Česká zemědělská univerzita v Praze

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2014 Stanislav KOUTSKÝ

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Provozní parametry spalovacího motoru při provozu na biopaliva

Operating parameters of gasoline engine fueled by biofuel

Diplomová práce

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Vypracoval: **Bc. Stanislav Koutský**

Vedoucí: **Ing. Martin Kotek Ph.D**

Praha 2014

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Koutský Stanislav

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Provozní parametry spalovacího motoru při provozu na biopaliva

Anglický název

Operating parameters of gasoline engine fueled by biofuel

Cíle práce

Vytvořit literární rešerši zabývající se palivy pro zážehové motory se zaměřením na biopaliva. Souhrnně zhodnotit používaná paliva a stanovit jejich výhody a nevýhody.
V rámci experimentů změřit provozní parametry zážehového spalovacího motoru při provozu na 2 druhy biopaliva a porovnat dosažené výsledky s provozem na předepsané palivo a dále popsat provedené úpravy na spalovacím motoru, aby byl umožněn bezproblémový provoz na použité biopalivo.

Metodika

- prostudovat základní literaturu, normy, internetové odkazy a další dostupné prameny z celého světa a provést literární rešerši v oblasti paliv pro zážehové motory
- na brzdovém stanovišti provést měření provozních parametrů spalovacího motoru při provozu na 2 druhy biopaliva a při provozu na předepsané palivo
- měření ve dvou režimech: simulovaný reálný provoz motoru při jízdním cyklu a plné zatížení motoru (vnější otáčková charakteristika)
- zhodnocení naměřených dat a vypracování závěru o vhodnosti použitého paliva a náročnosti úpravy motoru

Osnova práce

1. Úvod
2. Používaná paliva v zážehových motorech
3. Přehled produkovaných emisí (princip vzniku a účinky na lidské zdraví)
4. Cíl a metodika diplomové práce
5. Vyhodnocení experimentu
6. Závěr

Rozsah textové části
50-60 stran formátu A4

Klíčová slova
zážehový motor, provozní parametry, biopaliva, emise

Doporučené zdroje informací

1. Matějovský, V., Automobilová paliva, Grada Publishing, Praha 2005, ISBN 80-247-0350-5
2. TAKÁTS, M., Měření emisí spalovacích motorů, Praha, vydavatelství ČVUT, 1997, 111 s, ISBN 80-01-01632-3
3. M. C. Roberts, 2008, E85 and fuel efficiency: An empirical analysis of 2007 EPA test data, Energy Policy 36, 1233–1235
4. C. Park et al., 2010, Performance and exhaust emission characteristics of a spark ignition engine using ethanol and ethanol-reformed gas, Fuel 89, 2118–2125
5. Mužíková, Z., et al., Fyzikálně-chemické vlastnosti butanol-benzínových směsí [online], [2013-10-23], dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2012_11_1049-1053.pdf

Vedoucí práce
Kotek Martin, Ing., Ph.D.

Termín zadání
listopad 2012

Termín odevzdání
duben 2014

Elektronicky schváleno dne 8.1.2014

doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24.2.2014

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce srovnává provozní parametry spalovacího motoru při využití běžného benzinového paliva a moderních biopaliv. Experimentální část práce se zaměřuje na porovnání vlastností paliv po stránce emisního zatížení, ale také výkonové charakteristiky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Měření emisí, emise, palivo, provozní parametry, biopalivo, bioetanol, biobutanol.

ABSTRACT

The thesis compares the operating parameters of the internal combustion engine using conventional gasoline fuel and advanced biofuels. The experimental part of the work focuses on comparing the properties of fuels after the emission load, but also the performance characteristics.

KEYWORDS

Measurement of emissions, emissions, fuel, operating parameters, biofuel, bioethanol, biobutanol

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOUTSKÝ, S. *Provozní parametry spalovacího motoru při provozu na biopaliva*. Praha: Česká zemědělská universita v Praze, Katedra vozidel a pozemní dopravy, 2014. 57 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Kotek, Ph.D

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Martina Kotka, Ph.D a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Praze dne 30. března 2014 ……..……..……

Jméno a přímení

PODĚKOVÁNÍ

Tímto chci poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Martinu Kotkovi, Ph.D. za odbornou pomoc, cenné rady, připomínky, ochotu a čas, který mi věnoval.

OBSAH

1 ÚVOD 11

2 POUŽÍVANÁ PALIVA V ZÁŽEHOVÝCH MOTORECH 12

2.1 AUTOMOBILOVÉ BENZINY 12

2.1.1 Normal 91 (BA-91 N) 14

2.1.2 Super 95 (Natural 95) 14

2.1.3 Super plus 98 15

2.1.4 Značkové benziny 15

2.2 LPG (LIQUID PETROLEUM GAS) 15

2.3 ZEMNÍ PLYN CNG A LNG 17

2.4 BIOPALIVA 18

2.4.1 Bioplyn (biometan) 21

2.4.2 Biometanol (metylakohol) 23

2.4.3 Bioetanol (kvasný líh) 24

2.4.4 Biobutanol 27

2.5 SROVNÁNÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ PALIV 29

3 PŘEHLED PRODUKOVANÝCH EMISÍ 30

3.1 OXID UHELNATÝ (CO) 32

3.2 OXID UHLIČITÝ (CO_2) 33

3.3 NESPÁLENÉ UHLOVODÍKY (HC) 34

3.4 OXIDY DUSÍKU (NO_x) 34

3.4.1 Oxid dusnatý (NO) 35

3.4.2 Oxid dusičitý (NO_2) 35

3.5 OXID SIŘIČITÝ (SO_2) 35

3.6 OLOVO (PB) 36

3.7 KYSLÍK (O_2) 36

3.8 DUSÍK (N_2) 36

4 CÍL A METODIKA DIPLOMOVÉ PRÁCE 37

4.1 CÍL PRÁCE 37

4.2 METODIKA PRÁCE 37

5 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU 39

5.1 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ 39

5.1.1 Testovaný spalovací motor 39

5.1.2 Brzdové stanoviště 40

5.1.3 Přídavná řídící jednotka 41

5.1.4 Diagnostický systém VAG-COM 41

5.1.5 Osciloskop *42*
5.1.6 Měření emisí *42*
5.1.7 Spotřeba paliva *43*
5.2 MĚŘENÍ SIMULOVANÉHO REÁLNÉHO JÍZDNÍHO CYKLU 44
5.2.1 Emise CO *45*
5.2.2 Emise CO_2 ..... *45*
5.2.3 Emise HC (g) *46*
5.2.4 Emise NOX *46*
5.2.5 Spotřeba paliva *47*
5.3 MĚŘENÍ PŘI PLNÉM ZATÍŽENÍ (VNĚJŠÍ OTÁČKOVÁ CHARAKTERISTIKA) 47
5.3.1 Natural 95 (N95) *49*
5.3.2 Bioetanol E85 ..... *50*
5.3.3 Biobutanol B85 ..... *51*
5.3.4 Emise CO (%) *52*
5.3.5 Zhodnocení *52*
6 ZÁVĚR 53
POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE 55
SEZNAM TABULEK: 58
SEZNAM OBRÁZKŮ: 59

1 Úvod

Automobily používající spalovací motory se staly nedílnou součástí našeho života. Se zvyšujícím se počtem automobilů však také roste odbyt a zpracování ropy. Ta není na naší planetě nevyčerpatelným zdrojem a jednoho dne se stane, že nám ropa dojde. Bez ropy se nebude moci vyrábět benzin, bez kterého se většina spalovacích motorů neobejde. Dalším úskalím je stále zvyšující se cena ropy. Nemalým problémem je také, že se většina ropy musí do Evropy dovážet, čímž vzniká závislost na jiných zemích, a také nejistota, protože velké množství ropy se dováží z nestabilních oblastí světa. Spalování klasických paliv vyráběných z ropy má velmi negativní dopad na životní prostředí a tím je znečištění ovzduší emisemi. Mezi nejvýznamnější látky emisí, způsobené především nedokonalým spalováním paliva, patří CO_2, CO, HC a NO_x. Tyto škodlivé látky způsobují vznik kyselých dešťů, přispívají ke skleníkovému jevu a mají negativní vliv na lidské zdraví. Proto byla nutnost ve světě zavádět opatření ke snížení emisí. Mezi tyto opatření patří používání alternativních paliv, mající velmi příznivý vztah ke snížení emisí. Mezi alternativní pohonné hmoty patří i paliva vyráběná z biomasy, která se všeobecně nazývají biopaliva.

Opatřením k rozšíření spalování biopaliv bylo přijetí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/30/ES o využívání biopaliv nebo jiných obnovitelných paliv v dopravě, dle které měl být do roku 2010 podíl biopaliv na trhu s palivy 5,75 % [30]. Nahrazení této směrnice přišlo v roce 2009, kdy byla přijata směrnice 2009/28/ES, která vyžaduje podíl biopaliv na trhu s palivy 10 % do roku 2020 [31].

2 Používaná paliva v zážehových motorech

Neustále rostoucí doprava na území naší republiky i na celém světě nás nutí zamýšlet se nad používanými motorovými palivy, a to nejenom z pohledu ochrany životního prostředí, ale i z pohledu důsledného využívání nabízené energie pro dosažení optimálních výkonů dopravních prostředků. Většina motorových paliv se skládá hlavní měrou z uhlíku a vodíku. Při jejich spalování s kyslíkem dochází k uvolňování tepelné energie, která je následně s větší či menší účinností přeměňována na energii mechanickou. Velmi výhodné je zejména spalování kapalných paliv z hlediska rychlosti jejich hoření, poměrně snadného skladování a bezpečnosti provozu. [6]

Kromě široce známých automobilových paliv, které jsou běžné na trhu, existuje i řada dalších chemických látek, které jsou používány nebo mohou být použita jako paliva nebo jako složky paliv pro současné automobilové spalovací motory. [5]

Současný trh automobilových paliv nabízí pro zážehové motory kromě benzinů také biopaliva, LPG, CNG a experimentálně vodík. Vedle toho nabízejí značkové firmy též tzv. prémiová paliva, která mají alespoň jednu nebo více výrazně nadstandardních vlastností. Např. oktanové číslo 100 jednotek, obvykle v kombinaci s účinnou aditivací. Ve spotřebě však zcela převažují kapalná ropná paliva s podílem kolem 95 %.

2.1 Automobilové benziny

Benzín se začal používat jako motorové palivo koncem devatenáctého století. Nejdříve byl získáván prostou destilací ropy a podle původu zpracované ropy byly do jisté míry dány jeho vlastnosti náhodnou skladbou uhlovodíků. Postupným vývojem a zdokonalováním benzínového motoru se zjistilo, že na různý výkon motoru mají vliv různé benziny, a to především ve vztahu k průběhu hoření komprimované směsi benzínových par se vzduchem ve válci motoru, což se projevovalo rozdílným sklonem automobilového benzinu k předčasným detonacím, tzv. „klepání“ motoru. Jako měřítko tohoto jevu bylo zavedeno oktanové číslo. U prvních primitivních automobilových benzínů se oktanové číslo v závislosti na použité ropě pohybovalo mezi 40 a 60 oktanových jednotek. [6]

Jedná se o kapalné automobilové palivo, které stále a asi v nebližší době bude převládat u zážehových motorů. Automobilový benzín je směs převážně ropných uhlovodíků vroucí v rozmezí cca 30-215 °C se 3 až 12 atomy uhlíku v molekule. Pro to, aby tuto směs bylo možné použít pro zážehové motory, je nutné, aby palivo vyhovovalo mnoha dalším

kvalitativním požadavkům. Kvalitativní požadavky jsou antidetonační charakteristika, těkavostní parametry, chemické složení, parametry charakterizující čistotu a další (hustota, aj.). [8]

Hodnoty jednotlivých kvalitativních parametrů jsou uvedeny v technické normě, která je jednotná pro celou Evropu a má označení EN 228. Národní mutací této normy s upřesněním volby tříd pro jednotlivá roční období se pak předřazuje příslušné označení národní technické normy – v České republice je to ČSN EN 228. Na českém trhu stejně jako ve většině ostatních států EU se distribuuje pouze bezolovnatý automobilový benzin s rozdílnými antidetonačními vlastnostmi. Číslo u automobilového benzinu uváděné u čerpacích stanic je minimální hodnota OČ VM. Nejrozšířenějším typem automobilového benzinu je benzin Super (Natural 95) s OČ VM min. 95, jehož podíl na trhu přesahuje 90 %. Dalšími nabízenými druhy jsou benzin Normal s OČ VM min. 91 a benzin SuperPlus s OČ VM min. 98. [9]

Tab 1: *Kvalitativní parametry bezolovnatého automobilového benzinu [9]*

Parametr	Mezní hodnota podle ČSN EN 228	Typická hodnota cca
Hustota/15 °C, kg/m^3	720,0 až 775,0	745
Oktanové číslo VM / MM		
Super	95,0 / 85,0	95,5 / 85,1
Normal	91,0 / 82,0	92,0 / 82,5
SuperPlus	98,0 / 88,0	99,0 / 88,5
Obsah síry, mg/kg	max. 10,0	5
Obsah aromatických uhlovodíků, % V/V	max. 35,0	33
Obsah benzenu, % m/m	max. 1,00	0,62
Destilační zkouška:		
odpařené množství při 70 °C, % V/V		
léto	20,0 až 48,0	39
zima	22,0 až 50,0	41
odpařené množství při 100 °C, % V/V	46,0 až 71,0	55
odpařené množství při 150 °C, % V/V	max. 75,0	83
konec destilace, °C	max. 210	200
Tlak par. kPa		
léto	45,0 až 60,0	59
zima	60,0 až 90,0	88
Obsah bioethanolu, % V/V	max. 5,0	4,16
Obsah kyslíku, % m/m	max. 2,7	2,3
Obsah olova, mg/l	max. 5,0	< 1

2.1.1 Normal 91 (BA-91 N)

Bezolovnatý benzin s oktanovým číslem 91 pro motory s menšími kompresními poměry. V naší zemi je znám také pod názvem Natural 91. Je určen pro starší typy vozidel s motory bez tvrzených sedel ventilů. Používá se do vozidel s katalyzátorem, elektronickým vstřikováním vyžadující nižší oktanové číslo. I když si ponechal tento benzin název původního olovnatého benzinu, neobsahuje od roku 2001 olovo, proto je nutné ho doplnit speciálním aditivem nahrazující olovnaté přísady a obsahující přísady na ochranu ventilu, aby se mohl používat i do starších vozidel. [1]

2.1.2 Super 95 (Natural 95)

Nejrozšířenější automobilový benzin s oktanovým číslem 95, (v ČR známý také pod názvem Natural 95), se používá do všech vozidel s katalyzátorem i bez katalyzátoru

s novějšími motory přizpůsobenými pro spalování bezolovnatého benzinu. V současné době tento benzin využívá většina vyráběných osobních vozidel od nejnižší po luxusní třídu vozidel s vysokými výkony motoru. U starých typů motorů vyžadujících olovnaté přísady tento benzín nelze použít. Kvůli riziku poškození motoru se nedoporučuje používat bez přísad jako náhrada benzinu Normal 91. [1]

2.1.3 Super plus 98

Bezolovnatý benzin Super plus s oktanovým číslem 98 je moderní palivo na vysoké evropské úrovni kvality, a to jak z hlediska souladu s platnými normami v ČR, tak z hlediska použitelnosti a otázky životního prostředí. Tento benzin zajišťuje správný výkon, tišší chod motoru a příznivou spotřebu paliva. Je obohacen o aditiva, která mimo jiné udržují čistotu výfukových plynů motoru. [10]

2.1.4 Značkové benziny

Nabídka benzinů s nadstandardní kvalitou se rozrůstá, vedle známé značky V-Power byly zavedeny například značky Verva 100 a Carrera, představující nadstandard k palivu Super Plus 98. Typické pro tyto benziny je vyšší oktanové číslo a speciální aditivace, zajišťující, aby byl motor lépe chráněn před všemi škodlivými vlivy a udržoval si kondici a maximální výkon nového motoru a pracoval zároveň s co nejmenší spotřebou paliva. [7]

2.2 LPG (Liquid petroleum gas)

Vlivem soustavného zhoršování životního prostředí dopravou, bylo nutné hledat dlouhodobé řešení, především ve velkých městech a aglomeracích. Spolu se zpřísňováním emisních limitů dochází k obratu ve vnímání motorových paliv z hlediska ekologie. Po dalším tlaku na ekologizaci životního prostředí začal rozvoj nového alternativního motorového paliva – LPG (Liquid petroleum gas) propan-butan. Toto ekologicky čisté palivo je v dnešní době hojně využíváno po celém světě i v České republice, kde se nachází více jak 580 čerpacích stanic na LPG.[1]

Zkapalněný ropný plyn, který je především směsí propanu a butanu obsahuje jen velmi málo síry, žádné olovo a žádné benzenové uhlovodíky. Značnou výhodou pro spalování je, že umožňuje dosáhnout velmi homogenní směsi vzduchu s palivem, která je dobře rozdělitelná mezi válce. Zkapalněné ropné plyny LPG jsou směs zkapalněných uhlovodíků převážně se třemi až čtyřmi uhlíky v molekule. V kapalném stavu se jedná o bezbarvou kapalinu, snadno

těkající, specifického zápachu. Jedná se o velmi těkavou a hořlavou kapalinu, která se uchovává pod tlakem v tlakových nádobách. Při vpuštění do prostoru s atmosférickým tlakem nastává vypařování varem při teplotách -40°C, hrozí nebezpečí omrzlin. Propan-butan má jen minimální množství síry a nečistot, proto jeho spalováním zatěžujeme jen minimálně ovzduší. V plynném skupenství je těžší než vzduch, proto se při náhodném úniku vlivem snížení tlaku ihned odpařuje a rozptyluje. Není rozpustný ve vodě, při styku s vodou se ihned odpaří, a tak nedochází ke znečištění povrchových ani podzemních vod. [1]

LPG vzniká při rafinaci ropy anebo jako kapalná frakce separovaná od metanu v průběhu těžby zemního plynu. Za normálních atmosférických podmínek se vyskytuje v plynné formě. Do kapalného stavu ho lze poměrně snadno převést stlačením nebo ochlazením. V kapalném stavu zaujímá jen 1/260 svého plynného objemu. Pro praktické využití je tento snadný přechod skupenství velmi vhodný. LPG je nejvíce využívaný plyn v dopravě. Jedná se o levné a z ekologického hlediska příznivé palivo. Má lepší antidetonační vlastnosti, umožňuje udržovat výkon velmi blízký výkonu motoru poháněném benzínem, má čistější spaliny než ostatní motorová paliva. [2]

Výhody:

- čistší výfukové plyny
- delší životnost motoru a mazacího oleje
- tišší chod motoru
- ekonomická výhodnost provozu
- možnost volby paliva

Nevýhody:

- menší výkon cca o 5%
- vstupní investice na pořízení zařízení
- zmenšení užitného prostoru

Tab 2: *Kvalitativní parametry LPG [7]*

Vlastnosti		ČSN EN 589:
OČ MM	min.	89,0
Obsah dienů, % (mol/mol)	max.	0,5
Sirovodík		negativní
Celkový obsah síry, mg/kg (po odorizaci)	max.	50
Koroze na Cu (1 h při 40 °C), stupeň	max.	třída 1
Olejovitý zbytek, mg/kg	max.	100
Tlak par při 40 °C, kPa	max.	1550
Tlak par min. 150 kPa při teplotě: pro druh A pro druh B pro druh C pro druh D		 -10 -5 0 +10
Obsah vody		při 0 °C žádná volná voda
Zápach		Nepříjemný a typický při 20 % dolní meze výbušnosti

2.3 Zemní plyn CNG a LNG

Zemní plyn se sestává asi z 85 % metanu, 10 % dusíku a oxidu uhličitého a z 5 % vyšších uhlovodíků. Z chemického hlediska je zemní plyn směs plynných uhlovodíků s proměnnou příměsí neuhlovodíkových plynů. Jeho charakteristickým znakem je vysoký obsah metanu CH4. Zemní plyn je hořlavý, výbušný plyn, bez barvy a bez zápachu. Zemní plyn je nejedovatý, má zanedbatelné toxické vlastnosti. Oproti kapalným palivům je lehčí než vzduch. Zápalná teplota zemního plynu 600 °C je oproti benzínu dvojnásobná. Zemní plyn není toxický a korozivní, nemůže kontaminovat půdu a podzemní vody. Využívá se jako CNG (Compressed Natural Gas) a LNG (Liquified Petroleum Gas).

Počet vozidel využívající CNG palivo je přibližně ve světě 18 mil, v Evropě 1,8 mil a v České Republice asi 6300. Počet veřejných plnících stanic je ve světě přes 22 tis., v Evropě přes 4 tis. a v ČR 49. Zkratkou CNG se rozumí stlačený zemní plyn. V zásobníku vozidla je stlačen až na tlak 20MPa. Stlačený zemní plyn je čistější alternativou benzínu či nafty. Přesto, že se jedná o fosilní palivo, zemní plyn je považován za ekologické palivo. CNG je směs uhlovodíků s hlavní složkou metanem (96 – 98 % objemu). Získává se z přírodních zdrojů či při těžbě ropy. Čím větší poměr metanu, tím vyšší energetická účinnost spalování.

Hlavní výhodou CNG jsou jeho dvojnásobné zásoby proti ropě. CNG díky vyšší zápalné teplotě zabraňuje vznícení, díky nižší hmotnosti než vzduch se při nehodě rozptýlí. To všechno přispívá k bezpečnému používání CNG jako alternativního paliva. Zemní plyn má velký potenciál pro využití jako motorové palivo. Je levný, má vysoké oktanové číslo, jedná se o čisté (ekologické) palivo. Také dosáhneme vysoké úspory na provozních nákladech. Nevýhodou CNG je zmenšení zavazadlového prostoru kvůli umístění nádrže na CNG. Druhou hlavní nevýhodou je malá síť veřejných čerpacích stanic. Proto se v ČR stlačený zemní plyn používá především pro pohon autobusů MHD. V poslední době se však CNG začíná prosazovat i u osobních automobilů.[2]

Pod zkratkou LNG je označen zkapalněný zemní plyn. Zkapalněný zemní plyn je 90-100 % metan (se zbytky etanu, propanu, vyšších uhlovodíků, dusíku ...), který je zchlazen pomocí teploty -162 °C při atmosférickém tlaku. Jedná se o studenou, namodralou, nekorozivní, netoxickou, s malou viskozitou a průzračnou kapalinu bez zápachu. Po zkapalnění výchozího objemu dojde k jeho zmenšení šestsetkrát. Nelze tento plyn zaměňovat s kapalnou směsí propanu a butanu, známého jako LPG. [30]

LNG je vysoce čisté palivo obsahující minimum škodlivých emisí, má vysokou hustotu energie (srovnatelnou s ropnými látkami). Díky vyšší zápalné teplotě oproti benzínu má bezpečnější provoz. Nepřiliš těžká palivová nádrž a oproti CNG zmenšení objemu palivových nádrží, kterým dosáhneme zvětšení úložného prostoru ve vozidle. Doba plnění je s klasickými palivy srovnatelná. Větší dojezd oproti CNG na úroveň srovnatelnou s klasickými pohonnými hmotami. Nevýhodami zkapalněného plynu je uchovávání za velmi nízkých teplot, při delší odstávce paliva dochází k jeho odpařování z nádrže. V porovnání se stlačeným plynem je technologie složitější a nákladnější. [30]

2.4 **Biopaliva**

Jsou paliva vzniklá cílenou výrobou či přípravou z biomasy a biologického odpadu jako zdroje energie. Jsou jedním způsobem využití biomasy. Jako suroviny se k jejich výrobě využívají nejrůznější druhy biomasy pěstované cíleně jako je obilí, olejniny, cukrová řepa a třtina, brambory, olejniny, kukuřice, trávy a odpadní biomasa jako jsou zbytky z rostlinné výroby, hlavně sláma, odpady z živočišné výroby, hlavně exkrementy, odpady komunální, odpady potravinářského a dřevozpracujícího průmyslu a lesní odpady.

Biopaliva, jako pohonná hmota jsou kapalného nebo plynného skupenství. Kapalná jsou alkoholy (bioetanol, biometanol, biobutanol) nebo zkapalněná plynná paliva. Mezi plynná patří bioplyn. Jako motorová biopaliva mohou být použity rostlinné oleje, jejich deriváty hlavně estery mastných kyselin jako jsou metylestery nebo etylestery, nižší alkoholy jako metanol, etanol, propanol a různé chemické produkty vyrobené z obnovitelných surovin jako je dimetyleter, uhlovodíky, etyl-ter.butyletér (ETBE) aj. V současné době se používá pro zážehové motory hlavně bioetanol, bezvodý líh.

Jedním z hlavních důvodů pro využívání biopaliv jsou ekologické důvody. Při jejich spalování se v porovnání s klasickými fosilními pohonnými hmotami uvolní výrazně nižší množství skleníkových plynů, také se sníží produkce dalších anorganických a organických škodlivin obsažených ve výfukových plynech spalovacích motorů tj. oxidu uhelnatého (CO), oxidů dusíku (NOx), nespálených uhlovodíků (HC) a minoritních organických sloučenin s vysokým rizikovým potenciálem (např. polyaromatické uhlovodíky, aldehydy, alkeny). Ve srovnání s klasickými fosilními palivy mají biopaliva také lepší biologickou odbouratelnost.

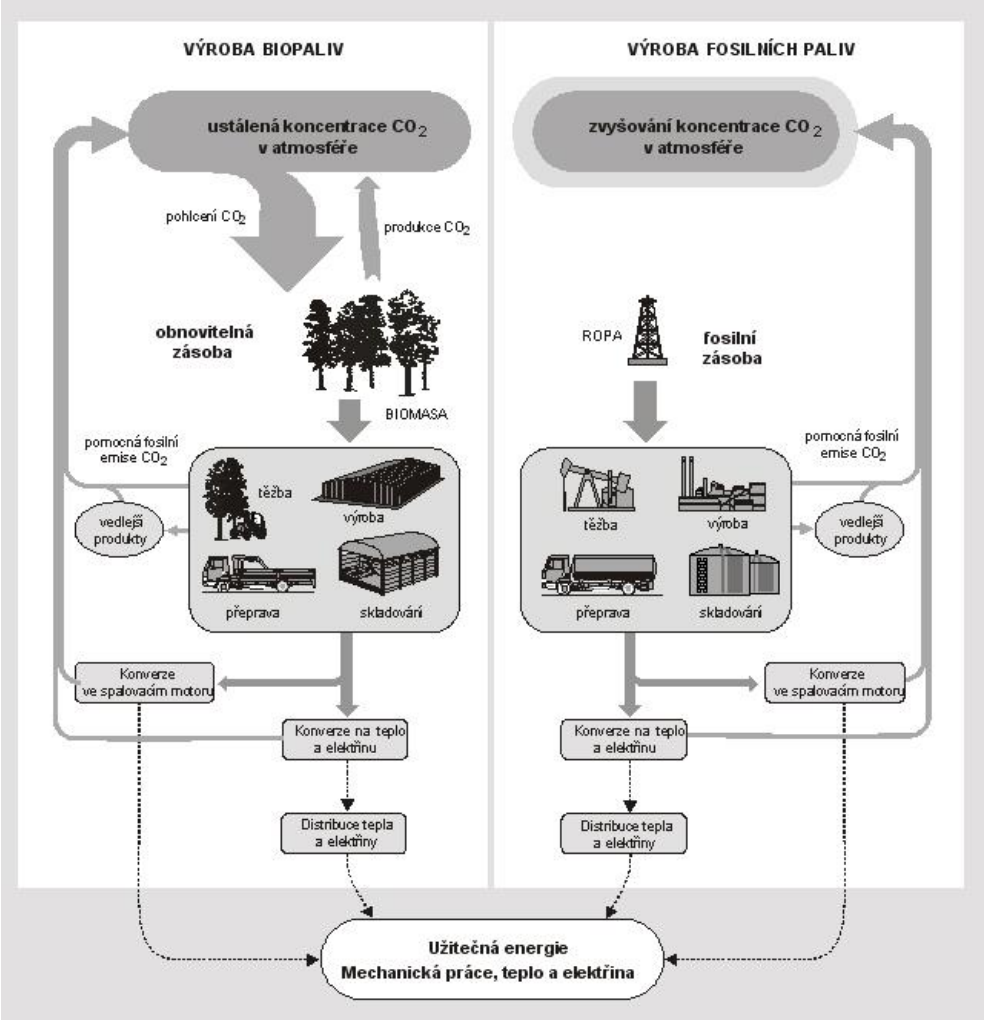
V současné době je povinnost přimíchávání biopaliv do pohonných hmot. Povinnost zajištění minimálního obsahu biopaliv, snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot a kritéria udržitelnosti jsou v rámci legislativy ukotvena v zákoně č. 201/2012 Sb. [19]

Nelze hodnotit ekologickou výhodnost pouze finální produkcí škodlivin, které vznikají při palování biopaliva ve vozidle, ale je zapotřebí zohlednit celý „životní cyklus“ paliva zahrnující počáteční fázi produkce suroviny, přes výrobu paliva až po finální spálení ve vozidle. Pouze takto vytvořená komplexní analýza je objektivní a umožňuje zohlednit skutečnost, že v některých případech může výrobní fáze být natolik ekologicky a energeticky náročná, že je v celkové bilanci zcela negován pozitivní efekt konečné spotřeby paliva ve vozidle, nebo je jeho pozitivní efekt zanedbatelný. [19]

Pro komplexní environmentální hodnocení jednotlivých motorových paliv se používá analýza hodnocení životního cyklu (LCA – Life Cycle Assessment), která se v kontextu s motorovými palivy označuje jako analýza od zdroje ke kolům (Well to Wheels Analyses). Výsledkem této analýzy je stanovení množství potřebné fosilní energie a množství vyprodukovaných emisí skleníkových plynů vozidlem na ujetou vzdálenost v rámci celého řetězce paliva. [19]

Přísada biopaliva do pohonných hmot zvyšuje hodnotu OČ a snižuje motorové emise znečišťujících látek, škodlivých pro životní prostředí. Biolíh v pohonných hmotách zvyšuje

tlak par, čím zvyšuje optimální vzplanutí a účinnost palivové směsi. Výhody u benzínů s nižším obsahem biolihu (až do 15 %, jako u E-15) jsou zejména v lepším startování motoru na chladu až mrazu. Přísada zabezpečuje lepší spalování pohonných hmot ve válcích vlivem vysokého obsahu organicky vázaného kyslíku. Emise oxidů síry jsou zde téměř zanedbatelné a snižuje se závislost na dovozu ropy z politicky nestabilních oblastí. Nevýhodou je hlavně zvýšená spotřeba pohonných hmot a problémy při jízdě v horkém letním počasí, kdy vyšší odpařivost biolihu může mít za následek i vznik bublinek v palivovém systému a také možnost přitahování vody biolihem do pohonných hmot. Nevýhodou je i možnost poutání vody do lihu v pohonných hmotách, a tím i zvýšení korozívnosti kovových částí motoru. Toto ale vadí spíše starším motorům s karburátorem než motorům se vstřikováním pohonných hmot nebo u dvoutaktních motorů. Při vyšším podílu biolihu už může docházet k separaci vrstev pohonných hmot, a to hlavně vlivem vody. Proto nutno k těmto pohonným hmotám přidávat i kosolventy, což jsou obvykle buď rozvětvené vyšší alkoholy (butanoly) nebo organické metylestery, lépe ale cyklické étery (dioxan, tetrahydrofuran), které jsou i toxické, u nás nemáme a jsou z dovozu. Množství kosolventu je nutno přidat až do poloviny objemového množství biolihu. [20]



***Obr. 1**: Produkce emisí při výrobě fosilních paliv a biopaliv [19]*

2.4.1 Bioplyn (biometan)

Bioplyn se získává metanogením kvašením organických látek. Tyto organické látky jsou nejčastěji chlévská mrva, zemědělské plodiny, prasečí kejda nebo odpady v městských čistírnách (kalový plyn). Bioplyn je tvořen směsí plynů: 55 až 75 % metan, 25 až 40 % oxid uhličitý a 1 až 3 % dalších plynů (vodík, dusík, sirovodík). [2]

Bioplyn slouží jako náhražka zemního plynu, na výrobu tepla, elektřiny nebo jako palivo do vozidel. Navíc odpad při jeho výrobě je využitelný jako hnojivo. Metan odvozený z bioplynu se zdá být nejlepším kandidátem na biopalivo vzhledem ke své trvale udržitelné produkci. Navíc vyhovuje nárokům Evropské unie kladeným na biopaliva s cílem dosáhnout dvacetiprocentního nárůstu efektivity produkce energie do roku 2020 (Požadavky EU na trvale udržitelné zdroje energie). [16]

Bioplyn lze pro pohon motorových vozidel nutno zbavit mechanických nečistot, nežádoucích příměsí, zejména oxidu uhličitého a sirovodíku. Výsledně očištěný bioplyn je v podstatě identický se zemním plynem. Obsah metanu je většinou vyšší než 95 %. Pro rychlé čerpání se stlačuje na tlak 250-300 MPa. Tlak bioplynu v nádrži je 50-100 MPa. [2]

Způsob vzniku bioplynu je současně jeho výhodou i limitem. Na jednu stranu existuje široká škála plodin vhodných pro jeho výrobu. Bioplyn je možné vyrábět také z bioodpadů. Jeho omezené množství a lokální výroba je současně limitem pro větší rozšíření. Nespornou výhodou bioplynu je vysoká energetická výtěžnost a neexistence vedlejších produktů. Limitující je však nákladné čištění na kvalitu zemního plynu.

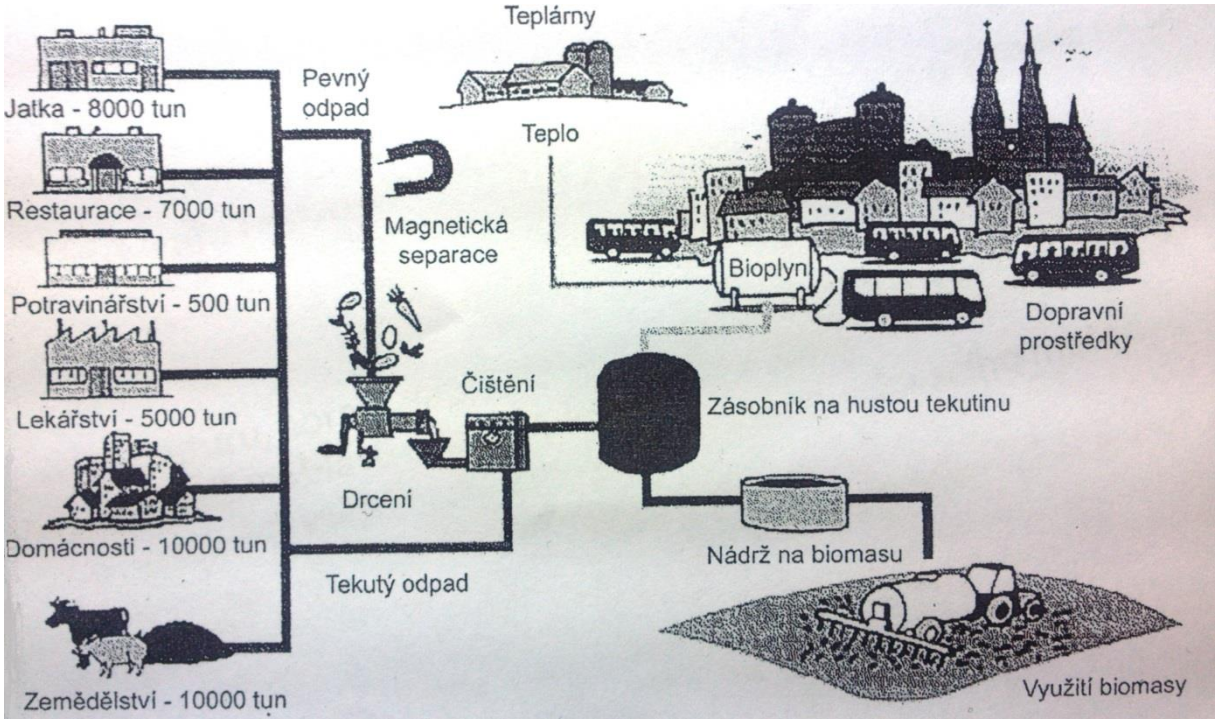
V České republice je bioplyn palivem jednoznačně minoritním. Zřejmě nejčastěji ho používají některé dopravní společnosti, které si samy zajišťují jeho výrobu. Naopak v zemích, k nimž patří například Švédsko, Švýcarsko, Francie, Island a další, je bioplyn používán opravdu masově. Metan v podobě CNG nebo bioplynu má v těchto zemích často více příznivců než LPG. Trendy ve prospěch bioplynu však zesilují i v České republice. [17]

Hlavními výhodami jsou, že má nejnižší emise skleníkových plynů a asi 30 % úsporu nákladů na palivo oproti benzínu. Díky svému ekologickému charakteru má bioplyn obecně společenskou podporu. Bioplyn je mnoha evropskými státy podporován i v důsledku existujících mezinárodních směrnic o biopalivech. Vozidla jezdící na bioplyn mají výrazně tišší chod. Díky fyzikálním vlastnostem metanu jsou vozidla s pohonem na bioplyn bezpečnější než vozidla na benzin, naftu nebo LPG. [17]

Nevýhodou současného používání bioplynu jako pohonné hmoty je jeho omezené množství a pouze lokální možnost použití. Další nevýhodou je nákladné čištění a úprava na kvalitu zemního plynu. [2]

Tab 3: *Složení bioplynu [18]*

Složka	***Obsah v %***
Methan- CH_4	*45 -75 %*
Oxid uhličitý CO_2	*25 – 48 %*
Vodík H_2	*0 – 3 %*
Sulfan H_2S	*0,1 – 1 %*
Dusík	*1 – 3 %*
Amoniak	*stopy*



Obr. 2: *Proces výroby bioplynu [2]*

2.4.2 Biometanol (metylalkohol)

Výroba biometanolu ze dřeva je ve světě známá již velmi dlouho. Největší množství biometanolu jsou dnes produkována v Brazílii, USA a Švédsku. Metanol je pro člověka jedovatá látka. Je to čistá látka bez zápachu, která se v přírodě vyskytuje jen ojediněle. Nevýhodou výroby z biomasy je jeho cena, která je asi dvojnásobná oproti syntetickému metanolu vyrobeného ze zemního plynu. Zajímavostí je, že se z biometanolu dá vyrobit i benzín, avšak tento proces probíhá s energetickou ztrátou, a proto se nevyužívá.

Biometanol je možné převést na vysoce oktanové palivo při relativně nízkých nákladech. Výhodou je, že toto palivo neobsahuje síru, a tak při jeho spalovaní je znečištění ovzduší velmi nízké. Z jedné tuny suché biomasy lze vyrobit 700litrů biometanolu. Poměr získané energie (biometanol) a vložené energie na jeho produkci závisí hlavně na způsobu výroby. Při výrobě biometanolu z obnovitelných zdrojů je tento poměr velmi příznivý. [2]

Z hlediska výkonu a jiných charakteristik se vozidla spalující v motorech biometanol podobají vozidlům spalujících benzin. Je možné toto palivo použít v čisté formě nebo jako směs. Při použití jako náhrada benzinu se vyznačuje nižšími emisemi všech škodlivin (v průměru o 20 až 70%). Výhodou je, že výrobní technologie jsou v praxi odzkoušené, spolehlivé a široce využívané (výroba alkoholu). Další jeho výhodou je celkem široký potenciál vstupních surovin a oproti bioetanolu je i mnohem levnější. V porovnání s benzinem

má vyšší oktanové číslo (přibližně 105). Další výhodou je, že má vysokou energetickou hustotu, umožňující vyšší účinnost spalování motoru, má nižší teplotu hoření, produkuje méně škodlivin. [2]

Hlavní nevýhodou je toxicita, jak při vdechnutí, tak i při působení v kontaktu s kůží (čerpání paliva). Způsobuje rychlejší korozi kovových materiálů, má detergentní účinek (odstraňuje olej z míst, kde je potřebný), negativně ovlivňuje i plastové materiály. Biometanol má neviditelný plamen, zviditelnit jde přidáním 15% benzinu. U benzinových motorů způsobuje horší startování při teplotách pod bodem mrazu. [2]

2.4.3 Bioetanol (kvasný líh)

Bioetanol je bezbarvá kapalina charakteristického alkoholového zápachu, velmi dobře rozpustná ve vodě a vyznačuje se vysokou hořlavostí. Působí dráždivě na pokožku a sliznici, ve vysokých koncentracích působí narkoticky. Používá se k přímému smíchávání s automobilovými benziny nebo pro výrobu ETBE a k dalším technickým využitím. [25]

Etanol je látka, která se v přírodě vyskytuje jen výjimečně. Bioetanol se dnes využívá běžně jako náhrada benzinu ve spalovacích motorech a je to jedno z nejstarších alternativních paliv. Největší zkušenosti s výrobou bioetanolu mají hlavně v Brazílii a USA, které dohromady představují 80 % světové produkce. V Brazílii je hlavní surovina pro výrobu bioetanolu cukrová třtina, kdežto v USA je to hlavně kukuřice. [24]

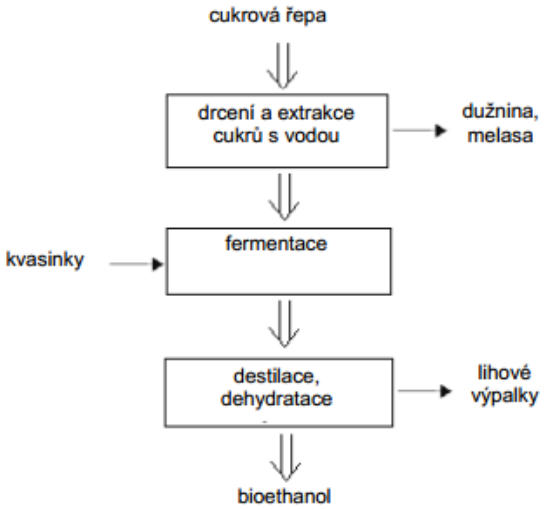
Bioetanol se získává lihovým kvašením zemědělských plodin, nejčastěji obilovin, kukuřice, brambor, cukrové řepy a cukrové třtiny. V porovnání s benzinem má bioetanol nízkou výhřevnost, velmi malou mazací schopnost, vysoké oktanové číslo (OČVM). Přidáním bioetanolu do benzinu se zvyšuje OČVM a změní se tlak par. Kvůli nízké výhřevnosti je měrná spotřeba bioetanolu vyšší než spotřeba benzinu nebo nafty, takže palivový systém se musí v případě vyššího obsahu bioetanolu v palivu předimenzovat. Skupenské výparné teplo bioetanolu je v porovnání s benzinem vyšší a působí výraznější ochlazení palivové směsi přiváděné do motoru, čímž se dosáhne většího naplnění válců palivovou směsí. Vyšší skupenské výparné teplo ale působí problémy při spouštění motoru za nízkých teplot. Používá se pomocné zařízení pro spouštění za nízkých teplot, případně se motor spouští na benzin. Velké problémy vyvolá i malé množství vody v palivu, které může být příčinou rozpadu směsi bioetanolu s benzinem na dvě fáze, přičemž bioetanol přechází do vodní fáze. Bioetanol může způsobit korozi některých součástí, zejména palivového příslušenství motoru, i když

tuto nepříznivou vlastnost lze zmírnit přidáním inhibitorů koroze. Agresivně působí na některé plasty a pryže. [26]

2.4.3.1 Výroba bioetanolu

Výroba bioetanolu je založena na fermentačním procesu, tj. působením enzymů (bílkovinných katalyzátorů) mikrobní buňky některých kvasinek, který se taky nazývá kvašení. Tento proces probíhá bez přístupu vzduchu (anaerobně), přičemž provzdušnění kvasného média, hlavně na počátku fermentace, je pro aktivitu a nárůst buněk příznivé. Přímo zkvasitelné jsou jen monosacharidy. Složitější sacharidy musí být před zkvašováním hydrolyzovány na monosacharidy přidáním látek, které hydrolýzu způsobí (kyseliny) nebo působením vlastních enzymů mikroorganismů. Podle druhu biomasy, z které je vyráběn lze rozdělit do tří skupin. [28]

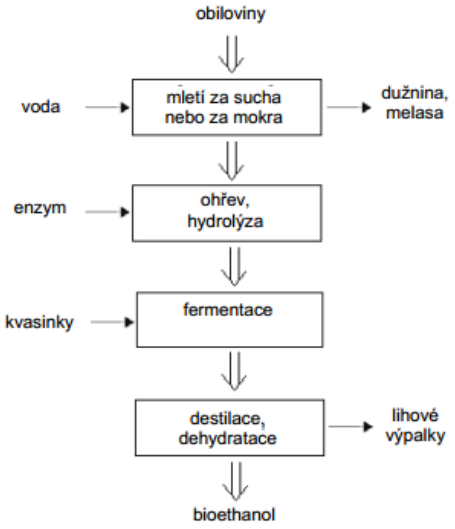
První je výroba bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry. Výroba z cukrové řepy nebo třtiny je nejjednodušší. Tyto suroviny obsahují sacharózu, která se přemění na jednoduché cukry, které se dají snadno oddělit a fermentovat. I přes relativní jednoduchost výroby a větší přínos ve snížení skleníkových plynů není tento způsob výroby v České republice nejrozšířenější a převládá výroba bioetanolu z obilovin. [28]



***Obr. 3**: Blokové schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry [28]*

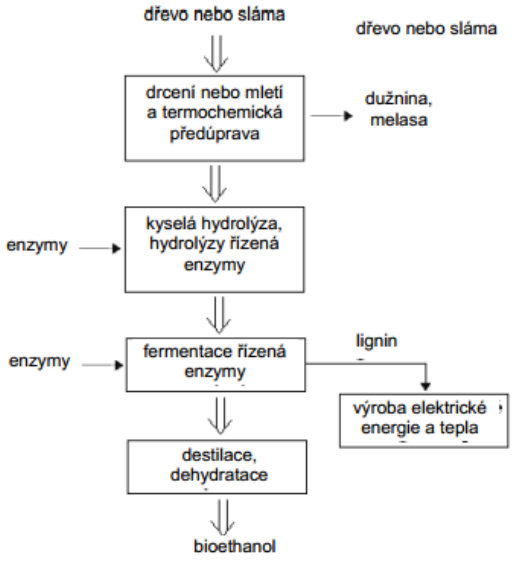
Druhou skupinou je výroba bioetanolu z biomasy obsahující škrob. Prvním krokem bioetanolu z obilovin je mletí nebo drcení zrna, prováděného za sucha nebo mokra. Takto se surovina zpřístupní pro působení komplexu enzymů. Odpadem jsou stébla a slupky zrn.

Dalším stádiem je proces, ve kterém dochází k bobtnání a zmazovatění zrn škrobu. Škrob je postupně převáděn působením enzymů nebo kyselou hydrolýzou na zkvasitelný sacharid (glukózu). Následuje zkvašení ve fermentoru. [28]



***Obr. 4**: Blokové schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující škrob [28]*

Poslední skupinou je výroba z lignocelulosové biomasy. Tato technologie výroby z lignocelulózy je poměrně složitá. V současné době je ve stádiu výzkumné činnosti. Výroba ze surovin rychle rostoucích energetických plodin (vrba, eukalyptus, blahovičník), zbytků ze zemědělské produkce (sláma, vylisovaná cukrová třtina), ze zbytků zpracování dřeva a dalších dřevnatých odpadů (piliny, kůra). [28]



***Obr. 5**: Blokové schéma výroby bioetanolu z lignocelulosové biomasy [28]*

2.4.3.2 Směsi s nízkým obsahem bioetanolu

Bioetanol je u zážehových motorů využíván převážně v podobě nízkoprocentního obsahu bioetanolu v automobilovém paliva. Nízkoprocentního přidávání bioetanolu jen minimálně mění parametry paliva, proto není nutnost žádných úprav spalovacího motoru. Přimíchávání biosložky do automobilového benzínu je dáno normou ČSN EN 228 a činí do maximálního podílu 5 obj.%. [28]

2.4.3.3 Směsi s vysokým obsahem bioetanolu (E85)

Pro dosažení cíle 10 % biopaliv v dopravním sektoru je nutné využívat čistá biopaliva, případně vysokoprocentní směsi biopaliv s fosilními palivy. U zážehových motorů vysokoprocentní směs představuje palivo E85, které je tvořené 85 % bioetanolu a 15 % benzinu natural 95. [29]

Pro paliva E85 je nutné spalování ve vozidlech označujících jako FFV (Flexi Fuel Vehicle). Tato vozidla mohou spalovat bioetanolové palivo s různým podílem bioetanolu až do 85 %. [29]

2.4.4 Biobutanol

Butanol je čtyřuhlíkový alkohol, čtvrtý v řadě základních alkoholů (metanol, etanol, propanol, butanol). Jeho molekula má dvojnásobný počet atomů uhlíku a vodíku než etanol, což se projevuje vyšší energetickou hustotou a až o 30 % vyšší výhřevností. Svými vlastnostmi se přibližuje benzinu. Při motorových zkouškách se prokázaly velmi dobré palivové vlastnosti butanolu a na základě požadavků neustálého zvyšování podílu náhrady fosilních paliv biopalivy. Nové biotechnologie se už zavádějí do výroby kapalných paliv. Butanol je alkohol, který se může přimíchávat do motorových fosilních paliv v širokém poměru. Spálením v motorech produkuje podstatně méně SOx, NOx nebo CO než fosilní kapalná paliva. Emise CO_2 a H_2O nejsou škodliviny, jen se vrací do přírody, ze které byly rostlinami přijaty v době vegetace. Butanol je mnohem bezpečnější z hlediska manipulace. Butanol jako motorové palivo je proto vhodný zejména pro teplejší oblasti. Mnohem méně korosivně napadá kovové nádrže, potrubí a může být dopravován a distribuován běžnými, existujícími produktovody, cisternami a čerpacími stanicemi. Není hygroskopický jako etanol. [26]

Biobutanol je považován za velmi energetickou efektivní náhražku ropy, která se hodí pro produkci ve velkém. Lze ho připravit z vedlejších produktů nejrůznějších odvětví průmyslu. V současné době se jedná o vážného kandidáta na postupné nahrazování ropy. [16]

Biobutanol lze vyrobit prakticky ze stejných surovin jako bioetanol, ale z hlediska palivářských vlastností obsahuje biobutanol vhodnější alternativu než bioetanol. Je možné ho přidávat do automobilového benzinu dle současné platné normy ČSN EN 228 až v množství 10 obj. % bez jakýchkoliv úprav spalovacího motoru, což mimo jiné umožňuje zvýšení podílu biopaliv na trhu. Tento přídavek biobutanolu neohrožuje splnění limitů dle ČSN EN 228, co se týká hustoty, oxidační stability i tlaku par. Biobutanol je omezeně mísitelný s vodou a při odloučení vodné fáze zůstává v benzinové vrstvě, což je, společně s minimální negativním vlivem na tlak par, nesporná výhoda oproti bioetanolu. S příchodem mísení alkoholů do benzinu, by však s ohledem na mísitelnost s vodou, měly být zavedeny limity na obsah vody v benzinu do ČSN EN 228. Je také nutné dodržovat čistotu biobutanolu, hlavně ošetření přítomnosti možných zbytkových nečistot z výroby, které by mohly negativně ovlivňovat oxidační stabilitu. [5]

Biobutanol lze vyrobit fermentací přímo zkvasitelných jednoduchých cukrů, tzv. ABE (Aceton-Butanol-Etanol) procesem, za působení mikroorganismu. Při klasickém ABE procesu je podíl butanolu v konečném produktu velmi nízký, většinou do 15 % obj., výjimečně kolem 25 % obj. Směs navíc obsahuje aceton (28 %) a etanol (14 %). Dosažení vyšší koncentrace je limitováno biologickým omezením, protože butanol i pří nízké koncentraci cca 1,5 % inhibuje růst a funkci mikroorganismů a zastavuje celý fermentační proces. Bohužel tak nejde využít velké přednosti n-butanolu spočívající v omezení mísitelnosti s vodou. Hlavním výrobním omezením této původní technologie tedy zůstává již zmíněná nutnost kontinuálního odstraňování butanolu ze zpracovaného materiálu už během výroby. Zásadní změny v technologii výroby biobutanolu bylo dosaženo až objevem nového vhodnějšího druhu mikroorganismů, které ve fermentovaném roztoku působí nejen při vyšší koncentraci butanolu, ale zejména umožňují maximalizovat výtěžky butanolu. Ve srovnání s původní technologií ABE tato nová technologie zabraňuje tvorbu nežádoucích produktů. Schéma výrobního postupu je poměrně jednoduché. Proces je kontinuální a probíhá ve dvou fermentorech, na které navazuje zařízení pro separaci butanolu od ostatního materiálu a velké části vody. Na konečnou destilaci tak přichází butanol jen s 10 %-ním obsahem vody, což je energeticky výhodné. Navíc ještě v první fázi vzniká i energeticky velmi cenný vodík, který by mohl zlepšit celkovou energetickou výtěžnost procesu až o 18 %. [23]

2.5 Srovnání základních parametrů paliv

***Tab 4**: Přehled vlastností paliv [2]*

Parametr	benzin	LPG	CNG	Biometanol	Bioetanol	biobutanol
Hustota při 15 °C (kg/m^3)	720-775	510-580	0,693	796	794	814
Výhřevnost (MJ/kg)	42-43,5	46	50	19,9	22	33,1
Teplota vznícení (°C)	450	460	650	450	420	340
Oktanové číslo OČVM	91-100	cca 100	130	110	106-130	94
Výparné teplo (kJ/kg)	290	300	555	1110	904	430
Tlak par (kPa)	45-90	1550	-	42	21	18,6
Cena (Kč/l) [ke dní 1.3.2014]	36	22	16,50	-	26,50	22,2

Srovnávat vybrané typy paliv je poměrně složité, jelikož na jejich použití jsou v současné době kladeny různé podmínky. U benzinového paliva je třeba zohlednit fakt, že prodej tohoto typu paliva je zatížen spotřební daní. Z testovaných paliv po technické stránce má však použitý Natural 95 nejvyšší výhřevnost, což zapříčiňuje nejnižší spotřebu (viz tab. 4).

Alternativní paliva naopak spotřební daní zatíženy v současné době nejsou. U biobutanolu je však nutné říci, že jeho použití v běžném provozu zatím není. Technologicky se ještě nejedná o plně využitelné palivo s vybudovanou infrastrukturou. To je zapříčiněno rozvojem výrobních technologií, ale také nerozvinutou prodejní sítí. Naopak bioetanol zažívá v současnosti výrazný nárůst spotřeby díky vysoké ceně ropy, tedy především z ekonomických důvodů.

Po stránce technických vlastností jednotlivých paliv lze opravdu mluvit o plně nahraditelných alternativách. Praktické srovnání v provozu následně zhodnocuje experimentální část práce.

3 Přehled produkovaných emisí (princip vzniku a účinky na lidské zdraví)

V dnešní době je problematika škodlivých emisí z dopravy velmi diskutovaným tématem. Škodlivé emise dopravy, které mají negativní vliv na životní prostředí, je možno měřit a lze tedy uvažovat o jejich cílené regulaci. Lidé pak mohou nabývat dojmu, že produkce škodlivých emisí je tím hlavním, čím doprava škodí životnímu prostředí, a tak se velmi zajímá o uzákonění limitů požadujících snižování emisí.

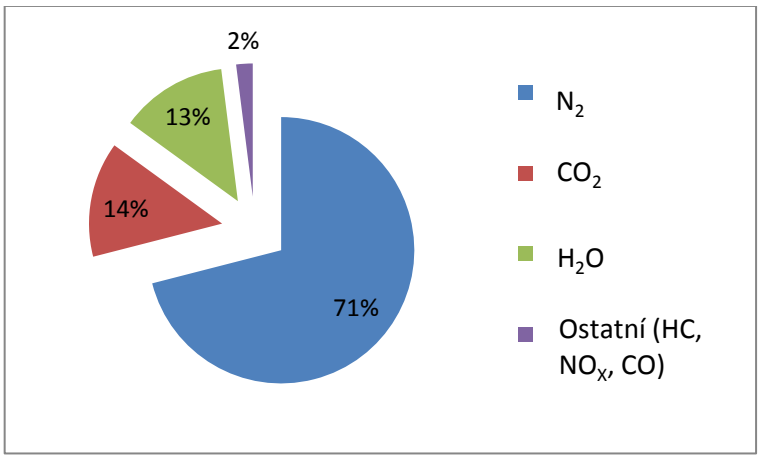
V České Republice se měření vozidel v provozu provádí pouze na pravidelných emisních kontrolách, které mají za cíl odhalit vozidla s nevyhovující produkcí škodlivých emisí.

Kontrola emisí u zážehových motorů probíhá u zahřátého motoru. Metodika měření předepisuje kontrolu emisí při volnoběhu a ve zvýšených otáčkách, tj. v rozmezí 2500-2800 1/min, pokud výrobce nestanoví jinak. U starších vozidel je předepsána kontrola úhlu sepnutí přerušovače a dále měření obsahu emisí oxidu uhelnatého (CO) a uhlovodíků (HC). U novějších vozidel, vybavených řízeným emisním systémem s katalyzátorem, je navíc předepsána kontrola stavu katalyzátoru, lambdasondy a přídavných nebo doplňkových systémů ke snižování emisí včetně příslušné elektroinstalace. U vozidel vybavených systémem OBD (On-Board Diagnostics) je dále předepsána kontrola paměti závad v systému OBD pomocí schváleného diagnostického zařízení. Při kontrole emisí dále přibývá kontrola součinitele přebytku vzduchu lambda. Naměřené hodnoty jsou kontrolovány s údaji stanovenými výrobcem vozidla. Pokud výrobce tyto hodnoty nestanoví, nesmí být překročeny přípustné hodnoty stanovené přílohou č.1-vyhlášky 302/2001 Sb. [26]

Stále většina motorových vozidel je poháněna spalovacím motorem, u nichž je základním principem pomocí spalování přeměna chemické energie obsažená v palivu na energii mechanickou, čímž s jejich provozem jsou nutně spojeny emise škodlivých výfukových plynů.

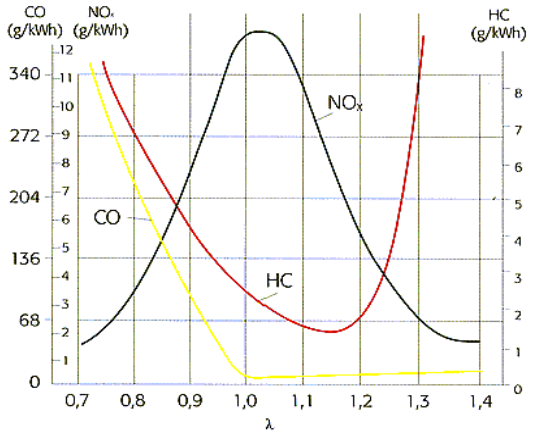
Při spalování uhlovodíkového paliva se vzduchem vzniká dokonalou oxidací uhlíku a vodíku obsaženého v palivu oxid uhličitý (CO_2) a voda (H_2O). Přítomnost oxidu uhelnatého (CO) a vodíku (H_2) ve spalinách je dána vlivem nedokonalé oxidace těchto prvků. Nejvýznamnější složkou (co do obsahu) spalin je při použití vzduchu jako okysličovadla dusík (N_2). Ve výfukových plynech se objevuje kyslík (O_2), když se jeho celé množství nepoužije k oxidaci paliva, protože ho byl v čerstvé směsi přebytek, nebo z jiného důvodu. Při

vysokých teplotách ve spalovacím prostoru vznikají oxidací vzdušného dusíku oxidy dusíku (NO_x) skládající se hlavně z oxidu dusnatého (NO) a menšího množství oxidu dusičitého (NO_2). Vlivem velmi nepříznivých podmínek při oxidaci paliva obsahují výfukové plyny nespálené uhlovodíky (HC) různého složení. Jako součást spalin se nespálené uhlovodíky objevují u motorů s vnější tvorbou směsi i z důvodu úniku části čerstvé směsi přímo do výfukového traktu zkratovým vyplachováním. U moderních zážehových motorů s přímým vstřikem paliva za úplného nepřístupu vzduchu nastává při vysoké teplotě dekompozice molekul uhlovodíků, což je výsledkem přítomnosti pevného uhlíku (sazí) ve spalinách. Z motoru také odchází spolu s výfukovými plyny velmi malé množství dalších částic (popel, prach, částečky rzi, vysokomolekulové produkty tepelné degradace mazacího oleje atd.). Přítomnost síry v některých uhlovodíkových palivech vytváří při spalování motoru oxidy síry, které se potom objevují ve spalinách. Při používání olova v palivu jako antidetonační přísada (dnes zakázáno) se ve výfukových spalinách objevovaly sloučeniny olova. [3]



***Obr. 6**: Složení škodlivých složek emisí u zážehového motoru*

Hlavním určujícím faktorem složení spalin je součinitel přebytku vzduchu λ. Na obr.7 se uvádí závislost koncentrace škodlivin na hodnotě λ u zážehového motoru. [3]



Obr. 7: *Závislost produkce emisí na λ [12]*

Jednou z cest ke zlepšování emisních parametrů motorů je použití alternativních paliv. Uplatnění jejich skutečných, či domnělých ekologických předností je obsahem širokého spektra spekulací. Tato paliva složením přimo příznivě ovlivňují některý parametr. Z popisu příčin vzniku škodlivin je dané, že činnost všech popsaných mechanizmů tvorby plynných škodlivin není závislá na složení paliva, pokud se zachová jeho uhlovodíková povaha a nezmění se jeho spalovací vlastnosti. [3]

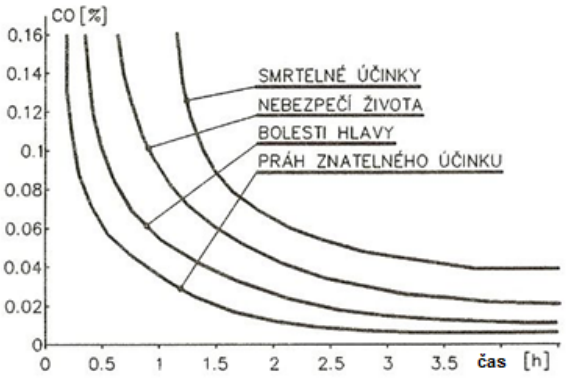
3.1 Oxid Uhelnatý (CO)

Jedná se o silně jedovatý bezbarvý plyn bez chuti, zápachu a je nedráždivý. Je lehčí než vzduch, ale se vzduchem se mísí. Ve vodě málo rozpustný. Vzhledem k jeho jedovatosti je jednou z významných znečisťujících látek. Vzniká jako produkt nedokonalého spalování fosilních paliv a biomasy.

Jedná se o produkt nedokonalé oxidace uhlíku obsaženého v uhlovodíkovém palivu. Nejvyšší podíl jeho výskytu ve spalinách je dán nedostatkem kyslíku ve spalované směsi, tedy provoz při součiniteli přebytku vzduchu $\lambda < 1$. Koncentarce oxidu uhelnatého dosahuje při spalování bohaté směsi v zážehovém motoru řádově jednotek procenta, výjímečně, jedná-li se o extrémě bohatou směs může překročit 10 %. [3]

Oxid uhelnatý se rychle vstřebává v plicích a přechází do krve. Tam se váže na hemoglobin za vzniku karboxyhemoglobinu (COHb) a tím blokuje okysličování krve v plicích. Míra vstřebávání závisí na jeho koncentraci, intenzitě fyzické námahy, tělesné velikosti, stavu plic a na atmosférickém tlaku. Hlavní negativní vliv spočívá ve snížení přísunu kyslíku ke tkáním. Z tohoto důvodu nastává riziko nejvíce pro orgány závislé na

vydatném zásobování kyslíkem, tj. mozek a srdce. Nejčastější příznaky pro otravu CO jsou bolesti hlavy a závrať, srdeční potíže a malátnost. Při hladině nad cca 40% je velké riziko kómatu a smrti. [4]



Koncentrace CO %	Pozorovaný vliv na lidské zdravý
2,9 - 4,5	Začíná bolest hlavy
nad 5	Klesá bělost a soustředěnost
5,0 - 17	Klesá schopnost zrakového vnímání a výkon komplexních smyslově-pohybových úkolech
10,0 - 30	velké bolesti hlavy, srdeční příznaky a malátnost
nad 40	Nastává kómat a smrt

Obr. 8: *Účinek CO na lidské zdraví [3] [4]*

3.2 Oxid uhličitý (CO_2)

Oxid uhličitý se stal synonymem ekologičnosti u moderních automobilů. Jedná se o bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, který je těžší než vzduch. Na rozdíl od CO není jedovatý. CO_2 vzniká reakcí uhlíku s kyslíkem, procesem zvaným spalování. [13]

Tento plyn není explicitně uveden ve výčtu škodlivin. Z hlediska chemické stránky se jedná o produkt dokonalé oxidace a jeho výskyt ve spalinách je tedy důsledkem kvalitně uskutečněného spalovacího procesu. Jedná se o látku velmi stabilní a všeobecně málo reaktivní. Pokud koncentrace nedosáhne úrovně ovlivňující koncentraci kyslíku ve vdechovaném vzduchu jeho vytěsněním, je jeho toxicita nevýznamná. [4]

Nárůst oxidu uhličitého v atmosféře je jednou z významných příčin skleníkového efektu. Podíl dopravy na zvyšování se odhaduje okolo 13%. Kromě snižování škodlivých látek vzniká také úkol snižovat spotřebu paliva a tím držet emise CO_2 na nejnižší možné hranici. V roce 2010 vypouštěly nově vyrobené vozy 145,9 gramů CO_2 na ujetý kilometr, což je o 20 gramů méně než v roce 2003. Do budoucna se plánuje stanovení limitu pro snížení emisí CO_2 u nově vyrobených aut v Evropské unii 130 gramů CO_2 na ujetý kilometr do roku 2015 a 95 gramů CO_2 na ujetý kilometr do roku 2020. [14]

3.3 Nespálené uhlovodíky (HC)

Vznikají v průběhu spalování, pokud není dostatečný přísun kyslíku nebo je příliš chudá směs a obsah válce dostatečně neprohoří. Skupina škodlivin souhrnně označována jako nespálené uhlovodíky je směsí individuálních komponent, jejichž přímá i zprostředkovaná škodlivost je různá. Nejmenší přímý vliv na organismus mají uhlovodíky, které jsou obsaženy v palivech a ve spalinách se objevují zejména kvůli přímé ztrátě paliva zkratovým vyplachováním. [4]

Nespálené uhlovodíky jsou tvořeny jednak nespáleným palivem, proto jsou ve výfukových plynech přítomny všechny sloučeniny obsažené v palivu, částečně oxidovaným palivem, což je příčina přítomnosti aldehydů ve výfukových, karboxylové kyseliny a jiných kyslíkatých sloučenin, a termicky rozštěpeným palivem, proto jsou přítomny metan, $C_1 - C_3$ alkany, C_2 a C_3 alkeny atd. Nespálené uhlovodíky, zejména alkeny, způsobují tvorbu toxického přízemního ozonu. Aldehydy, zejména nenasycený akrolein, působí dráždivě na sliznice a oči. U formaldehydu byly prokázány mutagenní účinky a je podezírán z karcinogenity. V malém množství vznikají také polyaromatické uhlovodíky (PAU), některé z nich jsou karcinogenní. [15]

Některé uhlovodíky, zejména aldehydy a ketony jsou významnou složkou letního smogu. Škodlivost uhlovodíků se posuzuje podle jejich reaktivity na tvorbu smogu. Reaktivita alifatických uhlovodíků roste s velikostí molekuly (konstitučním koeficientem uhlíku). Metan má na tvorbu smogu kalifornského typu 100x menší reaktivitu než etan. Proto je někdy považováno za účelné hodnocení emise uhlovodíku v členění na metan a nemetanové uhlovodíky. Měřící technika pak musí být na tento způsob hodnocení příslušně vybavena. [3]

3.4 Oxidy dusíku (NO_x)

Vznikají oxidací vzdušného dusíku za vysokých teplot dodávaného do válce spolu s kyslíkem potřebným k oxidaci paliva. Oxidace dusíku je endotermická, nastává tedy jako součást mechanizmu, jímž přírodní síly vzdorují zvýšení teplot. NO_x se skládají zejména z oxidu dusnatého (NO) a menšího množství oxidu dusičitého (NO_2).

Závislost emisí oxidu dusíku na hodnotě součinitele přebytku vzduchu je přesně opačná než u CO a HC (kap. 3.1 a 3.3). V oblasti přebytku paliva stoupá s rostoucí hodnotou λ i hodnota emisí oxidů dusíku a to především díky zvyšující se koncentraci kyslíku. V oblasti

se zvyšující se hodnotou λ, protože v chudší směsi klesá teplota ve spalovacím prostoru a tím se omezují podmínky pro tvorbu NO_x. [3]

Oxidy dusíku jsou na černé listině sledovaných škodlivin z důvodu významného podílu na tvorbě letního smogu. Mimo působení na organismus se projevují též devastací stavebních děl v důsledku chemického napadání stavebních materiálů. [3]

3.4.1 Oxid dusnatý (NO)

Za normální teploty je bezbarvý, paramagnetický plyn, pro člověka jedovatý a za přítomnosti vlhkosti leptající. Vzniká za vysokých teplot při spalování směsi paliva a vzduchu oxidací vzdušného dusíku.

Přímá škodlivost oxidu dusnatého na živý organismus je vcelku nízká. Mechanismus účinku na živý organizmus působí prostřednictvím dezinformace regulační soustavy, která na přítomnost NO ve vdechovaném vzduchu (resp. na přítomnost kyseliny dusičné, která vzniká pohlcením NO_2 ve vodě na stěnách sliznice) reaguje jako na začínající hoření a automaticky přivírá přístup vzduchu do plic. Důsledkem je pocit dušení a nucení ke kašli. Tento nežádoucí jev nastává již při velmi nízkých koncentracích, resp. při krátkých expozičních dobách. [3]

3.4.2 Oxid dusičitý (NO_2)

V kapalném stavu se jedná o žlutohnědou látku, která tuhne na bezbarvé krystaly. V plynném skupenství je oxid dusičitý červenohnědý, agresivní a prudce jedovatý plyn.

Tento dráždivý plyn je z 80 až 90 % pohlcován hlenem dýchacích cest. Způsobuje mírné až těžké záněty průdušek či plic a při vysokých koncentracích plicní edém s rizikem smrti. V ovzduší patří oxid dusičitý k plynům, které způsobují kyselé deště. [4]

3.5 Oxid siřičitý (SO_2)

Je bezbarvý, štiplavě páchnoucí, nehořlavý, jedovatý plyn. Vzniká slučováním síry obsažené v palivu s kyslíkem. Rozpouští se snadno ve vodě a sloučením SO_2 s vodou vznikají sirné kyseliny, známé jako „kyselé deště“, které mají velmi negativní dopad na životní prostředí.

Automobilové emise obsahují jen malé množství oxidu siřičitého. I to však může násobit efekt dalších látek z výfukových plynů. Vdechovaný SO_2 se vstřebává v nose a v horních cestách dýchacích, kde se projevuje jeho dráždivý vliv. Jen málo z něj se dostane do

plic, odkud vstupuje do krve a vylučuje se převážně močí. Vysoké koncentrace zapříčiňují otok hrtanu a plic. [4]

3.6 Olovo (Pb)

Velmi jedovatý těžký kov. Sloučeniny olova jsou přítomny ve výfukových plynech motoru spalující benzín s antidetonační přísadou obsahující olovo. Dnes je palivo u čerpacích stanic běžně k dostání pouze bez olova, kde jsou jeho mazací vlastnosti nahrazeny dalšími aditivy.

Přidáváním olova do automobilových paliv odpovídalo za velkou část veškerých emisí anorganického paliva. Sloučeniny olova jsou velmi jedovaté látky dostávající se do krve, kostní dřeně a nervového systému. Jejich účinek je velmi škodlivý zejména pro děti, těhotné ženy, zabraňují okysličování buněk. U vysokých koncentrací hrozí zejména poškození mozku, u nižších koncentrací může dojít k poškození schopnosti učit se, chování, koordinace jemných pohybů, k poklesu IQ a ke zhoršení schopnosti číst. [4]

3.7 Kyslík (O_2)

Kyslík je bezbarvý, nejedovatý plyn bez chuti a zápachu. Je nezbytný pro proces spalování. Vyskytuje se ve výfukových plynech jenom při spalování chudé směsi s přebytkem vzduchu.

3.8 Dusík (N_2)

Je nehořlavý, bezbarvý nejedovatý plyn bez zápachu. Dusík je hlavní součástí vzduchu, který dýcháme (78% N_2, 21% O_2, 1% ostatní plyny). Převážná část dusíku se po skončení spalovacího procesu vrací ve výfukových plynech zpět do ovzduší. Malá část reaguje s kyslíkem a vznikají oxidy dusíku NO_X.

4 Cíl a metodika diplomové práce

4.1 Cíl práce

Cílem této práce po teoretické stránce je komplexně rozebrat tématiku emisní problematiky při spalování paliva u zážehového motoru, se zaměřením na alternativní využití moderních biopaliv. Teoretická část se také věnuje environmentální stránce tématu s ohledem na lidské zdraví, ale i globální prostředí.

V rámci praktické části je úkolem v maximální míře využít experimentální měření v podmínkách technické laboratoře pro srovnání moderních biopaliv a předepsaného automobilového paliva Natural 95 (N95). Jednotlivé testy mají se zachováním totožných podmínek a také s předpokladem totožného testovacího cyklu přesně specifikovat rozdíly v chování zážehového motoru a nastínit tak, zdali alternativa v podobě biopaliv dokáže plně nahradit dnes nejrozšířenější druh paliva pro dopravní automobilové prostředky.

Provedené testy mají také za úkol specifikovat nutné úpravy motoru a elektronických součástí tak, aby efektivnost využití alternativních biopaliv byla srovnatelná, či vyšší, než u referenčního paliva. Podmínkou je samozřejmě naprosto bezproblémový provoz motoru na zvolená alternativní paliva.

Právě testy v laboratorních podmínkách mají přesně ukázat rozdílnost jednotlivých paliv a jejich vliv na motor s ohledem na zachování životnosti a efektivnosti použití. Hlavní výhodou je přesné srovnání průběhu chodu motoru při běžném provozu, ale i plném zatížení, čímž jsou specifika jednotlivých paliv zdokumentována v celém rozsahu pracovní činnosti spalovacího motoru a nikoli pouze teoretickým srovnáním dvou různých testovacích vozidel bez technologického zajištění průběhu testu.

4.2 Metodika práce

Prvním úkolem metodické části je v maximální míře využít technické znalosti a další zdroje po teoretické stránce s možností dalšího využití v průběhu testu. Dále nasimulovat potřebný průběh testu na brzdovém stanovišti katedry Vozidel a pozemní dopravy, kde je umístěn spalovací motor a pomocí vířivého dynamometru lze motor zatěžovat v celém rozsahu jeho provozního zatížení a otáček. Zde bude provedeno měření vnější otáčkové charakteristiky a simulace reálného provozu motoru. V rámci experimentů bude probíhat

sledování okamžitých provozních parametrů motoru (výkon, spotřeba, emise) při provozu na různé druhy paliva.

Na základě dvou režimů simulovaného provozu (reálný provoz a plné zatížení) bude možné přesně specifikovat charakteristiky všech testovaných paliv, na základě čehož je možné velmi přesně zhodnotit naměřená data, na základě kterých lze doporučit jednotlivá paliva.

5 Vyhodnocení experimentu

Měření bylo provedeno v prostorách brzdového stanoviště katedry Vozidel a pozemní dopravy, kde byl nainstalován spalovací motor škoda Fabia 1.2 HTP a příslušné přístrojové vybavení k provedení experimentu.

5.1 Přístrojové vybavení

5.1.1 Testovaný spalovací motor

Testovaným motorem byl zážehový motor Škoda Fabia 1.2 HTP, jehož základní parametry jsou uvedeny v tab. 5.

Tab 5: *Parametry měřeného motoru*

kód motoru	BRD
konstrukce	3-válcový řadový motor, 2 ventily na válec
obsah	1198 cm^3
vrtání	76,5 mm
zdvih	86,9 mm
kompresní poměr	10,3 : 1
max. výkon	40 kW při 4750 min^{-1}
max. kroutící moment	106 Nm při 3000 min^{-1}
řídící jednotka motoru	Simos 3PD (vícebodové vstřikování)
palivo	bezolovnatý benzín s okt. Č. 95
emisní norma	EU4

5.1.2 Brzdové stanoviště

Brždění spalovacího motoru bylo prováděno pomocí vířivého dynamometru (obr. 9), jehož bližší technické údaje jsou uvedeny v tab. 6. Brzdové stanoviště je ovládáno pomocí elektronického systému Datalab od firmy Moravské přístroje a.s., kde byl vytvořen v programovém prostředí ControlWeb vlastní ovládací program, pomocí kterého je celé pracoviště ovládáno a zároveň se systém také stará o automatický sběr dat.

Obr. 9: *Vířivý dynamometr*

Tab 6: *Parametry vířivého dynamometru*

Dynamometr	
Typ	V125
Provedení	IP23/ICW37
Otáčky (1/min)	300 - 2500 – 8000
Točivý moment (Nm)	134 - 478 - 149,5
Výkon (kW)	4,2 - 125 – 125
Průtok vody (l/s)	0,9
Budící napětí (V)	91
Budící proud (A)	1,7
Tlak vody (kPa)	90
Hmotnost (kg)	550
ČSN	350 000
Rok výroby	1986
Tenzometr	
Jmenovité zatížení (kN)	2
Sloučená chyba (% j.z.)	0,5
Reprodukovatelnost (%)	0,05

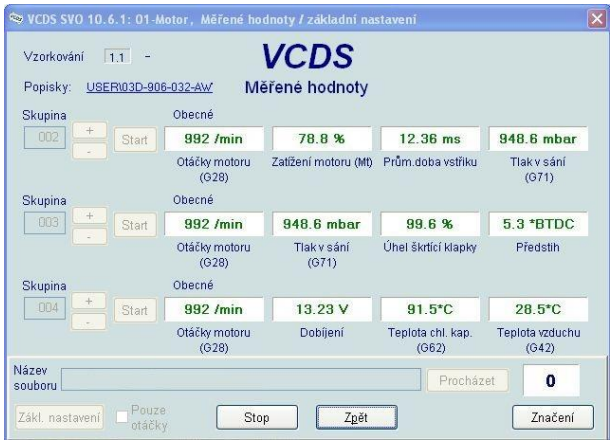
5.1.3 Přídavná řídící jednotka

Pro úpravu běhu motoru na biopaliva byla použita přídavná řídící jednotka od firmy EUROPECON, typ MPI-A4, která je vidět na obr. 10. Ta zajišťuje úpravu doby otevření vstřikovacích ventilů tak, aby byla vyrovnána rozdílná výhřevnost použitých biopaliv oproti klasickému benzinu. Další funkcí této jednotky je, že umožňuje zlepšení startovatelnosti motoru za studena pomocí přídavného sycení v závislosti na teplotě motoru (externí teplotní čidlo rozeznává studený nebo teplý motor). Lze nastavit jak startovací dávku (při startování motoru), tak úroveň sycení při studeném motoru.

Obr. 10: *Jednotka EUROPECON [21]*

5.1.4 Diagnostický systém VAG-COM

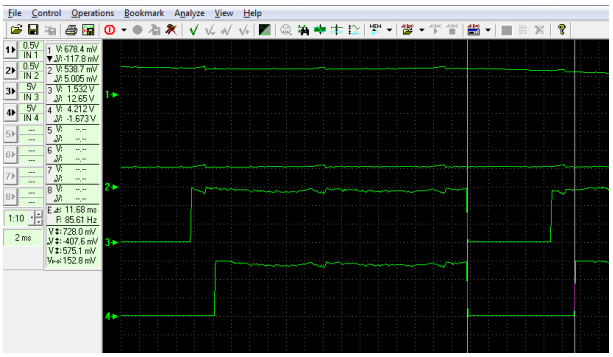
S řídící jednotkou byla komunikace řešena využitím diagnostického systému VAG-COM (obr. 11). S jeho pomocí byly snímány a ukládány okamžité hodnoty otáček, zatížení motoru, množství nasátého vzduchu a další provozní hodnoty.



Obr. 11: *Diagnostický systém VAG-COM*

5.1.5 Osciloskop

Dalším zařízením na měřícím stanovišti byl digitální osciloskop (obr. 12), pomocí kterého byl vyhodnocován původní a upravený signál pro otevírání vstřikovacích ventilů. Na obr. 9 je znázorněn původní signál z řídící jednotky (linie 3) a upravený signál k vstřikovači (linie 4).



Obr. 12: *Osciloskop Autoskop II*

5.1.6 Měření emisí

Pro vyhodnocení okamžité produkce emisí byl využit emisní analyzátor VMK (obr. 13). Přístroj VMK měří a s frekvencí 1 Hz zaznamenává okamžité koncentrace oxidu uhelnatého (CO), oxidu uhličitého (CO2), nespálených uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NOX) a kyslíku (O2) ve výfukových plynech spalovacích motorů. Jeho technická specifikace je uvedena v tab. 7.

Obr. 13: *Emisní analyzátor VMK*

Tab 7: *Technické parametry analyzátoru VMK [22]*

Měřená složka	Rozsah	Rozlišení	Nejistota měření
CO	0 - 10 % vol	0,001 % vol	0 - 0,67%: 0,02% absolutně, 0,67 - 10%: 3% z naměřené hodnoty
CO_2	0 - 16 % vol	0,01 % vol	0 - 10%: 0,3% absolutně, 10 - 16%: 3% z n.h.
HC	0 - 20 000 ppm	1 ppm	10 ppm or 5% z n.h.
NO_X	0 - 5 000 ppm	1 ppm	0 - 1000 ppm: 25 ppm, 1000 - 4000 ppm: 4% z n.h.
O_2	0 - 22 % vol	0,1 % vol	0 - 3%: 0,1% 3 - 21%: 3% z n.h.

5.1.7 Spotřeba paliva

Vzhledem ke složité konstrukci moderních spalovacích motorů byla ke změření měrné spotřeby paliva použita plošinová váha, pomocí které byl zaznamenáván hmotnostní úbytek paliva v nádrži umístěné na této váze (obr. 14). Tato metoda se nazývá Gravimetrická metoda stanovení spotřeby paliva. Vychází z jednoduchého principu sledování hmotnostního úbytku paliva v nádrži během stanovených podmínek. Celkovou spotřebu paliva lze stanovit podle následujícího vzorce:

$$m_p = m_{start} - m_{konec} \quad (1)$$

kde:

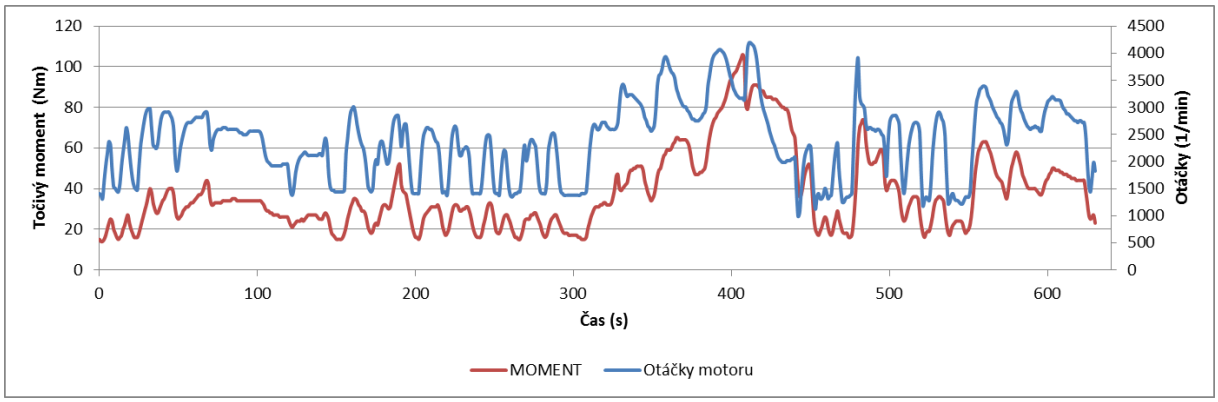
$m_p\ (kg) \ldots\ldots\ldots celkové\ spotřebované\ palivo$

$m_{start}\ a\ m_{konec}\ (kg) \ldots hmotnost\ paliva\ na\ začátku\ a\ na\ konci\ měření$

Obr. 14: *Palivová nádrž na plošinové váze*

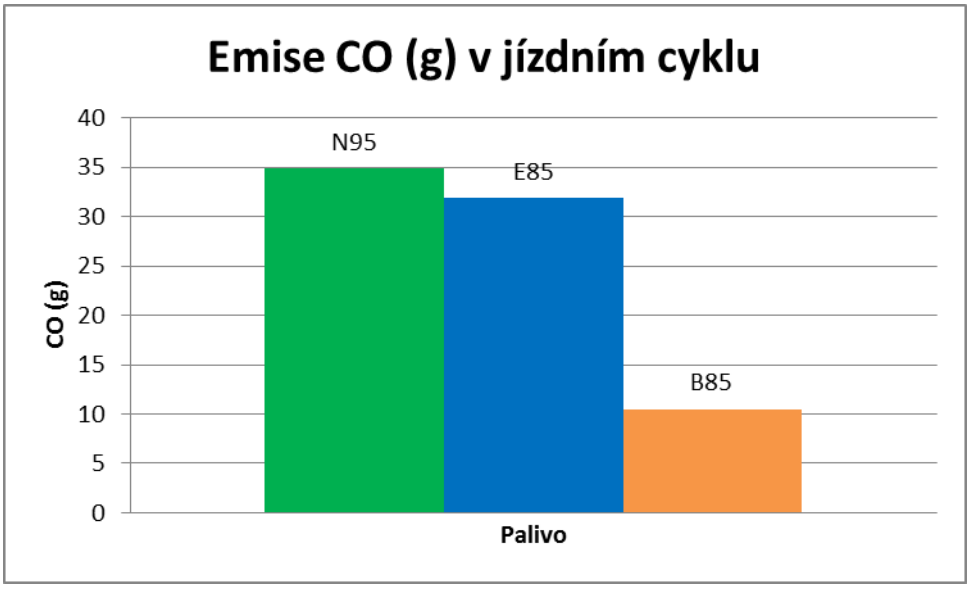
5.2 Měření simulovaného reálného jízdního cyklu

Měření bylo prováděno pomocí navrženého jízdního cyklu (obr. 15). Tento jízdní cyklus vycházel z reálné jízdy vozidla (Škoda Fabia 1.2 HTP) během níž byly zaznamenávány hodnoty nastavení akceleračního pedálu, otáček a zatížení motoru. Jízdní cyklus byl pak simulován na brzdovém stanovišti. Díky tomu bylo možné provozovat motor v podobném režimu jako při jízdě v reálném provozu.



Obr. 15: *Navržený jízdní cyklus*

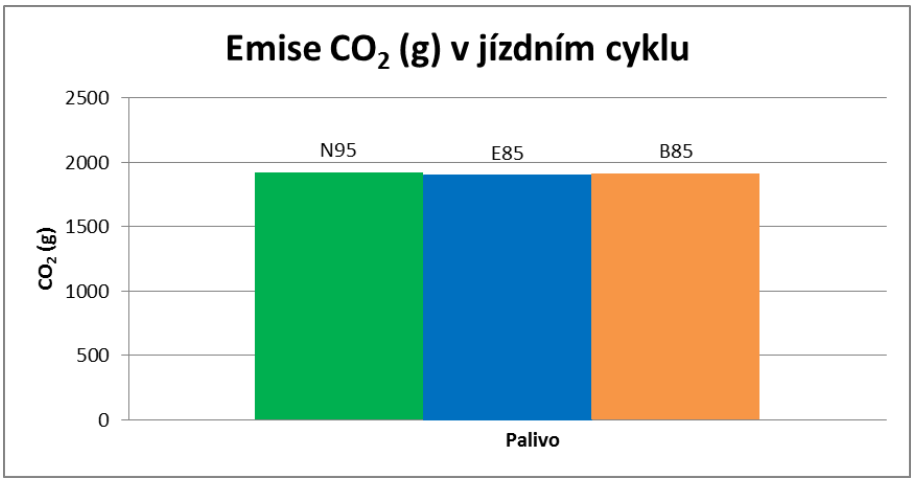
5.2.1 Emise CO



Obr. 16: *Emise CO (g) v jízdním cyklu*

Množství emisí CO bylo při měření u simulovaného jízdního cyklu u paliv N95 a E85 podobné, kdy hodnota dosáhla více jak 30 g. U biopaliva B85 byla naměřená hodnota emisí až 3 krát menší.

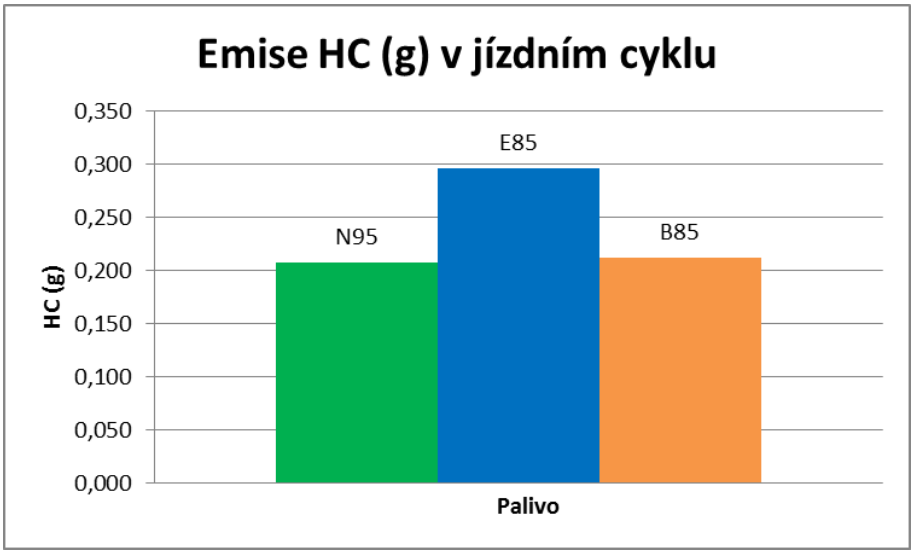
5.2.2 Emise CO_2



Obr. 17: *Emise CO_2 (g) v jízdním cyklu*

U měřeného jízdního cyklu dosahovala naměřená produkce emisí CO_2 (obr. 17) u testovaných paliv podobných hodnot bez větších rozdílů.

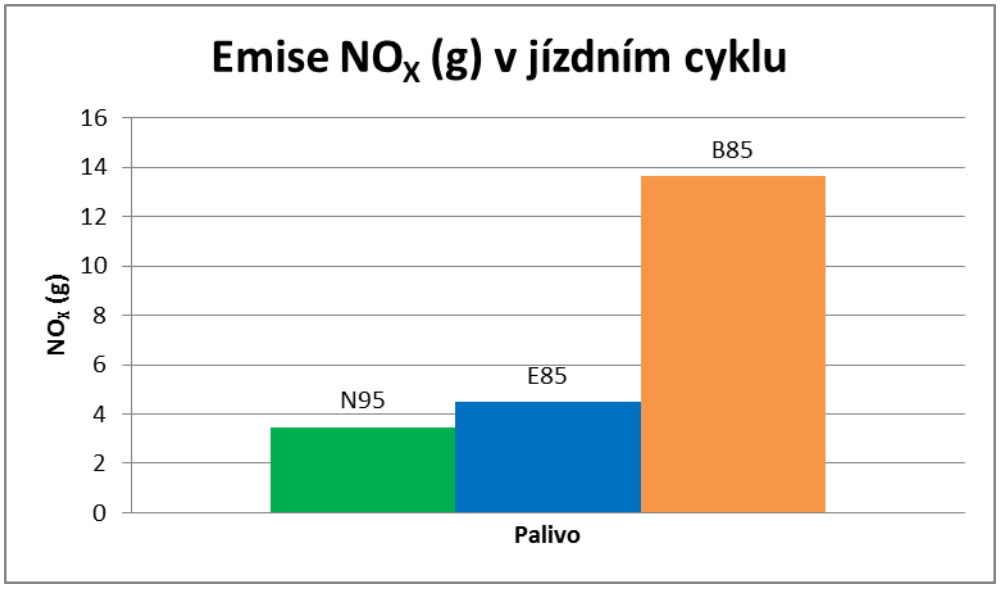
5.2.3 Emise HC (g)



Obr. 18: *Emise HC (g) v jízdním cyklu*

Produkce nespálených uhlovodíků (obr. 18) v nastaveném jízdním cyklu byla u paliva N95 a biopaliva B85 téměř shodná. Odlišných hodnot dosahovalo biopalivo E85, u kterého byl naměřen skoro 30% nárůst.

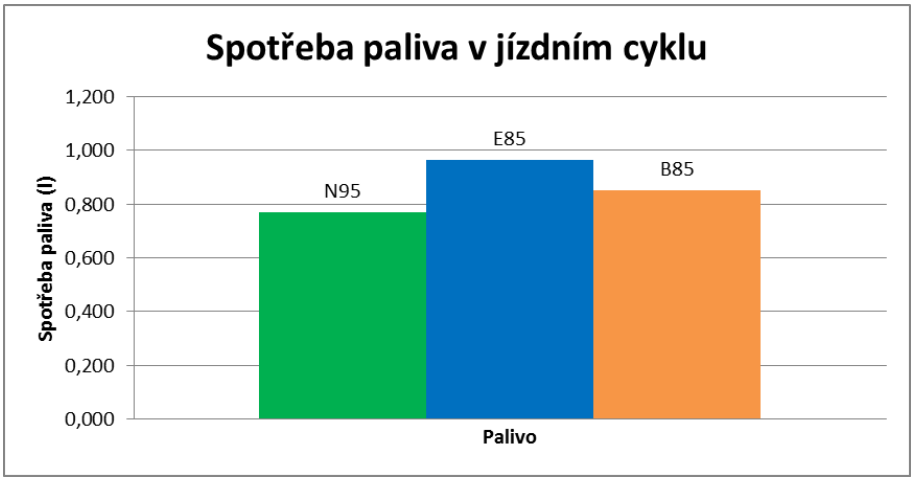
5.2.4 Emise NOX



Obr. 19: *Emise NOx (g)*

Emise NO_x jsou závislé na teplotě při spalování. Při porovnání emisí NO_x z obr. 19 je patrné, že nejvyšších hodnot dosahuje palivo B85. Rozdíl produkce emisí NO_x je u paliva N95 a E85 nepatrný.

5.2.5 Spotřeba paliva



Obr. 20: *Spotřeba paliva (l) v jízdním cyklu*

Při provozu spalovacího motoru na biopaliva u jízdního cyklu byl měřením zjištěn nárůst spotřeby oproti předepsanému palivu Natural 95. Zvýšení je zapříčiněno nižší výhřevností biopaliv, kde bioetanol má výhřevnost 22 MJ/kg, biobutanol má 33,1 MJ/kg a předepsané palivo benzin má 43 MJ/kg. U biopaliva B85 byla spotřeba oproti Naturalu 95 zvýšena o 11 % a u E85 byl nárůst až 25 %.

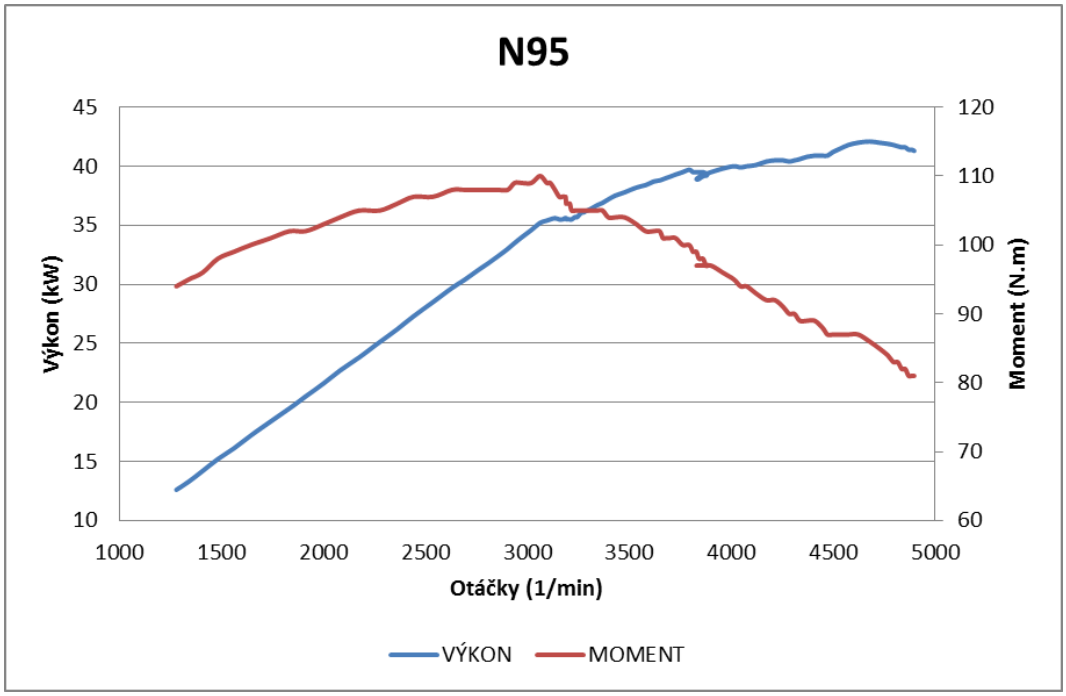
5.3 Měření při plném zatížení (vnější otáčková charakteristika)

Výkonová charakteristika spalovacího motoru je vyjádření závislosti průběhu výkonu vzhledem k otáčkám motoru při plné zátěži. Nejčastěji bývá uváděna společně s momentovou charakteristikou motoru. Vyjádření výkonové a momentové charakteristiky motoru v jednom grafu pak bývá označováno jako vnější otáčková charakteristika motoru.

Nejdříve byl motor zahřát na provozní teplotu. Jeho parametry se zjišťovaly s plně otevřenou škrtící klapkou v celém rozsahu otáček (akcelerační pedál nastaven na maximální hodnotu). Hodnoty zjištěné v celém rozsahu otáček jsou základem pro průběh točivého momentu a výkonu. Z průběhu těchto křivek byl určen maximální točivý moment a maximální výkon při příslušných otáčkách. Dále bylo měření zaměřené na monitorování

činnosti přídavné řídící jednotky. Měřený motor byl od nejvyšších otáček postupným zatěžováním vířivým dynamometrem brzděn až do volnoběžných otáček.

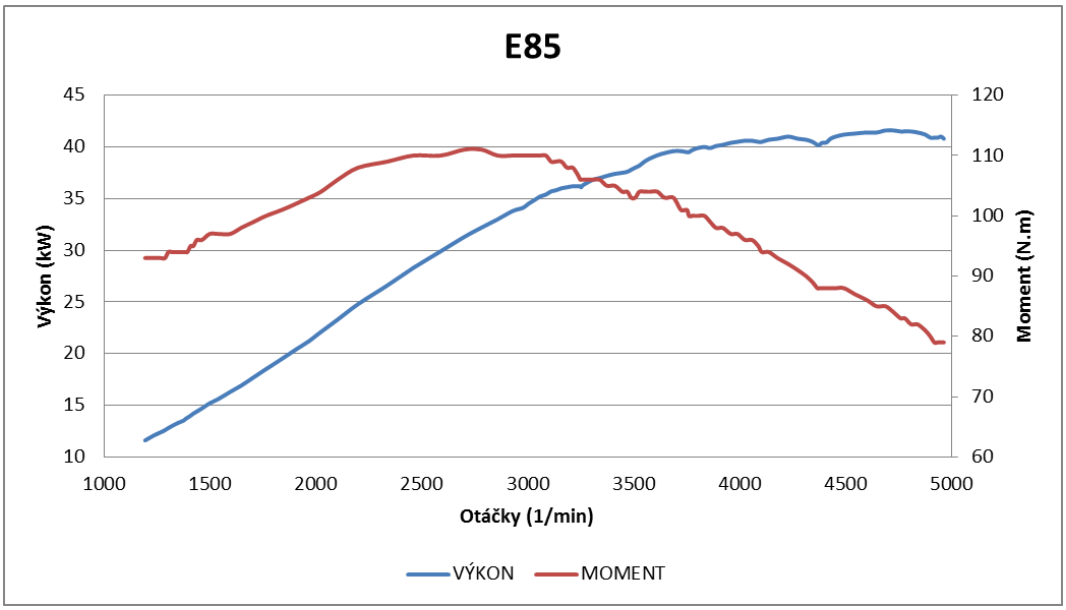
5.3.1 Natural 95 (N95)



Obr. 21: *Vnější otáčková charakteristika - Natural 95*

U automobilového paliva Natural 95 byl měřením při plném zatížení zjištěn maximální kroutící moment 110 Nm při 3060 min^{-1}. a maximální výkon 42,1 kW při 4700 min^{-1} zobrazené na obr. 21.

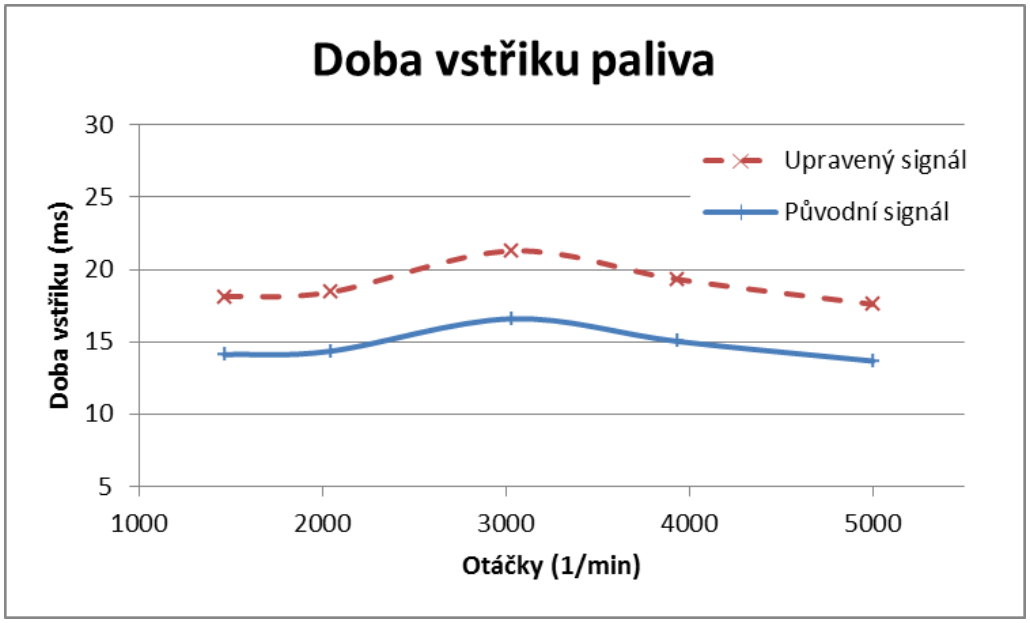
5.3.2 Bioetanol E85



Obr. 22: *Vnější otáčková charakteristika - E85*

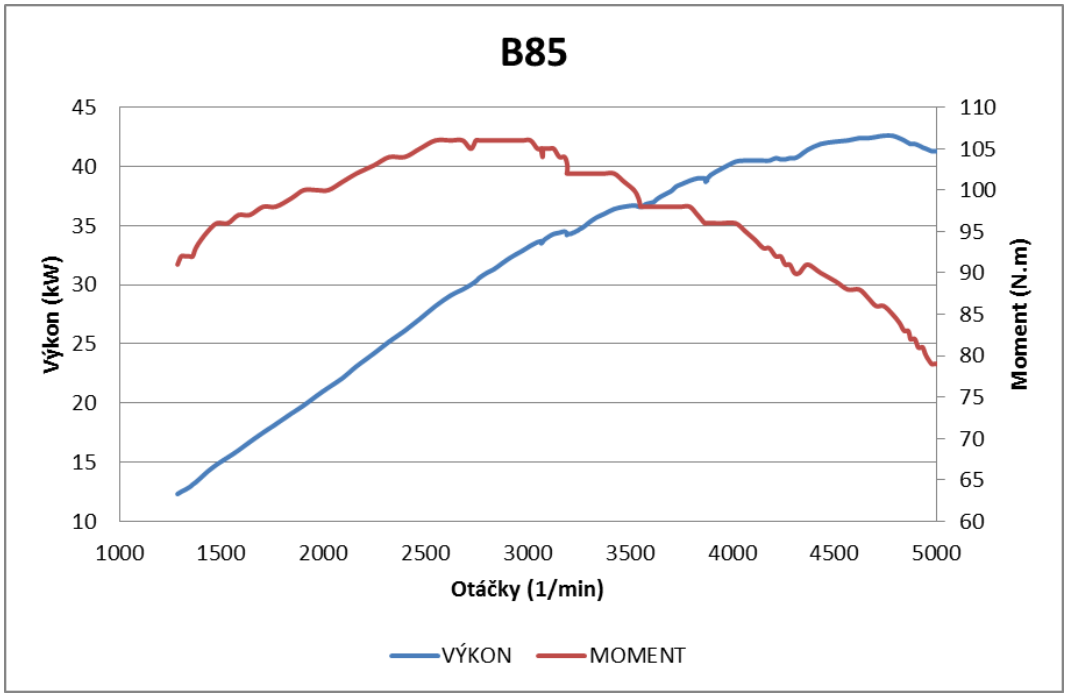
U paliva bioetanol (E85) byl při plném zatížení naměřen maximální točivý moment 111 Nm při 2750 min^{-1} a maximální výkon 41,6 při 4700 min^{-1} zobrazený na obr. 22.

Činnost přídavné řídící jednotky Europecon je zobrazena na obr. 23. Tato jednotka prodlužovala dobu vstřiku v celém rozsahu otáček konstantně o 28 % oproti původnímu signálu z řídící jednotky motoru.



Obr. 23: *Upravená doba vstřiku paliva u E85*

5.3.3 Biobutanol B85

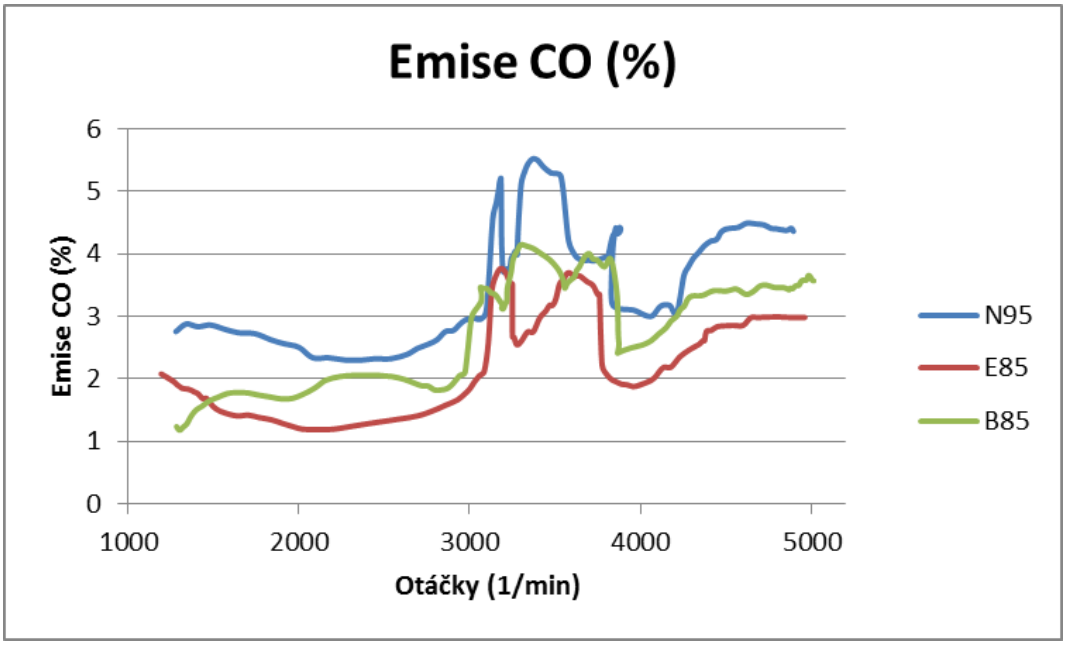


Obr. 24: *Vnější otáčková charakteristika - B85*

U paliva biobutanol (B85) byl naměřen při vnější otáčkové charakteristice maximální krouticí moment 106 Nm při 2920 min^{-1} a maximální výkon 42,6 kW při 4750 min^{-1} zobrazené na obr. 24.

Činnost přídavné řídící jednotka byla shodná jako u paliva bioetanol (viz. 5.3.2)

5.3.4 Emise CO (%)



Obr. 25: *Emise CO (%)*

Při porovnání emisí CO u měření při plném zatížení nevyšších hodnot dosahovalo palivo N95, které markantně převyšovalo naměřené hodnoty u testovaných biopaliv. Tento rozdíl byl dán přílišným obohacením směsi při spalování benzinu. Důvodem je nedokonalá oxidace prvků obsažené v palivu (uhlíku a vodíku). Nejnižších hodnot dosáhlo palivo E85.

5.3.5 Zhodnocení

Výsledné hodnoty výkonu a momentu na všechna paliva ilustrují obr. 21, obr. 22 a obr. 24. Je patrné z tab. 8, že provozem na biopaliva E85 a B85 nedošlo k zásadnímu ovlivnění výkonových parametrů motoru oproti předepsanému palivu Natural 95.

Tab 8: *Maximální výkon a krouticí moment daných paliv při plném zatížení*

Palivo	Výkon	Kroutící moment
N95	42.1 kW při 4700	110 Nm při 3060
E85	41.6 kW při 4700	111 Nm při 2750
B85	42.6 kW při 4750	106 Nm při 2920

6 Závěr

Na základě provedených testů, které byly specifikovány v metodickém postupu práce, byly srovnávány dva typy moderních biopaliv s běžně dostupným a především nejpoužívanějším typem benzínového paliva Natural 95. Celý testovací cyklus byl proveden v laboratorních podmínkách s využitím přesných měřících přístrojů, které zaznamenávaly chování motoru, ale také spotřebu paliva a množství emisí.

V rámci takto získaných dat je možné zhodnotit naměřená data. Předepsané palivo Natural 95 je možné specifikovat jako nejvhodnější pro tento typ motoru, jelikož motor je již výrobně pro tento typ paliva konstruován. Díky tomu není nutná žádná mechanická, ani elektronická úprava pro efektivní spalování a provoz motoru. Nespornou nevýhodou tohoto typu paliva je, že je vyráběno z neobnovitelných zdrojů a zároveň je jeho výroba poměrně drahá. Tento typ paliv je navíc zatížen spotřební daní, která jeho využití do jisté míry omezuje.

Právě z důvodu neobnovitelnosti těchto typů paliv je vhodnou alternativou biopalivo, které nejenom, že je obnovitelně vyrobitelné, ale navíc pro jeho výrobu jsou velmi často využívány tzv. odpady. Díky nezatížení spotřební daní je zde samozřejmě i úspora v provozních nákladech, což je ale fakt, který platí pouze v rámci současné legislativy. Výrobní cena je však díky náročné technologii teoreticky srovnatelná s benzinovým palivem. U biobutanolu je výrobní cena dokonce o poznání vyšší. Zásadní nevýhodou biopaliv je navíc ještě nutnost investice do přídavné řídící jednotky, která upravuje elektronicky chování motoru. Zde samozřejmě záleží na místní legislativě, jakým způsobem omezuje provedení těchto úprav. S ohledem na toto omezení však přichází jednotliví výrobci automobilů na trh s modely, které již mají přizpůsobené jednotky pro provoz na běžná i alternativní paliva.

Po stránce environmentálního vlivu, tedy především emisního zatížení, jsou však testovaná biopaliva efektivnější. S ohledem na možnost obnovitelné výroby je tedy jejich použití a další technologický rozvoj žádoucí a lze říci, že se může jednat o směr, kterým se výrobci automobilů vydají. Jelikož vývoj těchto paliv je v poměrně raném stádiu, lze také předpokládat další rozvoj a zefektivnění a tedy i zlevnění výroby. Zajímavostí také je, že biopaliva se postupně stávají povinnou součástí benzinových paliv a jejich obsah je postupně zvyšován.

V rámci provedených testů a srovnávání chodu motoru ve dvou režimech, tedy v běžném zatížení a v plném výkonu dále ukazuje, že emisní náročnost je zachována

v podobném poměru i při různém využití výkonu. Je však nutné zmínit, že u biopaliv se zvyšuje spotřeba paliva, což je zapříčiněno nižší výhřevností paliva. Nárůst spotřeby však není tak skokový, aby znamenal snížení efektivnosti využití těchto paliv s ohledem na cenu a emisní zatížení.

Z mého pohledu je tedy využití biopaliv v automobilovém průmyslu a globální dopravě správným směrem, který nejenom, že konečně využívá obnovitelných zdrojů, ale také šetří životní prostředí a finance, navíc také neovlivňuje negativně chod motoru a jízdní vlastnosti. Biopaliva by tak mohla být spojovacím článkem mezi stávajícími druhy paliv a pohony budoucnosti v podobě velkokapacitních bateriových elektromotorů či vodíkových motorů.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] VLK, František. Paliva a maziva motorových vozidel. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006. ISBN 80-239-6461-5.

[2] VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004, 376 s. ISBN 80-239-1602-5.

[3] TAKÁTS, Michal. Měření emisí spalovacích motorů. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1997, 234 s. ISBN 80-010-1632-3.

[4] ŠUTA, Miroslav. Účinky výfukových plynů z automobilů na lidské zdraví. 1. vyd. Brno: Český a Slovenský dopravní klub, 1997, 111 s. ISBN 80-901-3394-0.

[5] Chemické listy: Fyzikálně-chemické vlastnosti butanol-benzinových směsí [online]. 2011 [cit. 2014-03-31]. ISSN 1213-7103. Dostupné z: http://chemicke-listy.cz/docs/full/2012_11_1049-1053.pdf

[6] Petroleum.cz. [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://www.petroleum.cz/vyrobky/benzin.aspx

[7] Automobilová paliva a jejich kvalita. IFLEET.cz. 2008. Dostupné z: http://www.ifleet.cz/archiv-2005-12/automobilova-paliva-a-jejich-kvalita.html

[8] Česká rainérská: Motorová paliva – historie a současnost. [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://www.ceskarafinerska.cz/data/publications/motorova_paliva_historie_soucasnost.pdf

[9] Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu: Automobilový benzin. [online]. 2012 [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://www.cappo.cz/res/data/000067.pdf

[10] Bezolovnaté automobilové benzíny. Unipetrol RPA [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://www.unipetrolrpa.cz/CS/nabidka-produktu/rafinerske-produkty/motorova-paliva/Stranky/bezolovnate-automobilove-benziny.aspx

[11] Kvalitativní požadavky na LPG. Petroleum.cz [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://www.petroleum.cz/vyrobky/lpg-kvalita.aspx

[12] Ovzduší: doprava. Ústav chemie ochrany prostředí [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/uchop/velebudice/ovzdusi/doprava.htm

[13] Oxid uhličitý CO2. Autolexicon.net [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://cs.autolexicon.net/articles/oxid-uhlicity-co2/

[14] Automobilky plní stanovené cíle pro emise CO2. Evropská agentura pro životní prostředí [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://www.eea.europa.eu/cs/highlights/automobilky-plni-stanovene-cile-pro

[15] BLAŽEK, Josef a Vratislav RÁBL. Základy zpracování a využití ropy: Emise vznikající pUi spalování pohonných hmot [online]. 2., přepr. vyd. Praha: VŠCHT, 2006, s. 172 [cit. 2014-03-31]. ISBN 80-7080-619-2.

[16] Biopaliva: Program trvale udržitelné energie přináší první ovoce. Gate2Biotech [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://www.gate2biotech.cz/biopaliva-program-trvale-udrzitelne-energie-prinasi-prvni-ovoce/

[17] Bioplyn. [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/doprava-slapni-na-plyn-auto-autobus-bioplyn.htm

[18] Bioplyn. Technická univerzita Ostrava [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/Bioplyn.pdf

[19] HROMÁDKO, Jan. Produkce emisí skleníkových plynů při výrobě fosilních paliv a biopaliv. BIOM.cz. Dostupné z: http://biom.cz/cz/obrazek/produkce-emisi-sklenikovych-plynu-pri-vyrobe-fosilnich-paliv-a-biopaliv-4

[20] KIZLINK, Juraj: Vliv biopaliv na motory. Biom.cz [online]. 2010-04-20 [cit. 2014-03-31]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vliv-biopaliv-na-motory>. ISSN: 1801-2655

[21] Europecon Flex: Přestavba E85. [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://www.bioethanole85.cz

[22] VOJTÍŠEK, M., VMK COx – příručka uživatele, Praha, VMK s. r.o, 2009

[23] POSPÍŠIL, Milan, Jakub ŠIŠKA a Gustav ŠEBOR. Biobutanol jako pohonná hmota v dopravě. Biom.cz [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/biobutanol-jako-pohonn-hmota-v-doprav.pdf

[24] Kim, S., Environmental aspects of ethanol derived from no-tilled corn grain: Onrenewable energy consumption and greenhouse gas emissions, Biomass and Bioenergy 28, 2005, 475–489

[25] PN 10--PLP--07. Kvasný líh - bioethanol. 2007. Dostupné z: http://www.plp.cz/data/PND_bioethanol.pdf

[26] Koc M., Sekmen y., E85 and fuel efficiency: An empirical analysis of 2007 EPA test data, Energy Policy 36, 2008, 1233–1235

[27] Chemické listy: VYUŽITÍ BIOETHANOLU JAKO PALIVA VE SPALOVACÍCH MOTORECH [online]. 2011 [cit. 2014-03-31]. ISSN 1213-7103. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_02_122-128.pdf

[28] Roberts, M.C., The effects of ethanol: Unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine, Renewable Energy 34, 2009, 2101–2106

[29] Alternativní pohoné hmoty: Zkapalněný zemní plyn - LNG. [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://www.cng.cz/cs/alternativni-pohonne-hmoty-126/

[30] 2003/30/ES. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2003/30/ES: o podpoře užívání biopaliv nebo jiných obnovitelných pohonných hmot v dopravě. 2003. Dostupné z: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2003L0030:20100401:CS:PDF

[31] 2009/28/ES. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/28/ES: o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES. 2009. Dostupné z: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:c

SEZNAM TABULEK:

Tab 1: Kvalitativní parametry bezolovnatého automobilového benzinu [9] 14
Tab 2: Kvalitativní parametry LPG [7] 17
Tab 3: Složení bioplynu [18] 22
Tab 4: Přehled vlastností paliv [2] 29
Tab 5: Parametry měřeného motoru 39
Tab 6: Parametry vířivého dynamometru 40
Tab 7: Technické parametry analyzátoru VMK [22] 43
Tab 8: Maximální výkon a krouticí moment daných paliv při plném zatížení 52

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obr. 1: Produkce emisí při výrobě fosilních paliv a biopaliv [19] 21
Obr. 2: Proces výroby bioplynu [2] 23
Obr. 3: Blokové schéma výroby bioetanolu z biomasy obsah. jednod. cukry [28] 25
Obr. 4: Blokové schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující škrob [28] 26
Obr. 5: Blokové schéma výroby bioetanolu z lignocelulosové biomasy [28] 26
Obr. 6: Složení škodlivých složek emisí u zážehového motoru 31
Obr. 7: Závislost produkce emisí na λ [12] 32
Obr. 8: Účinek CO na lidské zdraví [3] [4] 33
Obr. 9: Vířivý dynamometr 40
Obr. 10: Jednotka EUROPECON [21] 41
Obr. 11: Diagnostický systém VAG-COM 41
Obr. 12: Osciloskop Autoskop II 42
Obr. 13: Emisní analyzátor VMK 42
Obr. 14: Palivová nádrž na plošinové váze 44
Obr. 15: Navržený jízdní cyklus 44
Obr. 16: Emise CO (g) v jízdním cyklu 45
Obr. 17: Emise CO_2 (g) v jízdním cyklu 45
Obr. 18: Emise HC (g) v jízdním cyklu 46
Obr. 19: Emise NOx (g) 46
Obr. 20: Spotřeba paliva (l) v jízdním cyklu 47
Obr. 21: Vnější otáčková charakteristika - Natural 95 49
Obr. 22: Vnější otáčková charakteristika - E85 50
Obr. 23: Upravená doba vstřiku paliva u E85 50
Obr. 24: Vnější otáčková charakteristika - B85 51
Obr. 25: Emise CO (%) 52