce (tedy i relativně malého množství, které odpovídá seřízení pro volnoběh) a motor se tím udržel v chodu na velmi nízkých otáčkách (cca 200 až 300 1/min.) Účinnou ochranou proti tomuto jevu je prochlazení motoru před zastavením. Moderní zážehové motory s palivovými systémy vybavenými elektronickým řízením jsou před tímto nebezpečím zcela ochráněny.⁵³

⁵³Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Vozidlové motory*, Skriptum TU v Liberci

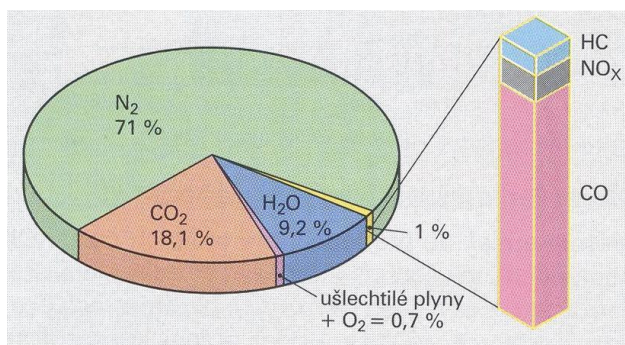
3 Složení výfukových plynů zážehových motorů a vlastnosti škodlivých složek

Složení výfukových plynů : Z důvodu znečištění ovzduší se radikálně omezují výfukové plyny ze silniční dopravy, proto je legislativou dán (dovolen) maximální obsah škodlivin z výfukových plynů všech silničních motorových vozidel. Ropná paliva skládající se z převážně částí zrných uhlovlků, tj. při jejich sluování s kyslíkem ze vzduchu, vzniká pouze vodní pára a oxid uhličitý, který se při ní koncentraci považuje za příčinu klimatických změn (skleníkového efektu).

Vzhledem k nedokonalému spalování paliva v motoru však vznikají vedle oxidu uhličitého, vodní páry a vzácných plynů ještě :

- Oxid uhelnatý, CO
- Nespálené uhlovlky, CH
- Oxidy dusíku, NO_x
- Pevné látky.

U motoru zahátého na provozní teplotu se st edním zatížením a při st edních otá kách je podíl všech těchto škodlivin cca. 1% z celkového množství výfukových plynů (obr.10)



Obr. 10: Složení výfukových plynů ⁵⁴

⁵⁴ Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, ISBN 80-85920-83-2

3.1 **Podíly křovliviny v závislosti na souiniteli p ebytku vzduchu**

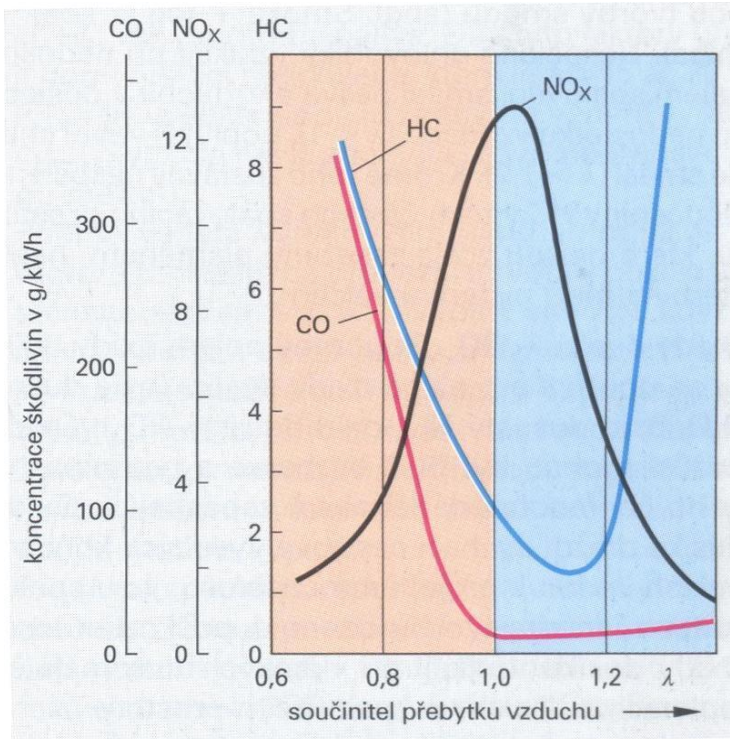
Jednotlivý podíl křovlivin ve výfukových plynech je siln ovlivn n sm ovacím pom rem paliva a vzduchu, charakterizovaným sou initelem p ebytku vzduchu (λ) (obr. 11).

šP i nedostatku vzduchu 5 - 10% ($\lambda = 0,95 - 0,90$; bohatá sm s) dosahují záflehové motory nejv t-ích výkon (obr. 12). P i nedostatku vzduchu v-ak není palivo dokonale vyuffito a zvy-uje se m rná (specifická) spot eba paliva. Ve výfukových plynech se rovn fl zvy-ují podíly křovlivého oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodík .⁵⁵

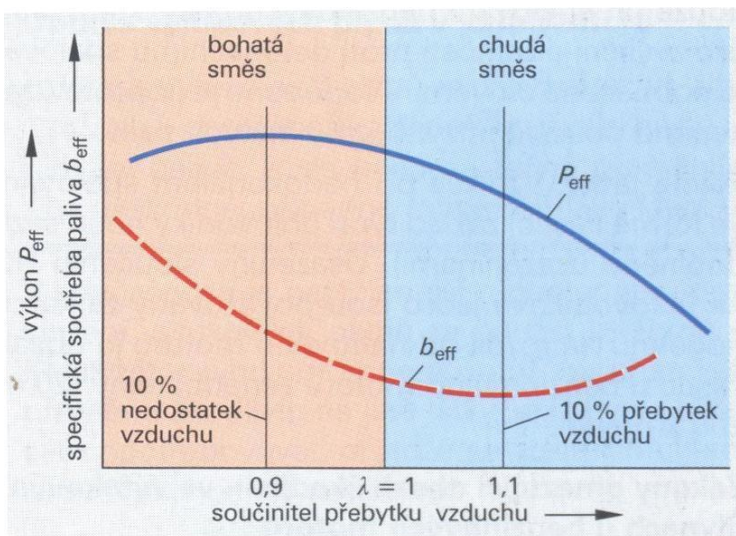
šP i 5 ó 10% p ebytku vzduchu ($\lambda = 1,05 ó 1,1$; chudá sm s) dosahují záflehové motory nejnífl-í spot eby paliva, výkon motoru je v-ak nífl-í a nejvy-í teploty v motoru jsou, vzhledem k men-í pot eb tepla pro odpa ování paliva, vy-í. Podíly oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodík jsou nízké, av-ak podíl oxid dusíku ve výfukových plynech je velmi vysoký.⁵⁶

⁵⁵ Rolf Gscheidle a kol.: *P íru ka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, ISBN 80-85920-83-2

⁵⁶ Rolf Gscheidle a kol.: *P íru ka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, ISBN 80-85920-83-2



Obr. 11: ~~TK~~šodliviny ve výfukových plynech p i r zných sm -ovacích pom rech vzduchu⁵⁷



Obr. 12: Výkon a spotřeba pohonných hmot p i r zných sm -ovacích pom rech vzduchu⁵⁸

⁵⁷Rolf Gscheidle a kol.: *P íru ka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, ISBN 80-85920-83-2

⁵⁸Rolf Gscheidle a kol.: *P íru ka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, ISBN 80-85920-83-2

3.2 Vlastnosti –kodlivých slofek výfukových plyn

šOxid uhelnatý, CO. Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn bez zápachu. Při vdechování blokuje transport kyslíku v krvi. Nižší koncentrace způsobují bolesti hlavy, únavu a ovlivují smyslové vnímání. Při koncentraci vyšší než 0,3% (objemová) a delší dobu působení mohou způsobit smrtelnost. Oxid uhelnatý vzniká při nedokonalém spalování paliva v důsledku nedostatku vzduchu. Oxid uhelnatý vzniká v mnohem menší míře i při přebyteku vzduchu (chudá směs), pokud není směs paliva a vzduchu homogenní. Ve spalovacím prostoru jsou pak místa s bohatou a chudou směsí.

Nespálené uhlovodíky, CH (angl. hydrokarbon). Skládají se z velkého množství různých sloučenin uhlíku a vodíku. Uhlovodíky dráždí sliznice a některé jsou karcinogenní. Za nepříznivých povětrnostních podmínek jsou, ve spojení s oxidy dusíku, kyslíkem a slunečním zářením, příčinou vzniku ozonu (O_3) a tvoří tzv. letní smog. Nespálené uhlovodíky vznikají při nedokonalém spalování směsi paliva a vzduchu v důsledku nedostatku vzduchu ($\lambda < 1$), popřímo i velmi chudé směsi ($\lambda > 1,2$). Kromě toho vznikají nespálené sloučeniny CH v těchto částech spalovacího prostoru, které nejsou zcela zasáfleny plamenem, například vrbina mezi pístem a válcem.

Oxidy dusíku, NO_x . Souhrnný pojem oxidy dusíku se používá pro různé oxidy dusíku (oxid dusný N_2O , oxid dusnatý NO , oxid dusičitý NO_2). Oxidy dusíku mohou být bezbarvé a bez zápachu nebo červenohnědé –tiplavě zapáchající. Oxidy dusíku dráždí dýchací cesty, ve vysokých koncentracích vedou ke zničení plicní tkáně, jsou spoluodpovědné za tvorbu ozonu a poškození lesů. Oxidy dusíku vznikají při vysokých teplotách a tlacích ve spalovacím prostoru.

Sloučeniny olova. Působí na buňky v krvi a v kostní dřeně jako silné jedy. Sloučeniny olova vznikají pouze při spalování benzinových paliv, která jsou pro zvýšení odolnosti proti detonaci při spalování obohacena olovem. V zahraničí je již proto uzákoněno používání tzv. bezolovnatých paliv.

Pevné látky. Vznikají při nedokonalém spalování ve formě částic (základ tvoří uhlovodíky nebo saze doplněné usazeninami). Usazeniny sloučenin CH na uhlovodíkové jádro jsou považovány za karcinogenní. Na rozdíl od vznového motoru je obsah částic u benzinového motoru zanedbatelný (20 až 200 x méně).⁵⁹

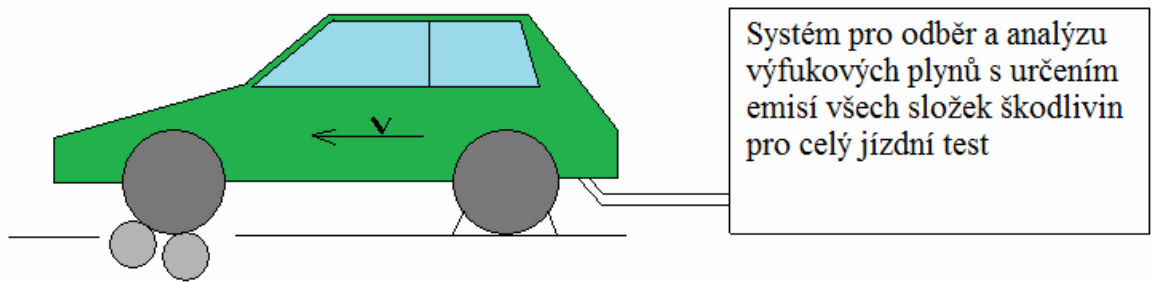
⁵⁹ Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, ISBN 80-85920-83-2

4. Vývoj emisních předpisů EHK a norem pro kategorii vozidel M1, N1

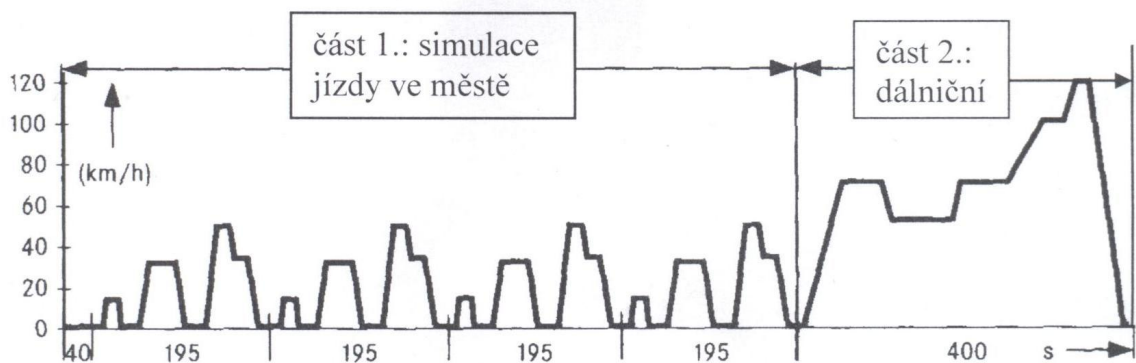
Jedním z prvních předpisů platný v Evropě byla směrnice Evropské hospodářské komise a to: EHK 15 uvedená v roce 1971. Předpisem EHK 15 se určovaly emisní limity nejprve v g/test, později v g/km. Testování podle již zmínované směrnice se provádělo simulací jízdy v městském provozu typicky opakovanými cykly v celkové délce ujeté vzdálenosti 4052 m. Podle zdvihového objemu nebo podle (hmotnosti vozidla) byly odstupňovány emisní limity týkající se EHK 15. Měno bylo především množství oxidu uhelnatého (CO) a nespálených uhlovodíků (HC). Později se rozšířilo měření o oxid dusíku (NO_x). Tento test se během let změnil a doplněn, což je patrné z (tab. 2). Po několika úpravách 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 předpisu vodním 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 předzkoušení emisních vlastností starších typů vozidel při jejich individuálním dovozu nebo při jejich instalaci na použití alternativních paliv.).
- **Typ B** se používá pro hodnocení vozidel se zážehovým motorem s katalyzátorem (používajících bezolovnatý benzin).
- **Typ C** je určen pro hodnocení vozidel se vznětovými motory (používajících motorovou naftu).

Od roku 1989 EHK 83 procházelo několika úpravami, týkající se především způsobem limitních hodnot. Součástí způsobem limitních hodnot je nový simulací test, znázorněný na obrázcích 13 a 14. Na obrázku 13 je postup probíhajícího testu a na obrázku 14 je jeho průběh. Výfukové kódliviny jsou zde vyjádřeny jako průměrné na celý test nebo předepsané na ujetou vzdálenost 1 km. Vývoj emisních limitů od EHK 15 je uveden v (tab. 2).



Obr. 13: Postup testu podle EHK 83, kde automobil je ustaven na válce zkoušebny a zajítn (ukotven) proti pohybu. Tímto válci je uskutečnáná podle předpisu simulace jízdy, například jízda do kopce je zde simulovaná brzděním zkoušebních válců.



Obr. 14: Znáznornění průběhu testu podle EHK 83 na ujetou vzdálenost 11007 m po dobu 1220 s.⁶⁰

⁶⁰ Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Výfukové emise pístových spalovacích motorů*

Tab. 2: Vývoj emisních limitů výfukových kódlivín pro motorová vozidla kategorií M1 a N1

P edpis	Platný od	Limity m rných emisí v g/km				
		CO	HC	NOx	HC+NOx	PM
EHK 15.00	1973	28,9	2,15			
EHK 15.01	1977	23,2	1,83			
EHK 15.02	1979	23,2	1,83	2,47		
EHK 15.03	1981	18,8	1,6	2,1		
EHK 15.04	1984/86	14,3			4,69	
EHK 15.05	1990/91	11,1		1,48	3,7	
EHK 83.01	1992	2,72			0,97	V-0,14
EURO 1-Z/V (EHK 83.02)	od 1993	2,72/2,72			0,97/0,97	V-0,14
EURO 2-Z/V (EHK 83.03)	1996	2,2/1,0			0,5/0,9	V-0,1
EURO 3-Z/V	2000	1,3/0,64	Z-0,2	0,15/0,50	V-0,56	V-0,05
EURO 4-Z/V	2005	1,0/0,50	Z-0,1	0,08/0,25	V-0,30	V-0,025
EURO 5-Z/V	od zač í 2009	1,0/0,50	Z-0,075	0,06/0,08	V-0,17	0,005/0,005

Po átkem devadesátých let v rámci jednotné legislativy ve státech Evropské unie, vznikají nové p edpisy, jejímfl základem je zmi ované EHK 83. Jelikofl se týká lenských zemí EU, zkratka EHK je p ejmenována na EU, kterou spí-e známe pod názvem EURO dopln ěné o p íslu-ě íslo revize p edpisu. Pro zem , které nejsou ve spole enství EU, byla sjednocena legislativa se stejnými p edpisy EURO, ale pod zkratkou EHK 83 (nap . 83.03) spl ůjící emisní hodnoty, jako EURO 2. Viz. (tab. 2).

4.1 Rozdělení emisních norem EURO

EURO 1 První ze směrnic o EURO 1, která je platná od roku 1993, byla poměrně benevolentní. Benzinovým i naftovým motorům určovala limit na oxid uhelnatý 3 g/km a emise NO_x a HC se srovnávaly. Omezení emisí pevných částic se týká jen dieselových motorů. Benzinové motory musí užívat bezolovnatá paliva.



Obr. 15: Značení EURO 2

EURO 2 Norma EURO 2 od sebe oba typy motorů oddělovala, protože naftové motory mohly být zvládnuty v emisích NO_2 a HC, když limit platil pro jejich součet, benzinové motory se mohly dovolit vyšší emise CO. Tato směrnice tedy nařizovala snížení obsahu pevných olivnatých částic ve výfukových plynech.



Obr. 16: Značení EURO 3

EURO 3 Se zavedením EURO 3, která platí od roku 2000, začala Evropská komise přetvzovat. U dieselových motorů snížila obsah PM o 50% a stanovila pevný limit pro emise NO₂ na 0,5 g/km. Zároveň nařídila snížení emisí CO o 36%. Benzinové motory musí podle této normy splňovat přísnější podmínky pro emise NO₂ a HC.

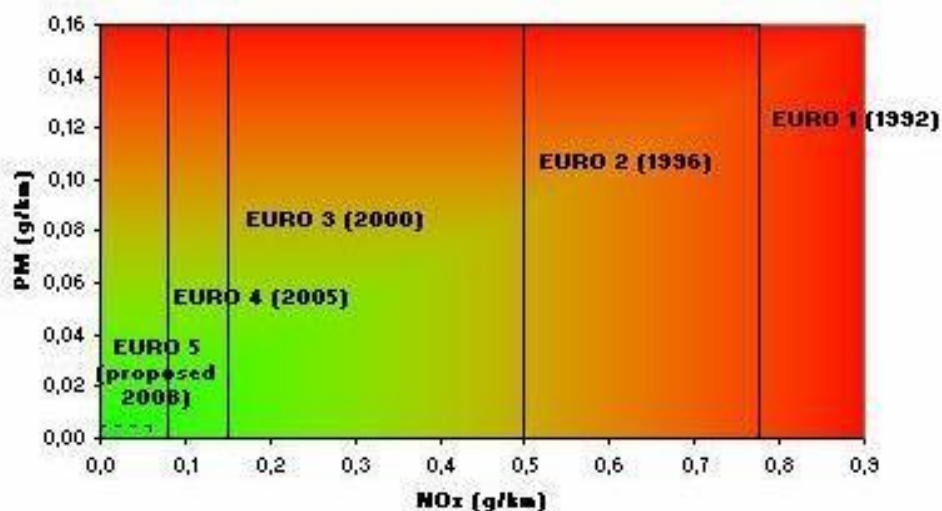


Obr. 17: Značení EURO 4

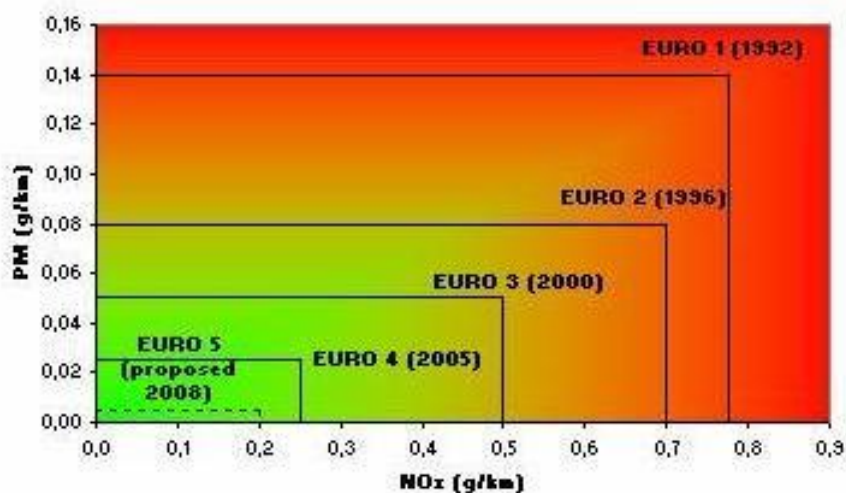
EURO 4 Norma EURO 4 emisní limity je přísnější. Oproti předchozím normám EURO 3, snížila obsah pevných částic a emisí oxidu dusíku ve výfukových plynech u automobilů na polovinu. V případě naftových motorů, pak donutila výrobce k výrazné redukci CO, NO₂, nespálených uhlovodíků a pevných částic.

EURO 5 Tato nová norma postihuje hlavně dieselové motory a snaží se přiblížit dieselové motory k benzinovým motorům co se týče emisních hodnot. Především hodnot PM, kde se snížila na jednu pětinu oproti stávajícímu stavu. Splnitelné to je ovšem za podmínky instalace filtru pevných částic. Nevýhodou filtru pevných částic je jeho výrobní cena. U benzinových motorů s řízeným vstřikem benzínu, přibyla povinnost montovat filtry na olovnaté částice. Dále bude zapotřebí ještě snížit limity NO₂ za použití nových technologií. Plánované zavedení EURO 5 je připraveno k datu 1. září 2009.⁶¹

⁶¹ Dostupné z: <<http://clanky.katalog-automobilu.cz/auta-automobily-clanky/4000-emisni-normy-euro-evropa-pritvrzuje/>>, společně i pro obrázky (15,16,17)



Obr. 18: Vývoj emisních hodnot EURO urující množství NO_x a PM pro *benzinové motory*⁶²



Obr. 19: Vývoj emisních hodnot EURO, urující množství NO_x a PM pro *vznové motory*⁶³

⁶²Dostupné z:<<http://clanky.katalog-automobilu.cz/auta-automobily-clanky/4000-emisni-normy-euro-evropa-pritvrzuje/>>

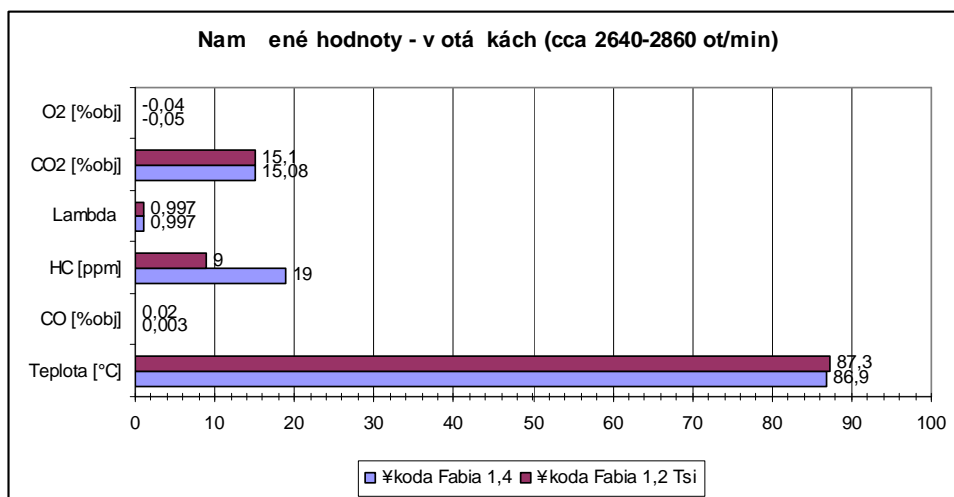
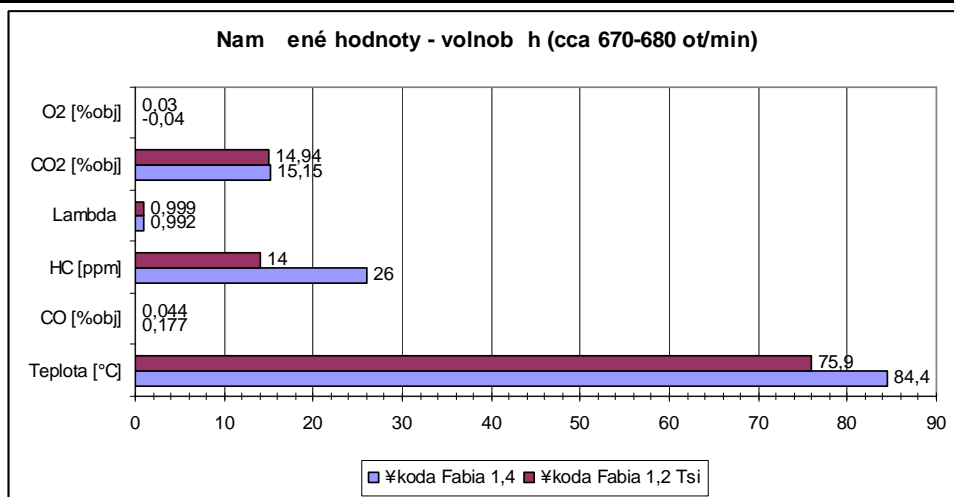
⁶³Dostupné z:<<http://clanky.katalog-automobilu.cz/auta-automobily-clanky/4000-emisni-normy-euro-evropa-pritvrzuje/>>

V současnosti platí směrnice EURO 5, která vstoupila v platnost v září 2009. Nová směrnice je vždy avizovaná 3 roky dopředu a vztahuje se pouze na nově vyrobená vozidla, registrovaná od data platnosti nařízení. To znamená, že v praxi nařízení trápí pouze producenty a běžného uživatele se přímo nedotkne.

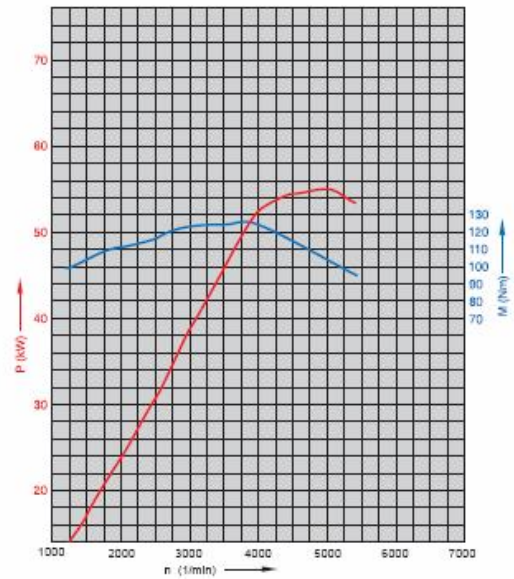
4.2 Porovnání emisních hodnot Σ koda Fabia 1.4 16V a Σ koda Fabia 1.2 TSI

Tab. 3 Emisní hodnoty Σ koda Fabia 1.4 16V a 1.2 TSI

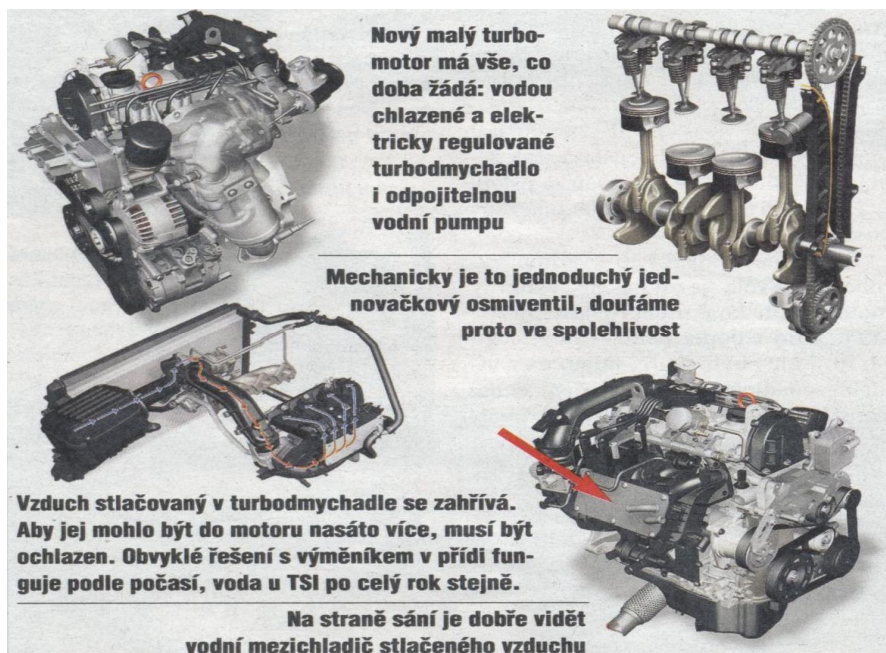
		Otáčky [ot / min]	Teplota [°C]	CO [%obj]	HC [ppm]	Lambda	CO2 [%obj]	O2 [%obj]
volnoběh	Σ koda Fabia 1,4 16V	670	84,4	0,177	26	0,992	15,15	-0,04
	Σ koda Fabia 1,2 TSI	680	75,9	0,044	14	0,999	14,94	0,03
		Otáčky [ot / min]	Teplota [°C]	CO [%obj]	HC [ppm]	Lambda	CO2 [%obj]	O2 [%obj]
v otáčkách	Σ koda Fabia 1,4 16V	2860	86,9	0,003	19	0,997	15,08	-0,05
	Σ koda Fabia 1,2 TSI	2640	87,3	0,02	9	0,997	15,1	-0,04



4.2.1 Technické parametry motor 1.4 16V a 1.2 TSI

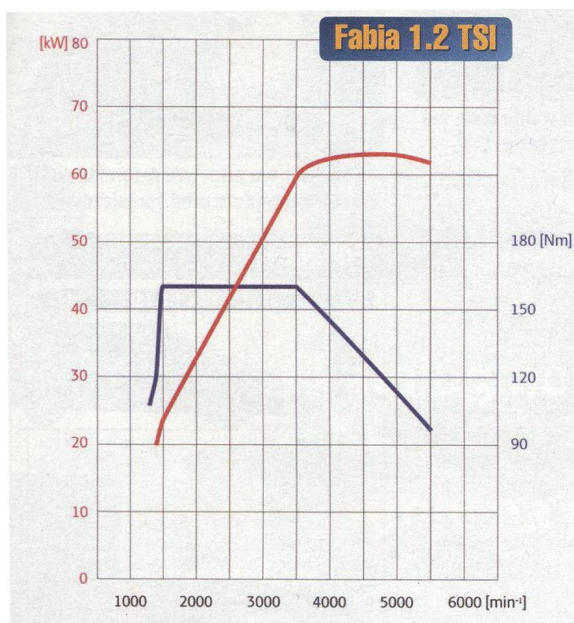


Obr. 20: Ukázka motoru 1.4 16V s výkonnostní charakteristikou, kde červená křivka značí výkon a modrá točivý moment motoru⁶⁴



Obr. 21: Ukázka motoru 1.2 TSI⁶⁵

⁶⁴ Dostupné z: učebních materiálů pro automechaniku SOTMa SOU Vcelova Hradec Králové



Obr. 22: Výkonnostní charakteristika motoru 1.2 TSI, kde červená křivka nám znázorňuje výkon v závislosti na otáčkách a modrá představuje točivý moment motoru v závislosti na otáčkách motoru⁶⁶

Tab. 4: Technické údaje motoru 1.4 16V a 1.2 TSI

Technické údaje výrobce	číslo Fabia 1.4 16V	číslo Fabia 1.2 TSI
Motor	zálohový čtyřválec DOHC	proplávaný zálohový čtyřválec OHC
Kód motoru	BBY	CBZA
Zdvihový objem (cm ³)	1390	1197
Nejvyšší výkon (kW/ot. za min)	55/5000	63/5000
Největší točivý moment (N.m/ot. za min)	126/3800	132/3800
Provedení	manuální pístupová	manuální pístupová
Způsob vedení výfukových plynů	ano	ne
Emise CO ₂ (g/km)	133	121
Katalyzátor	2 katalyzátory	2 katalyzátory
Emisní norma	EU 4	EU 5
Lambda regulace	2 lambda-sondy	2 lambda-sondy
Vlastní diagnostika	ano	ano
Ventil na válec	4	2
Způsob vstřikování	nepřímé vícebodové	přímé vícebodové

⁶⁵ Dostupné z: SV T MOTOR , číslo: 41/2010, (str.21)

⁶⁶ Dostupné z: SV T MOTOR , číslo: 16/2010, (str.23)

Pro porovnání emisních hodnot jsem si vybral dva typy motorů značky TMSkoda Fabia 1.4 16V 55kW (r.v.2003) a druhý motor 1.2 TSI s výkonem 63 kW (r.v. 2010). Motor 1.4 16V je klasický atmosférický motor s nepříčným vícebodovým vstřikem paliva a 1.2 TSI je přeplávaný motor s vícebodovým příčným vstřikem paliva. Oba motory používají širokopásmovou lambda sondu, která je umístěna před katalyzátorem, za sbírným výfukovým potrubím, z důvodu rychlého ohřevu lambda sondy pro zvýšení její účinnosti. Naměřené hodnoty v tab. 3 ukazují na malé rozdíly naměřených emisních hodnot. Ovlivujícím faktorem při měření se stala teplota a otáčky motoru, čímž udávané údaje nemohou být zcela srodatné, ale i tak je patrné, že motor 1.4 16V má naměřeno v této množství kóktivin splňující normu EURO 4 než u 1.2 TSI s normou EURO 5. Snížení emisí u motoru 1.4 16V se děí pomocí sekundárního systému vzduchu (kapitola 5.2.2) a zpětným vedením výfukových plynů (EGR) (kapitola 5.2.1), kde dochází pouze k oednění výfukových plynů. Kdežto u motoru 1.2 TSI je princip dovstřiku za pomoci vstřikovače paliva ovládaný řídicí jednotkou, která zasahuje v určitém okamžiku po určité době, než dojde k ohřátí motoru na provozní teplotu, nebo změně bohatosti i chudosti směsi.

Princip dovstřiku spoívá vstřiknutí paliva do sbírného potrubí kde dochází vzplanutí benzínu za pomoci horkých výfukových plynů. Tím dojde k rychlejšímu ohřevu katalyzátoru a zvýšení jeho účinnosti. Tento princip by nebyl možný u jiného typu vstřikování než vícebodové příčné.

Pozn.: U motoru 1.4 16V bez použití systému sekundárního vzduchu a zpětného vedení (EGR) by splňoval emisní normu EURO 2, možná EURO 3.

5 Úprava slofení výfukových plyn pouffitím oxida ního, t íslofkového a zásobníkového katalyzátoru

šPodíly –kodlivin ve výfukových plynech lze snížit pouffitím vhodného paliva (nízkosirnaté, bezolovnaté), technickými opat eními na motoru nebo dal-í úpravou výfukových plyn (sekundární vzduchový systém, katalyzátor).⁶⁷

5.1 Opat ení na motoru

šDokonalejším spalováním sm si paliva a vzduchu a snížením spot eby paliva se snižuje vznik –kodnin. Kvalitu výfukových plyn lze zlep-ít následujícími technickými opat eními na motoru:

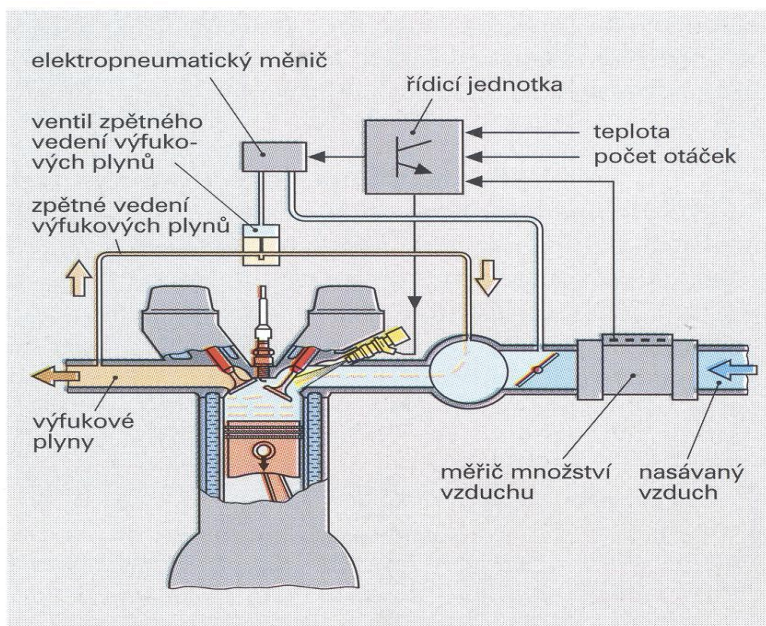
- Vhodná konstrukce motoru (uspo řádání spalovacího prostoru, kompresní pom r, asování rozvodu, sací potrubí s prom nlivou délkou, snížení t ení apod.),
- Druh a kvalita tvorby a slofení sm si (karburátor, vst íkovací za ízení, sm –ovací pom r),
- ízení okamfiku zářehu (optimalizace zapalování),
- Decelerace p í tzv. brzd ní motorem , uzav ením p ívodu paliva p í otá kách motoru vy–ích neř asi 1600 1/min,
- Selektivní vypínání (odpojování) válc ,
- Zp tné vedení výfukových plyn (recirkulace).⁶⁸

⁶⁷ Rolf Gscheidle a kol.: *P íru ka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str. 311), ISBN 80-85920-83-2

⁶⁸ Rolf Gscheidle a kol.: *P íru ka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str. 311), ISBN 80-85920-83-2

5.2 Zpětné vedení výfukových plynů

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



Obr. 23: Zpětné vedení výfukových plynů⁶⁹

Špětným vedením výfukových plynů se válce méně plní směsí paliva a vzduchu. Protože se převedené výfukové plyny již nemohou podílet na spalování, snižuje se teplota spalování. Při spalování vzniká výrazně méně oxidu 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 horní hranici recirkulace, která je asi 15 až 20%. Při příliš vysokém podílu zpětného vedení výfukových plynů se navíc zhoršuje i rovnoměrnost chodu motoru.⁷⁰

⁶⁹ Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str. 311), ISBN 80-85920-83-2

⁷⁰ Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str. 311), ISBN 80-85920-83-2

šZp tné vedení výfukových plyn se používá p i motoru zah átém na provozní teplotu v oblasti áste ného zatížení a = 1. Vypíná se vřdy, kdyřl se spaluje bohatá sm s paliva a vzduchu, p i které vzniká málo slou enin NO_x, nap . p i spou-t ní studeného motoru, jeho oh ívání na provozní teplotu, akceleraci, plném zatížení. P i chodu naprázdno se zp tné vedení výfukových plyn kv li klidnému chodu motoru vypíná.⁷¹

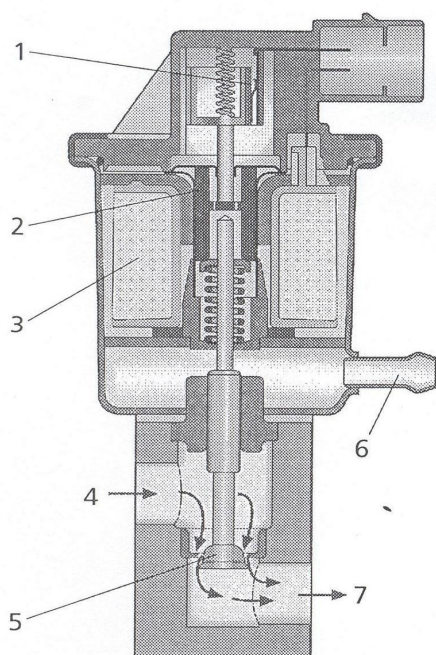
P i ízení zp tného vedení výfukových plyn je do zp tného potrubí a sací potrubí umíst n ventil zp tného vedení výfukových plyn EGR (angl. Exhaust Gas Recirculation). Zp tné vedení má i své nevýhody a to: zne i-t ní sacího potrubí, talí k a d ík sacích ventil ; nasávání teplého vzduchu prost ednictvím výfukových plyn , který zp sobí zmen-ení objemu nasátého vzduchu do válce; vy-í podíl recirkulovaných plyn snifující výkon motoru.

5.2.1 Elektromagnetický ventil zp tného vedení (EGR)

Jedná se o za ízení, které se nachází na hlav válc , spojený s výfukovým potrubím jednoho z válc motoru. Princip spo ívá v tom, řle p i dané teplot chladící kapaliny dojde k pohybu ventilu sm rem dol (viz obr. 24) a následnému uvoln ní výfukových plyn sm rem do sacího potrubí. Mnořství uvoln ných výfukových plyn je ízeno podle datového pole ídící jednotky motoru. ídící jednotka zpracovává tzv. vstupní informace a to: otá ky motoru, zatížení motoru, aktuální atmosférický tlak vzduchu a danou teplotu chladící kapaliny. Otvírání a zavírání ventilu se uskute ní za pomoci potenciometrického sníma e (se zp tnou vazbou) spojený s ídící jednotkou. řB hem regula ních fází musí docházet k vyrovnání tlak , cofl je e-eno p ímím propojením do vzduchového isti e sání.⁷²

⁷¹ Rolf Gscheidle a kol.: *P íru ka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.311) ISBN 80-85920-83-2

⁷² Mario René Cedrech, Ji í Schwarz: *Automobily řkoda Fabia*, druhé roz-í ené vydání, ISBN 80-247-0307-6



Obr. 24: z elektromagnetickým ventilem⁷³

Popis obrázku:

1 potenciometr, 2 kotva, 3 cívka, 4 vstup výfukových plyn od motoru, 5 ventil, 6 vedení ke vzduchovému iisti i sloufící k vyrovnání tlak , 7 výstup k sacímu potrubí

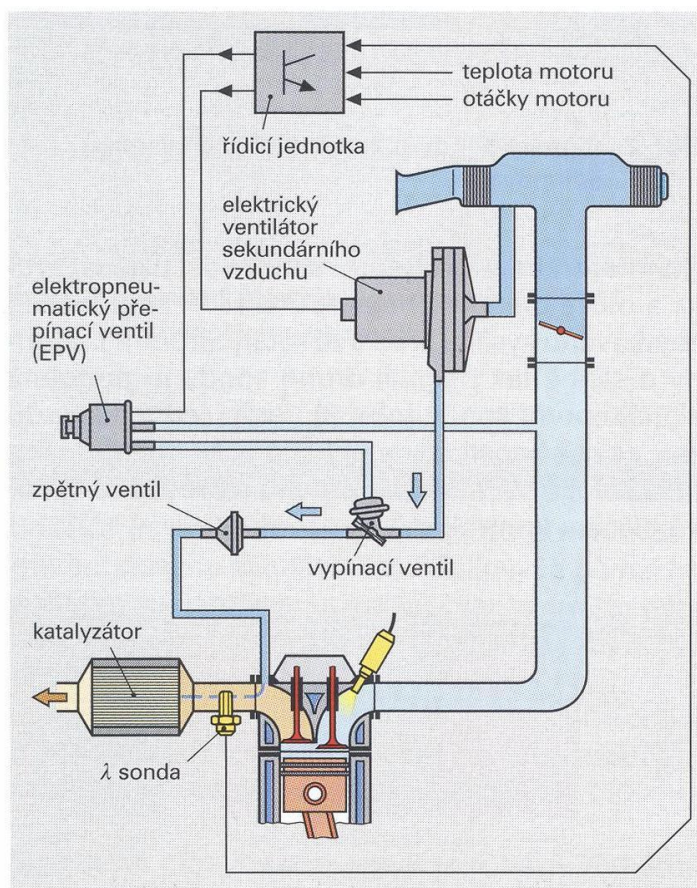
5.2.2 Sekundární vzduchový systém

Dal-í ze zp sob sniflování -kodlivin z výfukových plyn , p eváfln HC a CO sloufí sekundární vzduchový systém, který pracuje na principu dodate ného vyfukování vzduchu do sb rného výfukového potrubí p ed t ícestný katalyzátor ve fázi spou-t ní studeného motoru a následného oh evu kde ($\lambda < 1$). Tento princip je pouflíván také u motoru Třkody Fabia 1.4 16V společ n se zp tným vedením výfukových plyn pro spln ní emisní normy EURO 4.

⁷³ Mario René Cedrech, Ji í Schwarz: *Automobily Třkoda Fabia*, druhé roz-í ené vydání, ISBN 80-247-0307-6

Princip: řídící jednotkou je ovládán ventilátor znázorněný na (obr. 25) v závislosti na teplotě motoru a elektropneumatický přepínací ventil. Teplota při startu se pohybuje v rozmezí + 5°C až + 33°C po dobu 100 sekund se vhání vzduch za výfukové ventily a do + 96°C po dobu 10 sekund. Platí pro motor 1.4 16V (55kW). Přívod vzduchu do sekundárního potrubí před katalyzátor je přiveden vypínacím ventilem a zpětným ventilem. Tím dochází ke spálení neshořelých částí paliv, čímž dojde k ohřevu katalyzátoru. Vypínací ventil je ovládán pomocí elektropneumatického přepínacího ventilu a zpětný ventil slouží k zadržení tlaku z výfukových plynů. Mohlo by totiž dojít k poškození ventilátoru.

Výhodou sekundárního vzduchového systému je, že dochází k rychlému prohřátí katalyzátoru na provozní teplotu. Proto se může katalyzátor umístit dále od sekundárního potrubí kde není tak vysoká teplota z důvodu zvýšení jeho životnosti.



Obr. 25: Schéma sekundárního vzduchového systému⁷⁴

⁷⁴ Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.311) ISBN 80-85920-83-2

5.3 Úprava výfukových plynů v katalyzátoru

Úprava výfukových plynů se provádí proto, aby se v nich obsažené škodliviny, vznikající při spalování paliva, zcela nebo částečně odstranily na neškodné, případně méně škodlivé látky. V současnosti je nejúčinnějším postupem úprava složení výfukových plynů za pouhnutí katalyzátoru. Katalyzátor svou přítomností umožňuje chemickou přeměnu škodlivin na jiné látky, aniž by se přítomně sám opotěbovával, protože se vlastních chemických reakcí přímě účastní.⁷⁵

5.4 Účinnost a rozložení katalyzátoru

Nejčastěji používanými katalyzátory jsou oxidace a redukce, tzv. *trícenné katalyzátory*, nebo-li (třísložkové 3w). Tímto nepřímým způsobem se má vyjádřit, že v jednom trícenném katalyzátoru probíhají současně vedle sebe tři chemické proměny (reakce).

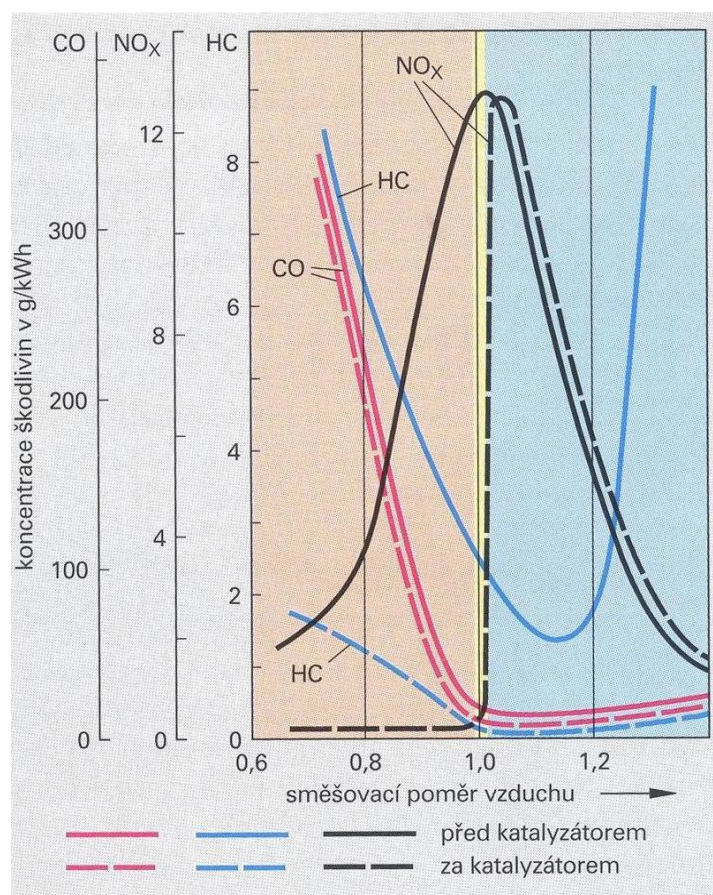
- NO_x se redukuje na dusík (uvolně se kyslík),
- CO oxiduje na CO₂ (spotěbovává se kyslík),
- složeny HC oxidují na CO₂ a H₂O (spotěbovává se kyslík).⁷⁶

Aby tyto chemické reakce mohly proběhnout, je nutné, aby katalyzátor dosáhl teploty zahajující reakci a směs vzduchu a paliva zhruba odpovídala stechiometrickému množství přebytku vzduchu ($\lambda = 1$). Katalyzátor podporuje nejúčinněji přeměnu škodlivin jen ve velmi úzké oblasti směsovacího poměru. Tato oblast označovaná jako okno, nebo katalyzátorové okno (obr. 35) je v rozmezí množství přebytku vzduchu $\lambda = 0,995$ až $1,00$.

⁷⁵ Rolf Gscheidle a kol.: *Průruka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.311) ISBN 80-85920-83-2

⁷⁶ Rolf Gscheidle a kol.: *Průruka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.312) ISBN 80-85920-83-2

Při tomto poměru paliva a vzduchu vznikají výfukové plyny ve složení, při kterém kyslík, který vzniká při redukci oxidu dusíku, postačuje k tomu, aby podíly HC a CO ve výfukových plynech téměř úplně zoxidovaly na CO_2 a H_2O . Bohatší směs ($\lambda < 0,99$) má za následek nárůst podílu CO a HC ve výfukových plynech a naopak chudší směs ($\lambda = 1,00$) vede k nárůstu podílu oxidu dusíku (obr. 26).⁷⁷



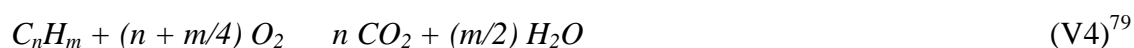
Obr. 26: Redukce škodlivin

Dále pro zážehové motory provozované s $\lambda \gg 1$ (zpravidla používané plynové zážehové motory) a pro některé typy vozidlových vznětových motorů se používají **oxidací** (dvousložkové) katalyzátory (CO, C_nH_m) jejich vhodné seřízení zajišťuje nízkou produkci zbývajících složek NO_x . Pro vznětové (naftové) motory, u

⁷⁷ Rolf Gscheidle a kol.: *Průruka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.312) ISBN 80-85920-83-2

kterých se nepodaří dosáhnout vhodným seřízením motoru dostatečně nízkých koncentrací NO_x ve spalínách, lze snížit emise NO_x pomocí *selektivního katalyzátoru* (SCR) ve výfukovém systému motoru (selektivní katalyzátor se zpravidla nejčastěji používá u stacionárních motorů v energetice).

Oxidací katalyzátor (dvousložkový, dvoucestný o 2w) snižuje ve výfukových plynech koncentrace nespálených uhlovodíků HC a oxidu uhelnatého CO o mechanismus procesu šíření nespálenin uvnitř katalyzátoru je obdobný jako u 3w katalyzátoru; přítomný kyslík k uskutečnění oxidačních reakcí je v tomto případě spolehlivě zajištěn provozem motoru na směsi s výrazným přebytkem vzduchu. Oxidační reakce popisují schematické rovnice:



Selektivní katalyzátor (SCR) pro naftové motory snižuje koncentraci NO_x katalytickou redukcí NO_x pomocí vstříkávání vodního roztoku ureavu nebo močoviny (metoda AdBlue), do výfukových plynů s velmi přesným dávkováním v závislosti na koncentraci NO_x ve spalínách. Chemickou reakci popisuje schéma (3), kde je obsah dusíku přítomného ve vodní páře a dusík.



AdBlue je ve vozidlech nainstalována v předavné nádrži a vstříkána do výfukového systému (např. Ford Superb 2.5 V6 TDI). Dmyslný dávkovací systém v kombinaci s SCR-katalyzátorem zajišťuje snížení emisí oxidu dusíku o ca.85% a částic sazí o 40%. Zároveň s tím se také sníží spotřeba pohonných hmot o ca. 5%.

⁷⁸ Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Výfukové emise pístových spalovacích motorů*, TU Liberec

⁷⁹ Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Výfukové emise pístových spalovacích motorů*, TU Liberec

⁸⁰ Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Výfukové emise pístových spalovacích motorů*, TU Liberec

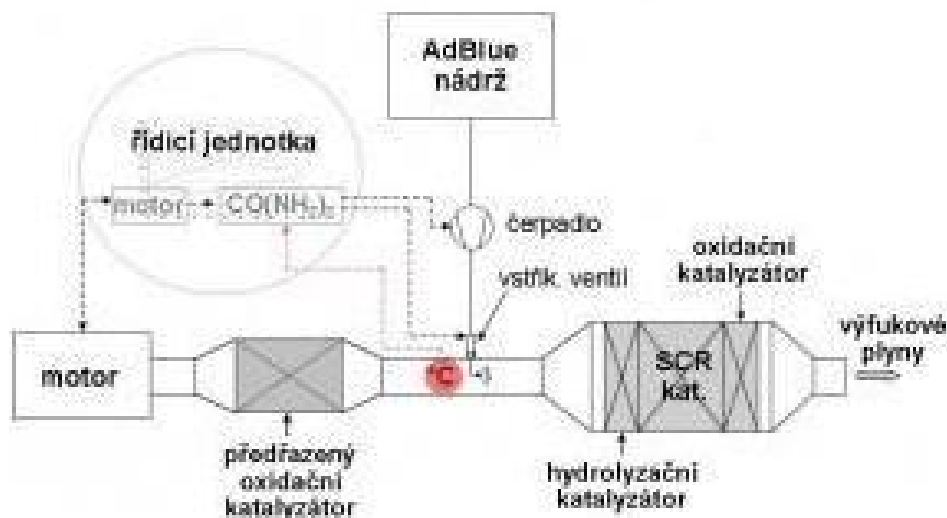
V Evropě již s produkcí a zaváděním nové provozní hmoty na trh začali v-ichni velcí dodavatelé PHM, například společnost OMV, která otevřela po Německu a Rakousku v únoru 2005 první čerpací stanice s AdBlue také v České republice.⁸¹

K zajistění dostatečné účinnosti šikivní (až 85 %) těchto reakcí se teplota spalin musí pohybovat v rozmezí 350 až 420°C a je nutná i kontrola zbytku NH₃ za katalyzátorem. Selektivní katalyzátory jsou používány u stacionárních (průmyslových) motorů a začínají se prosazovat i do automobilových vznětových motorů.

Na obr. 27 je náčrt uspořádání katalyzátoru ve výfukovém systému vozidlového vznětového motoru: škodliviny ve výfukových plynech jsou postupně odstraňovány v oxidacním katalyzátoru (CO, HC), v selektivním katalytickém reaktoru (SCR až NO_x) a emise pevných částic (PM) mohou být výrazně sníženy ještě ve speciálním zachycovači částic (na obr. 24 není zachycovač zakreslen).

V dnešní době umožňuje metoda SCR realizovat snížení emisí oxidu dusíku a částic sazí a tím společnost dodržet požadované toleranční hodnoty, spadající do normy EURO 5. Díky tomu se tato dodatečná úprava výfukových plynů dostává čím dál tím více do státního zájmu.

⁸¹ Dostupné z: < <http://www.gpdcb.cz/products/metoda-src-selective-catalytic-reduction/> >



Obr. 27: Úprava složení výfukových plynů systémem SCR⁸²

Selektivní katalyzátor DeNO_x pro benzínové motory patří do skupiny katalyzátorů typu SCR (= Selektivní katalytická redukce). U klasického trojčlenného katalyzátoru je do spalovacího motoru nasávána zápalná směs s hodnotou $\lambda = 1$, tím jsou škodliviny ve výfukových plynech téměř odstraněny.

Jelikož motory s přímým vstřikem paliva pracují s hodnotou $\lambda > 1$ (chudá směs), dochází při spalování ke zvýšení oxidu dusíku (NO_x), aby došlo ke snížení škodlivých složek je zde kromě platiny také iridium (poprvé použité firmou Mitsubishi). Vlastnost iridia je taková, že dokáže pracovat s vyšší účinností než předchozí rhodium. Kromě iridia, také přicházejí v úvahu další, jako oxid hlínku nebo zeolitové krystaly.

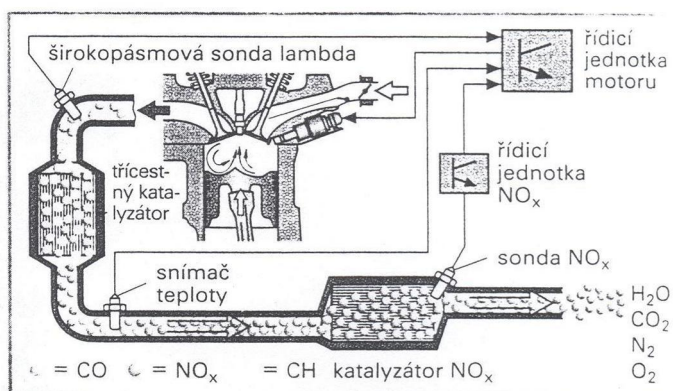
Redukční reakce v katalyzátoru jsou podporovány přítomností nespálených složek. Dostatek uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého (CO) je zajištěn například obohacením směsí při zrychlování, umělé zhoršením spalování ve válcích (například změnou úhlu předstihu zážehu), nebo dodatečným vstřikem paliva po jeho vyhoření.

⁸²Dostupné z: < <http://www.gpdcb.cz/products/metoda-src-selective-catalytic-reduction/> >

Jde samozřejmě o velmi malé množství paliva, aby nedocházelo ke zvýšení spotřeby a také teplota katalyzátoru zůstala ve vyhrazených mezích. Širokopásmový katalyzátor DeNOx pracuje s dobrou účinností pouze v úzkém teplotním pásmu. Znamennou roli hraje přítomnost síry v palivu. Síra v palivu omezuje účinnost katalyzátoru a urychluje jeho stárnutí.

Do roku 2000 se v Evropě pohyboval obsah síry v rozsahu 200 ppm až 500 ppm. V rámci EU se obsah síry od roku 2000 snížil u benzínu na nejvýše 150 ppm. Na 50 ppm se má obsah síry zredukovat po dříve rokem 2005 (pro názornost, v Japonsku je obsah síry v palivu pouze 8 ppm).⁸³

Mezi další typy katalyzátorů, používaných u zážehových motorů s přímým vstřikem benzínu (např. u motoru FSI) je tzv. **redukční katalyzátor** nebo-li **zásobník NO_x**. U tohoto typu motorů s přímým vstřikem paliva pracují 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 ($\lambda > 1$), tím není možná redukce oxidu dusíku třístupňovým katalyzátorem při těchto zatíženích. Proto se za třístupňový katalyzátor, který je umístěn v blízkosti motoru za ležící zásobník NO_x (obr. 28) pro dodatečné úpravy oxidu dusíku. Konstrukce redukčního katalyzátoru se skládá z keramického nosiče, na kterém je nanášena vrstva ukládacího materiálu jako oxid barnatý (BaO) nebo oxid draselný (KO).

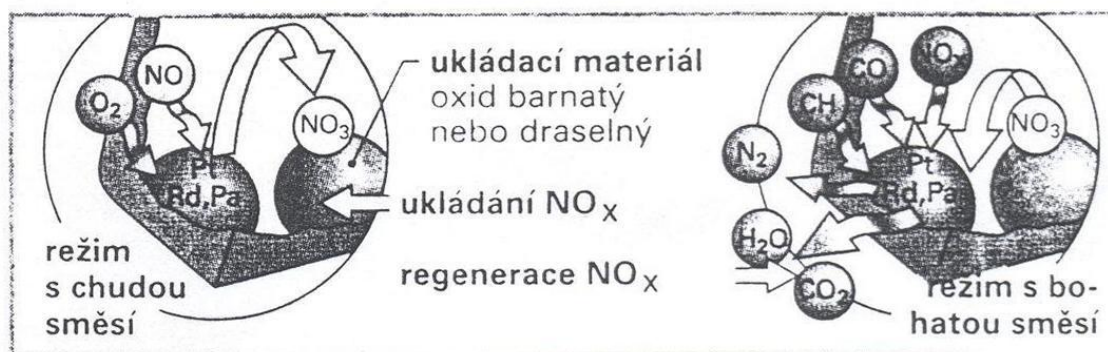


Obr. 28: Zařízení pro snížení výfukových plynů u zážehového motoru s přímým vstřikem benzínu a ($\lambda > 1$)⁸⁴

⁸³ Dostupné z: <<http://www.sossoukyjov.cz/>>

⁸⁴ Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Výfukové emise pístových spalovacích motorů*, TU Liberec

šPrincip (obr.29). Ukládání NO_x. Při režimu s chudou směsí jsou ukládací materiály schopny vázat oxidy dusíku (absorbovat). Když je schopnost ukládání vyerpána, tak to rozezná senzor NO_x. Redukce NO_x. Periodickým obohacováním (1 ó 5 sekund) se oxidy dusíku opět uvolují a pomocí nespálených složek výfukových plynů CH₄ a CO se rhodium (vzácný kov) redukuje na dusík.⁸⁵



Obr. 29: Ukládání a regenerace NO_x.⁸⁶

Vysoký podíl na snížení NO_x má zpravidla vedení výfukových plynů tzv. systém EGR, který sníží podíl oxidu dusíku o 70 %. Jelikož s příchodem nových emisních norem s přísnými limity emisních hodnot, začíná ve výfukové soustavě u dnešních vozů s přímým vstřikem benzínu redukovat katalyzátor, zásobník NO_x. Pracovní teplota zásobníku je v rozmezí 300 ó 500°C, překročením teploty 500°C dochází k tepelnému stárnutí katalyzátoru. Aby k tomuto problému nedocházelo je opatřen obtokovým vedením určeným k chlazení. Ukládacím materiálem je oxid barnatý nebo draselný, podmínkou pro ukládání je teplota, která se musí pohybovat v rozmezí již zmíněných 300 ó 500°C. Proto se tento katalyzátor umísťuje dále od motoru za třetí katalyzátor. Šco se týká podílu síry v palivu by měl být < 0,050 mg (< 0,050 ppm). Jinak dochází ke snížení schopnosti ukládání a došlo by k (šetrav sírou).⁸⁷

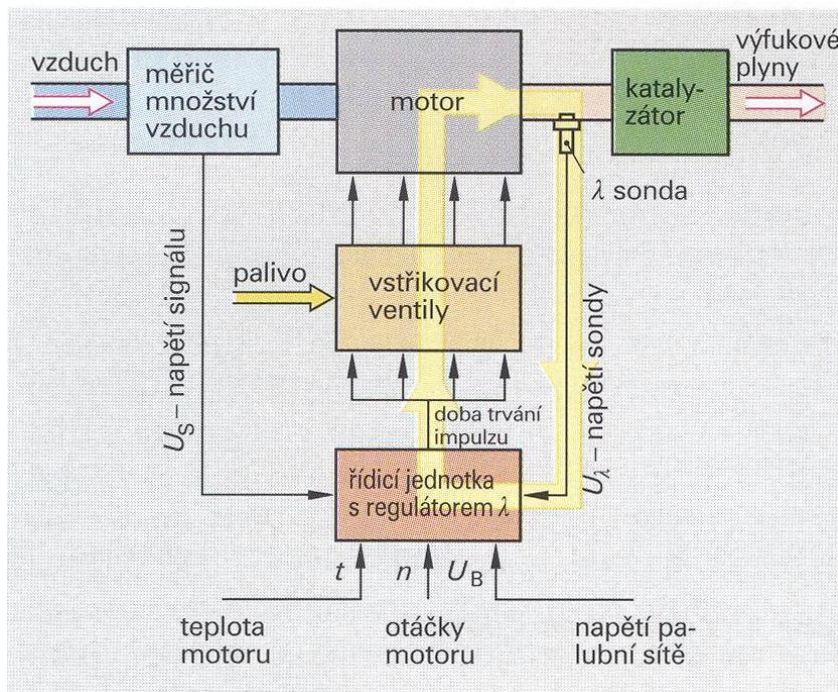
⁸⁵ Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Výfukové emise pístových spalovacích motorů*, TU Liberec

⁸⁶ Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Výfukové emise pístových spalovacích motorů*, TU Liberec

⁸⁷ Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Výfukové emise pístových spalovacích motorů*, TU Liberec

5.4.1 Katalyzátor s řízeným systémem pro úpravu směsi (řízený katalyzátor)

Švhodné složení směsi lze dosáhnout pouze v uzavřeném regulačním obvodu (obr.30). Složení směsi se kontroluje podle složení výfukových plynů sondou vzniká. Při odchylkách od přebytku vzduchu $\lambda = 1$ (okno, obr. 26) se složení směsi postupně koriguje. V tomto případě mluvíme o katalyzátoru s řízeným systémem tvorby směsi, nepřímo označovaném jako řízený katalyzátor. Maximální míra přeměny (účinnost) katalyzátoru je 94 až 98%, tzn. řádově 94 až 98% -kodlivin se přemění na neškodné látky.⁸⁸



Obr. 30: Funkční schéma L_ó Jetronicu s regulací ⁸⁹

⁸⁸ Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.313) ISBN 80-85920-83-2

⁸⁹ Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.313) ISBN 80-85920-83-2

5.4.2 Katalyzátor s neřízeným systémem pro řízení směsi (neřízený katalyzátor)

Není zde použita sonda. Tvorba směsi je podle systému tvorby směsi řízena jen v závislosti na provozních stavech motoru a složení výfukových plynů se nekontroluje. Katalyzátory s neřízeným systémem tvorby směsi dosahují účinnosti jen asi 60%. Používali se u motorů s karburátorem.

5.5 Provozní podmínky a kontrola katalyzátoru

Katalytické reakce mohou probíhat jen pokud je teplota katalyzátoru vyšší než asi 250°C (teplota zahajující reakci). Pro dosažení této teploty po spuštění studeného motoru je možné zkrátit dobu ohřevu umístěním katalyzátoru blízko motoru, vyhříváním katalyzátoru, izolovaným samostatným výfukovým potrubím, nebo velkým zkrácením předstihu zážehu (až o 15°). Optimální pracovní teplotní oblast katalyzátoru je: 400 až 800°C. Při teplotě vyšší než přibližně 800°C začíná tepelné stárnutí katalyticky aktivní vrstvy. Pokud se v katalyzátoru dosahuje teplot více než 1000°C, tak se tepelně trvale poškodí, spálí (obr. 31). K tomu může dojít například v důsledku vynechávání zapalování. Při této poruše se do katalyzátoru dostane nespálené palivo, které zde shoří se zbytkovým kyslíkem ve výfukových plynech.⁹⁰



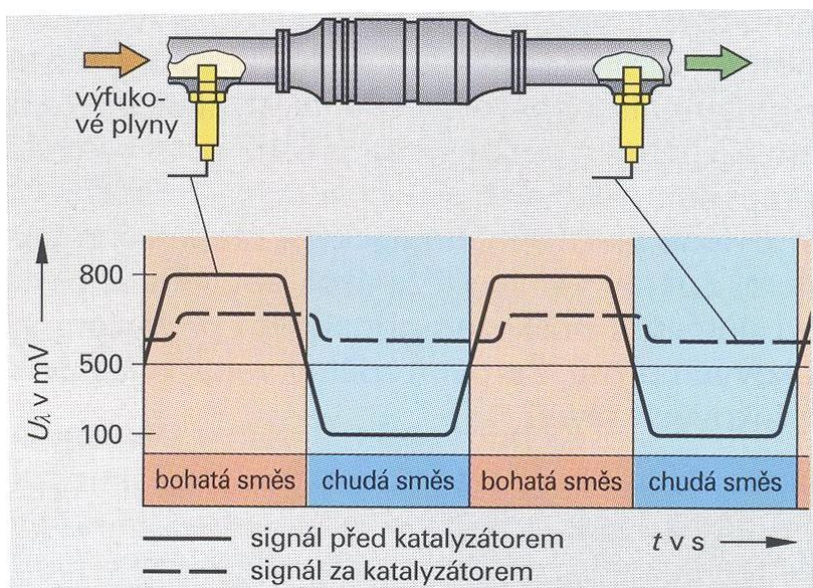
Obr. 31: Roztavený katalyzátor⁹¹

⁹⁰ Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.313) ISBN 80-85920-83-2

⁹¹ Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.313) ISBN 80-85920-83-2

Aby katalyticky aktivní vrstva neztratila svou účinnost vlivem zanesení (kontaminace), musí se u motorových vozidel s katalyzátory používat výhradně bezolovnatý benzin. Na katalyticky aktivní vrstvu se mohou usazovat také zbytky motorového oleje ze spalování, například jsou-li poškozené pístní kroužky nebo dochází-li k nadměrnému opotřebení válců.

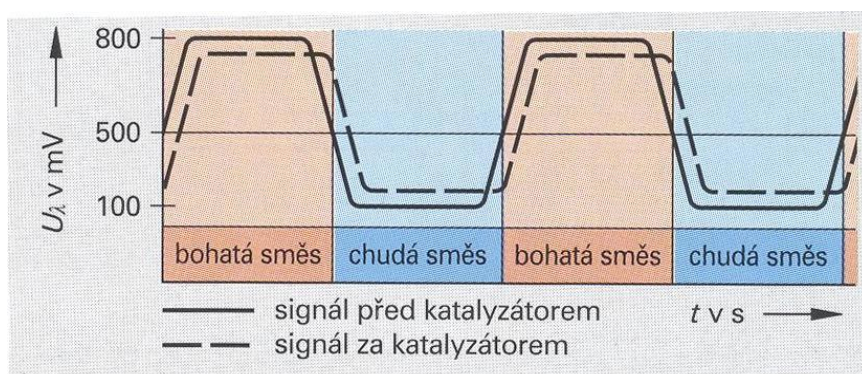
Ke kontrole funkce katalyzátoru slouží použití druhé sondy (obr. 32), která je umístěna za katalyzátorem. Řídící jednotka motoru posuzuje signály obou sond. Regulace bohatosti směsi signály z první sondy způsobuje oscilaci mezi bohatou a chudou směsí. Protože katalyzátor má schopnost ukládat kyslík s vysokou účinností, osciluje napětí druhé sondy mírně kolem střední hodnoty.



Obr. 32: Signály sondy u katalyzátoru s vysokou účinností⁹²

⁹² Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.316) ISBN 80-85920-83-2

Tuto schopnost ztrácí katalyzátor samozřejmě stárnutím, proto se snižuje schopnost ukládat kyslík a méně oxidovat méně CO a HC. V ten moment je obsah zbytkového kyslíku před a za katalyzátorem podobný, signál první a druhé sondy je téměř totožný (obr. 33). Řídící jednotka v ten moment rozezná podobnost obou signálů a malou účinnost katalyzátoru, poruchu uloží a vyhodnotí chybové hlášení na kontrolce.



Obr. 33: Signály sondy u defektního katalyzátoru⁹³

⁹³ Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.316) ISBN 80-85920-83-2

6 Konstrukce provedení lambda sond a katalyzátor

6.1 Teorie (a historie) sondy

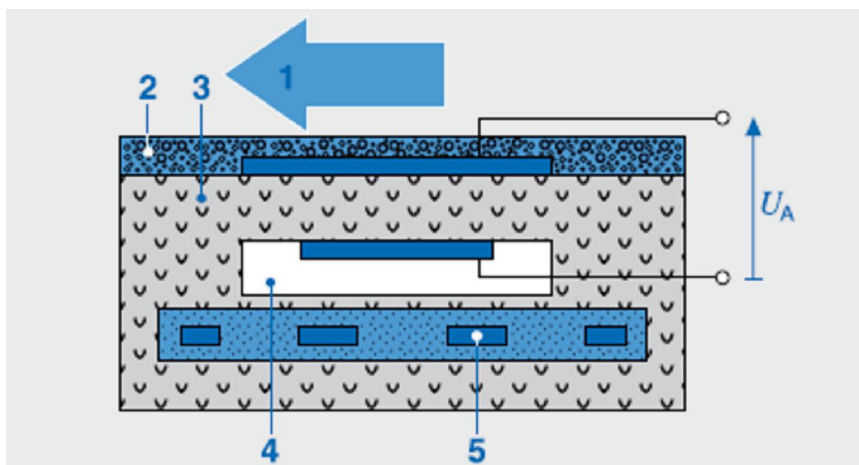
šLambda sonda představuje v principu kyslíkový vánek, schopný měřit koncentraci kyslíku ve sledovaném prostředí. Tento princip je znám více jak sto let a vidíme za něj německému fyzikovi a chemikovi Waltheru Nernstovi. V popisech činnosti lambda sond se setkáváme s pojmem Nernstův vánek označující soustavu elektrod na keramickém nosiči a představující střešní komponent celé lambda sondy. Není bez zajímavosti třeba princip lambda sondy, nebo přesněji Nernstova váneku, byl používán v praxi již dávno v minulosti, kdy na jeho základě byla měřena koncentrace kyslíku při tavení kovů.⁹⁴

6.2 Funkce dvoubodové i skokové sondy

Na obr. 34 vidíme schématické zobrazení planární skokové lambda sondy. Na keramickém materiálu z kyslíčnanu zirkonu jsou umístěny elektrody z platiny, ze kterých jsou vyvedené elektrické vývody ven z tělesa sondy. Jedna elektroda je vystavena spalinám ve výfukovém potrubí, na druhou elektrodu přichází vzdušný kyslík z referenčního vzduchového kanálku. Měříme tedy tedy, že jedna elektroda měří (š vnímá) konstantní koncentraci kyslíku ze vzduchu (což je přibližně 21%) a druhá elektroda, která je vystavená spalinám, potom š vnímá proměnnou koncentraci kyslíku v proudu výfukových plynů měří se podle okamžité bohatosti směsi.⁹⁵

⁹⁴ Tř. pán Jiřínský, *Osciloskop a jeho využití v autoopravárenské praxi*, ISBN 80-247-1417-5

⁹⁵ Tř. pán Jiřínský, *Osciloskop a jeho využití v autoopravárenské praxi*, ISBN 80-247-1417-5



Obr. 34: Planární (skoková) lambda sonda LSF4⁹⁶

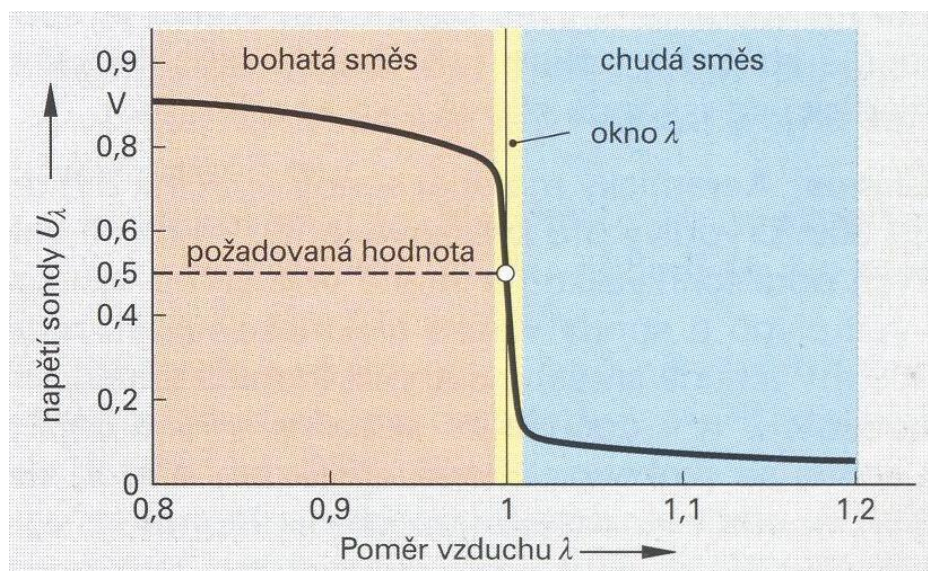
Popis obrázku:

1 spaliny, 2 porézní keramická ochranná vrstva, 3 měřicí láněk s mikroporézní vrstvou z u-lechtílého kovu, 4 referen ní vzduchový kanál, 5 vyh ívací prvek, U_A výstupní nap tí

U této platinové elektrody, která je vystavená spalinám z proudu výfukových plyn , dochází k tzv. katalytickým reakcím, je to možné p írovnat k funkci malého oxida ního katalyzátoru. Výsledkem je nulová koncentrace kyslíku na povrchu vn j-í elektrody p í bohaté sm si. Na opa né elektrod vystavené referen nímu vzdu-nému kyslíku je velká koncentrace kyslíku. Vlivem rozdílu kyslíku mezi t mito m ícími elektrodami dochází tzv. ke kyslíkovému spádu, což zp sobí pohyb kyslíkových iont keramickým materiálem mezi elektrodami. Tím dochází k uvol ování elektron a vzniku náboje nebo-li hromad ní náboje na jednotlivých elektrodách. Jelikož každá elektroda elí rozdílnému prost edí (jinému množství vzduchu), je i náboj elektrod r zný a tudí i elektrický potenciál elektrod je rozdílný. Výsledkem je vznik elektrického nap tí mezi elektrodami. Aby do-lo k pohybu kyslíkových iont keramickou vrstvou, musí být teplota okolo 350°C. P í této teplot se stává tento keramický materiál vodivý pro kyslíkové ionty, ale optimální íinnost lambda sondy je dosahováno p í teplot cca. 600°C. K rychlému dosažení této teploty slouží elektrické vyh ívání, které je umíst né do t lesa sondy.

⁹⁶ Dostupné z: < <http://auto.amoskadan.cz/texty/pripravasmesi.htm> >

Na obr. 35 máme znázorněnou provozní charakteristiku, jedná se o závislost mezi výstupním napětím sondy a souinitелеm přebytku vzduchu ve směsi označované jako λ . Z obrázku tedy vyplývá, pokud je hodnota $\lambda < 1$, je ve směsi málo vzduchu, tudíž směs je bohatá. Opačně pro $\lambda > 1$ je přítomno velké množství kyslíku a směs se stává chudá. Je-li $\lambda = 1$ je množství vzduchu a paliva ve směsi v nejlepší poměru, jedná se o tzv. stechiometrickou směs, která má nejlepší vlastnosti co se týče spalování. Vyznačuje se tím, že při jejím hoření a následných reakcích v třístupňovém katalyzátoru vzniká nejmenší množství škodlivých látek ve spalinách. Proto při tomto složení, kdy se hodnota souinitелеm přebytku vzduchu přibližuje k hodnotě $\lambda = 1$, dochází v charakteristice sondy ke skokové změně napětí. To znamená napětí, když dosud byla směs bohatá, výstupní napětí sondy se pohybovalo nad hodnotou cca 800 mV. U chudé směsi s hodnotou $\lambda > 1$ prudce klesne výstupní napětí sondy pod cca 200 mV (viz. obr. 32).



Obr. 35: Napěťová charakteristika dvoubodové (skokové) lambda sondy při provozní teplotě 600°C⁹⁷

⁹⁷ Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.313) ISBN 80-85920-83-2

U skokové nebo-li dvoubodové lambda sondy mžeme říci, že dojde pouze k tomu, že směs je buhohatá i chudá. Tudiž chceme-li zjistit přesnou informaci, jak moc je směs bohatá i chudá, tedy přesnou hodnotu koeficientu lambda, nelze touto sondou zjišťovat. Její použití je tak omezeno na regulaci směsi na hodnotu $\lambda = 1$, nebo přesněji na hodnoty v úzkém rozmezí okolo 1. To je však v naprostém pořádku, nebo smyslem regulace bohatosti směsi u konvenčních motorů (s nepřímým vstřikováním paliva) je udržovat bohatost právě v tomto rozmezí ($0,98 < \lambda < 1,01$), kde je dosahováno nejlepší účinnosti třicestného katalyzátoru.

Dnešní doba, která je velmi přesná na emisní hodnoty výfukových plynů a snížení spotřeby paliva je princip nepřímého vstřikování s následným spalováním stechiometrické směsi nevyhovující pro dnešní požadavky. Proto bylo za potřebí nahradit stávající systém nepřímého vstřikování za systém s přímým vstřikováním benzínu, kde je možné dosáhnout zlepšení parametrů motoru (emise, spotřeba).

Používaný způsob směsi se vyznačuje tím, že v motoru se v určitých režimech spaluje velmi chudá vrstvená směs a také se vyskytují reflowy, v nichž se naopak pracuje s velmi obohacenou směsí pro účely švypálení katalyzátoru. Je nutné upravovat a také měřit směs v širokém rozsahu bohatosti (i chudosti), tedy zjišťovat součinitele lambda nejen v těsném okolí hodnoty 1, ale umět zjistit přesně složení směsi v rozsahu hodnot zhruba $0,8 < \lambda < 4$. To už s běžnou, skokovou, lambda sondou nelze. Nezbyvá nejlépe použít lambda sondu takovou, která to zvládne. Jedná se o širokopásmovou lambda sondu.

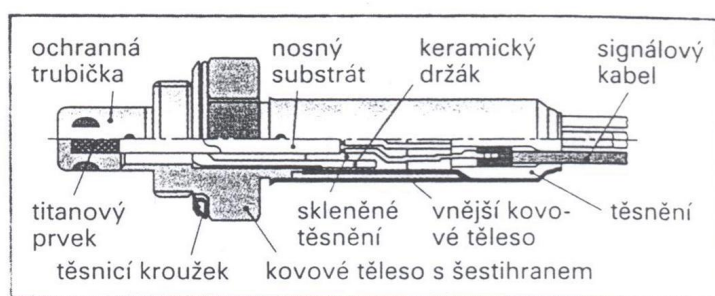
6.3 Princip činnosti odporové sondy lambda

U této sondy je keramické těleso z oxidu titaničtého, potažený platinovými elektrodami (obr. 36). Princip činnosti (obr. 37) této sondy spočívá na množství nebo-li koncentraci kyslíku ve výfukových plynech a teplotě keramického tělesa, kde oxid titanu má nízkou vodivost. Štěpná směs ($\lambda > 1$) má titan oxidu nízkou vodivost nejlépe u bohaté směsi ($\lambda < 1$). U sondy z oxidu titaničtého se skokově mění hodnoty odporu při $\lambda = 1$ mezi 1kΩ (bohatá směs) a 1MΩ (chudá směs).⁹⁸

⁹⁸ Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Výfukové emise pístových spalovacích motorů*, TU Liberec

š V ídící jednotce je m ící odpor sériov ě zapojen k lánku sondy. Pokles nap tí na m ícím odporu se m ní na základ zm ny odporu titanového keramického t lesa v závislosti na koncentraci kyslíku ve výfukových plynech mezi 0,4 V (chudá sm s) a 3,9 ó 5 V (bohatá sm s). Oproti sond ě z oxidu zirkoni ítého (obr. 38) není pot eba srovnávací (referen ní) vzduch. Regula ní kmito et je u neporu-ené sondy v t-í neff 1Hz. Optimální provozní teplota leffí mezi 600 a 700°C. Pro dodrffení této teploty je pot ebné regulované vyh ívání sondy. Od 200°C je sonda p ípravena k provozu, p í emff je regula ní kmito et je je-t p íli-nízky pro p esnou úpravu sm si.õ⁹⁹

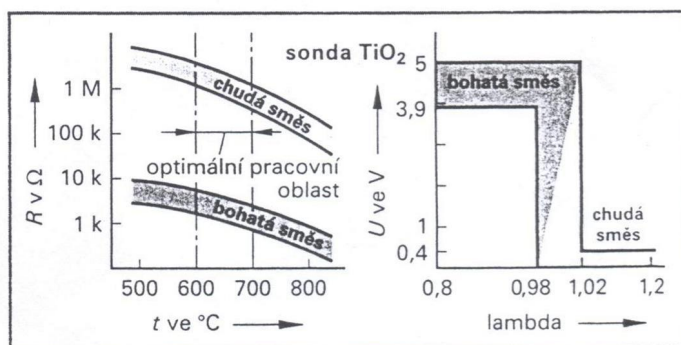
Nad teplotu 850°C m ff dojí ke zni ení sondy. M ffeme tedy íci, ff odporová lambda sonda nem ní nap tí v závislosti na koncentraci, nebo-li množství kyslíku, ale m ní sv j odpor.



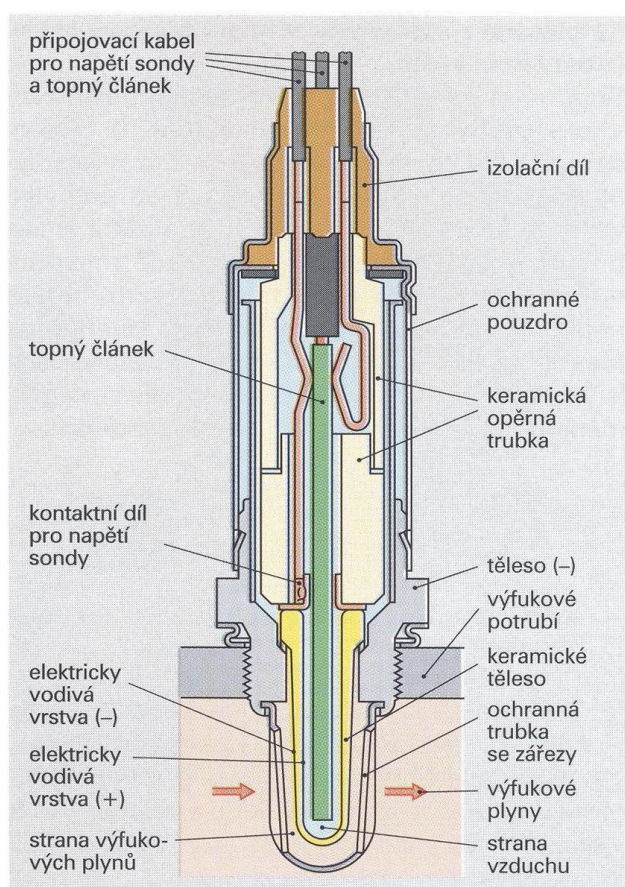
Obr. 36: Sonda z oxidu titani ítého (odporová sonda)¹⁰⁰

⁹⁹ Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Výfukové emise pístových spalovacích motorů*, TU Liberec

¹⁰⁰ Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Výfukové emise pístových spalovacích motorů*, TU Liberec



Obr. 37: Charakteristika odporové sondy ¹⁰¹



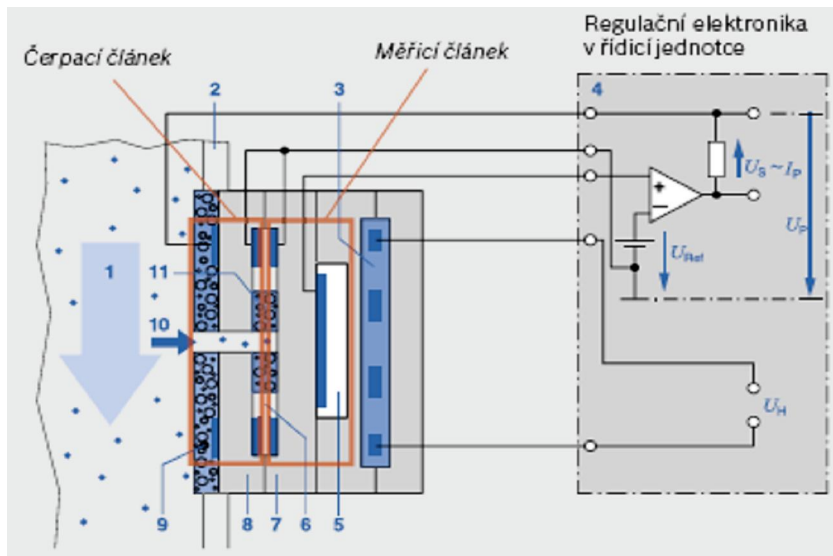
Obr. 38: Sonda lambda z oxidu zirkoni itého ¹⁰²

¹⁰¹ Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Výfukové emise pístových spalovacích motorů*, TU Liberec

¹⁰² Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.314) ISBN 80-85920-83-2

6.4 Princip innosti širokopásmové lambda sondy

Pojem širokopásmová lambda sonda je odvozen od schopnosti měřit složení směsi v širokém rozsahu hodnot koeficientu lambda. Jelikož měření u této lambda sondy probíhá v jiném rozmezí hodnot, než u skokové lambda sondy, musí být konstrukční řešení širokopásmové lambda sondy poněkud odlišné od té skokové sondy. Kromě Nernstova měřicího článku je širokopásmová sonda doplněna o jeden článek, a to čerpací, který je zobrazen na obr. 39.



Obr. 39: Planární širokopásmová lambda sonda¹⁰³

Popis obrázku:

1 spaliny, **2** st na výfukového potrubí, **3** vyhívací prvek, **4** regulační elektronika, **5** referenční komora s referenčním vzduchovým kanálem, **6** difúzní kanálek, **7** Nernst v koncentrační článek, **8** kyslíkový čerpací článek s vnitřní a vnější elektrodou, **9** pórovitá ochranná vrstva, **10** otvor pro vstup plyn, **11** Pórovitá difúzní bariéra, I_p čerpací proud, U_p čerpací napětí, U_H vyhívací napětí, U_{Ref} referenční napětí (450 mV, odpovídá $\lambda = 1$), U_S napětí sondy

¹⁰³ Dostupné z: < <http://auto.amoskadan.cz/texty/pripravasmesi.htm>>

6.4.1 Vnitřní uspořádání sondy

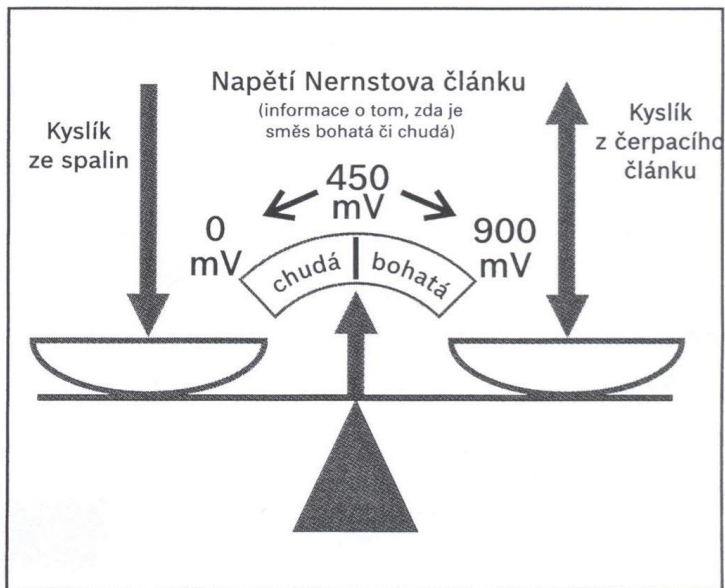
Na obr. 39 je schematicky znázorněno uspořádání měřicího (Nernstova) článku a článku referenčního. Mezi Nernstovým a referenčním článkem je vytvořen malý, asi 10 až 50 mikrometr široký difúzní kanálek o měřicí prostor, kam je přiváděn výfukový plyn z výfukového potrubí. Do cesty je mu ještě vložena porézní difúzní bariéra omezující proud molekul spalin, obsahující kyslík, do měřicího prostoru. Difúzní bariérou se upravuje průběh charakteristiky sondy.¹⁰⁴

Nernst v článku je zde zastoupen se stejnou funkcí, jako u dvoubodové lambda sondy. Zjišťuje tedy obsah kyslíku ve spalinách. Měření je to shodné jako u dvoubodové lambda sondy, kde se porovnává zbytkový kyslík spalin s kyslíkem v referenční komoře s referenčním vzduchovým kanálem, který je propojen s okolní atmosférou, přivádějí na druhou elektrodu Nernstova článku. Do této části by byla funkce této sondy stejná u výše popisované skokové lambda sondy. Nyní si můžeme všimnout podstatný rozdíl mezi těmito lambda sondami. Spívá totiž ve výstupním napětí Nernstova článku, který není výstupním signálem u širokopásmové lambda sondy, kde by podle tohoto signálu měřící jednotka měřila bohatost směsi. Jedná se o jakési pracovní napětí, který se v regulačním obvodu měřící jednotky používá pro vytvoření odpovídajícího referenčního proudu pro referenční článek.

¹⁰⁴ Těpán Jiřínský, *Osciloskop a jeho využití v autoopravářské praxi*, ISBN 80-247-1417-5

6.4.2 M ící m stek (š vyvařování kyslíkuõ)

Na kombinaci Nernstova lánku a erpacího spolu s regula ní elektronikou se m fleme dívat jako na dvouramennou váhu, viz obr. 40. Kde na jedné stran vah p sobí kyslík z výfukových spalin a na druhé p sobí kyslík z erpacího lánku.



Obr. 40: Základní princip –irokopásmové lambda sondy ó š vyvařování kyslíkuõ¹⁰⁵

Podle množství nebo-li okamžitě koncentrace vzduchu ze spalin se jazý ek váhy vychyluje na jednu nebo druhou stranu, podle bohatosti směsi. Poloha jazý ku se stupnicí nám p edstavuje výstupní nap tí Nernstova lánku. Jestliže se nachází v rovnovážné poloze, sou initel p ebytku vzduchu = 1, odpovídající hodnot výstupního nap tí rovno 450 mV (st ed skokové charakteristiky podle obr. 35). šElektronický regula ní obvod v ídící jednotce snímá toto nap tí a vytvá í erpací proud pro erpací lánku, jehož výsledkem je erpání kyslíkových iont do nebo ven z m ícího prostoru Nernstova lánku.õ¹⁰⁶

¹⁰⁵ Tř pán Ji ínský, *Osciloskop a jeho využití v autoopravárenské praxi*, ISBN 80-247-1417-5

¹⁰⁶ Tř pán Ji ínský, *Osciloskop a jeho využití v autoopravárenské praxi*, ISBN 80-247-1417-5

Váha je tedy vyvažována kyslíkem, peerpávaným pomocí erpacího lánku. To znamená, pokud se vyskytne ve výfukovém potrubí spaliny s nízkým obsahem kyslíku, jedná se o výsledek spalování bohaté směsi ve spalovacím prostoru a Nernstova lánka by měla na takovou koncentraci reagovat napětím větší než 450 mV. Váha se bude vychylovat na stranu bohaté směsi a regulační obvod oddrží toto napětí od Nernstova lánku, který musí reagovat okamžitě tím, že začne peerpávat ze spalin proudící výfukovým potrubím přes sondu do měřicího prostoru. Dochází ke zvýšení koncentrace kyslíku v měřicím prostoru a napětí Nernstova lánku bude klesat k hodnotě 450 mV, což odpovídá rovnovážné poloze jazyčku, tedy střední poloze. K udržení tohoto stavu slouží regulační obvod, který dodává jen tak velký erpací proud, aby byl tento stav udržen. Jestliže se bohatost směsi nemění, erpací proud zůstává stálý a udržuje množství nebo-li míru peerpávání kyslíku takovou, aby Nernstova lánka hlásil stále 450 mV.

Velikost erpacího proudu tak představuje informaci o okamžité bohatosti směsi. Jakmile by nyní došlo k tomu, že směs se náhle změní, ochudí regulační obvod v zápatí přijme napětí Nernstova lánku do asi nižší než 450 mV, opat zasáhne, tentokrát tím, že začne od erpávat kyslík z měřicího prostoru ven směrem do spalin ve výfukovém potrubí. Koncentrace kyslíku v měřicím prostoru tak klesá a výstupní napětí Nernstova lánku naroste opět na hodnotu 450 mV. erpání kyslíku ven z měřicího prostoru znamená opačnou polaritu erpacího proudu než tomu bylo v předchozím stavu, kdy se erpal kyslík do měřicího prostoru. Velikost erpacího proudu je opět udržována na takové hodnotě, aby Nernstova lánka hlásil rovných 450 mV. Pokud by došlo k dalšímu ochuzení směsi, tedy směs by se z chudé stala ještě chudší, bude dále probíhat erpání kyslíku stejným směrem, jen s větší intenzitou. Tomu by odpovídal větší erpací proud vytvářený regulačním obvodem.¹⁰⁷

¹⁰⁷ Ing. Jiří Štěrba, *Osciloskop a jeho využití v autoopravářské praxi*, ISBN 80-247-1417-5

6.4.3 Modulace sm si

V jifl p edchozím popisu se uvád lo, fle bohatost sm si se m ní samovoln . šPod pojmem regulace byla my–lena regulace erpacího proudu za ú elem vyváfení Nernstova lánku a tedy zji–t ní okamflité bohatosti sm si. P i chodu motoru v ustáleném režimu (konstantní zatífení motoru) v–ak dochází k neustálým malým zm nám okamflité bohatosti sm si okolo hodnoty $\lambda = 1$ (periodickým zkracováním a prodlufováním doby vst íku). Je to takzvaná modulace sm si, která zlep–uje ú innost p em ny –kodlivin v t ícestném katalyzátoru.¹⁰⁸ ídící jednotka tím získává od lambda sondy momentální stav, tím dochází k tzv. regulaci erpacího proudu, za ú elem zji–t ní okamflité hodnoty bohatosti sm si. U Nernstova lánku se projeví zm na nap tí kolísáním jeho výstupního nap tí v úzkém pásmu okolo 450 mV. šNa erpacím proudu se to projevuje zm nami polarity proudu, p i emfl okamflité hodnoty proudu, podle sm ru p e erpávání bu s kladným i záporným znaménkem, leflí velmi blízko hodnot 0 mA (ádov setiny miliampéru). Zde je t eba k p edchozímu výkladu doplnit, fle p i p esn stechiometrickém slofení sm si ($\lambda = 1$) je erpací proud roven 0 mA.¹⁰⁹

6.4.4 P evodní charakteristika

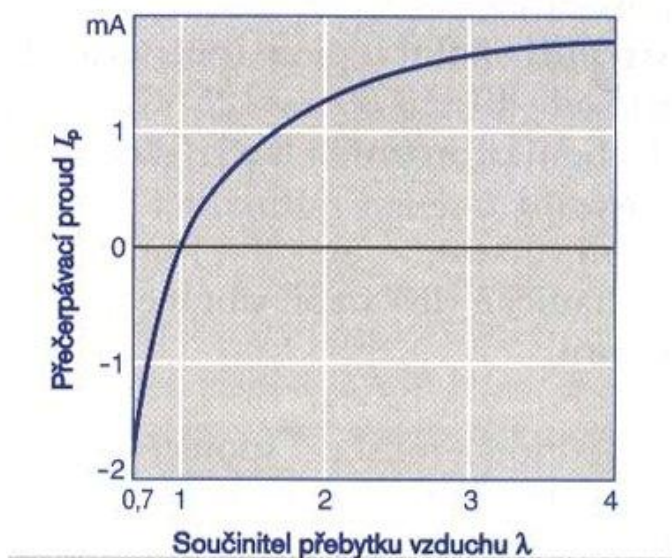
Jedná se o závislost erpacího proudu jakoflto výstupního signálu na bohatosti sm si. šCharakteristika je uvedena na obr. 41. Vidíme, fle p i bohatosti sm si, vyjád ené sou initelem $\lambda = 1$, prochází k ivka proudu hodnotou 0 mA.¹¹⁰ P i hodnot $\lambda < 1$ se hodnota erpacího proudu dostává do záporných hodnot a I_p (erpací proud) má záporné znaménko. Opa n je tomu p i hodnot $\lambda > 1$ zde má erpací prou kladné znaménko.

¹⁰⁸ Tř pán Ji ínský, *Osciloskop a jeho využití v autoopravárenské praxi*, ISBN 80-247-1417-5

¹⁰⁹ Tř pán Ji ínský, *Osciloskop a jeho využití v autoopravárenské praxi*, ISBN 80-247-1417-5

¹¹⁰ Tř pán Ji ínský, *Osciloskop a jeho využití v autoopravárenské praxi*, ISBN 80-247-1417-5

U širokopásmové lambda sondy je hlavním výstupním signálem jímž zmi ovaný erpací proud. Pro okamžitě ur ení bohatosti sm si se m í velikost erpacího proudu a jeho polarita (zda je kladná , i záporná).

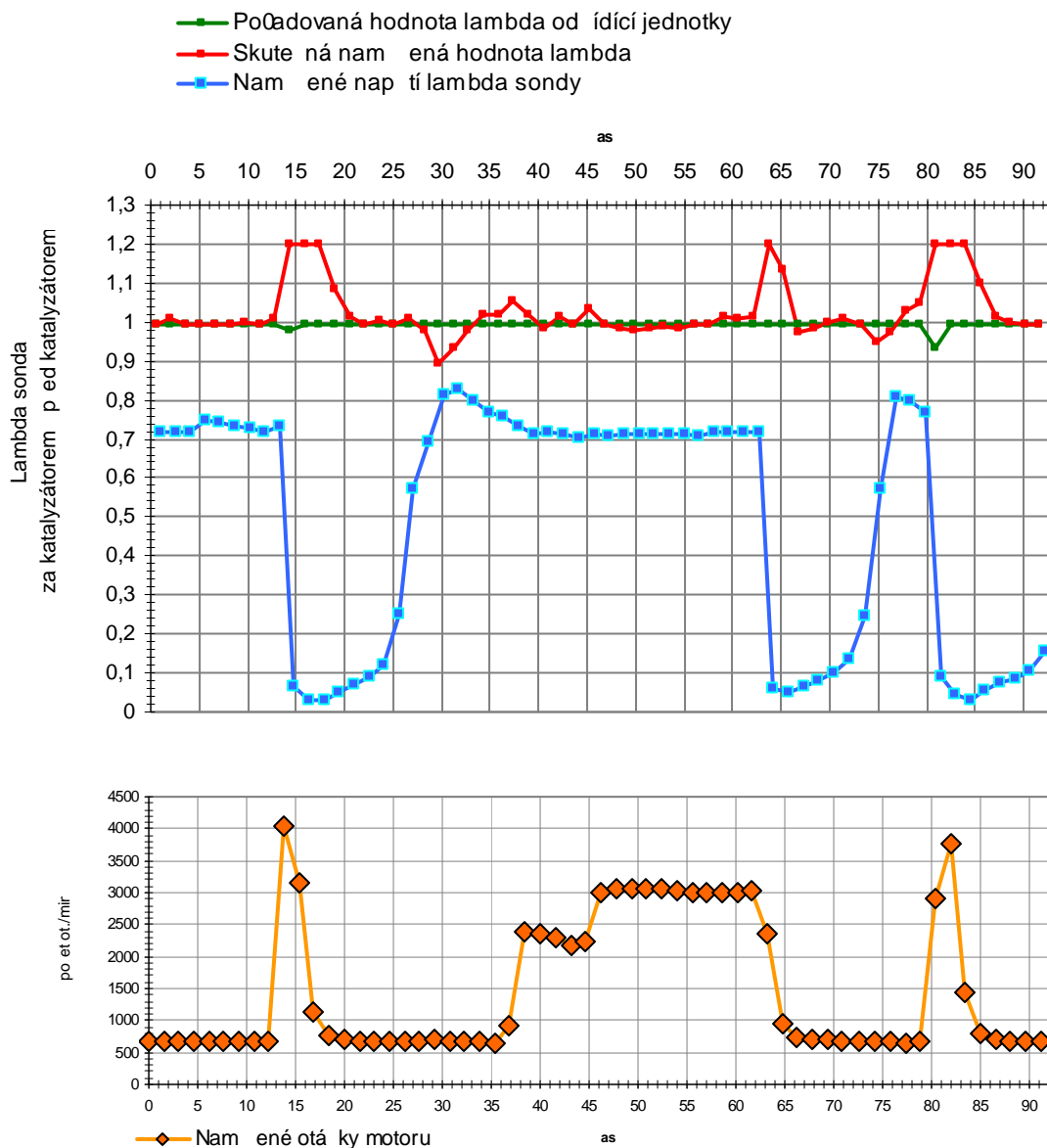


Obr. 41 : erpací proud I_p širokopásmové lambda sondy v závislosti na sou initeli p ebytku vzduchu ve sm si.¹¹¹

Sonda je jako m ící idlo (sníma) umíst na p ed katalyzátorem. Podle obsahu zbytkového kyslíku ve výfukových plynech p edává sonda odpovídající nap ový signál regula nímu lenu v ídící jednotce pro vst ikovací za ízení. ídící jednotka vst ikovacího za ízení porovná tuto skute nou hodnotu s p edepsanou hodnotou pro $\lambda = 1$, nap . 500mV. Pokud je obsah zbytkového volného (chemicky nevázaného) kyslíku ve výfukových plynech nízký (bohatá sm s), je nap tí sondy 800 ó 900 mV. ídící jednotka rozezná bohatou sm s ($\lambda < 1$) a vypo ítá z toho u p eru-ovan pracujícího vst ikovacího za ízení novou, krat-í dobu otev ení vst ikovacích ventil , ímfl se sníflí bohatost sm si afl tak, aby odpovídala stechiometrické sm si, tj. $\lambda = 1$.

¹¹¹ Dostupné z:< <http://auto.amoskadan.cz/texty/pripravasmesi.htm>>

Průběh Lambda sondy před a za katalyzátorem



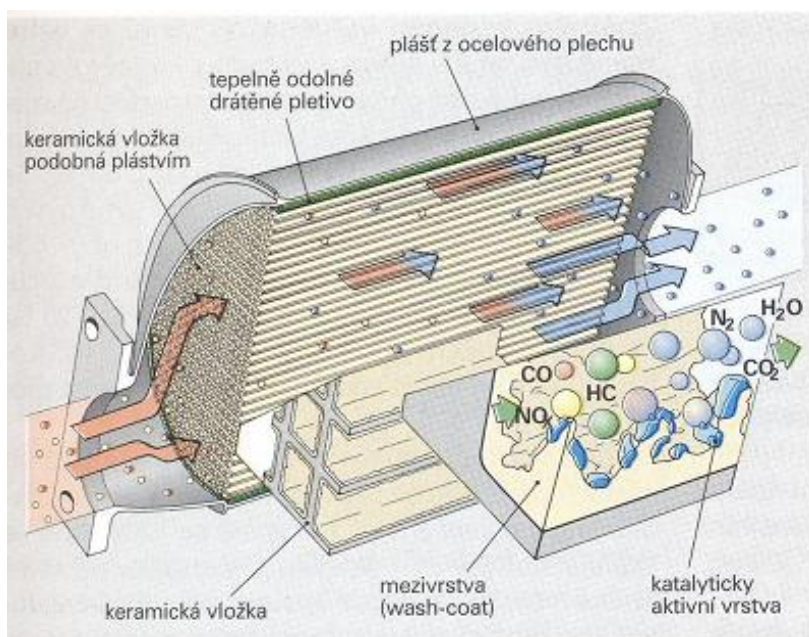
Popis grafu: Znávor uje nám průběh lambda sondy před katalyzátorem pro hodnotu λ a průběh napětí lambda sondy za katalyzátorem uváděné v milivoltech v závislosti na otáčkách motoru v daném časovém úseku. čas byl měřen v sekundách a celková délka testu trvala, jak z grafu vidíme 100 s. Je zde patrné sešlápnutí plynového pedálu v určitém časovém intervalu po určité době. Práv v této části můžeme vidět malou odchylku skutečné naměřené hodnoty lambda od stanovené hodnoty z řídicí jednotky, která je $\lambda = 1$.

Vychýlením od této hodnoty vzniká bohatá nebo chudá směs. Při bohaté směsi je vidět pokles napětí blížíící se k hodnotě 0 mV a u chudé směsi se naopak zvyšuje. Měření se provádělo na stanici emisní kontroly SOTM a SOU Vocelova Hradec Králové.

6.5 Konstrukce a funkce katalyzátoru

Podstatnými součástmi konstrukce katalyzátoru jsou:

- kovová nebo keramická (hliníko-hořčíkový silikát) vložka, tzv. nosič katalyzátoru,
- mezivrstva nazývaná také nosná vrstva (pouze u keramického nosiče),
- katalyticky aktivní vrstva (vlastní katalyzátor).



Obr. 42: Konstrukce a funkce katalyzátoru s keramickou vložkou¹¹²

¹¹² Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.312) ISBN 80-85920-83-2



Obr. 43: Katalyzátor s kovovou vložkou¹¹³

Vložku (nosič) tvoří několik tisíc jemných kanálků, kterými proudí výfukové plyny. Kanálky keramických nosičů jsou opatřeny velmi porézní vrstvou. Účinný povrch katalyzátoru se tím zvětšuje asi 7000 x. Na tuto mezivrstvu, nebo přímo na kovový nosič se napaňuje katalyticky účinná tenká vrstva vzácných kovů, nejčastěji platiny, rhodia a paladia (cca. 2 gramy).¹¹⁴

6.6 Výhody a nevýhody keramického nosiče oproti kovovému

Výhody: U keramického nosiče lze při recyklaci katalyzátoru podstatně jednodušeji získat zpět vrstvu vzácných kovů, než je tomu u kovové vložky, která ale lépe drží konstantní provozní teplotu a v současnosti je i výrobně levnější.

Nevýhody: Keramický nosič je velmi citlivý na nárazy a otřesy. Proto je potřebné jeho uložení do tepelně odolného drátěného pletiva s pláštěm z ocelového (nerezového) plechu. Navíc má nižší teplotní odolnost, delší dobu zahívání a větší protitlak ve výfukovém systému, snižující výkon motoru, jelikož u čtyřtáctého motoru, musí mít výfukové spaliny co nejméně odpor.¹¹⁵

¹¹³ Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.312) ISBN 80-85920-83-2

¹¹⁴ Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.311) ISBN 80-85920-83-2

¹¹⁵ Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, (str.311) ISBN 80-85920-83-2

Závěr

V bakalářské práci jsem zjistil, že u naměřených emisních hodnot zjištěných na stanici emisní kontroly u dvou typů motorů, spadajících do rozdílných emisních norem, kde se jedná o normu EURO 4, do níž spadá motor 1.4 16V a normu EURO 5 do níž spadá motor 1.2 TSI, nejsou rozdíly nijak znatelné, přímý rozdíl normy EURO 4 a EURO 5 je sedmiletý. Podstatné rozdíly se však vyskytly při měření množství HC (uhlovodík). Při měření volnoběžných otáček byl zjištěn rozdíl 12 (ppm) HC a při zvýšených otáčkách byl zjištěn rozdíl 10 (ppm) HC. U ostatních škodlivých látek jako jsou CO₂ (oxid uhličitý), CO (oxid uhlíku) a hodnota λ (lambda) byl minimální rozdíl. Tento rozdíl by byl daleko větší, kdyby motor 1.4 16V neměl opatření, jako je zpevněné vedení výfukových plynů, kde se část spalin z výfuku vrací zpátky do sacího potrubí, a systém sekundárního vzduchu. Naopak motor 1.2 TSI je o tyto systémy ušetřen a jsou zde zastoupeny pouze vstříkovače řízené řídicí jednotkou, která je vyhodnotí pro tzv. dovozk paliva. Tento systém je možný použít pouze u přímého vstřiku paliva. Došel jsem k tomu, že bez použití těchto systémů by dané motory splňovaly jen normy jako jsou EURO 2 nebo EURO 3, což by z hlediska postupného zkvalitnění ovzduší nebylo ideální. Proto jsou tyto systémy pro úpravu škodlivin z výfukových plynů velmi důležitá a v době ochrany životního prostředí téměř nezbytné.

SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

BEROUN, S., SCHOLZ, C.: *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*, Skriptum TU v Liberci, Liberec 2001(str. 66); viz příloha a, b

Dostupné z <<http://www.GSXR.wz.cz>>

Rolf Gscheidle a kol.: *Průručka pro automechaniky*, 2. upravené vydání, ISBN 80-85920-83-2

Dostupné z: <<http://auto.amoskadan.cz/texty/pripravasmesi.htm/>>

Ing. Jiří Štáhl, *Osciloskop a jeho využití v autoopravářské praxi*, ISBN 80-247-1417-5

Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Výfukové emise pístových spalovacích motorů*, TU Liberec

Dostupné z: <<http://www.sossoukyjov.cz/>>

Dostupné z: <<http://www.gpdcb.cz/products/metoda-src-selective-catalytic-reduction-/>>

Mario René Cedrech, Jiří Schwarz: *Automobily Škoda Fabia*, druhé rozšířené vydání, ISBN 80-247-0307-6

Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.: *Vozidlové motory*, Skriptum TU v Liberci

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Hodnoty O_2 , hustoty a oxidační stability pro moderní benziny	20
Tab. 2: Vývoj emisních limitů výfukových kódlivín pro motorová vozidla kategorií M1 a N1	45
Tab. 3: Emisní hodnoty VW Fabia 1.4 16V a 1.2 TSI	49
Tab. 4: Technické údaje motoru 1.4 16V a 1.2 TSI	51

SEZNAM OBRÁZK

Obr. 1: Uhlovodíky s p ímým, rozv tveným a cyklickým et zcem	16
Obr. 2: Destila ní k ivka	17
Obr. 3: Závislost st edního pr m ru kapek benzínu na rychlosti proud ní vzduchu ve sm -ovací komo e karburátoru	24
Obr. 4: Vír sm si s osou kolmou k podélné ose válce	25
Obr. 5: Vír sm si s osou v podélném sm ru válce	25
Obr. 6: Schématické rozložení teplotního pole v blízkosti jisk i-t zapalovací sví ky	28
Obr. 7: Rozdíl mezi molekulární a turbulentní dif zí	32
Obr. 8: Fázování proces tvorby sm si, jejího ho ení a pr b hu rychlosti uvol ování tepla	34
Obr. 9: Pr b h detona ního ho ení v záflehovém motoru	35
Obr. 10: Složení výfukových plyn	38
Obr. 11: T_{K} kodliviny ve výfukových plynech p i r zných sm -ovacích pom rech vzduchu	40
Obr. 12: Výkon a spot eba pohonných hmot p i r zných sm -ovacích pom rech vzduchu	40
Obr. 13: Postup testu podle EHK 83	44
Obr. 14: Znázorn ní pr b hu testu podle EHK 83 na ujetou vzdálenost 11007 m po dobu 1220 s.	44
Obr. 15: Zna ení EURO 2	46
Obr. 16: Zna ení EURO 3	46
	88

Obr. 17: Zna ení EURO 4	47
Obr. 18: Vývoj emisních hodnot EURO ur ující množství NO _x a PM pro <i>benzinové motory</i>	48
Obr. 19: Vývoj emisních hodnot EURO, ur ující množství NO _x a PM pro <i>vzn tově motory</i>	48
Obr. 20: Ukázka motoru 1.4 16V s výkonnostní charakteristikou, kde červená k ivka zna í výkon a modrá to ivý moment motoru	50
Obr. 21: Ukázka motoru 1.2 TSI	50
Obr. 22: Výkonnostní charakteristika motoru 1.2 TSI	51
Obr. 23: Zp tné vedení výfukových plyn	54
Obr. 24: ez elektromagnetickým ventilem	56
Obr. 25: Schéma sekundárního vzduchového systému	57
Obr. 26: Redukce -kodlivin	59
Obr. 27: Úprava složení výfukových plyn systémem SCR	62
Obr. 28: Za ízení pro i-t ní výfukových plyn u záflehového motoru s p ímým vst íkáním benzínu a ($\lambda > 1$)	63
Obr. 29: Ukládání a regenerace NO _x	64
Obr. 30: Funk ní schéma L ó Jetronicu s regulací	65
Obr. 31: Roztavený katalyzátor	66
Obr. 32: Signály sondy u katalyzátor s vysokou ú inností	67
Obr. 33: Signály sondy u defektního katalyzátoru	68
Obr. 34: Planární (skoková) lambda sonda LSF4	70
Obr. 35: Nap ová charakteristika dvoubodové (skokové) lambda sondy p í provozní teplot 600°C	71
Obr. 36: Sonda z oxidu titani ítého (odporová sonda)	73

Obr. 37: Charakteristika odporové sondy	74
Obr. 38: Sonda lambda z oxidu zirkoni itého	74
Obr. 39: Planární -irokopásmová lambda sonda	75
Obr. 40: Základní princip -irokopásmové lambda sondy ó š vyvařování kyslíku	77
Obr. 41 : erpací proud I_p -irokopásmové lambda sondy v závislosti na sou initeli p ebytku vzduchu ve sm si.	80
Obr. 42: Konstrukce a innost katalyzátoru s keramickou vlofkou	82
Obr. 43: Katalyzátor s kovovou vlofkou	83

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

PSM	Pístové spalovací motory
LPG	Zkapalný topný plyn
MTBE	Metylterciár-butyl-éter
O	Oktanové číslo
MM	Motorová metoda
VM	Výzkumná metoda
C	Cetanové číslo
HÚ	Horní úvra
KH	Kliková hřídel
HC	Uhlovodíky
VN	Vysokonapíkový
EHK	Evropská hospodářská komise
EGR	Elektromagnetický ventil zpětného vedení
J	řídící jednotka
PHM	Pohonné hmoty

SEZNAM P ÍLOH

P íloha . 1: Emisní hodnoty p í volnob ěných otá kách pro motor T^MKoda Fabia 1.4 16V

P íloha . 2: Emisní hodnoty p í zvý-ených otá kách motoru 1.4 16V

P íloha . 3: Emisní hodnoty p í volnob ěných otá kách pro motor T^MKoda Fabia 1.2 TSI

P íloha . 4: Emisní hodnoty p í zvý-ených otá kách motoru 1.2 TSI

P íloha . 5: M ění emisních hodnot na p ístroji BOSCH FSA 740

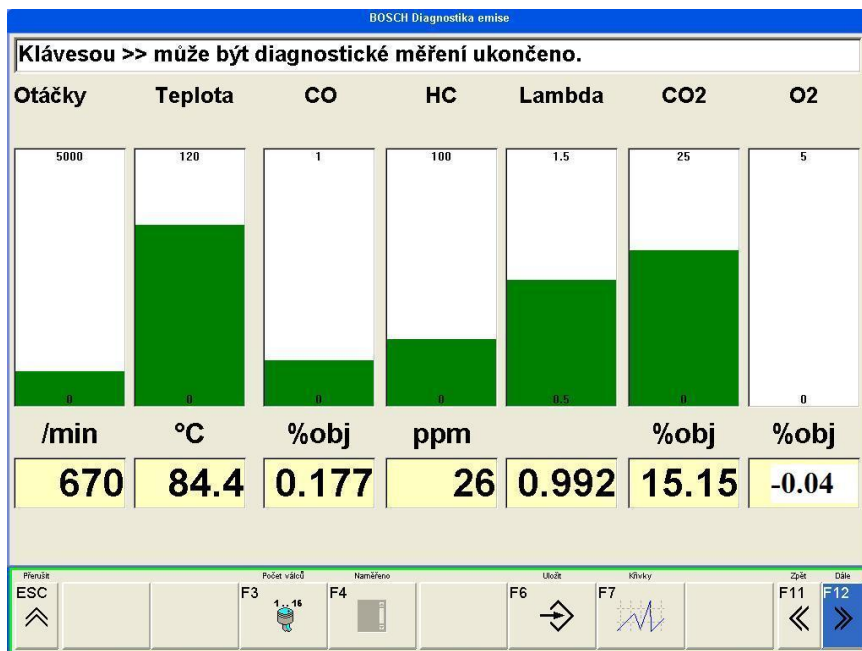
P íloha . 6: P ípojení k p ístroji pro m ění emisí

P íloha . 7: Pohled na motor 1.2 TSI

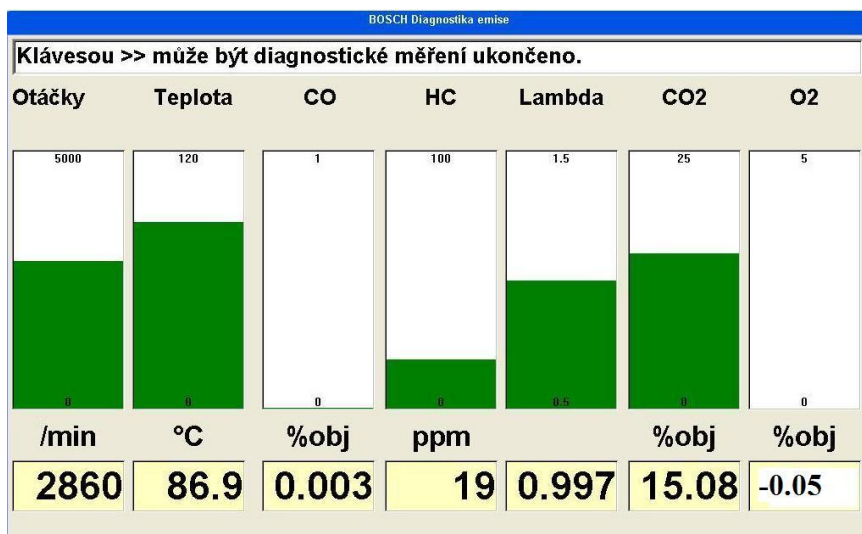
P íloha . 8: Pohled na motor 1.4 16V

P ílohy naleznete na následujících stranách.

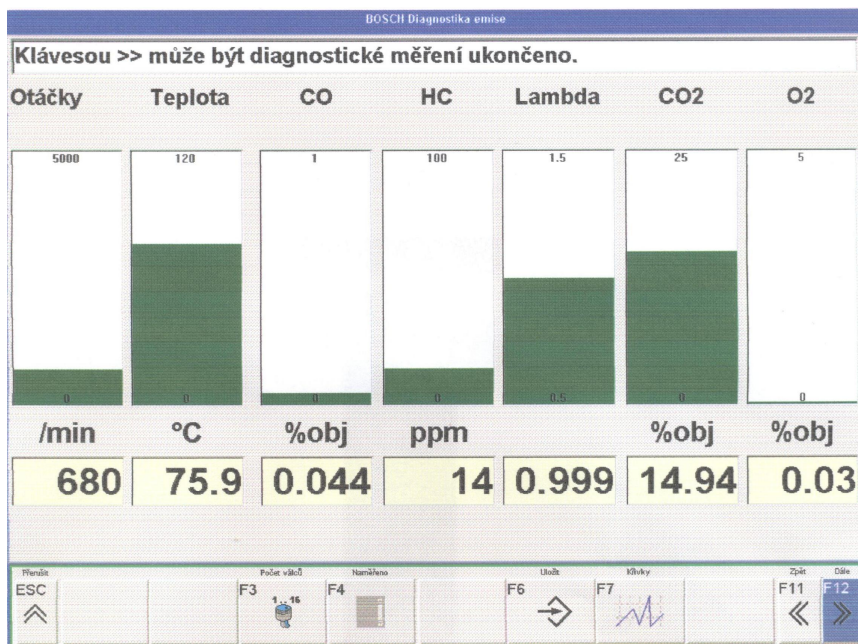
Příloha . 1: Emisní hodnoty při volnoběžných otáčkách pro motor **Typu Fabia 1.4 16V**



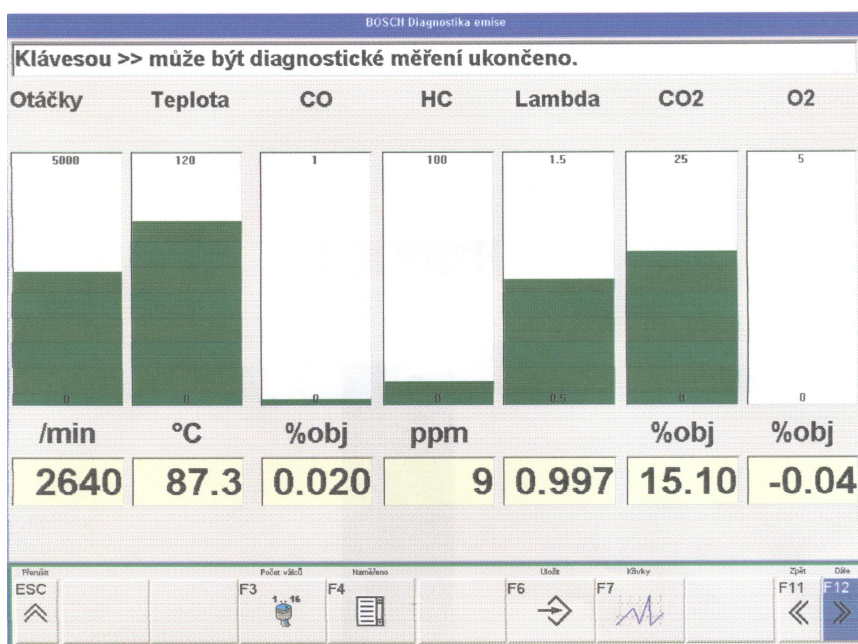
Příloha . 2: Emisní hodnoty při zvýšených otáčkách motoru **1.4 16V**



Příloha 3: Emisní hodnoty při *volnoběžných* otáčkách pro motor **1.2 TSI**



Příloha 4: Emisní hodnoty při *zvýšených* otáčkách motoru **1.2 TSI**



Příloha .5: Měření emisních hodnot na přístroji BOSCH FSA 740



Příloha .6: Připojení k přístroji pro měření emisí



P íloha . 7: Pohled na motor 1.2 TSI



P íloha . 8: Pohled na motor 1.4 16V

