Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy

# *Analýza FFV (Flexi-fuel vehicle) z pohledu produkce emisí*

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Autor práce: Bc. Jiří Břinčil

© 2018 ČZU v Praze

**Česká zemědělská univerzita v Praze**
**Technická fakulta**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | |
|---|---|
| Autor práce: | Bc. Jiří Břinčil |
| Studijní program: | Technika a technologie v dopravě a spojích |
| Obor: | Silniční a městská automobilová doprava |
| Vedoucí práce: | Ing. Jakub Mařík, Ph.D. |
| Garantující pracoviště: | Katedra vozidel a pozemní dopravy |
| Jazyk práce: | Čeština |

| | |
|---|---|
| Název práce: | **Analýza FFV (Flexi-fuel vehicle) z pohledu produkce emisí** |
| Název anglicky: | **Analysis of the FFV (Flexi-fuel vehicle) from the view of emission production** |
| Cíle práce: | Cílem práce je porovnat produkci emisí FFV (Flexi-fuel vehicle) při použití rozdílných paliv. |
| Metodika: | 1. prostudovat základní literaturu v oblasti tvorby emisí u FFV (Flexi-fuel vehicle)<br>2. návrh postupu měření provozních parametrů a emisí na válcové zkušebně<br>3.výsledkya diskuze<br>4. závěr |
| Doporučený rozsah práce: | 50-60 stran |
| Klíčová slova: | emise, katalyzátor, biopaliva |

Doporučené zdroje informací:


1. FERGUSON, Colin R. a Allan. KIRKPATRICK. Internal combustion engines: applied thermosciences. Third edition. ISBN 9781118533314.
2. HROMÁDKO, J. -- ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. TECHNICKÁ FAKULTA. *Speciální spalovací motory*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2011. ISBN 978-80-213-2168-7.
3. HROMÁDKO, J. *Spalovací motory : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol.*Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
4. VLK, F. *Vozidlové spalovací motory.* Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8756-4.


Předběžný termín obhajoby: 2017/18 LS – TF

Elektronicky schváleno: 17. 1. 2017
**doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.**
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 23. 1. 2017
**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**
Děkan

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Analýza FFV (Flexi-fuel vehicle) z pohledu produkce emisí“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 29. 3. 2018 …….

Jiří Břinčil

## Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Jakubovi Maříkovi, Ph.D. za vstřícnost cenné rady, připomínky a odborné vedení, které mi poskytl během zpracování diplomové práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval svojí rodině za hmotnou i psychickou podporu v průběhu celého studia.

Analýza FFV (Flexi-fuel vehicle) z pohledu produkce emisí

*Analysis of the FFV (Flexi-fuel vehicle) from the view of emission production*

## Abstrakt:

Diplomová práce „Analýza FFV (Flexi-fuel vehicle) z pohledu produkce emisí“ se zabývá problematikou výběru co nejvhodnějších alternativních paliv, která lze efektivně využít ve Flexi-fuel vozidlech s cílem dosažení snížení škodlivých emisí a zachování náležitých výkonových parametrů motoru. V teoretické části práce je shrnuta základní problematika v rámci řešeného problému. Praktická část diplomové práce je zaměřena na testování různých druhů paliv ve Flexi-fuel vozidle. V závěru práce je popsáno doporučení volby vhodných alternativ k běžně užívaným palivům a dále řešena ekonomická stránka užití alternativních paliv jako pohonu pro automobily.

**Klíčová slova:** emise, katalyzátor, biopaliva, Flexi-fuel vozidlo

**Analysis of the FFV (Flexi-fuel vehicle) from the view of emission production**

## Summary:

The master’s thesis „Analysis of the FFV (Flexi-fuel vehicle) from the view of emission production“ is aimed to describe the main problems in the options of alternate fuels, which are effectively capable to be used in the Flexi-fuel vehicles with the goal to pick the best options to reduce exhaust emissions with retaining good engine performance parameters. In the theoretical part of this thesis is summarized an essential knowledge to understand the very basics of discussed theme. Second part is focused to test specific alternative fuels directly in the Flexi-fuel car. In the conclusion is described a recommendation for optimal choice as alternative to conventional fuel and an economical aspect of alternative fuel as energy source for passenger vehicle.

**Key words:** emissions, catalyst, biofuels, Flexi-fuel vehicle

# Obsah

**1. Úvod** ..... 1

**2. Cíl práce a metodika** ..... 4

2.1 Cíl práce ..... 4

2.2 Metodika práce ..... 4

**3. Současný stav řešené problematiky** ..... 5

3.1 Flexi-fuel vozidlo ..... 5

3.1.1 Řídící jednotka ..... 7

3.1.2 Vstřikovače paliva ..... 8

3.1.3 Palivové zásobníky ..... 9

3.1.4 Žhavící tělesa a teplotní jednotka ..... 10

3.2 Vliv paliv na bázi alkoholu na vlastnosti Flexi-fuel vozidla ..... 11

3.2.1 Vliv na výkon motoru ..... 11

3.2.2 Vliv na spotřebu paliva ..... 11

3.2.3 Průběh spalovaní ..... 12

3.2.4 Vibrace a hlukové emise ..... 12

3.2.5 Ovlivnění produkce výfukových emisí ..... 13

3.3 Alternativní paliva využívaná Flexi-fuel vozidly ..... 15

3.3.1 Bioethanol ..... 17

3.3.2 Biobutanol ..... 19

3.3.3 Biomethanol ..... 21

3.4 Emise výfukových plynů ..... 23

3.4.1 Oxid uhličitý ($CO_2$) ..... 24

3.4.2 Oxid uhelnatý (CO) ..... 25

3.4.3 Oxidy dusíku ($NO_X$) ..... 25

3.4.4 Nespálené uhlovodíky (HC) ..... 26

3.4.5 Pevné částice (PM) ..... 28

3.4.6 Možnosti snižování emisí u zážehových motorů ..... 29
3.4.7 Měření emisí výfukových plynů ..... 35
3.5 Zkušební jízdní cykly ..... 41
**4. Vlastní experiment** ..... 44
4.1 Přístrojové vybavení ..... 44
4.2 Průběh měření experimentu ..... 48
4.3 Vyhodnocení emisí paliv ..... 50
4.3.1 Čistý benzín – OČ 95 ..... 50
4.3.2 Ethanol E85 ..... 51
4.3.3 Butanol B50 ..... 52
4.3.4 Emise CO, $NO_X$, HC ..... 53
4.3.5 Emise $CO_2$ ..... 54
4.3.6 Spotřeba paliva ..... 55
**5. Závěr** ..... 56
**Seznam použité literatury** ..... 57
**Seznam zkratek** ..... 61
**Seznam obrázků** ..... 63
**Seznam tabulek** ..... 63
**Seznam grafů** ..... 64
**Seznam příloh** ..... 64

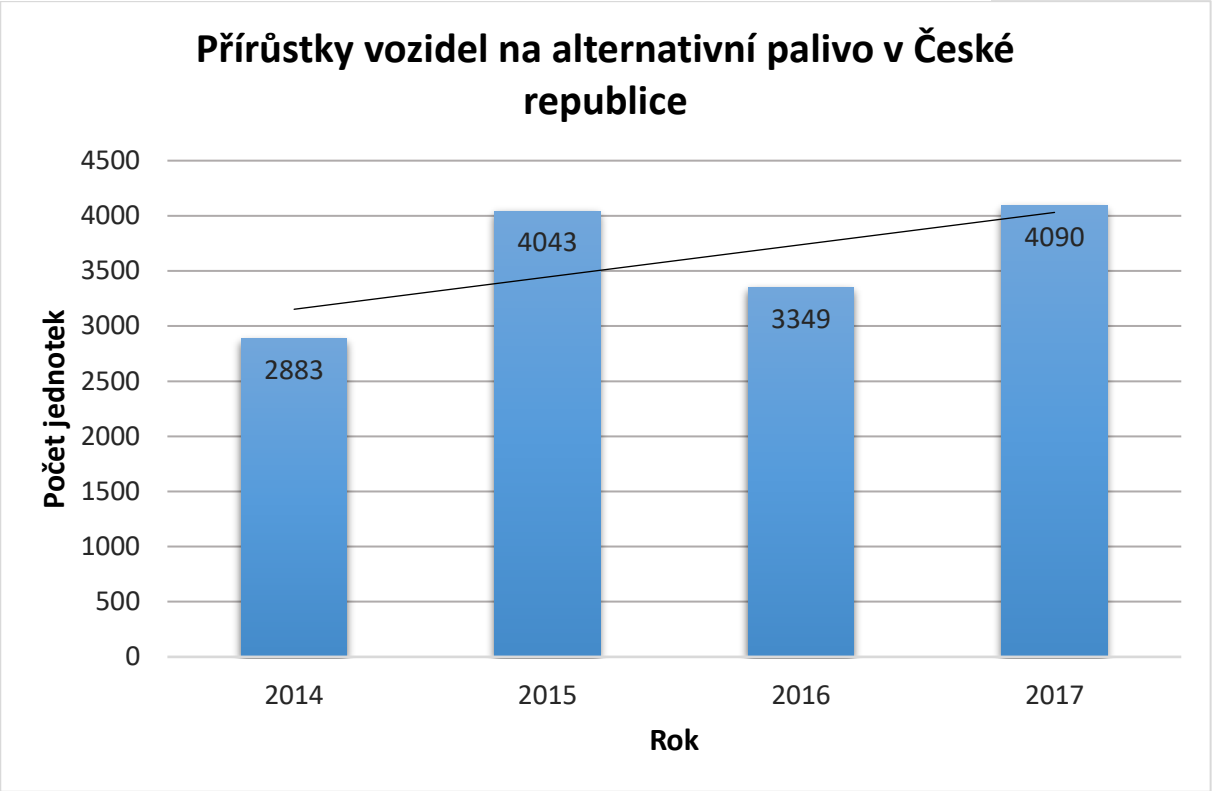
# 1. Úvod

Automobilová doprava je dnes již nedílnou součástí našich životů. S jejím neustálým vývojem, je však spojeno i mnoho problémů. Mimo potřebu výroby paliva jde i o zatěžování životního prostředí škodlivinami jako je oxid uhličitý, ale i jinými nežádoucími látkami, které produkují člověkem nejvíce využívané spalovací motory. Jak stoupá lidská potřeba přepravy osob a zboží, stoupá i poptávka po palivu, které je nezbytné pro pohon motorů. Zdrojů, ze kterých se dnes vyrábí konvenční fosilní paliva ubývá a je proto nezbytné začít hledat nové způsoby potencionálně vhodné k nahrazení tradičních surovin pro výrobu těchto pohonných hmot. Alternativní palivo tak z dnešního moderního pohledu musí splňovat určitá kritéria. Nejedná se pouze o snižování emisí, které vznikají přímo jeho spalováním v motoru, ale i o posouzení paliva v celém jeho životním cyklu neboli LCA cyklu. Palivo musí být dostatečně energeticky hodnotné, aby se snížili nároky na velikost palivové nádrže a tím i hmotnost vozidla, která také ovlivňuje finální spotřebu paliva. Dalším hlediskem je i distribuce paliva. Přestože v současné době je již mnoho paliv, která by byla schopna efektivně pohánět spalovací motor, problém může nastat v jejich distribuci spotřebiteli. Ta může být nákladná anebo složitá při přesunu paliva do nádrže automobilu, ale i z hlediska udržení samotného paliva v požadovaném skupenství. Je to mu tak např. u zkapalněného plynu, který potřebuje velmi nízké teploty. Jednou z možností je využívání paliv z biomasy – tedy organického matriálu, ze kterého lze vyrábět dobrou náhradu konvenčních pohonných hmot. Biomasa, je třetí největší přírodní zdroj energie na světě. Celkový energetický potenciál biomasy je 100 – 440 EJ/ rok což představuje zhruba 30 % celosvětové poptávky po energii. [1]

Jedním ze zástupců paliv vyráběných z biomasy je i bioethanol, který se jeví jako poměrně dobrá alternativa za automobilový benzin. Jeho vlastnosti umožňují dobrý chod v běžném spalovacím motoru – především zážehovém. Výhodou je jeho vyšší oktanové číslo, které je velmi důležitým parametrem pro motor. Výroba bioethanolu je možná několika rozličnými způsoby a také vstupními surovinami. Vozidlo lze velmi jednoduše přestavět tak, aby dokázalo spalovat bioethanol v kombinaci s benzínem v prakticky libovolném poměru.

Zvyšující se zájem o automobily, které využívají ke svému pohonu jiná paliva, než je benzin či nafta dokládají i statistiky asociace evropských výrobců automobilů (ACEA), která sjednocuje 15 předních evropských automobilových výrobců z Evropské unie. Počet nově registrovaných vozidel je znázorněn v následujícím grafu.:

*Graf 1 - Přírůstky vozidel na alternativní palivo zdroj: www.acea.be*




Tabulka reprezentuje pouze vozidla, která spalují paliva na bázi bioethanolu, vozidla na stlačený plyn a LPG. Pokud bychom vzali v úvahu elektrická vozidla je jejich počet mnohonásobně větší. To způsobuje fakt, že vozy využívající elektromotor jsou v současné době nejpopulárnější a automobilovými výrobci nejpropagovanější vozidla na nekonvenční pohon.

Asociace ACEA se také dlouhodobě zabývá možnostmi snižování emisí a vydává plány a návrhy pro snižování $CO_2$ ve spolupráci s EU. ACEA zavedla opatření, která by od roku 2005 do roku 2021 měla snížit produkci $CO_2$ o 42 %. Pokračující snižování by od roku 2021 do roku 2030 mělo snížit produkci tohoto skleníkového plynu o dalších 20 %. Provádění testů emisí již nebude probíhat na Evropském cyklu řidiče (NEDC), ale nahradí ho tzv. Světový měřící cyklus lehkých vozidel (WLTP). [2]

Dle těchto statistik, ale i zaváděných emisních opatření, lze soudit, že problematika alternativních paliv je otevřená a hledají se možnosti, jak co nejefektivněji využívat přírodní obnovitelné zdroje k vytváření nových možností pohonů vozidel a zároveň hledat způsoby, jak šetřit životní prostředí.

# 2. Cíl práce a metodika

## 2.1 Cíl práce

Základním cílem této diplomové práce je zhodnotit možnosti, které poskytují současná biopaliva ve schopnostech snižování emisí ve výfukových plynech FFV (Flexi-fuel vozidlech). Prvním cílem v teoretické části práce je sumarizovat a charakterizovat vozidlo a jeho způsob přestavby a popis technických úprav, které jsou nezbytné pro spalování alkoholových paliv se speciálním zaměřením na ethanol a butanol. V dalších kapitolách teoretické části práce budou shrnuty informace o vlivech bioethanolu na spalovací motor, charakteristika a vlastnosti biopaliv a přehled emisí vznikajících v zážehovém motoru a jejich způsob měření.

Hlavním cílem práce je vyhodnocení emisí vznikajících v FFV vozidle při použití směsí biopaliv s benzínem, vhodných pro tento typ vozidel. V závěru práce bude vyhodnocení emisí vznikajících v jednotlivých směsích paliva jejich porovnání, případně doporučení použití vhodného alternativního paliva.

## 2.2 Metodika práce

První část práce je zpracována formou literární rešerše pro sepsání a vytyčení nejzásadnějších informací k získání náležitých znalostí, které jsou nezbytné pro pochopení a splnění části praktické.

Praktická část nejprve specifikuje použité měřící a testovací zařízení nezbytná k analýze vznikajících emisí a výkonových parametrů vozidla. Na základě informací zjištěných v literární rešerši, je možné stanovit optimální procentický poměr biopaliv, která se smísí s benzínem a následně provést jejich emisní analýzu. K vyhodnocení naměřených výsledků bude použit vhodný software pro názorné zpracování dat.

Posledním krokem bude prezentace zjištěných skutečností a prodiskutování dalších způsobu snižování škodlivin vznikajících ve spalovacích motorech.

# 3. Současný stav řešené problematiky

## 3.1 Flexi-fuel vozidlo

Již Henry Ford pro svůj model vozu Ford „T“ navrhnul karburátor, který dokázal spalovat vedle benzinu a kerosinu také alkohol nebo kombinaci alkoholu a benzínu. Prohlásil rovněž o ethanolu, že je to palivo budoucnosti. To se mu však pokoušeli ropné společnosti vyvrátit až do ropné krize v roce 1970, která ethanolu jako palivu dala druhou šanci.

V dnešní době vyráběná Flexi-fuel (FFV) vozidla jsou schopna spalovat palivo, ve kterém až 85 % objemu zastupuje právě ethanol. Zbývající podíl tedy 15 % tvoří v případě paliva E85 benzin. Řídící jednotka je ale naprogramována tak, aby dokázala spalovat různé kombinace ethanolu a benzinu za předpokladu minimálně 15 % objemu benzinu, který zajišťuje dobrou startovatelnost v zimním období. Vedle ethanolu, který je nejvyužívanějším palivem pro smísení s benzínem ve vozidlech tohoto typu, lze ve Flexi-fuel automobilech spalovat i methanol či butanol. [3] [4]

Vozidel upravených tak, aby mohla spalovat směs ethanolu a benzínu je na trhu mnoho. Jsou vyráběna především pro americký a jihoamerický trh. Největší podíl Flexi-fuel vozidel najdeme v Brazílii a také v Číně.

Brazílie je největším producentem bioethanolu na světě. Její produkce pokrývá zhruba 37,7 % celosvětové výroby. V roce 2011 byla schopna mít nejnižší ceny ethanolu a to zhruba 0,48 americký dolarů za litr, což byla více než o polovinu nižší cena oproti Spojeným Státům Americkým. Se zvyšující se domácí poptávkou se však snížil vývoz ethanolu a ceny vzrostly. Stále však od roku 2003 Flexi-fuel vozidla nahrazují vozidla s jedním typem paliva (ethanol, benzín). V roce 2010 bylo zastoupení FFV vozidel 40 % z celkového počtu osobních automobilů v Brazílii. [5]

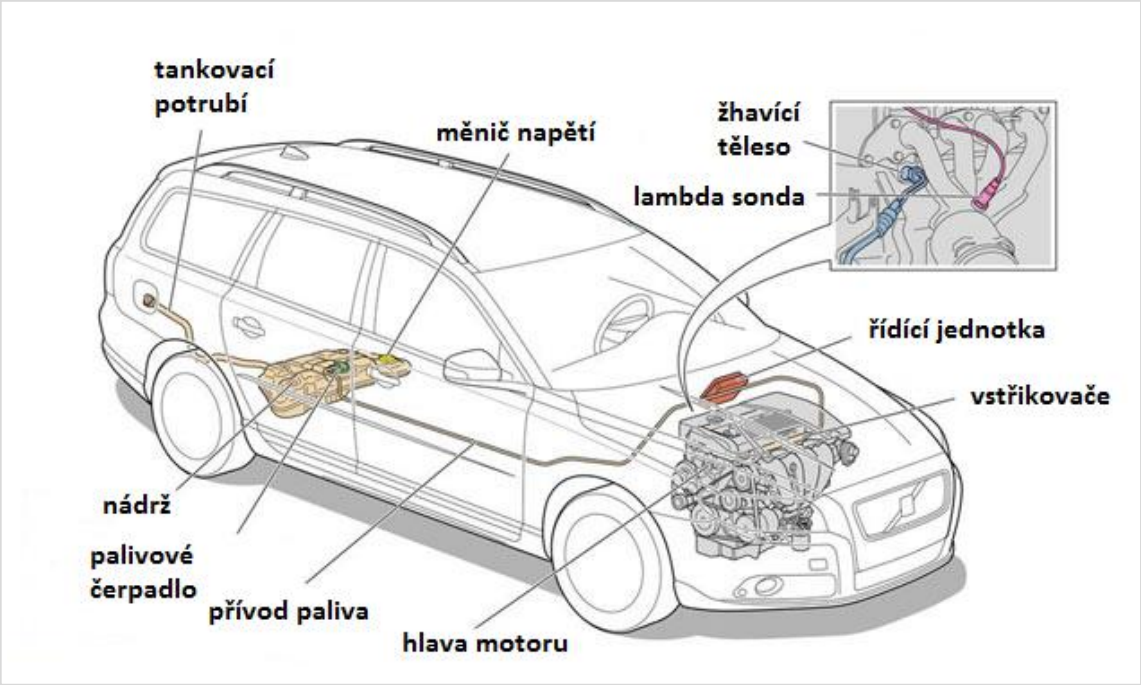
V Číně je situace podobná. Počet osobních automobilů zde tvoří 20 % z veškerých automobilů na světě. Rostoucí trend prodeje vozidel souvisí především s rozvíjející se urbanizací. Tyto podmínky zvyšují tlak na vládu, která podporuje vývoj nových alternativních paliv. Nasazením biopaliv by se mohl zredukovat problém se všudypřítomným smogem i další negativní dopady způsobené automobilovou dopravou. [6]

Evropa se celkově soustředí spíše na lignocelulózovou biomasu. Jde o dřevařské odpady, zemědělské zbytky či travní materiál. Jedná se o tzv. druhou generaci biopaliv. V Evropě spotřeba energií v dopravním odvětví představuje 30 %. Evropská unie tak přistoupila k opatřením, která

by měla zajistit redukci skleníkových plynů zvýšením podílu biosložek v palivu až na 10 % do roku 2020. [7]

Flexi-fuel vozidla používají jen jednu palivovou nádrž. Na trh jsou dodávaná samozřejmě v různých provedeních karoserie, jako je tomu u běžných vozů tzn. sedany, hatchbacky, pick-upy či minivany (viz Příloha II.). [3]

*Obrázek 1 - Flexi-fuel vozidlo Volvo a jeho upravené komponenty [8]*




FFV vozidla mohou být pro spalování ethanolu již přímo vyráběna sériově, nebo lze vybavit běžný vůz používající zážehový motor řídící jednotkou, která detekuje poměr ethanolu v nádrži a dle toho upravuje množství vstřikované směsi. Čím je větší obsah ethanolu ve vstřikované směsi, tím určuje řídící jednotka jeho větší dávku. Energetický obsah ethanolu je zhruba o 1/3 menší než u benzínu, a to se kompenzuje právě vetší dávkou paliva. Pro optimální funkci Flexi-fuel vozidel je velmi výhodné používat kromě nezbytných součástí i další komponenty pro co nejdokonalejší spalování ethanolu. [8]

### 3.1.1 Řídící jednotka

Řídící jednotka zpracovává signály ze senzorů, které jí kontinuálně dodávají informace o obsahu ethanolu v přitékajícím palivu, klepání motoru atp. Jejím úkolem je zaručit požadovaný výkon motoru s minimální spotřebou paliva a emisemi. Jako senzor se nejčastěji používá skoková lambda-sonda. Ta měří poměr ethanolu a benzinu nepřímo ze stechiometrického poměru spálené směsi. Bylo užíváno také průtokových senzorů ethanolu. Upustilo se od nich především kvůli jejich ceně. Vzhledem k odlišným vlastnostem ethanolu a benzinu je nutné, aby detekce objemových procent ethanolu byla co nejpřesnější a rychlá. Složení paliva je zvláště nutné rozpoznat při studených startech motoru. Experimentálně lze stanovit složení směsi i z průběhu spalování, a to rozdílným průběhem entalpie vypařování a sledováním změn teplot paliva ve spalovacím prostoru na základě množství obsaženého ethanolu. [9] [10]

Se znalostí množství ethanolu v palivu, které je následně distribuováno ke vstřikovačům, řídící jednotka může přesně definovat parametry vstřiku. Jednotka do doby vstřiku zahrne i polohu akceleračního pedálu. Z těchto údajů následně software sestavuje optimální veličiny pro spalování (dobu otevření vstřikovače, tlak v zásobníku, časování vstřiků atd.). [9]

Variant řídících jednotek je mnoho. Základními parametry každé kvalitní jednotky by měly být:

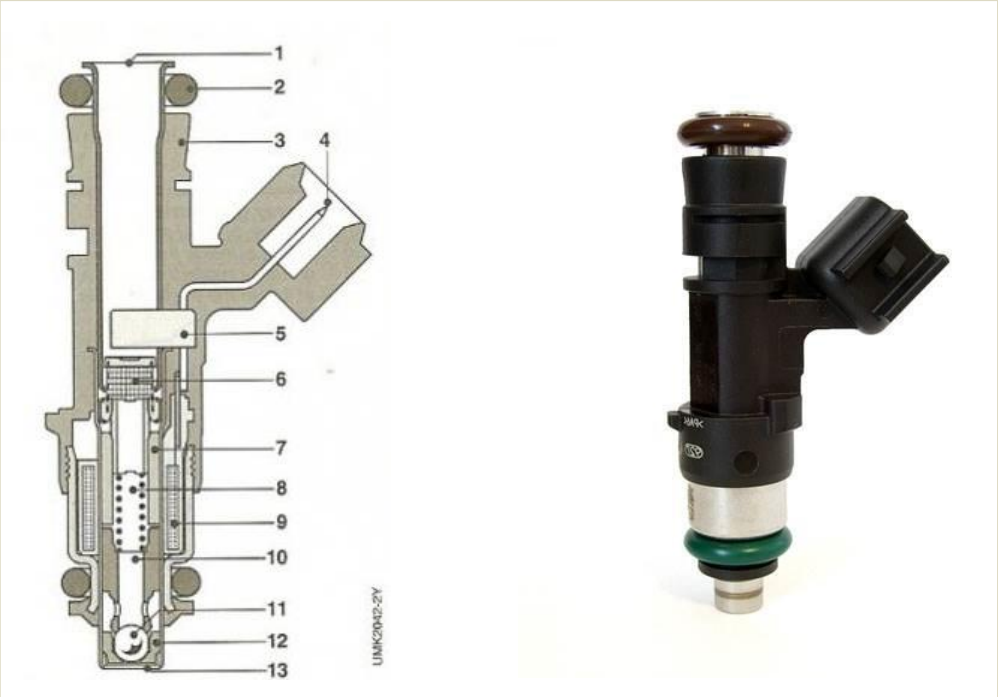
- Použití pro benzín, ethanol, CNG
- Diagnostické funkce
- 32-bitové rozhraní mikroprocesoru
- Standardní protokoly komunikace – CAN, Flexray, SENT, LIN, K-LINE
- Standardizované formáty pro sdílení dat

### 3.1.2 Vstřikovače paliva

Vstřikovače paliva, ať už přímé nebo nepřímé, mají za úkol správně dávkovat množství paliva, zajistit co nejlepší rozptýlení paliva a jeho promísení se vzduchem. Jeho umístění je v takové poloze, ve které se směs co nejlépe rozvíří ve spalovacím prostoru a může tak dojít k co nejdokonalejšímu spálení směsi. V případě vstřikovačů pro ethanol je nejčastěji použit elektromagnetický ventil, který řídí start a dobu vstřiku. Všechny díly, které přichází do styku s ethanolem, musí mít větší korozivzdornost kvůli jeho velké agresivitě.

Firma BOSCH vyrábí 3 druhy vstřikovačů pro benzín, ethanol, methanol a jejich směsi. Jsou to vstřikovače s označením EV6, EV14 a HDEV5. Pro FlexFuel systém je nejvhodnější aplikace ventilu EV14. Ventil je svými vlastnostmi a šablonami rozstřiku paliva velmi vhodný pro aplikaci v systémech s palivy jako je benzín, ethanol a methanol. Pro vyšší tlaky lze použít vstřikovač HDEV5, který má pracovní tlak 20 MPa. [9]

*Obrázek 2 - Bosch EV 14 zdroj: Bosch Automotive Handbook 8th Edition, 2011*




*1 – hydraulický vstup, 2 – těsnící kroužek, 3 – kryt, 4 – elektrická přípojka, 5 – plastový kryt pinů, 6 – filtrační sítko, 7 – vnitřní pól, 8 – pružina ventilu, 9 – cívka, 10 – vyztužená jehla ventilu, 11 – kulička ventilu, 12 – sedlo ventilu, 13 – vstřikovací clona*

### 3.1.3 Palivové zásobníky

Zásobníky paliva, dodávají palivo pro vstřikovače, které jsou do těchto zásobníků neboli „railů“ vsazené. K zásobníkům se palivo dostává přes potrubí, na které je vhodné použít materiál, který dobře zvládá agresivitu ethanolu zvláště při jeho vyšších koncentracích. V případě FFV vozidel jsou firmou BOSH vyráběny dva druhy palivových zásobníků:

- **Palivový zásobník FlexFuel**
  - Je napojen na palivové potrubí a zajišťuje pracovní tlak, aby vstřikovače, které jsou do něj vsazeny, mohly dávkovat přesné množství paliva na základě údajů z řídící jednotky. Nejdůležitějším úkolem je udržet tlak na stabilních hodnotách 20 – 25 MPa jako v běžném common rail systému. Zásobník dokáže pracovat se směsí 5 – 100 % ethanolu. Materiál má zvýšenou odolnost proti agresivitě ethanolu. [9]

- **Palivový zásobník FlexStart**
  - Vzhledem k horším startům za studeného počasí je žádoucí systém vybavit zásobníkem s vyhříváním paliva. Horší startovatelnost při vyšším obsahu ethanolu se projeví již při teplotách pod 20 °C. V zásobníku jsou kromě vstřikovačů instalovány ještě žhavící tělesa. Palivo je následně zahříváno na teplotu 70 – 125 °C v závislosti na jeho tlaku. Rychlost ohřevu se pohybuje okolo 30 °C/s. Zásobník může být vyroben z plastu, nebo korozivzdorné oceli. [9]

*Obrázek 3 - FlexStart zásobník [9]*

*Obrázek 4 - FlexFuel zásobník [9]*

### 3.1.4 Žhavící tělesa a teplotní jednotka

Pro zlepšení studených startů je nutné aplikovat žhavící tělesa, která upraví teplotu paliva a tím se dosáhne správného startu i v zimním období. Ethanol má tlak výparu par oproti benzínu, kde tlak těchto výparů dosahuje až 53,7 kPa, výrazně nižší, a to na hodnotě 17 kPa. Smísením těchto dvou frakcí však nedochází ke změně natolik lineárně, aby byla proporčně rovna objemovému poměru obou složek paliva. Ve spalovacím prostoru tak nevznikne síla potřebná k rozběhnutí motoru a startovatelnost lze zlepšovat právě zvyšující se teplotou vstřikovaného paliva. [11]

Žhavící tělesa ve FlexFuel systému mají za úkol vyhřívat palivo v zásobníku na požadovanou teplotu, kterou na základě zjištěných dat určuje elektronická jednotka. Vyhřívání probíhá ve čtyřech samostatných tepelných okruzích. Data o teplotě paliva jsou posílána k řídící jednotce. Jednotlivé tepelné okruhy mají výkon, až 260 W. Materiálová úprava musí splňovat požadavky odolnosti proti korozi a vyšším teplotám. [9]

Vzhledem k odlišným vlastnostem ethanolu používaného v palivovém systému je nutné veškeré prvky přizpůsobit pro optimální běh motoru s delší životností součástí. Ethanol je více agresivní vůči prostředí, má nižší směšovací poměr se vzduchem, horší odpařitelnost atd. Z tohoto důvodu byla pro FFV vozidla zavedena řada technologických úprav a to sice.:

- Kvůli jinému stechiometrickému poměru vzduchu a paliva nutnost zvýšení dávky paliva
- Ochranný povrch v nádrži je zhotoven z cínu
- Palivové vedení je vyráběno z mosazi a následně pokovováno kadmiem
- Nutnost většího palivového filtru pro lepší průtok ethanolu
- Sedla ventilů jsou nahrazena sedly z kobaltových slitin
- Třícestný katalyzátor neobsahuje paladium a rhodium, ale rhodium je nahrazeno molybdenem [12]

## 3.2 Vliv paliv na bázi alkoholu na vlastnosti Flexi-fuel vozidla

### 3.2.1 Vliv na výkon motoru

V důsledku většího oktanového čísla, které poskytuje použití směsi alkoholových paliv např. ethanolu nebo i butanolu, dokáže ethanol zajistit vyšší výkon, točivý moment a účinnost motoru právě díky vyššímu oktanovému číslu. K dosažení lepších hodnot je ale zapotřebí upravit kompresní poměr. Paliva E10, E20, E 40 a E60 dosahují velmi dobrých výsledků při kompresním poměru 13:1. Vyšší hodnota kompresního poměru je tak při použití ethanolu mnohem výhodnější. Zjištění těchto hodnot probíhalo na osmiválcovém motoru o objemu 5,3 l při 2000 ot. / min. a plném zatížení. Zvýšená hodnota kompresního poměru měla za následek i zvýšení středního efektivního tlaku. Následné další zvyšování kompresního poměru ovšem snížilo střední efektivní tlak motoru a tím i jeho výkon a optimální poměr je tedy 13:1. [4]

Směs benzínu a butanolu zvyšuje točivý moment motoru při plném zatížení až do 7000 $min^{-1}$ v případě 35 % zastoupení butanolu (B35) ve směsi. Při zkombinování butanolu ethanolu a benzínu dochází ke zvyšování výkonu o 5 % při přimíchání 10 % ethanolu do paliva B35 a zároveň ke zlepšení antidetonačních vlastností motoru. Na druhou stranu použitím některých kombinací butanolu a benzínu může vést i ke snížení výkonu motoru jako je tomu v případě 30 % butanolu v benzínu, který může snížit výkon vozidla i o 7 % v porovnání s čistým benzínem. [4]

### 3.2.2 Vliv na spotřebu paliva

Spotřeba paliva výrazně závisí na hmotnosti vozidla, aerodynamických vlastnostech, typu vstřikování, konstrukci motoru, druhu převodovky atd. V situacích použití ethanolu jako náhražky paliva tedy dále ovlivňují spotřebu chemické vlastnosti ethanolu. Vozidla, spalující směs ethanolu budou mít pravděpodobně vyšší spotřebu kvůli menší výhřevnosti oproti benzínu, a to asi o 30 – 35 %. Díky nízké výhřevnosti dochází k rychlejšímu ochlazování spalovacího prostoru a energie je přeměňována na teplo. Obecně se se zvyšujícím procentuálním zastoupením ethanolu v benzinu dochází ke zvýšení spotřeby lineárně. [4] [13]

### 3.2.3 Průběh spalovaní

Alkoholové směsi výrazně ovlivňují samozřejmě také celkový průběh spalování, a to nejen v okamžiku zapálení směsi, ale mění jeho charakteristiku po celou dobu od zažehnutí až po výfuk. Pro svůj vysoký obsah kyslíku a ustálený bod varu, kterým samotný benzín nedisponuje, umožňují lepší celkové prohoření směsi ve válci. Vyšší výparné teplo zajišťuje vyšší objemovou účinnost v nepřeplňovaných motorech. Ovlivnění struktury a rychlosti plamene uvnitř spalovacího prostoru ovlivňuje typ a množství alkoholové složky. Doba hoření plamene je klíčová k nalezení rychlosti vyhoření náplně a výpočtu účinnosti spalování. Již objemově malá přísada v podobě alkoholu do benzínu poskytuje kratší dobu vzniku plamene a rychlejší hoření než benzín samotný. Rychlejšího hoření se u ethanolu dosahuje při větším zatížení motoru. V nižších koncentracích ethanolu v benzínu (10 - 20 %) trvá při malém zatížení motoru spálení směsi zhruba o 10 % déle. [4]

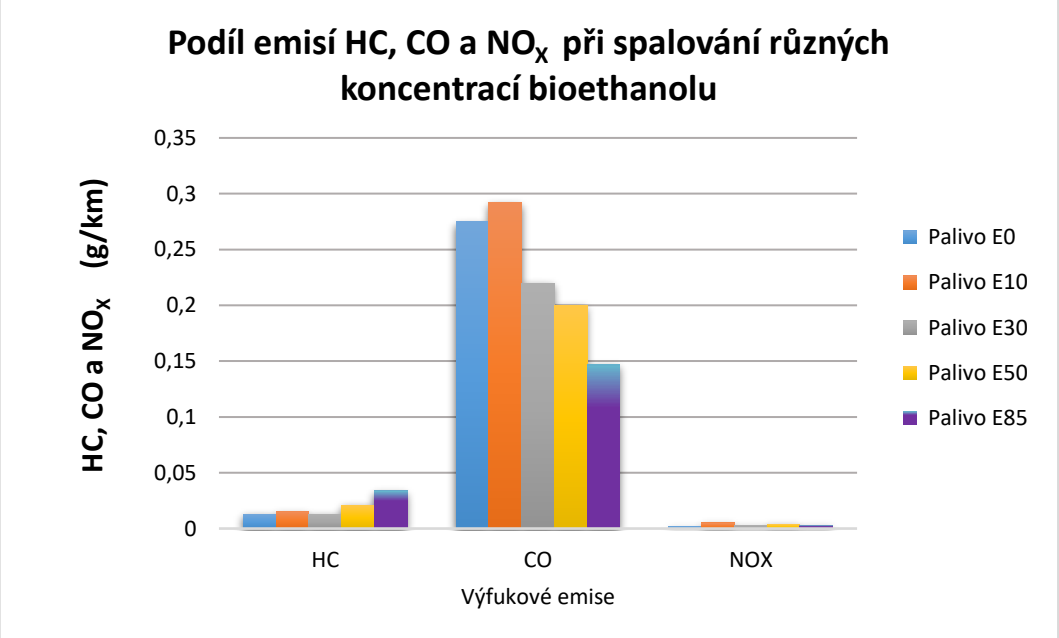
### 3.2.4 Vibrace a hlukové emise

Vibrace jsou velmi nepříjemným jevem, jak pro spalovací motor, kde mohou působit celou řadu nežádoucích účinků, tak i pro samotného řidiče vozidla. Vibrace zvyšují hlukové emise vozidel, mohou zapříčinit vážně poruchy motoru nebo uvolnit šroubové spoje. Jejich vznik může vedle použitého paliva a seřízení motoru záviset na celkové tuhosti konstrukce, použitých materiálech, zavěšení motoru, volbě správných upevňovacích segmentů, těsnění a mnoho dalších konstrukčních prvcích. Při volbě paliva je tedy nutné zvážit i jeho antidetonační schopnosti a nalézt tak co nejvhodnější kombinaci i s ohledem na vibrace vznikající při jeho spalování. Pro optimalizaci procesu hodnocení paliv v oblasti vibrací, byly jako jedni z hlavních činitelů stanoveny kvalita paliva, zatížení motoru, časování vstřiků a zapalování. Přidáním ethanolu do benzínu zvýšíme oktanové číslo, které vyjadřuje antidetonační schopnost paliva a tím dosáhneme velmi dobré redukce klepání a vibrací. Hlukové emise oproti vibracím při vyšším obsahu ethanolu v benzínu mohou vzrůst. Je to způsobeno vyšším obsahem kyslíku v ethanolu a vyšší rychlostí hoření směsi. Pro snížení hluku v motoru je tak vhodnější použití paliv s obsahem ethanolu do 20 %, která hlukové emise redukuje nejúčinněji. [4]

### 3.2.5 Ovlivnění produkce výfukových emisí

Nejdůležitějším důvodem, proč nacházíme alternativní paliva nebo frakce, které můžeme přidávat do konvenčních paliv, je snižování produkce emisí. Benzín bez aditiva v podobě ethanolu obsahuje malé množství kyslíkových molekul zhruba 2 %. Ethanol disponuje daleko větším obsahem kyslíku, a to až o 33 % více, který se podílí na spalovacím procesu zastavováním formování oxidu uhelnatého (CO). Palivo E85 má díky svému nižšímu výparnému teplu vliv na emise vznikajícím v nezahřátých motorech. Nižší podíl aromatických, olefinových a benzenových složek má také tendenci snižovat produkci oxidu uhelnatého (CO) a PM částic. Nejlepší redukce pevných částic dosahují paliva, která obsahují 30 – 80 % objemu ethanolu. To je způsobeno dokonalejším prohořením a rychlostí spálení směsi. V případě těchto škodlivin je možné snížit množství pevných částic ze 1,8 g/km na 0,33 g/km. U nespálených uhlovodíků (HC), může docházet ke zvyšujícímu se trendu z důvodu nedostatečného vyhoření ethanolu a jeho přeměnou v ethylen ($C_2H_4$), který se tvoří ethanolovou dehydratací. Zvýšení oproti benzínu bez aditiv může být až trojnásobné. [13]

*Graf 2 - Zastoupení emisí v zážehovém motoru při použití různých koncentrací ethanolu [13]*

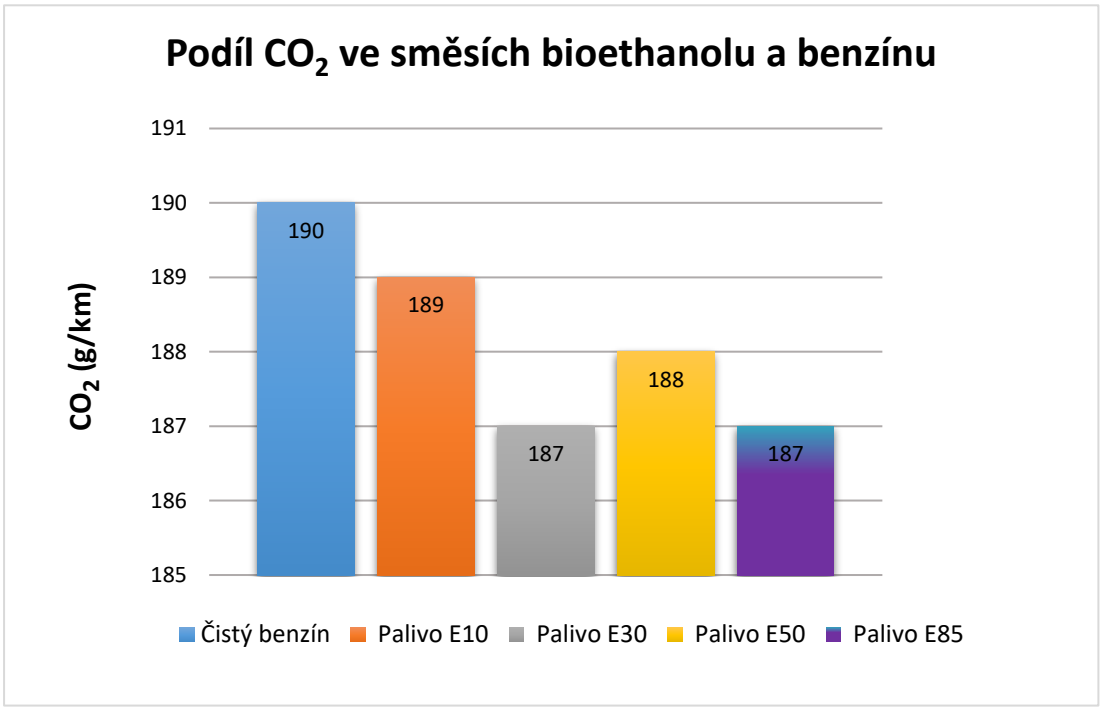



Nespálené uhlovodíky představují největší problém při běhu nezahřátého motoru. Při dosažení pracovní teploty se emisivita nespálených uhlovodíků snižuje až na polovinu.

Z výše uvedeného grafu vyplývá poměr emisí vznikající spalováním nejběžnějších poměrů ethanolu a benzínu. S přibývajícím množstvím ethanolu v benzínu většina škodlivin klesá. Největší podíl zastupují emise oxidu uhelnatého, který ovšem v konečném objemu výfukových spalin tvoří pouze 1 %.

Diametrálně vyšších hodnot dosahuje ve spalinách oxid uhličitý. V zážehových motorech poháněných pouze čistým benzínem tvoří 14 % z celkového objemu vypouštěných spalin. Ethanol jako takový při použití ve spalovacím motoru vozidla nemá na redukci oxidu uhličitého zásadní vliv, jelikož je vyžadována větší dávka paliva. Podíl na redukci $CO_2$ má ale nižší počet atomů uhlíku v molekule ethanolu. [13]

*Graf 3 - Množství $CO_2$ při spalování různých koncentrací ethanolu [13]*




I přes převahující podíl ethanolu v benzínu je redukce tohoto skleníkového plynu jen velmi malá. Konečná hodnota snižování oxidu uhličitého vzhledem k využívání ethanolu jako jeho reduktoru musí být uvažována v celém životním cyklu tzv. LCA analýze. Až teprve po Zvážení ethanolu v celém jeho „životě“ tzn. od pěstování plodin potřebných k výrobě ethanolu, vlastnímu výrobnímu procesu až po spálení ve spalovacím motoru dostaneme výslednou celkovou hodnotu emisí oxidu uhličitého.

## 3.3 Alternativní paliva využívaná Flexi-fuel vozidly

Biopaliva je nutno v dopravě považovat za významný potencionální zdroj energie. S postupným úbytkem fosilních zdrojů biopaliv je tak nutné nacházet nové alternativy, které jsou schopny lidstvo energeticky zásobovat s ohledem na trvale udržitelný rozvoj a zároveň snižovat ekologické dopady používání paliv. Zatím jsou nejvíce uplatňována biopaliva první generace. Různé druhy těchto alternativních paliv lze provozovat ve vznětovém, ale i zážehovém spalovacím motoru. Biopaliva jsou dělena dle vstupní biomasy a způsobu výroby.

Biopaliva první generace, jsou vyráběna z plodin obsahující velké množství cukru, respektive škrobu (obilí, cukrová řepa, brambory atp.). Mezi biopaliva první generace řadíme:

- Bioethanol vyráběný z plodin obsahující jednoduché cukry
- Biobutanol
- MEŘO (metylester řepkového oleje)
- BioETBE (bioetylterc butyléter)
- Řepkový olej

Přes své některé výhody první generace biopaliv jako je snižování skleníkových plynů (GHG), se tato paliva setkávají i s odporem. První generaci je vytýkán zdroj vstupních surovin. Ty zabírají zemědělskou půdu, která by jinak mohla být využita pro pěstování potravin. Dalším problémem je nadměrné využití některých chemikálií používaných při pěstování biomasy nebo genetická úprava plodin. [14]

Problém s potravinovými zdroji lépe řeší druhá generace biopaliv. Biomasa potřebná k jejich výrobě se již nezískává z plodin, které lze využít na produkci potravin, ale z produktů odpadních. Pojem biopaliva druhé generace zahrnuje ethanol vyráběný z lignocelulózy nebo dřevitých surovin (sláma, dřevěné odštěpky, hnůj apod.). Biopaliva vyráběna z těchto materiálů poskytují větší efektivitu redukce skleníkových plynů, nižší výrobní náklady, lepší kvalitu a vyšší energetický obsah.

Podstatou výroby druhé generace biopaliv je mimo zpracovávané suroviny i technologie jejich produkce. Jedním ze způsobu přetváření lignocelulózy je hydrolýza celulózy a hemicelulózy na jednoduché fermentované cukry a následné kvašení za přítomnosti enzymů, které plní funkci katalyzátorů. Fermentace může být dvojího druhu, a to aerobní, ze které se získává alkohol (ethanol) nebo anaerobní, ze které je získáván bioplyn. Z bioplynu je v dalším výrobním procesu Fischer-Tropschovou syntézou vyráběna syntetická ropa. Druhy biopaliv druhé generace jsou tedy:

- Bioethanol vyráběný z lignocelulózové biomasy
- Syntetická motorová nafta
- Biomethanol jako produkt katalytické konverze syntézního plynu
- Biodymetyléter jako produkt katalytické konverze syntézního plynu
- Biovodík jako produkt katalytické konverze syntézního plynu. [14]

Biopaliva druhé generace přináší úsporu oxidu uhličitého až o 90 % oproti fosilním palivům. Paliva z lignocelulózové biomasy jsou velmi diskutována především v Evropě. Můžeme tak předpokládat budoucí zvyšování výtěžnosti biopaliv z rostlinného odpadu.

S ještě větší schopností ve snižování skleníkových plynů přicházejí biopaliva třetí generace. Podstatou této alternativy je využití řas při odbourávání oxidu uhličitého z atmosféry přímo při jejich růstu a poté řasy využít ke tvorbě uhlovodíků, ze kterých bude dále vytvořena syntetická ropa.

V první etapě celého cyklu je nutná úprava struktur řas tak, aby jejich metabolismus produkoval uhlovodíky. Další částí je již zpracování surové ropy v klasických rafineriích k výrobě konvenčních produktů, jako z ropy fosilní, tj. benzínu nafty a dalších vedlejších produktů. Mimo výrobu benzínu a nafty jsou výzkumy zaměřeny i na vývoj biobutanolu, kde jsou řasy modifikovány k produkci celulózy, které by měly vyšší výnosnost, než je tomu např. u kukuřice. Za předpokladu, že by řasy produkovaly dostatečné množství cukrů, byla by plocha 12,5 % na příbřežích vod v USA schopna nahradit až 26 miliard litrů benzínu ročně. Následná budoucnost ve výrobě biopaliv přichází např. i s možnostmi kyanobakterií, které jsou upravovány genetickým inženýrstvím, aby přeměňovaly sluneční záření a $CO_2$ na palivo, a to konkrétně olej, který by byl také vhodný jako náhražka za automobilový benzín. [15]

### 3.3.1 Bioethanol

Bioethanol se jako palivo ve větším množství začal využívat ve dvacátém století. Byl ale znám pro své dobré vlastnosti již v roce 1826 a 1876 kdy jej Nicolaus Otto poprvé použil ve svých prototypech čtyřválcových zážehových motorů. Během občanské války se na něj však vztahovaly stále vyšší daně a byl nahrazen jinými palivy. Po roce 1908 se začal používat ve fordech modelu „T“. Během druhé světové války ho používaly i Japonci k pohonu letadel. V letech 1937 až 1944 činila jeho celosvětová produkce 170 milionů litrů za rok.

Porovnáme-li ethanol s benzínem, dostaneme několik základních odlišností, kterým musíme přizpůsobit spalovací motor, ve kterém bude tento druh paliva použit. Ethanol má oproti benzínu vyšší oktanové číslo, větší rychlost plamene a vyšší výparnou teplotu. Při použití v zážehovém motoru je výhodné zvýšit kompresní poměr. Kvůli jeho uspořádání má také nižší energetický obsah zhruba o 33 %. Je agresivnější vůči svému prostředí, kvůli jeho schopnosti vytvářet azeotropní směsí s vodou a způsobovat korozi. Větší počet atomů kyslíku v jeho molekule zajišťuje efektivnější spálení směsi. [16] Vlastnosti ethanolu porovnané s benzínem sumarizuje tabulka č. 1.:

*Tabulka 1 - Vybrané vlastnosti bioethanolu [17]*

| | **Jednotka** | **Benzín** | **Ethanol** |
|---|---|---|---|
| Chemický vzorec | | $CH_{1,87}$ | $C_2H_5OH$ |
| Hustota při 15 °C | $kg.dm^{-3}$ | 0,73 | 0,79 |
| Kin. viskozita při 20 °C | $mm^2.s^{-1}$ | 0,4-0,8 | 1,52 |
| Bod varu | °C | 30-215 | 78 |
| Výhřevnost | $MJ.Kg^{-1}$ | 42,9 | 26,8 |
| Výparné teplo | $MJ.Kg^{-1}$ | 0,36 | 0,92 |
| Tlak par podle Reida | kPa | 60-90 | 19,3 |
| Obsah kyslíku | % hm | <2,7 | 34,7 |
| OČVM | | 95 | 104 |

V současné době je nejběžnějším způsobem výroby bioethanolu přeměna jednoduchých cukrů za pomocí kvasinek z plodin obsahující cukry nebo škrob. Používanou vstupní surovinou je kukuřice, pšenice, ječmen cukrová třtina nebo cukrová řepa. V první fázi po namletí vstupních surovin dojde k co největšímu uvolnění cukrů z plodin. Následně se rozmělněná směs enzymaticky a chemicky upravuje pro správný průběh dalšího postupu, kterým je fermentace. Fermentací – neboli kvašením dochází k přeměně cukrů na alkohol (ethanol) přibližně za teploty 30 °C, při které je kultivace kvasinek nejúčinnější. [16] Chemicky se dá kvašení ethanolu vyjádřit takto:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 \qquad (3.1)$$

Postup zpracování lignocelulózové biomasy, ze které se získává bioethanol druhé generace je řádově složitější. Lignocelulóza je velmi dobře obnovitelný zdroj, který je velice levný, protože je tvořen především odpadními produkty zemědělství či lesnického průmyslu (sláma, dřevěné odštěpky apod.).

První fáze zpracování materiálu je v tomto případě ještě nákladnější a složitější než u první generace. Hlavním cílem je vytěžit z biomasy co nejvíce sacharidů. Správný postup předpřípravy spočívá v narušení chemických vazeb mezi ligninovými, celulózovými a hemicelulózovými strukturami pro nastartování uvolňování polysacharidů. Při fermentačním procesu je stále nutné používat enzymy, které zajištují právě rozpad výše zmíněných struktur. Použití enzymu je však nákladné a proto jsou někdy nahrazeny mikroorganismy, jako jsou bíle houby či kvasinky *Clostridium thermocellum,* ale za cenu nižší výtěžnosti ethanolu a poskytnutí vhodných podmínek nutných k aktivaci mikroorganismů.

Třetí problém představuje čistota bioethanolu. Aby mohl být používán jako alternativní palivo a mohl být smísen s benzínem, musí být jeho čistota 99 %. Samotné čištění vydestilovaného ethanolu je při dnešních technologiích nákladné a energeticky náročné. Pro budoucí využívání těchto zdrojů je tedy zásadní snížit výrobní náklady na co nejnižší úroveň. [16]

### 3.3.2 Biobutanol

Historie butanolu začíná počátkem minulého století, kdy byl v Anglii postaven a provozován závod, který se specializoval na výrobu rozpouštědel kvasným způsobem. Na kvašení byly používány jiné kmeny kvasinek pro výrobu ethanolu, butanolu a za I. Světové války převážně acetonu. Ten byl používán k výrobě výbušnin. Rostoucí potřeba výroby průmyslových ředidel v souvislosti s rozvojem automobilového průmyslu se po roce 1927 butanol stal hlavním výrobkem a aceton výrobkem vedlejším. [18] [19]

Butanol je čtyřuhlíkový alkohol nejčastěji vyráběný hydratací butanu a v průmyslu využíván nejčastěji jako ředidlo. Jeho molekula má dvojnásobný počet atomů uhlíku a vodíku, než má ethanol. To zlepšuje jeho energetický obsah, který je téměř srovnatelný s benzínem, tj. o necelých 5 % méně. S benzínem vytváří velmi homogenní směs vhodnou pro využití v zážehovém motoru, kde dosahuje velmi dobrých výkonnostních i emisních výsledků.

*Tabulka 2 - Vybrané vlastnosti biobutanolu [17]*

| | **Jednotka** | **Benzín** | **Butanol** |
|---|---|---|---|
| Chemický vzorec | | $CH_{1,87}$ | $C_4H_9OH$ |
| Hustota při 15 °C | $kg.dm^{-3}$ | 0,73 | 0,81 |
| Kin. viskozita při 20 °C | $mm^2.s^{-1}$ | 0,4-0,8 | 3,64 |
| Bod varu | °C | 30-215 | 118 |
| Výhřevnost | $MJ.Kg^{-1}$ | 42,9 | 32,5 |
| Výparné teplo | $MJ.Kg^{-1}$ | 0,36 | 0,43 |
| Tlak par podle Reida | kPa | 60-90 | 18,6 |
| Obsah kyslíku | % hm | <2,7 | 21,6 |
| OČVM | | 95 | 96 |

Je mnohem bezpečnější z hlediska manipulace, kde dochází k nižším unikům vypařováním. To zajišťuje dobrý koeficient tlaku par (dle Reida – 18,6 kPa), který je o něco málo nižší než u ethanolu (19,3 kPa). Podobně jako u ethanolu nastává problém při spalování v zimním období, kvůli horším studeným startům. Výhodný pro spalování v motoru je i kyslík obsažený v butanolu. Motory mohou spalovat směsi s libovolným poměrem obou složek. Pro vyhovění podmínek normy ČSN EN 228 pro automobilové benzíny je možné přimíchat až 11,7 % butanolu do benzínu. Je méně agresivní vůči svému okolí a méně napadá kovové nádrže, potrubí a distribuci je možné realizovat běžnými produktovody či cisternami. Z ekologického hlediska je

výborně odbouratelný. Na rozdíl od ethanolu nepohlcuje vodu a nevznikají dvě separovaná fáze. Pro spalování v automobilech není nutné vozidlo upravovat tak jako je tomu u bioethanolu.

Při každém kvasném procesu doprovází v malém množství i vznik butanolu, acetonu a dalších organických látek. K výrobě butanolu se používají jiné mikroorganismy než pro výrobu ethanolu, a to kvasinky *Clostridia acetobutylicum*, tyto mikroorganismy jako první studoval Ing. Chime Wiezmann a měly za úkol vyrábět aceton, který sloužil k výrobě výbušnin a jako vedlejší produkt vznikaly butanol a ethanol.

Stávající nejrozšířenější technologie výroby butanolu je tzv. biotechnologie ABE. Jde o kvasný proces z obvyklých produktů pro výrobu biopaliv jako je obilí, kukuřice, brambory, cukrové řepa či třtina. Jako první při fermentaci vznikají kyseliny: máselná, propionová, mléčná, octová a klesá pH. Rozsah výroby je biologicky omezen, protože v koncentraci okolo 2 % začne butanol inhibovat růst a činnost mikroorganismů a celý fermentační proces se zastaví. Proto největším problémem ve výrobě je soustavné odstraňování butanolu z již zpracovaného materiálu. V případě tohoto způsobu výroby je možno oddělit 16 % výjimečně až 25 % butanolu.

V posledních letech se proto hledá způsob zvýšení výtěžnosti butanolu v rámci technologie ABE. Výzkumy se zaměřovaly na recyklaci a koncentraci mikroorganismů s cílem snížit inhibiční činnost a zvýšit produkci již v průběhu fermentace butanolu. Přes veškeré pokusy se však nepodařilo zvýšit obsah butanolu při fermentaci nad 2 %, což odpovídá 4,46 g/L/h. [17] [18] [19]

Novější postup využívá k fermentaci kvasinky *Clostridium tyrobutyricum* kde jsou výsledky o poznání vyšší. Destilací je pak možné získat až 80 litrů butanolu z jedné tuny kukuřice. Ve srovnání s původní technologií výroby nová technologie snižuje nežádoucí tvorbu kyseliny mléčné a propionové, aceton isopropanol, ethanol atd. Celá technologie je jednoduchá, avšak se složitým technologickým zázemím a dělí se do následujícího postupu.:

- Suché, nebo mokré mletí zrnin, případně snižování obsahu neškrobových látek a jejich sterilizace
- Konverze biomasy na cukry pro fermentaci
- Fermentace kvasinkami *Clostridium tyrobutyricum* v 1. fermentoru na kyselinu máselnou, přečerpání do druhého fermentoru.
- Fermentace kyseliny máselné na butanol
- Separace horkých plynů, adsorpce, desorpce, kondenzace a odstřeďování
- Destilace butanolu s vodou (10 % obj.) voda se odpařuje před butanolem

- Vrácení nezfermentovaných zbytků do fermentoru

Výsledným produktem fermentace je postupně jen kyselina máselná, vodík, butanol oxid uhličitý a voda. Kromě toho vzniká v první fázi i volný vodík, který je energeticky samozřejmě velmi cenný a zvyšuje tak celkovou výtěžnost procesu. [19]

### 3.3.3 Biomethanol

Pro spalování může FFV vozidlo využívat i methanol, který patří také do zástupců alkoholových paliv. Methanol, byl dříve nazýván dřevným lihem. Tento název dostal podle způsobu jeho získávání z dřevěného uhlí. V dnešní době je to velmi významná látka, která může být využita přímo jako palivo nebo pro výrobu benzínových aditiv jako je MTBE (Metyl-terc-ButylEter).

Díky jeho některým pozitivním vlastnostem může zvýšit výkon a efektivitu spalovacího motoru. Podobně jako ethanol, má vyšší hodnotu výparného tepla, které s kombinací správného stechiometrického poměru, vede k žádoucímu ochlazení spalovacího prostoru. Motor může pracovat s vyššími kompresními poměry díky eliminaci detonačního spalování pro jeho vysoké oktanové číslo.

*Tabulka 3 - Vybrané vlastnosti biomethanolu [20]*

| | **Jednotka** | **Benzín** | **Methanol** |
|---|---|---|---|
| Chemický vzorec | | $CH_{1,87}$ | $CH_3OH$ |
| Hustota při 15 °C | $kg.dm^{-3}$ | 0,73 | 0,79 |
| Bod varu | °C | 30-215 | 65 |
| Výhřevnost | $MJ.Kg^{-1}$ | 42,9 | 26,95 |
| Výparné teplo | $MJ.Kg^{-1}$ | 0,36 | 1,1 |
| Tlak par podle Reida | kPa | 60-90 | 31,7 |
| Obsah kyslíku | % hm | < 2,7 | 50 |
| OČVM | | 95 | 109 |

Methanol je bezbarvá, velmi jedovatá, hořlavá a těkavá kapalina s charakteristickým alkoholovým zápachem, která se velmi dobře mísí s vodou. Do krve se dokáže přenést i pouhým kontaktem s kůží, proto je nutná opatrná manipulace. S benzínem vytváří azeotropické sloučeniny, které ve výsledné směsi zvyšují tlak par.

Velkou výhodou je opět snižování škodlivých emisí při nahrazování benzínu. Podobně jako ethanol však působí korozivně na části palivového systému a velmi negativně ovlivňuje

chování plastických hmot. Teplota vzplanutí je obdobně jako u většiny alkoholů o něco vyšší než u benzínu a tím může docházet ke špatným startům za nízkých teplot. Bezpečnostní problém představuje pro methanol to, že hoří neviditelným plamenem a jeho velká toxicita. [20] [21]

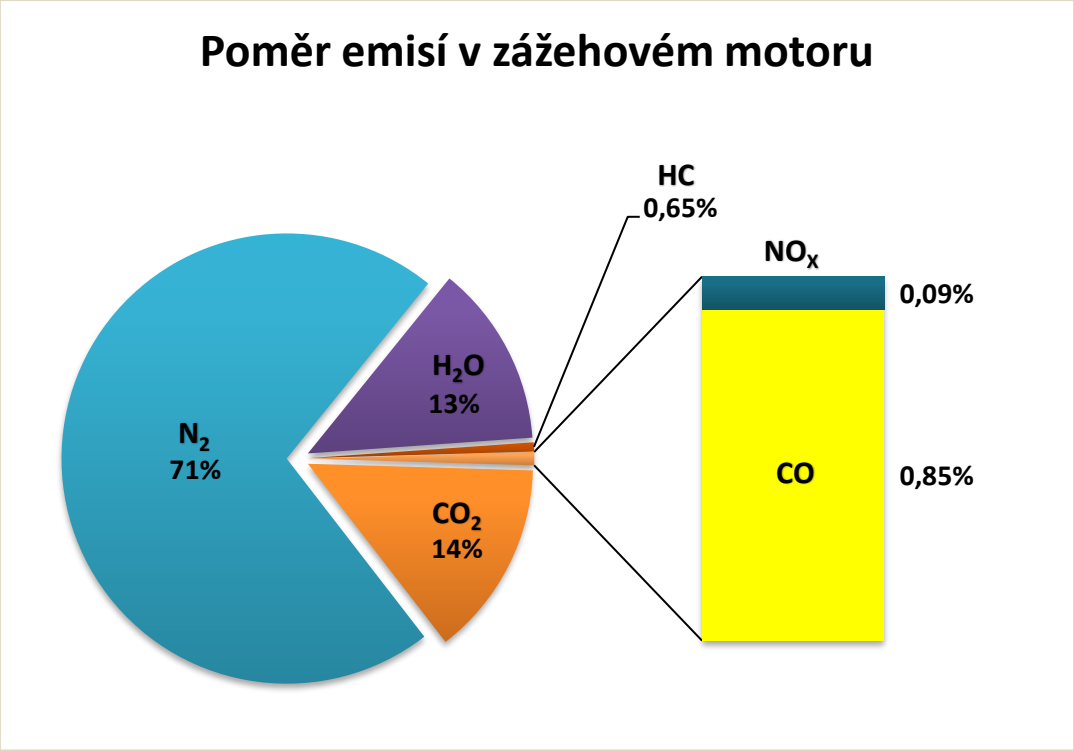
Výroba methanolu může probíhat z různých zdrojů. Dva nejrozšířenější způsoby jsou: výroba ze zemního plynu a výroba z biomasy. Výroba ze zdrojů biomasy je nejekonomičtější, ekologická a tyto zdroje jsou na rozdíl od zemního plynu obnovitelné.

Proces výroby methanolu je stejný pro výrobu jak ze zemního plynu, tak z biomasy. V první fázi je nutné nejprve získat syntézní plyn pro následné další zpracování. Zemní plyn se nejdříve zpracovává v parním reformátoru, nebo parciální oxidací. V případě výroby plynu z biomasy dochází k jejímu zplyňování. Následuje syntéza methanolu za vysokých teplot okolo 250 °C a tlaku zhruba 5–10 MPa na katalyzátoru, který tvoří oxidy mědi a zinku. Celý výrobní proces dosáhne konverze zhruba 50 % methanolu a zbytek plynu se recirkuluje zpět do katalyzátoru pro opětovné zpracování. Na konci syntézy je methanol oddělen od vody destilací a přečištěn. [20]

## 3.4 Emise výfukových plynů

Při zažehnutí palivové směsi uvnitř spalovacího prostoru motoru dochází kromě samotné přeměny energie i k dalším vedlejším procesům, které z fyzikálních a chemických hledisek k tomuto spalování patří. Jedním z nich je i produkce nežádoucích emisí, které vznikají nedokonalostmi spalovaní směsi paliva se vzduchem. Na vznik emisí má vliv mnoho proměnných např. tvar spalovacího prostoru, stechiometrický poměr, složení paliva a obsah znečisťujících složek, teplota motoru atd. Pro zážehový motor je poměrové složení emisí znázorněno v grafu č. 4.:

*Graf 4 - Poměr emisí vznikajících v zážehovém motoru [22]*




Z grafu pro zážehový motor je patrné, že nejvýznamnější složku výfukových plynů tvoří dusík ($N_2$), který vzniká za vysokých teplot ve spalovacím prostoru. Dusík je zde zastoupen také oxidem dusnatým (NO), oxidem dusičitým ($NO_2$) a oxidem dusným ($N_2O$). Při dokonalém spalování paliva vzniká skleníkový plyn oxid uhličitý $CO_2$ za předpokladu nedokonalého spalování vzniká pro zdravý velmi nebezpečný oxid uhelnatý (CO) a zvlášť vodík ($H_2$). Při neshoření paliva vznikají tzv. nespálené uhlovodíky (HC). Nemá-li palivo dostatečný přísun vzduchu, nastává při vysoké teplotě výskyt pevného uhlíku ve spalinách a tvoří se saze.

S odváděním výfukových plynů také odchází část pevných částeček (PM), které představují části oleje, prachu, popela, rzi apod. [22].

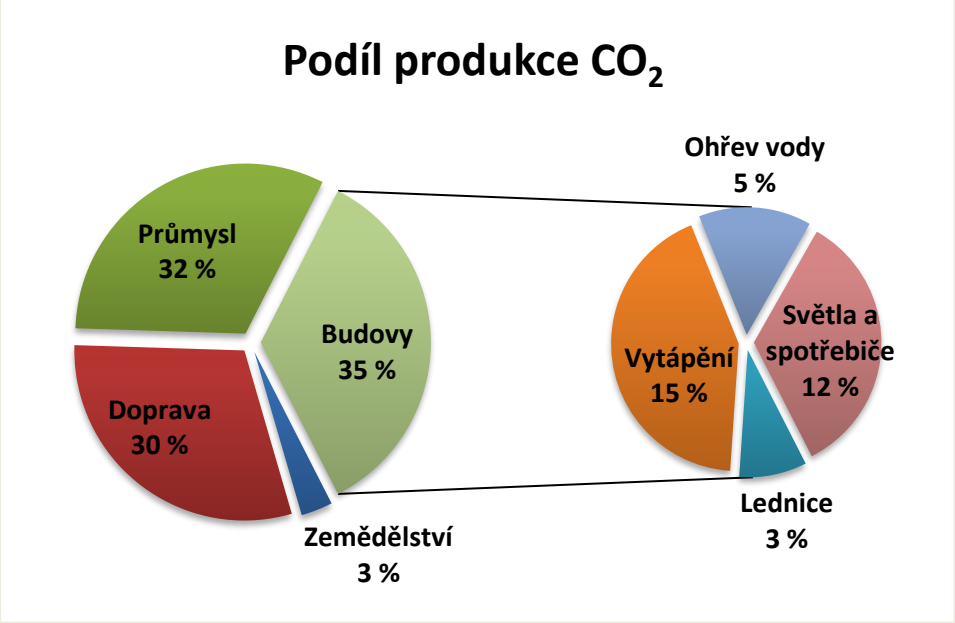
### 3.4.1 Oxid uhličitý ($CO_2$)

V případě spalování bioethanolu tento plyn vzniká dokonalým spálením směsi paliva. Jeho úspora oproti čistému benzinu tak spočívá i ve spotřebě oxidu uhličitého při růstu plodin, které jsou použitelné jako vstupní surovina pro výrobu ethanolu. $CO_2$ je bezbarvý plyn bez zápachu, který je velmi málo reaktivní. V lidském organismu působí škodlivě až při jeho větší koncentraci, kdy začne ve vdechovaném vzduchu vytěsňovat kyslík. Patří mezi tzv. skleníkové plyny, které způsobují průběžné zvyšování teploty planety. Bioethanol se dle studií jeví jako nejlepší možná varianta snižování oxidu uhličitého ve výfukových plynech za předpokladu, že ethanol posuzujeme v celém jeho životním cyklu (LCA). Potenciál snižování emisí tohoto plynu je pak největší právě při fotosyntéze rostlin, která spotřebovává $CO_2$. [22] [12]

Koncentrace emisí oxidu uhličitého je velmi dobrým diagnostickým signálem, který slouží jako měřítko pro kvalitu spalování, těsnost výfukové soustavy, činnost katalyzátoru atd. [23]

Doprava se na produkci tohoto skleníkového plynu podílí zhruba 1/3. Podíl tvorby oxidu uhličitého shrnuje graf č. 5.:

*Graf 5 - Podíl různých odvětví lidské činnosti na produkci $CO_2$ [23]*



### 3.4.2 Oxid uhelnatý (CO)

Nebezpečný plyn, který je pro lidský organismus jedovatý. Při kontaktu s krví zamezuje přenos kyslíku z plic do krevního oběhu. V nejvyšší míře vzniká z paliv, které ve své molekulární struktuře neobsahují žádný kyslík. Vzhledem k přítomnosti kyslíku v ethanolu dochází při spalování k menším emisím tohoto plynu. Vznik oxidu uhelnatého také záleží na stáří, typu motoru, použitém systému regulace emisí a atmosférických podmínkách, ve kterých se vozidlo nachází. Největší nárůst emisí CO, je v zimním období, ve kterém můžeme zaznamenat největší úrovně atmosférického oxidu uhelnatého. [12]

### 3.4.3 Oxidy dusíku ($NO_X$)

Oxidy dusíku vznikají v celém spalovacím prostoru během hoření směsi v důsledku oddělení $N_2$ a $O_2$ tyto atomární stavy následně reagují s molekulárním kyslíkem a dusíkem. Množství oxidu dusíku závisí na bohatosti směsi, otáčkách motoru a středním efektivním tlaku motoru. Chemický mechanismus vzniku $NO_X$ je pro spalovací motory popsán tzv. Zeldovičovým mechanismem, podle kterého má na vznik oxidu dusnatého (NO) největší vliv teplota (množství roste exponenciálně s teplotou), koncentrace dusíku a reakční doba. Celkový obsah oxidů dusíku lze stanovit chemiluminiscenčním analyzátorem. [24]

Složení oxidů dusíku je přibližně 90 – 95 % oxidu dusnatého (NO) a 5 – 10 % oxidu dusičitého ($NO_2$). Obě tyto složky mají životnost přibližně 4 dny a nemají schopnost narušovat ozonovou vrstvu. Oproti tomu oxid dusný ($N_2O$) vykazuje životnost až 150 let, což vede k jeho rozptýlení až do stratosféry, kde působí negativně právě na ozonovou vrstvu. [25]

Samotný oxid dusnatý není pro lidský organismus příliš škodlivý. Při jeho dalším styku se vzduchem však oxiduje na oxid dusičitý, jehož škodlivost je vyšší. Při vdechování dochází ke tvorbě kyseliny dusičné, která působí na organismus podobně jako začínající hoření a dochází k přivírání vstupu vzduchu do plic. Plyn se také podílí na tvorbě letního smogu a kyselých dešťů. [22]

Při využití ethanolu jako možného reduktoru $NO_X$, klesají emise nespálených uhlovodíků a oxidu uhelnatého. Zároveň však vzrůstá zhruba o 20 % podíl oxidů dusíku. Při zvyšování koncentrace ethanolu v palivu se však tento trend může obracet a emise $NO_X$ klesat. Dojde však ke zvýšení emisí HC a CO. [12]

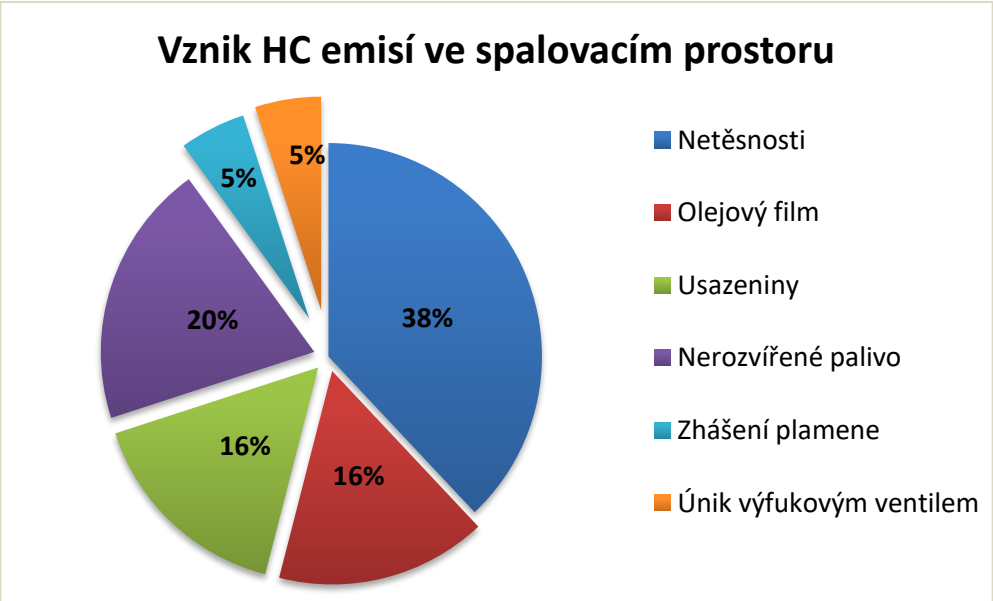
### 3.4.4 Nespálené uhlovodíky (HC)

Nespálené uhlovodíky (HC) vznikají ve výfukových plynech z důvodu předčasného zastavení hoření, tj. oxidačních reakcí ve specifických zónách spalovacího prostoru. To mohou být např. chladnější stěny válce nebo prostory, kde nedojde ke správnému zapálení směsi. Na obsah těchto uhlovodíků má vliv teplotní režim motoru, tvar spalovacího prostoru, konstrukce pístu a také poměr bohatosti směsi. Vhodný poměr pro redukci nespálených uhlovodíků je v oblasti chudé směsi, která má přebytek vzduchu λ v rozmezí od 1,1 do 1,2. Lišící se poměry přebytku vzduchu následně tyto koncentrace zvyšují. [22]

Obsah HC kromě toho určuje samozřejmě i technický stav motoru a stupeň jeho seřízení. Nebezpečné polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH) se vytvářejí v případě, kdy molekula v palivu obsahuje dva nebo více atomů uhlíku. Následnými chemickými reakcemi poté vznikají těžké polycyklické aromatické uhlovodíky jako je naftalen antracen, fluoranten, pyren, chrysen a jejich deriváty. Tyto emise jsou známe pro své karcinogenní a mutagenní účinky.

Bioethanol, díky svému vysokému oktanovému číslu (104), dokáže při smícháním s benzinem poměrně efektivně zredukovat emise HC. [22] [12] Místa, kde nedojde k dostatečnému prohoření směsi a kde vznikají nespálené uhlovodíky, můžeme vidět v následujícím grafu:

*Graf 6 - Vznik HC emisí ve spalovacím prostoru [24]*

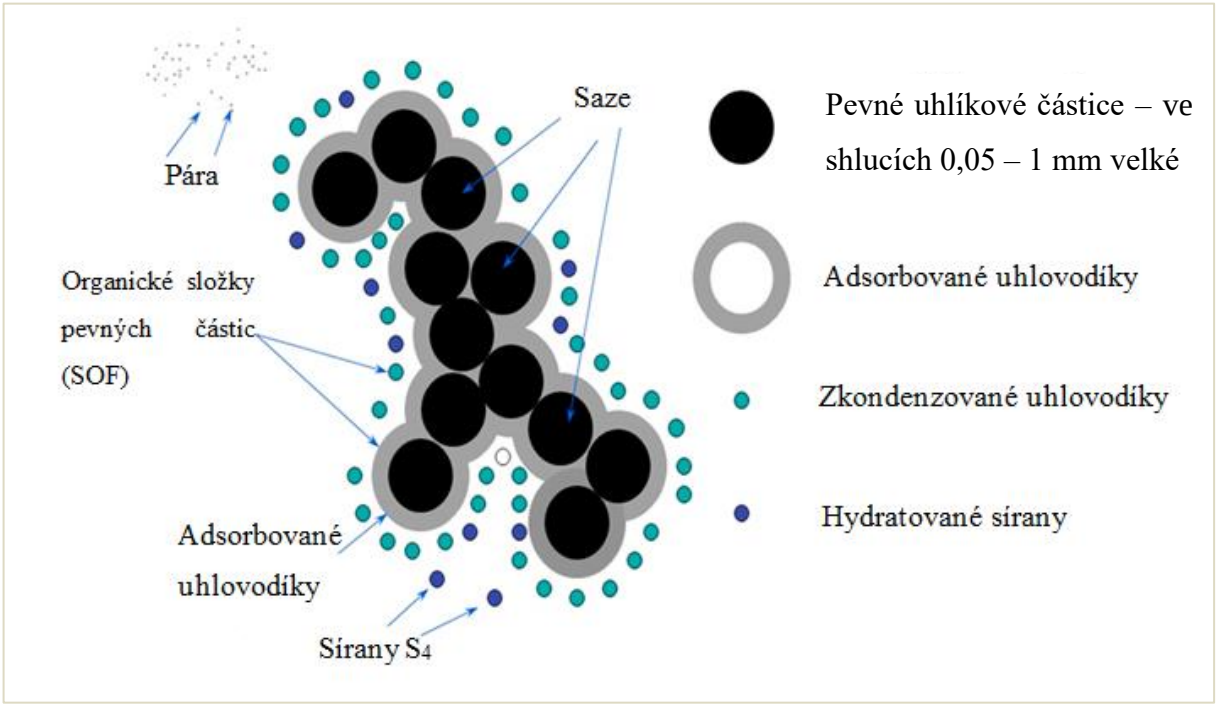


V největší míře dochází ke tvorbě nespálených uhlovodíků v netěsnostech a koutech kam se plamen nemůže rozšířit. Palivo se v těchto místech nespotřebuje a odchází do atmosféry při výfuku. Kouty vznikají okolo zapalovací svíčky, sedel ventilů, pístních kroužků a představují objem asi 1–2 % spalovacího prostoru. V olejovém filmu dochází k zachytávání kapiček paliva, které se uvolní právě ve chvíli, kdy takto zachycené palivo už ve zbytku cyklu nemá možnost vyhořet. Dalšími činiteli jsou karbonové úsady, které mají svá ložiska na sedlech ventilů a dně pístu. Jejich struktura je porézní a zachytává se do ní palivo. Větším snížením produkce HC emisí, se dá docílit kvalitnějším rozvířením vstřikované směsi. Optimálního rozvíření konstrukčně zajišťujeme správným tvarem dna pístu, změnou úhlu vstřikovače, použitím jemnějších vstřikovačů apod. [24]

### 3.4.5 Pevné částice (PM)

PM emise neboli pevné částice lze při vyšších koncentracích snadno pozorovat ve výfukových plynech, kdy jsou zřetelné jako tmavý dým. Tyto částečky jsou složené nejvíce ze sazí a kapalných a pevných frakcí, které mohou být rozpustné či nerozpustné. Při spalování vznikají neodpařením kapek paliva za vyšších teplot a při lokálně nízkém součiniteli přebytku vzduchu λ. Vznik tedy souvisí s rozprášením paliva v okamžiku vstřikování do válce. Saze vznikají v místech spalovacího prostoru, kde je zvýšená teplota a malá koncentrace kyslíku. Saze tedy tvoří asi 50 % podílu PM částic. Rozpustná frakce přítomná v částicích se skládá hlavně z aldehydů, alkanů, alkenů, alifatických uhlovodíků, PAH a jeho derivátů. Různé další složky, jako je mazací olej, částečně oxidované palivo a olej přispívají též k tvorbě organické složky pevných částic (SOF – Soluble Organic Fraction). SOF vznikají důsledkem nespáleného paliva a mazacího oleje uvězněného ve štěrbinách válce nebo v místech kde neprobíhá tepelný rozklad (pyrolýza). [22] [26]

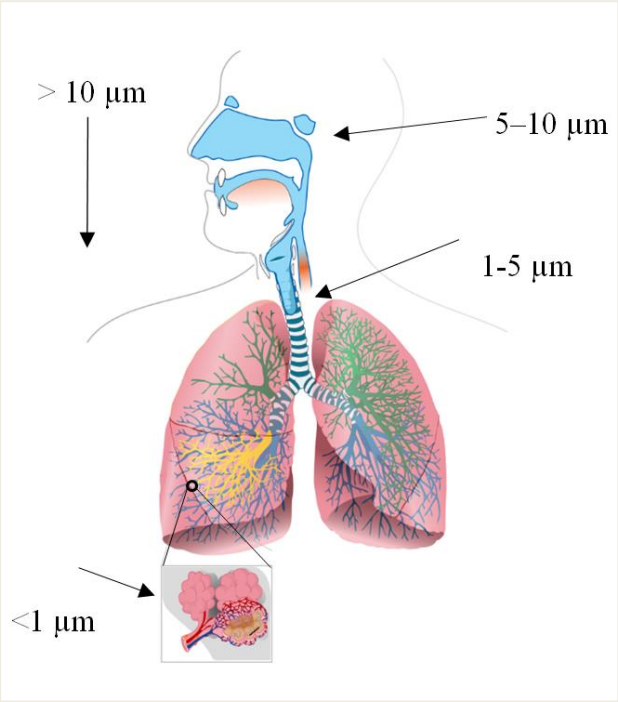
*Obrázek 5 - Složení pevných částic (PM) [24]*




PM částice se ve větší míře tvoří u vznětových motorů. V zážehových motorech se tyto emise velmi snížili s nástupem používání bezolovnatých paliv. Největší množství částic zaznamenáváme ve velikosti od 7,5 až 1,0 µm. Velikost má obecně největší vliv na lidské zdraví. Velké částice se snadno zachytávají v horních cestách dýchacích.

Naopak menší se mohou dostat až na průdušky a dále do plicních sklípků. Pokud nedojde k jejich odstranění během čištění plicních sklípků, je tělo vystaveno riziku podráždění průdušek, jícnu nebo očí. V delší časové expozici se lidský organismus vystavuje dokonce i možnosti zánětu plic. [22] [26]

*Obrázek 6 - Distribuce pevných částic lidským organismem [22]*




### 3.4.6 Možnosti snižování emisí u zážehových motorů

S neustále se zpřísňujícími limity pro emise výfukových plynů, jsou výrobci automobilů nuceni nacházet a vyvíjet stále lepší redukci, aby bylo možno tyto limity snižovat na co nejnižší hranici.

Tato opatření můžeme rozdělit na tři skupiny:

- Redukce škodlivin před motorem
- Redukce škodlivin u motoru
- Redukce škodlivin za motorem

Mezi základní opatření, která vedou ke snižování nežádoucích emisí je nastavení vhodných parametrů motoru tzv. opatření před motorem. To zahrnuje nastavení vhodného směšovacího poměru λ, čímž docílíme snížení všech škodliviny současně. Volba λ> 1 vede ke zlepšení emisí

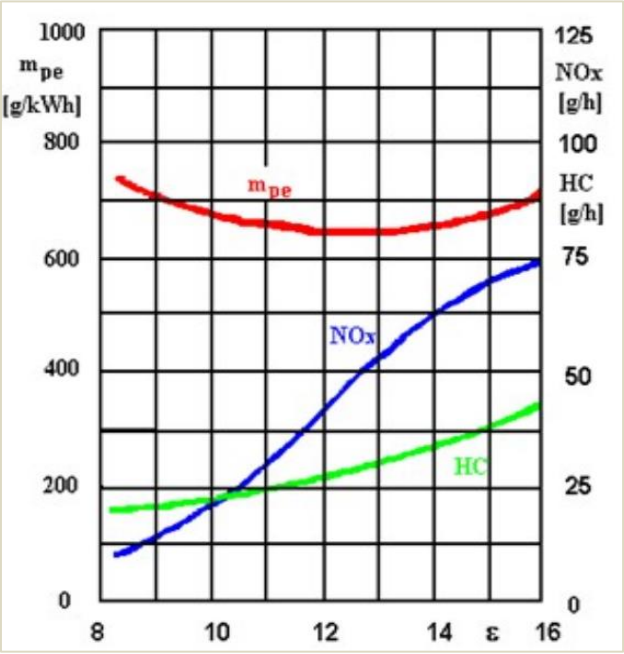
CO vzhledem k mechanismu jeho vzniku. Ochuzení směsi však nesmí být přílišné, aby nedocházelo k vynechávání zápalů. Použitím technologicky vyspělejších vstřikovačů, sensorů a palubních počítačů ve spolupráci se správným tvarem dna pístu dosáhneme co nejlepšího načasování vstřiku a kvalitního rozprášení paliva což vede také k lepší kontrole spalovacího procesu a redukci škodlivých plynů. [22] [24]

Dobře řízený proces spalování nám dává možnosti snížit emise HC a $NO_X$. Nespálené uhlovodíky lze regulovat potlačováním zhášecích zón a v průběhu expanze a výfuku také zajištěním jejich úplného dohoření. Nižší teplota spalování zajistí snížení emisí $NO_X$ spolu s redukcí tvorby Oxidu uhelnatého (CO). Jelikož jde o snižování v průběhu spalování, hovoříme o redukci u motoru.

## Změna kompresního poměru

Určením kompresního poměru se dá velmi efektivně redukovat tvorba emisí $NO_X$, kterou docílíme jeho snížením. To má však následek v podobě snižujícího se výkonu, zhoršení tepelné účinnosti a zvýšení měrné spotřeby paliva. Flexi-Fuel vozidla proto nemohou využívat plný potenciál ethanolu, jelikož přestavba vozidla, které bude schopno spalovat směsi ethanolu a benzínu probíhá jen na úrovni nastavení délky vstřiku. Variabilní možnost nastavování kompresního poměru, by vedla k ještě většímu zefektivnění ethanolu jako paliva, avšak tyto technologie jsou zatím velmi neekonomické. [22] [27]

*Graf 7 - Závislost emisí HC, $NO_X$ a měrné spotřeby paliva na kompresním poměru [22]*



## Předstih zážehu

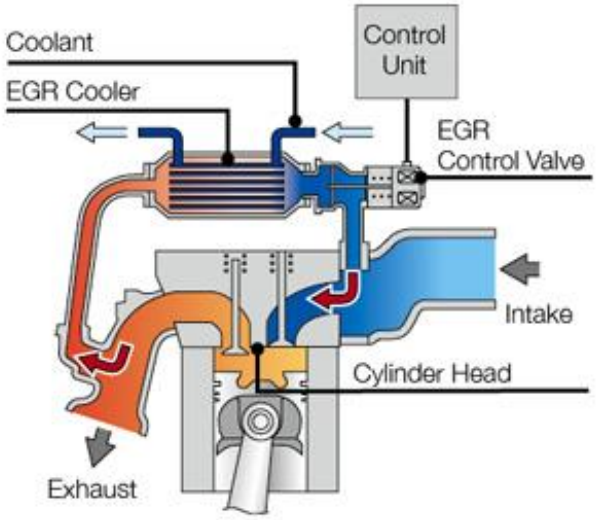
Ke snížení teploty spalování můžeme využít i zmenšování úhlu předstihu. Znovu tak klesne termická účinnost, vzroste měrná spotřeba paliva, dojde ke snížení emisí $NO_X$ a HC a zároveň se sníží teplota výfukových plynů. Naopak zvýšením předstihu navýšíme točivý moment, čímž se zvyšuje i možnost klepání motoru. [22]

## Recirkulace výfukových plynů

Při zpětném využívání výfukových plynů ve spalovacím prostoru můžeme razantně snížit emise $NO_X$. Výfukové plyny se chovají inertně a ve spalovacím prostoru se nezúčastňují spalování, ale přejímají teplo, které vzniká hořením. Recirkulace je dělena na vnitřní a vnější. [22]

Vnitřní recirkulace se řídí překrytím otevření sacího a výfukového ventilu při výměně náplně ve válci. Při pohybu pístu vzhůru odchází část výfukových plynů do sání. Při pohybu pístu do dolní úvrati se nasaje část výfukových plynů z výfukového potrubí. Limitující je však nastavování překrytí ventilů, protože by mohlo vlivem špatného seřízení docházet k vynechávání

*Obrázek 7 - EGR ventil [28]*




zápalů. Při volnoběhu je vnitřní recirkulace nepříznivá a používá se dvoustavová regulace časování, která upravuje překrytí ventilu na optimální hodnoty. Pro přísnější regulaci oxidů dusíku lze využít ještě recirkulaci vnější. Využívá se, když vnitřní recirkulace nestačí ke splnění mezních limitů $NO_X$. Spaliny se v tomto případě přepouštějí přes EGR ventil, který regulujeme pomocí sání nebo elektroniky. EGR dokáže efektivně regulovat $NO_X$ a to až do 50 – 60 %. [22] [28]

## Katalyzátory

Zážehové motory pracují nejčastěji se stechiometrickým poměrem (λ = 1), v kombinaci s teplotou okolo 300 – 600 C° je pak schopen katalyzátor účinně snižovat emise oxidu uhelnatého (CO), nespálených uhlovodíků (HC) a oxidů dusíku ($NO_X$). Správná funkce katalyzátoru je velice úzce spjata právě s bohatostí spalované směsi. Při bohaté směsi (λ<1) bude katalyzátor pracovat s méně oxidanty a bude se zvyšovat podíl propuštěných škodlivin CO a HC. Chudá směs (λ>1) vede k průniku emisí $NO_X$, protože v katalyzátoru se nenachází dostatek atomů umožňující redukci. [29] Katalyzátory dělíme na.:

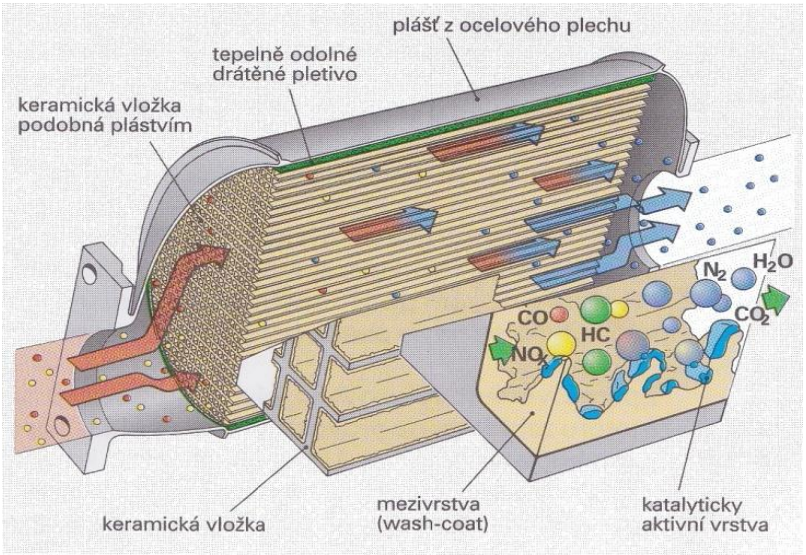
Z hlediska chemické reakce:

- Dvoucestný katalyzátor – snížení pouze emisí oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků.
- Třícestný katalyzátor – umožňuje i redukci emisí oxidů dusíku

Z hlediska použitých materiálů

- Keramické katalyzátory – keramická vložka je levnější, katalyzátor je však náchylnější na poškození.
- Kovové katalyzátory – Oproti keramickým nejsou tolik náchylné na seřízení motoru [30]

*Obrázek 8 - Řez třícestného katalyzátoru [31]*



Katalyzátor se skládá z keramické nebo kovové vložky, mezivrstvy (tu má v sobě pouze katalyzátor keramický) a katalyticky aktivní vrstvy. Vložka je uspořádána tak, aby tvořila co nejvíce drobných kanálků, kterými proudí spaliny. Množství těchto kanálků zajišťuje co největší plochu potřebnou k co nejefektivnějšímu využití katalyzátoru. Mezivrstva je pokovovaná tenkou vrstvou vzácných kovů – platina, rhodium, paladium. [31]

Chemické reakce, které probíhají v katalyzátoru, jsou oxidačně – redukční a probíhají dle rovnic:

**Oxidace:**

$$2\,CO + O_2 \rightarrow 2\,CO_2 \tag{3.2}$$

oxidace oxidu uhelnatého na oxid uhličitý

$$HC + \left(m + \frac{n}{4}\right) + O_2 \rightarrow m\,CO_2 + \frac{n}{2}\,H_2O \tag{3.3}$$

nespálené uhlovodíky se mění na oxid uhličitý a vodní páru

$$2\,H_2 + O_2 \rightarrow 2\,H_2O \tag{3.4}$$

vodík se přeměňuje ve vodní páru

**Redukce:**

$$2\,CO + 2\,NO \rightarrow 2\,CO_2 + N_2 \tag{3.5}$$

oxid dusnatý redukuje na dusík a oxid uhelnatý oxiduje na oxid uhličitý

$$2\,NO + 2\,H_2 \rightarrow N_2 + H_2O \tag{3.6}$$

redukce oxidu dusnatého v dusík a vodík přechází ve vodní páru

$$HC + 2\left(m + \frac{n}{4}\right)NO \rightarrow \left(m + \frac{n}{4}\right)N_2 + \frac{n}{2}\,H_2O + m\,CO_2 \tag{3.7}$$

redukce oxidu dusnatého na dusík a nespálené uhlovodíky oxidují ve vodu a oxid uhličitý. [22]

Reakce katalyzátoru probíhá bez přidávání dalšího media, a proto musí být oxidační a redukční činidla přiváděny do katalyzátorové komory spolu se spalinami. Chudá směs obsahuje více kyslíku, který je využit v katalyzátoru pro oxidaci. Bohatá směs je lepší z hlediska redukce,

kdy ve spalinách vzniká větší množství oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků. Katalyzátor, který účinně odbourává všechny tři hlavní škodliviny, se nazývá třícestný katalyzátor (Three Way Catalyst). Podmínkou je, aby byla dodržena hodnota přebytku vzduchu ve směsi co nejblíže 1. I nepatrná odchylka v tomto případě způsobuje prudký nárůst škodlivin. [22]

### Tří-zónové a nanokatalyzátory

Ke snižování emisí oxidů dusíku ($NO_X$), nespálených uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého (CO) jsou neustále vyvíjeny nové alternativy. V této souvislosti se experimentuje s lepším uzpůsobením vnitřku katalyzátoru tzv. tří-zónového katalyzátoru. Prototyp tří-zónového monolitického katalyzátoru pracuje s optimálně rozmístěnými zónami redukcí škodlivých emisí. První zóna je navržena na likvidaci oxidů dusíku ($NO_X$) a nespálených uhlovodíků (HC) při chudé směsi a vysokých teplotách nad 400 °C. Ve druhé části redukují oxidy dusíku ($NO_X$) ve vzájemné reakci s uhlovodíky (HC) opět v chudé směsi za teplot 250 – 400 °C. První dvě zóny mají vrstvy kovů pro katalýzu nanesené na hliníku nebo zeolitu. V poslední třetí zóně dochází k další redukci nespálených uhlovodíků a oxidu uhelnatého (CO) za teploty okolo 300 °C.

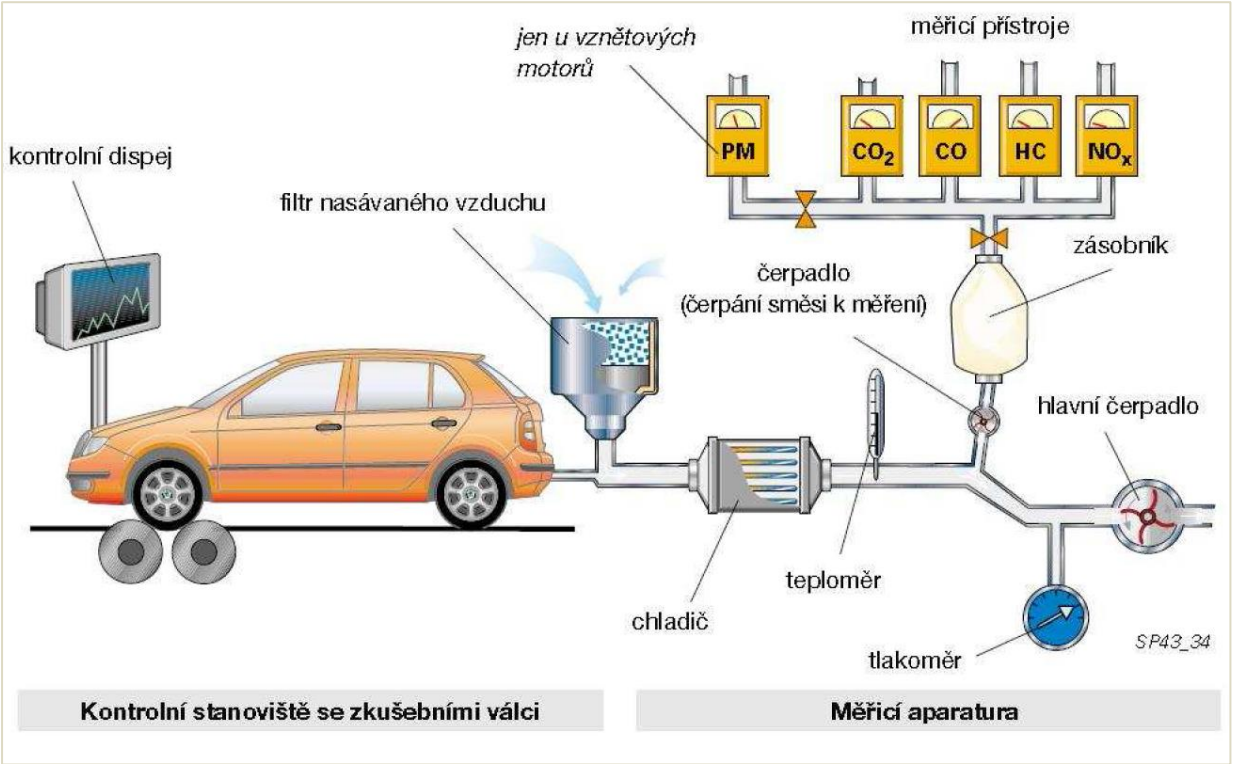
Účinnost tří-zónového katalyzátoru se liší samozřejmě dle zatížení motoru, bohatosti směsi atd. Experimentálně došlo k největší redukci oxidu uhelnatého až o 92 % při nízkých rychlostech motoru. Nespálené uhlovodíky (HC), oxid uhelnatý (CO) a oxidy dusíku ($NO_X$) jsou v tří-zónovém katalyzátoru nejlépe zredukovatelné společně při chudé směsi, kde katalytická účinnost dosahuje 96, 91 a 53 %. [32]

V otázce snižování emisí oxidu uhličitého se experimentuje i s katalýzou pomocí nanočástic. Nanokatalyzátory se stávají v současnosti velmi perspektivní vzhledem k jejich četným výhodám. Disponují větší reakční plochou a tím snižují dobu potřebnou k nástupu reakce. Nanokatalyzátory jsou nenáročné z hlediska údržby a oproti klasickým katalyzátorům nedochází k jejich zničení v případě shoření paliva uvnitř katalyzátoru. Pro tvorbu nanočástic použitých v těchto typech katalyzátoru, se využívá polymerických částic epoxidů, karbamátů, amínu, alkoholů apod. Vzhledem k velice dobrým vlastnostem a efektivitě těchto materiálů lze předpokládat jejich postupné rozšiřování ve velmi brzké době. [33]

### 3.4.7 Měření emisí výfukových plynů

Pro schválení nově vyrobeného vozidla je nezbytné, aby uváděný model prošel homologační zkouškou emisí dle předpisu EHK 83. Vozidlo musí splnit normy evropské unie udávané pro každý druh emisí v gramech na ujetý kilometr. Nejnovější normou je tzv. Euro VI (viz. Příloha I).

*Obrázek 9 - Stanice pro měření emisí výfukových plynů při homologační zkoušce [40]*




Měření emisí se provádí ve válcové zkušebně na válcovém dynamometru. Testované vozidlo je zajištěné na zkušebním stanovišti a měření probíhá dle jízdního cyklu. Jako jízdní cyklus je dnes ještě používaný NEDC cyklus (New European Driving Cycle), který je ale zastaralý, a od roku 2017 je nahrazen tzv. světovým cyklem WLTP. Válcový dynamometr je složen z válců, setrvačníku a dynamometrů. Testované vozidlo je najeté pneumatikami mezi dvěma válci, které jsou spojeny se setrvačníky a elektrickými dynamometry, tím je vozidlu simulována vozovka a je mu kladen odpor podobný jako při jízdě po komunikaci. Změnou odporu, který dynamometr klade, můžeme simulovat vozidlu např. to, že je plně naloženo, jízdu do kopce z kopce apod. Zkušebna může být také doplněna o ventilátor, který chladí motor a zabraňuje jeho přehřátí, jelikož při testování se vozidlo nepohybuje a může dojít k překročení provozní teploty motoru z nedostatečného proudění vzduchu. [24]

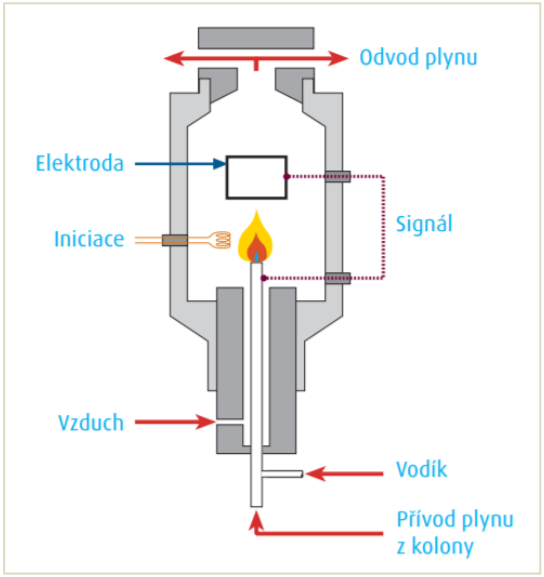
## Měření oxidu uhličitého $CO_2$ a uhelnatého CO

Analýza těchto složek plynů probíhá v tzv. nedisperzním infračerveném analyzátoru (NDIR). Tyto měřiče lze použít mimo jiné i pro zjišťování metanu, hexanu, oxidu dusnatého, ethylenu či přítomnost vody. Princip tohoto analyzátoru je založen na infračervené absorpci spektra plynů. Plyny jsou totiž z velké části transparentní vůči elektromagnetickému záření. Na některých frekvencích molekuly plynů tuto energii spotřebují, a to se projeví změnou vlnových délek infračerveného záření. Analyzátor tvoří dvě komory, které jsou prosvěcovány infračerveným zářením. V jedné komoře je kalibrační vzorek plynu, který záření neabsorbuje a ve druhé je vzorek zkušební. Naproti zdroji infračerveného záření je detektor, který zaznamenává rozdíly vzorku kalibračního a měřeného, které se projeví jako změna hodnoty vyzářeného infračerveného záření a zobrazí složení a koncentraci plynů na display. [24]

## Měření nespálených uhlovodíků (HC).

Nespálené uhlovodíky lze ve výfukových plynech zachytit tzv. Plamenoionizačním detektorem (FID), který má širokou oblast použití. Mimo jiné i kontrolu leteckého benzinu nebo petroleje. V detektoru je vzorek nejprve spalován v elektrickém poli za pomocí hoření vodíku. V plameni se tvoří ionty a volné elektrony. Tyto nabité částice pak tvoří v nosném plynu měřitelný tok elektrického proudu v prostoru mezi katodou a anodou. Výsledný tok proudu se pak porovnává s tokem proudu čistého nosného plynu a vodíku. [34]

*Obrázek 10 - Plamenoionizační detektor [34]*



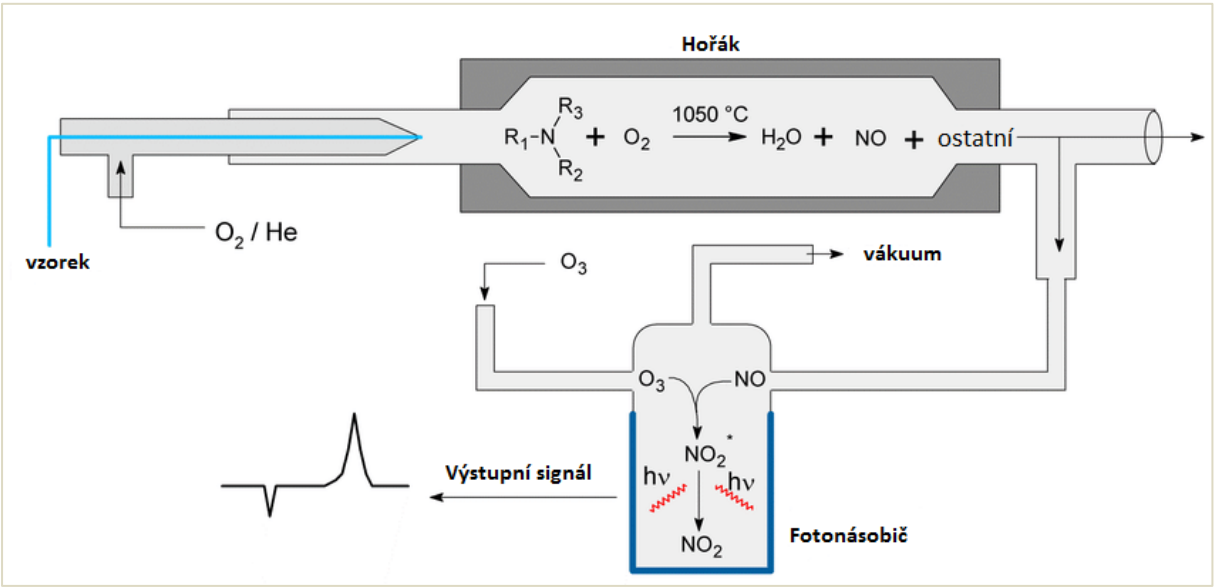
Ionizační detektor ovšem neposkytuje informace o přesném složení a podílu jednotlivých uhlovodíků ve zkušebním vzorku. Uhlovodíky se mohou rozlišit za pomocí spektrometru využívajícího Fourierovu transformaci (FTIR). Princip této metody je stejný, avšak pomocí Fourierovi transformace se vypočítává absorpce infračerveného záření, které závisí na složení výfukových plynů. Oddělování jednotlivých uhlovodíků zde provádí filtrační kolona. Lze využít k rozpoznání např. methanolu nebo formaldehydu. [24]

### Měření oxidů dusíku ($NO_X$)

Pro měření oxidů dusíku využíváme metodu tzv. chemiluminiscenční detekce (NCD). Jedná se o metodu, která rozpozná fotony emitované při chemické reakci. Oxid dusnatý (NO) reaguje s ozonem ($O_3$) během reakce s meziproduktem, který je v tomto případě Oxid dusičitý ($NO_2$), dojde k chemiluminiscenci v podobě vyzáření fotonů. Počet fotonů je pak úměrný množství oxidu dusnatého (NO) ve zkoumaném vzorku. [24] Reakce v detektoru je popsána následující rovnicí:

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2 + foton \text{ (od 600 až 3,000 nm.)} \qquad (3.8)$$

*Obrázek 11 - Schéma přístroje NCD [35]*

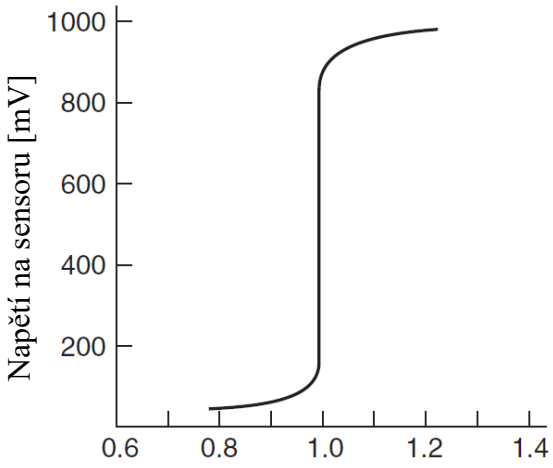


V první fázi výfukový plyn projde přes katalyzátor, kvůli přeměně oxidu dusičitého ($NO_2$) na oxid dusnatý (NO) předtím, než je dále přiváděn k reaktoru. Reaktor má vstupní otvory pro přiváděný vzorek plynu, ozon a jeden výstupní otvor. Emitované fotony jsou měřeny fotonásobičem. V zařízení je ještě optický filtr, aby odfiltroval reakce, které netvoří oxid dusičitý na základě vlnové délky těchto fotonů, která je 0,6 až 0,66. [24] [35]

### Přebytek kyslíku ve spalinách ($O_2$)

Zařízení pro zjišťování obsahu zbytkového kyslíku se nazývá lambda-sonda. Data ze sondy se používají ke kontrole a zajištění správného směšovacího poměru palivové směsi. Zážehové motory vybavené třícestným katalyzátorem potřebují udržovat poměr směsi co nejblíže stechiometrickému poměru tedy $\lambda = 1$. Snímač je složen z precizně tvarovaného elektrolytu z oxidu zirkoničitého ($ZrO_3$). Elektrody jsou potažené tenkou vrstvou porézní platiny, nanesené z obou stran. Elektrochemická reakce na povrchu elektrod vytvoří negativně nabité ionty kyslíku. Vzniklé napětí je pak úměrné množství přítomných iontů kyslíku. Napětí má velmi strmý průběh v závislosti na směšovacím poměru směsi. [24]

*Graf 8 - Závislost napětí na směšovacím poměru Lambda – sondy [24]*



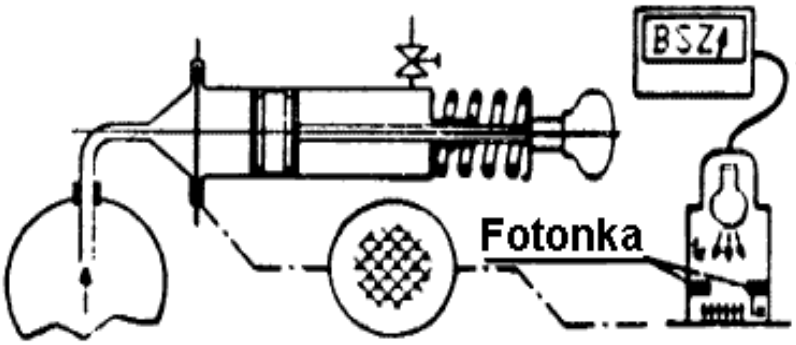
## Pevné částice (PM)

K měření obsahu pevných částic ve výfukových plynech bylo vyvinuto několik odlišných metod. Způsoby, jakým se pevné částice měří, jsou neustále vyvíjeny, avšak jejich princip je v podstatě stále stejný, založený na metodě průchodu nebo změny intenzity světla. Nejvíce používané techniky jsou:

- Filtrační metody
- Opacimetry
- Gravimetry

V případě měření metodou filtrační zachytáváme částečky na filtrační papírek, přes který necháme proudit spaliny z výfuku přesně definovanou rychlostí a objemem. Následně se papírek vyhodnocuje na odrazivost světla pomocí reflekčního fotometru. Zjištěné odražení se stanovuje v jednotkách SZ (Schwarzungszahl) [36]

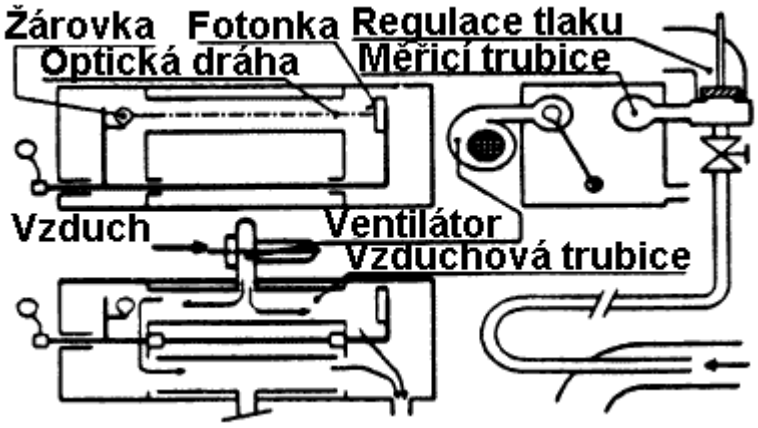
*Obrázek 12 - Filtrační kouřoměr Bosch [36]*




Firma Bosch, jejíž přístroj je na obrázku č. 12 používá jednotky BSU (Bosch Smoke Unit). Nejsou však žádné vztahy pro převod mezi jednotkami kouřivost.

Opacimetry využívají ke stanovení množství částic sloupec výfukových plynů definované délky a pohlcování světla. Měřením získáme hodnotu opacity neboli pohltivosti světla spalin. V opacimetrech plyny prochází trubicí, na jejímž začátku je žárovka, která má vždy stanovené parametry výkonu a teplotou povrchu. Na konci je fotočlánek, na který dopadá světelný tok. Fotočlánek je napojen na stupnici, ze které lze snadno odečíst hodnotu kouřivosti. Opacimetry mají složitější konstrukci z důvodu požadavku na obtékání žárovky i fotočlánku čistým vzduchem, aby nedošlo k jejich znečištění. [36]

*Obrázek 13 - Opacimetr Hartridge [36]*




Gravimetrické analyzování částic ve výfukových plynech využívá jako filtrační medium prvek ze skelných vláken pokrytých vrstvou teflonu. V laboratoři se nejdříve určí přesná hmotnost tohoto článku a prosaje se skrz něj vzorek spalin. Na konci měření je vzorek z přístroje vyjmut a provede se jeho opětovné zvážení. Hmotnost spalin se vypočte dle vzorce:

$$C_{pe} = \frac{m_2 - m_1}{V_{vz}} \qquad (3.9)$$

$m_1$ - *je hmotnost čistého filtračního elementu,* $m_2$ - *hmotnost po skončení měření a* $V_{vz}$ - *je objem spalin prosátých skrz filtrační element*. [36]

## 3.5 Zkušební jízdní cykly

Pro objektivní porovnávání a testování vozidel je nutné dodržet stejné zkušební podmínky pro stejné motory, ale i paliva. Jízdní cykly v podstatě představuji sérii standardizovaných předpisů dodržování rychlostí po určitý časový úsek. Dodržováním těchto zásad můžeme zaručit stejný postup sérií testů ať už jednoho nebo více vozidel a použitých paliv. V průběhu celé zkoušky jsou odebírány a analyzovány veškeré výfukové plyny. Výstup testu představuje množství jednotlivých skupin škodlivin v emisích. Tyto složky jsou udávány v gramech za čas jízdního cyklu a lze je přepočítat např. na g/km nebo jiné vhodné jednotky.

Nejběžnější jízdní cykly jsou:

- Evropský
    - NEDC – New European Driving Cycle
    - ARTEMIS
- Celosvětový
    - WLTP – Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure
    - WHSC - World Harmonized Stationary Cycle
- Spojené státy Americké
    - FTP – Federal Test Procedure
    - HWFET – Highway Fuel Economy Test
- Japonsko
    - 10 - 15 mode
    - JC 08

### NEDC cyklus (New European Driving Cycle)

Je složen ze dvou jízdních cyklů a slouží jako výchozí test pro zkoušení vozidel pro normy Euro I – VI. Zkouška probíhá na klasickém válcovém dynamometru. Spotřeba paliva se neměří přímo, ale počítá se z uhlíkové bilance využitím změřených emisí oxidu uhličitého. Průběh zkoušky je tvořen dvěma hlavními úseky.

- Městský úsek UDC – který simuluje městský provoz
- Mimoměstský úsek EUDC – simulující jízdu mimo město

Městská část je složena za čtyř opakujících se dílčích městských cyklů. Dílčí cykly tvoří 15 fází (volnoběh, zrychlení, stálá rychlost, zpomalení atd.). Při městské části vozidlo jede maximální rychlostí 50 km/h a urazí teoreticky vzdálenost 4, 052 km.

Mimoměstská část se opakuje pouze jednou a její průběh má fází 13. V této části NEDC cyklu se dosahuje maximální rychlosti 120 km/h a ujeté dráhy 6, 955 km. Samotné vozidlo musí být „zajeté“ dle pokynů výrobce a před zkoušením musí mít najeto alespoň 3 000 km. Měření probíhá za teplot v rozmezích od 20 – 30 °C.

Evropský jízdní cyklus v současné době nevyhovuje soudobým podmínkám zejména v městském provozu a reálně tak hodnot spotřeby paliva není možné dosáhnout. Vzhledem k zastaralosti Evropského jízdního cyklu je tato zkouška nahrazována modernějším celosvětovým cyklem WLTP. [37] [38]

### WLTP cyklus (World Harmonized Light Vehicles Test Procedure)

Pro reálnější výsledky dynamických jízdních zkoušek byla vyvinuta celosvětová měřící procedura WLTP. Jde o harmonizovaný jízdní cyklus lehkých vozidel, který je vytvořen na základě ostatních měřících cyklů aplikovaných v Japonsku, Evropě či Americe. Jeho součást tvoří tři zkušební cykly v závislosti na poměru jmenovitého výkonu a pohotovostní hmotnosti vozidla.

- WLTC třída 3: Silný poměr výkonu k hmotnosti
- WLTC třída 2: Středně silný poměr výkonu k hmotnosti
- WLTC třída 1: Slabý poměr výkonu k hmotnosti.

Při dnešních parametrech automobilů spadá většina do kategorie WLTC 3. Ten je nejvíce využíván v Japonsku a Evropě. Tvoří jej dvě podtřídy, a to 3a a 3b na základě maximální možné dosažené rychlosti testovaného vozidla 3a <120 km/h a 3b ≥ 120 km/h.

WLTC 2 je využíván pro testování středně silných vozidel v Indii a pro některá slabší vozidla v Evropě či Japonsku. WLTC 1 pak testují ty nejméně výkonné vozy. [37] [38] Přehled základních údajů WLTC cyklů je znázorněn v tabulce č. 4.:

*Tabulka 4 - Parametry tříd WLTC cyklů [37]*

| | Jednotky | WLTC třída 1 | WLTC třída 2 | WLTC třída 3 |
|---|---|---|---|---|
| Poměr výkon váha (PMR) | - | 22 | 22-34 | 34 |
| Ujetá vzdálenost | km | 8,091 | 14,664 | 23,262 |
| Délka cyklu | s | 1022 | 1477 | 1800 |
| Průměrná rychlost | km/h | 28,5 | 35,7 | 46,5 |

### FTP cyklus (Federal Test Procedure)

Zkouška používaná v USA pro certifikaci emisí a způsob úspory paliva osobních automobilů a lehkých užitkových vozidel. FTP (Federal Test Procedure) se skládá ze dvou testů a to FTP-75 a FTP-72 dle tzv. Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS) vydaný agenturou pro životní prostředí (EPA) ve Spojených státech amerických k zajištění snižování emisí vznikajících ve spalovacích motorech.

FTP-75 představuje cyklus dojíždění z městských aglomerací s častými zastávkami a jízdou po dálnicích. Celý test se skládá ze čtyř částí:

- Fáze studeného startu – po dobu 505 sekund v teplotním rozmezí 20 – 30 °C
- Ustálená fáze – od 506 do 1372 sekund
- Předehřátí – předchází poslední části testu a trvá max. 660 sekund
- Fáze teplého startu – doba trvání 505 sekund.

Po dobu testu, která je v tomto případě 31 minut a 17 sekund vozidlo urazí celkovou vzdálenost 17,77 km při průměrné rychlosti 34,12 km/h.

Pro splnění emisních požadavků dle těchto norem však musí být vozidla pro tento test vhodná. Od roku 2000 proto musí procházet doplňkovým testem SFTP (Supplemental Federal Test Procedure), který kompenzuje rychlejší jízdu po dálnicích, časté prudké zrychlování vozidel, a dokonce i jízdu se spuštěnou klimatizací.

Cyklus FTP-72, ze kterého je odvozen výše zmíněný FTP-75 se liší pouze absencí třetí fáze testování vozidla za tepla. [37] [38]

# 4. Vlastní experiment

V experimentální části diplomové práce je vyhodnocována produkce škodlivých emisí a výkonových parametrů vybraných paliv pro Flexi-fuel vozidlo. Pro testy byly použity dva cykly - WLTP a NEDC. Naměřená data byla zpracována v programu Microsoft Excel pro názorné grafické vyobrazení.

## 4.1 Přístrojové vybavení

K provádění všech experimentů bude použito vybavení a přístroje dostupné v laboratoři Technické fakulty ČZU. Pro měření emisí je nutné testované vozidlo umístit na válcový dynamometr pro simulování reálného provozu, zachytit výfukové plyny a s využitím emisních analyzátorů provést jejich rozbor.

Pro měření byly použity tyto přístroje:

- Škoda Octavia Variant NF
- Válcový dynamometr
- Mobilní emisní analyzátor VMK

**Škoda Octavia Variant NF**

Jako testovací vozidlo byl použit automobil katedry vozidel a pozemní dopravy, který je přímo uzpůsobený pro zajíždění jízdních cyklů. Jde o prototyp vozu Škoda Octavia II v předfaceliftové verzi. Vozidlo není výrobně upraveno na spalování bioethanolu. Mnohem

*Obrázek 14 - Škoda Octavia Variant NF*

vhodnější by bylo pro experiment použít vozidlo SAAB, které má přímo z výroby označení Flexi-fuel. Vzhledem k jeho starší řídící jednotce však nebylo možné zaznamenávat nezbytná data, ale pouze zobrazit jejich okamžitou hodnotu. Pro změření emisí tedy byla použita Škoda Octavia, jejíž parametry jsou shrnuty v následující tabulce.:

*Tabulka 5 - Parametry Škoda Octavia Variant NF*

| | | |
|---|---|---|
| **Motor** | [-] | 2.0 FSI |
| **Uspořádání** | [-] | řadový čtyřválec, 4 ventily na válec |
| **Zdvihový objem** | [$cm^3$] | 1984 |
| **Maximální výkon** | [kW] | 110 |
| **Max. točivý moment** | [Nm] | 200 při 3500 $min^{-1}$ |
| **Hmotnost** | kg | 1385 |
| **Rok výroby** | [-] | 2004 |

## Válcový dynamometr

Válcový dynamometr je umístěn v laboratořích Technické fakulty ČZU, kde byl také celý experiment uskutečněn. Skládá se ze dvou válců, které jsou z jedné strany připojeny řetězem na setrvačník, který prezentuje setrvačnou hmotnost vozidla. Základní hmotnost simulovaná dynamometrem je 680 kg. Hmotnosti lze upravovat přídavným závažím. Z druhé strany válců jsou připojeny brzdící elementy.

První válec je připojen na elektromotor, druhý je spojen s vířivým dynamometrem. Elektromotor vytváří jízdní odpory a tenzometr snímá zatížení působící od vozidla. Parametry válcové zkušebny jsou shrnuty v tabulce č. 6.:

*Tabulka 6 - Parametry válcové zkušebny*

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Stejnosměrný motor** | Maximální brzdný výkon | [kW] | 56 |
| | Maximální brzdný moment | [Nm] | 305 |
| | Maximální otáčky | [$min^{-1}$] | 3000 |
| **Vířivý dynamometr** | Maximální brzdný výkon | [kW] | 125 |
| | Maximální brzdný moment | [Nm] | 478 |
| | Maximální otáčky | [$min^{-1}$] | 8000 |
| **Tenzometr** | Jmenovité zatížení | [kN] | 2 |
| | Přesnost | - | 0,5 % jm. zatížení |
| **Válce** | Obvod válců | [mm] | 1145 |
| **Setrvačník** | Základní simulovaná váha | [kg] | 680 |
| | Přídavné hmotnosti | [kg] | 900, 45, 225, 120, 112,5 |

Pro automatický sběr dat a kontrolu průběhu zkoušky slouží rozhraní DataLab vytvořené prostřednictvím ControlWeb, které řídí jednotlivé úkony válcové zkušebny a ukládá data o výkonu, rychlosti, otáčkách a celkové době jízdního cyklu. ControlWeb je aplikace pomocí níž lze sestavovat náročné ovládací panely do velínů elektráren, tunelů, přehrad apod. Stabilní 32- bitové verze jsou schopny běžet nepřetržitě a ovládat tak velmi náročné průmyslové provozy. [39]

### Mobilní emisní analyzátor VMK

Nezbytné zaznamenávání emisí bylo dosaženo mobilním emisním analyzátorem VMK. Přístroj vyrábí firma, která na trh dodává nemocniční vybavení, jako jsou rentgeny a ultrazvukové přístroje. Aparatura byla zkonstruována na požadavky Technické fakulty ČZU. Přístroj v reálném čase zachycuje a vyhodnocuje emise oxidu uhelnatého (CO) a uhličitého ($CO_2$), nespálených uhlovodíků (HC), oxidů dusíku ($NO_X$) a zbytkového kyslíku. Analyzátor pracuje na frekvenci 1 Hz a pro ukládání dat je vybaven slotem paměťových karet. Specifikace analyzátoru jsou uvedeny v tabulce č. 7.:

*Tabulka 7 - Parametry emisního analyzátoru*

| Emise | Rozsah | Přesnost | Chyba měření |
|---|---|---|---|
| **CO** | 0 - 10 % obj. | 0,001 % obj. | absolutní: 0 - 0,67%: 0,02% |
| | | | relativní: 0,67% - 10%: 3% |
| **$CO_2$** | 0 - 16 % obj. | 0,01 % obj. | absolutní: 0 -10%: 0,3% |
| | | | relativní 10 - 16%: 3% |
| **HC** | 0 - 20 000 ppm | 1 ppm | absolutní: 10 ppm |
| | | | relativní: 5% |
| **$NO_X$** | 0 - 5 000 ppm | 1 ppm | absolutní: 0 - 1000 ppm: 25 ppm |
| | | | relativní: 1000 - 4000 ppm: 4% |
| **$O_2$** | 0 - 22 % obj. | 0,1 % obj. | absolutní: 0 - 3%: 0,1% |
| | | | relativní: 3 - 21%: 3% |

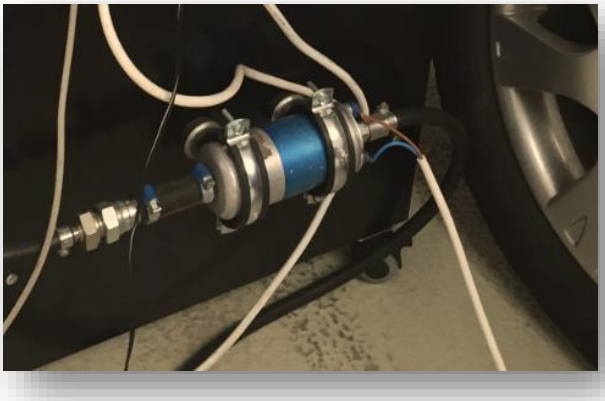
*Obrázek 15 - Mobilní emisní analyzátor VMK*

## 4.2 Průběh měření experimentu

Před samotným začátkem měření bylo nejprve nutné připravit vůz na válcovou zkušebnu a vyřešit způsob nasávání zkoumaného vzorku paliva do palivové soustavy vozu. K tomuto účelu bylo použito externí palivové čerpadlo. Čerpadlo dopravovalo palivo z Erlenmeyerovy baňky o objemu 5 litrů umístěné na digitální laboratorní váze, ze které byla na začátku a konci jízdního cyklu odečtena hmotnost paliva pro sledování spotřeby během testu.

*Obrázek 16 - Váha se vzorkem paliva*

*Obrázek 17 - Externí palivové čerpadlo*



Vůz bylo nezbytné před začátkem měření zahřát na pracovní teplotu jízdou na druhý rychlostní stupeň při volnoběžných otáčkách. Kvůli absenci přirozeného chlazení proudem vzduchu byl před vozem umístěn ventilátor, který byl regulován automaticky dle aktuální rychlosti vozidla. Stahovací kurtna zajišťovala automobil proti neočekávanému vyjetí z válců.

*Obrázek 18 - Automaticky regulovaný ventilátor*

Při zahřívání vozidla zároveň docházelo k výplachu zbytků předešlého paliva v palivové soustavě, které by v případě smísení se zkoumaným vzorkem ovlivnilo výsledek testu. V interiéru vozu byl na OBD diagnostiku napojen notebook s diagnostickým softwarem, který zapisoval v intervalu jedné vteřiny aktuální parametry vozidla jako je rychlost, otáčky motoru, zatížení motoru, úhel škrticí klapky atd.

Analýza emisí probíhala pomocí VMK emisního analyzátoru, který měl sondu zavedenou ve výfukovém potrubí a kontinuálně vyhodnocoval množství jednotlivých složek plynů. Nadbytečné zplodiny byly odváděny mimo laboratoř pomocí odsávání.

K vlastnímu měření experimentu byly zvoleny dva měřící cykly, a to NEDC a WLTP cyklus třídy 3, vzhledem k velkému poměru výkonu a hmotnosti vozidla. Na každé jednotlivé palivo byly projety vždy čtyři cykly. Dva NEDC cykly – první testovací, druhý platný a dva WLTC cykly ve stejném rázu. Praktické zajíždění cyklu probíhalo při sledování monitoru umístěném před čelním sklem řidiče, kde bylo zapotřebí sledovat rychlost a rychlostní stupně graficky vyobrazené v programu ControlWeb, který zaznamenával průběh zkoušky. Dle požadavků rozhraní řidič udržoval nebo měnil rychlost vozu.

Jako vhodná paliva použitá k měření a vyhodnocení emisí byly po zvážení všech výhod a nevýhod zvoleny tyto vzorky

- Čistý benzín – bez aditiv s OČ 95
- Ethanol E85 – tankováno na benzínové stanici v Rudné
- Butanol B50 – 50 / 50 % objemových butanol / benzín

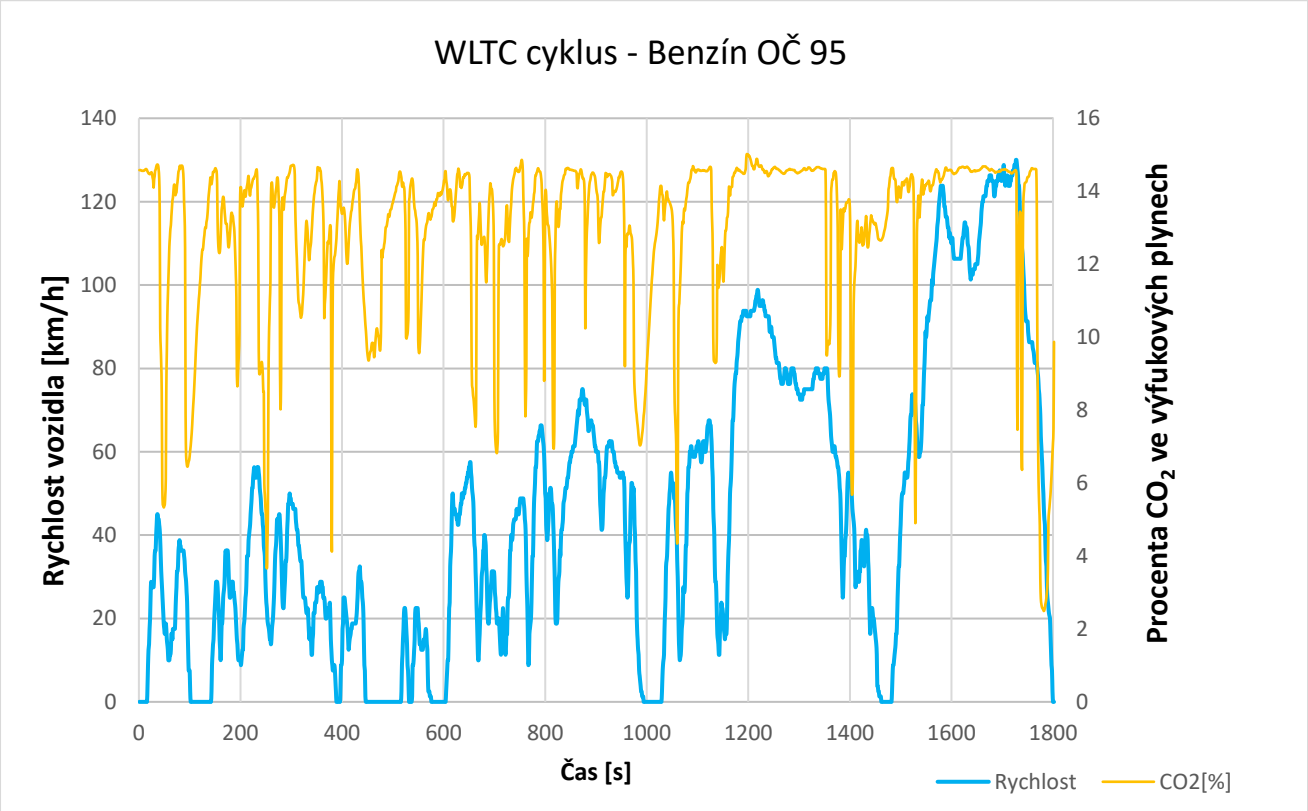
Zkoušky paliv probíhaly ve výše uvedeném pořadí při zahřátém motoru. Jízdní vlastnosti se citelně měnily v závislosti na právě testovaném palivu a řidič se tak musel přizpůsobovat změněnému chování vozu. Změny byly patrné zejména při akceleraci vozu na první rychlostní stupeň.

## 4.3 Vyhodnocení emisí paliv

### 4.3.1 Čistý benzín – OČ 95

Prvním palivem pro měření byl čistý benzín bez biosložek a aditivních látek. Na vozidle během zajíždění cyklu nebyly patrné žádné změny v chování ani nebyly zachyceny např. výpadky zapalování palubní diagnostikou.

*Graf 9 - WLTC cyklus: závislost $CO_2$ na čase a rychlosti vozidla – Benzín*




- Spotřebované palivo: 1425 g
- Spotřeba: 8,51 l/100 km
- Ujetá vzdálenost 22,91 km

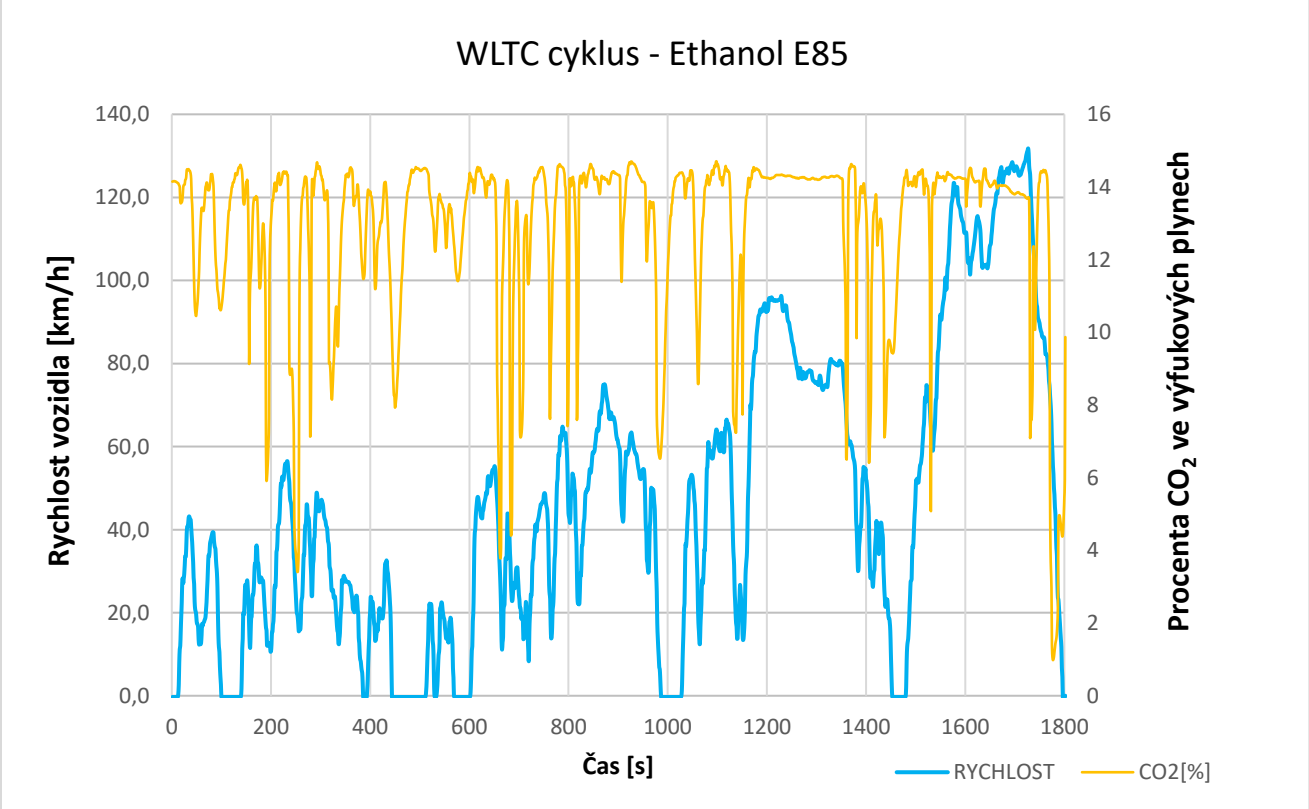
*Tabulka 8 - Hodnoty emisí v g/km – benzín OČ 95*

| CO [g/km] | $CO_2$ [g/km] | NO [g/km] | HC [g/km] |
|---|---|---|---|
| 0,109 | 289 | 0,807 | 0,0376 |

### 4.3.2 Ethanol E85

Druhé palivo byl bioethanol s koncentrací 85 % běžně prodávaný na vybraných čerpacích stanicích. Pro experiment byl ethanol zakoupen na nejbližší čerpací stanici poskytující toto palivo v Rudné. Při zahájení jízdního cyklu bylo na jízdních vlastnostech patrné, jak řídící jednotka musí upravovat vstřikované množství směsi a tím redukovat klepání motoru. Akcelerace s ethanolem byla poněkud plynulejší než v případě benzínu.

*Graf 10 - WLTC cyklus: závislost $CO_2$ na čase a rychlosti vozidla – Ethanol E85*




- Spotřebované palivo: 1893 g
- Spotřeba: 10,60 l/100 km
- Ujetá vzdálenost 22,86 km

*Tabulka 9 - Hodnoty emisí v g/km – Ethanol E85*

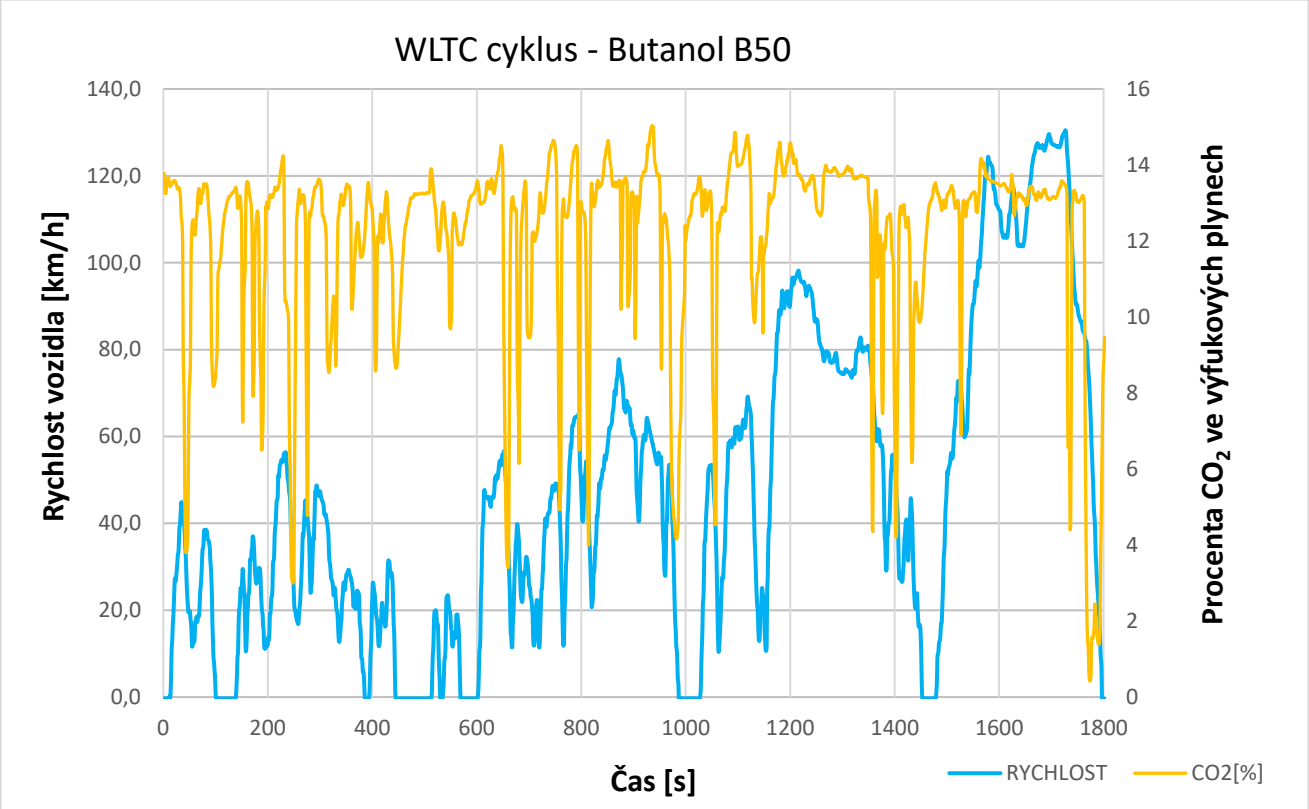
| CO [g/km] | $CO_2$ [g/km] | NO [g/km] | HC [g/km] |
|---|---|---|---|
| 2,481 | 268 | 0,076 | 0,0466 |

Hodnota oxidu uhelnatého v tomto případě nebývale vzrostla, to je pravděpodobně zapříčiněno chybou emisního analyzátoru, který při cyklech NEDC nenaměřil podobně enormní hodnoty.

### 4.3.3 Butanol B50

Dvoulitrový přeplňovaný motor Octavie měl s tímto palivem zpočátku problémy. Docházelo ke klepání motoru a byl zřetelně slyšet cvakavý zvuk ventilů z prostoru motoru. Jízdní vlastnosti vozidla byly velmi odlišné od prvních testovaných paliv. Akcelerace byla značně pomalá a vyšších rychlostí vozidlo dosahovalo po delší době a nutnosti držet motor ve vysokých otáčkách bez přeřazení.

*Graf 11 - WLTC cyklus: závislost $CO_2$ na čase a rychlosti vozidla – Butanol B50*



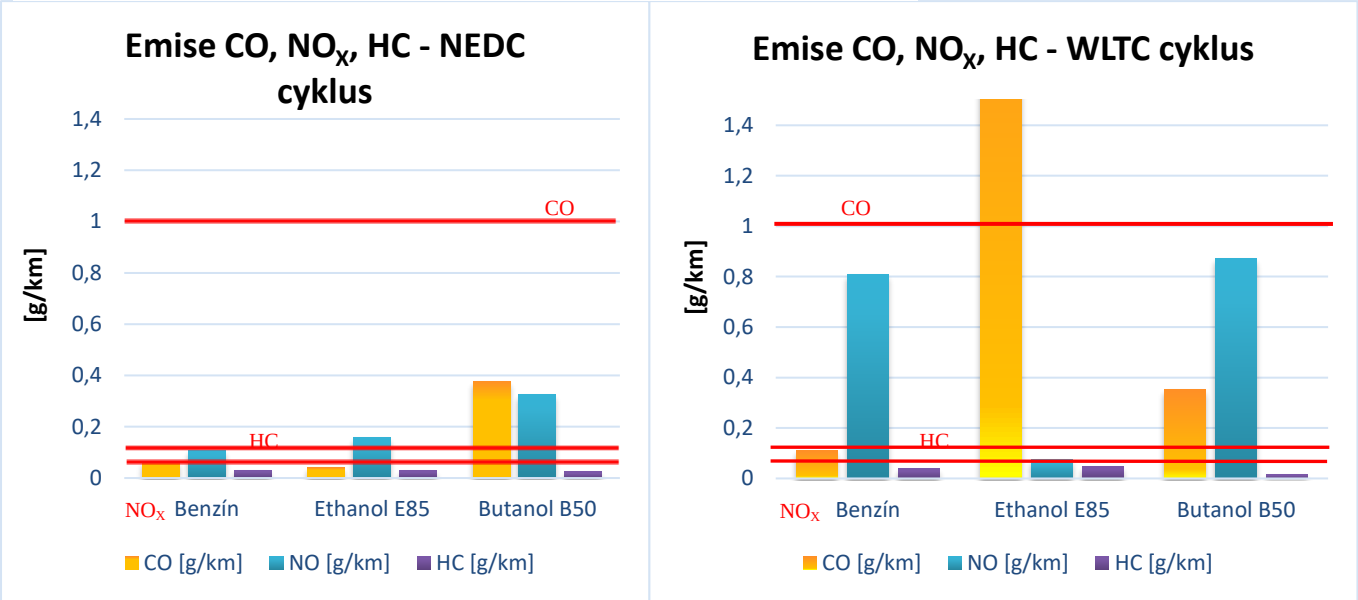

- Spotřebované palivo: 1893 g
- Spotřeba: 10,60 l/100 km
- Ujetá vzdálenost 22,86 km

*Tabulka 10 - Hodnoty emisí v g/km – Butanol B50*

| CO [g/km] | $CO_2$ [g/km] | NO [g/km] | HC [g/km] |
|---|---|---|---|
| 0,353 | 269 | 0,871 | 0,0168 |

### 4.3.4 Emise CO, $NO_X$, HC

*Graf 12 - Emise CO, $NO_X$, HC získané z NEDC a WLTC cyklu*

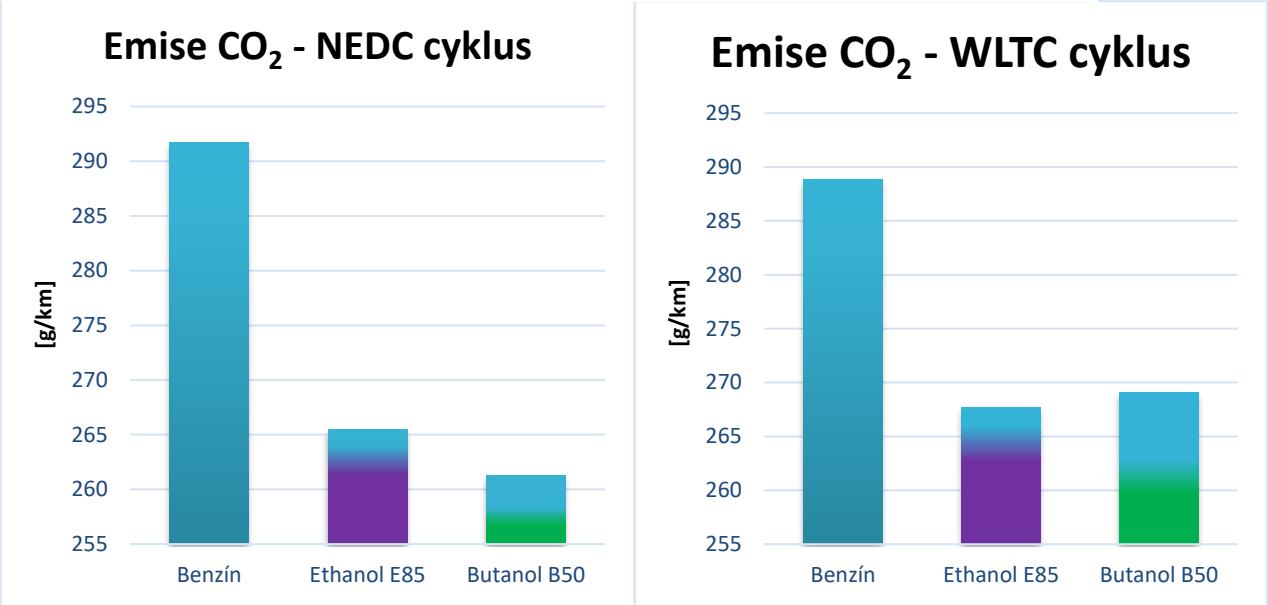



Hodnoty emisí při rozdílném jízdním cyklu vidíme na grafu č. 12. Emise ethanolu E85 jsou nejmenší při testování WLTC metodou až na hodnotu oxidu uhelnatého, která je nebývale velká pravděpodobně z důvodu chyby měřicího přístroje. V grafu jsou naznačeny červenou barvou maximální přípustné emisní hodnoty dle **Euro VI** (viz. Příloha I). Nejběžnější palivo pro FFV vozidla E85 dosahuje vcelku dobré redukce škodlivin. Oproti tomu Butanol B50, dosahuje v naměřených hodnotách vyšší obsah škodlivin než čistý benzín bez jakékoliv biosložky.

Další anomálií, které si můžeme všimnout, jsou zvýšené emise oxidů dusíku ($NO_X$). K takto velkým hodnotám by nemělo docházet, protože testovaný automobil je vybaven dvěma $NO_X$ katalyzátory. Během měření posledního vzorku paliva (Butanol B50) VMK analyzátor zaznamenával velmi vysoké hodnoty oxidů dusíku. Po kontrole analyzátoru však nebyla chyba zjištěna, ale došlo k poškození právě $NO_X$ katalyzátorů, kdy z výfukového potrubí vylétávaly částice kovů z katalytické vrstvy. Vzhledem k tomu, že testy probíhaly rychle za sebou, došlo pravděpodobně k nedostatečnému ochlazení těchto katalyzátorů, a to zapříčinilo jejich poškození.

### 4.3.5 Emise $CO_2$

*Graf 13 - Emise oxidu uhličitého získané z WLTC a NEDC cyklu*

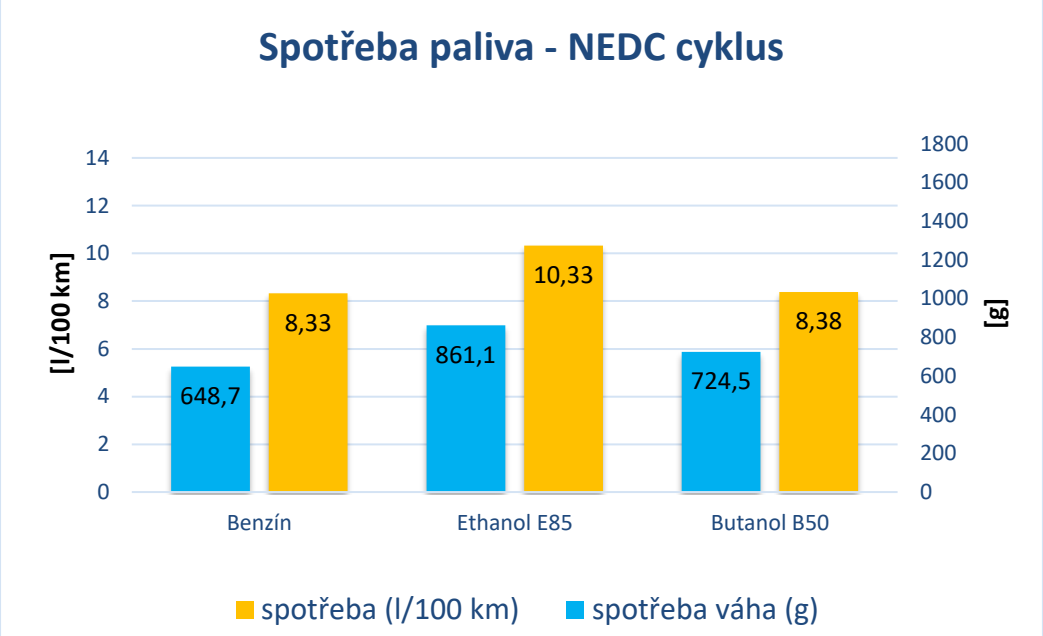


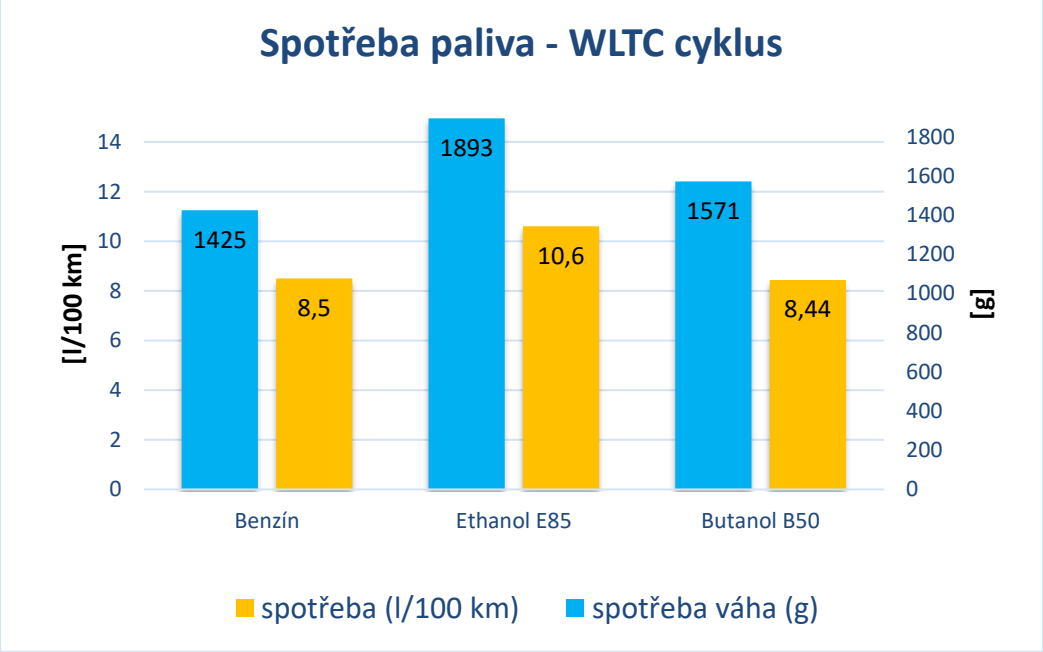

Emise oxidu uhličitého v případě benzínu byly u obou testů velmi vyrovnané. Ethanol E85 snížil emise tohoto skleníkového plynu v průměru o 23,5 gramů na ujetý kilometr. Při použití Butanolu B50 došlo k průměrné redukci $CO_2$ o 24,5 g/km. Obě alternativní paliva dosáhla očekávaných výsledků snižování produkce oxidu uhličitého. Jak už bylo zmíněno v teoretické části této práce, je třeba nahlížet na biopaliva v celém jejich životním cyklu od pěstování vstupních surovin, přes výrobu až po spálení v motoru. Grafické porovnání emisí naměřených při experimentu je znázorněno v grafu č. 13.

### 4.3.6 Spotřeba paliva

Množství spotřebovaného paliva na test dopadlo dle předpokladu. Řídící jednotka upravovala množství vstřikovaného paliva dle antidetonačního čidla, které jí dávalo nepřímé informace o jejich energetickém obsahu. Energeticky nejhůř dopadl ethanol E85 a naopak nejlepší spotřeby dosáhl vůz při spalování benzínu. V grafu č. 14 vidíme spotřebu automobilu v gramech dle ujetého cyklu, ale i v litrech na sto kilometrů

*Graf 14 - Spotřeba paliva v gramech a v l/100 km spotřebovaných při NEDC a WLTC cyklu*



# 5. Závěr

Při pohledu na to, jak moc jsou fosilní paliva využívána pro pohon dnešních dopravních prostředků, lze předpokládat jen jejich pomalé nahrazování alternativou v podobě jiného zdroje energie. Suroviny pro výrobu konvenčních paliv jsou však neobnovitelné. Z tohoto důvodu je nutné nalézat i jiné možnosti pohonu vozidel a zároveň snižovat produkci škodlivin a zajistit trvale udržitelný rozvoj v následujících letech. Vedle paliv jako je CNG nebo LPG, která jsou nejrozšířenější alternativní paliva vůbec, můžeme nalézat i taková paliva, jejichž vstupní surovina lze vypěstovat nebo se k jejich výrobě využije odpadních látek. Z tohoto důvodu je oblast alkoholových paliv velice zajímavá a má široké možnosti uplatnění.

Cílem této práce bylo přiblížit problematiku alternativních zdrojů energie pro běžně používané automobily. Srovnáním emisí jednotlivých paliv nám dokazuje, že ke snížení produkovaných odpadních látek skutečně došlo, a to v průměru o 24 g/km $CO_2$ což není zanedbatelná hodnota. Zajímavý je i pohled na průběhy WLTC a NEDC zkoušek. WTLC cyklus, který nahradil NEDC cyklus pro homologaci vozidel, vykazuje hodnoty emisí vyšší, a proto bude nutné nějakým způsobem tyto škodliviny dále snižovat v závislosti na nově vydávaných normách. Kromě toho je vhodné zvážit i ekonomickou stránku problému a zhodnotit dle aktuální situace cen pohonných hmot, zda se přestavba automobilu vyplatí či nikoliv. Pocitová změna výkonu motoru během testování paliv, byla patrná především při akceleraci, ale dále už se nijak výrazně neprojevovala.

Paliva na bázi alkoholů jsou tedy vcelku vhodnou náhražkou klasicky používaných fosilních paliv pro automobily. Z ekologického hlediska tedy při jejich používání ve vozidlech, ale i v kombinaci s jejich výrobou z odpadních látek, lze úspěšně snižovat dopady na životní prostředí a schopnost zajistit lepší životní podmínky pro budoucí generace.

# Seznam použité literatury


[1] G. Wielgosiński, P. Łechtańska a O. Namiecińska, „Emission of some pollutants from biomass combustion in comparison to hard coal combustion,“ *Journal of the Energy Institute,* sv. 5, č. 90, pp. 787-796, Říjen 2017 ISSN 1743-9671.

[2] ACEA Association, „CO2 targets for cars: European auto industry sets out post-2021 framework,“ v *Konference ACEA,* Frankfurt, 2017.

[3] N. R. E. Laboratory, „Flexible Fuel Vehicles: Providing a Renewable,“ March 2010. [Online]. Available: https://www.afdc.energy.gov/pdfs/47505.pdf. [Přístup získán 14 Leden 2018].

[4] O. I. Awad, R. Mamat, O. M. Ali, N. Sidik, T. Yusaf, K. Kadirgama a M. Kettner, „Alcohol and ether as alternative fuels in spark ignition engine: A review,“ *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* sv. 3, č. 82, pp. 2586-2605, 2018 ISSN 1364-0321.

[5] X. Du a M. A. Carriquiry, „Flex-fuel vehicle adoption and dynamics of ethanol prices: lessons from Brazil,“ *Energy Policy,* č. 59, pp. 507-512, 2013 ISSN 0301-4215.

[6] J. Jiao, J. Li a Y. Bai, „Ethanol as a vehicle fuel in China: A review from the perspectives of raw material resource, vehicle, and infrastructure,“ *Journal of Cleaner Production,* č. 180, pp. 832-845, 2018 ISSN 0959-6526.

[7] Výzkumný ústav zemědělské techniky, „Víceletý program podpory dalšího uplatnění biopaliv v dopravě,“ 2014. [Online]. Available: http://biopalivafrci.cz/wp-content/uploads/ProgramUplatneniBiopalivDoprava.pdf. [Přístup získán 10 Únor 2018].

[8] X. Navarro, „Volvo introducing a new flexifuel engine,“ 25 Červenec 2007. [Online]. Available: https://www.autoblog.com/2007/07/25/volvo-introducing-a-new-flexifuel-engine/.

[9] Robert Bosch GmbH, „Flex fuel systems,“ 2013. [Online]. Available: http://docplayer.net/25678461-Flex-fuel-systems-versatile-economical-resource-friendly-clean-economical.html. [Přístup získán 1 Leden 2018].

[10] K. Ahn, A. Stefanopoulou, L. Jiang a H. Yilmaz, „Ethanol Content Estimation in Flex Fuel Direct Injection Engines with Fault Detection Under Fuel Injector Drifts," *IFAC Proceedings Volumes,* sv. 7, č. 43, pp. 123-130, 2010 ISBN 9783902661722.

[11] R. H. Chen, L.-B. Chiang, C.-N. Chen a T.-H. Lin, „Cold-start emissions of an SI engine using ethanol–gasoline blended fuel," *Applied Thermal Engineering,* sv. 8, č. 31, pp. 1463-1467, 2011 ISSN 1359-4311.

[12] A. K. Agarwal, „Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines," *Progress in Energy and Combustion Science,* sv. 3, č. 33, pp. 233-271, 2007 ISSN 0360-1285.

[13] D. Jin, K. Choi, C.-L. Myung, Y. Lim, J. Lee a S. Park, „The impact of various ethanol-gasoline blends on particulates and unregulated gaseous emissions characteristics from a spark ignition direct injection (SIDI) passenger vehicle," *Fuel,* č. 209, pp. 702-712 , 2017 ISSN 0016-2361.

[14] I. V. Pražák, „Motorová paliva a biopaliva," [Online]. Available: https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/motorova_paliva_a_biopaliva.pdf. [Přístup získán 12 Únor 2018].

[15] V. Vaněk, „Biopaliva druhé a třetí generace," 20 Červen 2012. [Online]. Available: https://www.3pol.cz/cz/rubriky/obnovitelne-zdroje/987-biopaliva-druhe-a-treti-generace. [Přístup získán 15 Únor 2018].

[16] A. G. B. Ozdingis a G. Kocar, „Current and future aspects of bioethanol production and utilization in Turkey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* sv. 2, č. 81, pp. 2196-2203, 2018 ISSN 1364-0321.

[17] J. Laurin, „Butanol jako motorové palivo," 31 Červenec 2012. [Online]. Available: http://www.enviweb.cz/92143. [Přístup získán 16 Únor 2018].

[18] P. Patáková, J. Lipovský, P. Fribert, M. Rychtera a K. Melzoch, „Fermentační produkce butanolu," 2009. [Online]. Available: http://www.petroleum.cz/upload/aprochem2009_205.pdf. [Přístup získán 16 Únor 2018].

[19] V. Sladký, „Biobutanol - vhodnější náhrada benzínu,“ 4 Červenec 2007. [Online]. Available: https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biobutanol-vhodnejsi-nahrada-benzinu . [Přístup získán 18 Únor 2018].

[20] X. Zhen, „Methanol as an internal combustion on engine fuel,“ *Methanol - Chapter 11,* pp. 313-337, 2018 ISBN 9780444639035.

[21] J. Vancoillie, J. Demuynck, L. Sileghem, M. V. D. Ginste, S. Verhelst, L. Brabant a L. V. Hoorebeke, „The potential of methanol as a fuel for flex-fuel and dedicated spark-ignition engines,“ *Applied energy,* č. 102, pp. 140-149, 2013 ISSN 0306-2619.

[22] J. Hromádko, J. Hromádko, V. Hönig a P. Miler, Spalovací motory: komplexní přehled problematikiy pro všechny typy technických automobilních škol, Praha: Grada , 2011 ISBN 8024734753.

[23] Mendelova univerzita v Brně, „Emise spalovacích motorů I (přednáška),“ [Online]. Available: http://slidegur.com/doc/1057607/emise--biopaliva---kiwi.mendelu.cz. [Přístup získán 3 Březen 2018].

[24] C. R. Ferguson a A. Kirkpatrick, Internal combustion engines: applied thermosciences. Third edition, Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2016 ISBN: 978-1-118-53331-4.

[25] V. Knop, A. Nicolle a O. Colin, „Modelling and speciation of nitrogen oxides in engines,“ *Proceedings of the Combustion Institute,* sv. 1, č. 34, pp. 667-675, 2013 ISSN 154-7489.

[26] S. Mohankumar a P. Senthilkumar, „Particulate matter formation and its control methodologies for diesel engine: A comprehensive review,“ *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* č. 80, pp. 1227-1238, 2017 ISSN 1364-0321.

[27] C. Wang, S. Zeraati-Rezaei, L. Xiang a H. Xu, „Ethanol blends in spark ignition engines: RON, octane-added value, cooling effect, compression ratio, and potential engine efficiency gain,“ *Applied Energy,* č. 191, pp. 603-619, 2017 ISSN 0306-2619.

[28] ECO Vehicle Tunning, „EGR Removal,“ [Online]. Available: http://www.ecovehicletuning.co.uk/egr-removal/. [Přístup získán 25 Září 2017].

[29] J. Bickel, B. Odendall, G. Eigenberg a U. Nieken, „Oxygen storage dominated three-way catalyst modeling for fresh catalyst,“ *Chemical Engineering Science,* č. 160, pp. 34-53, 2017 ISSN 0009-2509.

[30] Cleantaxx Czech Republic & Slovakia, „Funkce katalyzátoru,“ [Online]. Available: https://www.dpf-ftg.cz/funkce-katalyzatoru. [Přístup získán 2 Listopad 2017].

[31] R. Gscheidle, Příručka pro automechanika, Praha: Europa - Sobotáles, 2007 ISBN 8086706176.

[32] A. O. Hasan, A. Abu-Jrai, A. H. Al-Muhtaseb, A. Tsolakis a H. Xu, „HC, CO and NOx emissions reduction efficiency of a prototype catalyst in gasoline bi-mode SI/HCCI engine,“ *Journal of Environmental Chemical Engineering,* sv. 2, č. 4, pp. 2410-2416, 2016 ISSN 2213-3437.

[33] E. Vessally, M. Babazadeh, A. Hosseinian, S. Arshadi a L. Edjlali, „Nanocatalysts for chemical transformation of carbon dioxide,“ *Journal of CO2 Utilization,* č. 21, pp. 491-502, 2017 ISSN 2212-9820.

[34] Linde Gas a.s., „Plamenoionizační detektor,“ 22 Duben 2009. [Online]. Available: http://www.linde-gas.cz/internet.lg.lg.cze/cs/images/PlamenoizolacniDetektor_INNA_22_4_200979_15731.pdf?v=2.0. [Přístup získán 15 Říjen 2017].

[35] Agilent Technologies, Inc, „Agilent 8255 Nitrogen Chemiluminiscence detectors,“ March 2017. [Online]. Available: http://www.agilent.com/cs/library/usermanuals/public/CoronaXCD.pdf. [Přístup získán 18 Říjen 2017].

[36] J. Štětina, M. Jaroš a P. Ramík, „Virtuální laboratoř - Měření,“ VUT Brno, 2003. [Online]. Available: http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/Ka04-13.htm. [Přístup získán 18 Říjen 2017].

[37] N. Romain, „The different driving cycles,“ 1 Květen 2013. [Online]. Available: http://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/. [Přístup získán 20 Únor 2018].

[38] V. Perný a L. Trnka, „Emise CO2 a spotřeba paliva osobních a lehkých užitkových vozidel se spal. motory,“ Leden 2011. [Online]. Available: http://portal.sda-cia.cz/clanky/download/TS_201111p03.pdf. [Přístup získán 20 Únor 2018].

[39] Moravské přístroje a.s., „Co je Contro lWeb,“ 4 Říjen 2010. [Online]. Available: http://www.mii.cz/art?id=380&lang=405. [Přístup získán 21 Únor 2018].

[40] A. Vémola, Diagnostická zařízení II. díl., Brno: ISŠA Brno, 2001.

# Seznam zkratek

LCA – Life Cycle Assessment – posouzení životního cyklu

EJ – ExaJoule

ACEA – Evropská asociace výrobců automobilů

LPG – zkapalněný ropný plyn

CNG – stlačený zemní plyn

$CO_2$ – oxid uhličitý

CO – oxid uhelnatý

HC – nespálené uhlovodíky

PM – pevné částice

$NO_X$ – oxidy dusíku

EU – Evropská Unie

NEDC – nový evropský jízdní cyklus

WLTC – světový měřící cyklus lehkých vozidel

FFV – Flexi-fuel vozidlo

E (0 – 100) – procentuální zastoupení ethanolu v benzínu

B (0 – 100) – procentuální zastoupení butanolu v benzínu

EV6 – standartní ventil bosh

EV14 – ventil bosh vhodný pro ethanol a benzín

HDEV5 – vysokotlaký ventil bosh

MEŘO – metylester řepkového oleje

ETBE – etyltercbutyléter

MTBE – Metyl-terc-ButylEter

GHG – Green house gas – skleníkové plyny

USA – Spojené státy americké

$C_2H_4$ – ethylen

$CH_{1,87}$ – benzín

$C_2H_5OH$ – ethanol

$C_2H_5OH$ – butanol

$CH_3OH$ – methanol

OČ – oktanové číslo

OČVM – oktanové číslo výzkumnou metodou

ABE – výrobní postup butanolu (Aceton-Buthanol-Ethanol fermentation)

λ – lambda – součinitel přebytku vzduchu

PAH – polycyklické aromatické uhlovodíky

SOF – organické složky pevných částic

EGR – recirkulace výfukových plynů

EHK – předpis evropské hospodářské komise

FID – plamenoionizační detektor

FTIR – Fourierova transformace

NCD – chemiluminiscenční detekce

SZ – jednotky kouřivosti – Schwarzungszahl

BSU – jednotka kouřivosti – Bosh smoke unit

VMK – společnost vyrábějící měřicí přístroje

OBD – palubní diagnostika automobilu

EPA – Agentura pro ochranu životního prostředí, federální vládní agentura USA.

# Seznam obrázků

Obrázek 1 - Flexi-fuel vozidlo Volvo a jeho upravené komponenty [8] ..... 6
Obrázek 2 - Bosch EV 14 zdroj: Bosch Automotive Handbook 8th Edition, 2011 ..... 8
Obrázek 3 - FlexStart zásobník [9] ..... 9
Obrázek 4 - FlexFuel zásobník [9] ..... 9
Obrázek 5 - Složení pevných částic (PM) [24] ..... 28
Obrázek 6 - Distribuce pevných částic lidským organismem [22] ..... 29
Obrázek 7 - EGR ventil [28] ..... 31
Obrázek 8 - Řez třícestného katalyzátoru [31] ..... 32
Obrázek 9 - Stanice pro měření emisí výfukových plynů při homologační zkoušce [40] ..... 35
Obrázek 10 - Plamenoionizační detektor [34] ..... 36
Obrázek 11 - Schéma přístroje NCD [35] ..... 37
Obrázek 12 - Filtrační kouřoměr Bosch [36] ..... 39
Obrázek 13 - Opacimetr Hartridge [36] ..... 40
Obrázek 14 - Škoda Octavia Variant NF ..... 44
Obrázek 15 - Mobilní emisní analyzátor VMK ..... 47
Obrázek 16 - Externí palivové čerpadlo ..... 48
Obrázek 17 - Váha se vzorkem paliva ..... 48
Obrázek 18 - Automaticky regulovaný ventilátor ..... 48

# Seznam tabulek

Tabulka 1 - Vybrané vlastnosti bioethanolu [17] ..... 17
Tabulka 2 - Vybrané vlastnosti biobutanolu [17] ..... 19
Tabulka 3 - Vybrané vlastnosti biomethanolu [20] ..... 21
Tabulka 4 - Parametry tříd WLTC cyklů [37] ..... 43
Tabulka 5 - Parametry Škoda Octavia Variant NF ..... 45
Tabulka 6 - Parametry válcové zkušebny ..... 46
Tabulka 7 - Parametry emisního analyzátoru ..... 47
Tabulka 8 - Hodnoty emisí v g/km – benzín OČ 95 ..... 50
Tabulka 9 - Hodnoty emisí v g/km – Ethanol E85 ..... 51
Tabulka 10 - Hodnoty emisí v g/km – Butanol B50 ..... 52

# Seznam grafů

Graf 1 - Přírůstky vozidel na alternativní palivo  zdroj: www.acea.be ..... 2
Graf 2 - Zastoupení emisí v zážehovém motoru při použití různých koncentrací ethanolu [13] .... 13
Graf 3 - Množství $CO_2$ při spalování různých koncentrací ethanolu [13] ..... 14
Graf 4 - Poměr emisí vznikajících v zážehovém motoru [22] ..... 23
Graf 5 - Podíl různých odvětví lidské činnosti na produkci $CO_2$ [23] ..... 24
Graf 6 - Vznik HC emisí ve spalovacím prostoru [24] ..... 26
Graf 7 - Závislost emisí HC, $NO_X$ a měrné spotřeby paliva na kompresním poměru [22] ..... 30
Graf 8 - Závislost napětí na směšovacím poměru Lambda – sondy [24] ..... 38
Graf 9 - WLTC cyklus: závislost $CO_2$ na čase a rychlosti vozidla – Benzín ..... 50
Graf 10 - WLTC cyklus: závislost $CO_2$ na čase a rychlosti vozidla – Ethanol E85 ..... 51
Graf 11 - WLTC cyklus: závislost $CO_2$ na čase a rychlosti vozidla – Butanol B50 ..... 52
Graf 12 - Emise CO, $NO_X$, HC získané z NEDC a WLTC cyklu ..... 53
Graf 13 - Emise oxidu uhličitého získané z WLTC a NEDC cyklu ..... 54
Graf 14 - Spotřeba paliva v gramech a v l/100 km spotřebovaných při NEDC a WLTC cyklu ..... 55

# Seznam příloh

Příloha I. – Tabulka emisních norem Euro

Příloha II. – Přehled FFV vozidel a jejich výrobců

# ***PŘÍLOHY***

## Příloha I – Tabulka emisních norem Euro

Zážehové motory

| Rok | Norma | CO [g/km] | $NO_X$ [g/km] | HC [g/km] | HC + $NO_X$ [g/km] |
|---|---|---|---|---|---|
| 1992 | Euro I | 3,16 | - | - | 1,13 |
| 1996 | Euro II | 2,20 | - | - | 0,50 |
| 2000 | Euro III | 2,30 | 0,15 | 0,20 | - |
| 2005 | Euro IV | 1,00 | 0,08 | 0,10 | - |
| 2009 | Euro V | 1,00 | 0,08 | 0,10 | - |
| 2014 | Euro VI | 1,00 | 0,06 | 0,10 | - |

Vznětové motory

| Rok | Norma | CO [g/km] | $NO_X$ [g/km] | HC [g/km] | PM [g/km] |
|---|---|---|---|---|---|
| 1992 | Euro I | 3,16 | - | 1,13 | 0,18 |
| 1996 | Euro II | 1,00 | - | 0,70 | 0,08 |
| 2000 | Euro III | 0,64 | 0,50 | 0,56 | 0,05 |
| 2005 | Euro IV | 0,50 | 0,25 | 0,30 | 0,03 |
| 2009 | Euro V | 0,50 | 0,18 | 0,23 | 0,01 |
| 2014 | Euro VI | 0,50 | 0,08 | 0,17 | 0,01 |

**Příloha II – Přehled FFV vozidel a jejich výrobců**

Audi – FFV modely pro Švédsko, Francii, Německo, Švýcarsko a Benelux

- Audi A3 1.6e e-power E85 102 bhp
- Audi A4 2.0 TFSI flexible fuel 180 bhp

Citroën – modely pro Švédsko, Francii, Švýcarsko a Benelux

- Citroën C3 Flex (E100 - Brazil)
- Citroën C4 1,6/2,0 BioFlex
- Citroën C5 2,0 BioFlex

Dacia – modely pro Švédsko

- Dacia Duster 1.6 16v (E85) 4x2
- Dacia Logan MCV 1.6 16v Hi-Flex (E85)
- Dacia Sandero 1.6 16v Hi-Flex (E85)

Ford – modely ve Švédsku, Beneluxu, Francii, Německo, Španělsko a Finsko - E85

- Ford Focus Flexifuel FFV
- Ford C-Max Flexifuel FFV
- Ford Mondeo Flexifuel FFV
- Ford S-Max Flexifuel FFV
- Ford Galaxy Flexifuel FFV

modely pro Brazilský trh – E20 – E25

- Ford Courier pickup
- Ford EcoSport
- Ford Fiesta
- Ford Focus
- Ford Ka
- Ford Ranger pickup

## Fiat – Brazilské modely pro E20 - E25 až E100

- 500
- Doblò
- Linea
- Idea
- Mille
- Palio, Palio Fire
- Palio Weekend
- Punto
- Siena
- Stilo
- Strada
- Uno

## Honda – Brazilské modely pro E20 - E25 až E100 včetně motocyklů

Automobily

- Honda City
- Honda Civic
- Honda Fit

Motocykly

- Honda CG 150 Titan Mix
- Honda NXR 150 Bros Mix
- Honda GC 150 Fan Flex
- Honda BIZ 125 Flex

## Hyundai – trh v Brazílii

- Hyundai HB20

## Kia

- Kia Soul

## Mercedes – modely pro Severoamerický trh

**2008**

- Mercedes-Benz (W204 platform) C300 Luxury & Sport 3.0L

**2007**

- Mercedes-Benz (W203 platform) C230 Sedan 2.5L

**2005**

- Mercedes-Benz (W203 platform) C240 Luxury Sedan & Wagon 2.6L
- Mercedes-Benz (W203 platform) C320 Sedan, Sport Sedan & Wagon 3.2L (2003–2005)

## Mitsubishi – trh v Brazílii E20-E25 až E100 a v Thajsku E20 až E85

- Mitsubishi Pajero TR4
- Pajero Sport
- Lancer Ex

## Nissan – Trh v Brazílii E20 – E25 až E100

- Livina
- March
- Sentra
- Tiida

## Peugeot – FFV modely pro Švédsko, Benelux, Francii a Švýcarsko

- Peugeot 307 1,6/2,0 BioFlex
- Peugeot 308 1,6/2,0 BioFlex
- Peugeot 407 2,0 BioFlex

## Renault – FFV modely pro Švédsko, Benelux, Francii a Švýcarsko

- Renault Clio III 1.2 16v Eco2
- Renault Mégane / Mégane Touring / Mégane Coupé 1.6 16v Eco2 Flex Fuel
- Renault Kangoo / Kangoo Express 1.6 16v 105 Flex Fuel

## Saab – Evropský a Australský trh

- Saab 9-5 2,0t BioPower
- Saab 9-5 2,3t BioPower
- Saab 9-3 2,0t BioPower
- Saab 9-3 1,8t BioPower
- Saab Aero-X 2.7T (concept)
- Saab BioPower Hybrid 2.0T E100

## Seat – FFV modely pod označením „MultiFuel“

- SEAT León MultiFuel 1.6 MPI E85 102 bhp
- SEAT Altea MultiFuel 1.6 MPI E85 102 bhp
- SEAT Altea XL MultiFuel 1.6 MPI E85 102 bhp

## Škoda Auto

- Škoda Octavia MultiFuel 1.6 MPI E85 102 bhp

## Toyota

- Toyota Corolla VVT-i Flex
- Toyota Fielder Flex
- Toyota Etios Flex 1.3L and 1.5L

## Volvo – Evropský trh pro palivo E85

- Volvo C30 1,8F FlexiFuel
- Volvo S40 1,8F FlexiFuel
- Volvo V50 1,8F FlexiFuel
- Volvo XC60 (concept) 2,5FT FlexiFuel
- Volvo V70 2,0F FlexiFuel
- Volvo V70 2,5FT FlexiFuel
- Volvo S80 2,0F FlexiFuel
- Volvo S80 2,5FT FlexiFuel

## Volkswagen

- Bora
- CrossFox
- Fox
- Gol
- Golf
- Kombi
- Parati
- Polo

- Routan
- Saveiro
- SpaceFox
- Voyage
- Volkswagen Jetta

## Yamaha - motocykly

- Fazer 250 Blueflex
- Ténéré 250 Blueflex