

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BRNO 2015

ONDŘEJ ČECH



**Analýza výstupních parametrů zážehového motoru
provozovaného na etanol a benzín**

Diplomová práce

Vedoucí práce:

Ing. Adam Polcar, Ph.D.

Vypracoval:

Bc. Ondřej Čech

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci na téma „*Analýza výstupních parametrů zážehového motoru provozovaného na etanol a benzín*“ vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat především mému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Adamovi Polcarovi, Ph.D. za velmi přínosné rady, podněty a poskytnuté informace při konzultacích a během praktického měření, které jsem mohl následně využít při zpracování diplomové práce. Také bych chtěl dále poděkovat panu Ing. Michalovi Juklovi, panu doc. Ing. Jiřímu Čuperovi, Ph.D. a panu Ing. Vítu Podlípnému za pomoc při realizaci praktického měření.

ABSTRAKT

Diplomová práce na téma „Analýza výstupních parametrů zážehového motoru provozovaného na etanol a benzín“, se zaměřuje na problematiku provozování motorových vozidel na palivové směsi etanolu a benzínu. Teoretická část popisuje využívání biopaliv jako paliva pro spalovací motory v automobilovém průmyslu a zároveň se zaměřuje na využívání bioetanolu, uplatňovaného jako alternativní palivo pro zážehové motory. Praktická část je zaměřena na hodnocení výsledných změn výstupních parametrů zážehového motoru osobního automobilu provozovaného na palivo předepsané výrobcem a na palivo tvořené směsí etanolu a benzínu v poměru 1:1. Na základě výsledků praktického měření bylo zjištěno, že při spalování směsi etanolu a benzínu došlo k výraznému poklesu obsahu škodlivých emisí ve výfukových plynech, ale také i k poklesu výkonu a točivého momentu motoru ve srovnání s benzínem. Vzhledem k rozdílným vlastnostem etanolu a benzínu je nutné při spalování etanolu resp. jeho směsí zabezpečit větší množství vstřikovaného paliva. Zvýšení vstřikované dávky paliva má za následek vyšší spotřebu paliva.

Klíčová slova: biopaliva, bioetanol, benzín, zážehový motor.

ABSTRACT

Diploma thesis on "Analysis of output parameters spark ignition engine operated on ethanol and gasoline", focuses on the issue of the operate of motor vehicles on the fuel mix of ethanol and gasoline. The theoretical part describes the use of biofuels as a fuel for internal combustion engines in the automotive industry and simultaneously focuses on the use of bioethanol, applied as an alternative fuel for spark ignition engines. The practical part is focused on evaluating the resulting changes of output parameters of the spark ignition engine of a car operated on fuel specified by the manufacturer and fuel consisting of a mixture of ethanol and gasoline at a ratio of 1:1. Based on the results of practical measurement it has been found, that during combustion mixtures of ethanol and gasoline has decreased significantly the content of harmful emissions in the exhaust gases, but also to a decline in performance and torque of the engine in comparison with gasoline. Due to the different properties of ethanol and gasoline is required when combustion of ethanol resp. its mixture to secure greater quantity of fuel injected. The increase of injected fuel results in higher fuel consumption.

Keywords: biofuels, bioethanol, gasoline, spark ignition engine.

OBSAH

1 ÚVOD.....	9
2 MOTOROVÁ PALIVA PRO ZÁŽEHOVÉ MOTORY	10
2.1 Automobilový benzín.....	10
2.1.1 Kvalitativní parametry automobilových benzínů	12
3 VYUŽÍVÁNÍ BIOPALIV JAKO PALIVA PRO SPALOVACÍ MOTORY.....	17
3.1 Historie biopaliv	17
3.2 Biopaliva a Evropská unie	18
4 VYUŽÍVÁNÍ BIOETANOLU JAKO PALIVA.....	24
4.1 Historie bioetanolu	24
4.2 Světová produkce bioetanolu	25
4.3 Výroba bioetanolu	28
4.3.1 Výroba bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry	28
4.3.2 Výroba bioetanolu z biomasy obsahující škrob.....	30
4.3.3 Výroba bioetanolu z lignocelulózové biomasy	31
4.4 Vlastnosti bioetanolu.....	32
4.5 Směsi bioetanolu	35
5 CÍL PRÁCE.....	38
6 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ.....	39
6.1 Metodika měření	39
6.1.1 Technické údaje a parametry automobilu.....	39
6.1.2 Použitá technická zařízení	40
6.1.2.1 Výkon a točivý moment.....	43
6.1.2.2 Spotřeba paliva	45
6.1.2.3 Emise	46
6.1.2.4 Ostatní použitá technická zařízení	47
6.1.3 Příprava měření	51

6.1.4 Popis měření	54
6.1.5 Průběh měření.....	55
6.2 Metodika statistického vyhodnocení.....	56
7 VYHODNOCENÍ PRAKTICKÉHO MĚŘENÍ.....	57
7.1 Vyhodnocení výkonu a točivého momentu.....	57
7.2 Vyhodnocení spotřeby paliva.....	59
7.3 Vyhodnocení účinnosti motoru	60
7.4 Vyhodnocení emisí.....	61
7.4.1 Oxid uhelnatý CO.....	61
7.4.2 Nespálené uhlovodíky HC.....	62
7.4.3 Oxid uhličitý CO ₂	63
7.4.4 Kyslík O ₂	64
8 DISKUZE	65
9 ZÁVĚR	69
10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	70
SEZNAM OBRÁZKŮ	74
SEZNAM TABULEK.....	76
PŘÍLOHY	77

1 ÚVOD

Fosilní paliva, mezi která patří ropa, uhlí a zemní plyn, jsou neobnovitelné zdroje, které mají omezenou zásobu. Zásoby těchto přírodních zdrojů jsou ovlivňovány zejména jejich spotřebou. Typickým ukazatelem spotřeby těchto zásob je využití ropy v dopravě. Z důvodu přibývajících množství dopravních prostředků má spotřeba ropy v tomto odvětví stoupající tendenci. Odhady zásob ropy jsou revidovány s přibýváním geologických dat a znalostmi o ložiscích, ale také podle změn v ekonomických podmínkách na trhu. Je tedy možné, že daná společnost vlastní ropná pole, musí přehodnotit svůj stav zásob na nižší, v závislosti na poklesu ceny ropy a stavu ropných ložisek. Obecně se hovoří o odhadu ropných rezerv do roku 2050. Těžba ropy bude pokračovat pravděpodobně i poté, ale i tak se bude neustále snižovat, jelikož technologicky bude čím dál náročnější těžít ropu z těžko dostupných lokalit a tomu bude odpovídat i mnohem vyšší cena ropy.

V závislosti na snižování ropných zásob je nutné hledat nové druhy alternativních paliv nahrazujících ropu. Mezi paliva, která by mohla být náhradou, můžeme v současnosti zahrnout biopaliva. Jako biopaliva označujeme paliva, která jsou z části nebo zcela vyrobena z obnovitelných zdrojů, tedy formou, která je z hlediska ekologie životního prostředí významně ohleduplná. Zejména ve smyslu snižování produkce skleníkových plynů spalovacími motory. Obnovitelnými zdroji energie jsou energie větru, slunečního záření, geotermální energie, energie vody, půdy, vzduchu, biomasy, skládkového plynu, kalového plynu a bioplynu. Biopaliva jsou paliva, která vznikají cílenou výrobou či přípravou ze zemědělských plodin, z biomasy a z biologického odpadu.

V současné době se biopaliva uplatňují jako alternativní paliva pro zážehové a vznětové motory. Jedním z nejvýznamnějších biopaliv pro zážehové motory je z hlediska produkce bioetanol. V případě vznětových motorů jsou využívány biopaliva, jako jsou např. bionafta, která je tvořena metylestery mastných kyselin (FAME), resp. metylesterem řepkového oleje (MEŘO) a také směsná motorová nafta, která obsahuje 30 % bionafty.

2 MOTOROVÁ PALIVA PRO ZÁŽEHOVÉ MOTORY

Většina spalovacích motorů je provozována na paliva vyrobená z ropy. V případě vznětových motorů je nejvíce využívána motorová nafta. Z hlediska zážehových motorů jsou nejvíce uplatňována paliva, jako jsou např. benzín, petrolej, propan-butan, methan (zemní plyn), dřevoplyn, alkoholy apod. Z těchto zmíněných paliv je pro zážehové motory nejčastěji používán benzín.

2.1 Automobilový benzín

Automobilový benzín se stejně jako většina ostatních motorových paliv skládá hlavně z uhlíku a vodíku. Při jejich spalování s kyslíkem se uvolňuje tepelná energie, která se následně, s větší či menší účinností, přeměňuje na energii mechanickou (ČESKÁ RAFINÉRSKÁ, a.s., 2015).

Automobilový benzín je směsí převážně ropných uhlovodíků vroucí v rozmezí zhruba 30 až 210 °C se 3 až 12 atomy uhlíku v molekule. K tomu, aby tuto směs bylo možné použít jako motorové palivo pro zážehové motory, je nutné splnit další kvalitativní požadavky (ČESKÁ RAFINÉRSKÁ, a.s., 2015), viz kapitola 2.1.1.

Benzín se začal používat jako motorové palivo koncem 19. století. Šlo o produkt získaný destilací ropy, jehož vlastnosti byly dány náhodnou skladbou uhlovodíků v závislosti na původu zpracovávané ropy. S postupným vývojem a zdokonalováním zážehového motoru konstruktéři zjistili, že jednotlivé chemické složky benzínu mají vliv na výkon motoru. To především z hlediska vztahu k průběhu hoření komprimované směsi benzínových par se vzduchem ve válci motoru. Což se následně projevovalo větším či menším sklonem k předčasným detonacím, tzv. „klepání“ motoru. Jako měřítko tohoto jevu bylo zavedeno oktanové číslo. A právě jeho zvyšování se ukázalo jako nejvýznamnější předpoklad dosažení vyššího výkonu zážehového spalovacího motoru. Oktanové číslo se upravovalo zejména složením automobilového benzínu a také použitím vhodných přísad. Vývoj kvality automobilových benzínů až dodnes představuje různé variace a kombinace těchto variant, doplněné neustále rostoucími požadavky na snižování plynných emisí a ochranu životního prostředí. V souvislosti se zdokonalující se konstrukcí spalovacích motorů a rostoucím kompresním poměrem,

požadavky na antidetonační vlastnosti, tj. oktanová čísla, postupně rostly a ustálily se na současné úrovni v polovině sedmdesátých let (ČESKÁ RAFINÉRSKÁ, a.s., 2015).

Během osmdesátých let došlo ke snižování obsahu olova, na jehož bázi byla nepoužívanější antidetonační přísada, v automobilových benzínech. Z původních hodnot dosahujících až téměř jeden gram olova na litr, byl u nás jeho obsah postupně snižován až na 0,15 g Pb.l⁻¹. Dosažení požadovaného oktanového čísla bez použití antidetonačních aditiv zejména olovnatých, umožnil rozvoj rafinérského průmyslu (ČESKÁ RAFINÉRSKÁ, a.s., 2015).

V roce 1985 byla v ČR zavedena výroba bezolovnatého benzínu BA-91. Koncem 80. let se z bezolovnatého benzínu s oktanovým číslem 91 přešlo na tzv. Eurosuper s oktanovým číslem 95. Podíl bezolovnatých benzínů v ČR rychle rostl, zejména v souvislosti se zavedením katalyzátorů výfukových plynů. Pro tyto katalyzátory bylo nevhodné použití olovnatých paliv, především z důvodu jejich agresivního působení. Od 1. 1. 2001 je používání olovnatých automobilových benzínů na území ČR zcela zakázáno, stejně jako v ostatních zemích EU. V současné době je zdaleka nejrozšířenějším používaným typem automobilového benzínu Natural 95 Super – jeho spotřeba představuje zhruba 4/5 celkové spotřeby automobilových benzínů na našem trhu (ČESKÁ RAFINÉRSKÁ, a.s., 2015).

Nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím kvalitu automobilových benzínů jsou v současnosti rostoucí požadavky na ochranu životního prostředí. To se projevuje zejména ve snižování obsahu aromatických uhlovodíků, benzenu, síry a omezování těkavosti automobilového benzínu.

V současné době musí vyráběné automobilové benzíny vyhovovat požadavkům na maximální obsah aromatických uhlovodíků ve výši 35 % objemu paliva (dále jen obj.), obsah benzenu nesmí překročit 1 % obj. a obsah síry musí být na limitní hranici 10 mg.kg⁻¹ (ČESKÁ RAFINÉRSKÁ, a.s., 2015).

2.1.1 Kvalitativní parametry automobilových benzínů

V současné době jsou na trhu v České republice nabízeny druhy automobilových benzínů, které jsou označovány obchodním názvem, dle konkrétních výrobců a distributorů. Tyto druhy benzínu jsou určeny jako palivo pro zážehové motory a jsou definovány normou ČSN EN 228, viz Tabulka 1.

Tabulka 1 Základní kvalitativní parametry bezolovnatých benzínů podle ČSN EN 228 (VLK, 2006)

		NATURAL SPECIAL BA-91 S	NATURAL SUPER BA-95 N	NATURAL SUPER PLUS BA-98 N
Oktanové číslo VM	min.	91	95	98
Oktanové číslo MM	min.	88	85	88
Hustota při 15 °C - kg/m ³		715 až 755	725 až 780	725 až 780
Obsah olova - g.l ⁻¹	max.	0,07-0,15	0,005	0,005
Destilační zkouška:				
odpař. množství při 70 °C - léto		15 až 45	15 až 45	15 až 45
- % obj. - zima		15 až 47	15 až 47	15 až 47
opař. množství při 100 °C - léto		40 až 70	40 až 70	40 až 70
- % obj. - zima		43 až 70	43 až 70	43 až 70
opař. množství při 180 °C	min.	85	85	85
- % obj.				
konec destilace - °C	max.	215	215	215
Tlak nasycených par - kPa: - léto		35 až 70	35 až 70	35 až 70
- zima		55 až 90	55 až 90	55 až 90
Index těkavosti: - léto	max.	950	950	950
- zima	max.	1150	1150	1150
Oxidační stabilita - minuty	min.	360	360	360
Obsah celkové síry - mg.kg ⁻¹	max.	10	10	10
Obsah pryskyřičných látek	max.	5	5	5
- mg.100 cm ⁻³				
Obsah benzenu - % obj.	max.	1	1	1

Pod obchodním označením BA-91 Speciál je dodáván bezolovnatý automobilový benzín, který je vhodný pro provoz starších typů motorů s netvrzenými ventilovými sedly. Benzín BA-91 Speciál obsahuje aditiva typu VSRPA, proti nadměrnému opotřebením ventilových sedel (VSRPA – Valve Seat Recession Protection Additive) (VLK, 2006). Mezi další bezolovnaté automobilové benzíny patří Super Plus 98, který má vyšší oktanové číslo a tím tedy vyšší odolnost proti detonačnímu spalování.

Natural 95 resp. SUPER BA-95, je nejrozšířenější bezolovnatý benzín s oktanovým číslem 95. Používá se do zážehových vozidel s katalyzátorem i bez katalyzátoru. A také do zážehových motorů, které jsou přizpůsobené pro spalování bezolovnatých benzínů.

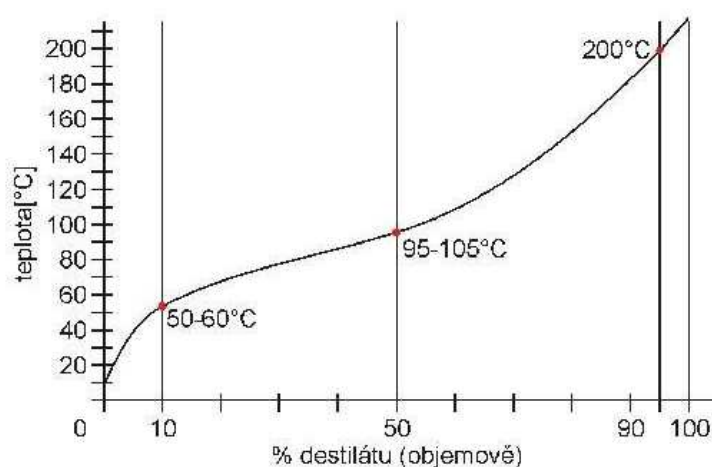
U současných zážehových motorů vyplývá z legislativy požadavek na snižování obsahu škodlivin ve výfukových plynech. Splnění tohoto požadavku je možné pouze při použití třicestného katalyzátoru a zabezpečení optimální směsi paliva se vzduchem. Směs paliva se vzduchem je dána stechiometrickým poměrem (tzn. poměrem, který určuje teoreticky dokonalé spálení uhlíku a vodíku obsaženého v benzínu) (VLK, 2006).

Parametr stechiometrického poměru pro zážehový motor, definuje požadovanou hodnotu 14,7 : 1. Z tohoto poměru je zřejmé, že je pro dokonalé spálení směsi 1 kg benzínu zapotřebí 14,7 kg vzduchu. Stechiometrický poměr směsi jiných paliv se vzduchem se liší od hodnoty uvedené pro benzín. Příkladem je použití alkoholů. Pro etylalkohol 9,0 : 1 a pro metylalkohol 6,5 : 1. Odlišnost těchto hodnot je způsobena obsahem vázaného kyslíku v molekule alkoholu a nepotřebují tedy k dokonalému spálení tolik vzduchu. Pro zabezpečení stechiometrického poměru zážehových motorů je nutné elektronicky řízené vstřikování benzínu, které pracuje na základě komunikace a přijímání signálů z tzv. lambda sondy (VLK, 2006).

Zažehnutí směsi paliva se vzduchem, se provádí pomocí elektrické jiskry, která vzniká mezi elektrodami zapalovací svíčky. Zažehnutí směsi je možné pouze v případě, že v okolí elektrod je vhodně bohatá směs par paliva a vzduchu. Příliš bohatou směs vzduchu a kapiček paliva, tak jako i příliš chudou směs není možné zapálit. Zvláště při startování studeného motoru je obtížné zajistit, aby v okamžiku přeskočení jiskry byla mezi elektrodami vhodně bohatá směs. Výrazným faktorem ovlivňujícím startovatelnost studeného motoru je z hlediska použitého benzínu obsah nízkovroucích frakcí. Po nastartování motoru je odpařování kapiček benzínu podporováno stykem kapiček s teplými částmi motoru, jako jsou stěny sacího potrubí ohřívané kontaktem s výfukovým potrubím nebo ohřevem chladicí kapalinou, sacím kanálem, sacím ventilem a stěnami spalovacího prostoru. Výrazně se na odpařování podílí i vířivý pohyb kapiček paliva ve vzduchu ohříváném od stěn spalovacího prostoru a kompresním teplem při kompresním zdvihu (VLK, 2006).

Na základě výsledků experimentálních prací je prokázáno, že se spolehlivě odpaří i uhlovodíky s bodem varu okolo 200 °C. Odpařování frakcí paliva s vyšším bodem varu ve válci motoru napomáhá chlazení stěn válce a dna pístu, přičemž se zvyšuje i hmotnostní množství vzduchu dopraveného do válce motoru a tedy i objemová účinnost motoru (VLK, 2006). Z toho je zřejmé, že automobilové benzíny musí obsahovat frakce lehce odpařitelné, které zabezpečují startovatelnost motoru a nesmí obsahovat frakce s bodem varu nad 200 °C, které by se neodpařily a mohly by zředit olejovou náplň motoru.

Požadované frakční složení je zjišťováno destilační zkouškou, při níž se získá tzv. destilační křivka, viz Obrázek 1.



Obrázek 1 Destilační křivka motorového benzínu pro silniční vozidla (VLK, 2006)

Podíl paliva, který se odpařuje do 70 °C, by měl být na jedné straně tak velký, aby motor bezpečně nastartoval i při studeném startu v zimě, a na druhé straně ale nevzniklo nebezpečí tvorby parových polštářů, když je motor zahřátý. Do 180 °C by mělo být teoreticky odpařeno asi 90 % obj. paliva, to z důvodu zabránění zředění mazacího oleje neodpařeným palivem při studeném startu (VLK, 2006).

Jak již bylo zmíněno, z důvodu zabezpečení startovatelnosti motoru, nemá být hodnota teploty, při které se odpaří 10 % paliva vyšší než 60 °C. Je-li teplota varu příliš nízká (méně než 30 °C), vytvářejí se parové bubliny. Teplota desetiprocentního bodu se upravuje v závislosti na ročním období (VLK, 2006).

Střed destilační křivky (teplota předestilování 50 % paliva, „padesátiprocentní bod“) rozhoduje o tom, jak rychle se motor ohřeje na požadovanou provozní teplotu a

jak bude reagovat na přechodové režimy, zvláště u studeného motoru. Tato teplota nemá být vyšší než 95 °C až 105 °C. Čím vyšší je tato teplota, tím pomaleji se při akceleraci zvyšují otáčky motoru a také se zvyšuje spotřeba při delší jízdě. Důvodem je skutečnost, že tento obsah benzínu („padesátiprocentní bod“) se pomaleji odpařuje a následně se dostává nespálené palivo do výfukového potrubí. Teplota padesátiprocentního bodu ovlivňuje i rychlost ohřevu studeného motoru po nastartování. Při vysoké teplotě tohoto bodu se značná část paliva neodpaří a ve formě kapiček se dostává na studenou stěnu válce, kde smývá olejový film. To vede k značnému nárůstu opotřebení pístních kroužků a stěn válce (VLK, 2006).

Důležitý význam má také hodnota teploty, při které se odpaří 90 % paliva. A také hodnota teploty na konci destilace. Aby za provozu motoru nenastávalo trvalé ředění olejové náplně motoru, kontroluje se teplota, při níž se predestiluje 95 % paliva a teplota, při níž se predestiluje celkové množství benzínu. Devadesátiprocentní bod by neměl překročit hodnotu vyšší než 180 °C a konec destilace 210 °C (VLK, 2006).

Nebezpečné ředění olejové náplně motoru nastává, jestliže benzín obsahuje větší množství frakcí s příliš vysokým bodem varu. I u motoru zahřátého na provozní teplotu neshoří uhlovodíky s bodem varu vyšším než 200 °C. Tyto částice se nestačí v průběhu kompresního zdvihu úplně odpařit. Jejich kapičky jsou zasaženy plamenem, na povrchu částečně zkrakují a vírem jsou vyneseny na stěnu válce, kde se mísí s olejovou vrstvou a dostávají se do klikové skříně motoru. Vzhledem k vysoké teplotě bodu varu se z oleje již neodpaří a způsobují trvalé snížení viskozity oleje. Částečně krakované kapičky paliva způsobují černé zbarvení motorového oleje (VLK, 2006).

Se snížením obsahu olova v palivu značně klesá i oktanové číslo paliva. Je proto nutné získat již při výrobě paliva více podílů odolných proti detonačnímu hoření reformováním, polymerizací a alkylací a přidat je k bezolovnatému benzínu. Potřebné oktanové číslo se získá teprve přidáním prostředků proti detonačnímu hoření (antidetonačtorů) (VLK, 2006).

Detonační spalování je charakterizováno místním vzplanutím částic směsi paliva se vzduchem, které má charakter detonace. Tlaková vlna vyvolaná detonačním spalováním se šíří spalovacím prostorem rychlostí zvuku a při dopadu na stěny spalovacího prostoru

na dno pístu vyvolává rázy v pístní skupině a klikovém mechanismu. Navenek se projevuje detonační spalování hlukem, tzv. „klepáním motoru“, (VLK, 2006).

Vznik detonačního spalování při maximálním zatížení motoru obecně ovlivňuje tvar a uspořádání spalovacího prostoru, velikost kompresního poměru, předstih zážehu i zakarbonování spalovacího prostoru. V rozhodující míře však ovlivňuje vznik detonačního spalování odolnost paliva vyjádřená oktanovým číslem.

Míru odolnosti paliva proti detonačnímu hoření vyjadřuje oktanové číslo (OČ). Oktanové číslo vyjadřuje procentuální objemový podíl izooktanu C_8H_{18} (oktanové číslo OČ = 100) a n-heptanu C_7H_{16} (oktanové číslo OČ = 0) ve směsi, která má stejnou odolnost proti vzniku detonací při spalování, jako zkoušené palivo (VLK, 2006).

Oktanové číslo se měří tzv. výzkumnou metodou VM někdy také RON (Research Octane Number) a motorovou metodou MM nebo MON (Motor Octane Number). Obě metody pro stanovení oktanového čísla, se zjišťují na zkušebním jednoválcovém motoru s předepsanými a proměnlivými provozními parametry (VLK, 2006)

U zážehových motorů s elektronickým řízením motoru se pomocí čidel klepání (detonačního spalování) udržuje pracovní režim motoru těsně pod hranicí vzniku detonačního spalování. V tomto režimu pracuje zážehový motor s maximální účinností. Základním regulovaným parametrem je úhel předstihu zážehu (VLK, 2006).

Zážehové motory jsou kvalitativně hodnoceny i z hlediska jejich produkování škodlivých plynů. V důsledku snižování obsahu škodlivých plynů uvolňovaných do ovzduší, je celosvětový tlak zejména formou legislativních opatření, na zavádění nových druhů paliv a technologií. V rámci celosvětového snižování škodlivých plynů jsou jedním z možných řešení biopaliva.

3 VYUŽÍVÁNÍ BIOPALIV JAKO PALIVA PRO SPALOVACÍ MOTORY

3.1 Historie biopaliv

První spalovací motory automobilů byly zkonstruovány pro pohon na biopaliva. Rudolf Diesel představil v roce 1898 v Paříži motor na olej z burských oříšků, a Henry Ford zase zkonstruoval motor poháněný bioetanolem vyrobeným z kukuřice (TRNKA, 2014).

Historie používání biopaliv v ČSR začíná po první světové válce, kdy se začaly prodávat lihobenzínové směsi. Od roku 1922 bylo v ČSR pod názvem „DYNAKOL“ prodáváno palivo s obsahem 50 % etanolu (kvasný líh), 30 % benzenu a 20 % benzínu. Do roku 1932 konkuroval tento výrobek automobilovému benzínu, obsahující jen ropný benzín. V letech 1926 až 1936 bylo v Československu zavedeno ze zákona povinné mísení 20 % bezvodného etanolu s benzínem. Další etapa využití biopaliv byla zahájena v roce 1992 tzv. olejovým programem. Tento program byl zaveden pro podporu výroby metylesteru řepkového oleje v rámci cíleného osazování orné půdy řepkou olejnou. Od roku 1997 se přidávalo minimálně 30 % MEŘO do motorové nafty. V roce 1999 se dařilo v ČR vyrábět a prodávat cca 170 až 260 tisíc tun směsné motorové nafty ročně. Směsná motorová nafta byla v prodeji u většiny čerpacích stanic a vzhledem k ceně, která byla menší než u motorové nafty, šla velmi dobře na odbyt. Tato situace však skončila vstupem ČR do Evropské unie, kdy se zrušila podpora ve formě dotace pro výrobu MEŘO (TRNKA, 2014).

3.2 Biopaliva a Evropská unie

Základní legislativní opatření pro využívání biopaliv jsou definována těmito směnicemi Evropského parlamentu a Rady evropské unie:

- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů, jejímž cílem je stanovení společného rámce pro podporu energie z obnovitelných zdrojů. Dále stanoví závazné národní cíle, pokud jde o celkový podíl energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie a podíl energie z obnovitelných zdrojů v dopravě. Směrnice stanoví pravidla týkající se statistických převodů mezi členskými státy, společných projektů členských států a členských států a třetích zemí, záruk původu, správních postupů, informování a vzdělávání a přístupu energie z obnovitelných zdrojů k distribuční soustavě. Stanoví kritéria udržitelnosti pro biopaliva a biokapaliny (EUR-Lex, 2009).
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/30/ES ze dne 23. dubna 2009, kterou se mění směrnice 98/70/ES, pokud jde o specifikaci benzínu, motorové nafty a plynových olejů a zavedení mechanismů pro sledování a snížení emisí skleníkových plynů, a směrnice Rady 1999/32/ES, pokud jde o specifikaci paliva používaného plavidly vnitrozemské plavby, a kterou se ruší směrnice 93/12/EHS. Tato směrnice stanoví pro motorová vozidla a nesilniční pojízdné stroje (včetně plavidel vnitrozemské plavby, pokud se neplaví po moři), zemědělské a lesnické traktory a rekreační plavidla, pokud se neplaví po moři:
 - a) technické specifikace týkající se péče o zdraví a životní prostředí pro paliva určená pro motorová vozidla vybavená zážehovými a vznětovými motory a s přihlédnutím k technickým požadavkům na tyto motory (EUR-Lex, 2009),
 - b) cíl zaměřený na snížení emisí skleníkových plynů během životního cyklu paliva (EUR-Lex, 2009).

Implementace požadavků a principů uvedených ve výše zmíněných směrnici Evropského parlamentu a Rady evropské unie do české legislativy se týká řady zákonů. Jedná se především o následující legislativní dokumenty (MPO, 2012):

- Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění, a prováděcí předpis – nařízení vlády č. 446/2011 Sb., o kritériích udržitelnosti biopaliv, v platném znění;
- Zákon č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách, v platném znění, a prováděcí předpis, vyhláška č. 133/2010 Sb., o jakosti a evidenci pohonných hmot, v platném znění;
- Zákon č. 353/2003 Sb., o spotřebních daních, v platném znění.

V souladu s požadavky výše uvedených směrnic Evropského parlamentu a Rady evropské unie, vypracovalo Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR Národní akční plán pro obnovitelné zdroje energie (NAP), což je rozsáhlý koncepční materiál zahrnující řadu oblastí od energetiky přes zemědělství a dopravu až po výrobce motorových paliv a biopaliv. V rámci podpory využívání energie z obnovitelných zdrojů v dopravě, stanovuje povinnosti a cíle.

Zákonem č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší byly zavedeny nové podmínky a povinnosti. Povinným osobám je uloženo splnění kritérií udržitelnosti podle směrnice Evropského společenství - snížení emisí skleníkových plynů o 2 % do 31. prosince 2014, o 4 % do 31. prosince 2017 a o 6 % do 31. prosince 2020 proti roku 2010. Nově se při výrobě pohonných hmot pro dopravu povoluje použití jen takových biokomponentů (např. biomasy), která splňují kritéria snížení emisí skleníkových plynů (MPO, 2012).

Úspora emisí skleníkových plynů při používání biopaliv splňujících kritéria udržitelnosti, musí nyní činit nejméně 35 %, od roku 2017 50 % a od roku 2018 60 % úspory emisí skleníkových plynů, vznikajících v celém životním cyklu fosilního paliva. Výrobce a distributor musí splnění kritéria udržitelnosti prokázat certifikátem. Kritériem udržitelnosti biopaliva se rozumí úspora skleníkových plynů vyjádřená v % oproti ekvivalentnímu čistému fosilnímu palivu pro dopravu. Základní hodnota produkce emisí skleníkových plynů pro fosilní pohonné hmoty činí 83,8 g CO_{2ekv} / MJ.

Emise z biosložky nesmí překročit hodnotu 54,5 g CO_{2ekv} / MJ. Bioetanol a metylestery mastných kyselin (FAME / MEŘO) tento parametr splňují (MPO, 2012).

Bioetanol je spotřebován v pohonných motorových hmotách v rámci uplatňování biopaliv, buď formou nízkoprocentního přídatku do motorových benzinů v souladu s platnou legislativou a normou ČSN EN 228 a ČSN 65 6608, nebo formou vysokoprocentních bioetanolových směsí pro pohon motorů (E85 - pro zážehové motory splňující normu ČSN 65 6512 a E95 - pro vznětové motory) (MPO, 2012).

Pro pohon zážehových motorů je používán motorový benzín s příměsí bioetanolu (příp. ETBE), ve složení tak, jak je distribuován sítí čerpacích stanic na území ČR. Příměs bioetanolu splňující normu ČSN 65 6511 (nebo jeho ekvivalentu) v souladu s platnou legislativou (vyhláška č. 133/2010 Sb., o jakosti a evidenci pohonných hmot a zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší), činí od 1. 6. 2010 průměrně 4,1 % obj., max. 5,0 % obj. Pro vyšší koncentrace bioetanolu v pohonných hmotách by měla být stávající vozidla na tato paliva konstruována nebo upravena (MPO, 2012).

Pro vznětové motory jsou používány biopaliva na bázi olejů. FAME (metylester mastných kyselin), resp. MEŘO (metylester řepkového oleje), jsou spotřebovány v rámci snižování emisí skleníkových plynů, buď formou nízkoprocentního přídatku do motorové nafty, která splňuje normu ČSN EN 590 a ČSN 65 6506 (průměrně 6,0 %, max. 7,0 % FAME / MEŘO), nebo formou směsné motorové nafty dle normy ČSN 65 6508 (SMN 30 obsahuje min. 30 % obj. FAME / MEŘO). Kromě nízkoprocentních příměsí jsou využívána i paliva tvořená čistými FAME / MEŘO používanými pro pohon vznětových motorů v souladu s platnou legislativou (vyhláška č. 133/2010 Sb.) a normou ČSN EN 14214 a ČSN 65 6507. Jako nejčastější palivo vznětových motorů je používána motorová nafta B7 s příměsí FAME / MEŘO, která je distribuována na čerpacích stanicích pohonných hmot na území České republiky, podle platných právních předpisů. Pro vyšší koncentrace FAME / MEŘO v motorové naftě by vznětové motory vozidel měly být upraveny na tyto vyšší koncentrace (MPO, 2012).

Zákonem č. 91/2011 Sb., o pohonných hmotách byla stanovena povinnost mít na trhu k dispozici motorové benzíny s max. podílem bioetanolu do 5 % obj. (E5) až do konce roku 2018, a to minimálně na 50 % provozovaných čerpacích stanicích. Z čehož vyplývá, že se na čerpacích stanicích na území ČR bude do uvedeného data prodávat

především benzín s nízkoprocentním podílem bioetanolu. Zároveň se však předpokládá růst tlaku na navýšení celkového podílu biosložky v pohonných hmotách, takže je možné, že brzy přesáhne pětiprocentní hranici a bude nutné jeho splnění zajistit buď benzínem s podílem biosložky do 10 % obj. (E10), což je limit daný směrnicí 2009/30/ES i normou ČSN EN 228 nebo palivem E85 (MPO, 2012).

Pro požadovaný nárůst podílu biosložek uplatněných v dopravě jako náhrada fosilních motorových benzínů a nafty, bude nutné zajistit optimální kombinaci „běžných“ motorových paliv (dle ČSN EN 590 a ČSN EN 228) s vysoko-koncentrovanými biopalivy (E85, SMN 30, B100).

Ke splnění požadavku snížení emisí skleníkových plynů, vyplývajících ze směrnice 2009/30/ES a zákonů č. 91/2011 Sb. a č. 221/2011 je nezbytné umožnit aplikaci biosložek s vysokými hodnotami úspor emisí skleníkových plynů, tj. min. 60 % (emise do 33,5 g CO_{2ekv} / MJ) (MPO, 2012). Potenciální biosložky s vysokou hodnotou úspor emisí skleníkových plynů a jejich odhadovaná produkce jsou uvedeny v Tabulce 2.

Tabulka 2 Odhadovaná domácí dodávka biomasy v letech 2015 a 2020 (MPO, 2012)

Odvětví původu		2015		2020	
		Očekávané množství domácích zdrojů (tis. tun)	Výroba primární energie (ktoe)*	Očekávané množství domácích zdrojů (tis. tun)	Výroba primární energie (ktoe)*
A) Biomasa z lesnictví	1) přímá dodávka dřevěné biomasy z lesů a zalesněné půdy pro výrobu energie	4030	1274	4330	1383
	2) nepřímá dodávka dřevěné biomasy pro výrobu energie	3138	675	3208	690
B) Biomasa ze zemědělství a rybolovu	1) zemědělské plodiny a produkty rybolovu přímo dodané pro výrobu energie	7244	875	9426	1176
	2) vedlejší zemědělské produkty / zpracovaná rezidua a vedlejší produkty rybolovu pro výrobu energie	262	88	306	102
C) Biomasa z odpadu	1) biologicky rozložitelné složky tuhého komunálního odpadu včetně biologického odpadu	2018	125	2363	248
	2) biologicky rozložitelné složky průmyslového odpadu (včetně papíru, lepenky, palet)	73	32	73	32
	3) kaly z čistíren odpadních vod	2601	42	2601	42

*Poznámka: ktoe - kilo ton of oil equivalent = 10^3 tun olejového ekvivalentu, vyjadřující měrnou spotřebu energie. 1 toe = $4,187 \cdot 10^{10}$ Joule (JEDNOTKY.CZ, 2015).

Z hodnot uvedených v Tabulce 2 vyplývá, že největší odhadovaná produkce biomasy bude z odvětví zemědělských plodin. Z hlediska závazků ČR vůči snížení emisí skleníkových plynů v rámci dopravy, lze usuzovat, že zvýšená odhadovaná produkce biomasy, vyrobená ze zemědělských plodin, bude spotřebována jako vysokoprocenní nebo nízkoprocenní příměs do motorových paliv.

V současné době jsou v rámci biopaliv využívána zejména biopaliva první generace. Tedy biopaliva vyrobená z biomasy zemědělských plodin, jako jsou např. bioetanol, vyráběný z cukernatých resp. škrobnatých plodin (obilí, cukrové řepy, cukrové třtiny nebo brambor), a metylestery vyšších mastných kyselin (FAME), získávané zejména z řepkového oleje, potenciálně také z palmového, slunečnicového

nebo sojového oleje. Z přehledu vyjmenovaných zemědělských plodin vyplývá, že jsou to plodiny, které se využívají pro potravinářský průmysl. Z důvodu zachování výrobních komodit pro potravinářský průmysl je současným záměrem, směřovat výrobu biopaliv do odvětví biomasy, která by nebyla potravinářského původu. Za tímto účelem jsou perspektivní biopaliva druhé generace.

Biopaliva druhé generace jsou vyráběna např. z lesní biomasy, včetně těžební a zemědělského odpadu (např. sláma, seno, kukuřičné, řepkové a jiné zbytkové množství), energetických rostlin (např. křídlatka, čirok, šťovík apod.), nebo z biologického odpadu z domácností. V rámci využívání biopaliv druhé generace se diskutuje o tom, že biopaliva vyráběná na výše zmíněné bázi jsou mnohem vhodnější než stávající biopaliva první generace. Zejména díky nižším nákladům, lepší bilanci skleníkových plynů, obsažené energii a lepší kvalitě. Navíc je při jejich výrobě možné jako surovinu využívat podstatně širší spektrum biomasy nekonkurující výrobě potravin (THE UNIVERSITY OF EDINBURGH, 2007).

Další surovinou, která by nahrazovala zemědělské plodiny, jsou z hlediska výroby biopaliv speciálně modifikované řasy. Tento způsob je zaměřen na zlepšení produkce biomasy a je označován jako biopaliva třetí generace. Řasy jsou specifické zejména kvůli jejich nízké ceně, vysokému energetickému potenciálu a zcela obnovitelnému zdroji. Jedním z jejich hlavních výhod je předpoklad vyšších energetických potenciálů na plošnou míru než u konvenčních plodin. Další výhodou biopaliv vyrobených z řas je, že výsledný produkt může být výchozím produktem v širším rozsahu paliv, jako jsou např. nafta, benzín a také paliva pro tryskové motory (THE UNIVERSITY OF EDINBURGH, 2007).

Biopaliva čtvrté generace kombinují geneticky optimalizované suroviny, které jsou pěstovány za účelem zachycení velkého množství oxidu uhličitého, s geneticky syntetizovanými mikroorganismy. Biomasa obohacená uhlíkem se dále zpracovává na palivo pomocí technologie druhé generace biopaliv. Důležitým procesem je oddělení a následné ukládání uhlíku pomocí specifických technologických procesů (THE UNIVERSITY OF EDINBURGH, 2007).

4 VYUŽÍVÁNÍ BIOETANOLU JAKO PALIVA

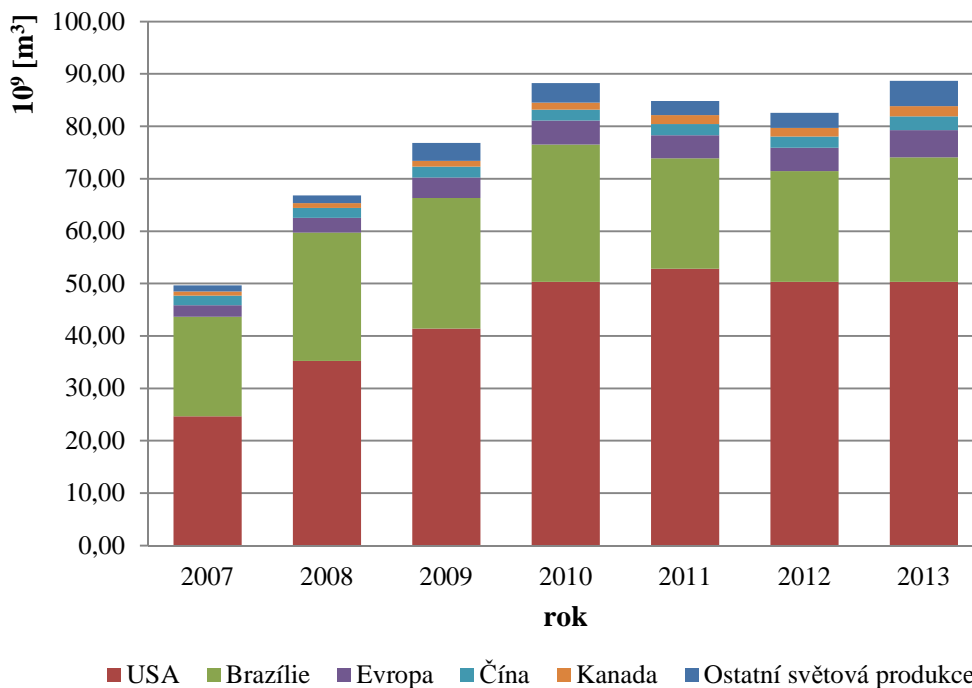
4.1 Historie bioetanolu

První spalovací motor provozovaný na bioetanol, zkonstruoval v roce 1826 americký vynálezce Samuel Morey. V roce 1860 využil bioetanol německý konstruktér Nicholas Otto pro pohon v jednom z jeho motorů. O dva roky později, resp. v roce 1862, byla v USA zavedena daň z průmyslově vyrobeného lihu, z tohoto důvodu byla produkce bioetanolu přesunuta do jiného spotřebního odvětví a v automobilovém průmyslu se začaly využívat ropné paliva. V roce 1896 zkonstruoval Henry Ford svůj první automobil, který byl provozován na bioetanol a tím učinil velký posun z hlediska využívání bioetanolu v automobilovém průmyslu. Událost z roku 1896 vedla k důležitému kroku v roce 1906, kterým bylo zrušení daně z průmyslově vyrobeného lihu, zavedené kongresem v USA. Roku 1908 byl vyroben první automobil označený názvem Ford Model T, který byl vybaven flexibilním motorem provozovaným na bioetanol, benzín nebo petrolej. Tento vůz se vyráběl až do roku 1927. V období prohibice v USA tj. 1919 – 1933, bylo nezákonné prodávat a distribuovat čistý bioetanol pro využití v dopravě. Z tohoto důvodu se zavedlo používání bioetanolu ve směsi s benzínem. V roce 1920 rostla v USA produkce a spotřeba paliva, tvořeného směsí bioetanolu s benzínem, což se odrazilo na produkci tohoto paliva ostatními zeměmi. Jedním z dalších producentů bioetanolu byla Brazílie. Brazílie pro výrobu bioetanolu zpracovávala především cukrovou třtinu. Roku 1930 byla v USA zavedena síť více než dvou tisíc čerpacích stanic, které distribuovaly benzín s obsahem 6 - 12 % bioetanolu. V období druhé světové války (1939 až 1945) se zvyšovala poptávka po pohonných hmotách a tím i poptávka po palivové směsi bioetanolu s benzínem. Většina těchto pohonných hmot byla využívána pro válečné účely. V roce 1943 byl v Brazílii přijat zákon, který udával povinnost 50 % podílu bioetanolu v benzínu. Po ukončení druhé světové války v roce 1945 se stal benzín snadno dostupným palivem, a tím se snížil zájem o bioetanol. Z pohledu USA a Evropy bylo využívání bioetanolu v automobilovém průmyslu po dobu následujících desetiletí významně sníženo. V Brazílii však pokračoval zájem o využívání bioetanolu jako paliva pro automobilový průmysl. Z důvodu vyšší ceny ropy byl v roce 1970 bioetanol opět otevřenou možností

jak snížit závislost na ropném palivu. Dalším důležitým milníkem pro vývoj výroby bioetanolu jako paliva, byl rok 1974. Ve zmíněném roce byl v USA přijat zákon o podpoře výzkumu, ohledně využívání organických materiálů na palivo. V roce 1975 zahájila Brazílie celostátní program na podporu využívání bioetanolu, který měl za následek stanovení požadovaného množství bioetanolu v benzínu v podílu 15 – 25 %. Z důvodu převládající ropné krize, uvažovala v roce 1979 brazilská vláda o uložení povinnosti nákupu benzínu na příděl. V roce 1979 Mario Garnero (předseda Národní asociace automobilových výrobců), přesvědčoval nejvýznamnější výrobce automobilů (Ford, Volkswagen, General Motors a Fiat), ke stanovení cíle, který by obnášel vyrobit jeden milion automobilů, které by byly provozovány na bioetanol. Vzhledem k tomuto cíli vyrobil Fiat první automobil provozovaný pouze na bioetanol (Fiat 147). V dalších letech bylo v Brazílii vyrobeno 90 % nových automobilů provozovaných na bioetanol. Rok 1992 byl významný z hlediska změny postojů USA vůči využívání bioetanolu v automobilovém průmyslu. Tato změna byla podpořena zákonem o alternativních palivech, který stanovuje jako alternativní palivo bioetanol s obsahem nejméně 85 % bioetanolu (ETHANOLHISTORY.COM, 2011).

4.2 Světová produkce bioetanolu

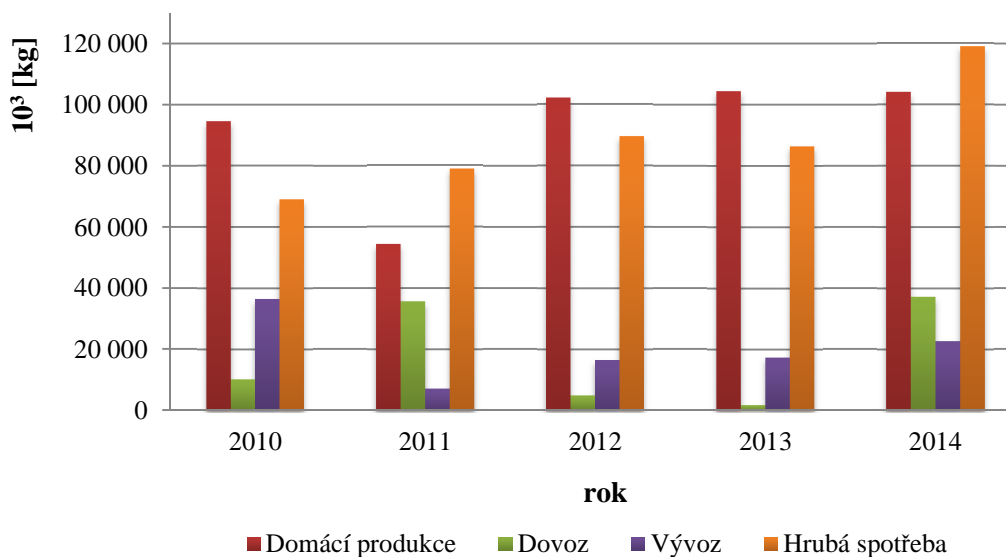
Současná produkce bioetanolu, využívaného jako biopaliva pro pohon spalovacích motorů v kombinaci s automobilovým benzínem, je rozšířena do většiny zemí na světě. Z důvodu celosvětového snižování skleníkových plynů se mnoho zemí zavázalo, k plnění emisních norem, které jsou podporovány programy na používání alternativních pohonů v automobilovém průmyslu. Z hlediska bioetanolu, který je používán jako palivová směs s benzínem, jsou jeho největšími producenty zejména Spojené státy Americké a Brazílie, viz Obrázek 2.



Obrázek 2 Světová produkce bioetanolu (RFA, 2014)

Na Obrázku 2 je graficky znázorněn postupný vývoj světové produkce bioetanolu v letech 2007 až 2013. Světová produkce bioetanolu zastoupená uvedenými kontinenty, zaznamenala výrazný růst v roce 2010, který byl způsoben, zejména zvýšenou produkcí ve Spojených státech Amerických o 17,75 % proti roku 2009 a také nárůstem produkce v Brazílii o 4,96 % meziročně. V roce 2011 došlo ke snížení produkce v Brazílii o 19,48 % proti roku 2010. Dalším vývojem z hlediska světové produkce bioetanolu, bylo zvýšení produkce Brazílií o 11,01 % v roce 2013 a také zvýšeným podílem ostatních zemí v produkci bioetanolu o 40,88 %. V rámci světové produkce bioetanolu za rok 2013, jsou největšími zástupci Spojené státy Americké, které mají 56,77 % a Brazílie, která má 26,75 % podílu světové výroby. Celkem tvoří 83,52 % světové výroby bioetanolu. Hlavní vstupní surovinou největší světové produkce bioetanolu v USA je kukuřice. Druhým největším světovým producentem bioetanolu je Brazílie, která využívá k výrobě cukrovou třtinu. Produkce bioetanolu v Evropě v rámci světové produkce za rok 2013 činí 5,85 %. Mezi další významné producenty z hlediska podílů světové produkce bioetanolu patří Čína a Kanada s hodnotami 2,97 % a 2,23 % v roce 2013 (RFA, 2014).

V České republice bylo v roce 2014 vyprodukováno 104 112. 10³ kg bioetanolu. ČR pokrývá svoji hrubou spotřebu domácí produkcí a částečně dovozem (MPO, 2015), viz Obrázek 3.



Obrázek 3 Souhrnné ukazatele bioetanolu v ČR (MPO, 2015)

Na Obrázku 3 je graficky znázorněna domácí produkce, dovoz, vývoz a hrubá spotřeba bioetanolu pro využití v dopravě, resp. pro pohon automobilů. Ve srovnání s rokem 2010 je v roce 2011 zaznamenán výrazný pokles domácí produkce o 42,44 %. V dalších letech se domácí produkce zvyšovala. Příkladem je nárůst v roce 2012 o 46,76 % proti roku 2011. V roce 2013 byla hodnota domácí spotřeby zvýšena o 2,20 % a v roce 2014 se nepatrně snížila o 0,36 %. Postupné zvyšování domácí produkce je reakcí na zvyšování hrubé spotřeby, která se také zvyšovala a to o hodnotu 27,39 % v roce 2014 proti roku 2013. Dalším parametrem, který reaguje na zvyšování hrubé spotřeby, je dovoz bioetanolu. Dovoz bioetanolu od zahraničních producentů do České republiky, se v roce 2014 zvýšil o 94,70 % a dosáhl hodnoty 37 352. 10³ kg proti roku 2013. Z hlediska dalšího parametru, kterým je vývoz bioetanolu, je hodnota bioetanolu připadající na export v roce 2014 zvýšena, a to konkrétně o 23,40 % proti roku 2013 (MPO, 2015).

4.3 Výroba bioetanolu

Výroba bioetanolu je založena na fermentačním procesu (kvašení). Nejčastějším používaným druhem kvasinek jsou kvasinky řádu *Saccharomyces cerevisiae*. Proces probíhá převážně bez přístupu vzduchu (anaerobně), přičemž provzdušnění kvasného média, hlavně na počátku fermentace, je příznivé pro nárůst buněk a jejich aktivitu. Přímě z kvasitelné jsou jen monosacharidy. Složitější sacharidy musí být před z kvašováním hydrolyzovány na monosacharidy působením vlastních enzymů mikroorganismů nebo přidáním látek, zpravidla kyselin, které způsobí hydrolyzu (HROMÁDKO et al., 2010).

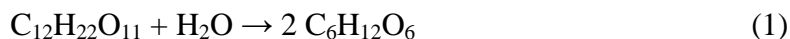
K výrobě bioetanolu lze použít suroviny obsahující jednoduché cukry nebo látky, které lze přeměnit na jednoduchý cukr, jako je škrob a celulóza. Biomasy sloužící k výrobě bioetanolu lze rozdělit do tří skupin (HROMÁDKO et al., 2010):

- biomasa obsahující jednoduché cukry (cukrová řepa a třtina),
- biomasa obsahující škrob (obiloviny, brambory, kukuřice),
- lignocelulózní biomasa (sláma, rychle rostoucí dřeviny, štěpky, odpad biologického původu, papír apod.).

4.3.1 Výroba bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry

Výchozí produkt pro výrobu bioetanolu v této skupině představuje cukrová třtina a cukrová řepa. Dvě třetiny světové produkce bioetanolu pocházejí z cukrové třtiny a jedna třetina z cukrové řepy. Cukrová třtina je pěstována v tropickém a subtropickém podnebí, zatímco cukrová řepa se pěstuje v mírném podnebí. Největším producentem cukrové třtiny je Brazílie, jejíž produkce představuje 27 % celkové světové produkce. Ve většině evropských zemí se pěstuje cukrová řepa, jejíž výnosy v podobě množství bioetanolu na hektar jsou větší než při výrobě bioetanolu z obilí. V porovnání s cukrovou třtinou přináší cukrová řepa výhody ve vyšších výnosech, větší toleranci ke klimatickým podmínkám, nižší spotřebě vody a nižší spotřebě umělých hnojiv (HROMÁDKO et al., 2010).

Výroba bioetanolu z cukrové třtiny nebo cukrové řepy je z hlediska technologického postupu nejjednodušší. Tyto suroviny obsahují sacharosu, která se přeměňuje na jednoduché cukry, a následně se odděluje a fermentuje. Tento proces je popsán rovnicí (HROMÁDKO et al., 2010):



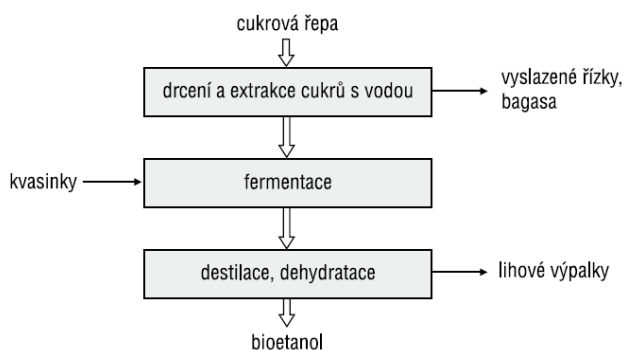
Před vlastní fermentací je cukrová třtina nebo cukrová řepa rozmělněna, cukry jsou odděleny pomocí vypírky vodou. Odpadem ze zpracování je bagasa či vyslazené řízky.

Následuje kvašení ve fermentoru, při kterém jsou vzniklé sacharidy konvertovány kvasinkami na bioetanol a oxid uhličitý. Tento proces je znázorněn rovnicí (HROMÁDKO et al., 2010):



Pro správný průběh kvašení je nutné dodržet vhodné pH (4 – 6) a odpovídající teplotu prostředí (27 – 32 °C). Za hraniční obsah bioetanolu v kvasící zápaře je považováno 12 – 13 % obj. (HROMÁDKO et al., 2010).

Další fází výroby bioetanolu je proces destilace, při kterém dochází k oddělení destilátu (etanolu) a destilačního zbytku. Následující rafinace je zaměřena na odstranění vedlejších produktů fermentace, které mohou nepříznivě působit na součásti palivového systému automobilů. Výsledkem rafinace je tzv. rafinovaný bioetanol, který obsahuje maximálně 95,5 % hmotnosti bioetanolu a zbytek je tvořen vodou. To je dáno tím, že bioetanol s vodou vytváří azeotropní směs, kterou nelze již destilací oddělit. Protože obsah vody je základním kvalitativním znakem palivového bioetanolu, je nutné použít dalších metod k jeho odvodnění. V současné době se nejčastěji používají molekulární síta (zeolity), (HROMÁDKO et al., 2010). Postup výroby bioetanolu z cukrové řepy nebo cukrové třtiny je schematicky znázorněn na Obrázku 4.

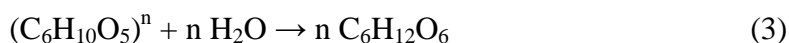


Obrázek 4 Schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry (HROMÁDKO et al., 2010)

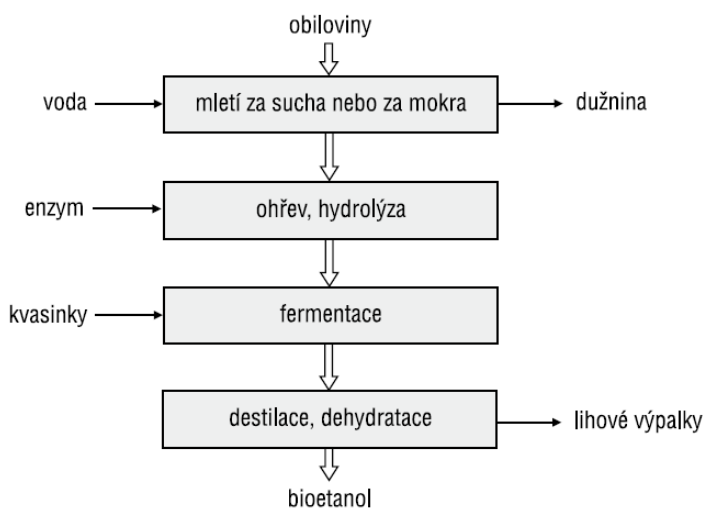
4.3.2 Výroba bioetanolu z biomasy obsahující škrob

Další surovinu, kterou lze využít k výrobě bioetanolu představuje škrob. Škrob je polysacharid, který musí být v prvním kroku výroby přeměněn na jednoduchý cukr, z kterého může anaerobním kvašením vzniknout bioetanol (HROMÁDKO et al., 2010). Tento typ vstupní suroviny představuje nejrozšířenější zdroj pro výrobu bioetanolu v Severní Americe a Evropě.

Prvním krokem výroby bioetanolu z obilovin je mechanická úprava (mletí nebo drcení) zrna. Provádí se buď za mokra, nebo za sucha. Tímto způsobem se surovina zpřístupní pro působení komplexu enzymů. Opadem jsou vláknité slupky zrn a stébla. Dalším stupněm výroby je příprava zápar. V tomto procesu dochází k bobtnání a zmazovatění zrn škrobu. Škrob je postupně převáděn působením enzymů nebo kyselou hydrolýzou na zkvasitelný sacharid (glukózu). Tento proces je popsán rovnicí (HROMÁDKO et al., 2010):



Následuje kvašení ve fermentoru, které probíhá za obdobných podmínek jako v případě výroby bioetanolu ze sacharidů, tzn. z biomasy obsahující jednoduché cukry. Shodné jsou i konečné procesy výroby surového bioetanolu (destilace, dehydratace), (HROMÁDKO et al., 2010). Postup výroby bioetanolu z biomasy obsahující škrob je schematicky zobrazen na Obrázku 5.



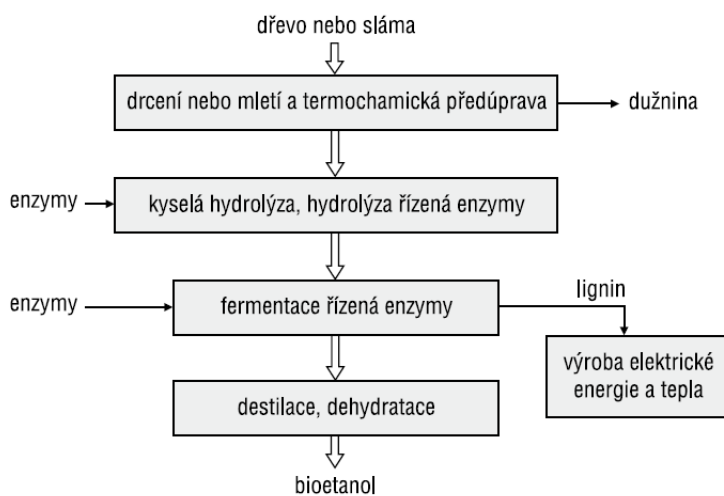
Obrázek 5 Schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující škrob (HROMÁDKO et al., 2010)

4.3.3 Výroba bioetanolu z lignocelulózové biomasy

Lignocelulózová biomasa, jako jsou zemědělské zbytky (zejména sláma), dřevo a dřevní odpad, energetické plodiny, papírový odpad atd., představuje perspektivní zdroj surovin pro výroby bioetanolu. Potencionální produkce bioetanolu ze zmíněných zdrojů je přibližně šestnáctkrát větší než současná světová produkce bioetanolu. Jedním z hojných odpadních materiálů na světě je rýžová sláma. Její roční produkce představuje 731 mil. tun, která je k dispozici po celém světě (Afrika 20,9 mil. tun, Asie 667,6 mil. tun, Evropa 3,9 mil. tun, Amerika 37,2 mil. tun a Oceánie 1,7 mil. tun). Toto množství rýžové slámy může potencionálně produkovat až 205 mld. litrů bioetanolu ročně, čímž by se rýžová sláma stala největším zdrojem suroviny sloužící k výrobě bioetanolu (HROMÁDKO et al., 2010).

Lignocelulózové energetické plodiny představují slibný výchozí produkt, kvůli vysokým výnosům, nízkým nákladům, využitelnosti méně kvalitních půd a celkové nízké environmentální zátěže.

Technologie výroby bioetanolu z lignocelulózové biomasy je poměrně komplikovaná. Proces konverze lignocelulózové biomasy na bioetanolu je nejčastěji zahajován hydrolýzou lignocelulózové biomasy na jednoduché fermentovatelné cukry, která je mnohem obtížnější než hydrolýza škrobu u biomasy pro biopaliva 1. generace. Nejperspektivnější je kyselá hydrolýza a hydrolýza pomocí enzymů (HROMÁDKO et al., 2010). Postup výroby bioetanolu z lignocelulózové biomasy je schematicky znázorněn na Obrázku 6.



Obrázek 6 Schéma výroby bioetanolu z lignocelulózové biomasy (HROMÁDKO et al., 2010)

4.4 Vlastnosti bioetanolu

Základní fyzikálně-chemické vlastnosti bioetanolu, z bioetanolu odvozeného ETBE (Ethyl tert-butyl ether) a automobilového benzínu, jsou uvedeny v Tabulce 3.

Tabulka 3 Vlastnosti paliv (ŠEBOR et al., 2006)

Vlastnosti paliva	Bioetanol	ETBE	Benzín (BA-95)
Relativní molekulová hmotnost (g. mol^{-1})	46	102	111
Oktanové číslo RON / MON	109 / 92	118 / 105	96 / 85
Cetanové číslo	11	-	8
Tlak nasycených par podle Reida (kPa)	16,5	28,0	75,0
Hustota 15 °C (g. cm^{-3})	0,80	0,74	0,75
Výhřevnost (MJ. kg^{-1})	26,8	36,0	42,5
Výhřevnost (MJ. l^{-1})	21,6	26,7	32,0
Stechiometrický poměr vzduch / palivo (hm.)	9,0	-	14,7
Bod varu (°C)	78	72	30 - 190
Zápalná teplota (°C)	425	-	> 280
Bod vzplanutí (°C)	12	-19	-35
Meze výbušnosti D / H (% obj.)	3,5 / 15	1,2 / 9,1	1,3 / 7,6

Jak je z tabulky patrné, je bioetanol z hlediska alternativního paliva pro zážehové motory perspektivní náhradou za automobilový benzín. Je to dáno především oktanovým číslem, které je vyšší než u benzínu. Z důvodu nízkého cetanového čísla, které má bioetanol, je jeho využití jako paliva pro vznětové motory neperspektivní. Avšak při použití aditiv, které zvyšují schopnost vznícení paliva, je zde možnost využití bioetanolu i vznětovými motory. Tlak nasycených par podle Reida, který je mírou těkavosti paliva, je u čistého bioetanolu velmi nízký. Velkým problémem z hlediska fyzikálně-chemických vztahů je poměr bioetanolu ve směsi s benzínem. Alkoholy totiž vytvářejí s přítomnými uhlovodíky azeotropní směs s nižším bodem varu a tedy s vyšším tlakem nasycených par. Kvůli splnění požadavků na limitní tlak par liho-benzínových směsí, musí být v benzínovém základu zmenšen podíl těkavé uhlovodíkové frakce. Větší hustota alkoholů ve srovnání s benzínem nemůže kompenzovat jejich výrazně menší energetický obsah na jednotku objemu, který odpovídá u bioetanolu cca 2/3 energetického obsahu benzínu. To se promítá do větší

spotřeby jejich směsí s benzínem. Bioetanol vyžaduje při stechiometrickém spalování méně vzduchu než benzín. To je dáno tím, že bioetanol obsahuje ve svém složení kyslík. Přítomnost kyslíku podporuje hoření palivové směsi a tím ovlivňuje zbytkové množství nespáleného paliva. To má za vliv dokonalejší spálení palivové směsi a tím i snížení produkce škodlivých emisí jako jsou např. nespálené uhlovodíky (HC) a oxid uhelnatý (CO). V závislosti na obsahu kyslíku ve složení bioetanolu je důležité zajistit stechiometrickým poměrem požadovanou dávku vstřikovaného paliva. Jak je z tabulky 5 patrné, stechiometrický poměr bioetanolu je přibližně o 5,7 kg vzduchu menší. Tedy na dokonalé spálení 1 kg bioetanolu je nutné 9 kg vzduchu. V důsledku tohoto rozdílu je zřejmé, že spotřeba paliva bude větší než u benzínu. Ve srovnání s benzínem má bioetanol nižší výhřevnost. Přibližně o 16 MJ. kg⁻¹ (ŠEBOR et al., 2006).

Jak již bylo výše zmíněno, důležitou změnou při spalování bioetanolových směsí proti benzínu, je snížení poměru mezi množstvím vzduchu a množstvím paliva při stechiometrickém spalování. Při stejném zatížení motoru, daném otevřením škrticí klapky a tedy průtokem spalovacího vzduchu, je nutné dávkovat do spalovacího prostoru motoru větší množství paliva. V opačném případě by docházelo ke spalování chudé směsi se všemi důsledky na výkon motoru, plynulý chod motoru a funkci katalytického konvertoru výfukových plynů. Určitého zvýšení množství paliva je schopna běžná, neupravená řídicí jednotka motoru v rámci zpětnovazební regulace bohatosti směsi. Dávkování požadovaného množství paliva je zajištěno řízením doby otevření elektronicky ovládaných vstřikovacích ventilů. V normálním režimu chodu motoru je požadované množství vstřikovaného paliva řízeno regulačním okruhem se zpětnou vazbou na základě informace o obsahu zbytkového kyslíku ve spalinách, měřeném tzv. lambda - sondou. Požadované množství vstřikovaného paliva v závislosti na otáčkách a zatížení motoru je odečítáno z tzv. „mapy“, která je uložena v řídicí jednotce motoru a regulační okruh toto množství pouze upravuje tak, aby bylo zabezpečeno stechiometrické spalování charakterizovaného konstantním součinitelem přebytku vzduchu $\lambda = 1$. Stechiometrické spalování je dále podmínkou pro požadovanou účinnost katalytických konvertorů zážehových motorů při odbourávání nespálených uhlovodíků a oxidu uhelnatého na jedné straně, ale i oxidů dusíku na straně druhé. Pokud korekce regulačního okruhu množství vstřikovaného paliva dosahuje dlouhodobě

vyšších kladných nebo záporných hodnot, upravuje se základní množství vstřikovaného paliva odečtené z tzv. „mapy“ korekčními konstantami tak, aby se spalování i bez zásahu regulačního okruhu blížilo stechiometrickému. Korekce základních hodnot množství paliva kompenzuje odchylky v tlaku před vstřikovacími tryskami, vlastnosti trysek, ale i odchylky v kvalitě paliva, a především stechiometrický poměr při spalování palivové směsi (MAXA, 2013).

Kromě požadovaného zvýšení množství paliva vztažené k množství nasávaného vzduchu, dochází při spalování etanolových směsí s benzínem k dalším změnám. Jak již bylo výše zmíněno, tyto změny jsou způsobeny kromě rozdílného směšovacího poměru vzduch/palivo, také nižší výhřevností etanolu a jeho relativně velkým výparným teplem (MAXA, 2013).

Výparné teplo bioetanolu je ve srovnání s benzínem vyšší a tím pádem způsobuje výraznější ochlazení palivové směsi přiváděné do motoru, čímž se dosáhne většího naplnění válců palivovou směsí. Vyšší výparné teplo bioetanolu, působí problémy při spouštění motoru za nízkých teplot. Pro odstranění tohoto nepříznivého účinku se používá pomocné zařízení pro spouštění za nízkých teplot, případně se motor spouští na benzín (HROMÁDKO et al., 2009).

Dalšími nepříznivými účinky při použití bioetanolových směsí je malé množství vody v palivu, které může být příčinou rozložení směsi bioetanolu s benzínem na dvě fáze, přičemž bioetanol přechází do vodní fáze. Bioetanol dále způsobuje korozi některých součástí, zejména součástí palivového příslušenství motoru. Tuto nepříznivou vlastnost lze zmírnit přidáním inhibitorů koroze. Působí také agresivně na některé plasty a pryže, použité především jako těsnění apod. (HROMÁDKO et al., 2009).

Mezi další výše zmíněné příměsi do benzínu, patří ETBE ((Ethyl tert-butyl ether). Výhodou ETBE je ve srovnání s bioetanolem jeho větší výhřevnost a vyšší oktanové číslo. V porovnání s alkoholy se s benzínem také lépe mísí a co je důležité, vzniklá směs je stabilní. Vysoké oktanové číslo éterů umožňuje reformulaci benzínu, tzn. snížení obsahu aromátů (ŠEBOR et al., 2006).

4.5 Směsi bioetanolu

Využití bioetanolu lze v současné době najít ve směsných palivech, kde obsah bioetanolu činí až 5 % (dáno požadavky Evropské Unie). V některých zemích dosahuje podíl až 25 % (Brazílie), což umožňuje snížit dovoz ropy a současně ekonomicky zhodnotit zemědělské přebytky.

V rámci distribuce biopaliv pro zážehové motory, jsou v České republice nabízeny následující druhy směsí tvořených bioetanolem nebo ETBE (Ethyl tert-butyl ether) (ČAPPO, 2014):

- automobilový benzín dle normy ČSN EN 228 s obsahem bioetanolu do 5 % V/V, pod obchodním označením E5;
- automobilový benzín dle normy ČSN EN 228 s obsahem bioetanolu do 10 % V/V, pod obchodním označením E10 (v ČR zatím omezeně);
- palivo E85 dle normy ČSN 65 6511, tvořené směsí 85 % bioetanolu a 15 % automobilového benzínu (dle ročního období, např. zimní směs obsahuje min. 70 % bioetanolu).

ETBE je používán jako přísada do automobilových benzínů, která zvyšuje obsah kyslíku a tím i oxidační číslo výsledného paliva. V roce 2013 bylo na trh v ČR dodáno 1570 tis. tun automobilového benzínu a do něj bylo přidáno 83 tis. tun bioetanolu a 9,1 mil. litrů ETBE (ČAPPO, 2014).

Z hlediska distribuce dalších paliv s obsahem bioetanolu je v ČR využívána (zatím jen omezeně), směs bioetanolu označená jako E95, která je tvořena směsí 95 % bioetanolu a 5 % přísad podporující vznětlivost. Tento druh paliva je určen pro vznětové motory.

Na Obrázku 7 jsou zobrazeny palivové směsi, používané jako palivo pro zážehové motory. Tyto palivové směsi jsou tvořeny nízkoprocentní nebo vysokoprocentní směsí bioetanolu s benzínem popř. s vodou.

Code	E5	E10	E15	E25	E85	E100
Composition	max 5% anhydrous ethanol min 95% gasoline	max 10% anhydrous ethanol min 90% gasoline	max 15% anhydrous ethanol min 85% gasoline	max 25% anhydrous ethanol min 75% gasoline	max 85% anhydrous ethanol min 15% gasoline	~5.3% water 100% Brazilian hydrous ethanol (contains on average 5.3 vol.% water)
Countries	Western Europe today	USA today (Western Europe in near future)	USA EPA approval cars > 2000	Brazil	USA / Europe	Brazil

Gasoline blends for use in regular cars
Flex Fuel Vehicles

Obrázek 7 Druhy palivových směsí (DAILYTECH, 2013)

Pod označením E5 je uváděna na trh palivová směs s maximálním obsahem bioetanolu do 5 % a minimálním obsahem benzínu od 95 %. Další směsí je směs označována pod názvem E10, která je tvořena maximálním obsahem 10 % bioetanolu a minimálním obsahem 90 % benzínu. Směs označována jako E15, je tvořena maximálním podílem 15 % bioetanolu a 85 % benzínu. Další směsí používanou v automobilech je směs označená jako E25, která je tvořená podílem maximálně 25 % bioetanolu a minimálně 75 % benzínu. Z hlediska využívání tzv. vysokoprocentních směsí bioetanolu, jsou uplatňovány směsi E85 tzn., že podíl bioetanolu je stanoven maximálně do 85 % a podíl benzínu od 15 %, a směsi E100, která obsahuje 100 % vodného bioetanolu s podílem v průměru 5,3 % obj. vody.

Použití vysokoprocentních směsí bioetanolu s benzínem, konkrétně směsí E85 a více, je podmíněno úpravou technických parametrů a hodnot vozidla. Vozidla, která využívají ke svému provozu vysokoprocentní palivové směsi bioetanolu s benzínem jsou celosvětově nazývána jako tzv. „Flexible Fuel Vehicles - FFVs“. Tento typ vozidel je specifický konstrukčními rozdíly, které jsou dány diferencí mezi zážehovými motory používajícími jako palivo bioetanol a motory používajícími benzín (ŠEBOR et al., 2006).

Mezi hlavní rozdíly těchto motorů patří (ŠEBOR et al., 2006):

- písty s rozdílným tvarem spalovacího prostoru,
- vyšší kompresní poměr,
- korozivzdorné (např. pocínované) palivové nádrže,
- palivová čerpadla a ostatní části palivové soustavy odolné vůči korozi,
- odolnost materiálu palivového potrubí, resp. jeho vnitřního povrchu vůči působení alkoholu,
- vhodné materiály pro ventily,
- zapalovací svíčky s vhodnou termickou odolností,
- vyšší nároky na elektrickou soustavu vozidla.

Na základě experimentálního hodnocení tří zážehových motorů, které nebyly upraveny k provozu na bioetanolové směsi a byly dlouhodobě provozovány na palivo E20 (20 % obj. bioetanolu) australskou společností ORBITAL ENGINE COMPANY (ŠEBOR et al., 2006) bylo potvrzeno, že:

- různé části palivového systému na bázi kovů, jako je palivové čerpadlo, vstřikovací trysky, kovové části membránového regulátoru a tlakového regulátoru paliva, vykazovaly korozi, zmatnění povrchu a důlkovou korozi (pitting);
- kovové díly palivové nádrže a palivového potrubí vykazovaly povrchovou a důlkovou korozi, dále došlo k zakalení povrchů a rovněž filtry z plastů změnilly barvu;
- různé části karburátorů a souvisejících částí pro přípravu palivové směsi, vykazovaly opět povrchovou a důlkovou korozi.

Z výše uvedených poznatků je zřejmé, že z hlediska vlivů palivových směsí, tvořených bioetanolem a benzínem na konstrukční části motoru, rozhoduje množství bioetanolu ve směsi. Při používání bioetanolu jako paliva s nízkoprocentním podílem je riziko zvýšeného opotřebení malé. Toto platí pouze pro směsi do 15 % obj. etanolu (E15). Vysokoprocentní podíly bioetanolu s benzínem (např. E50, E85 atd.), způsobují zejména urychlené opotřebení částí motoru a palivových soustavy (ŠEBOR et al., 2006).

5 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je provést praktické měření výstupních parametrů zážehového motoru osobního automobilu provozovaného na palivo, které stanovuje výrobce automobilu v porovnání s palivem, tvořeným směsí bioetanolu s benzínem v poměru 1:1.

Dalším cílem je na základě praktického měření provést rozbor naměřených dat s hodnocením, zda měl obsah bioetanolu v palivové směsi významný vliv na změny provozních parametrů motoru.

6 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ

Praktické měření je zaměřeno na stanovení výstupních hodnot a parametrů zážehového motoru osobního automobilu. Tyto výstupní hodnoty a parametry byly získány na základě provedeného experimentu. Měření probíhalo ve dvou fázích. Každá fáze se skládala z celkem tří opakovatelných měření. V rámci každé fáze praktického měření byla použita jiná palivová směs. V první fázi bylo použito palivo, stanovené a doporučené pro provozování tohoto typu motoru výrobcem, a to palivo s obchodním označením Natural 95 (SUPER BA-95). V případě druhé fáze měření byla použita palivová směs tvořená palivem Natural 95 (SUPER BA-95) a ETHANOL E85 v poměru 1:1.

6.1 Metodika měření

6.1.1 Technické údaje a parametry automobilu

Měření bylo provedeno na osobním automobilu tovární značky Škoda Felicia, viz Obrázek 8. Vozidlo je vybaveno zážehovým motorem s přímým vstřikováním paliva, viz Tabulka 4.



Obrázek 8 Osobní automobil Škoda Felicia

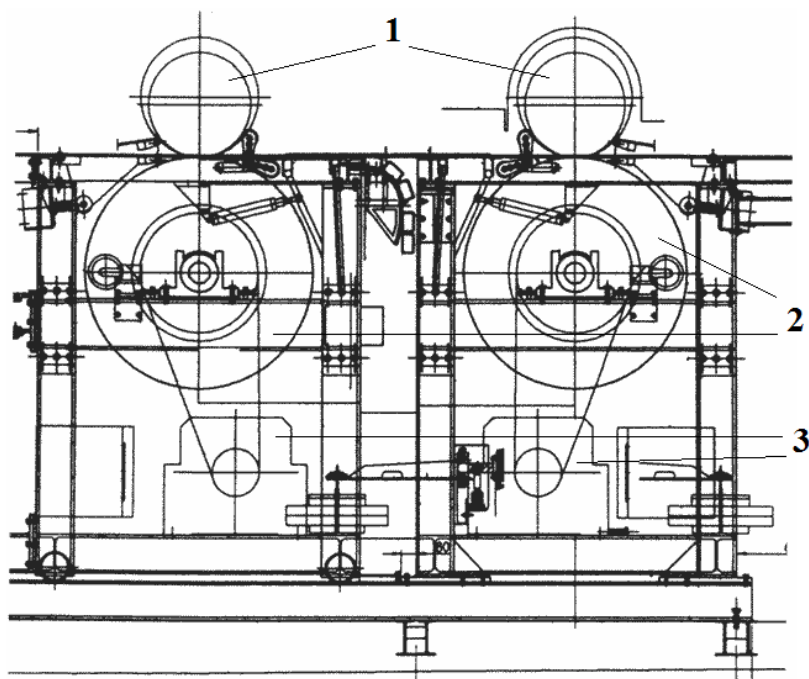
Tabulka 4 Technické parametry vozidla Škoda Felicia

Parametr	Specifikace
Označení motoru	1,3 MPI
Charakteristika motoru	Zážehový, vodou chlazený řadový čtyřválec, OHV, uložený vpředu napříč, třícestný řízený katalyzátor, elektronické vícebodové vstřikování paliva
Zdvihový objem motoru	1289 cm ³
Počet válců	4
Počet ventilů	8
Výkon motoru	50 kW při 5000 ot.min ⁻¹
Maximální točivý moment	106 Nm při 2600 ot.min ⁻¹
Kompresní poměr	10 : 1
Vrtání x Zdvih	75,5 mm x 72,0 mm
Palivo předepsané výrobcem	Bezolovnatý benzín, oktanové číslo: 95
Maximální rychlost	162 km.h ⁻¹
Zrychlení 0-100 km.h ⁻¹	13,5 s
Počet ujetých kilometrů	135 166 km
Pneumatiky	Kormoran 165/ 70 R13 79 T
Pohotovostní hmotnost	935 kg

6.1.2 Použitá technická zařízení

Měření bylo realizováno na vozidlové válcové zkušebně Ústavu techniky a automobilové dopravy Mendelovy univerzity v Brně.

Konstrukční upořádání vozidlového dynamometru 4VDM E120-D viz Obrázek 9, vychází z tuhých základních rámců, na kterých jsou umístěna ložiska válců o průměru 1,2 m, stojny a základní rámy s elektrickými dynamometry. Tyto rámy se stojinami tvoří základní bloky jednotlivých os. Blok přední osy je umístěn pevně, blok zadní osy posuvně v rozmezí požadovaného rozvoru, společně s přední osou vozidlového dynamometru VDU E120-T. Spojení levého a pravého válce zajišťuje elektricky ovládaná frikční spojka. Rozpojení pravého a levého válce umožňuje dynamické měření brzdných sil z vysokých rychlostí. Propojení válcových jednotek s elektrickými dynamometry typu SDS 225 5604 je provedeno pomocí ozubených řemenů. Každý válec je vybaven pneumaticky ovládanými brzdami pro umožnění najetí vozidla a bezpečného zabrzdění (MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ, ÚSTAV TECHNIKY A AUTOMOBILOVÉ DOPRAVY).



Obrázek 9 Schéma konstrukčního uspořádání vozidlového dynamometru 4VDM E120-D; 1 - kola osobního automobilu, 2 - ocelové válce, 3 - elektrické dynamometry SDS 225 5604 (MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ, ÚSTAV TECHNIKY A AUTOMOBILOVÉ DOPRAVY)

Dále je každá válcová jednotka vybavena pneumaticky ovládaným nájezdovým a středícím zařízením a měřícími rolnami s odsouvatelným krytem. Obě osy jsou umístěny na konstrukci z ocelových profilů upevněné na základním rámu, který je zalit betonem na dně montážní jámy. Na základním rámu jsou rovněž uchyceny podpěry pevného a posuvného krytí vozidlového dynamometru. V podlaze okolo montážní jámy jsou zality kotvící drážky pro upevnění úvazků vozidla. Celá plocha okolo vozidlového dynamometru je v rovině podlahy překryta ocelovými krycími plechy. Přívod chladícího vzduchu do montážní jámy je vyústěn pod jednotlivými osami uprostřed (v zapuštěném kanálu). Před zkoušeným vozidlem je umístěn ventilátor náporového chlazení s usměrňovací hubicí, připojený pohyblivým přívodem do zásuvky spínané přes ovládací klávesnici z kabiny vozidla (MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ, ÚSTAV TECHNIKY A AUTOMOBILOVÉ DOPRAVY).

Velmi důležitou součástí zkušebny je také vzduchotechnika a spalinové hospodářství. Podtlak v místnosti lze regulovat od 5 do 300 Pa, přičemž vyměněné množství vzduchu činí až 25 000 m³.h⁻¹. U výfukových plynů lze regulovat množství manuálně nebo v závislosti na odebíraném výkonu motoru a to až do 24 000 m³.h⁻¹ (MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ, ÚSTAV TECHNIKY A AUTOMOBILOVÉ DOPRAVY).

Základní technické parametry vozidlové válcové zkušebny jsou uvedeny v Tabulce 5.

Tabulka 5 Základní vlastnosti vozidlové válcové zkušebny 4VDM E120-D (MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ, ÚSTAV TECHNIKY A AUTOMOBILOVÉ DOPRAVY)

Parametr	Specifikace
Max. zkušební rychlost [km.h ⁻¹]	200
Max. výkon na nápravu [kW]	240
Max. hmotnost na nápravu [kg]	2000
Průměr ocelových válců [m]	1,2
Šířka ocelových válců [m]	0,6
Mezera mezi ocelovými válci [m]	0,9
Povrch ocelových válců	zdrsnění RAA 1,6
Setrvačná hmotnost ocelových válců (každá náprava) [kg]	1130
Min. rozvor [m]	2
Max. rozvor [m]	3,5
Zatížitelnost krytí: - v místě jízdy [kg]	2000
- v místě chůze [kg]	500
Tlakový vzduch [bar]	min. 4
Rozsah měření rychlostí [km.h ⁻¹]	0 - 200
Rozsah měření sil [kN]	4krát ± 5
Přesnost měření rychlosti [km.h ⁻¹]	± 0,01
Přesnost měření sil [%]	± 0,25
Přesnost regulace rychlosti [%]	± 0,1
Přesnost regulace síly [%]	± 0,5

6.1.2.1 Výkon a točivý moment

Výkon a točivý moment byl naměřen na válcové zkušební pomoci elektrických dynamometrů. Konstrukční uspořádání dynamometru je zobrazeno na Obrázku 9. Základním parametrem pro stanovení výkonu je hnací výkon kol, který je popsán rovnicí (POLCAR, 2013):

$$P_h = F_h \cdot v \quad [W] \quad (4)$$

kde: P_h - hnací výkon [W]

F_h - hnací síla na obvodu kola [N]

v - obvodová rychlost kola [$m \cdot s^{-1}$]

Pro stanovení efektivního výkonu motoru je nutné stanovit ztrátový výkon. Množství ztrátového výkonu spalovacího motoru zahrnuje odpor proti pohybu součástí motoru, příkony pomocných zařízení spalovacího motoru důležitých pro jeho činnost, např. zařízení pro dopravu paliv a přípravu palivových směsí, rozvodový mechanismus, zařízení chladícího a mazacího systému, řídicí a regulační systémy, a také především i překonání pasivních odporů jako jsou např. valivý odpor pneumatik, odpory v převodovém ústrojí apod. Stanovení ztrátového výkonu probíhá pomocí dynamometru, který v motorovém režimu roztáčí přes ocelové válce kola zkoušeného vozidla a zároveň zaznamenává sílu a obvodovou rychlost. Ztrátový výkon definuje rovněž rovnice 4. Výpočet efektivního výkonu motoru je znázorněn rovnicí 5 (POLCAR, 2013):

$$P_e = P_h + P_z \quad [W] \quad (5)$$

kde: P_e - efektivní výkon motoru [W]

P_h - hnací výkon na obvodu kola [W]

P_z - ztrátový výkon (pasivní odpory) [W]

Pomocí naměřených otáček motoru a také vypočteného efektivního výkonu motoru, můžeme stanovit točivý moment motoru dle rovnice (POLCAR, 2013):

$$M_t = \frac{P_e}{\omega} = \frac{P_e}{2\pi n} \quad [N \cdot m] \quad (6)$$

kde: P_e - efektivní výkon motoru [W] n - otáčky motoru [s^{-1}]

ω - úhlová rychlost motoru [$rad \cdot s^{-1}$]

π - Ludolfovo číslo - konstanta [3,14]

Měření výkonu a točivého momentu bylo na válcové zkušebně provedeno pomocí dynamické metody. Dynamická metoda spočívá v procesu, ve kterém je zkoušený motor krátkodobě zatížen odporem setrvačných hmot během jejich roztáčení. Pro toto měření je důležité stanovit momenty setrvačnosti pro všechny roztácející elementy. Další variantou koncepčního řešení zkušebny je statická metoda měření výkonu, kdy je měření prováděno při konstantních otáčkách motoru, který je zatížen dynamometrem tj. brzdou silou.

Dalšími zkouškami, které lze provádět na válcové zkušebně jsou zkoušky brzdové soustavy, kalibrační testy a doplňkové zkoušky. Pro praktické měření této diplomové práce byly využity kalibrační testy. Kalibrační testy byly naměřeny pro ověření pasivních ztrát, rychlosti vozidla v závislosti na otáčkách motoru a také ověření přesnosti tachometru popř. stanovení odchylky ukazatele rychlosti od skutečné rychlosti.



Obrázek 10 Vozidlová válcová zkušebna

6.1.2.2 Spotřeba paliva

Pro vyhodnocení parametru hodinové spotřeby paliva byly použity hmotnostní průtokoměry Coriolis Sitrans FC MassFlo Mass 6000, které jsou zobrazeny na obrázku 11. Tyto průtokoměry byly zapojeny se zpětným vrácením přebytečného paliva do nádrže.



Obrázek 11 Coriolisovy průtokoměry

Coriolisovy průtokoměry měří hmotnostní průtok média a při své funkci využívají Coriolisovu sílu, která vzniká v kmitající měřící trubici. Při měření průtoku kapalin se dosahuje přesnosti až $\pm 0,05 \%$.

Na základě hodnot hodinové spotřeby paliva (hmotnostní) a také hodnot efektivního výkonu motoru, byly vypočteny hodnoty měrné spotřeby paliva, viz rovnice:

$$m_{pe} = \frac{M_{ph}}{P_e} \cdot 10^3 \quad [g \cdot kW^{-1} \cdot h^{-1}] \quad (7)$$

kde: M_{ph} - hmotnostní hodinová spotřeba paliva [$kg \cdot h^{-1}$]

P_e - efektivní výkon motoru [kW]

6.1.2.3 Emise

Měření emisí probíhalo pomocí přístroje Bosch ESA (Emisní Systémová Analýza). Bosch ESA je modulárně řešený systém, jehož funkce je možné podle potřeb postupně rozšiřovat. Jako základ lze zvolit sestavy, které umožňují měření emisí zážehových (Bosch ESA 3.140), vznětových (Bosch ESA 3.110) nebo zážehových a vznětových motorů (Bosch ESA 3.250). Měřit lze i motory poháněné alternativními palivy (LPG, CNG, metanol, etanol) s tím, že součinitel lambda je vypočítán podle zvoleného druhu paliva. Bosch ESA kromě plyných emisí, případně kouřivosti, zajišťuje nejen potřebné měření otáček a teploty oleje, ale umožňuje provádět i jednoduché funkce motorových testů. Dokáže změřit předstih a dynamický předvstřík pomocí stroboskopické lampy nebo snímače HÚ, úhel sepnutí má možnost zobrazit i signály (např. napětí lambda sondy, doba vstřiku, apod.). Součástí softwaru Bosch ESA je databanka předepsaných hodnot některých vozidel.

V tomto případě byl použit modulárně řešený systém, ve kterém je modul analyzátoru ETT 8.70, opacimetru RTM 430 i měřící modul MTM Plus, který je řízený počítačem viz Obrázek 12.



Obrázek 12 Bosch ESA, 1 - Monitor, 2 - Dálkové ovládání, 3 - Inkoustová tiskárna, 4 - Měřící modul MTM Plus, 5 - Modul opacimetru RTM 430, 6 - Klávesnice, 7 - PC Modul, 8 - Modul analyzátoru ETT 8.70-1, 9 - Dílenský vozík (MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ)

Modul analyzátoru ETT 8.70 provádí měření čtyř základních složek výfukových plynů CO, HC, CO₂, O₂ a z nich pak vypočítává hodnotu součinitele přebytku vzduchu lambda pro právě měřené palivo (benzín, LPG, CNG, metanol a etanol). Výfuková sonda s nastavitelnou délkou umožňuje bezproblémové připojení na výfuk i vozidel s extrémně krátkou nebo nezvykle tvarovanou koncovkou výfuku (MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ).

Tabulka 6 Základní charakteristika Bosch ESA 3.250 (MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ)

Modul analyzátoru ETT 8.70	Měřicí rozsah	Rozlišení
CO	0,000 - 10,00 % obj.	0,001 % obj.
CO ₂	0,00 - 18,00 % obj.	0,01 % obj.
HC	0 - 9999 ppm obj.	1 ppm obj.
O ₂	0,00 - 22 % obj.	0,01 % obj.
Lambda	0,500 - 1,800	0,001
Splňuje požadavky normy OIML Třídy 1		

6.1.2.4 Ostatní použitá technická zařízení

Pro čtení hodnot teploty chladicí kapaliny motoru byl využit diagnostický tester TS Pro, který je znázorněn na Obrázku 13. Diagnostický tester TS Pro byl během měření připojen prostřednictvím diagnostického konektoru OBD (On-Board-Diagnostics) do interní sítě zkoušeného automobilu.



Obrázek 13 Diagnostický tester TS Pro

Dalším technickým zařízením, které bylo pro měření použito, byl upravený díl výfukového potrubí, viz Obrázek 14. Upravený výfukový díl byl vybaven přídatnou širokopásmovou lambda sondou spolu s originální dvoustavovou lambda sondou. Přídatná lambda sonda byla využita pro měření okamžité aktuální hodnoty stechiometrického poměru.



Obrázek 14 Upravený díl výfukového potrubí s originální dvoustavovou a přídatnou širokopásmovou lambda sondou

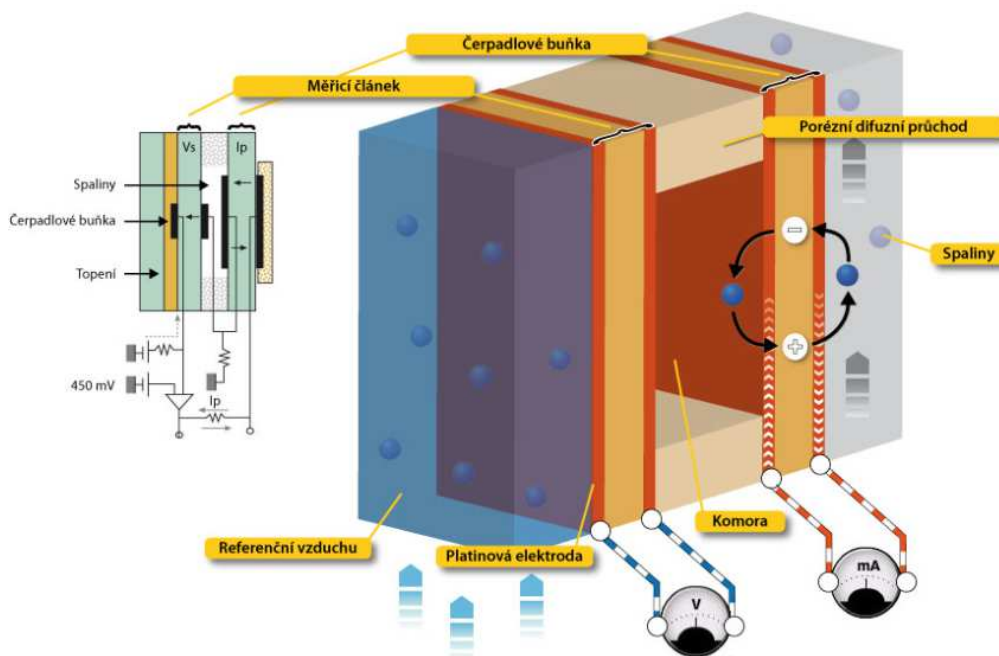
Dvoustavová lambda sonda je kyslíkový senzor umístěný ve výfukovém potrubí automobilů se zážehovým motorem, vybavených katalyzátorem výfukových plynů. Řídicí jednotka na základě hodnot zaznamenaných lambda sondou určuje správný stechiometrický poměr paliva a vzduchu, který je důležitý pro snížení škodlivých emisí ve výfukových plynech. Dvoustavová lambda sonda je umístěna za třicetým katalyzátorem a zabezpečuje správnou funkci katalyzátoru. Pro správnou funkci katalyzátoru je stechiometrický poměr $\lambda = 1$.

Širokopásmová lambda sonda, která je zobrazena na obrázku 15, vytváří signál proporcionalní zbytkovému obsahu kyslíku ve spalínách.



Obrázek 15 Širokopásmová lambda sonda (NGK, 2015)

Tato lambda sonda má dva články, měřicí článek a tzv. pumpovací článek, viz Obrázek 16. Pomocí měřicího článku se porovnává obsah kyslíku ve spalínách, které se nacházejí v detekční komoře s požadovanou hodnotou 450 mV. Pokud se tato hodnota liší, tak se zapnutím proudu pumpu do článku načerpá nebo odčerpá tolik iontů kyslíku do detekční komory, až bude napěťová hodnota měřicího článku opět odpovídat 450 mV. Tento proud pumpu je měřenou veličinou, která skoro lineárně popisuje přesnou hodnotu lambda směsi. Při stechiometrickém poměru směsi je rovno nule, protože parciální tlak kyslíku v detekční komoře odpovídá výše uvedené požadované hodnotě (NGK, 2015).



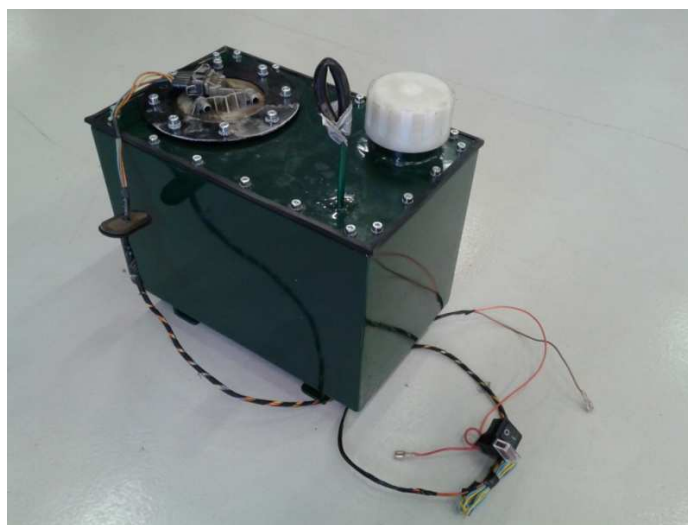
Obrázek 16 Prostorové znázornění elementu širokopásmové lambda sondy (NGK, 2015)

Pro komunikaci s přídatnou širokopásmovou lambda sondou pomocí protokolu CAN, bylo v programu LabVIEW 2013 společnosti National Instruments, vytvořeno na Ústavu techniky a automobilové dopravy programové prostředí pro znázornění okamžité aktuální hodnoty λ a napětí λ při probíhajícím měření, viz Obrázek 17. Tyto hodnoty byly důležité především pro měření palivové směsi tvořené E85/N95 (1:1).



Obrázek 17 Uživatelské prostředí vytvořené v programu LabVIEW 2013 pro měření hodnot λ a napětí λ

Při druhé fázi měření byla použita externí palivová nádrž pro palivovou směs E85/N95 v poměru 1:1, viz Obrázek 18. Tato palivová nádrž byla vybavena palivovým čerpadlem, které je shodné s originálním palivovým čerpadlem zkoušeného automobilu. Přívod elektrické energie k palivovému čerpadlu v externí nádrži byl konstrukčně řešen zapojením vodičů do zdroje resp. akumulátoru zkoušeného vozidla.



Obrázek 18 Externí palivová nádrž

Vozidlová válcová zkušebna, na níž bylo prováděno praktické měření, byla vybavena snímači pro stanovení aktuálních barometrických podmínek, které byly následně využity pro korekci naměřených hodnot dle normy ČSN 30 2008. Korekční součinitel je dán rovnicí pro atmosféricky plněné zážehové motory:

$$k = \frac{100}{P_a} \cdot \sqrt{\frac{T}{298}} \quad [-] \quad (8)$$

kde: P_a - atmosférický tlak během měření [kPa]

T - teplota nasávaného vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]

Dalším parametrem, který byl využit pro vyhodnocení, je efektivní účinnost motoru. Efektivní účinnost motoru je popsána rovnicí:

$$\eta_e = \frac{3,6 \cdot P_e}{M_{ph} \cdot H_u} \cdot 100 \quad [\%] \quad (9)$$

kde: P_e - efektivní výkon motoru [kW]

M_{ph} - hodinová spotřeba paliva [$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$]

H_u - dolní výhřevnost paliva [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

6.1.3 Příprava měření

Před samotným měřením bylo vozidlo vybaveno upraveným dílem výfukového potrubí, který byl upraven z důvodu montáže přídavné širokopásmové lambda sondy, viz Obrázek 14. Tato přídavná lambda sonda byla následně připojena pomocí komunikační sítě CAN do počítače, ve kterém byla zobrazována okamžitá hodnota λ a napětí λ pomocí vytvořeného programové prostředí, viz Obrázek 17.

Dalším postupem byla instalace vypínače a vodičů pro přívod elektrické energie odebírané z akumulátoru vozidla (znázorněno na Obrázku 22) k externímu palivovému čerpadlu v palivové nádrži. Tato nádrž byla připojena po první fázi měření a byla využita pro druhou fázi praktického měření, viz Obrázek 18.

Před ukotvením a zajištěním vozidla na válcové zkušebně bylo vozidlo důkladně zbaveno všech hrubých nečistot, zejména nečistot usazených v běhounu pneumatik. Dále byl ověřen stanovený rozměr pneumatik, a také byl zkontrolován jejich stav a předepsaný tlak.

Po předešlém procesu byly vloženy do řídicího systému válcové zkušebny všechny požadované technické údaje a hodnoty zkoušeného vozidla, které sloužily pro potřeby následného měření. Konkrétně se jednalo o parametry sloužící k identifikaci vozidla a nastavení ovládacích členů zkušebny, tzn. tovární značku vozidla, identifikační číslo vozidla, stav najetých kilometrů, označení a typ motoru. Dále také technické parametry motoru jako jsou: zdvihový objem, vrtání a zdvih motoru, maximální točivý moment, výkon, kompresní poměr, a typ vstřikování paliva. Dále byly zadávány hodnoty jednotlivých převodových stupňů, včetně hodnot stálého a zpětného převodu a jejich celkový počet. Také byly zadány i rozměrové hodnoty, především rozvor náprav, rozchod kol přední nápravy a rozchod kol zadní nápravy. Tyto rozměrové hodnoty byly doplněny o rozměr dynamického poloměru kola a také o rozměr pneumatik.

Po vjetí vozidla na válce zkušebny je důležité zajistit vozidlo ukotvovacími prvky, které jsou pomocí šroubů upevněny do konstrukce v podlaze zkušebny. Je důležité, aby všechny ukotvovací prvky, které jsou opatřeny výztuhami, pevně dosedaly na nárazníky vozidla. Toto zajištění bylo provedeno z důvodu zachycení dynamických sil a zabránění sjetí vozidla z válců. Pro další zajištění zkoušeného vozidla byly použity zajišťovací popruhy, viz Obrázek 19 a 20.



Obrázek 19 Přední ukotvení měřeného vozidla



Obrázek 20 Zadní ukotvení měřeného vozidla

Dalším postupem byla instalace ventilátorů, které měly za úkol dostatečně chladit motor zkoušeného vozidla. Tyto ventilátory byly ovládány elektronicky pomocí řídicího systému válcové zkušebny, viz Obrázek 21. Dále bylo instalováno sběrné potrubí pro odvod spalin z výfukového systému.



Obrázek 21 Instalace ventilátorů pro chlazení motoru

Pro měření dalších parametrů byly využity snímače a technická zařízení, která jsou zobrazena na Obrázku 22. Mezi tyto snímače patřil snímač teploty nasávaného vzduchu, snímač otáček, který byl pomocí proudových kleští umístěn na vstupu vodičů do zapalovací lišty zapalovacích svíček. Dále byly připojeny Coriolisovy průtokoměry pro měření hmotnostní hodinové spotřeby paliva a také byl vložen do výfukového potrubí analyzátor výfukových plynů, který je součástí Bosch ESA. Pro čtení hodnot teploty chladicí kapaliny motoru byl využit diagnostický tester TS Pro.



Obrázek 22 Připojení měřících zařízení a snímačů k měřenému vozidlu: 1 - připojení vypínače a vodičů pro přívod el. energie k externí palivové nádrži, 2 - připojení Coriolisových průtokoměrů, 3 - vložení analyzátoru výfukových plynů do výfukového potrubí, 4 - umístění snímače teploty nasávaného vzduchu

6.1.4 Popis měření

Pro měření byl zvolen pátý rychlostní stupeň. Tato volba byla učiněna z důvodu eliminace prokluzu hnacích kol při nízkých rychlostech na válcích zkušebny. Měření se skládalo z:

- *Kalibrační zkoušky tachometru* - tato zkouška porovnává skutečnost rychlost vozidla s rychlostí, která je zobrazována tachometrem vozidla a následně vyhodnocuje reálnou odchylku (protokol z kalibrační zkoušky tachometru je uveden v Příloze 1),

- *Kalibrační zkoušky závislosti rychlosti vozidla na otáčkách motoru* - při této zkoušce se stanoví kontrolní otáčky motoru a v závislosti na těchto otáčkách se měří rychlost vozidla (protokol z kalibrační zkoušky závislosti rychlosti vozidla na otáčkách motoru je uveden v Příloze 2),
- *Kalibrace statické zkoušky výkonu* - při této zkoušce se zjišťují velikosti pasivních odporů v závislosti na rozsahu měřené rychlosti vozidla (protokol kalibrační zkoušky statického výkonu je uveden v Příloze 3).

Měření bylo prováděno dynamickou zkouškou. Dynamická zkouška spočívá v krátkodobém zatížení motoru odporem setrvačných hmot během jejich roztáčení. Výkon je v tomto případě stanoven výpočtem, který udává, že výkon je součinem točivého momentu a úhlové rychlosti, přičemž točivý moment je součinem momentu setrvačnosti a úhlového zrychlení. Protokoly z dynamických zkoušek jsou uvedeny v Příloze 4 - 9. Během měření byla všechna data zaznamenávána do řídicího počítače zkušebny. Válcová zkušebna byla ovládána elektronicky pomocí klávesnice, s kterou během měření manipulovala obsluha vozidla.

6.1.5 Průběh měření

Měření bylo rozděleno do dvou fází. Obě fáze byly zaměřeny na stanovení výstupních hodnot zkoušeného vozidla. Tedy stanovení hodnot točivého momentu motoru, výkonu motoru, hodinové spotřeby paliva, a také zjištění koncentrace emisí CO, CO₂, HC a O₂. Z těchto hodnot byly následně vypočteny hodnoty měrné spotřeby paliva a efektivní účinnosti motoru.

Pro první fázi měření bylo použito palivo, které stanovuje pro provozování zkoušeného vozidla výrobce. Tímto palivem je Natural 95 (SUPER BA-95). Tato část se skládala ze tří opakovaných měření.

Druhá fáze měření byla zaměřena na stanovení rozdílů v naměřených hodnotách během první části. Tento účel byl ovlivněn zejména použitím alternativní palivové směsi, která byla tvořena směsí E85/N95 v poměru 1:1. Tato fáze se skládala opět ze tří opakovaných měření. Jak již bylo zmíněno, kvůli rozdílným chemicko-fyzikálním parametrům palivové směsi, bylo nutné během prováděného experimentu sledovat hodnoty stechiometrického poměru, které zajišťovala širokopásmová lambda sonda.

6.2 Metodika statistického vyhodnocení

Pro zjištění statisticky významného vlivu paliva E44 na výstupní parametry motoru byl využit studentův t-test významnosti rozdílu dvou výběrových průměrů. Před použitím tohoto testu je nejprve potřeba ověřit homogenitu rozptylů. Při testování průkaznosti rozdílu mezi rozptyly formulujeme nulovou hypotézu neboli předpoklad, že rozptyly (s_1^2 a s_2^2) získané ze dvou výběrových souborů o rozsahu n_1 a n_2 pochází z normálního rozložení se společnou disperzí. Při aplikaci tohoto testu pro naši analýzu budeme ověřovat hypotézu, zda druhy použitého paliva mají vliv na variabilitu sledovaného parametru motoru.

Testovaným kritériem je veličina:

$$F = \frac{s_{max}^2}{s_{min}^2} \quad [-] \quad (10)$$

kde: s_{max}^2 ...je větší z rozptylů s_1^2 a s_2^2

s_{min}^2 ...je menší z dvou uvedených rozptylů

Veličina F Snedecorova rozložení s $n_1 - 1$ a $n_2 - 1$ stupňů volnosti ν má hodnoty kvantilů tabelovány. Pokud vypočítaná hodnota testovaného kritéria je menší než hodnota tabulková, nulovou hypotézu na dané hladině nezamítáme. Pokud vypočítaná hodnota jak hodnota tabelovaná je větší, hypotézu shodnosti rozptylů, resp. jejich homogenitu zamítáme a můžeme přistoupit pro ověření nulové hypotézy o shodnosti průměrů. Pro ověření nulové hypotézy o shodnosti průměrů použijeme testovaného kritéria Studentova t-rozdělení s $n_1 + n_2 - 2$ stupňů volnosti pomocí vzorce:

$$t_{(n_1+n_2-2)} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad [-] \quad (11)$$

V případě, že vypočtená hodnota t je větší než hodnota tabulková, nulovou hypotézu zamítáme a docházíme k závěru, že mezi průměry je významný rozdíl, resp. statistický rozdíl (při hladině významnosti $\alpha = 0,05$), nebo vysoce průkazný rozdíl (při hladině významnosti $\alpha = 0,01$). Při zjištění, že vypočtená hodnota je menší než tabulková, nulová hypotéza H_0 se nezamítá, resp. u daného parametru mezi sledovanými palivy (E44 a Naturelem 95) není statisticky průkazný rozdíl a rozdíl ve výběrových průměrech lze přičítat pouze nahodilosti.

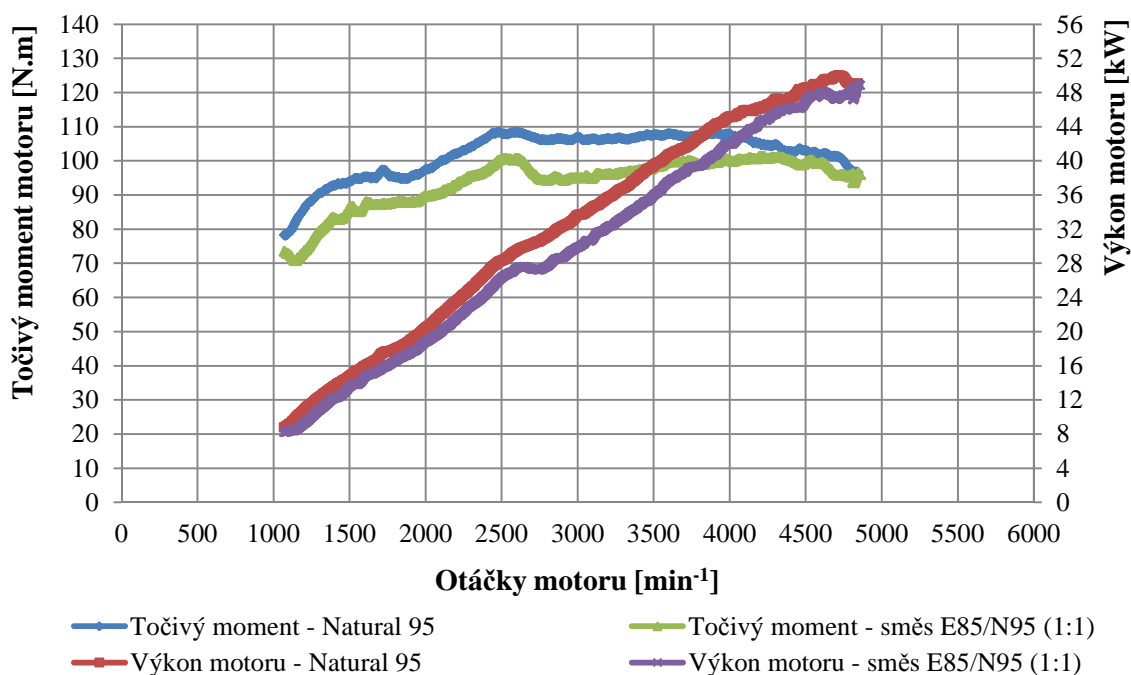
7 VYHODNOCENÍ PRAKTICKÉHO MĚŘENÍ

Jak již bylo uvedeno v kapitole 6.1.5, probíhalo praktické měření ve dvou fázích. Pro první fázi měření bylo použito palivo Natural 95 a pro druhou fázi měření byla využita palivová směs E85/N95 (1:1). Obě části kvůli reprodukovatelnosti výsledků obsahovaly, tři opakované měření.

Na základě naměřených a vypočtených dat bylo zpracováno grafické vyhodnocení, které zobrazuje rozdíly konkrétních měřených parametrů při použití rozdílných paliv. Naměřená data byla korigována dle barometrických podmínek během měření.

7.1 Vyhodnocení výkonu a točivého momentu

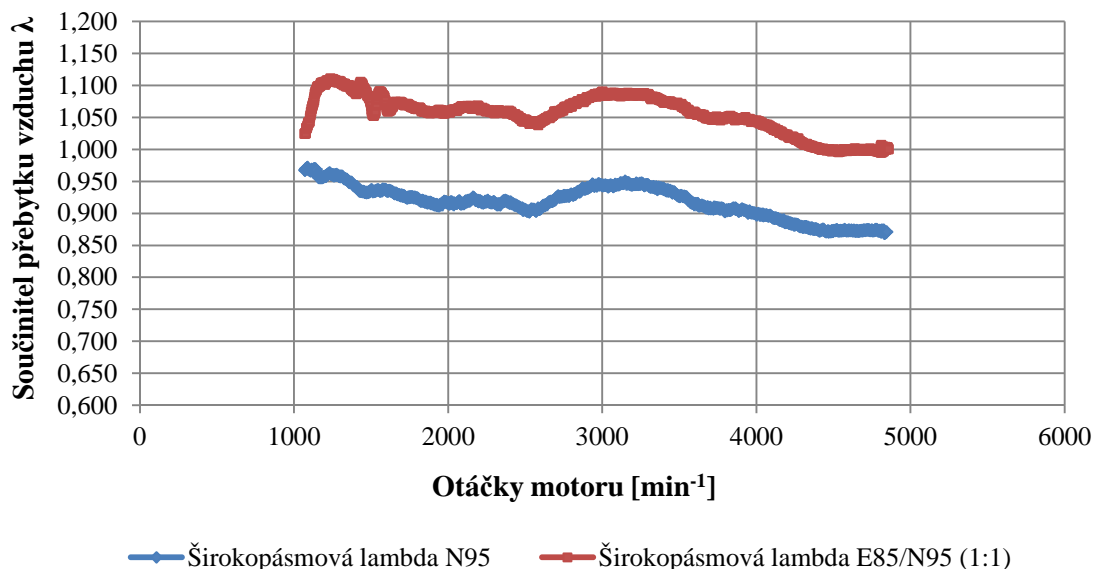
Mezi hodnocené výstupní parametry vozidla patřil výkon motoru a točivý moment motoru. Pro první a druhou fázi měření byly vypočítány průměrné hodnoty ze všech tří opakovaných měření, viz Obrázek 23.



Obrázek 23 Vnější otáčková charakteristika motoru se znázorněným výkonem a točivým momentem

Z vnější otáčkové charakteristiky, která je znázorněna na obrázku 23, je zřejmé, že při použití paliva Natural 95 dosahoval maximální výkon motoru vyšší hodnoty než při použití směsi E85/N95 (1:1). Konkrétně o 1,1 kW (2,19 %). Tedy při použití paliva

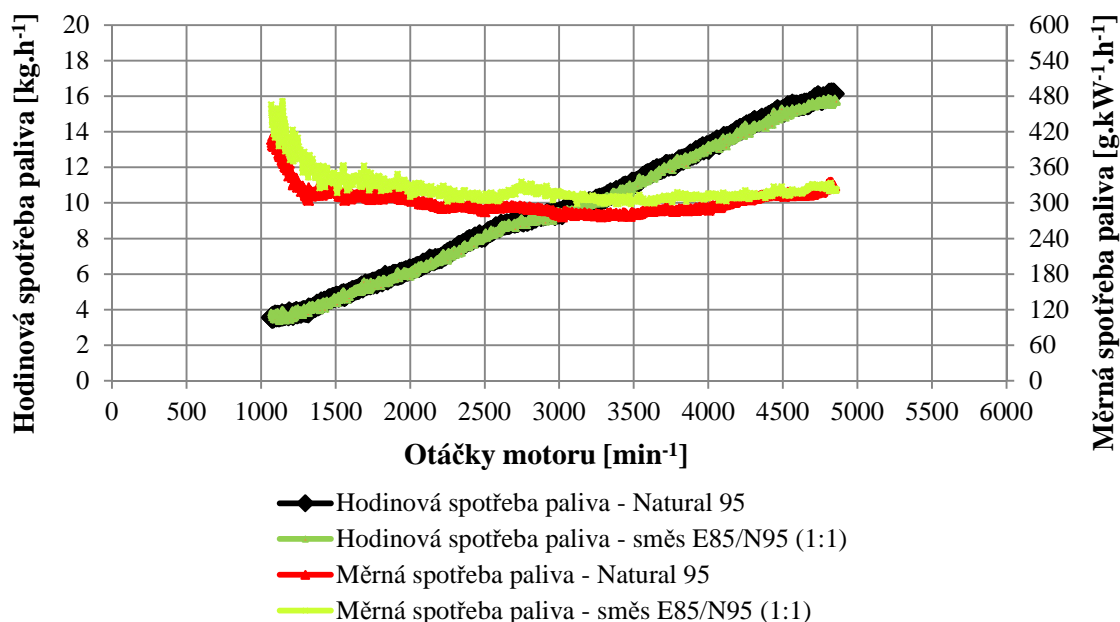
Natural 95 byl maximální výkon 50,2 kW při otáčkách 4 714 min⁻¹ a při použití palivové směsi E85/N95 (1:1) byl naměřen maximální výkon 49,1 kW při otáčkách 4 798 min⁻¹. Dalším měřeným parametrem, který je znázorněn na Obrázku 23, je točivý moment motoru. Točivý moment motoru při použití paliva Natural 95 dosahoval maximální hodnoty 108,8 N.m při otáčkách 2 477 min⁻¹. Při měření na palivovou směs E85/N95 (1:1) byl naměřen maximální točivý moment 102,5 N.m při otáčkách 2 530 min⁻¹. Z těchto rozdílných hodnot točivého momentu motoru je při použití palivové směsi E85/N95 (1:1) patrný pokles o hodnotu 6,3 N.m (5,79 %). Na základě statistického vyhodnocení bylo zjištěno, že mezi maximálními naměřenými výkony a maximálními točivými momenty motoru byly statisticky vysoce významné rozdíly. Z výše uvedených výsledků je zřejmé, že při spalování směsi E85/N95 (1:1), byl naměřený výkon i točivý moment motoru nižší než při spalování Naturalu 95. Pokles výkonu a točivého momentu motoru je způsoben nižší výhřevností bioetanolu, která je v tomto případě v porovnání s benzínem o 6,12 MJ. kg⁻¹ nižší, viz kapitola 7.3. Nižší výhřevnost bioetanolu ve srovnání s benzínem je způsobena vyšším obsahem kyslíku ve struktuře bioetanolu, viz kapitola 4.4. Vyšší obsah kyslíku způsobil i změnu stechiometrického poměru. Během spalování směsi E85/N95 byla naměřena průměrná hodnota součinitele přebytku vzduchu $\lambda=1,055$. Při použití paliva Natural 95 byla průměrná hodnota $\lambda=0,916$, viz Obrázek 24.



Obrázek 24 Součinitel přebytku vzduchu λ v závislosti na otáčkách motoru

7.2 Vyhodnocení spotřeby paliva

Dalším hodnoceným parametrem byla spotřeba paliva. Z naměřených hodnot hodinové spotřeby paliva a efektivního výkonu motoru byly vypočítány hodnoty měrné spotřeby paliva, viz Obrázek 25.



Obrázek 25 Vnější otáčková charakteristika motoru se znázorněným průběhem hodinové a měrné spotřeby paliva

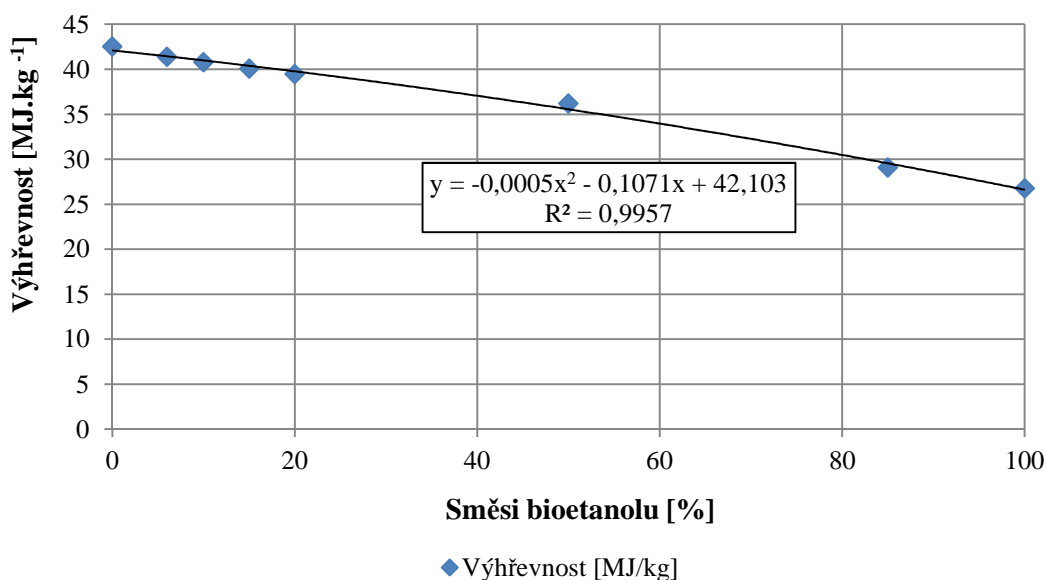
Na obrázku 25 je znázorněn průběh hodinové a měrné spotřeby paliva. Při použití paliva Natural 95 se průměrná hodinová spotřeba pohybovala v rozmezí od 3,6 kg.h⁻¹ do 16,1 kg.h⁻¹. Při dosažení maximálního točivého momentu motoru činila hodinová spotřeba paliva 8,1 kg.h⁻¹ a měrná spotřeba paliva 286,77 g.kW⁻¹.h⁻¹. V případě palivové směsi E85/N95 (1:1) se průměrná hodinová spotřeba paliva během měření pohybovala v rozmezí od 3,7 kg.h⁻¹ do 15,7 kg.h⁻¹. Při maximálním točivém momentu motoru byla hodinová spotřeba paliva 8,2 kg.h⁻¹ a měrná spotřeba paliva 308,69 g.kW⁻¹.h⁻¹. V důsledku použití palivové směsi E85/N95 (1:1) byla zaznamenána vyšší měrná spotřeba a to o 21,92 g.kW⁻¹.h⁻¹ (7,64 %). Na základě statistického vyhodnocení hodinové spotřeby paliva, nebyl mezi palivy zjištěn statisticky významný rozdíl. Z hlediska statistického vyhodnocení měrné spotřeby paliva, byl zjištěn statisticky významný rozdíl. Zmíněná vyšší spotřeba paliva je způsobena vyšší hustotou bioetanolu a také rozdílným stechiometrickým poměrem ve srovnání s benzínem, viz Tabulka 3.

7.3 Vyhodnocení účinnosti motoru

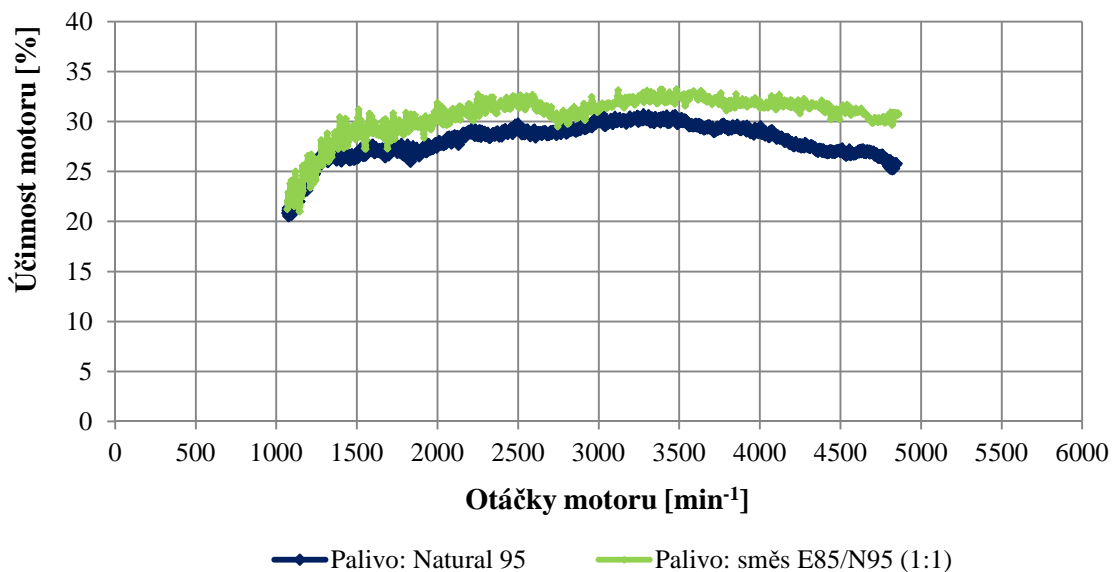
Efektivní účinnost motoru byla vypočítána pomocí rovnice 9, která je uvedena v kapitole 6.1.2.4. Pro výpočet efektivní účinnosti motoru byla použita již stanovená data dolních výhřevností konkrétních směsí bioetanolu, viz Tabulka 7. Pomocí regresní rovnice vypočítané v MS Excel 2013, která je znázorněna na Obrázku 26, byla zjištěna dolní výhřevnost palivové směsi E85/N95 (1:1). Hodnota dolní výhřevnosti pro konkrétní použitou palivovou směs (procentuálně E44) je na základě výpočtu 36,42 MJ.kg⁻¹.

Tabulka 7 Směsi bioetanolu a jejich výhřevnost (SCHIFTER et al., 2011), (SU HAN PARK et al., 2009)

Směsi bioetanolu [%]	Dolní výhřevnost [MJ.kg ⁻¹]
0,0	42,54
6,0	41,41
10,0	40,80
15,0	40,08
20,0	39,48
50,0	36,20
85,0	29,10
100,0	26,80



Obrázek 26 Použitá regresní rovnice pro výpočet dolní výhřevnosti E44



Obrázek 27 Efektivní účinnost motoru při provozu vozidla na směs E85/N95 (1:1) a Natural 95

Při použití paliva Natural 95 byla vypočítána průměrná efektivní účinnost motoru 29,51 % při maximálním točivém momentu. V případě použití palivové směsi E85/N95 (1:1), byla vypočtená hodnota účinnosti motoru 32,02 % při maximálním točivém momentu. Použitím palivové směsi E85/N95 (1:1), byla efektivní účinnost motoru zvýšena o 2,51 %, viz Obrázek 27. Na základě statistického vyhodnocení efektivních účinností motoru, byl zjištěn statisticky významný rozdíl. Zvýšení efektivní účinnosti v tomto případě je způsobeno vyšším obsahem kyslíku v bioetanolu ve srovnání s benzínem. Vyšší obsah kyslíku v palivu má pozitivní vliv na průběh hoření palivové směsi, viz kapitola 4.4.

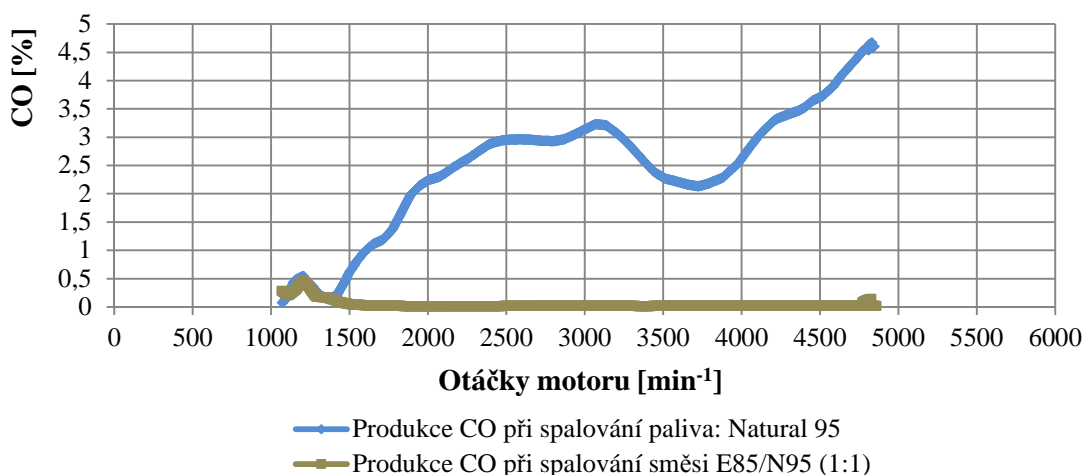
7.4 Vyhodnocení emisí

Naměřená data jednotlivých emisních složek a jejich procentuální změny v obsahu v závislosti na druhu paliva jsou znázorněny v následujících grafech.

7.4.1 Oxid uhelnatý CO

Na Obrázku 28 je znázorněn grafický průběh koncentrací emisí oxidu uhelnatého při použití paliva Natural 95 a palivové směsi E85/N95 (1:1). Během první fáze měření byl průměrný obsah oxidu uhelnatého ve výfukových plynech 2,47 % v celém rozsahu

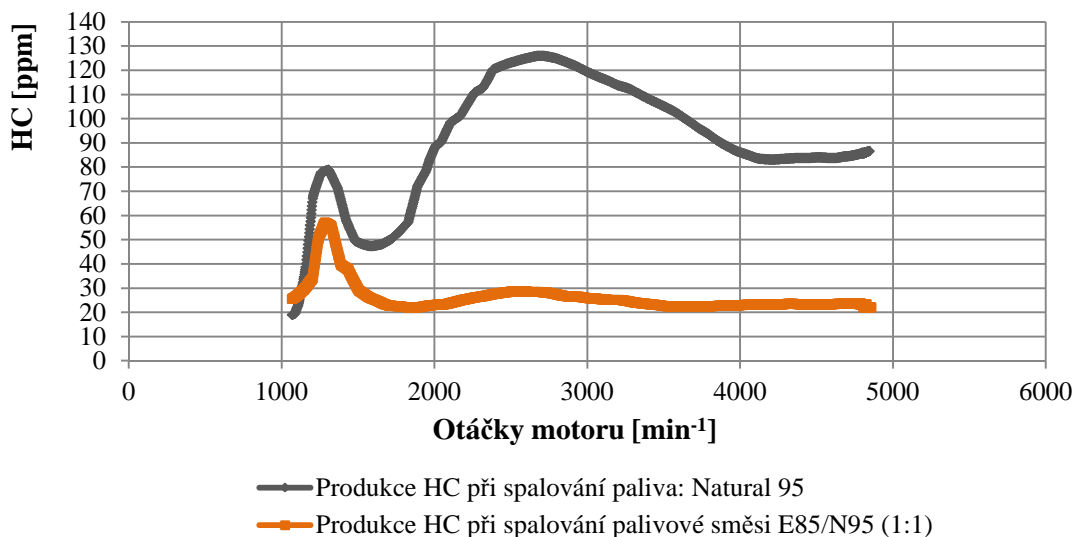
měřených otáček motoru. Při druhé fázi měření byl průměrný obsah CO ve výfukových plynech 0,05 %. Použitím palivové směsi E85/N95 (1:1) byl výrazně snížen obsah CO o hodnotu 2,42 %. Procentuální pokles obsahu CO ve výfukových plynech při použití směsi E85/N95 (1:1) je 98,14 %. Na základě statistického vyhodnocení, byl mezi naměřenými obsahy CO u obou paliv zjištěn statisticky vysoce významný rozdíl. Výše zmíněný pokles obsahu CO je způsoben vysokým obsahem kyslíku ve struktuře bioetanolu, který má za následek dokonalejší hoření palivové směsi ve válci.



Obrázek 28 Množství emisí CO ve výfukových plynech v závislosti na otáčkách

7.4.2 Nespálené uhlovodíky HC

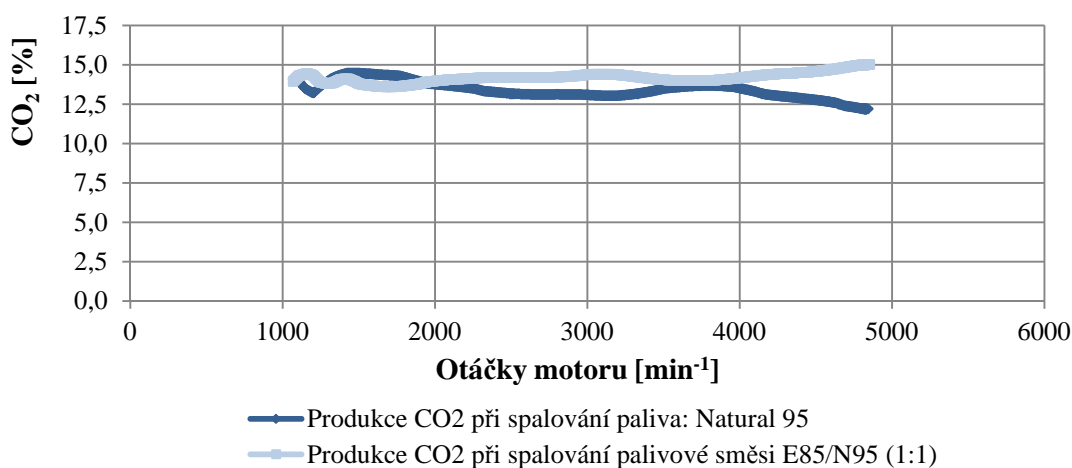
Koncentrace emisí nespálených uhlovodíků HC ve výfukových plynech v závislosti na otáčkách motoru je uvedena na Obrázku 29. Stejně jako v případě poklesu emisí CO, tak i emise HC při použití palivové směsi E85/N95 (1:1) výrazně poklesly. Průměrná hodnota obsahu emisí nespálených uhlovodíků HC ve výfukových plynech při spalování palivové směsi E85/N95 (1:1) byla 26 ppm (Parts per milion). Naproti tomu byla koncentrace emisí HC při spalování paliva Natural 95 výrazně vyšší resp., průměrná hodnota emisí HC při použití paliva Natural 95 byla 89 ppm. Při spalování směsi E85/N95 byla snížena produkce emisí HC o 63 ppm. Na základě statistického vyhodnocení naměřených emisí HC u obou paliv, byl zjištěn statisticky vysoce významný rozdíl. Výše zmíněný pokles produkce HC při použití směsi E85/N95 (1:1), je způsoben vysokým obsahem kyslíku v bioetanolu, který má pozitivní vliv na vyšší rychlost hoření palivové směsi ve válci.



Obrázek 29 Množství emisí HC ve výfukových plynech v závislosti na otáčkách

7.4.3 Oxid uhličitý CO₂

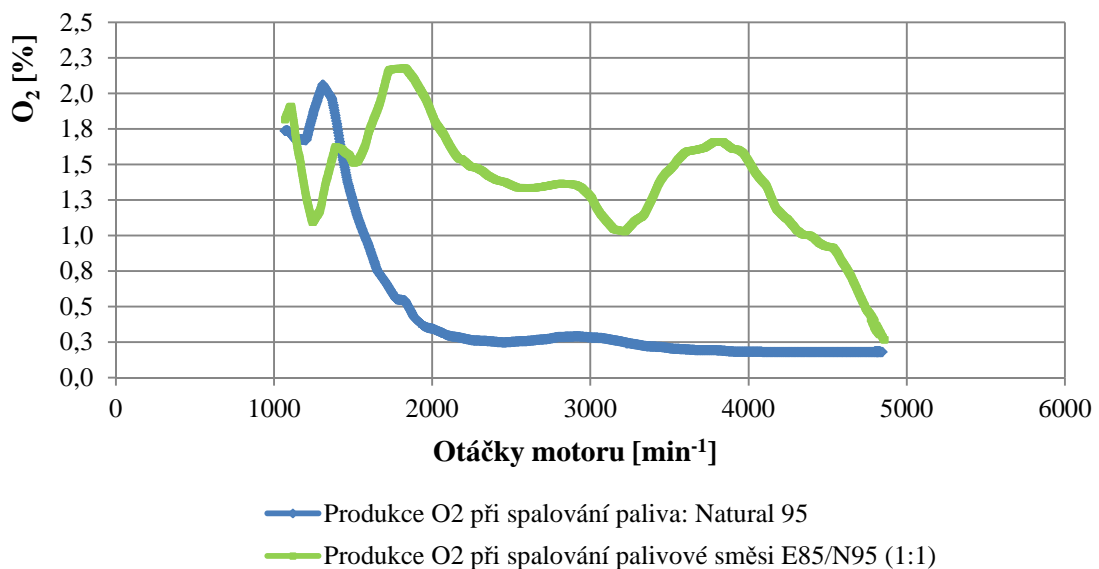
Na Obrázku 30 je znázorněn průběh emisí oxidu uhličitého ve výfukových plynech v závislosti na otáčkách motoru. Z uvedeného grafu je zřejmý nárůst produkce emisí CO₂ při použití palivové směsi E85/N95 (1:1). Při spalování směsi E85/N95 (1:1) byl průměrný obsah emisí CO₂ 14,19 % v celém rozsahu měřených otáček. Proti tomu činil průměrný obsah emisí oxidu uhličitého při spalování paliva Natural 95 13,40 %. Rozdíl obsahu CO₂ ve výfukových plynech při použití paliva Natural 95 je 0,79 %. Na základě statistického vyhodnocení, byl mezi naměřenými obsahy CO₂ u obou paliv zjištěn statisticky vysoce významný rozdíl.



Obrázek 30 Množství emisí CO₂ ve výfukových plynech v závislosti na otáčkách

7.4.4 Kyslík O₂

Z Obrázku 31 je patrné, že při spalování palivové směsi E85/N95 (1:1) roste procentuální obsah složky O₂ ve výfukových plynech. To je dáno zejména složením paliva E85, které obsahuje ve své struktuře kyslík. Při spalování paliva Natural 95 byl průměrný obsah kyslíku ve výfukových plynech 0,48 % v celém rozsahu měřených otáček motoru. V porovnání s palivem Natural 95 byl průměrný obsah kyslíku při spalování směsi E85/N95 (1:1) zvýšen na hodnotu 1,36 %. Rozdíl tedy činil 0,88 % obsahu O₂ ve výfukových plynech. Na základě statistického vyhodnocení, byl mezi naměřenými obsahy O₂ u obou paliv zjištěn statisticky vysoce významný rozdíl.



Obrázek 31 Množství emisí O₂ ve výfukových plynech v závislosti na otáčkách

8 DISKUZE

Vzhledem k chemicko-fyzikálním vlastnostem, které má etanol proti benzínu, jako je například vyšší výparné teplo, vyšší oktanové číslo a vyšší teplota hoření je předpoklad, že má pozitivní vliv na výkon motoru a také vzhledem k jeho vysokému obsahu kyslíku vliv na snížení produkce emisí výfukových plynů. Tímto předpokladem se zabývá publikovaná studie autorů KOÇ et al., 2009, ve které se autoři zaměřují na stanovení změn při spalování směsi etanolu a bezolovnatého benzínu ovlivňujících výkon zážehového motoru a produkci emisí výfukových plynů. Konkrétně porovnávají účinky bezolovnatého benzínu (E0) a směsí etanolu s bezolovnatým benzínem (E50 a E85) na výkon motoru a emise výfukových plynů. Měření dle studie bylo prováděno pomocí zážehového, jednoválcového, čtyřdobého motoru Hydra. Maximální výkon motoru byl před měřením 15 kW při otáčkách 5 400 min⁻¹ a jeho proměnlivý kompresní poměr byl v rozmezí 5:1 - 13:1. Během měření byly otáčky motoru v rozsahu 1 500 min⁻¹ - 5 000 min⁻¹, při 100 % otevření škrticí klapky a kompresním poměrem (10:1 a 11:1). Součinitel přebytku vzduchu byl regulován na konstantní hodnotu $\lambda = 1$. K měření byl použit stejnosměrný dynamometr, schopný vyvinout maximální zatížení 30 kW při rychlosti otáček 6 500 min⁻¹. Spolu s dynamometrem byl využit i tenzometrický snímač pro měření zatížení motoru. Dalším měřicím zařízením byl analyzátor výfukových plynů, který byl použit pro měření složek emisí výfukových plynů, resp. složek CO a HC. Jak již bylo zmíněno v úvodu této studie, předpokladem kterým se zabývají autoři při použití směsi etanolu s benzínem, je zvýšení výkonu motoru, i když v případě etanolu klesá v porovnání s benzínem jeho výhřevnost. V případě této studie bylo potvrzeno, že při použití směsi E50 a E85 byl naměřený výkon a točivý moment motoru vyšší než při použití čistého benzínu. Autoři toto tvrzení vysvětlují několika důvody, např. příznivým účinkem obsahu kyslíku ve struktuře etanolu, který způsobuje dokonalejší spalování, čím se zvýší točivý moment a výkon motoru. Kromě obsahu kyslíku má i hustota etanolu vyšší hodnotu tzn., že je vstříkováno do spalovacího prostoru větší množství paliva při stejném objemu směsi. Průměrný nárůst točivého momentu motoru s E50 a E85 byl o 2 % (0,3 kW) v porovnání s E0 při kompresním poměru 10:1. Při změně kompresního poměru na hodnotu 11:1, byl zaznamenán průměrný nárůst točivého momentu motoru při použití

směsi E50 o 2,3 % (0,35 kW), směsi E85 o 2,8 % (0,42 kW) v porovnání s E0. V případě této diplomové práce bylo zjištěno, že při spalování směsi E44 nebyl zaznamenán nárůst výkonu motoru ani točivého momentu motoru. Rozdíl mezi maximálním naměřeným výkonem směsi E44 a N95 činil 1,1 kW. Také rozdíl točivého momentu udával pokles o 6,3 N.m. Udávaný pokles výkonu a točivého momentu při spalování směsi E44, byl způsoben nedostatečnou adaptací řídicí jednotky na požadované množství vstřikovací dávky paliva do válce. Při měření výkonu a točivého momentu motoru v udávané studii, byl udržován součinitel přebytku vzduchu na konstantní hodnotě $\lambda=1$ v celém rozsahu měřených otáček. Z výsledků této diplomové práce je ale známo, že při spalování směsi E85/N95 (1:1) resp. (E44), byla průměrná hodnota součinitele přebytku vzduchu $\lambda=1,055$ a při spalování paliva Natural 95 byla průměrná hodnota $\lambda=0,916$. Pokles výkonu a točivého momentu motoru je také zapříčiněn nízkou výhřevností, která je v případě etanolu $26,8 \text{ MJ.kg}^{-1}$ a v případě benzínu $42,54 \text{ MJ.kg}^{-1}$ (ŠEBOR et al., 2006). Autoři studie se dále zabývají naměřenými a vypočtenými hodnotami měrné spotřeby paliva, které byly při použití směsí E50 a E85 vyšší v porovnání s E0. Konkrétně při měření s kompresním poměrem 10:1 byl zaznamenán nárůst měrné spotřeby u směsi E50 o 20,3 %, a směsi E85 o 45,6 % proti E0. Pro kompresní poměr 11:1 byla průměrná měrná spotřeba při použití směsi E50 a E85 vyšší o 16,1 % a 36,4 %. Zvýšená měrná spotřeba je dána nižší výhřevností etanolu, resp. s vyšším podílem etanolu ve směsi se snižuje i výsledná výhřevnost paliva. Aby autoři dosáhli předpokladu zvýšení výkonu motoru, bylo zabezpečeno i větší množství vstřikovaného paliva do válce, z důvodu zachování konstantní $\lambda=1$. Výsledky měření měrné spotřeby paliva publikované studií, které potvrzují, že při použití směsí etanolu a benzínu dochází k nárůstu měrné spotřeby paliva, korespondují s výsledky této diplomové práce. Dále se autoři studie zabývají měřením emisí výfukových plynů, které bylo zaměřeno na stanovení průměrných hodnot obsahu CO a HC ve spalinách v závislosti na směsích etanolu a také na proměnlivém kompresním poměru. Při kompresním poměru 10:1 byly obsahy CO ve všech směsích nižší než jedno procento. Výsledky obsahu CO autoři studie zdůvodňují nedokonalým spalováním z důvodu nedostatečného množství vzduchu ve stechiometrickém poměru nebo nedostatkem času v cyklu pro dokončení spalování. Koncentrace oxidu uhelnatého výrazně závisí na provozním stavu motoru a

stechiometrickém poměru. Z výsledků měření diplomové práce vyplývá, že při použití směsi E44 byl naměřen průměrný pokles obsahu CO ve výfukových plynech o 2,42 % (procentuálně o 98,14 %) proti palivu Natural 95. Tento pokles je způsoben vysokým obsahem kyslíku ve struktuře etanolu, který má za následek rychlejší hoření paliva ve válci. Dalším parametrem hodnoceným ve studii je obsah HC ve výfukových plynech. Významné snížení obsahu HC ve výfukových plynech bylo zaznamenáno u obou kompresních poměrů. Toto snížení je způsobeno obsahem kyslíku ve struktuře etanolu. Při zvyšování podílu etanolu ve směsi se následným spalováním snižuje i obsah HC ve výfukových plynech. Nejnižší obsah emisí HC byl naměřen při spalování směsi E85. Výsledky obsahu HC při spalování směsí etanolu prezentované studii korespondují s výsledky této diplomové práce.

Mezi další publikované práce, které se zabývají vlivem směsí etanolu a benzínu na výkon motoru a spotřebu paliva patří práce autorů EYIDOGAN et al., 2010. V této publikované práci se autoři zaměřují na posouzení vlivu palivových směsí E5 a E10 na výkon motoru a měrnou spotřebu paliva ve srovnání s benzínem. Měření bylo prováděno na zážehovém čtyřválcovém motoru s vícebodovým vstřikováním paliva. Měření probíhalo na válcovém dynamometru se stanovenými rychlostmi vozidla (80 km.h^{-1} a 100 km.h^{-1}), a také při proměnlivém zatížení (5, 10, 15 a 20 kW). Maximální výkon motoru před měřením byl 66 kW při otáčkách $5\,600 \text{ min}^{-1}$. Z výsledků publikované práce byl zjištěn pokles výkonu motoru při použití směsí E5 a E10 a různém zatížení ve srovnání s benzínem. Konkrétně při 20 % zatížení a rychlosti 80 km.h^{-1} , byl naměřen výkon motoru 53,33 kW (Benzín), 53,45 kW (E5) a 51,44 kW (E10). Při 20 % zatížení a rychlosti 100 km.h^{-1} , byl naměřen výkon motoru 49,91 kW (Benzín), 48,07 kW (E5) a 47,08 kW (E10). Pokles výkonu motoru autoři přisuzují zvyšováním obsahu etanolu ve směsi s benzínem, který má za následek snižování výsledné palivové výhřevnosti celého objemu paliva. Výsledky naměřených výkonů publikované práce, korespondují s výsledky měření této diplomové práce. Mezi další výsledky publikované ve zmiňované práci patří nárůst měrné spotřeby paliva, který byl zvýšen při použití směsí etanolu. Konkrétně při použití směsí E5 a E10, byla v rozsahu obou měřených rychlostí zvýšena měrná spotřeba paliva o 2,8 % a 3,6 % (80 km.h^{-1}), a o 0,2 % a 1,5 % (100 km.h^{-1}) ve srovnání s benzínem. Nárůst měrné spotřeby autoři

studie rovněž přisuzují nízké výhřevnosti etanolu ve srovnání s benzínem, která je ovlivněna vyšším obsahem kyslíku a kompenzuje se větším množstvím vstříkované dávky paliva do válce než při spalování benzínu. Výsledky měrné spotřeby paliva publikované práce korespondují s výsledky měrné spotřeby této diplomové práce.

9 ZÁVĚR

Práce se zabývá využíváním bioetanolu jako paliva pro spalovací motory. Bioetanol je v současné době nejvíce uplatňovaným kapalným biopalivem pro zážehové motory. V závislosti na povinném plnění závazků Evropské unie, které se týkají postupného snižování škodlivých emisí, je v ČR i ostatních zemí EU stanovena normou povinná příměs bioetanolu do benzínu. Z hlediska narůstající produkce bioetanolu z důvodu zavedení povinných příměsí bioetanolu do benzínu, je nutné zabezpečit i dostatečné množství výrobní suroviny. V současné době jsou nejvíce využívanými surovinami pro výrobu bioetanolu zemědělské plodiny, např. cukrová třtina, cukrová řepa, kukuřice apod. Z příkladů vyjmenovaných zemědělských plodin vyplývá, že jsou to plodiny, které se využívají pro potravinářský průmysl. Z důvodu zachování výrobních komodit pro potravinářský průmysl je současným záměrem přesměřovat výrobu bioetanolu do odvětví lignocelulózové biomasy. Výroba bioetanolu z lignocelulózové biomasy je technologicky náročná a je v současné době ve fázi vývoje.

Praktická část práce je zaměřena na posouzení vlivu směsi bioetanolu a benzínu na výstupní parametry zážehového motoru ve srovnání s benzínem. Na základě praktického měření bylo zjištěno, že při použití směsi bioetanolu a benzínu, byla výrazně snížena produkce škodlivých emisí výfukových plynů ve srovnání s benzínem. Snižování obsahu škodlivých emisí výfukových plynů při použití směsi bioetanolu je hlavním důvodem využívání bioetanolu jako paliva pro zážehové motory. Na druhou stranu použitím směsi bioetanolu je snížena výhřevnost paliva, to znamená, že pro dokonalé spalování je nutná úprava stechiometrického poměru, což vede ke zvyšování spotřeby paliva. Bez požadované úpravy stechiometrického poměru je důsledkem pokles výkonu a točivého momentu motoru. V závislosti na používání bioetanolových směsí jsou požadovány změny provozních parametrů motoru, např. výše zmíněná bohatost směsi ale také i změna předstihu zážehu, antikorozi ochrany palivových nádrží, palivového potrubí a ostatních palivových součástí, které mají za následek optimální využití bioetanolu jako paliva pro zážehové motory. Příkladem plnohodnotného použití bioetanolových směsí jako paliva pro zážehové motory jsou vozidla FFV (Flexible Fuel Vehicles). Vozidla FFV jsou již z výroby konstrukčně upravena pro provoz na vysokoprocenní směsi bioetanolu, příkladem je směs E85.

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ČESKÁ ASOCIACE PETROLEJÁŘSKÉHO PRŮMYSLU A OBCHODU (ČAPPO),
2014: *Zhodnocení používání biopaliv v dopravě v České republice k 31. 5. 2014.*

Databáze online [cit. 2015-03-22]. Dostupné na:

<http://www.cappo.cz/res/data/001/000172.pdf>

ČESKÁ RAFINÉRSKÁ, a.s., 2015: *Automobilový benzín.* Databáze online [cit. 2015-03-15]. Dostupné na: <http://www.crc.cz/cz/automobilove-benziny.aspx>

DAILYTECH, 2013: *Common ethanol fuel mixtures.* Databáze online [cit. 2015-04-03].
Dostupné na:

[http://www.dailytech.com/Ten+Senators+Sponsor+Bill+to+Scrap+Corn+Ethanol+Mark
et+Manipulation/article33922.htm](http://www.dailytech.com/Ten+Senators+Sponsor+Bill+to+Scrap+Corn+Ethanol+Market+Manipulation/article33922.htm)

ETHANOLHISTORY, 2011: *Ethanol History - From Alcohol to Car Fuel.* Databáze
online [cit. 2015-03-27]. Dostupné na: <http://ethanolhistory.com/>

EUR-LEX, 2009: *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES ze dne 23.
dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů.* Databáze online [cit.
2015-03-10]. Dostupné na: [http://eur-lex.europa.eu/legal-
content/CS/NOT/?uri=CELEX:32009L0028&qid=1429548595876](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/NOT/?uri=CELEX:32009L0028&qid=1429548595876)

EUR-LEX, 2009: *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/30/ES ze dne 23.
dubna 2009, kterou se mění směrnice 98/70/ES, pokud jde o specifikaci benzínu,
motorové nafty a plynových olejů a zavedení mechanismů pro sledování a snížení emisí
skleníkových plynů.* Databáze online [cit. 2015-03-12]. Dostupné na: [http://eur-
lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1429549356569&uri=CELEX:32009L0030](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1429549356569&uri=CELEX:32009L0030)

HROMÁDKO J., HROMÁDKO J., MILER P., HÓNIG V., ŠTĚRBA P., 2009: *Využití
bioethanolu jako paliva ve spalovacích motorech.* Chemické Listy 105, 122-128 (2011).

HROMÁDKO J., HROMÁDKO J., MILER P., HÖNIG V., ŠTĚRBA P., 2010: *Výroba bioetanolu*. Listy cukrovarnické a řepařské 126 (7-8) 267-270.

MATĚJOVSKÝ V., 2005: *Automobilová paliva*. Grada Publishing, a.s., Praha, 224 s. ISBN 80-247-0350-5.

MAXA D., 2013: *Použití paliva E85 v palivové soustavě zážehových motorů konstruovaných pro automobilový benzin*. Paliva 5 (2013), 3, s. 105-108.

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ, ÚSTAV TECHNIKY A AUTOMOBILOVÉ DOPRAVY: *Vozidlová zkušebna pro osobní automobily*. Databáze online [cit. 2015-04-03]. Dostupné na: <http://web2.mendelu.cz/autozkusebna/html/dynamos.htm#dyn>

MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, 2012: *Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů*. Databáze online [cit. 2015-03-17]. Dostupné na: <http://www.mpo.cz/assets/cz/2012/11/NAP.pdf>

MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, 2015: *Souhrnný přehled 2014*. Databáze online [cit. 2015-04-02]. Dostupné na: <http://www.mpo.cz/dokument156000.html>

MUHARREM EYIDOGAN, AHMET NECATI OZSEZEN, MUSTAFA CANAKCI, ALI TURKCAN, 2010: *Impact of alcohol-gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristic of SI engine*. Fuel 89 (2010) 2713-2720.

MUSTAFA KOÇ, YAKUP SEKMEN, TOLGA TOPGÜL, HÜSEYİN SERDAR YÜCESU, 2009: *The effects of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine*. Renewable Energy 34 (2009) 2101-2106.

NGK SPARK PLUG EUROPE, 2015: *Širokopásmová lambda sonda*. Databáze online [cit. 2015-03-21]. Dostupné na: <http://www.ngk.de/cz/produkty-a-technologie/lambda-sondy/technologie-lambda-sond/sirokopasmove-lambda-sonda/>

POLCAR, 2013: *Analýza změn výstupních parametrů motorů při spalování paliva E85*. Mendelova univerzita v Brně. 144 s.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION, 2014: *Global Ethanol Production*. Alternative Fuels Data Center. Databáze online [cit. 2015-04-05]. Dostupné na: <http://www.afdc.energy.gov/data/?q=ethanol>

SHIFTER I., DIAZ L., RODRIGUEZ R., GÓMEZ J.P., GONZALES U., 2011: *Combustion and emissions behavior for ethanol-gasoline blends in a single cylinder engine*. Fuel 90 (2011) 3586-3592.

SU HAN PARK, HYUNG JUN KIM, HYUN KYU SUH, CHANG SIK LEE, 2009: *Atomization and spray characteristic of bioethanol and bioethanol blended gasoline fuel injected through a direct injection gasoline injector*. International Journal of Heat and Fluid Flow 30 (2009) 1183-1192.

ŠEBOR G., POSPÍŠIL M., ŽÁKOVEC J., 2006: *Technicko-ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě I. část*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Databáze online [cit. 2015-03-26]. Dostupné na: http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/F2EF24EF-5E59-42C7-B6C7-A5508CE8F820/0/Technickoekonomicka_analyza_vhodnych_alternativnich_paliv_v_dopravecast_1.pdf

THE UNIVERSITY OF EDINBURGH, 2007: *Energy from waste and wood*. Databáze online [cit. 2015-04-10]. Dostupné na: <http://energyfromwasteandwood.weebly.com/generations-of-biofuels.html>

TRNKA J., 2014: *Biopaliva frčí (nejen) v Čechách již více než sto let*. Biom.cz. Databáze online [cit. 2015-03-21]. Dostupné na: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biopaliva-frci-nejen-v-cechach-jiz-vice-nez-sto-let>

VLK F., 2004: *Alternativní pohony motorových vozidel*. Vlk, Brno, 234 s.

VLK F., 2006: *Paliva a maziva motorových vozidel*. Vlk, Brno, 376 s.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Destilační křivka motorového benzínu pro silniční vozidla.....	14
Obrázek 2 Světová produkce bioetanolu	26
Obrázek 3 Souhrnné ukazatele bioetanolu v ČR	27
Obrázek 4 Schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry.....	29
Obrázek 5 Schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující škrob	30
Obrázek 6 Schéma výroby bioetanolu z lignocelulózové biomasy	31
Obrázek 7 Druhy palivových směsí.....	36
Obrázek 8 Osobní automobil Škoda Felicia	39
Obrázek 9 Schéma konstrukčního uspořádání vozidlového dynamometru 4VDM E120-D	41
Obrázek 10 Vozidlová válcová zkušebna	44
Obrázek 11 Coriolisovy průtokoměry	45
Obrázek 12 Bosch ESA	46
Obrázek 13 Diagnostický tester TS Pro.....	47
Obrázek 14 Upravený díl výfukového potrubí s originální dvoustavovou a přídavnou širokopásmovou lambda sondou.....	48
Obrázek 15 Širokopásmová lambda sonda.....	49
Obrázek 16 Prostorové znázornění elementu širokopásmové lambda sondy.....	49
Obrázek 17 Uživatelské prostředí vytvořené v programu LabVIEW 2013 pro měření hodnot λ a napětí λ	50
Obrázek 18 Externí palivová nádrž	50
Obrázek 19 Přední ukotvení měřeného vozidla.....	52
Obrázek 20 Zadní ukotvení měřeného vozidla	53
Obrázek 21 Instalace ventilátorů pro chlazení motoru	53
Obrázek 22 Připojení měřících zařízení a snímačů k měřenému vozidlu.....	54
Obrázek 23 Vnější otáčková charakteristika motoru se znázorněným výkonem a točivým momentem.....	57
Obrázek 24 Součinitel přebytku vzduchu λ v závislosti na otáčkách motoru	58
Obrázek 25 Vnější otáčková charakteristika motoru se znázorněným průběhem hodinové a měrné spotřeby paliva	59

Obrázek 26 Použitá regresní rovnice pro výpočet dolní výhřevnosti E44	60
Obrázek 27 Efektivní účinnost motoru při provozu vozidla na směs E85/N95 (1:1) a Natural 95.....	61
Obrázek 28 Množství emisí CO ve výfukových plynech v závislosti na otáčkách.....	62
Obrázek 29 Množství emisí HC ve výfukových plynech v závislosti na otáčkách.....	63
Obrázek 30 Množství emisí CO ₂ ve výfukových plynech v závislosti na otáčkách.....	63
Obrázek 31 Množství emisí O ₂ ve výfukových plynech v závislosti na otáčkách	64

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Základní kvalitativní parametry bezolovnatých benzínů podle ČSN EN 228	12
Tabulka 2 Odhadovaná domácí dodávka biomasy v letech 2015 a 2020	22
Tabulka 3 Vlastnosti paliv	32
Tabulka 4 Technické parametry vozidla Škoda Felicia	40
Tabulka 5 Základní vlastnosti vozidlové válcové zkušebny 4VDM E120-D	42
Tabulka 6 Základní charakteristika Bosch ESA 3.250	47
Tabulka 7 Směsi bioetanolu a jejich výhřevnost	60

PŘÍLOHY

Seznam příloh

Příloha 1 Protokol z kalibrační zkoušky tachometru	78
Příloha 2 Protokol z kalibrační zkoušky závislosti rychlosti vozidla na otáčkách motoru	79
Příloha 3 Protokol z kalibrační zkoušky statického výkonu	80
Příloha 4 Protokol dynamické zkoušky na válcové zkušební pro první měření paliva Natural 95	81
Příloha 5 Protokol dynamické zkoušky na válcové zkušební pro druhé měření paliva Natural 95	82
Příloha 6 Protokol dynamické zkoušky na válcové zkušební pro třetí měření paliva Natural 95	83
Příloha 7 Protokol dynamické zkoušky na válcové zkušební pro první měření palivové směsi E85/N95 (1:1)	84
Příloha 8 Protokol dynamické zkoušky na válcové zkušební pro druhé měření palivové směsí E85/N95 (1:1).....	85
Příloha 9 Protokol dynamické zkoušky na válcové zkušební pro třetí měření palivové směsí E85/N95 (1:1)	86

Kalibrační list tachometru

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

04

Vozidlo: Felicia 1.3 MPI SPZ: 5B3 9038 Operátor: Ing.Podlipný
Datum: 11:59:48 / 09.12.2014 Stav tach: 135166 km Poznámka:

Kontrolní rychlost <i>km/h</i>	Měřená rychlost <i>km/h</i>	Odchylka <i>km/h</i>
50.0	46.7	-3.3
90.0	86.9	-3.1
130.0	127.3	-2.7

Chyba tachometru [km]

-2.168

Celkový výsledek

Chyba



Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně
Ústav techniky a automobilové dopravy

tel.: +420 545 132 949
fax: +420 545 132 093
email: podlipny@mendelu.cz
Zemědělská 1, Brno 613 00
http://www.mendelu.cz/autozkusebna

Kalibrace závislosti rychlost vozidla & otáčky motoru

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

05

Vozidlo: Felicia 1.3 MPI SPZ: 5B3 9038 Operátor: Ing.Podlipný
Datum: 12:02:40 / 09.12.2014 Stav tachy: 135166 km Poznámka:

Kontrolní otáčky	Měřená rychlost
<i>1/min</i>	<i>km/h</i>
1000	32.6
2000	65.7
3000	98.3
4000	131.6
5000	165.6

Poloměr kola [m]

0.271

Celkový výsledek

OK

Příloha 2 Protokol z kalibrační zkoušky závislosti rychlosti vozidla na otáčkách motoru

Protokol kalibrace pro statické zkoušky výkonu

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

03

Vozidlo: Felicia 1.3 MPI SPZ: 5B3 9038 Operátor: Ing.Podlipný

Datum: 11:55:13 / 09.12.2014 Rozsah: 40.0 ÷ 160.0 km/h Poznámka:

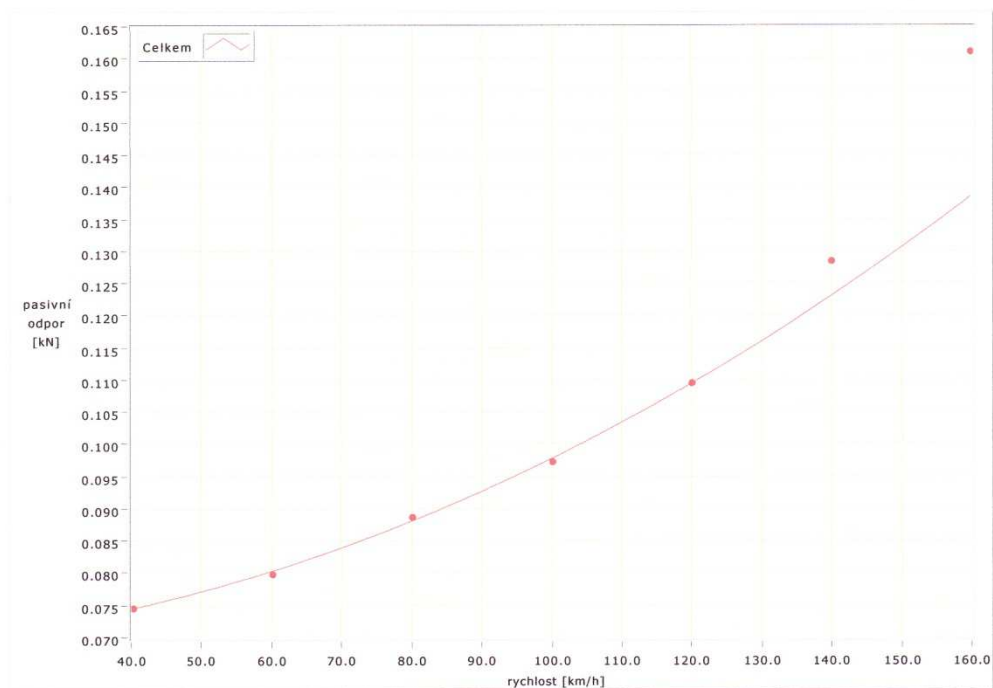
Koeficienty odporu

Náhon: Přední

A 6.859289E-2 kN
B 4.837433E-5 kN/(km/hod)
C 2.434115E-6 kN/(km/hod)²
D 1182.826 kg

Kalibrace Rolny

LP	0.1058	0.9647
PP	0.0094	0.9711



Příloha 3 Protokol z kalibrační zkoušky statického výkonu



Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně
Ústav techniky a automobilové dopravy

tel.: +420 545 132 949
fax: +420 545 132 093
email: podlipny@mendelu.cz
Zemědělská 1, Brno 613 00
http://www.mendelu.cz/autozkusebna

Zkušební protokol motoru

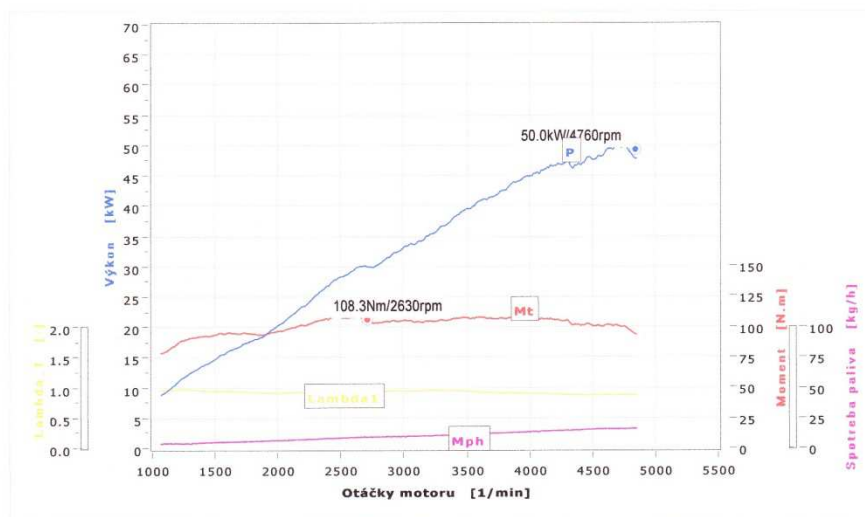
Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

dynamická zkouška / #7

Datum : 09/12/2014 Čas : 12:17:29 Operátor : Ing.Podlipný SPZ : 5B3 9038 č.m. :
Specifikace vozu : Felcia 1.3 MPI VIN: TMBEFF613W0779118
Specifikace testu : Diplomová práce

Barometrické podmínky Palivo Motor Ostatní
teplota [°C] : 25 druh : Natural 95 typ : zážehový př.stupeň : V
tlak [kPa] : 99.45 teplota [°C] : 20 ϕ x zdvih : 75.5x72.0 stav tachy : 135166 km
vlhkost [%] : 47 hustota [g/ccm] : 0.775 z.objem [dm³] : 1.289 doplň.údaj :

korigovaná data na barometrické podmínky												
#	v	n	P kor	Mt kr	T_sání	Lambda1	Mph	O2	CO	HC	CO2	Lambda
	km/h	1/min	kW	N.m	°C	-	kg/h	%	%	ppm	%	-
1	35.0	1066	8.8	78.4	24.7	0.952	3.7	1.89	0.095	32	13.93	1.090
2	42.1	1282	12.1	90.0	24.8	0.961	4.0	2.12	0.569	136	13.20	1.078
3	50.3	1532	15.2	94.8	24.8	0.935	4.9	1.51	1.040	91	14.24	1.041
4	58.9	1794	17.8	94.5	24.8	0.917	5.5	0.63	1.493	104	14.10	0.985
5	67.4	2055	21.1	97.7	24.9	0.908	6.5	0.36	2.228	132	13.73	0.948
6	77.0	2344	26.0	105.7	25.1	0.916	7.7	0.31	2.909	138	13.12	0.928
7	87.2	2655	30.0	107.6	25.2	0.920	8.9	0.35	3.138	139	12.95	0.920
8	97.0	2953	32.5	104.7	25.1	0.942	9.6	0.37	3.036	129	13.07	0.925
9	106.7	3248	35.7	104.6	25.1	0.955	10.2	0.29	2.981	120	13.08	0.922
10	116.3	3542	39.8	107.2	25.2	0.932	11.3	0.23	2.364	109	13.48	0.938
11	126.1	3840	43.2	107.5	25.4	0.905	12.6	0.20	2.083	95	13.72	0.946
12	135.5	4127	46.0	106.5	25.4	0.894	13.8	0.19	2.880	83	13.34	0.925
13	144.4	4398	46.9	102.0	25.4	0.873	14.8	0.19	3.524	82	12.92	0.907
14	152.5	4644	49.5	102.0	25.5	0.872	15.5	0.19	4.095	83	12.60	0.895
15	160.0	4873	47.8	94.1	25.7	0.873	16.1	0.19	4.812	87	12.08	0.874



Příloha 4 Protokol dynamické zkoušky na válcové zkušebně pro první měření paliva Natural 95



Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně
Ústav techniky a automobilové dopravy

tel.: +420 545 132 949
fax: +420 545 132 093
email: podlipny@mendelu.cz
Zemědělská 1, Brno 613 00
http://www.mendelu.cz/autozkusebna

Zkušební protokol motoru

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

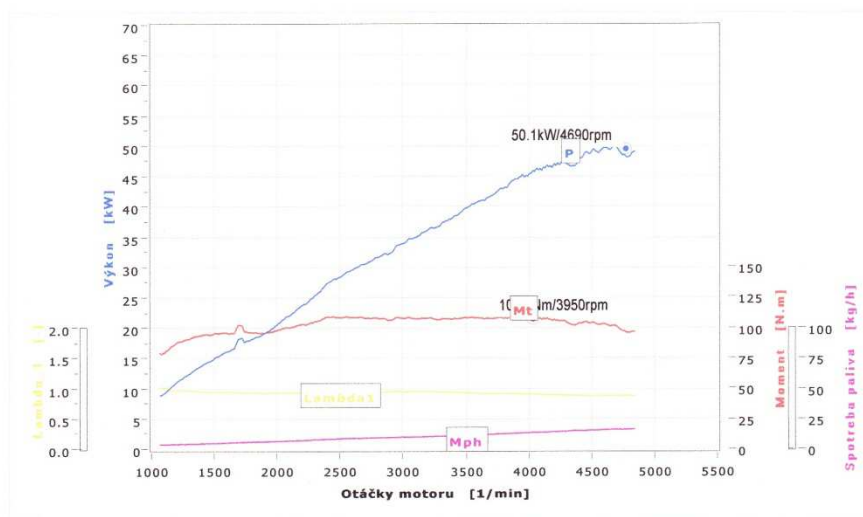
dynamická zkouška / #8

Datum : 09/12/2014 Čas : 12:21:43 Operátor : Ing.Podlipný SPZ : 5B3 9038
Specifikace vozu : Felcia 1.3 MPI
Specifikace testu : Diplomová práce

č.m.:
VIN: TMBEFF613W0779118

Barometrické podmínky	Palivo	Motor	Ostatní
teplota [°C] : 25	druh : Natural 95	typ : zážehový	př.stupeň : V
tlak [kPa] : 99.45	teplota [°C] : 20	φ x zdvih : 75.5x72.0	stav tachy : 135166 km
vlhkost [%] : 47	hustota [g/ccm] : 0.775	z.objem [dm ³] : 1.289	doplň.údaj :

korigovaná data na barometrické podmínky												
#	v	n	P kor	Mt kr	T_sání	Lambda1	Mph	O2	CO	HC	CO2	Lambda
	km/h	1/min	kW	N.m	°C	-	kg/h	%	%	ppm	%	-
1	35.0	1067	8.8	79.1	24.9	0.999	3.5	1.70	0.006	13	14.05	1.084
2	41.9	1274	12.0	90.1	24.9	0.959	3.7	1.59	0.152	18	14.41	1.072
3	50.1	1524	15.3	95.5	25.0	0.938	4.8	0.83	0.133	19	14.70	1.037
4	58.8	1790	18.0	96.2	25.0	0.926	5.7	0.50	1.327	24	14.40	0.985
5	67.3	2051	21.3	99.7	25.1	0.924	6.4	0.29	2.253	71	13.75	0.946
6	76.7	2335	25.8	105.9	25.3	0.918	7.5	0.23	2.688	104	13.44	0.931
7	86.9	2645	30.0	108.6	25.4	0.913	8.8	0.23	2.803	117	13.24	0.926
8	96.7	2947	33.3	108.2	25.4	0.945	9.3	0.26	3.080	115	13.15	0.923
9	106.7	3248	36.5	107.5	25.4	0.944	10.0	0.23	2.937	109	13.07	0.919
10	116.4	3544	40.2	108.5	25.6	0.917	11.5	0.20	2.221	101	13.60	0.941
11	126.1	3839	43.2	107.6	25.7	0.910	12.4	0.19	2.331	89	13.64	0.940
12	135.6	4131	46.4	107.7	25.7	0.891	13.6	0.18	3.131	83	13.12	0.917
13	144.4	4397	46.9	102.3	25.7	0.881	14.9	0.18	3.442	83	12.91	0.910
14	152.7	4651	49.6	102.3	25.8	0.873	15.6	0.18	4.042	84	12.59	0.893
15	160.0	4873	49.1	96.7	26.0	0.871	16.1	0.18	4.599	87	12.20	0.878



Příloha 5 Protokol dynamické zkoušky na válcové zkušebně pro druhé měření paliva Natural 95

Zkušební protokol motoru

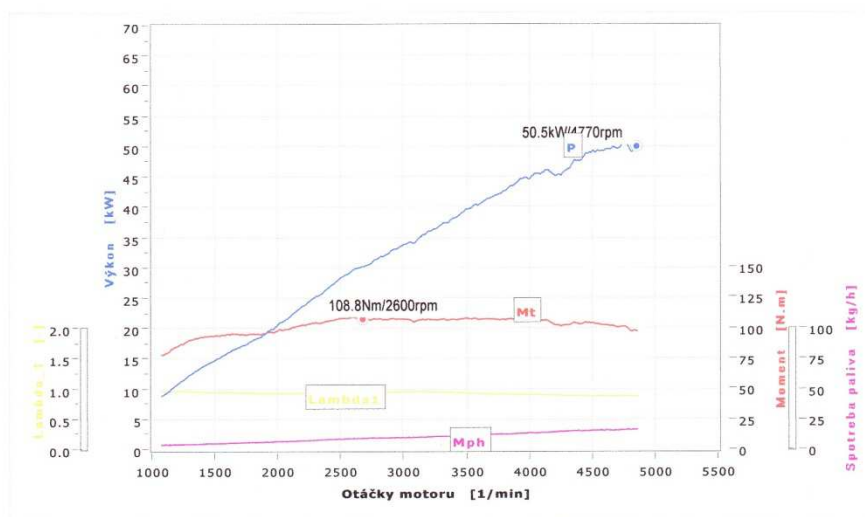
Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

dynamická zkouška / #9

Datum : 09/12/2014 **Čas :** 12:25:53 **Operátor :** Ing.Podlipný **SPZ :** 5B3 9038 **č.m.:**
Specifikace vozu : Felicia 1.3 MPI **VIN:** TMBEFF613W0779118
Specifikace testu : Diplomová práce

Barometrické podmínky	Palivo	Motor	Ostatní
teplota [°C] : 26	druh : Natural 95	typ : zážehový	př.stupeň : V
tlak [kPa] : 99.46	teplota [°C] : 20	φ x zdvih : 75.5x72.0	stav tachy : 135166 km
vlhkost [%] : 47	hustota [g/ccm] : 0.775	z.objem [dm³] : 1.289	doplň.údaj :

korigovaná data na barometrické podmínky												
#	v	n	P kor	Mt kr	T_sání	Lambda1	Mph	O2	CO	HC	CO2	Lambda
	km/h	1/min	kW	N.m	°C	-	kg/h	%	%	ppm	%	-
1	35.0	1068	8.7	77.7	25.1	0.952	3.5	1.63	0.110	12	14.31	1.079
2	42.0	1277	12.0	89.1	25.2	0.956	4.0	2.19	0.199	81	13.96	1.098
3	50.1	1525	15.0	93.5	25.2	0.935	4.7	1.08	1.079	34	14.45	1.022
4	58.7	1787	17.9	95.1	25.2	0.923	5.7	0.53	1.627	37	14.20	0.981
5	67.3	2050	21.4	99.0	25.3	0.919	6.4	0.30	2.350	69	13.68	0.945
6	76.9	2341	25.8	104.4	25.4	0.918	7.7	0.24	2.773	101	13.38	0.930
7	87.0	2649	30.1	107.8	25.5	0.920	8.7	0.21	2.917	121	13.17	0.922
8	97.1	2956	33.4	107.3	25.5	0.947	9.4	0.24	3.099	118	13.12	0.922
9	106.9	3257	36.6	106.6	25.6	0.939	10.2	0.21	2.852	110	13.11	0.920
10	116.6	3553	40.3	108.0	25.7	0.917	11.5	0.18	2.147	100	13.53	0.941
11	126.3	3847	43.5	107.7	25.8	0.902	12.4	0.18	2.304	89	13.67	0.941
12	135.6	4128	46.0	106.3	25.8	0.890	13.6	0.17	3.192	84	13.12	0.916
13	144.3	4392	47.6	103.4	25.8	0.875	15.2	0.17	3.547	86	12.87	0.906
14	152.5	4643	49.5	102.0	25.9	0.872	15.5	0.17	4.104	85	12.56	0.892
15	160.1	4873	49.6	97.3	26.0	0.872	16.1	0.17	4.656	87	12.15	0.877



Příloha 6 Protokol dynamické zkoušky na válcové zkušebně pro třetí měření paliva Natural 95

Zkušební protokol motoru

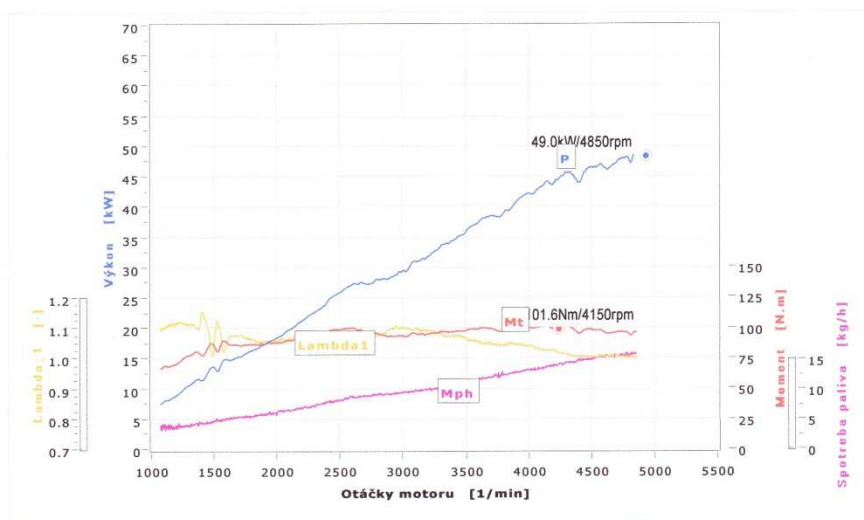
Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

dynamická zkouška / #10

Datum : 09/12/2014 **Čas :** 13:06:09 **Operátor :** Ing.Podlipný **SPZ :** 5B3 9038 **č.m.:**
Specifikace vozu : Felicia 1.3 MPI **VIN:** TMBEFF613W0779118
Specifikace testu : Diplomová práce

Barometrické podmínky	Palivo	Motor	Ostatní
teplota [°C] : 26	druh : Nat 95+E85(1/2)	typ : zážehový	př.stupeň : V
tlak [kPa] : 99,49	teplota [°C] : 20	φ x zdvih : 75.5x72.0	stav tachy : 135166 km
vlhkost [%] : 47	hustota [g/ccm] : 0.000	z.objem [dm³] : 1.289	doplň.údaj :

korigovaná data na barometrické podmínky												
#	v	n	P kor	Mt kr	T_sání	Lambda1	Mph	O2	CO	HC	CO2	Lambda
	km/h	1/min	kW	N.m	°C	-	kg/h	%	%	ppm	%	-
1	35.0	1067	7.5	66.6	25.8	1.091	3.9	2.07	0.328	40	13.18	1.094
2	40.8	1241	9.7	74.0	25.7	1.114	3.6	1.61	0.178	100	13.06	1.071
3	48.1	1462	13.4	87.1	25.6	1.029	4.5	2.41	0.025	40	13.45	1.122
4	56.6	1727	15.6	86.0	25.6	1.072	5.3	2.42	0.010	27	13.44	1.125
5	65.2	1986	18.3	87.7	25.6	1.059	5.6	2.03	0.011	26	13.96	1.100
6	74.4	2266	22.3	93.6	25.8	1.055	7.0	1.50	0.010	29	14.10	1.073
7	84.6	2578	27.1	99.9	25.8	1.039	8.6	1.36	0.011	29	14.13	1.065
8	94.6	2881	28.2	93.0	25.7	1.093	8.9	1.39	0.010	26	14.22	1.067
9	104.0	3166	31.3	94.1	25.7	1.091	9.7	1.03	0.011	24	14.35	1.048
10	113.6	3460	35.3	97.2	25.8	1.069	10.7	1.60	0.010	21	13.91	1.079
11	123.5	3762	38.3	96.9	25.9	1.042	12.0	1.81	0.011	21	13.93	1.090
12	133.2	4056	42.7	100.2	25.9	1.031	13.0	1.36	0.012	22	14.24	1.065
13	143.1	4357	45.2	99.1	25.9	1.006	14.2	0.98	0.014	22	14.50	1.046
14	151.9	4625	46.2	95.5	26.0	1.006	15.4	0.69	0.014	22	14.72	1.032
15	160.0	4874	48.9	96.0	26.2	1.000	15.7	0.27	0.016	22	15.00	1.011



Příloha 7 Protokol dynamické zkoušky na válcové zkušebně pro první měření palivové směsi E85/N95 (1:1)



Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně
Ústav techniky a automobilové dopravy

tel.: +420 545 132 949
fax: +420 545 132 093
email: podlipny@mendelu.cz
Zemědělská 1, Brno 613 00
http://www.mendelu.cz/autozkusebna

Zkušební protokol motoru

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

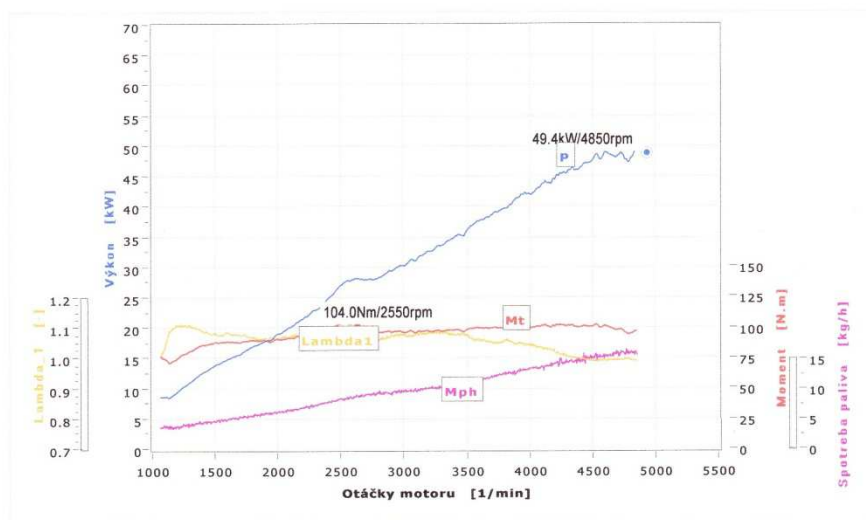
dynamická zkouška / #12

Datum : 09/12/2014 Čas : 13:17:17 Operátor : Ing.Podlipný SPZ : 5B3 9038 č.m. :
Specifikace vozu : Felicia 1.3 MPI
Specifikace testu : Diplomová práce

VIN: TMBEFF613W0779118

Barometrické podmínky	Palivo	Motor	Ostatní
teplota [°C] : 27	druh : Nat 95+E85(1/2)	typ : zážehový	př.stupeň : V
tlak [kPa] : 99.50	teplota [°C] : 20	φ x zdvih : 75.5x72.0	stav tachy : 135166 km
vlhkost [%] : 47	hustota [g/ccm] : 0.000	z.objem [dm ³] : 1.289	doplň.údaj :

korigovaná data na barometrické podmínky												
#	v	n	P kor	Mt kr	T_sání	Lambda1	Mph	O2	CO	HC	CO2	Lambda
	km/h	1/min	kW	N.m	°C	-	kg/h	%	%	ppm	%	-
1	35.0	1066	8.5	76.4	26.2	1.003	3.5	1.75	0.418	21	14.26	1.069
2	41.3	1257	10.3	78.4	26.2	1.106	4.0	0.91	0.495	34	13.88	1.019
3	49.0	1495	13.7	87.5	26.2	1.080	4.6	1.57	0.033	26	13.99	1.075
4	57.6	1754	16.4	89.1	26.2	1.071	5.3	2.18	0.012	21	13.62	1.110
5	66.2	2016	19.1	90.2	26.3	1.064	6.1	1.74	0.011	23	13.94	1.086
6	75.4	2294	22.9	95.1	26.5	1.069	7.2	1.55	0.012	27	14.11	1.075
7	85.7	2610	28.1	102.6	26.7	1.043	8.5	1.42	0.013	30	14.12	1.068
8	95.5	2907	29.4	96.4	26.7	1.073	9.3	1.46	0.014	28	14.19	1.070
9	104.8	3191	32.6	97.3	26.7	1.083	9.9	0.99	0.014	27	14.43	1.046
10	114.2	3478	35.2	96.6	26.7	1.077	10.8	1.31	0.013	25	14.18	1.063
11	123.8	3770	39.3	99.6	26.7	1.049	12.1	1.55	0.013	24	14.04	1.076
12	133.4	4062	42.9	100.9	26.8	1.033	13.1	1.45	0.014	24	14.21	1.070
13	142.9	4352	46.4	102.1	26.9	1.002	14.2	1.07	0.015	24	14.44	1.050
14	152.0	4627	48.9	101.2	27.0	0.990	15.3	0.81	0.016	25	14.72	1.036
15	160.0	4873	49.4	97.2	27.1	0.989	15.5	0.24	0.260	24	15.02	1.002



Příloha 8 Protokol dynamické zkoušky na válcové zkušebně pro druhé měření palivové směsí E85/N95 (1:1)

Zkušební protokol motoru

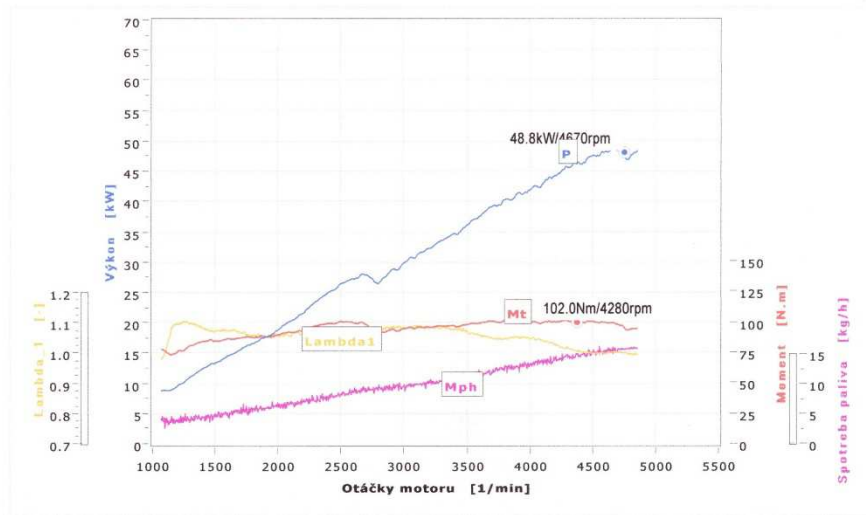
Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

dynamická zkouška / #13

Datum : 09/12/2014 **Čas :** 13:21:37 **Operátor :** Ing.Podlipný **SPZ :** 5B3 9038 **č.m.:**
Specifikace vozu : Felicia 1.3 MPI **VIN:** TMBEFF613W0779118
Specifikace testu : Diplomová práce

Barometrické podmínky	Palivo	Motor	Ostatní
teplota [°C] : 27	druh : Nat 95+E85(1/2)	typ : zážehový	př.stupeň : V
tlak [kPa] : 99.50	teplota [°C] : 20	φ x zdvih : 75.5x72.0	stav tachy : 135166 km
vlhkost [%] : 47	hustota [g/ccm] : 0.000	z.objem [dm³] : 1.289	doplň.úřad :

korigovaná data na barometrické podmínky												
#	v	n	P kor	Mt kr	T_sání	Lambda1	Mph	O2	CO	HC	CO2	Lambda
	km/h	1/min	kW	N.m	°C	-	kg/h	%	%	ppm	%	-
1	35.1	1066	8.7	77.8	26.5	0.979	4.2	1.64	0.094	15	14.32	1.076
2	41.7	1269	10.5	78.8	26.5	1.103	3.9	0.90	0.176	27	14.66	1.034
3	49.6	1509	13.4	84.7	26.5	1.074	4.5	0.59	0.100	23	14.18	1.023
4	58.1	1770	16.3	87.9	26.5	1.058	5.2	1.92	0.020	19	13.77	1.096
5	66.7	2031	19.5	91.5	26.6	1.060	5.8	1.62	0.012	20	14.04	1.079
6	76.1	2317	23.9	98.0	26.8	1.053	7.0	1.35	0.012	22	14.26	1.065
7	86.3	2631	27.5	99.4	26.9	1.048	8.7	1.23	0.013	26	14.26	1.059
8	95.7	2915	28.8	94.1	26.9	1.084	9.0	1.23	0.013	25	14.39	1.058
9	105.0	3197	32.2	95.9	26.9	1.084	10.0	0.97	0.013	24	14.36	1.046
10	114.4	3483	35.9	98.2	27.0	1.071	11.1	1.53	0.012	22	14.03	1.075
11	124.1	3780	39.9	100.7	27.1	1.045	12.3	1.62	0.013	22	14.00	1.079
12	133.6	4070	42.3	99.3	27.1	1.046	13.6	1.44	0.014	23	14.23	1.069
13	143.1	4357	46.4	101.8	27.2	1.008	14.2	0.98	0.015	24	14.46	1.046
14	152.1	4632	48.1	99.4	27.3	0.999	15.4	0.88	0.015	23	14.65	1.041
15	160.1	4875	48.3	95.0	27.4	0.995	15.7	0.34	0.020	23	15.04	1.014



Příloha 9 Protokol dynamické zkoušky na válcové zkušebně pro třetí měření palivové směsi E85/N95

(1:1)