

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Vliv nezahřátého spalovacího motoru na životní prostředí

Václav Severa

Bakalářská práce

2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Václav Severa
Osobní číslo: D09304
Studijní program: B3709 Dopravní technologie a spoje
Studijní obor: Dopravní prostředky: Silniční vozidla
Název tématu: Vliv nezahřátého spalovacího motoru na životní prostředí
Zadávací katedra: Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

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

1. Základní konstrukce spalovacích motorů
2. Způsoby ovlivňování emisí spalovacích motorů
3. Způsoby měření emisí spalovacích motorů
4. Měření a vyhodnocení emisí na vozidle

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího diplomové práce
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná
Seznam odborné literatury:

Dle zadání vedoucího bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Jilek, DiS.**
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **15. února 2013**
Termín odevzdání bakalářské práce: **23. května 2013**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2013

Prohlašuji:

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Horním Újezdě dne 17.11.2014

Václav Severa

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Petru Jílkovi, DiS. za cenné rady, věnovaný čas a ochotu při tvorbě práce. Dále firmě Jiří Vincenci za ochotu při nestandardním měření emisí a v neposlední řadě celé své rodině, která mě během mého studia podporovala.

ANOTACE

Práce je věnována hodnocení vlivu nezahřátého spalovacího motoru na životní prostředí. Zaměřuje se především na tvorbu směsi zážehových motorů a způsoby sloužící ke snížení emisí. V praktické části je vyhodnoceno složení výfukových plynů u nezahřátého motoru.

KLÍČOVÁ SLOVA

palivové systémy, emise, snižování emisí, měření emisí, studený motor

TITLE

Effect of cold combustion engine on the environment

ANNOTATION

The work deals with an effect of cold combustion engine on the environment. Mainly it focuses on creating a mixture for petrol engines and methods for reducing emissions. In the practical part is evaluation of exhaust gases with unheated engine.

KEYWORDS

fuel systems, emission, reducing emissions, emission measurement, cold engine

Obsah

0 Úvod.....	10
1 Palivové soustavy zážehových motorů.....	11
1.1 Palivová soustava s karburátorem.....	11
1.1.1 Princip funkce karburátoru.....	11
1.1.2 Hlavní části karburátoru.....	12
1.1.3 Zařízení pro usnadnění spouštění studeného motoru.....	13
1.2 Palivové soustavy zážehových motorů se vstřikováním paliva.....	14
1.2.1 Palivové soustavy s nepřímým vstřikováním paliva.....	15
1.2.2 Palivové soustavy s přímým vstřikováním paliva.....	26
2 Způsoby ovlivňování emisí spalovacích motorů.....	28
2.1 Spalování směsi a složení výfukových plynů zážehových motorů.....	28
2.1.1 Paliva.....	28
2.1.2 Spalování.....	28
2.1.3 Složení záplané směsí.....	29
2.1.4 Složení výfukových plynů zážehového motoru.....	29
2.2 Systémy pro snižování emisí zážehových motorů.....	32
2.2.1 Systémy se sekundárním vzduchem.....	32
2.2.2 Katalyzační systémy.....	32
2.2.3 Lambda regulace.....	33
3 Způsoby měření emisí spalovacích motorů.....	35
3.1 Měření emisí zážehových motorů během provozu vozidla.....	35
3.1.1 Infraanalyzátory výfukových plynů.....	35
3.2 Měření emisí při homologaci vozidel.....	38
4 Měření a vyhodnocení emisí na vozidle.....	39
4.1 Měřené vozidlo.....	39
4.2 Měřicí zařízení.....	39
4.3 Postup měření emisí.....	40
4.3.1 Měření č. 1.....	41
4.3.2 Měření č. 2.....	41
4.3.3 Měření č. 3.....	41
4.4 Vyhodnocení měření.....	42

4.4.1	Vyhodnocení měření č.1.....	42
4.4.2	Vyhodnocení měření č.2.....	43
4.4.3	Vyhodnocení měření č.3.....	44
4.5	Měření množství vstřikovaného paliva.....	44
4.5.1	Měření množství vstřikovaného paliva č.1.....	45
4.5.2	Měření množství vstřikovaného paliva č.2.....	45
4.5.3	Měření množství vstřikovaného paliva č.3.....	46
4.6	Závěr měření.....	47
5	Závěr.....	48
6	Použitá literatura.....	49
7	Přílohy.....	50

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1: Funkční schéma hlavní soustavy karburátoru [3].....	11
Obrázek 2: Schéma uspořádání vstřikovacího zařízení L-Jetronic[1].....	15
Obrázek 3: Měřič množství nasávaného vzduchu L-Jetronic [2].....	17
Obrázek 4: Měřič množství nasávaného vzduchu s vyhříváním drátkem LH-Jetronic [2].....	17
Obrázek 5: Schéma uspořádání vstřikovacího zařízení K-Jetronic [1].....	18
Obrázek 6: Měřič množství nasávaného vzduchu K-Jetronic [1]	19
Obrázek 7: Schéma uspořádání vstřikovacího zařízení Mono-Jetronic [1].....	21
Obrázek 8: Schéma uspořádání systému Motronic [1].....	23
Obrázek 9: Palivový systém Bosch Motoronic [2].....	25
Obrázek 10: Schéma uspořádání vstřikovacího systému s přímým vstřikem paliva [1].....	26
Obrázek 11: Vliv hodnoty λ na emise škodlivých látek [4].....	31
Obrázek 12: Princip měření čtyřsložkového analyzátoru [4].....	36
Obrázek 13: Schéma homologační metody měření emisí [1].....	38
Obrázek 14: Měřené vozidlo [vlastní foto].....	39
Obrázek 15: Analyzátor Bosch [25]	40
Obrázek 16: Množství vstřikovaného paliva při teplotě 22°C.....	45
Obrázek 17: Množství vstřikovaného paliva při teplotě 76°C.....	46
Obrázek 18: Množství vstřikovaného paliva při teplotě 80°C.....	46
Tabulka 1: Naměřené hodnoty pro studený motor a volnoběh.....	42
Tabulka 2: Naměřené hodnoty pro studený motor a zvýšené otáčky	43
Tabulka 3: Naměřené hodnoty pro částečně zahřátý motor a volnoběh.....	43
Tabulka 4: Naměřené hodnoty pro částečně zahřátý motor a zvýšené otáčky	43
Tabulka 5: Naměřené hodnoty pro zahřátý motor a volnoběh.....	44
Tabulka 6: Naměřené hodnoty pro zahřátý motor a zvýšené otáčky.....	44

0 Úvod

Silniční doprava je nedílnou součástí života každého člověka. Většina soudobých vozidel používaných v silniční dopravě jsou poháněna spalovacími motory na uhlovodíková paliva, podíl vozidel poháněných elektrickou energií nebo alternativními palivy není velký, proto je věnována velká pozornost složení výfukových plynů spalovacích motorů poháněných kapalnými uhlovodíkovými palivy. Touto problematikou se zabývá předpis EHK vydávaný Evropskou Unií. Předpis určuje maximální hodnoty jednotlivých složek výfukových plynů a předepsaný způsob jejich zjišťování. V současné době je v platnosti, pro nově zavedená vozidla do provozu, norma Euro 6, která snižuje maximální povolené množství složek výfukových plynů oproti normě Euro 3 z roku 2000 o polovinu. Proto je ze strany výrobců kladen velký důraz na vývoj motorů odpovídajícím těmto parametrům. Díky moderním technologiím používaným v konstrukci motorů je dosahováno dobrých výkonových parametrů motorů při zachování nízké spotřeby paliva a nízké produkci škodlivin ve výfukových plynech.

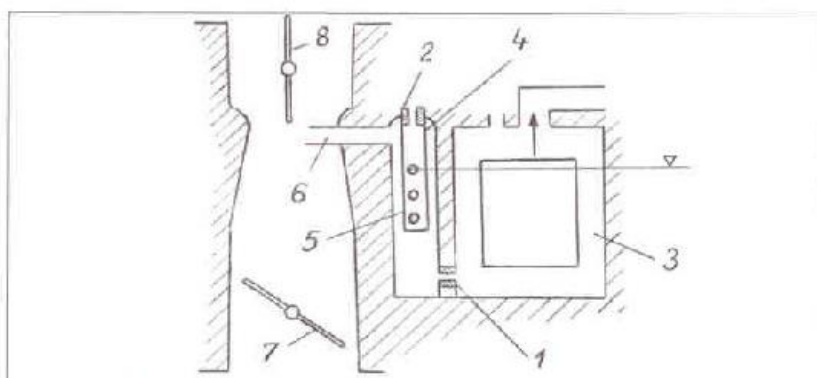
Spalovací motory dnešních vozidel jsou každodenně v chodu během nejrůznějších pracovních režimů. Nedílnou součástí provozování každého spalovacího motoru je spouštění nezahřátého motoru a následný chod motoru s pozvolna se zvyšující se teplotou. V tomto režimu chodu motoru dochází k vytváření zvýšeného množství škodlivých látek ve výfukových plynech a zároveň k větší spotřebě paliva. Právě zmiňovanou problematikou se zabývá tato bakalářská práce, ve které jsou shrnuty způsoby ovlivňování tvorby zápalné směsi jednotlivými palivovými systémy a následná úprava výfukových plynů vyprodukovaných spalováním. Teoretické poznatky o složení zápalné směsi a výfukových plynů jsou následně prakticky ověřeny a vyhodnoceny.

1 Palivové soustavy zážehových motorů

Pro spolehlivý a ekonomický chod spalovacího motoru je důležité spolehlivé zažehnutí nasávané směsi. Které je docíleno vytvořením homogenní směsi palivových par se vzduchem, nebo dosažení směsi vrstvené tak, aby došlo k hoření při přeskoku napěťového výboje mezi elektrodami zapalovací svíčky. Pro možnost regulace pracovního režimu spalovacího motoru je nutné odměřit ideální poměr paliva a vzduchu, takovým způsobem, aby byl zachován poměr přebytku vzduchu na ideální úrovni. U motorů poháněných lehce odpařitelnými kapalnými palivy je složení směsi docíleno pomocí karburátorů, vstřikováním paliva do sacího potrubí nebo vstřikováním paliva přímo do válců motoru. [1]

1.1 Palivová soustava s karburátorem

Základní funkcí karburátoru je příprava zápalné směsi v požadovaném množství a složení v závislosti na režimu chodu motoru. K dokonalému prohoření zápalné směsi je podstatné, aby došlo k co nejrychlejšímu odpaření paliva a jeho smísení se vzduchem ve správném poměru odpovídajícímu zatížení, otáčkám a teplotě motoru. [2]



Funkční schéma hlavní soustavy karburátoru: 1 - hlavní tryska; 2 - vzdušník korekčního vzduchu; 3 - plováková komora; 4 - emulzní šachta; 5 - emulzní trubice; 6 - rozprašovač; 7 - škrticí klapka; 8 - spouštěcí přívěra

Obrázek 1: Funkční schéma hlavní soustavy karburátoru [3]

1.1.1 Princip funkce karburátoru

Funkci karburátoru je možné popsat na základě jednoduchého schématu na obrázku 1. Vzduch, který je nasáván motorem proudí do sacího hrdla. V místě tvořeném náběžnou hranou a rozšiřující se částí, která se nazývá difuzor, dochází k mísení paliva se vzduchem.

V místě difuzoru je umístěn rozprašovač, kterým je z plovákové komory nasáváno palivo do sacího hrdla. Kvalitnímu rozprášení paliva může dojít pouze tehdy, pokud je dosaženo vysoké rychlosti proudícího vzduchu, toho je dosaženo díky zúžené části difuzoru. V prostoru difuzoru dochází k vytváření podtlaku oproti atmosférickému tlaku, který působí na palivo v plovákové komoře. Rozdílem tlaků je palivo vystřikováno z rozprašovače. Množství vstříkovaného paliva je regulováno množstvím průchodu vzduchu a velikostí podtlaku v místě difuzoru. Množství průchodu vzduchu je ovlivňováno natočením škrťací klapky. [3]

Do plovákové komory je palivo z nádrže dopravováno pomocí palivového čerpadla, které je poháněno nejčastěji od spalovacího motoru nebo také elektromotorem. Úroveň hladiny paliva v plovákové komoře je udržována jehlovým ventilem, který uzavírá přívod paliva z palivové nádrže. Jehlový ventil je ovládán plovákem. Hladina paliva v plovákové komoře má být udržována na takové úrovni, aby při chodu motoru ve volnoběžných otáčkách nedocházelo k samovolnému vytékání paliva otvory v difuzoru. Rozdíl tlaku působícího na hladinu paliva v plovákové komoře a podtlaku vznikajícího v místě difuzoru udává množství paliva, které je nasáváno a následně mícháno se vzduchem.

Množství nasávaného paliva je určeno také průměrem otvoru hlavní trysky, umístěné v místě nazývaném emulzní šachta. V šachtě dochází pomocí emulzní trubice ke kompenzaci množství paliva korekčním vzduchem. V horní části emulzní trubice je umístěný vzdušník, kterým je regulován vstup vzduchu do emulzní šachty. Pomocí korekčního vzduchu je dosaženo v hlavní soustavě karburátoru stejného složení směsi i v průběhu zvyšující se rychlosti průchodu vzduchu v difuzoru. Složení směsi a množství korekčního vzduchu závisí na průměru otvoru vzdušníku. Kanálkem rozprašovače je vytvořená směs nasávána z emulzní šachty a v místě difuzoru vytváří spolu se vzduchem proudícím sacím hrdlem konečnou směs proudící do válce motoru. [3]

1.1.2 Hlavní části karburátoru

Hlavní části karburátoru tvoří těleso a víko karburátoru. Jednotlivé systémy a prvky karburátoru jsou umístěny v těchto dvou hlavních částech. Plovákové zařízení slouží k udržování hladiny paliva v plovákové komoře. Zařízení pro spouštění studeného motoru slouží k vytvoření velmi bohaté směsi usnadňující spouštění studeného motoru. Systém běhu na prázdnou je určený pro přípravu směsi pro motor, který pracuje ve volnoběžných otáčkách a systém přechodový usnadňuje motoru přechod mezi volnoběžnými otáčkami a zvýšenými

otáčkami tvořenými hlavním systémem karburátoru. Hlavní systém slouží k vytváření zápalné směsi v celém rozsahu otáček motoru. Akcelerační pumpička je zařízení sloužící ke zvýšení množství paliva při prudkém otevření škrtící klapky. Obohacovací zařízení obohacuje směs při zatížení motoru a při zahřívání studeného motoru. [2]

1.1.3 Zařízení pro usnadnění spouštění studeného motoru

Při spouštění motoru dochází k tomu, že díky nízkému počtu otáček motoru ($50 - 100 \text{ ot.min}^{-1}$), není vytvořen potřebný průchod vzduchu. Z důvodu nízké rychlosti vzduchu procházejícím přes difuzor nedochází k vytvoření potřebného podtlaku, který je nutný pro nasávání paliva z plovákové komory karburátoru. Další nežádoucím jevem je také nízká teplota přiváděného paliva a sacího potrubí, na kterém následně palivo kondenzuje a do válců motoru se dostává pouze velmi chudá směs. K zamezení těchto nežádoucích jevů se používají zařízení usnadňující spouštění studeného motoru a jeho následné rychlé zahřátí na provozní teplotu. [1]

Pro usnadnění spouštění studeného motoru se používá několik systémů, nejpoužívanější je systém označovaný jako sytič, dále systém se spouštěcí klapkou a přeplavovací kolík.

Přeplavovací kolík

Přeplavovací kolík je zařízení, které je ručně ovládané řidičem. Tento systém se používal u starších motocyklů. Přeplavovací kolík je součástí plovákové komory, kde se jeho pomocí zatlačuje dolů plovák, což způsobuje zvýšení hladiny paliva v plovákové komoře až nad úroveň vyústění v prostoru hlavního systému. Při použití systému s přeplavovacím kolíkem dochází k nedokonalému rozprášení směsi. [2]

Sytič

Sytič je tvořen palivovou tryskou a vzdušníkem sytiče, umístěnými na opačné straně karburátoru, je umístěn naproti volnoběžnému systému. Jedná se o samostatný okruh, který je jako ostatní systémy napájen palivem z plovákové komory. Účelem sytiče je vytvořit dostatečně bohatou směs schopnou spuštění studeného motoru. Zvýšení množství přiváděného paliva do sacího potrubí je docíleno vzájemným poměrem mezi průměrem palivové trysky a vzdušníku. Obohacená směs proudí do směšovací komory přívodním kanálem, který má vyústění až za škrtící klapkou. Přívod směsi kanálkem je řízen šoupátkem.

Toto šoupátko je ovládáno mechanicky řidičem, nebo automaticky pomocí bimetalu, který je umístěn ve výfukovém potrubí a pomocí zahřívajících se výfukových plynů šoupátko sytiče uzavře. [1]

Spouštěcí klapka – přívěra

System se spouštěcí přívěrou je tvořen klapkou, která je umístěna před difuzorem. Při startování studeného motoru je docíleno obohacení směsi tím, že se spouštěcí klapka uzavře, tím dojde ke vzniku podtlaku a k nasávání většího množství paliva přes trysku z plovákové komory. Pro funkčnost startovací přívěry je nutné otevření škrtkové klapky, musí být umožněno vytvoření podtlaku v místě difuzoru. Otevření škrtkové klapky je zajištěno pomocí táhel spojených se startovací přívěrou. Přívěra je ovládána automaticky v závislosti na teplotě motoru. Se vzrůstající teplotou se přívěra otevírá až do úplného otevření. Tohoto systému bylo využito například ve vozidlech Škoda Favorit. [3]

Pro zlepšení tvorby směsi u nezahřátého motoru s karburátorem využívá také vyhřívání sacího potrubí a obtokových kanálků. Vyhřívání sacího potrubí může být řešeno dvěma způsoby. Prvním způsobem je vyhřívání elektricky a druhým způsobem je vyhřívání proudící chladicí kapalinou motoru. Tato opatření výrazně snižují tvorbu palivového filmu na stěnách potrubí u studeného motoru. Vyhřívání obtokových kanálků karburátoru je docíleno také elektricky, nebo chladicí kapalinou. Při běhu naprázdno prochází velký podíl směsi přes obtokové kanálky, které mohou v při nepříznivých klimatických podmínkách zamrznout, toto je odstraněno jejich vyhříváním. [2]

1.2 palivové soustavy zážehových motorů se vstříkáváním paliva

počátky vývoje vstříkávání u zážehových motorů jsou spojeny s vývojem spalovacích motorů téměř od začátku jejich vývoje. Využití vstříkávání bylo především u leteckých motorů, kde byl kladen důraz na dávkování paliva, bez ohledu na zemskou gravitaci, tlak vzduchu a polohu motoru. Jako první do výroby uvedla přímé vstříkávání firma Bosch, při jeho použití došlo k výraznému poklesu spotřeby paliva a zvýšení výkonu motoru oproti vozidlům osazeným karburátorem. Tento systém byl vyvinut na základě přímého vstříkávání leteckých motorů. Postupem času došlo k vývoji systémů s nepřímým vstříkáváním benzínu. Již v roce 1967 firma Bosch představila svůj první systém s nepřímým vstříkáváním s označením

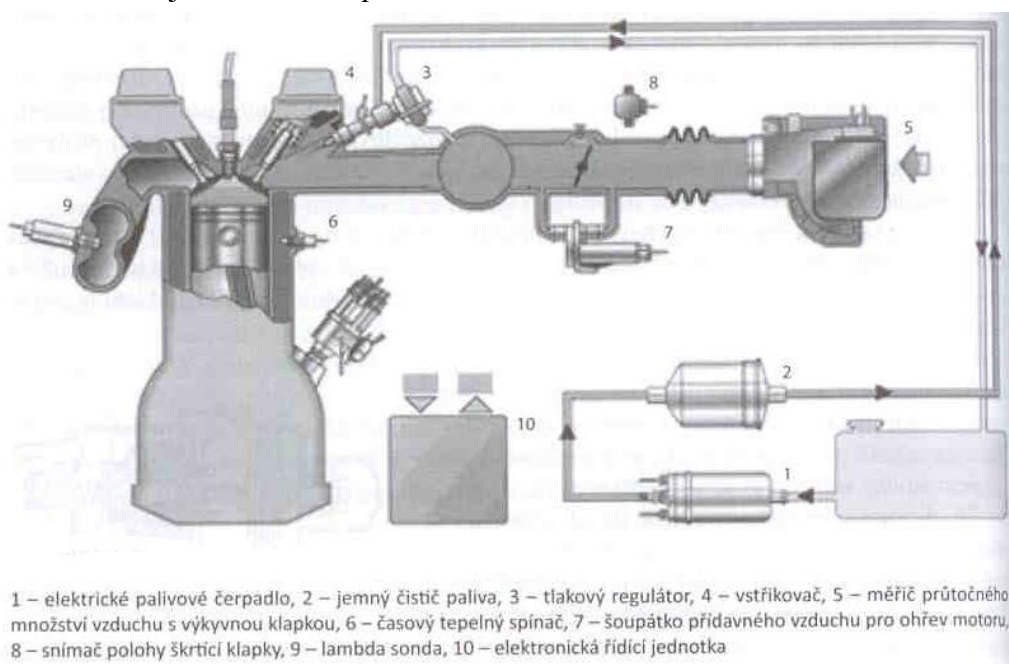
D-Jetronic. Postupně docházelo k vývoji a zlepšování jednotlivých systémů označovaných jako L-Jetronic, K-Jetronic, Mono-Motronic, až po současný systém Motronic. [1]

Jednotlivé palivové systémy lze rozdělit podle způsobu dávkování paliva na sekvenční, kontinuální, jednobodové a vícebodové. Podle způsobu dopravy paliva do spalovacího prostoru na přímé, nepřímé do sacího kanálu a nepřímé do sacího potrubí.

1.2.1 Palivové soustavy s nepřímým vstřikováním paliva

Bosch L-Jetronic

Systém vstřikování Bosch L-Jetronic je elektronicky řízené vstřikování se vstřikovači umístěnými, tak aby umožňovaly vstřikování paliva do sacího potrubí pro každý válec samostatně. Palivo je vstřikováno přerušovaně – simultánně.



Obrázek 2: Schéma uspořádání vstřikovacího zařízení L-Jetronic[1] str.116

Složení palivového systému

Elektrické palivové čerpadlo

Elektrické palivové čerpadlo je použito výstředníkové válečkové, pro pohon čerpadla je použit elektromotor. Nasávané palivo proudí přes rotor elektromotoru, vzhledem k tomu, že

do tohoto prostoru nemá přístup vzduch nedojde k vytvoření zápalné směsi a nemůže dojít k výbuchu. Elektromotor čerpadla je ovládán přes řídicí relé, které po zapnutí zapalování spustí elektromotor čerpadla. Řídicí relé slouží také pro odpojení přívodu paliva po zhasnutí motoru, to je důležité při havárii vozidla. Výkon čerpadla je asi $1,5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$.

Jemný čistič paliva

Jemný čistič paliva je v systému řazen za palivové čerpadlo. Jako čistič je použita papírová vložka, která zachycuje nežádoucí částice obsažené v palivu.

Rozdělovací potrubí

Rozdělovací potrubí slouží jako přívod paliva k jednotlivým vstřikovacím ventilům. Další využití rozdělovacího potrubí je zásobník paliva a tlumič rázů vznikajících při činnosti vstřikovacích ventilů a palivového čerpadla.

Regulátor tlaku paliva

Regulátor tlaku paliva slouží k udržování tlaku v systému v určitém rozmezí. Pro tento systém je hodnota tlaku udržována v závislosti na podtlaku v sacím potrubí na hodnotě 250 – 300kPa.

Elektromagnetické vstřikovací ventily

Elektromagnetické vstřikovací ventily jsou umístěny na konci sacího potrubí a vstřikují palivo bezprostředně před sací ventily. Vstřikovací ventily jsou ovládány elektrickými signály z řídicí jednotky. Každému válci přísluší jeden vstřikovací ventil. [2, 1]

Složení řídicího systému

Řídicí jednotka dostává elektrické signály od jednotlivých snímačů a na jejich základě analyzuje provozní stav motoru. Hlavními sledovanými veličinami motoru jsou otáčky motoru a množství nasávaného vzduchu. Podle těchto parametrů je řídicí jednotkou určeno množství vzduchu na jeden zdvih, které charakterizuje stav zatížení motoru. Pro přizpůsobení chodu motoru všem provozním podmínkám je nutné sledování dalších veličin. K určení těchto stavů motoru slouží snímač teploty a snímač škrťací klapky, podle kterých řídicí jednotka upravuje složení směsi pro spouštění studeného motoru, zahřívání motoru, běh naprázdno,

nebo plné zatížení. Další provozní stavy jsou také zohledňovány, patří mezi ně zrychlování, brzdění motorem a omezovač maximálních otáček. [2]

Prizpůsobení dávkování paliva různým režimům chodu motoru

Spouštění studeného motoru

Dosažení větší bohatosti směsi je zajištěno prodloužením doby vstřiku vstřikovacích ventilů na základě signálů ze spínací skřínky zapalování a teploty motoru. U starších provedení systému L-Jetronic je obohacení dosaženo pomocí elektromagnetického ventilu pro spouštění studeného motoru a časového termosplínače. [2]

Zahřívání motoru

Bezprostředně po nastartování studeného motoru je nutné pro jeho bezproblémový chod pokračovat v obohacování směsi až do dosažení provozní teploty motoru. Motor ve fázi zahřívání potřebuje až trojnásobné množství paliva oproti motoru pracujícím při provozní teplotě. Množství obohacení je řízeno v první fázi časově (30s), následně se množství paliva určuje na základě aktuální teploty motoru. Pro chod studeného motoru je v tomto systému určené šoupátko přídavného vzduchu, kterým je nasáván přídavný vzduch. [2]

Dalším vývojovým stupněm systému L-Jetronic je systém označovaný jako LH-Jetronic. Hlavní rozdíl těchto dvou systémů je v měření množství nasávaného vzduchu. Systém vstřikování L-Jetronic využívá pro měření množství nasávaného vzduchu měřiče s klapkou. Otočně uložená klapka je do počáteční polohy přitlačována pružinou. Při průchodu vzduchu sacím potrubím dochází k natočení klapky. Úhel natočení je snímán potenciometrem a je závislý na množství procházejícího vzduchu.



Obrázek 3: Měřič množství nasávaného vzduchu L-Jetronic [2]

Obrázek 4: Měřič množství nasávaného vzduchu s vyhříváním drátkem LH-Jetronic [2]

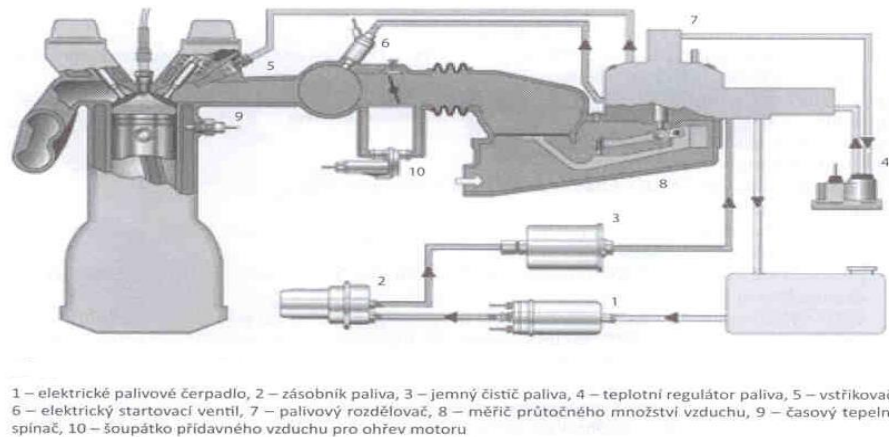
Nástupce systému L-Jetronic využívá pro měření množství nasávaného vzduchu měřiče s vyhřívaným drátkem, nebo vyhřívaným filmem. Oba snímače pracují na stejném principu. V proudu nasávaného vzduchu se nachází elektricky vyhřívané těleso, které je proudícím vzduchem ochlazováno. K tělesu je přiváděn proud, který je ohřívá a udržuje jeho konstantní teplotu, vyšší teplotu než je teplota nasávaného vzduchu. Tento proud je měřítkem proudu hmoty vzduchu. Hustota vzduchu je při tomto měřicím principu také zohledněna, protože určitým podílem ovlivňuje velikost odebíraného tepla na ohřivaném tělese. [2]

Bosch D-Jetronic

Jedná se o první systém elektronicky řízeného vstřikování, který byl uveden do výroby. Jde o předchůdce systému L-Jetronic, rozdílnost je především v měření množství nasávaného vzduchu. U systému D-Jetronic je použito tlakové tlakové čidlo. [1]

Bosch K-Jetronic

Jedná se o mechanicko-hydraulický systém vstřikování paliva. Palivo je v tomto případě vstřikováno kontinuálně (nepřetržitě) před sací ventily jednotlivých válců. Tento systém byl využíván díky své jednoduchosti. Systém je schopen určovat množství vstřikovaného paliva, bez nutnosti řízení elektronikou.



Obrázek 5: Schéma uspořádání vstřikovacího zařízení K-Jetronic [1]

Složení palivového systému

Elektrické palivové čerpadlo

Elektrické palivové čerpadlo je použito obdobné jako u systému L-Jetronic popsaného v kapitole 1.2.1.1.

Zásobník tlaku paliva

Zásobník tlaku paliva udržuje v systému tlak po zastavení motoru, jeho další funkcí je tlumení tlakových pulsací způsobených palivovým čerpadlem.

Jemný čistič paliva

Pro dosažení vysoké čistoty paliva je zde použita papírová vložka popsaná v kapitole 1.2.1.1.

Regulátor systémového tlaku

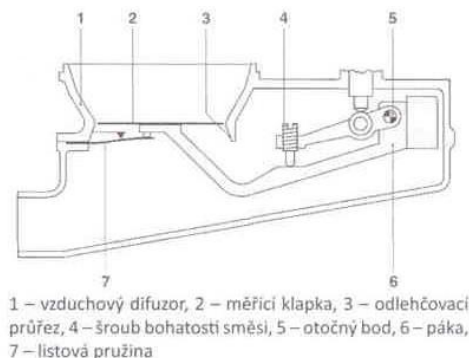
Slouží k udržování konstantního tlaku v systému, je umístěn na tělese rozdělovače množství paliva. Při vyšším než požadovaném tlaku je palivo přepouštěno vedením zpět do nádrže. [1]

Vstřikovací ventil

Vstřikovací ventil je otevírán tlakem paliva, po dosažení otevíracího tlaku, který je pro tento systém 330 kPa. Dávka vstřikovaného paliva je přesně určena rozdělovačem množství paliva. Vstřikovací ventil je pevně vsazen v sacím potrubí, tak aby byl schopný odolávat vysokým teplotám a vibracím. [2]

Měřič množství vzduchu

Pro měření množství nasávaného vzduchu je využito podobného principu, jako u systém L-Jetronic. Výkyvná deska je umístěna v sacím potrubí, průchodem vzduchu je na desku vytvářen tlak, po kterém se deska pohybuje ve směru proudění vzduchu. Natočení výkyvné desky je mechanicky převáděno na šoupátko regulátoru dodávky paliva, které následně určuje množství paliva k jednotlivým vstřikovacím ventilům. [1]



Obrázek 6: Měřič množství nasávaného vzduchu K-Jetronic [1]

Přizpůsobení dávkování paliva různým režimům chodu motoru

Doposud popsané funkce systému zajišťují základní dávkování paliva. Motor však vyžaduje při určitých režimech chodu motoru zásah do určování množství vstříkovaného paliva. Účelem této úpravy (korekce) dávky paliva je optimalizace výkonu motoru, zlepšení složení výfukových plynů, usnadnění spouštění studeného motoru a zlepšení jízdního komfortu. [1]

Spouštění studeného motoru

Pro spuštění nezahřátého spalovacího motoru je nutné dosažení velké bohatosti směsi. Zvýšení bohatosti směsi je u systémů K-Jetronic dosahováno stejným způsobem, jako u starších typů systému L-Jetronic. Součástí systému je přídavný vstříkovací ventil umístěný ve sběrném sacím potrubí. Přídavný vstříkovací ventil je ovládaný časovým termospínačem v závislosti na teplotě motoru a čase. Ventil pro spouštění studeného motoru je v činnosti pouze při spouštění motoru, toho je docíleno pomocí řídicího relé. Ovládací termospínač je elektricky vyhříváný, to je důležité pro možnost ovlivňování doby obohacování přídavným vstříkovacím ventilem. Při příliš dlouhém obohacování by mohlo dojít k zahlcení motoru. Termospínač rozpojí kontakty v závislosti na teplotě, při -20°C dojde k rozpojení kontaktů asi po 8 s, pro teploty vyšší než 40°C jsou kontakty rozpojeny trvale. [3]

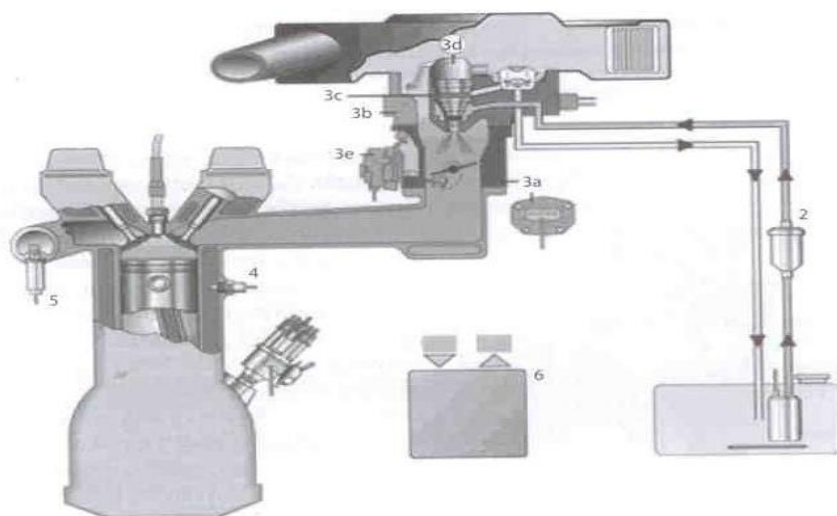
Postupné ochuzování směsi při zahřívání motoru

Bezprostředně po spuštění nezahřátého motoru musí být, pro správný chod motoru, směs stále obohacována. Během postupného zahřívání motoru je bohatost směsi snižována až na hodnotu stechiometrické směsi při provozní teplotě. Regulace složení směsi během zvyšování teploty motoru je prováděna regulátorem řídicího tlaku. [4]

Dalším vývojovým stupněm systému K-Jetronic byl systém označený jako KE-Jetronic. V tomto systému došlo k vylepšení použitím elektronické řídicí jednotky, která zpracovává informace o provozních stavech motoru od snímačů. Řídicí jednotka přebírá funkci při určování složení směsi pro jednotlivé režimy chodu motoru, spouštění a zahřívání motoru, akcelerace, nebo přerušování dodávky paliva při zastavení motoru. Dále může být řídicí jednotka využita pro lambda regulaci.

Bosch Mono-Jetronic

Jedná se o systém vstřikování s jedním centrálním vstřikovacím ventilem pro všechny válce motoru. Jde tedy o jednobodové vstřikování s přerušovaným vstřikem paliva. Centrální elektromagnetický vstřikovač je umístěn před škrtící klapkou. Tento systém vstřikování byl využíván především u čtyřválcových motorů s nízkým až středním zdvihovým objemem. Výhodou byla jeho jednoduchost a s ní spojená výrobní cena. Nevýhodou je společné sací potrubí jako u karburátorových motorů. Tento systém je schopen plnění emisních norem a dosažení nízké spotřeby paliva.



1 – elektrické palivové čerpadlo, 2 – jemný čistič paliva, 3a – snímač polohy škrtící klapky, 3b – regulátor systémového tlaku paliva, 3c – vstřikovač, 3d – konektor se zabudovaným snímačem teploty nasávaného vzduchu, 3e – nastavovač škrtící klapky, 4 – čidlo teploty motoru, 5 – lambda sonda, 6 – elektronická řídicí jednotka

Obrázek 7: Schéma uspořádání vstřikovacího zařízení Mono-Jetronic [1]

Složení palivového systému

Palivo je dopravováno elektrickým palivovým čerpadlem přes palivový filtr do vstřikovací jednotky. Vstřikovací jednotka je složena z tělesa škrtící klapky a tělesa hydraulického dílu s elektromagnetickým vstřikovačem. Jednotka je umístěna přímo na sacím potrubí a vstřikuje palivo do prostoru škrtící klapky. Dalšími částmi systému jsou snímač teploty nasávaného vzduchu, snímačem polohy škrtící klapky a zařízení pro nastavování škrtící klapky. Součástí hydraulického dílu je membránový regulátor tlaku paliva, sloužící pro udržování konstantního tlaku paliva v palivovém systému. Vstřikovací ventil je plněn palivem a množství vstřikovaného paliva je závislé pouze na době otevření elektromagnetického ventilu. Ke vstřiku dochází v závislosti na frekvenci zapalovacích impulsů. Vstřikované palivo je kuželového tvaru, aby mohlo procházet mezi tělesem škrtící klapky a vlastní škrtící klapkou.

Doba otevření vstřikovacích ventilů a okamžik vstřiku jsou řízeny elektronickou řídicí jednotkou.[1]

Prizpůsobení dávkování paliva různým režimům chodu motoru

Teplota motoru významně ovlivňuje dávkování paliva a je měřena polovodičovým NTC snímačem, nejčastěji umístěným na bloku motoru a měřícím teplotu chladicí kapaliny. Pro dodržení optimálního složení směsi, které je velmi důležité pro činnost trojčinného katalyzátoru, jsou vstřikovací systémy vybaveny kyslíkovou sondou. Ta hlásí řídicí jednotce, prostřednictvím napěťového signálu, informaci o okamžitém složení směsi, a tím umožňuje řídicí jednotce provést regulaci směsi na stechiometrický poměr ($\lambda=1$). Kyslíková sonda je umístěna ve výfukovém potrubí co nejbližší motoru, aby byla rychle dosažena její provozní teplota. Je-li aktivní keramika sondy dostatečně zahřátá (asi od 350°C) a na vnější elektrodě je výfukový plyn a na vnitřní okolní vzduch, pak vzniká elektrické napětí, které je úměrné obsahu kyslíku ve výfukových plynech. Toto napětí je vedeno do řídicí jednotky. Přesné určení poměru paliva a vzduchu u zahřátého motoru se děje pomocí třírozměrného datového pole lambda. Datové pole obsahuje 225 různých základních dob otevření vstřikovacího ventilu, které odpovídají přesně stechiometrickému složení směsi. 225 provozních bodů je přiřazeno 15 hodnotám vstupních veličin: úhlu škrtkové klapky a otáčkám motoru. Některé provozní stavy vyžadují korekce složení zápalné směsi. Patří k nim spouštění motoru, obohacení po spuštění a při zahřívání motoru a korekce složení směsi v závislosti na teplotě vzduchu, přechody, korekce v závislosti na rychlosti změny polohy škrtkové klapky. [2]

Spouštění studeného motoru

Při spouštění studeného motoru zhoršuje odpaření vstříknutého paliva především studený nasávaný vzduch, chladné stěny sacího potrubí, malý podtlak v sacím potrubí, malá rychlost vzduchu proudícího sacím potrubím, studený spalovací prostor a stěny válce.

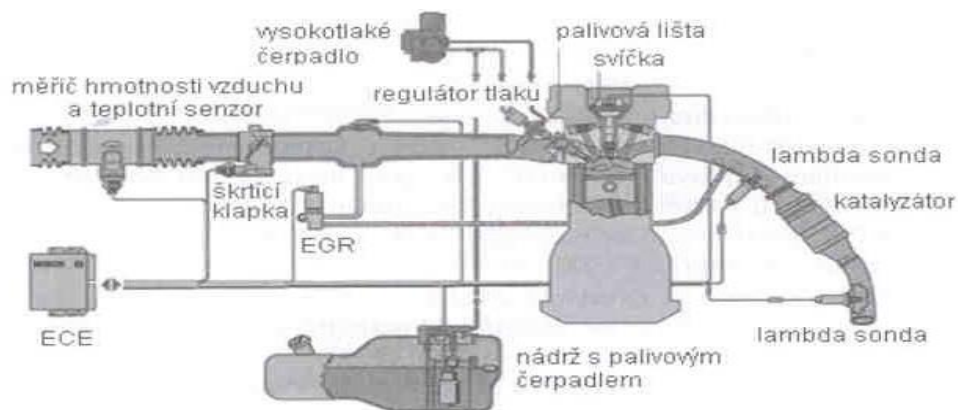
Tyto pro odpaření paliva velmi nepříznivé podmínky mají za následek kondenzaci paliva v podobě tenkého filmu na stěnách potrubí. Aby bylo vytvoření palivového filmu na stěnách sacího potrubí co nejrychleji ukončeno a ve spalovacím prostoru byla k dispozici nejsnáze zapalitelná směs, musí být při spouštění vstřikováno podstatně více paliva, než je nutné vzhledem k množství nasávaného vzduchu. Protože je kondenzace paliva nejvíce závislá na teplotě sacího potrubí, je doba vstřiku upravena řídicí jednotkou v závislosti na teplotě motoru. Kromě teploty závisí tloušťka palivového filmu i na rychlosti vzduchu proudícího

sacím potrubí. Čím je rychlost vzduchu proudění vzduchu vyšší, tím je menší tloušťka palivového filmu. Proto je doba vstřiku se stoupajícími otáčkami zkracována. Pro dosažení velmi krátké doby spouštění motoru, musí být palivový film vytvořen velmi rychle, musí tedy být vstříknuto velké množství paliva během krátkého časového intervalu. Na druhou stranu musí být učiněna taková opatření, aby motor nenasál příliš mnoho paliva a nedošlo k jeho zahlcení. Tyto protichůdné požadavky jsou splněny tak, že na začátku spouštění motoru má doba vstřiku požadovanou délku, ale s přibývajícím dobou spouštění se zkracuje.

Pro určení složení směsi v průběhu zahřívání motoru se využívá úpravy třírozměrného datového pole pomocí korekčního koeficientu. Tímto koeficientem fáze po spouštění motoru je upravena doba vstřiku určená datovým polem lambda. Snižováním tohoto koeficientu až na hodnotu 1 je závislé na čase. Závislost obohacení při zahřívání je rovněž vyjádřena korekčním koeficientem, je závislé výhradně na teplotě motoru. Řídicí jednotka využívá úpravy datového pole pro určení délky vstřiku obě metody korekčního koeficientu. [2]

Bosch Motronic

Vstřikovací systém Motronic je plně elektronický systém, který se schopen kompletního řízení chodu zážehového motoru. Sdružená řídicí jednotka vyhodnocuje provozní data ze snímačů a následně určuje okamžik a množství vstřikovaného paliva, v této řídicí jednotce dochází také k řízení předstihu zapalování. Díky synchronizaci činnosti zapalování a vstřikování je dosaženo vysokého jízdního komfortu ve všech režimech chodu motoru.



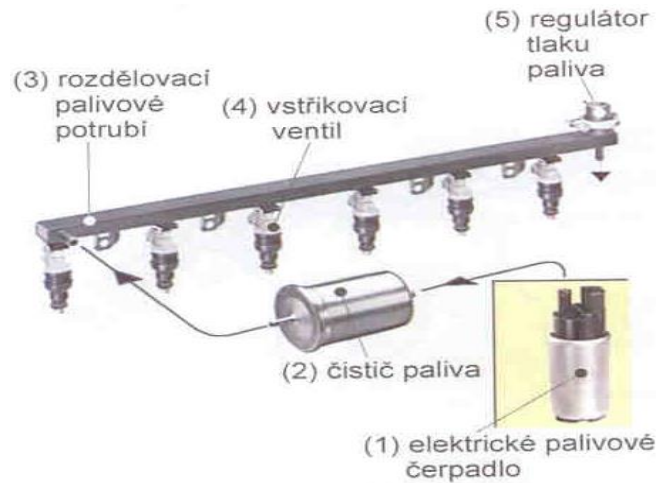
Obrázek 8: Schéma uspořádání systému Motronic [1]

Určení složení směsi

Množství vstříkovaného paliva a okamžik zážehu jsou závislé na zatížení motoru. Zatížení motoru je vyhodnocováno řídicí jednotkou pomocí snímačů pro měření množství vzduchu, hmotnosti vzduchu, tlaku v sacím potrubí, polohy škrtící klapky. Dalšími veličinami sloužícím k určení složení zápalné směsi a okamžiku zážehu jsou otáčky motoru, poloha vačkového a klikového hřídele. Snímání polohy klikové hřídele slouží k určení polohy pístu ve válci, jeden snímač na klikovém hřídeli je schopen určení polohy všech válců motoru. Rychlost jakou se poloha pístu mění jsou otáčky motoru, otáčky jsou pro systém Motronic důležitou vstupní veličinou. Snímání polohy klikové hřídele je v praxi provedeno tak, že je na klikovém hřídeli umístěn feromagnetický ozubený kotouč. Na kotouči je vytvořeno 60 zubů z nichž jsou dva vynechány, ty označují určité místo (zubová mezera je v místě 60° a 6°) před dosažením horní úvratě prvního válce. Pomocí indukčního snímače zaměřeného na tento ozubený kotouč je zaznamenávána poloha klikového hřídele. Signály indukčního snímače jsou zpracovány řídicí jednotkou a je určena poloha klikového hřídele a otáčky motoru. Snímání polohy vačkové hřídele je důležité pro určení pracovní doby v jednotlivých válcích. U starších motorů vybavených mechanickým rozdělovačem zapalování není nutné zjišťování polohy vačkového hřídele, poloha je určena pozicí palce rozdělovače. Poloha vačkového hřídele je nejčastěji zjišťována Hallovým snímačem. Ten pomocí clonky umístěné na vačkovém hřídeli vytváří napěťové signály, které jsou dále předávány řídicí jednotce. Složení spalované směsi je určováno pomocí kyslíkové lambda sondy umístěné ve výfukovém potrubí. [1]

Způsob vytvoření zápalné směsi

Elektricky poháněné palivové čerpadlo dopravuje palivo z palivové nádrže přes čistič paliva do rozdělovacího palivového potrubí s elektromagnetickými vstříkovacími ventily. Rozdělovací palivové potrubí rozděluje palivo k jednotlivým vstříkovacím ventilům, na konci potrubí je obvykle umístěn regulátor tlaku paliva, popřípadě i tlumič tlakových rázů, vznikajících při uzavírání a otevírání vstříkovacích ventilů, tím je zajištěna přesná dávka paliva. Rozdělovací potrubí může být vyrobeno z oceli, hliníkové slitiny, nebo plastu. [2]



Obrázek 9: Palivový systém Bosch Motoronic [2]

Přizpůsobení provozním stavům motoru

Spouštění motoru

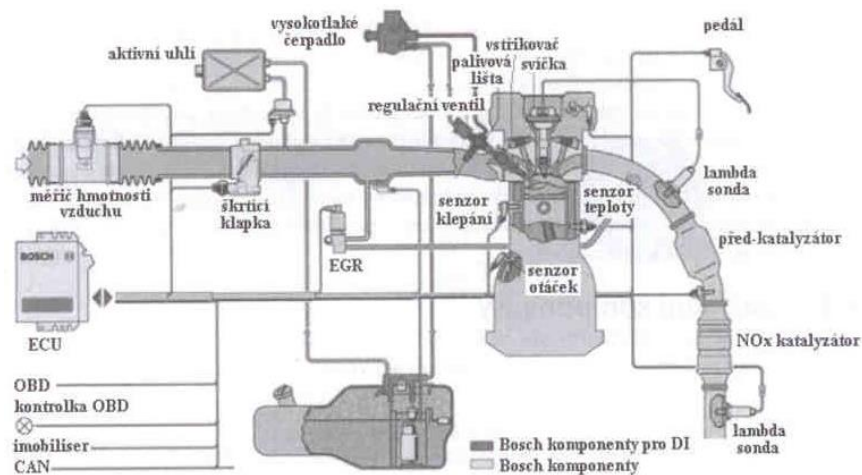
Stanovení dávky vstřikovaného paliva během startování motoru je docíleno pomocí speciálního výpočtu. Pro první vstřikovací impulsy je zvolena speciální dávka paliva. Zvýšená dávka paliva je závislá na teplotě motoru. Dále je vstřikovací dávka určována s ohledem na spouštěcí otáčky motoru. Hodnota úhlu předstihu je také přizpůsobena startování motoru s ohledem na teplotu a otáčky motoru. Bezprostředně po spuštění motoru dochází k úpravě doby vstříku zkrácením, v závislosti na teplotě a době, která uplynula od vlastního spuštění motoru. [1]

Zahřívání motoru

Fáze pokračující po nastartování motoru upravuje složení směsi tak, aby došlo k co nejrychlejšímu zahřátí katalyzátoru a tím snížení emisí při zahřívání studeného motoru. Zvýšení teploty výfukových plynů může být dosaženo spalováním chudší směsi než by odpovídala teplotě motoru a současným zmenšením úhlu předstihu zážehu. Jiným způsobem zvýšení teploty výfukových plynů je spalování velmi bohaté směsi a následné vhnání sekundárního vzduchu do výfukového potrubí před katalyzátor. Sekundární vzduch slouží k oxidaci nespálených uhlovodíků. [1;2]

1.2.2 Palivové soustavy s přímým vstřikováním paliva

Se zvyšujícími se nároky kladenými na spotřebu paliva a emise výfukových plynů byl věnován vývoj přímému vstřikování paliva pro zážehové motory. Motory s přímým vstřikováním pracují na podobném principu jako vznětové motory. Do válce je přes sací ventil nasáván pouze vzduch a zápalná směs je vytvářena až ve válci vstříknutím dávky paliva speciálním vstřikovacím ventilem.



Obrázek 10: Schéma uspořádání vstřikovacího systému s přímým vstřikem paliva [1]

Funkce palivového systému

Elektrickým palivovým čerpadlem je palivo dopravováno z nádrže přes jemný čistič palivo k vysokotlakému palivovému čerpadlu. Vysokotlaké čerpadlo vytváří v systému požadovaný systémový tlak, který je dále pomocí ventilu pro regulaci tlaku upravován v rozmezí hodnot 5-12 MPa. Vysokotlaké vstřikovací ventily jsou umístěny na tlakovém zásobníku zvaném Rail. Jemně rozprášené vstřikované palivo se ve spalovacím prostoru promísí s nasátým čerstvým vzduchem. Tento systém je schopen s ohledem na režim chodu motoru přizpůsobit složení zápalné směsi ve válci, pomocí vytvoření homogenní nebo vrstvené směsi. V případě homogenní směsi je složení směsi v celém objemu válce stejné $\lambda=1$. Pro vrstvené složení směsi je v oblasti zapalovací svíčky vytvořena směs $\lambda=1$. Ve zbytku prostoru válce je směs chudá, nebo obsahuje plyny přivedené recirkulací spalin. Tyto režimy tvorby směsi jsou řízeny podle požadavku na výkon motoru, při různých otáčkách a zatížení motoru. Při spouštění motoru je palivo vstřikováno do válců pod tlakem vytvořeným podávacím čerpadlem (0,3-0,5 MPa), po dosažení vyšších otáček motoru je vstřikováno palivo pod vysokým tlakem od vlastního vstřikovacího čerpadla. Provoz motoru s vrstveným plněním je

v oblasti nižšího točivého momentu při otáčkách do 3000 ot.min⁻¹. Směs je do válce vstříknuta v době komprese těsně před dosažením horní úvratě. Směs paliva a vzduchu je vířením ve válci dopravena do prostoru zapalovací svíčky, díky pozdnímu vstříknutí paliva nedojde k dokonalému promísení paliva se vzduchem a dojde k vytvoření nehomogenní vrstvené směsi. V případě potřeby vyššího točivého momentu při vysokých otáčkách používá motor homogenní směs, která je vytvořena díky včasnému vstříknutí paliva do válce a následnému promísení paliva se vzduchem v celém spalovacím objemu. [1;2]

2. Způsoby ovlivňování emisí spalovacích motorů

2.1 Spalování směsi a složení výfukových plynů zážehových motorů

2.1.1 Paliva

Palivo pro zážehové motory se skládá ze sloučenin uhlovodíků, které obsahují přísady organických komponentů a aditiv, zlepšujících vlastnosti paliva. Při spalování dojde k rozdělení uhlovodíku na uhlík a vodík a jejich následnému sloučení s kyslíkem z nasávaného vzduchu. [1]

Základním a nejrozšířenějším palivem pro zážehové motory je benzín, jehož jakost je určována řadou vlastností, které mají přímý vliv na správné spalování v zážehovém motoru, další vlastnosti ovlivňují vlastnosti spojené s jeho manipulací a skladováním. Nejdůležitějšími parametry benzinů jsou oktanové číslo a karburační schopnost. Oktanové číslo vyjadřuje antidetonační schopnost benzínu, což znamená odolnost benzínu proti detonačnímu spalování. Oktanové číslo se pomocí zkoušek a porovnáváním dosažených výsledků zkoušeného paliva se směsí standardních paliv, která vykazují při různém poměru přesných hodnot oktanového čísla.

Mezi alternativní paliva pro zážehové motory patří plynná paliva, jako je stlačený zemní plyn, zkapalněný zemní plyn, zkapalněný propan butan, vodík a další. Kapalná alternativní paliva pro zážehové motory jsou alkoholy, metanol a etanol.

2.1.2 Spalování

Při ideálním spalování je se vzduchem smícháno přesně potřebné množství paliva, tak aby došlo k jeho oxidaci kyslíkem, který je obsažen v nasávaném vzduchu. Při ideálním spalování by nevznikly žádné škodlivé látky, ale pouze dusík (N_2), oxid uhličitý (CO_2) a vodní páry (H_2O). V reálném procesu spalování však kromě neškodlivých látek dusíku, vodní páry a oxidu uhličitého vznikají produkty nedokonalého spalování, což jsou oxid uhelnatý (CO), částečně nespálené uhlovodíky (HC), oxidy dusíku (NO_x), oxid siřičitý (SO_2) a saze. Škodlivé látky tvoří ve výfukových plynech přibližně 1% z celého objemu. [1]

2.1.3 Složení zápalné směsi

Složení zápalné směsi se vyjadřuje dvěma základními způsoby a to směšovacím poměrem a součinitelem přebytku vzduchu.

Směšovací poměr α vyjadřuje složení směsi pomocí hmotnostního poměru množství benzínu a vzduchu, obsaženém v dané zápalné směsi. Rozlišujeme směšovací poměr teoretický a skutečný. Teoretický směšovací poměr je 1:14,7 to znamená, že pro dokonalé spálení 1 kg benzínu je zapotřebí 14,7 kg vzduchu. Teoretický směšovací poměr je dán chemickým složením paliva. Skutečný směšovací poměr se liší od teoretického v závislosti na teplotě, otáčkách a zatížení motoru. Pokud je v zápalné směsi větší podíl benzínu než v teoretickém poměru, pak se směs nazývá bohatá a pokud motor pracuje se směsí, kdy je množství benzínu menší než teoretické, pak se směs nazývá chudá. Směs je zapalitelná zapalovací svíčkou v rozmezí 1:10 – 1:18. Součinitel přebytku vzduchu λ je závislý na směšovacím poměru. Při teoretickém (stechiometrickém) směšovacím poměru odpovídá součinitel přebytku vzduchu $\lambda = 1$.

Součinitel přebytku vzduchu vyjadřuje poměr skutečného množství vzduchu ve spalovacím prostoru k teoreticky potřebnému množství vzduchu. Pro velmi bohatou směs odpovídá hodnota přebytku vzduchu $\lambda = 0,2$ až $0,3$, pro chudou směs odpovídá hodnota $\lambda = 1,05$ až $1,15$. [2]

2.1.4 Složení výfukových plynů zážehového motoru

Oxid uhelnatý CO

K největšímu vzniku oxidu uhelnatého dochází při spalování bohaté směsi ($\lambda < 1$) a to kvůli nízkému obsahu kyslíku, který je potřebný pro oxidaci uhlíku na neškodlivý oxid uhličitý (CO_2). V tomto režimu chodu motoru pracujícím s bohatou směsí roste podíl oxidu uhelnatého téměř lineárně v závislosti na klesající hodnotě λ . Při spalování chudé směsi v oblasti přebytku vzduchu je objemový obsah oxidu uhelnatého nízký a prakticky nezávisí na hodnotě λ . Při hodnotě součinitele přebytku vzduchu $\lambda = 1$ se objemový obsah oxidu uhelnatého pohybuje mezi $0,3 - 0,5$ %, což je způsobeno nepřesností plnění jednotlivých válců a kolísáním složení směsi. Vznik oxidu uhelnatého je ovlivněn pouze složením směsi, tedy množstvím vzduchu a paliva, okamžik zapálení nemá na jeho tvorbu výraznější vliv. Oxid uhelnatý je velice jedovatý plyn, který se nevyznačuje žádným zápachem a je bezbarvý. I při jeho malé koncentraci může být pro člověka při delším vdechování smrtelný.

Uhlovodíky HC

Hodnota objemového obsahu uhlovodíků je podobně jako u oxidu uhelnatého závislá na hodnotě λ , to znamená, že se snižující se hodnotou součinitele přebytku vzduchu stoupá

množství uhlovodíků ve výfukových plynech. Hlavní příčinou je nedokonalé spalování je přebytek paliva. To způsobuje zvýšení podílu nespálených a částečně spálených uhlovodíků. Nejnižší množství uhlovodíků vzniká při hodnotě $\lambda = 1,1 - 1,2$. Při jiných hodnotách λ je podíl uhlovodíků vyšší a to i při spalování chudé směsi. Hodnota objemového obsahu uhlovodíku je nejvíce ovlivněna nepřesností zapalování a celkovým stavem motoru a jeho seřízením. Podíl množství uhlovodíků ve výfukových plynech je mnohem menší než množství oxidu uhelnatého. Při spalování vznikají tři druhy nespálených uhlovodíků a to nasycené, nenasyčené a aromatické uhlovodíky. Nasycené uhlovodíky jsou téměř bez zápachu a působí narkoticky. Nenasycené mají lehce nasládlou vůni a výrazně se podílejí na tvorbě smogu. Aromatické uhlovodíky mají svůj charakteristický zápach a působí jako nervové jedy a mají rakovinotvorný účinek.[2]

Oxidy dusíku NO_x

Při spalování vzniká hlavně oxid dusnatý (NO) a v menších množstvích také oxid dusičitý (NO_2) a oxid dusný (N_2O). Množství oxidů dusíku ve výfukových plynech je nejvyšší při hodnotě $\lambda = 1,05 - 1,1$. Při spalování bohatých směsí, tedy se snižující se hodnotou λ se množství oxidů dusíku také snižuje. Při spalování směsí chudých, teda se zvyšující se hodnotou λ se množství oxidů dusíku opět snižuje. Vliv na vznik oxidů dusíku má především vysoká teplota ve spalovacím prostoru díky, kterým dochází k oxidaci dusíku obsaženého v nasávaném vzduchu. Oxid dusnatý je bezbarvý plyn, jež při styku se vzduchem oxiduje na oxid dusičitý, který má hnědočervenou barvu a vyznačuje se silným zápachem. Působí negativně na lidský organismus, leptá tkáň a dráždí plíce a pokožku. Je silně jedovatý a podílí se na tvorbě smogu. [5]

Oxid siřičitý SO_2

Síra jež je obsažená v palivu při styku s kyslíkem ze vzduchu oxiduje na oxid siřičitý (SO_2). Oxid siřičitý vytváří spolu s vodou kyseliny síry, které jsou nebezpečné pro životní prostředí, způsobují takzvaný kyselý déšť.

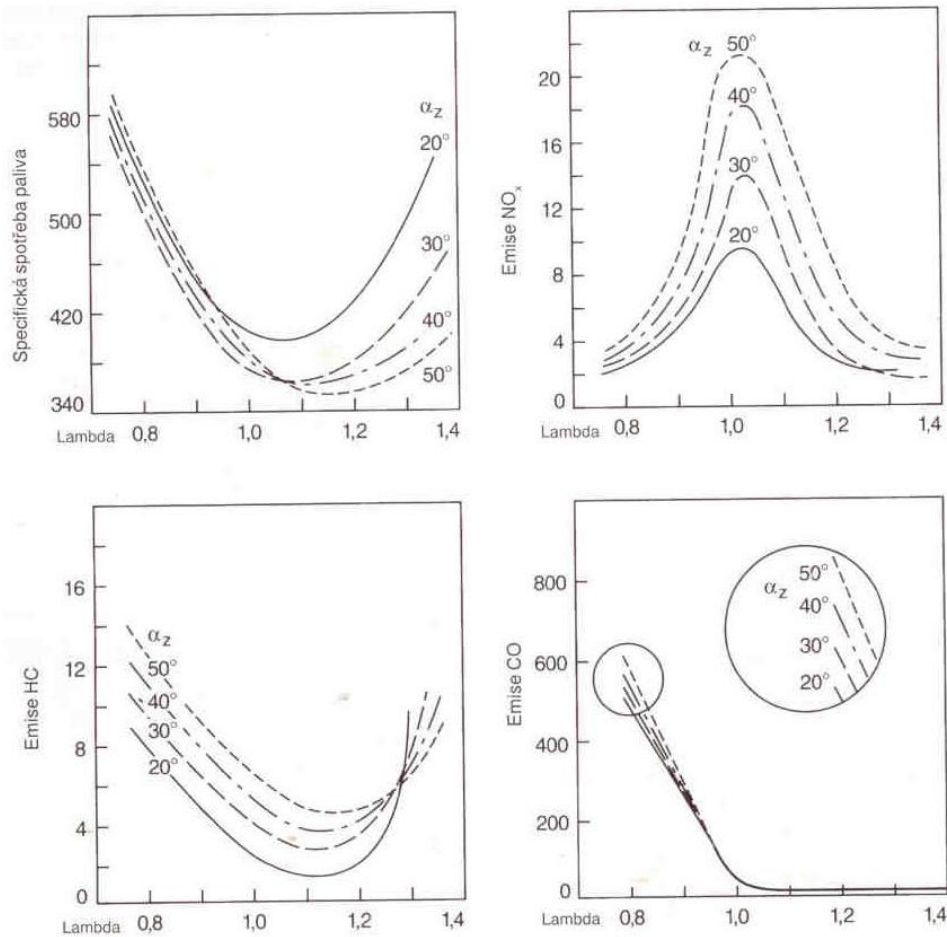
Oxid uhličitý CO_2

Nejvyšší hodnoty oxidu uhličitého je dosaženo při spalování stechiometrické směsi tedy při hodnotě $\lambda = 1$. Při ostatních režimech chodu motoru jeho množství klesá. Hodnota oxidu uhličitého vypovídá o stavu motoru, například jeho nízká hodnota a zároveň nízké hodnoty oxidu uhelnatého a uhlovodíků obsažených ve výfukových plynech znamenají netěsnosti na výfukovém potrubí. Množství oxidu uhličitého může být ještě zvyšováno a to činností

katalyzátoru. Oxid uhličitý je nejedovatý plyn, avšak jeho množství musíme sledovat, protože jeho nárůstem se podílí na vzniku skleníkové efektu. [4]

Kyslík O₂

Kyslík je obsažen ve výfukových plynech pouze při spalování chudé směsi.



Obrázek 11: vliv hodnoty λ na emise škodlivých látek [4]

2.2 Systémy pro snižování emisí zážehových motorů

2.2.1 Systémy se sekundárním vzduchem

Systémy se sekundárním vzduchem přinášejí snížení emisí uhlovodíků a oxidu uhelnatého a to díky přivádění čerstvého vzduchu do výfukového potrubí. Vzduch je přiváděn přes elektronicky řízený ventil přímo za válce do výfukového systému. Vzduch je k elektronicky řízenému ventilu přiváděn pomocí dmychadla sekundárního vzduchu a slouží k dodatečnému termickému spalování uhlovodíků a oxidu uhelnatého, které nebyli spáleny ve válcích. Toto sekundární spalování může probíhat díky vysoké teplotě výfukových plynů a právě

přiváděného sekundárního vzduchu. Tento způsob má největší význam především při chodu studeného motoru, když se katalyzátor zahřívá a nemá potřebnou účinnost.

2.2.2 Katalyzační systémy

Katalyzátor (správně nazývaný katalytický konvertor) je zařízení umístěné ve výfukovém systému spalovacího motoru a pomocí chemicko-tepelné reakce slouží ke snižování emisí.

Oxidační katalyzátor

Oxidační (dvojjinný) katalyzátor přeměňuje pomocí oxidace nespálené uhlovodíky a oxid uhelnatý, k snížení obsahu oxidů dusíku u tohoto systému nedochází. Pomocí oxidace mění nespálené uhlovodíky na vodní páru (H_2O) a oxid uhelnatý na oxid uhličitý. Tento systém pracuje s chudou zápalnou směsí, která je přiváděna od válců, anebo s přídavným vzduchem sekundárním vzduchem přiváděným přímo do výfukového systému. Tento systém se v současnosti už nepoužívá, protože nespĺňuje nejpřísnejší emisní limity. [2]

Oxidačně – redukční katalyzátor

Oxidačně redukční (trojjinný) katalyzátor je schopný odstraňovat všechny tři škodlivé látky z výfukových plynů – nespálené uhlovodíky, oxid uhelnatý a oxidy dusíku a vyznačuje se také vysokou až 95% účinností, díky tomu je nejpoužívanějším systémem u sériově vyráběných vozidel. Přeměna uhlovodíků a oxidu uhelnatého probíhá stejně jako u dvojjinného katalyzátoru, oxidy dusíku katalyzátor přeměňuje na dusík. Vysoké účinnosti je dosaženo díky lambda regulaci, pomocí které motor pracuje se stechiometrickým složením směsi ($\lambda = 1$). Při použití systému bez lambda regulace je jeho účinnost 50%. [2]

Konstrukce katalyzátoru

Katalyzátor se skládá ze dvou částí - obalu z nerezového plechu a nosiče, který obsahuje aktivní katalytickou vrstvu. V dnešní době jsou používány dva základní druhy nosičů – keramický a kovový.

Keramický nosič je tvořený z keramického tělesa válcového tvaru, ve kterém je vytvořeno několik tisíc kanálků, kterými proudí výfukové plyny. Kovové pletivo o průměru drátků 0,25 mm tvoří spoj mezi ocelovým obalem a keramickým nosičem. Toto pletivo slouží jako ochrana nosiče proti mechanickým poškozením a také k vyrovnávání tepelné roztažnosti způsobených ohřevem od výfukových plynů.

Kovový nosič byl dříve používán pouze u takzvaných startovacích katalyzátorů, jež byli umístěny před hlavním katalyzátorem a to díky tomu, že dosahují dříve provozní teploty. V dnešní době jsou používány v čím dál větší míře a to i přes jejich vyšší cenu. Výhodou je odolnost proti vibracím a tepelné roztažnosti.

Keramické a kovové nosiče jsou potaženy základní nosnou vrstvou z oxidu hlinitého, která díky nerovnostem svého povrchu zvětšuje účinnou plochu nosiče až 7000 krát, na této nosné vrstvě je nanášena napařováním vlastní aktivní vrstva. Aktivní vrstva je složena z platiny a paladia u dvojjinných katalyzátorů a u trojjinných katalyzátorů je aktivní vrstva tvořena platinou, paladiem a rhodiem. Platina slouží ke zlepšení oxidace oxidu uhelnatého, paladium pro oxidaci uhlovodíků a rhodium k oxidaci oxidů dusíku. Tuto aktivní vrstvu tvoří v jednom katalyzátoru 2 – 3g těchto vzácných kovů. [3]

Provozní podmínky

Pro nejúčinnější funkci katalyzátoru je zapotřebí, aby se jeho pracovní teplota pohybovala v určitém interval. Funkce katalyzátoru začíná od teploty 250°C, ideální provozní teplota katalyzátoru je pro jeho účinnost i životnost 400 – 800°C. Při teplotách vyšších dochází k jeho zvýšenému opotřebování, při 800 – 1000°C dochází ke spékání kovů nosné a aktivní vrstvy, což způsobuje zmenšování aktivní plochy katalyzátoru, při teplotách nad 1000°C jde o velmi silné tepelné stárnutí vedoucí poruše činnosti samotného katalyzátoru. Za příznivých podmínek je životnost katalyzátoru přes 100000 km. Další možností poškození katalyzátoru je provoz motoru na olovnatý benzín, protože olovo zanáší kanálky v aktivní vrstvě. Stejný vliv na katalyzátor jako olovo mají zbytky oleje z motoru. Při poruše zapalování dochází k vniknutí zápalné směsi do katalyzátoru, ve kterém palivo společně se vzduchem oxiduje a výrazně zvyšuje teplotu katalyzátoru až na 1400°C, což má pro katalyzátor destruktivní účinky.

2.2.3 Lambda regulace

Pro dosažení co nejvyšší účinnosti katalyzátoru je důležité, aby motor pracoval v co nejmenším rozsahu okolo stechiometrické směsi, toho složení směsi lze dosáhnout pouze pomocí lambda regulace, kdy se hodnota součinitele λ pohybuje mezi hodnotami 0,99 – 1,00. Kyslíková lambda sonda je umístěna před katalyzátor, kde snímá množství vzduchu ve výfukových plynech. Hodnotu množství vzduchu ve výfukových plynech převádí na

elektrické napětí a pomocí řídicí jednotky se určuje hodnota λ spalované směsi ve válcích. Řídicí jednotka upravuje dobu vstřiku paliva na základě signálů z lambda sondy, otáček a zatížení motoru.

Lambda sonda je schopna spolehlivě pracovat pouze za určité provozní teploty, pro dosažení lepší funkčnosti při chodu studeného motoru se využívá vyhřívané lambda sondy, která je schopna plně fungovat již po 30s od spuštění studeného motoru.

Řídicí jednotka porovnává skutečné hodnoty napětí na lambda sondě s předem naprogramovaným referenčním napětím, podle toho jaký poměr mezi těmito napětími vzniká upravuje řídicí jednotka dobu vstřiku. Při nízkých otáčkách a běhu naprázdno je četnost odezvy asi 0,1s, při vyšších otáčkách reaguje 10 krát rychleji. Pokud po vstřiku paliva odchýlí hodnota λ , pak je doba dalšího následujícího vstřiku již upravena, tak aby $\lambda = 1$. Během provozu vozidla dochází k situacím, kdy je zapotřebí jiná délka vstřiku, než je naprogramovaná v řídicí jednotce. Tyto situace mohou být způsobeny rozdílnou kvalitou paliva nebo mechanickým opotřebením motoru. Jestliže řídicí jednotka musí neustále upravovat délku vstřiku, dojde k přizpůsobení lambda regulace. Řídicí jednotka uloží tuto změnu a nadále s ní pracuje, bez nutnosti neustálé regulace.

Pro zlepšení funkčnosti celého systému se využívá dvou lambda sond. První lambda sonda je umístěna před katalyzátorem a druhá lambda sonda je umístěna za katalyzátorem. Tímto je dosaženo dlouhodobé stabilizace složení směsi. [3]

3. Způsoby měření emisí spalovacích motorů

Měření emisí zážehových motorů je důležité pro stanovení konkrétních hodnot emisí a míry znečištění výfukovými plyny. V praxi se nejčastěji setkáváme s měřením emisí během provozu vozidla, které jsou prováděny pověřenými stanicemi měření emisí. Těmto měřením se vozidla podrobují v pravidelných intervalech podle jejich druhu. Efektivnějším způsobem zjišťování emisí motorů je způsob měření používaný při uvádění nových vozidel do provozu při tzv. homologačním měření emisí. Toto měření je přesnější a vyžaduje přísnější plnění emisních limitů.

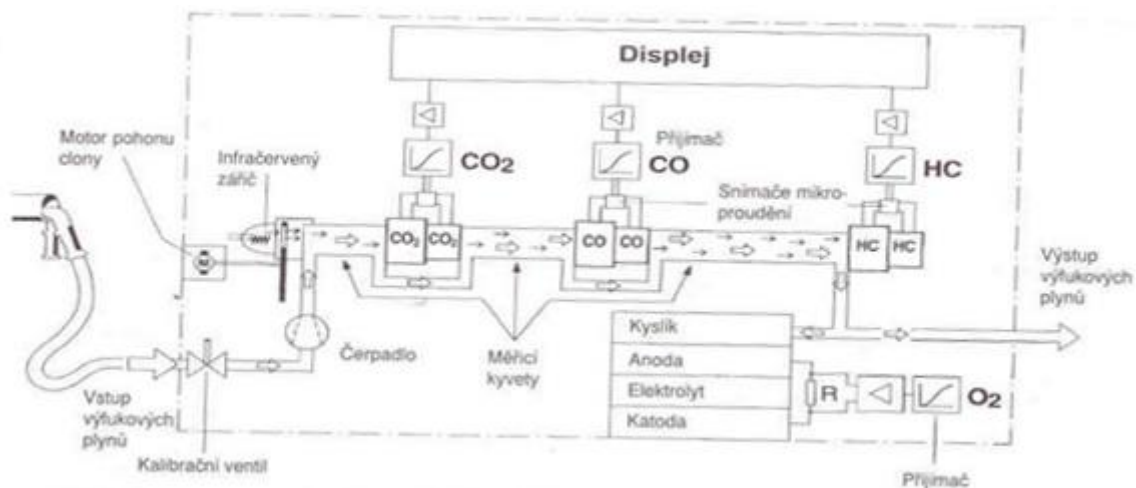
3.1. Měření emisí zážehových motorů během provozu vozidla

Pro měření emisí výfukových plynů u vozidel se zážehovými motory se používají 4-složkové infraanalyzátory, umožňující legislativou požadované stanovení obsahu CO, HC a vyhodnocení hodnoty lambda. Čtyřsložkové infraanalyzátory měří obsah oxidu uhelnatého CO, uhlovodíků HC, oxidu uhličitého CO₂ a kyslíku O₂ ve výfukových plynech. Kromě složek výfukových plynů přístroje dále měří nebo vypočítávají hodnoty součinitele přebytku vzduchu λ , otáčky motoru a teplotu oleje. Pro měření obsahu CO, HC a CO₂ se používá tzv. infračervená metoda. Měření obsahu kyslíku ve výfukových plynech se používá pro zjištění hodnoty λ a určuje se elektrochemicky působícím snímačem. Hodnotu λ vypočítává přístroj z hodnot objemového obsahu čtyř plyných složek emisí (CO, HC, CO₂ a O₂). Stejně jako je obvyklé u motortesterů, používá se pro měření počtu otáček indukční snímač impulsů na kabelu zapalování a pro měření teploty oleje teplotní snímač místo olejové měřky. Dokonalejší infraanalyzátory výfukových plynů mohou používat pro měření otáček motoru signálu na svorce 1/15, který bývá často přiveden na diagnostickou zásuvku. [4]

3.1.1 infraanalyzátory výfukových plynů

Infračervená metoda je založena na vlastnosti uvedených složek emisí výfukových plynů, které absorbují infračervené záření, a sice záření se zcela určitou, pro příslušný plyn charakteristickou vlnovou délkou. Existují různé metody, jak měřit zeslabení vlnových délek charakteristických pro tyto tři plyny. Vlnová délka pro HC 3 – 3,5 μm , pro CO₂ asi 4,2 a pro CO přes 4,5 μm . Metoda, která se používá u přístrojů Bosch, využívá zmíněné plynné složky k tzv. selektivnímu měření. Princip měření je vysvětlen na složce CO₂ a je stejný i pro složky CO a HC. Zdroj infračerveného záření, zahřátý asi na 700°C, vysílá záření. To prozáří měrné

kyvety, přes které proudí výfukové plyny. Procentuální hodnota obsahu CO_2 ve výfukových plynech má vliv na výši oslabení vlnového rozsahu. Zbytek záření dopadá na přijímač CO_2 . Ten je naplněn plynem CO_2 a hermeticky uzavřen. Čím méně záření se absorbovalo v měrné kyvetě, tím více se může absorbovat v přijímači. Absorpce v buňce přijímače vede ke zvýšení jeho teploty. Přijímač se skládá ze dvou buněk, které jsou propojeny kanálem. Zvýšení teploty v buňce vede k roztažení plynu a tím ke vzniku proudění z jedné buňky do druhé. Toto proudění se pomocí snímače mikroproudění přeměňuje na elektrický výstupní signál. Snímač mikroproudění se skládá z nejjemnějších niklových drátů, které při proudění mění svou teplotu a tím i odpor. Signály snímače se zesilují a analogově-digitálním převodníkem přeměňují na digitální hodnoty, které jsou zpracovány mikroprocesorem. Korigované výstupní hodnoty se přivádějí na displej a mohou se přes sériové rozhraní vytisknout na tiskárně. Pro lepší měřitelnost signálů se infračervené záření rytmicky přerušuje s pomocí rotující clonky s otvory. Tím vzniká střídavý proud a na výstupních obvodech přijímače střídavé napětí. Na vstupu první měřicí kyvety se nachází filtr, který slouží k tomu, aby se do měřicí kyvety nedostalo rušivé záření. Protože výstupní napětí je na přijímačích největší tehdy, když ve výfukových plynech není měřený plyn obsažen, musí v určitých časových odstupech proběhnout automatická kalibrace. K tomu přepíná kalibrační ventily na vzduch. Po uplynutí dostatečné doby proudění se provede měření. Získané hodnoty se použijí jako vztažné hodnoty. [4]



Obrázek 12: Princip měření čtyřsložkového analyzátoru [4]

Kyslíková sonda - O₂ snímač

Obecně se pro určování obsahu kyslíku používá difuzní snímač hraničního proudu. Ten se skládá z porézní teflonové folie, z jedné podle určité metody namíchané olověné elektrody a akumulátorové kyseliny. Jestliže se na snímač přivede napětí 200 mV, stává se proud o rozsahu 0 – 100 mA měřítkem obsahu kyslíku. [4]

Výpočet hodnoty λ

Pro výpočet hodnoty součinitele přebytku vzduchu lambda se používá Brettschneiderův vzorec. Aby mohla být hodnota spočítána, je třeba znát obsah čtyř složek emisí výfukových plynů a to CO, HC, CO₂ a O₂. Obsah plynů se může uvádět v procentech nebo jako desetinný zlomek. Ve čtyřsložkovém infraanalyzátoru se lambda vypočítává a zobrazuje podle tohoto vzorce. [4]

Stavba a funkce čtyřsložkového infraanalyzátoru výfukových plynů Bosch ETT

Přístroj se člení na jednotlivé části, cesta plynu včetně snímačů, elektronické obvody ke zpracování naměřených hodnot, výpočtu lambdy a zobrazení, tiskárna naměřených hodnot, sériové rozhraní pro motortester, snímač otáček a teploty.

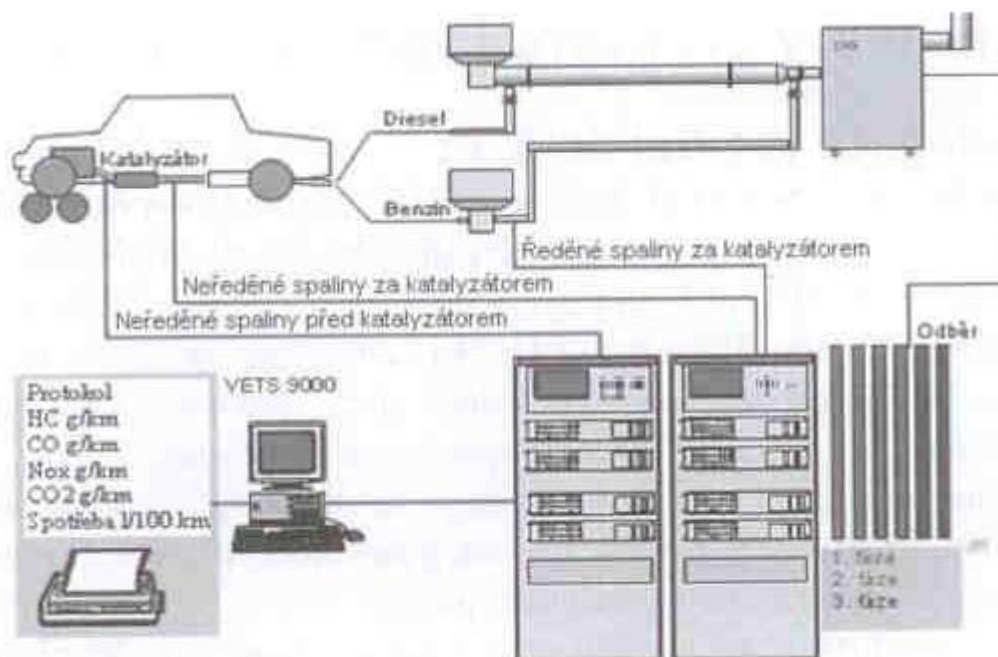
Měřené výfukové plyny se přes výfukovou sondu pomocí membránového čerpadla nasávají z výfuku vozidla a vedou se přes hrubý filtr a kondenzační filtr ve vodním odlučovači. Zde se odděluje nasátá kondenzovaná voda a hrubé nečistoty.

Magnetický ventil přepíná vstup z plynu na vzduch, když přístroj provádí automatickou kalibraci. Bezpečnostní filtry před vstupy vzduchu a plynu chrání měřicí komoru před pronikáním pevných částic. Rovněž zabraňují pronikání vody. Eventuálně nasátá voda se automaticky vylučuje z hadice na zadní straně přístroje. Tlakovým spínačem se sleduje, aby bylo nasáváno vždy dostatečné množství plynu. Tryska v pojistné nádobě působí vzestup tlaku na výstupu čerpadla, což přivádí do chodu tlakový spínač a chybové hlášení ukáže obsluze chybnou funkci. [4]

3.2 Měření emisí při homologaci vozidel

Měření složení emisí při uvádění nových vozidel do provozu je řízeno evropským předpisem EHK upravujícím tuto problematiku. Maximální výše emisí je velmi přísně kontrolována a je kladen důraz na technické, technologické a ekonomické parametry motorů.

Zkoušky probíhají jako simulace jízdního cyklu vozidla na zkušebním dynamometru. Ve zkoušce je zahrnut jeden cyklus provozu vozidla v mimoměstském provozu a čtyřikrát jsou měřeny složky výfukových plynů při městském provozu. Měření probíhají bezprostředně za sebou. Měření začíná na chodem nezahřátém motoru (20°-30°C), výfukové plyny jsou odebírány do sběrných vaků, ve kterých jsou ředěny vzduchem a stanovuje se koncentrace ředěných emisí, která je následně přepočítávána na g.km^{-1} . [1]



Obrázek 13: Schéma homologační metody měření emisí [1]

4. Měření a vyhodnocení emisí na vozidle

4.1. Měřené vozidlo

Měření emisí bylo prováděno na vozidle značky Opel. Jedná se o model Corsa typu C, rok výroby vozidla je 2008. Vozidlo je osazeno zážehovým motorem o zdvihovém objemu 1229 cm³ s označením Twinport Z12XEP, výkon motoru výrobce udává 59 kW při 5600 ot.min⁻¹. Vozidlo mělo v době měření najeto 60 000 km. Pravidelné prohlídky a údržba probíhaly vždy v autorizovaném servise v předepsaných intervalech. Motor je řízen systémem elektroniky Bosch Motronic M 7.6.1. V tomto případě se jedná o novější generaci systému Bosch Motronic, který byl popsán v kapitole 1.2.1.5. Tento systém se vyznačuje kompletním řešením elektronického zapalování a vstřikování, které jsou řízeny společnou řídicí jednotkou. V základním provedení je řídicí jednotka schopna ovlivňovat předstih zapalování, okamžik a dobu vstřiku paliva na základě otáček, teplotě a zatížení motoru. [6]



Obrázek 14: Měřené vozidlo [vlastní foto]

4.2. Měřicí zařízení

Vlastní měření emisí se uskutečnilo ve stanici měření emisí firmy Jiří Vincenci ve Skutči u Chrudimi. Tato firma používá čtyřsložkový analyzátor výfukových plynů výrobce Bosch s typovým označením BEA 850, který umožňuje analýzu výfukových plynů zážehových i vznětových motorů. U zážehových motorů sleduje obsah CO, CO₂, HC, O₂, NO a hodnotu součinitele přebytku vzduchu lambda λ . Základní princip funkce čtyřsložkového analyzátoru je popsána v kapitole 3.1.1. Parametry a způsob činnosti používaného zařízení je možné nalézt v dokumentaci dodávané výrobcem Bosch.



Obrázek 15: Analyzátor Bosch [7]

4.3 Postup měření emisí

Měření jsem provedl já za přispění servisního technika stanice měření emisí. V prvním kroku byla nutná vizuální kontrola motorového prostoru a výfukového vedení, aby nedocházelo k ovlivnění měření z důvodu netěsností ve výfukovém systému. Dalším krokem bylo vyčtení paměti závad řídicí jednotky motoru pomocí diagnostického zařízení Bosch KTS 540. Důvodem vyčtení paměti závad je ověření bezproblémové funkce motoru. Vzhledem k tomu, že na vozidle nebyly nalezeny žádné závady ovlivňující měření, měření může postoupit k dalšímu kroku. Dalším krokem je zadání údajů o vozidle a vlastníkovi do softwaru sloužícímu k vyhodnocování naměřených hodnot. Po tomto úkonu postoupíme v doprovodném softwaru ke kroku, kde se zobrazují maximální hodnoty pro měřené veličiny. Dále je nutné potvrzení úspěšné vizuální prohlídky a vyčtení paměti závad. Pokračujeme připojením přístrojů sloužících k vlastnímu měření, snímač otáček, snímač teploty motorového oleje a odběrová sonda výfukových plynů. Snímač otáček se umísťuje na akumulátor vozidla, snímač teploty motorového oleje se vkládá do místa určeného pro měrku oleje a odběrová sonda se vkládá do vyústění výfukového potrubí. V další fázi jsem přistoupil k vlastnímu měření, které probíhá nejprve za zvýšených otáček. Rozsah otáček pro měření za zvýšených otáček je dán výrobcem měřícího zařízení a pro toto vozidlo činí 2800 – 3200 ot.min⁻¹. V tomto rozsahu otáček je nutné udržovat motor po dobu 30 s. V další fázi je prováděno měření při volnoběžných otáčkách, které musí být v odpovídajícím rozsahu a to 670 – 830 ot.min⁻¹. Volnoběžné otáčky je nutné udržovat po dobu 15s. Po úspěšném měření se přesuneme k zadání údajů o osvědčení z měření emisí a další prohlídky. V poslední fázi

proběhne tisk protokolu se všemi potřebnými údaji a naměřenými parametry. Protokoly z měření jsou uvedeny v příloze práce.

4.3.1 Měření č. 1

První měření bylo realizováno pro určení hodnoty složek výfukových plynů bezprostředně po nastartování nezahřátého motoru. Vozidlo bylo umístěno po dostatečně dlouhou dobu v prostoru s okolní teplotou 10°C, tak aby bylo zajištěno toho, že motor měl teplotu shodnou s teplotou okolí. Měření bylo prováděno podle postupu uvedeného v předchozím textu. Rozdílnost v tomto měření spočívala v tom, že teplota motorového oleje byla 10°C. Doprovodný software dovoluje pokračování v měření pouze, pokud je teplota motorového oleje vyšší než 80°C, z tohoto důvodu bylo čidlo teploty motorového oleje umístěno do externí nádoby s olejem, jehož teplota přesahovala požadovanou minimální hodnotu danou softwarem diagnostického zařízení. Skutečná teplota oleje v motoru byla měřena před nastartováním motoru pomocí snímače teploty motorového oleje, tato teplota je zobrazována na obrazovce analyzátoru. Zbytek měření probíhal již standardním způsobem. Teplota okolí byla v době měření 15°C.

4.3.2 Měření č. 2

Další fáze měření probíhala na motoru, který byl částečně zahřátý chodem během prvního měření a následným chodem ve volnoběžných otáčkách po dobu 4 minut. Teplota oleje v tomto případě činila 30°C. Z tohoto důvodu muselo být přistoupeno ke stejnému způsobu měření teploty motorového oleje, popsáném v odstavci 4.2.1. Teplota okolí byla shodná s teplotou z prvního měření a je uvedena v odstavci 4.2.1.

4.3.3 Měření č. 3

V posledním měření byly zjišťovány hodnoty složek výfukových plynů na motoru zahřátém na provozní teplotu. Zahřátí bylo provedeno jízdou o délce 18km, tak aby bylo dosaženo zahřátí motorového oleje na hodnotu převyšující 80°C. Vzhledem k tomu, že teplota motorového oleje byla vyšší, než teplota vyžadovaná doprovodným softwarem, nebylo nutné měřit teplotu motorového oleje jako v předchozích měřeních. Celý průběh měření probíhal standardním způsobem uvedeným v předchozím textu pro postup měření emisí. Teplota okolí

při zahřívání motoru jízdou byla 13°C, teplota okolí při měření byla shodná se dvěma předchozími měřeními.

4.4 Vyhodnocení měření

Naměřené hodnoty uvedené v tabulkách jsou převzaty z protokolů o měření emisí, které jsou v příloze bakalářské práce.

4.4.1 Vyhodnocení měření č.1

První měření bylo prováděno bezprostředně po startu na nezahřátém motoru s teplotou oleje 10°C. Složení směsi pro start motoru má výrazný vliv na hodnoty složek výfukových plynů. V naměřených hodnotách se projevuje především následné obohacování při chodu nezahřátého motoru. Hlavně tedy u hodnot pro měření při zvýšených otáčkách, protože vlastní měření začne, až po dosažení požadovaných otáček motoru, proto nejsou započítávány hodnoty při startování a krátce po něm. Pro měření při volnoběžných otáčkách se projevuje pouze obohacení pro zahřívání motoru. Zvýšená dávka paliva a nefunkčnost katalyzátoru se projevuje vysokým obsahem uhlovodíků HC a oxidu uhelnatého CO, hodnota součinitele přebytku vzduchu lambda je také mimo rozsah. Množství oxidu uhelnatého u měření ve volnoběžných otáčkách je v toleranci z důvodu nízkého obsahu kyslíku ve válci. Pro oxidaci dvou atomů uhlíku je zapotřebí dva atomy kyslíku, to není v tomto případě možné, proto uhlík setrvává v podobě uhlovodíků HC. Toto se projevuje vysokým podílem uhlovodíku. Velký obsah uhlovodíků HC a oxidu uhelnatého CO je také způsoben nedokonalým spalováním uvnitř spalovacího prostoru. V této fázi měření by vozidlo kontrolou emisí neprošlo, naměřené hodnoty při zvýšených otáčkách mnohonásobně převyšují maximální možné hodnoty.

volnoběh		předepsané	naměřené
studený motor	otáčky	670 - 830	720
	obsah CO [%]	0,5	0,179
	obsah HC [ppm]		134

Tabulka 1: Naměřené hodnoty pro studený motor a volnoběh

zvýšené otáčky		předepsané	naměřené
studený motor	otáčky	2800 - 3200	3100
	obsah CO [%]	0,2	1,913
	obsah HC [ppm]		249
	lambda	0,97 - 1,03	0,943

Tabulka 2: Naměřené hodnoty pro studený motor a zvýšené otáčky

4.4.2 Vyhodnocení měření č.2

Druhé měření bylo prováděno již na částečně zahřátém motoru s teplotou oleje 30°C. Krátká doba chodu se výrazně projevila na složení výfukových plynů. Hodnoty složek výfukových plynů jsou na srovnatelné úrovni, jako hodnoty při třetím měření. Snížení podílu uhlovodíků HC a oxidu uhelnatého CO je výsledkem snížení množství vstřikovaného paliva a také díky katalyzátoru, který dosáhl své provozní teploty a začal spolehlivě odstraňovat nebezpečné složky výfukových plynů. Vozidlo by i po krátké době bylo vyhovující z hlediska zákonného měření emisí.

volnoběh		předepsané	naměřené
částečně zahřátí	otáčky	670 - 830	720
	obsah CO [%]	0,5	0,04
	obsah HC [ppm]		13

Tabulka 3: Naměřené hodnoty pro částečně zahřátý motor a volnoběh

zvýšené otáčky		předepsané	naměřené
částečně zahřátí	otáčky	2800 - 3200	3100
	obsah CO [%]	0,2	0,009
	obsah HC [ppm]		24
	lambda	0,97 - 1,03	1

Tabulka 4: Naměřené hodnoty pro částečně zahřátý motor a zvýšené otáčky

4.4.3 Vyhodnocení měření č.3

Při třetím měření bylo dosaženo provozní teploty motoru. Naměřené hodnoty jsou mnohonásobně nižší, než hodnoty maximální povolené. Těchto hodnot bylo dosaženo díky plně fungujícímu katalyzátoru a přerušení obohacování při zahřívání studeného motoru. Hodnoty při tomto měření jsou nepatrně vyšší, než hodnoty naměřené při teplotě motorového oleje 30°C, to je způsobeno nižšími otáčkami, k možnému ovlivnění mohlo také dojít v průběhu měření změnou polohy pedálu akcelérátoru. Vozidlo by bylo z hlediska měření emisí vyhovující.

volnoběh		předepsané	naměřené
provozní teplota	otáčky	670 - 830	720
	obsah CO [%]	0,5	0,04
	obsah HC [ppm]		21

Tabulka 5: Naměřené hodnoty pro zahřátý motor a volnoběh

zvýšené otáčky		předepsané	naměřené
provozní teplota	otáčky	2800 - 3200	2940
	obsah CO [%]	0,2	0,014
	obsah HC [ppm]		28
	lambda	0,97 - 1,03	1,003

Tabulka 6: Naměřené hodnoty pro zahřátý motor a zvýšené otáčky

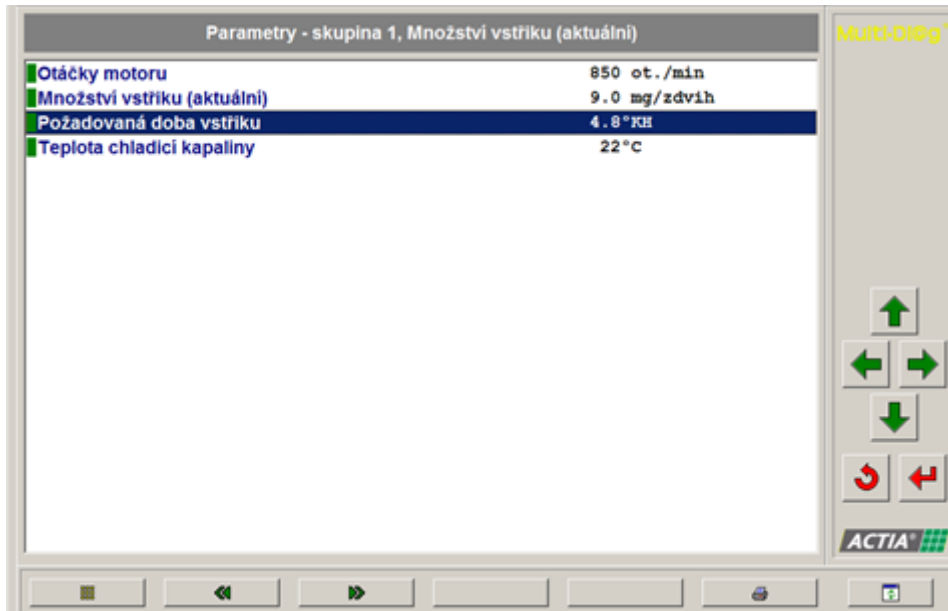
4.5 Měření množství vstřikovaného paliva

Měření množství vstřikovaného paliva a doby vstřiku bylo prováděno na univerzitním vozidle. Jednalo se o Škodu Rapid s motorem 1,2 TSI. Sledované hodnoty byly měřeny pomocí diagnostického zařízení od výrobce Atal, s označením Multi-diag. Toto zařízení je spojováno s vozidlem přes diagnostickou zásuvku. Diagnostika Multi-diag je také vlastnictvím Univerzity Pardubice.

4.5.1 Měření množství vstřikovaného paliva č.1

První měření bylo prováděno na vozidle jehož motor nebyl zahřátý předchozím chodem. Teplota chladicí kapaliny byla 22°C. Pro zrychlení zahřívání studeného motoru je vstřikováno

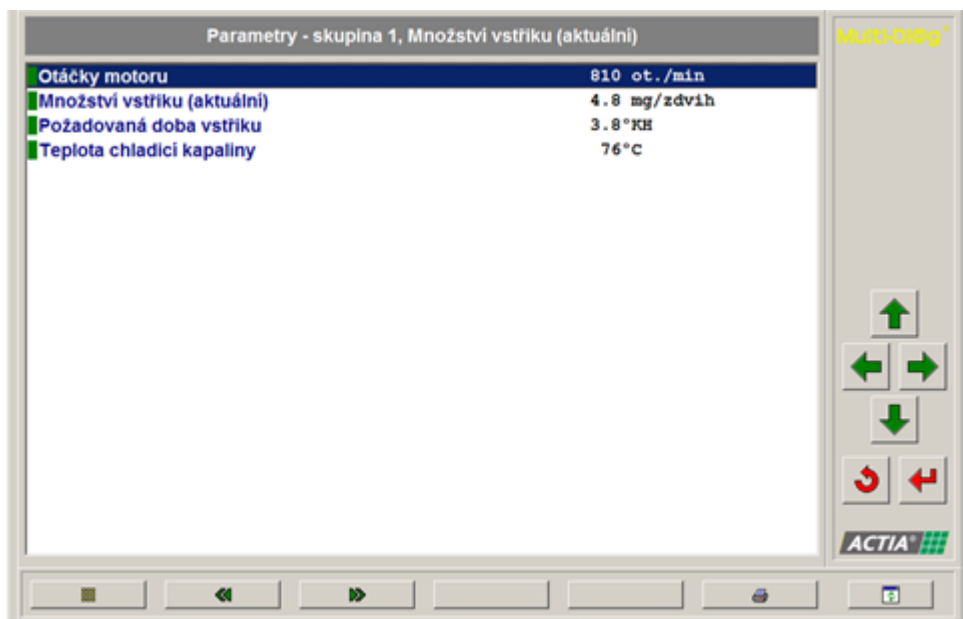
větší množství paliva. Většího množství vstříknutého paliva je docíleno prodloužením doby otevření vstřikovacího ventilu. Způsob určení množství vstříkovaného paliva je popsán v první kapitole konstrukce palivových systémů.



Obrázek 16: Množství vstříkovaného paliva při teplotě 22°C [vlastní foto]

4.5.2 Měření množství vstříkovaného paliva č.2

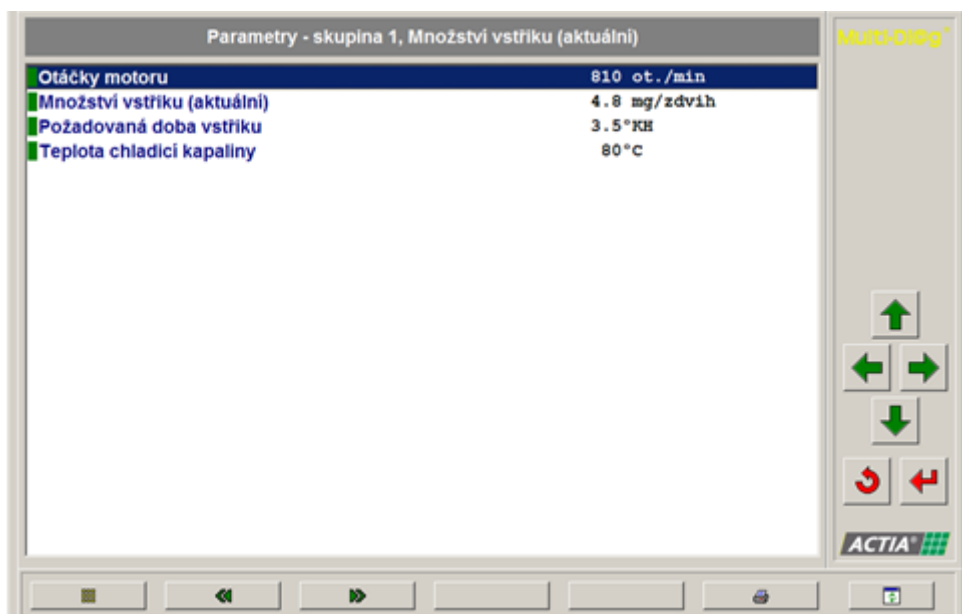
Druhé měření probíhalo při teplotě motoru 76°C, množství vstříkovaného paliva je v porovnání s množstvím paliva pro nezahřátý motor z prvního měření téměř poloviční. Tomu také odpovídá kratší doba vstřiku. V tomto stavu již není nutné motor obohacovat, protože již téměř dosáhl provozní teploty.



Obrázek 17: Množství vstřikovaného paliva při teplotě 76°C [vlastní foto]

4.5.3 Měření množství vstřikovaného paliva č.3

poslední měření probíhalo při provozní teplotě, která u tohoto vozidla činí 80°C. Množství vstřikovaného paliva je na stejné úrovni jako v předchozím měření, protože teplotní rozdíl není nijak výrazný, oproti rozdílu mezi prvním a druhým měřením.



Obrázek 18: Množství vstřikovaného paliva při teplotě 80°C [vlastní foto]

4.6 Závěr měření

Díky naměřeným výsledkům byly ověřeny poznatky z teoretické části. Pro zjišťování hodnot složek emisí výfukových plynů bylo použito měření, které je určeno pro pravidelné prohlídky vozidel v provozu. Princip tohoto měření je popsán v kapitole 3.1.1, následný průběh měření v praxi je uveden v odstavci 4.2. Vzhledem k postupu měření a měření v komerční Stanici měření emisí není možné zjištění složení výfukových plynů během startování motoru a krátce po něm, protože se do protokolu o měření zaznamenává pouze hodnota při dosažení požadovaných otáček, které jsou vyšší než startovací otáčky. Pro objektivnější měření by bylo nutné využít měření emisí určené pro homologaci vozidel, toto měření je popsáno v kapitole 3.2.

5 Závěr

Cílem této práce bylo shrnutí spalovacích systémů, především jejich způsob ovlivňování složení směsi při startování nezahřátého spalovacího motoru a jeho následné zahřívání. Ovlivňování složení výfukových plynů při chodu nezahřátého motoru bylo zároveň se způsobem měření jednotlivých složek výfukových plynů také popsáno. Z teoretických poznatků bylo zjištěno, že v průběhu startování motoru dochází k výrazně zvýšenému přísunu paliva do válce motoru, bez tohoto zásahu by prakticky nebylo možné nezahřátý motor uvést do chodu a zajistit jeho následný bezproblémový chod. Způsoby zvyšování dávky paliva jsou uvedeny v popisu jednotlivých palivových systémů.

V praktické části bylo zjišťováno skutečné složení výfukových plynů ve třech režimech chodu motoru a zároveň bylo ověřeno množství vstříkovaného paliva na vozidle. Měření byla prováděna po spuštění nezahřátém motoru při teplotě motorového oleje 10°C, dále při teplotě 30°C a naposledy při provozní teplotě motoru. V těchto měřeních prováděných ve stanici měření emisí byli vytvořeny protokoly s hodnotami jednotlivých složek výfukových plynů, na základě kterých došlo k vyhodnocení. Množství vstříkovaného paliva bylo ověřeno pomocí diagnostického zařízení připojeného k měřenému vozidlu.

Z naměřených dat je zřejmé, že při startování nezahřátého motoru vozidla a jeho následným zahříváním, dochází ke zvýšené produkci škodlivých látek ve výfukových plynech a zároveň ke zvýšené spotřebě paliva. Z těchto důvodů není z ekologického, ani z ekonomického hlediska výhodné časté startování a jízda se studeným motorem na krátké vzdálenosti, kdy nedojde k zahřátí motoru. Další nevýhodou častého provozu nezahřátého spalovacího motoru je zvýšení mechanického opotřebení. Těmto jevům se u moderních vozidel se systémem Start-Stop předchází, pokud spalovací motor nedosáhne provozní teploty je systém Start-Stop vyřazen z provozu a motor vozidla je při zastavení stále v chodu.

6 Použitá literatura

- [1] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0
- [2] JAN, Zdeněk a ŽDÁNSKÝ. *Automobily 4: Příslušenství*. 4. vyd. Brno: Avid spol s.r.o., 2005. ISBN 80-903671-0-0
- [3] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory: karburátory, vstřikování paliva a optimalizace parametrů motoru*. Vyd. 3. Brno: Computer Press, 2009, 388 s. Auto-moto-profi (Computer Press). ISBN 978-80-251-2545-8
- [4] PETRÁS, Zdeněk a Antonín RŮŽIČKA. *Spalování zážehového motoru a měření emisí*. 1. vyd. Praha: Robert Bosch odbytová s.r.o., 1997
- [5] TAKÁTS, Michal. *Měření emisí spalovacích motorů*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994
- [6] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily 3: motory*. 3. vyd. Brno: Avid s.r.o., 2006. ISBN 80-903671-1-9
- [6] Opel Corsa. [online]. [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: <http://auto.kataloge.cz/opel-corsa.php>
- [8] Bosch BEA 850: Product information. [online]. [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: http://rb-aa.bosch.com/boaa-uk/Product.jsp?prod_id=294&ccat_id=77&language=en-GB&publication=3

7 Seznam příloh

Příloha A: Protokol o měření emisí pro měření č.1

Příloha B: Protokol o měření emisí pro měření č.2

Příloha C: Protokol o měření emisí pro měření č.3

Příloha A: Protokol o měření emisí pro měření č.1



VINCENCI

SME č.
46.03.15

Telefon: 469351210

Fax: 469319459

V. Nováka 52, 539 73 Skuteč

PROTOKOL č. 526/13 o měření emisí vozidla se zážehovým motorem

Značka vozidla: Opel	Druh vozidla: Ostatní
Typ vozidla: Corsa-C	Kategorie vozidla: m1
Typ motoru : Z12XEP	Registrační značka: 4E4 1010
Výrobní č. mot.: *)	Rok výroby(1.registrace): 2008
Stav počítáče ujeté vzdálenosti: 60002 km	Druh paliva: BA95
Typ emisního systému: Řízený kat.	Číslo karoserie: W0L0SDL6884339367

Provozovatel vozidla(jméno, adresa) **Severa Václav ,Desná 52 ,570 01 ,Litomyšl**

KONTROLA:

Výsledek vizuální kontroly	O.K.
Výsledek kontroly závad řídicí jednotkou	O.K.
Výsledek kontroly těsnosti plynového zařízení **)	O.K.

Měřené parametry	Předepsané hodnoty	Naměřené hodnoty s palivem		
		základním	alternativním	
v o l n o b ě h	Otáčky [min-1]	670 - 830	720	0
	Předstih [°] ***)	-	0,0	0,0
	Úhel sep. kontaktů [°/%] ***)	-	0,0	0,0
	Obsah CO[%]	- 0.5	0,179	0,000
	Obsah HC [ppm] ***)	-	134,0	0,0
z v ý š o t á č k y	Otáčky [min-1]	2800 - 3200	3100	0
	Předstih [°] ***)	-	0,0	0,0
	Úhel sep. kontaktů[°/%]	-	0,0	0,0
	Obsah CO [%]	- 0.20	1,913	0,000
	Obsah HC [ppm] ***)	-	249,0	0,0
	lambda [1]	0.97 - 1.03	0,943	----

Použitý analyzátor (výrobce,typ): **Bosch,Bosch**

Naměřené hodnoty jsou přímým on-line záznamem měření analyzátoru.

Poznámky:

Vozidlo z hlediska měření emisí **nevyhovuje**

Příští měření emisí v termínu **do 30.04.2015**

Měření emisí provedl **Vašák Roman**

Číslo osvědčení o ME:

Kontrolní nálepka **nebyla přidělena**

,osvědčení ev. č. **BNA1625**

Datum provedení měření emisí: **30.04.2013**

Za správnost:

razítko



Zpracováno programem firmy TEAS Zlín

*) Pouze, je-li uvedeno v TP Vozidla

**) Pouze pro vozidla vybavená zařízením pro plynový pohon

***) Pouze pro vozidla s neřízenými katalytickými systémy

Příloha B: Protokol o měření emisí pro měření č.2



SME č.
46.03.15

Telefon: 469351210

Fax: 469319459

V. Nováka 52, 539 73 Skuteč

VINCENCI

VINCENCI

PROTOKOL č. 527/13 o měření emisí vozidla se zážehovým motorem

Značka vozidla: Opel	Druh vozidla: Ostatní
Typ vozidla: Corsa-C	Kategorie vozidla: m1
Typ motoru: Z12XEP	Registrační značka: 4E4 1010
Výrobní č. mot.: *)	Rok výroby(1.registrace): 2008
Stav počítáče ujeté vzdálenosti: 60002 km	Druh paliva: BA95
Typ emisního systému: Řízený kat.	Číslo karoserie: W0L0SDL6884339367

Provozovatel vozidla(jméno, adresa) **Severa Václav ,Desná 52 ,570 01 ,Litomyšl**

KONTROLA:

Výsledek vizuální kontroly	O.K.
Výsledek kontroly závad řídicí jednotkou	O.K.
Výsledek kontroly těsnosti plynového zařízení **)	O.K.

Měřené parametry	Předepsané hodnoty	Naměřené hodnoty s palivem		
		základním	alternativním	
v o l n o b ě h	Otáčky [min-1]	670 - 830	720	0
	Předstih [°] ***)	-	0,0	0,0
	Úhel sep. kontaktů [°/%] ***)	-	0,0	0,0
	Obsah CO [%]	- 0.5	0,004	0,000
	Obsah HC [ppm] ***)	-	13,0	0,0
z v ý š o t á č k y	Otáčky [min-1]	2800 - 3200	3100	0
	Předstih [°] ***)	-	0,0	0,0
	Úhel sep. kontaktů [°/%]	-	0,0	0,0
	Obsah CO [%]	- 0.20	0,009	0,000
	Obsah HC [ppm] ***)	-	24,0	0,0
	lambda [1]	0.97 - 1.03	1,000	----

Použitý analyzátor (výrobce,typ): **Bosch,Bosch**

Naměřené hodnoty jsou přímým on-line záznamem měření analyzátoru.

Poznámky:

Vozidlo z hlediska měření emisí vyhovuje	Číslo osvědčení o ME:
Příští měření emisí v termínu do 30.04.2015	Kontrolní nálepka byla přidělena
Měření emisí provedl Vašák Roman	,osvědčení ev. č. BNA1625

Datum provedení měření emisí: **30.04.2013**

Za správnost:

razítko



podpis

*) Pouze, je-li uvedeno v TP Vozidla

**) Pouze pro vozidla vybavená zařízením pro plynový pohon

***) Pouze pro vozidla s neřízenými katalytickými systémy

Příloha C: Protokol o měření emisí pro měření č.3



VINCENCI

SME č.
46.03.15

Telefon: 469351210

Fax: 469319459

V. Nováka 52, 539 73 Skuteč

PROTOKOL č. 525/13 o měření emisí vozidla se zážehovým motorem

Značka vozidla: Opel	Druh vozidla: Ostatní
Typ vozidla: Corsa-C	Kategorie vozidla: m1
Typ motoru : Z12XEP	Registrační značka: 4E4 1010
Výrobní č. mot.: *)	Rok výroby(1.registrace): 2008
Stav počítáče ujeté vzdálenosti: 60214 km	Druh paliva: BA95
Typ emisního systému: Řízený kat.	Číslo karoserie: W0L0SDL6884339367

Provozovatel vozidla(jméno, adresa) Severa Václav ,Desná 52 ,570 01 ,Litomyšl

KONTROLA:

Výsledek vizuální kontroly	O.K.
Výsledek kontroly závad řídicí jednotkou	O.K.
Výsledek kontroly těsnosti plynového zařízení **)	O.K.

Měřené parametry	Předepsané hodnoty	Naměřené hodnoty s palivem		
		základním	alternativním	
v o l n o b ě h	Otáčky [min-1]	670 - 830	720	0
	Předstih [°] ***)	-	0,0	0,0
	Úhel sep. kontaktů [°/%] ***)	-	0,0	0,0
	Obsah CO[%]	- 0.5	0,004	0,000
	Obsah HC [ppm] ***)	-	21,0	0,0
z v ý š o t á č k y	Otáčky [min-1]	2800 - 3200	2940	0
	Předstih [°] ***)	-	0,0	0,0
	Úhel sep. kontaktů [°/%]	-	0,0	0,0
	Obsah CO [%]	- 0.20	0,014	0,000
	Obsah HC [ppm] ***)	-	28,0	0,0
	lambda [1]	0.97 - 1.03	1,003	----

Použitý analyzátor (výrobce,typ): Bosch,Bosch

Naměřené hodnoty jsou přímým on-line záznamem měření analyzátoru.

Poznámky:

Vozidlo z hlediska měření emisí **vyhovuje**
Příští měření emisí v termínu **do 29.04.2015**
Měření emisí provedl **Vašák Roman**

Číslo osvědčení o ME:
Kontrolní nálepka **byla přidělena**
,osvědčení ev. č. **BNA1625**

Datum provedení měření emisí: **29.04.2013**

Za správnost:

razítko



Zpracováno programem firmy TEAS Zlín

*) Pouze, je-li uvedeno v TP Vozidla

**) Pouze pro vozidla vybavená zařízením pro plynový pohon

***) Pouze pro vozidla s neřízenými katalytickými systémy