

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



**Vliv paliva E85 na tvorbu škodlivých emisí a spotřebu
paliva**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Hromádko, Ph.D.

Autor práce: Jakub Čedík

PRAHA 2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Čedík Jakub

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Vliv paliva E85 na tvorbu škodlivých emisí a spotřebu paliva

Anglický název

Effect of E85 on the formation of harmful emissions and fuel consumption

Cíle práce

Cílem práce je analyzovat vliv paliva E85 na tvorbu škodlivých emisí a spotřebu paliva

Metodika

- prostudovat základní literaturu v oblasti paliva E85 a jeho vliv na spotřebu paliva a produkci škodlivých emisí
- kontaktovat významné organizace zabývající se danou problematikou
- provést globální literární rešerši v dané problematice
- experimentálně ověřit vliv paliva E85 na tvorbu škodlivých emisí a spotřebu paliva
- návrh doporučení a předpokládaný vývoj v dané oblasti

Osnova práce

1. Úvod
2. Současný stav řešené problematiky
3. Cíl a metodika diplomové práce
4. Vyhodnocení experimentu
5. Doporučení a závěr

Rozsah textové části

50 - 60 stran formátu A4

Klíčová slova

palivo E85, škodlivé emise, spotřeba paliva, spalovací motor

Doporučené zdroje informací

1. Crackner R.: Biofuels for Road transport. Shell Global Solutions. 19 September 2006 [online] [cit.2008-03-10]. Dostupný z WWW: <http://www.iop.org/activity/groups/subject/comb/Events/file_8802.pdf>
2. Debirmas A.: New Liquid Biofuels from Vegetable Oils Via Catalytic Pyrolysis. Energy Education Science and Technology. 21, 2008 (1/2). ISSN 1301-8361, s 1-59
3. Dlouhodobá strategie využití biopaliv v České republice, předkládací zpráva MPO 2005 [online] [cit.2007-21-11]. Dostupný z WWW: <<http://download.mpo.cz/get/26605/26641/295747/priloha001.doc>>
4. Šebor G., Pospíšil M., Maxa D.: Využití kapalných biopaliv pro pohon motorových vozidel. Chemické listy, 100, 2006. ISSN 1213-7103, s 30-35
5. Šebor G., Pospíšil M., Žákovec J.: Technickoekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě, výzkumná zpráva vypracovaná pro Ministerstvo dopravy ČR, VŠCHT Praha, červen 2006.
6. Hromádko J., Hromádko J., Miler P., Hönig, V., Cindr M.: Technologies in Second-generation Biofuel Production. Chem. Listy 104 (2010), pp 784-790.
7. Hromádko J., Hromádko J., Hönig, V., Miler P.: Spalovací motory, Nakladatelství Grada, Praha, 2011, ISBN 978-80-247-3475-0

Vedoucí práce

Hromádko Jan, Ing., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2011

Termín odevzdání

duben 2013

doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vliv paliva E85 na tvorbu škodlivých emisí a spotřebu paliva vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Jana Hromádka, Ph.D. a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

.....

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu této diplomové práce, panu Ing. Janu Hromádkovi, Ph.D., za jeho čas, pomoc a rady, kterými mi pomáhal při tvorbě této diplomové práce.

Také bych rád poděkoval panu Ing. Martinu Kotkovi, Ph.D. za jeho čas, pomoc a rady, kterými mi pomáhal při experimentu.

Abstrakt:

Tato diplomová práce se zabývá bioethanolovým palivem E85, jeho vlivem na škodlivé emise výfukových plynů, na spotřebu paliva, účinnost motoru a výkonové parametry motoru.

V teoretické části je čtenář seznámen s vlastnostmi, výrobou a použitím paliva E85, dále jsou popsány složky škodlivých emisí včetně jejich ovlivnění přidaným bioethanolem v palivu. V další části je popsána účinnost motoru a ovlivnění spotřeby paliva bioethanolem. V praktické části je nejprve popsána metodika a přístrojové vybavení. V první části experimentu jsou prezentovány výsledky měření pomocí zkušebního cyklu, simulujícího reálný provoz. V druhé části jsou uvedeny vnější otáčkové charakteristiky. Výsledky byly naměřeny na zážehovém motoru pro palivo E85 bez úprav vstřikování, s prodloužením doby vstřiku a pro benzín Natural 95. Práce je ukončena závěrem a doporučením, vycházejícím z výsledků experimentu.

Klíčová slova: Palivo E85, škodlivé emise, spotřeba paliva, spalovací motor

Abstract:

This diploma thesis deals with bioethanol fuel E85, its impact on harmful exhaust emissions, fuel consumption, engine efficiency and the performance parameters of the engine.

In the theoretical part the reader learns the properties, production and use of the E85 fuel, further are described the components of the harmful emissions and affecting these emissions by added bioethanol in the fuel. The next part describes the engine efficiency and affecting fuel consumption by bioethanol. The practical part at first describes methodology and instrumentation. In the first part of the experiment are presented the results of measurements using the test cycle, simulating the real traffic. In the second part of the experiment are shown external speed characteristics. The results were measured on the spark ignition engine for E85 fuel without any modifications, with prolonged injection time and for Natural 95. The thesis is finished with the summary and recommendations, based on the results of the experiment.

Keywords: E85 fuel, harmful emissions, fuel consumption, combustion engine

Obsah

1. Úvod	1
2. Současný stav řešené problematiky	4
2.1. Palivo E85	4
2.1.1. Základní vlastnosti paliva E85	4
2.1.2. Výroba paliva E85	7
2.1.2.1. Bioethanol I. Generace	8
2.1.2.2. Bioethanol II. Generace	9
2.1.2.3. Bioethanol III. Generace	11
2.1.3. Použití paliva E85	12
2.1.2.4. Motory pro spalování paliva E85	15
2.1.2.5. Flexible fuel vehicles	17
2.2. Emise výfukových plynů zážehového motoru	19
2.2.1. Popis jednotlivých výfukových plynů zážehového motoru	20
2.2.2. Mechanismus vzniku škodlivin	22
2.2.3. Měření emisí zážehového motoru	23
2.2.4. Ovlivnění produkce emisí podílem bioethanolu v palivu	27
2.3. Spotřeba paliva zážehového motoru	32
2.3.1. Tepelná bilance a účinnost motoru	32
2.3.1.1. Tepelná bilance	32
2.3.1.2. Účinnosti spalovacího motoru	33
2.3.2. Ovlivnění spotřeby paliva podílem bioethanolu v palivu	36
3. Cíl a metodika diplomové práce	39
3.1. Cíl práce	39
3.2. Metodika práce	39
3.2.1. Přístrojové vybavení experimentu	39
3.2.1.1. Vířivý dynamometr	40
3.2.1.2. Motor Škoda Fabia 1.2HTP	42
3.2.1.3. Emisní analyzátor VMK	42
3.2.1.4. Diagnostický systém VAG-COM	44
3.2.1.5. Přídavná řídicí jednotka	45
3.2.1.6. Palivoměr	45
3.2.2. Popis metody experimentu	45

4. Vyhodnocení experimentu.....	48
4.1. Vyhodnocení zkušebních cyklů	48
4.1.1. Průběhy točivého momentu a otáček při zkušebním cyklu	48
4.1.2. Vyhodnocení škodlivých emisí.....	49
4.1.3. Vyhodnocení spotřeby paliva a účinnosti motoru	53
4.1.4. Souhrn výsledků měření pomocí zkušebního cyklu	55
4.2. Vyhodnocení vnějších otáčkových charakteristik.....	57
4.2.1. Souhrn výsledků měření vnějších otáčkových charakteristik.....	60
5. Doporučení a závěr.....	62
Seznam použité literatury	65
Seznam obrázků.....	70
Seznam tabulek	73

1. Úvod

Ve své diplomové práci jsem se rozhodl zabývat otázkou vlivu paliva E85 na produkci škodlivých emisí a spotřebu paliva. Úkolem této práce je tedy popsat současný stav problematiky, týkající se využití paliva E85 ve spalovacích motorech, vzniku a dopadu škodlivých emisí výfukových plynů a spotřeby paliva. Dále experimentálně ověřit vliv paliva E85 na tvorbu škodlivých emisí a na spotřebu a nastítnit možný budoucí vývoj v této oblasti.

Ve světě se 40% veškeré energie získává z tekutých paliv, proto jsou tekutá biopaliva velice důležitá pro udržitelný rozvoj. Palivo E85 je z podstatné části získáno zpracováním biomasy, která je na rozdíl od fosilních paliv obnovitelná. Při spalování biopaliv nedochází k nárůstu koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře planety, protože nově vypěstované rostliny jej zabudují do svých tkání a celkové množství uvolněných skleníkových plynů je nižší než u fosilních paliv. To se ovšem netýká jejich výroby, která je energeticky náročná (na obrázku 1 je znázorněna redukce CO₂ pro bioethanol vyrobený z různých surovin), a v porovnání k fosilním palivům, i drahá. Výrobní cena benzínu je cca 7 Kč/l při ceně ropy 50 \$ za barel a 15 Kč/l při ceně ropy 150 \$ za barel. Výrobní cena tuzemského bioethanolu se pohybuje kolem 16 Kč/l. Hlavním argumentem pro využívání biopaliv jsou ale ekologické důvody. Kromě výše zmíněných skleníkových plynů se sníží produkce dalších anorganických a organických škodlivin obsažených ve výfukových plynech spalovacích motorů tj. oxidu uhelnatého (CO), oxidů dusíku (NO_x), nespálených uhlovodíků (HC), pevných částic (PM) a minoritních organických sloučenin s vysokým rizikovým potenciálem (např. polyaromatické uhlovodíky, aldehydy, alkeny). [1, 2, 3, 18]

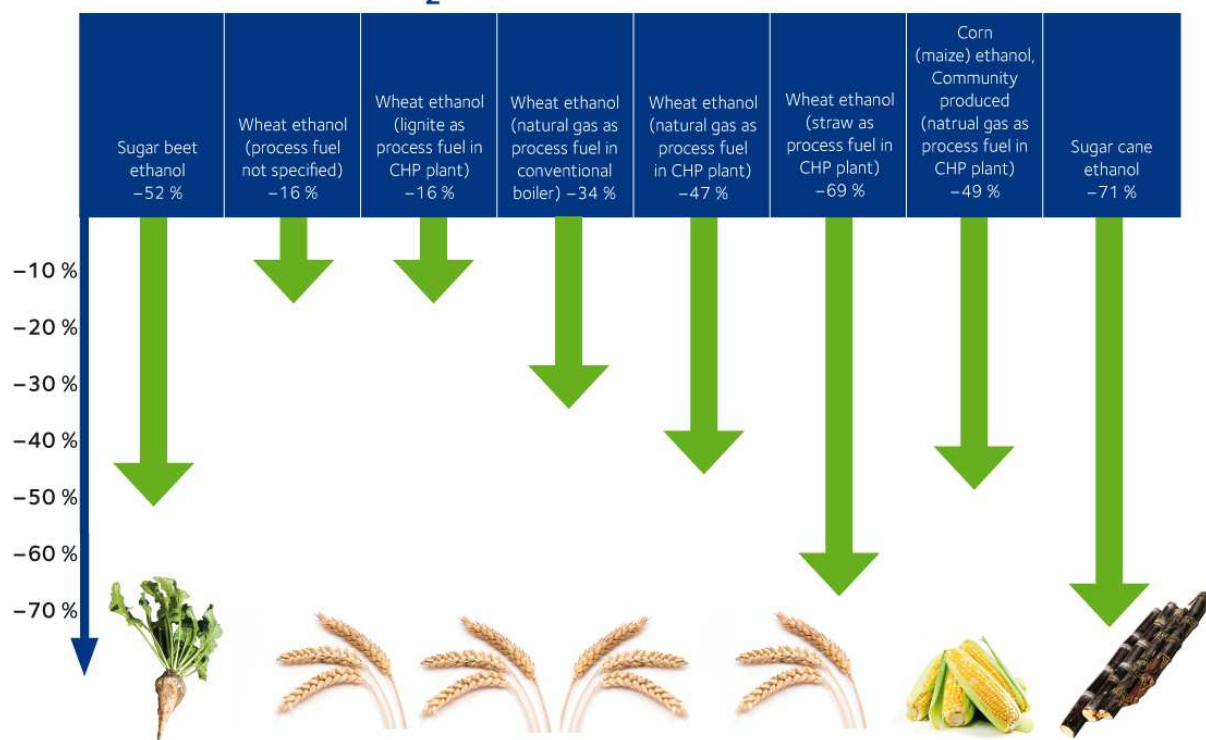
V Evropě je jedním z hlavních důvodů k produkci bioethanolu stoupající závislost na importovaných ropných produktech. Závislost na importu ropy se pohybuje u členských zemí organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (OECD) na úrovni 58% (rok 2007) a do roku 2030 by měla klesnout na 53%. Ovšem závislost evropských zemí OECD byla v roce 2007 na úrovni 65% a do roku 2030 by měla stoupnout na 83%. Situaci v Evropě zhoršuje zvyšující se podíl dopravy na primární spotřebě ropy. [16, 22]

Tab. 1 Závislost na ropě a podíl dopravy na spotřebě ropy ve vybraných evropských zemích
v roce 2007 [22]

Země	Celková dodávka ropy (EJ)	Ropná produkce (EJ)	Celková spotřeba ropy (EJ)	Celková spotřeba ropy v dopravě (EJ)	Závislost na importované ropě (%)	Procentuelní podíl dopravy na spotřebě ropy (%)
Francie	3.43	0.04	3.25	1.80	98.7	55.4
Německo	4.37	0.19	3.89	2.08	95.7	53.6
Itálie	3.14	0.26	2.64	1.67	91.6	63.1
Španělsko	2.84	0.01	2.43	1.59	99.8	65.2
Švédsko	0.56	0.00	0.51	0.31	100.0	61.4
Holandsko	1.38	0.13	1.02	0.49	90.7	47.8
OECD- Evropa	26.54	9.92	23.55	13.90	62.6	59.0

Podíváme-li se do historie, zjistíme, že používání bioethanolu jako paliva v automobilové dopravě není žádnou novinkou. Například v roce 1928 se pod názvem „Dynakol“ prodávala palivová směs o hmotnostním podílu 50% ethanolu, 30% benzolu a 20% benzínu. V roce 1932 se podle legislativní úpravy (zákon č. 85/1932Sb a vládní nařízení 127/1932Sb) přidávalo do dovezeného i vyrobeného benzínu v ČSR 20% etylalkoholu. Výroba bioethanolu přestala být rentabilní se zvyšováním podílu ropy a zemního plynu na energetickém trhu. V osmdesátých letech minulého století se objevil nový zájem o bioethanol, důvodem bylo zvýšení cen ropy a ropná krize v sedmdesátých letech. V současnosti se bioethanol používá po denaturaci jako příměs do automobilového benzínu v různých koncentracích nebo pro pohon diesellových motorů. Využití v diesellovém motoru je problematické, pro nízké cetanové číslo bioethanolu (8). Naopak využití jako příměs do automobilového benzínu nepředstavuje velký problém pro vysoké oktanové číslo bioethanolu (107), hlavní úprava spočívá ve zvýšení dávky paliva z důvodu nižší výhřevnosti. V souladu s ČSN EN 228 je možné bioethanol přidávat do benzínu v 10 % koncentraci a spalovat v běžných zážehových motorech. Další možností je palivo E85 toto palivo obsahuje 85% bioethanolu a 15 % benzínu. Tuto směs je možné spalovat ve vozidlech s označením FFV (Flexi-fuel Vehicles), tato vozidla umožňují provoz na jakoukoli směs bioethanolu a benzínu. [1, 27]

CO₂ reduction for various bioethanols



Obr. 1 Úspora CO₂ při použití bioethanolu z různých plodin [4]

2. Současný stav řešené problematiky

2.1. Palivo E85

Závislost na ropě se v současné době v sektoru dopravy v zemích EU pohybuje na úrovni 98%. V případě biopaliv by měla být produkce plodin pro jejich výrobu oblastí, která bude se zvýšeným zájmem podporovaná v rámci společné zemědělské politiky EU z důvodu vytváření nových ekonomických zdrojů a zachování zaměstnanosti v rámci venkovské komunity. K těmto účelům by v EU mělo být vyčleněno zhruba 10 % zemědělské půdy. Například z německých zkušeností víme, že vytvoření 1t ropného ekvivalentu může představovat vytvoření až 16 pracovních míst. [7]

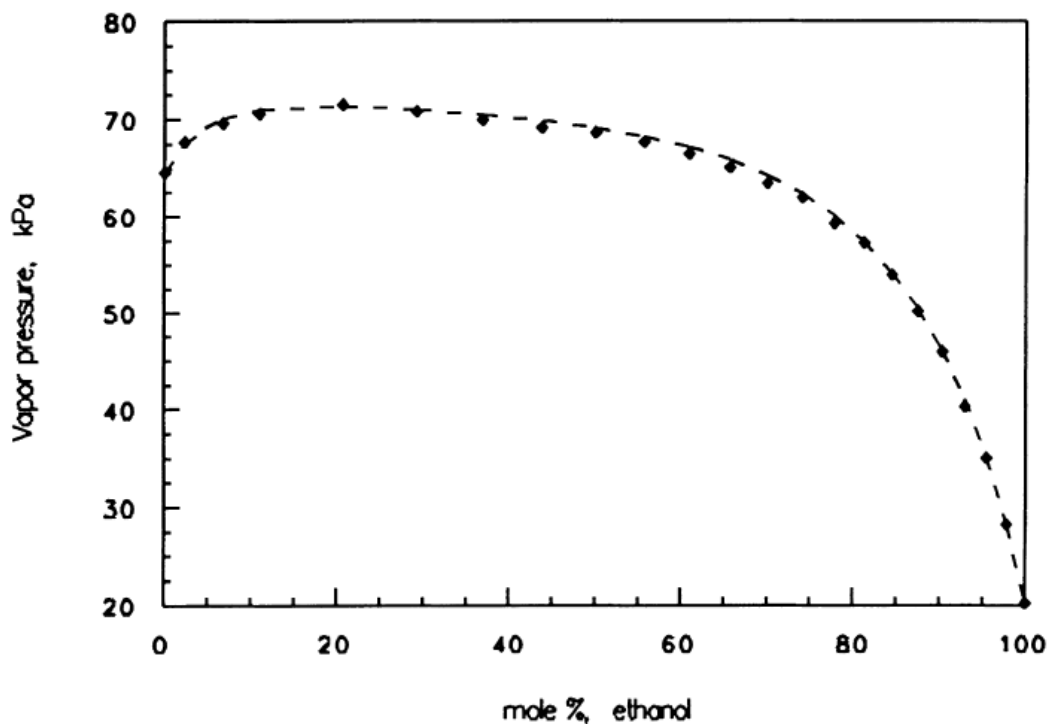
Bioethanol lze vyrábět z jakékoli biomasy, která obsahuje cukr nebo látky, které lze na cukr převést jako škrob, celulóza nebo lignocelulóza. V současné době je možné zpracovávat prakticky jakoukoli biomasu, která obsahuje polysacharidy. Takovýto bioethanol, vyrobený z nepotravinářských surovin, se nazývá bioethanol II. generace. Právě technologie výroby z lignocelulózy, tedy dřevního odpadu, se ukazuje být cenově výhodná, protože je téměř o polovinu levnější než výroba ethanolu kvašením kukuřice nebo cukrové řepy. [5]

2.1.1. Základní vlastnosti paliva E85

Bioethanol je popsán rovnicí C_2H_5OH , je to bezbarvá tekutina, která se v mnohém liší od klasického benzínu. V porovnání s benzínem má bioethanol nízkou výhřevnost, ale vysoké oktanové číslo. Díky nižší výhřevnosti je také vyšší měrná spotřeba paliva. Může také obsahovat malé množství vody, které může být příčinou rozpadu směsi bioethanolu s benzínem na dvě fáze, přičemž bioethanol přechází do vodní fáze, proto může způsobit korozi některých součástí, zejména palivového příslušenství motoru. Tuto nepříznivou vlastnost lze zmírnit přidáním inhibitorů koroze. Jako další vlastnost odlišnou od benzínu bych jmenoval jeho vyšší skupenské výparné teplo, které působí výraznější ochlazení palivové směsi přiváděné do motoru, díky tomu se dosáhne většího hmotnostního naplnění válců palivovou směsí. Také působí problémy při spouštění motoru za nízkých teplot. Bioethanol má také relativně nízkou mazací schopnost a může působit agresivně na různá pryžová a plastová těsnění nebo hadičky. [6]

Dalším problémem u bioethanolu může být hodnota Riedova tlaku par (RVP – Reid Vapour Pressure), je to hodnota tlaku nasycených par paliva při teplotě 38,7°C (100F) a při objemovém poměru kapalina:pára = 1:4. Tento tlak ovlivňuje především odpařivost paliva za nízkých teplot. Čím vyšší je hodnota RVP, tím těkavější látka je a tím lépe se odpařuje i za nízkých teplot. Nízký Riedův tlak čistého bioethanolu, v kombinaci s vysokým výparným teplem znamená problém zejména při startování studeného motoru v zimním období. Tento tlak musíme upravit vhodnou benzínovou frakcí. Na první pohled v rozporu s tímto tvrzením je skutečnost, že přidáním ethanolu do koncentrace 5% do benzínu můžeme zvýšit hodnotu RVP až o několik kPa (obrázek 2). Toto zvýšení Riedova tlaku par je spojeno s formací ethanolu – uhlovodíkových azeotropů, které snižují teplotu bodu varu a zvyšují tlak syté páry. [5, 9]

Požadavky na vlastnosti ethanolu přidávaného do motorových paliv jsou specifikovány v jakostní normě ČSN EN 65 6511 – Motorová paliva - Ethanol jako složka automobilových benzínů - Technické požadavky a metody zkoušení. Vlastnosti a požadavky na palivo E85 jsou uvedeny v normě ČSN EN 65 6512 (Motorová paliva – Ethanol E85 – Technické požadavky a metody zkoušení, 2006). Vybrané jakostní ukazatele ethanolu přimíchávaného do benzínu a paliva E85 jsou uvedeny v tabulce 3 a 4.[5, 7]



Obr. 2 Vliv koncentrace ethanolu v benzínu na Reidův tlak par [10]

Tab. 2 Porovnání základních vlastností bioethanolu a benzínu [6, 7, 8]

	Benzín	Bioethanol
Hustota při 15 °C (kg/m ³)	cca 750	794
Hmotnostní výhřevnost (kWh/kg / MJ/kg)	12/43,3	7,44/26,4
Objemová výhřevnost (MJ/l)	32-33	21
Hmotnostní podíl kyslíku (%)	< 2,7	34,7
Oktanové číslo VM	91-100	108
Oktanové číslo MM	85	89-103
Tlak par podle Reida (kPa)	75	16,5
Stechiometrický poměr (kg vzduchu/ 1kg paliva)	14,7	9
Bod varu (°C)	30 – 190	78
Zápalná teplota (°C)	280	425
Bod vzplanutí (°C)	-35	12
Meze výbušnosti D / H (% v/v)	1,3/7,6	3,5/15
Kinem. viskozita při 20 °C (mm ² .s ⁻¹)	0,4-0,8	1,52

Tab. 3 Požadavky na kvalitu ethanolu, přimíchaného do benzínu, uvedené v ČSN EN 65 6511 [7]

Vzhled	Čirý, bez zákalů a sedimentů
Obsah ethylalkoholu před denaturací	min. 99,7 % (v/v)
Obsah vody	max. 0,3 % (v/v)
Hustota	min. 791 kg/m ³
Obsah ethylalkoholu po denaturaci	min. 95,6 % (v/v)
Obsah volných kyselin/kyselost	max. 0,007 % (m/m)
Odparek	max. 10 mg/100 ml
Obsah denaturačního prostředku	2,0 – 4,0 % (v/v)

Tab. 4 Vybrané jakostní ukazatele ethanolového paliva E85 [5, 7]

Vlastnost	meze	
	min	max
Oktanové číslo výzkumnou metodou	95	-
Oktanové číslo motorovou metodou	85	-
Obsah síry (mg/kg)	-	20
Obsah vody (obj. %)	-	0,3
Oxidační stabilita (min)	360	-
Pryskyřice (mg/100ml)	-	5
Fosfor (mg/l)	pod mezí detekce	
Obsah anorganických chloridů (mg/l)	-	1
pHe	6,5	9,0
Obsah etherů s 5 a více C atomy (obj. %)	-	5,2
Obsah vyšších alkoholů C3 - C8 (obj. %)	-	2
Obsah methanolu (obj. %)	-	1
Obsah ethanolu - vyšší alkoholy (obj. %)	75 (letní)	85
	70 (zimní)	85
Obsah benzínu Super 95 dle ČSN EN 228 (obj. %)	14 (letní)	22 (letní)
	14 (zimní)	30 (zimní)
TLak par RVP (kPa)	35 (letní)	60 (letní)
	50 (zimní)	100 (zimní)
Konec destilace (°C)	-	210
Kyselost (jako kys. octová) (mg/l)		40
Koroze na mědi 3h/50 °C	třída 1	

2.1.2. Výroba paliva E85

Jak již bylo zmíněno výše, v současné době je možné zpracovávat na bioethanol prakticky jakoukoli biomasu, která obsahuje cukr nebo látky, které lze na cukr převést jako škrob, celulóza nebo lignocelulóza a další polysacharidy. Obsah ethanolu v palivu E85 se liší podle roční doby v rozmezí 70 – 85%. Je to dáno hlavně potřebou na rozdílný RVP, v zimních měsících je zapotřebí vyšší hodnota (50–100 kPa) a v letním období naopak nižší (35–60 kPa). Proto je povoleno k dosažení této hodnoty v zimním období přidávat do paliva až 30% benzínu. Pro mísení ethanolu do automobilových benzinů je nutno používat bezvodý

(absolutní) ethanol, protože jinak hrozí oddělení vodno-ethanolové fáze. Destilací získáme přibližně 96% ethanol, poté následným odvodněním na molekulových sítích nebo odvodněním s využitím semipermeabilních membrán dosahuje kvality bezvodého (absolutního) ethanolu (99,7 obj.%). [5]

Výroba bioethanolu je založena na kvasném (fermentačním) procesu. Nejčastějším druhem používaných kvasinek jsou kvasinky řádu *Saccharomyces cerevisiae*. Tento proces probíhá převážně anaerobně (bez přístupu vzduchu), přičemž provzdušnění kvasného média, hlavně na počátku fermentace, je vhodné pro nárůst a aktivitu buněk. [11]

Přímo zkvasitelné jsou pouze monosacharidy. Všechny složitější sacharidy (polysacharidy) musí být před fermentací převedeny na monosacharidy. Toho se dá dosáhnout hydrolyzováním na monosacharidy působením vlastních enzymů mikroorganismů nebo přidáním látek, zpravidla kyselin, které hydrolyzu způsobí. [12]

2.1.2.1. Bioethanol I. Generace

Nejjednodušší způsob výroby bioethanolu je výroba z biomasy, obsahující jednoduché cukry jako je cukrová třtina nebo řepa. Před vlastním procesem fermentace je cukrová třtina nebo řepa rozmělněna a cukry jsou odděleny pomocí vody. Tato vypírka probíhá podle rovnice:

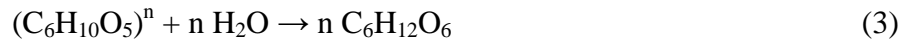


Odpadem ze zpracování je bagasa (cukrová třtina) nebo vyslazené řízky (cukrová řepa). Dále následuje kvašení ve fermentoru, při kterém jsou vzniklé monosacharidy konvertovány kvasinkami na bioethanol a oxid uhličitý:

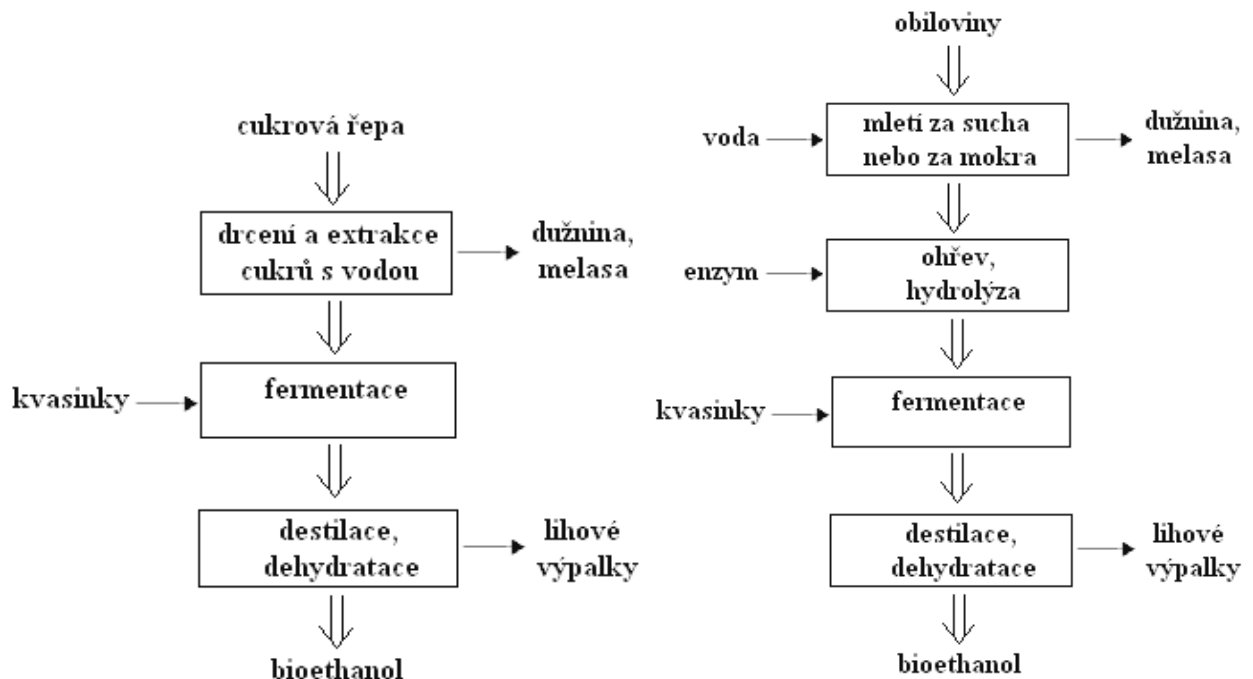


K zajištění správného průběhu kvašení je nutné dodržet vhodné pH (4–6) a odpovídající teplotu prostředí (27–32 °C). Za maximální obsah ethanolu ve kvasící zápaře je běžně považováno 12–13 % obj., experimentálně ale bylo dosaženo hodnoty až 24 % obj. Následuje destilace, kde se oddělí ethanol od destilačního zbytku a rafinace. Tímto postupem získáme rafinovaný ethanol o čistotě 95,5 hm.%, důvodem je skutečnost, že ethanol a voda spolu tvoří azeotropní směs, kterou již nelze destilací dále rozdělit. Proto se používají další způsoby odvodnění, jako jsou například molekulová síta (zeolity), tímto způsobem lze dosáhnout ethanolu o čistotě až 99,7 obj.% [13, 14]

Dalším jednoduchým způsobem jak vyrobit bioethanol představují suroviny obsahující škrob tedy různé obiloviny. Tento způsob je rozšířený především v USA, kde je ethanolový průmysl založený převážně na kukuřici. Surovina je nejprve za sucha nebo za mokra rozdrčena. Odpadem jsou vláknité slupky zrn a stébla. Při přípravě na zápar dochází k bobtnání a zmazovatění zrn škrobu a škrob je převeden pomocí enzymů nebo hydrolyzy na zkvasitelný sacharid (glukózu). [13, 15]



Dále je postup obdobný jako u předchozího způsobu.



Obr. 3 Blokové schéma výroby bioethanolu ze surovin, obsahující jednoduché cukry a ze surovin, obsahující škrob [6]

2.1.2.2. Bioethanol II. Generace

Tato technologie je v současné době předmětem intenzivního výzkumu a její komerční využití se předpokládá během několika let. Při této technologii výroby bioethanolu se využívají suroviny, obsahující lignocelulózu (jakýkoli dřevní odpad, sláma, řepné řízky, vylisovaná cukrová třtina, papír, lepenka, vlákna a odpad z plodů olejných palem). Dostupnost těchto surovin je důvodem velkého zájmu o tuto technologii. Proces vykazuje také lepší energetickou bilanci. [6]

Nejstarší způsob výroby ethanolu z lignocelulózy je za pomoci fermentujících sulfitových výluhů jako vedlejší produkt papírenského průmyslu, ale tato technologie není pro svou nízkou efektivitu považována za technologii výroby bioethanolu II. generace. [16]

Bioethanol II. generace může být vyroben následujícími metodami:

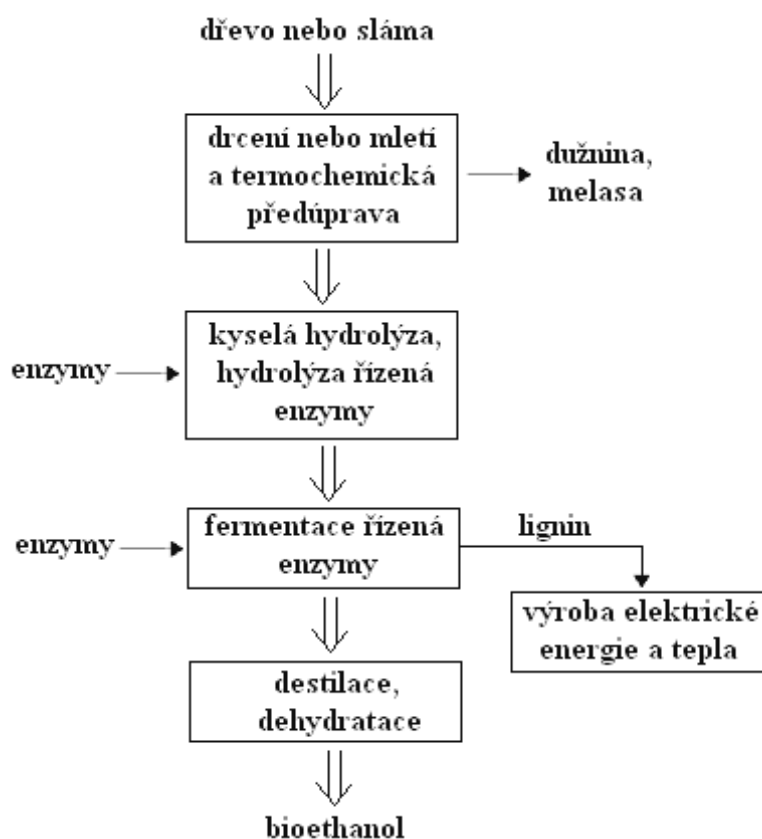
a) Termochemicky

Tato metoda zahrnuje dva způsoby výroby. U prvního lze bioethanol vyrobit pomocí zplyňování lignocelulózy suroviny při vysokém tlaku a v nepřítomnosti inertních plynů. Výsledný syntézní plyn je následně konvertován přes katalytické syntézy, do směsi alkoholů, včetně ethanolu jako hlavní složky. Produkovány jsou také vyšší alkoholy, jako je propanol, butanol, pentanol, hexanol a další. Tato směs alkoholů může být efektivně míchána s benzínem, za předpokladu, že má nízký obsah methanolu. Tato technologie je poměrně stará, ale jsou nutné další objevy v oblasti účinných katalyzátorů, aby byla komerčně životaschopná. [16]

Druhý termochemický způsob zahrnuje zplyňování lignocelulózy hmoty při mírném tlaku (až do 3 bar) v nepřítomnosti inertních plynů. Po čištění je tento syntézní plyn fermentován do bioethanolu při 37-39°C za použití bakterií, jako jsou například druhy Clostridium. [16]

b) Biochemicky

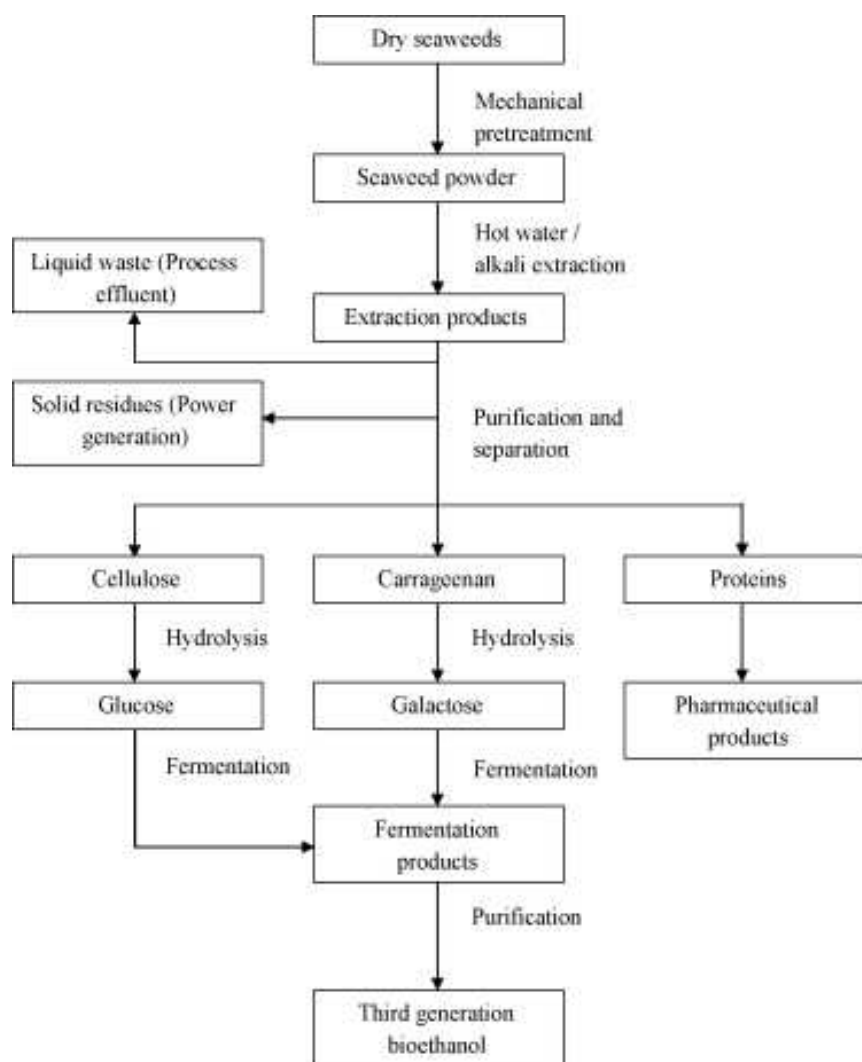
V současné době existující pilotní a demonstrační zařízení v Evropě používají biochemickou metodu, která ukazuje významný potenciál pro další rozvoj v biotechnologiích. V biochemické metodě, je lignocelulózy surovina nejprve předem upravena tak, aby byla celulózy složka více přístupná celúzáze pro následnou fázi enzymatického zcukernění. Během přípravného zpracování je značná část hemicelulózy přeměněna na monosacharidy, většinou xylózu - cukr C5. Cukry C6 - hlavně glukóza - se uvolňují po fázi enzymatické hydrolýzy a jsou pak fermentované s nebo bez cukrů C5 v závislosti na konstrukčních možnostech. Několik technologií je stále ve fázi vývoje, včetně separované hydrolýzy a fermentace (SHF) nebo současné zcukernění a spolufermentace cukrů C5 a C6 (SSCF). Hlavní výzvy biochemické metody se týkají integrace systému, který vyžaduje koordinované úsilí při zlepšování každého kroku k dosažení celkově vyšší účinnosti a snížené výrobní náklady bioethanolu. V tomto smyslu by měla být zvláštní pozornost věnována nákladům na suroviny. [16]



Obr. 4 Blokové schéma výroby bioethanolu II. generace z lignocelulózové biomasy [6]

2.1.2.3. Bioethanol III. Generace

Bioethanol třetí generace představuje bioethanolové palivo, vyrobené z biomasy, skládající se z vodních řas. Jak bylo zmíněno výše, ethanol je produkován enzymatickou fermentací monosacharidů, jako je například glukóza. Určité druhy vodních řas mají schopnost produkovat velké množství karbohydrátů namísto lipidů, jako zásobních polymerů. Tyto druhy řas jsou ideálními kandidáty pro produkci bioethanolu III. generace, protože karbohydráty mohou být extrahovány na produkci fermentovatelných cukrů. Seabiotic ve spolupráci s Inventure chemicals úspěšně demonstrují produkci bioethanolu fermentací polysacharidů, získaných z řas. Tyto řasy byly kultivovány v jejich elektrárně na fosilní paliva, aby absorbovaly vypouštěné CO₂ jako zdroj anorganického uhlíku. Nezávisle na tomto, existují také druhy řas schopné provést samofermentaci. Ueno a kol. prohlašuje, že temná fermentace v zelené mořské řase *Chlorococcum littorale* byla schopna vyprodukovat 450 μmol/g-suché řasy ethanolu při 30°C. Transformace polysacharidů, obsažených v mořských řasách na fermentovatelné cukry je nadále předmětem výzkumu. Algenol biofuels navýšili toleranci řas k vysoké teplotě, salinitě a koncentraci ethanolu. Prohlašují, že jejich závod je schopen vyprodukovat přes 6000 galonů etanolu na akr za rok. [17, 19, 20, 21]

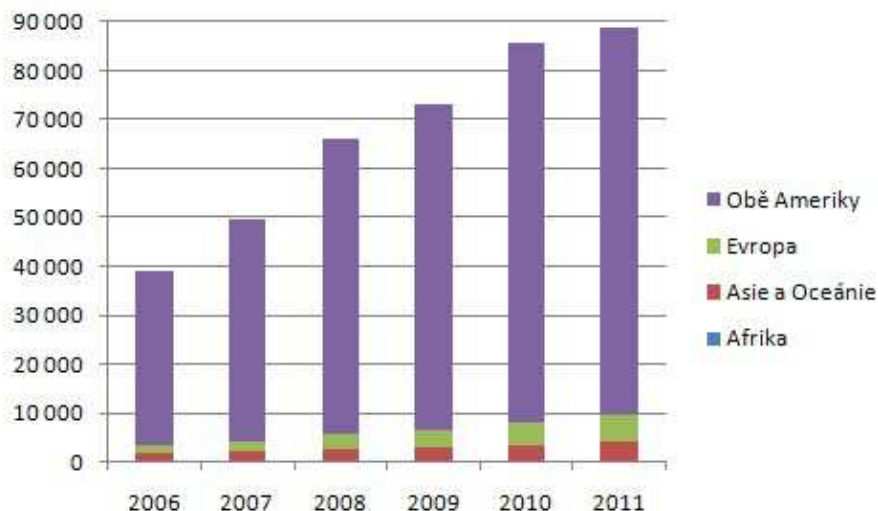


Obr. 5 Blokové schéma výroby bioethanolu III. generace z mořských řas [17]

2.1.3. Použití paliva E85

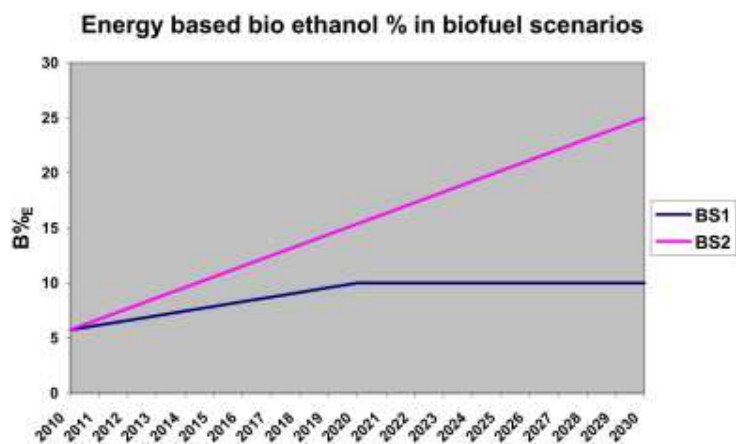
V roce 2008 byla ustanovena světová produkce biopaliv na 1960 PJ, z toho 75% bioethanolu a 25% biodieselu. Ve stejném roce byl podíl USA na světové produkci bioethanolu 50%, zatímco Brazílie 39%. Podíl Evropských zemí OECD byl 5%. [23]

Global Renewable Fuels Alliance (GRFA) je mezinárodní organizací mající za cíl propagaci paliv z obnovitelných zdrojů. Členové této aliance představují více než 65% globální produkce biopaliv z celkem 44 zemí. Tato organizace odhadla na rok 2011 celosvětovou produkci bioethanolu určeného na biopaliva na 88,7 miliard litrů. Největším producentem bioethanolu na světě jsou i nadále Spojené státy. [25]



Obr. 6 Celosvětová produkce bioethanolu na výrobu biopaliv v milionech litrů [25]

Dánský projekt Renewable Energy in the transport sector using Biofuels as an Energy Carrier (REBECA) předkládá dva předpokládané scénáře využití bioethanolu v dopravě v Dánsku (obrázek 7). Scénář BS1 předpokládá lineární růst z 5,75% v roce 2010 na 10% v roce 2020 a udržení konstantní úrovně v dalších letech. Scénář BS2 je poněkud optimističtější, předpokládá lineární růst z 5,75% v roce 2010 na 25% v roce 2030. K dosažení tohoto cíle je nutno přidávat 5% bioethanolu do konvenčního benzínu a zvýšit počet FFV vozidel. [48]



Obr. 7 Scénáře budoucího využití bioethanolu v Dánsku [48]

Za rok 2011 bylo v Evropě vyrobeno přes 5,4 miliard litrů ethanolu, což je oproti roku 2010 nárůst o plných 15 procent. Při porovnání s celosvětovým růstem o pouhých 3 % se zcela jednoznačně ukazuje, že Evropa do značné míry táhne nárůst celosvětové produkce bioethanolu. [25]

Tab. 5 Výroba bioethanolu v EU [25]

Stát	2007	2006	2005	2004
	Výroba bioethanolu (mil.l)			
Francie	587	293	144	101
Německo	394	431	165	25
Španělsko	348	396	303	254
Polsko	155	161	64	48
Švédsko	70	140	153	71
Itálie	60	78	8	0
Česká Republika	33	15	0	0
Slovensko	30	0	0	0
Maďarsko	30	34	35	0
Nizozemí	14	15	8	14
Litva	20	18	8	0
Velká Británie	20	0	0	0
Lotyšsko	18	15	12	12
Finsko	0	0	13	3
Celkem	1 771	1 593	913	528

Využití bioethanolu I. generace v Evropě rapidně stoupá. Tato situace může být vysvětlena několika faktory. Prvním z nich je fakt, že v některých zemích je trh s ethanolem dobře ustanoven, například Francie. V Evropských zemích je také malá opozice k biopalivům I. generace. Posledním faktorem je skutečnost, že Evropská komise dala podnět svým nařízením 10% podílu biopaliv v dopravě do roku 2020 ve spojení s vysokými cenami ropy v letech 2007 a 2008. [16]

Tab. 6 Podíl bioethanolu na trhu ve vybraných evropských zemích [16]

Země	Spotřeba benzínu (PJ)	Spotřeba bioethanolu (PJ)	Spotřeba benzínu a bioethanolu (PJ)	Podíl bioethanolu na trhu (%)
Francie	387.9	22.2	410.1	5.41
Německo	886.6	17.2	903.9	1.91
Itálie	495.9	1.2	497.1	0.25
Holandsko	182.3	6.2	188.4	3.27
Španělsko	276.9	6.2	283.0	2.18
Švédsko	165.4	9.0	174.4	5.14
Velká Británie	709.4	1.2	710.6	0.17
Ostatní	1298.1	10.8	1308.9	0.82
OECD - Evropa	4402.5	73.9	4476.5	1.65

Stejně jako v Evropě i v ČR spotřeba bioethanolu a tím i paliva E85 stoupá. V roce 2011 byla hrubá spotřeba 78 961t, což činí 99,824 milionů litrů. V tabulce jsou uvedeny hodnoty produkce, dovozu, vývozu, změny stavu zásob a hrubou spotřebu bioethanolu pro výrobu paliv v ČR z roku 2011. [26]

Tab. 7 Domácí produkce, dovoz, vývoz, změna zásob a hrubá spotřeba bioethanolu (pro pohon motorů) v ČR v roce 2011 po měsících v tunách [26]

Měsíc	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Součet
Domácí produkce	4270	4410	5198	5014	5534	1235	0	0	2820	8264	897	8762	54412
Dovoz	3524	1983	2590	3138	3718	4024	3831	2674	5523	2877	444	1369	35696
Vývoz	1019	22	3	0	25	0	0	0	0	2104	2089	2118	7378
Změna zásob +/-	-415	250	2202	1405	1454	-	-	-	1748	1126	1451	2164	3769
Hrubá spotřeba	7190	6120	5584	6747	7774	9003	5942	4436	6594	7911	5812	5849	78961

2.1.2.4. Motory pro spalování paliva E85

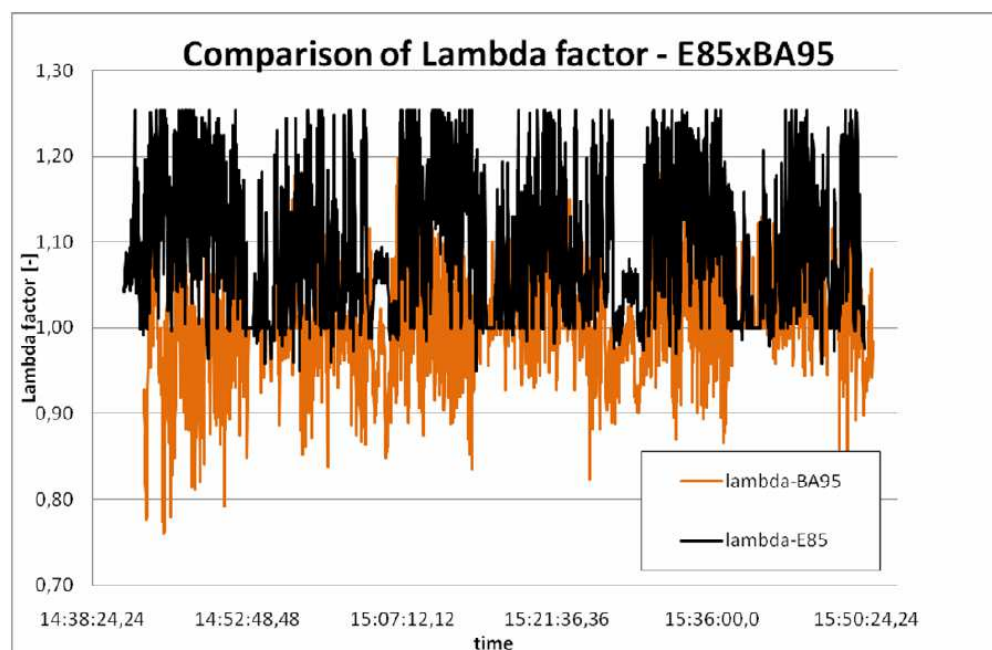
Jak již bylo uvedeno výše, bioethanol má nižší výhřevnost a Riedův tlak par a naopak vyšší výparné teplo a oktanové číslo než benzín. Klasický benzínový motor je proto nutno upravit.

Pro provoz na E85 je nutno upravit palivové příslušenství (především vstřikovače) tak, aby umožňovalo přibližně 1,5 krát vyšší průtok paliva, protože má vyšší stechiometrický poměr, nižší výhřevnost a vyšší výparné teplo. Díky vysokému oktanovému číslu je palivo E85 odolnější proti klepání, proto lze zvýšit kompresní poměr až na 15:1. Díky vyššímu výparnému teplu paliva E85 se směs před vstupem do válce výrazněji ochladí, proto se v porovnání s benzinem dosáhne vyššího hmotnostního naplnění válců palivovou směsí a tím i vyššího výkonu motoru. Vysoké skupenské výparné teplo působí ale také problémy, zejména při spouštění motoru za nízkých teplot. Tento problém se řeší použitím pomocného zařízení pro spouštění za nízkých teplot, případně spouštěním motoru na benzín. Příkladem pro upravený motor pro spalování paliva E85 je Saab 9-5 BioPower (na obrázku 8). Oproti jeho benzínové verzi vzrostl maximální výkon přeplňovaného 2,3l motoru o 18kW na 154kW a maximální točivý moment o 30Nm na 310Nm, ovšem spotřeba se pohybuje mezi 14 až 17l/100km. [27, 29, 30]



Obr. 8 Saab 9-5 2.3t BioPower [30]

Na palivo E85 lze provozovat i běžné neupravené vozidlo, jak dokazuje Mazač a Vojtíšek-Lom ve svém článku. Automobil Škoda Felicia 1.3 MPI r.v. 1996 s najetými 130 000km byl provozován na palivo E85 bez jakýchkoli úprav v reálném provozu. Lokalita měření byla zvolena v okolí Liberce. Řídící jednotka přizpůsobí množství dodávaného paliva v závislosti na kyslíku ve spalínách díky lambda regulaci, ovšem pouze v určitém množství. Proto směs stále vykazuje $\lambda > 1$ tedy chudou směs jak je vidět z obrázku 9. [46]

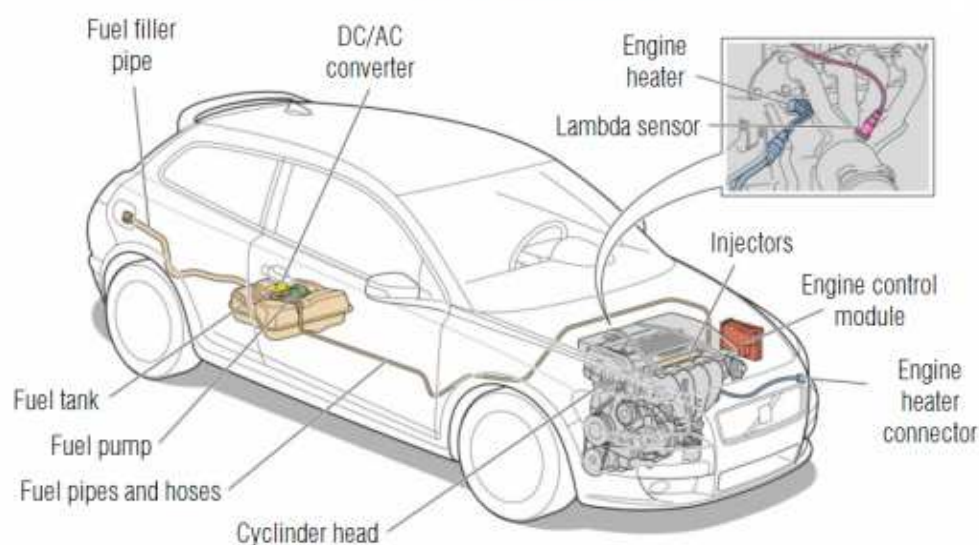


Obr. 9 Srovnání součinitele přebytku vzduchu pro provoz na Natural 95 a E85 [46]

2.1.2.5. Flexible fuel vehicles

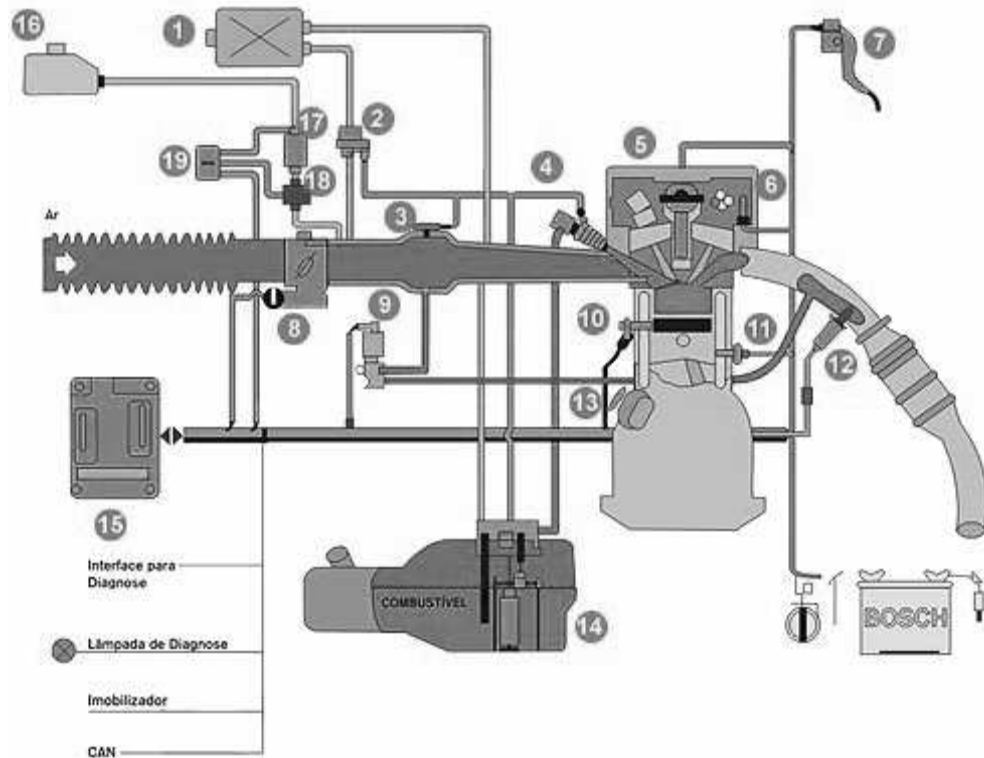
Takzvané flex-fuel vozidla nebo také FFV jsou navržena pro provoz jak na konvenční benzín, tak i na palivo E85 nebo jakýkoli jejich poměr. Palivový systém je dimenzován pro provoz na bioethanolové palivo a přizpůsoben jeho agresivnímu působení na některé součástky. Podle koncentrace kyslíku ve výfukových plynech získává řídicí jednotka informaci o složení paliva (obsahu ethanolu) a tomu přizpůsobí seřizovací parametry jako dávkování paliva, předstih zážehu atd. FFV vozidla vyrábí například VW, Fiat, Renault, Volvo, Saab, Ford. [28]

FLEXIFUEL SYSTEM VOLVO E85 Bioethanol

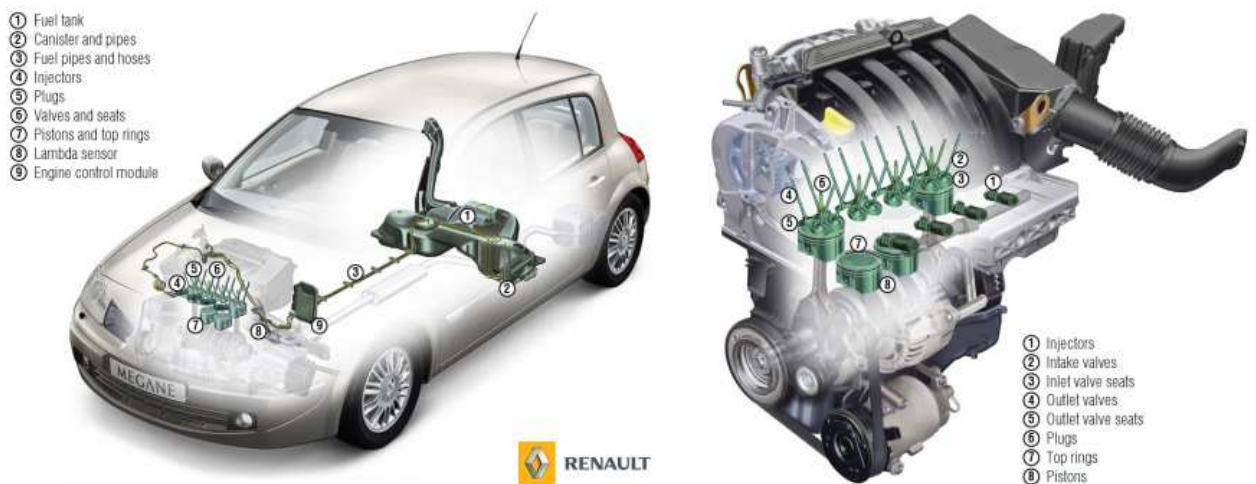


Obr. 10 Funkční a palivový systém automobilu Volvo C30 FlexiFuel – 4 válcový motor o objemu 1.8l s max. výkonem 92kW [31]

FFV vozidla jsou nejrozšířenější v Brazílii, v Evropě pak ve Švédsku. FFV vozidla v Brazílii jsou provozována již od roku 2003 na benzín s přídavkem 18-25% odvodněného ethanolu, neodvodněný čistý ethanol nebo jakýkoli jejich poměr. Mezi lety 2003 – 2007 činil v Brazílii podíl prodaných FFV na trhu téměř 89%, především díky stoupající ceně ropy na světových trzích. [32, 33]



Obr. 11 Schematické uspořádání motoru pro FFV – 1 – zachycovač palivových par, 2 – ventil zachycovače palivových par, 3 – snímač tlaku, 4 – vstřikovače, 5 - zapalovací cívka, 6 – snímač polohy vačkového hřídele, 7 – pedál akcelerace, 8 škrticí klapka, 9 – ventil recirkulace výfuk. plynů, 10 – snímač klepání, 11 – snímač teploty, 12 – lambda sonda, 13 – snímač otáček, 14 – palivová nádrž s čerpadlem, 15 – řídicí jednotka motoru, 16 – nádrž na benzín, 17, 18, 19 – benzinový palivový systém pro spouštění motoru [28]

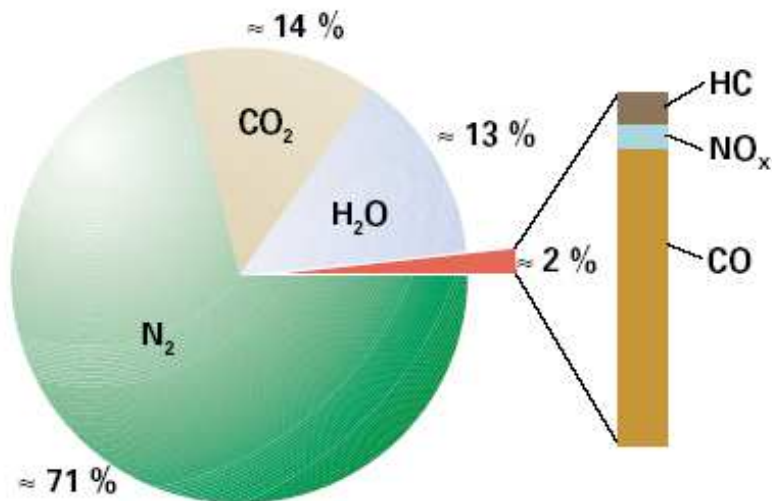


Obr. 12 FFV systém automobilu Renault Mégane E85

2.2. Emise výfukových plynů zážehového motoru

Výfukové plyny spalovacího motoru tvoří z největší části dusík (N_2). Při dokonalém spalování uhlovodíkových paliv vzniká oxid uhličitý (CO_2) a voda (H_2O). Nedokonalou oxidací (za sníženého přístupu kyslíku) vzniká dále oxid uhelnatý (CO) a vodík (H_2). Kyslík (O_2) se ve výfukových plynech zážehových motorů vyskytuje pouze, pokud je v čerstvé směsi v přebytku nebo se z jiných důvodů nevyužil. Oxidací vzdušného dusíku za vysokých teplot vznikají oxidy dusíku (NO_x). Ty se z největší části skládají z oxidu dusnatého (NO) a v menší míře oxidu dusičitého (NO_2) a oxidu dusného (N_2O). Při velice špatných podmínkách pro spalování paliva se vytváří nespálené uhlovodíky (HC). U motorů s vnější tvorbou směsi se tyto nespálené uhlovodíky tvoří mimo jiné i únikem části čerstvě nasáté směsi do výfuku vlivem překrytí časování ventilů. Při úplném nepřístupu vzduchu (uvnitř kapičky paliva) a při vysoké teplotě dochází k dekompozici molekul uhlovodíků, jejímž výsledkem je pevný uhlík (saze), další pevné částice (PM), vyfukované z motoru jsou například vysokomolekulové produkty tepelného poklesu oleje, prach, popel atd. Problém s produkcí pevných částic se vyskytuje převážně u vznětových motorů. Pokud použité palivo obsahuje síru, pak se ve výfukových plynech objevují oxidy síry. Celkové složení výfukových plynů je na obrázku 13.

[1]



Obr. 13 Složení výfukových plynů zážehového motoru [1]

2.2.1. Popis jednotlivých výfukových plynů zážehového motoru

- Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý je pro lidský organismus silně jedovatý, bezbarvý plyn bez zápachu. Váže se na krevní hemoglobin a vytváří s ním pevný karboxyhemoglobin, který omezuje přenos kyslíku z plic do krevního oběhu. Prvními příznaky otravy je obvykle bolest hlavy, nevolnost, závrať, malátnost a zmatenost. U postiženého je typické třešňové zbarvení kůže a sliznic. Už koncentrace 0,05%, tj. 500 ppm, nebo asi 450 mg CO/m³ může zablokovat funkci u 50% hemoglobinu s následným kolapsem a smrtí. Tento plyn se také podílí na vzniku fotochemického (letního) smogu. Jeho celkové roční emise z antropogenních zdrojů jsou srovnatelné s přírodními. [1, 34]

- Oxid uhličitý

Oxid uhličitý je produktem dokonalé oxidace, jeho přítomnost je tudíž důsledkem kvalitního spalovacího procesu. Jeden litr paliva vyprodukuje přibližně 24 gramů CO₂. Jedná se o bezbarvý plyn, bez zápachu, velice stabilní a málo reaktivní. Pro lidský organismus není toxický, začne být nebezpečný až ve chvíli, kdy jeho koncentrace vytěsňuje kyslík ve vdechovaném vzduchu. Patří mezi skleníkové plyny, způsobuje vznik radiační clony a tím snižuje sdílení tepla země s okolím. Skleníkový efekt přispívá ke globálnímu oteplování, což může vést ke klimatickým změnám. V současné době platí nařízení Evropské unie, podle kterého by se mělo dosáhnout v roce 2015 produkce 130g CO₂ na kilometr. V rámci antropogenních emisí zastupuje podíl spalovacích motorů přibližně 10%. [1, 35]

- Oxidy dusíku

Oxid dusnatý sám o sobě není příliš škodlivý, ovšem při delším pobytu v atmosféře dochází k jeho další oxidaci na oxid dusičitý, jehož škodlivost je již závažnější. Při jeho vdechování se na stěnách sliznice kyselina dusičná (HNO_3). Při vdechování i velice nízké koncentrace po krátkou dobu reaguje dýchací soustava na kyselinu dusičnou jako na projev začínajícího hoření a přivírá přístup vzduchu do plic. Následkem toho je pocit dušení a nucení ke kašli. Oxidy dusíku se také podílejí na letním smogu a kyselých deštích. V severní Americe je doprava druhý největší producent N_2O . Z toho se na 88% podílí benzínem poháněná silniční vozidla. Koncentrace oxidů dusíku ve výfukových plynech závisí více na jízdním cyklu, palivu a správné funkci katalyzátoru než na spotřebě paliva. [1, 36]

- Nespálené uhlovodíky

Tyto látky vstupují jako palivo do oxidačního procesu nebo vznikají ve válci v průběhu spalování. Nejméně škodlivé jsou některé původní skupiny uhlovodíkového paliva, které mohou mimo jiné unikat i palivovým uzávěrem nádrže. Naopak až extrémně nebezpečné mohou být druhy uhlovodíků, které vznikají jako meziprodukty oxidace původního paliva. U těchto meziproduktů proběhne oxidační reakce z různých důvodů pouze z části (například ochlazením o stěnu válce) a některé patří do skupiny karcinogenních látek, jejich škodlivost prudce vzroste ve spojení s pevnými částicemi, kde se mohou zachytit na pevných částicích a dostat se tak až do plic a lymfatického systému. Z plynných škodlivin jsou považovány za nejhorší především polycyklické aromatické uhlovodíky (např. benzpyren 3,4), které mohou negativně ovlivňovat porodní hmotnost, genotyp, dýchací funkce, neuropsychologické funkce a nemocnost obecně. Ze skupiny částečně zoxidovaných uhlovodíků se ve výfukových plynech vyskytují převážně aldehydy R-CHO (např. acetaldehyd nebo formaldehyd). Vznikají v procesu předoxidačních reakcí v nižších teplotních režimech motoru. Aldehydy způsobují typický zápach výfukových plynů, působí škodlivě na sliznice, vedou k poruchám podmíněných reflexů a poškozují dýchací cesty. [1, 37, 38]

- Oxidy síry

Oxidy síry produkují převážně vznětové motory a jejich podíl je zanedbatelný. [1]

2.2.2. Mechanismus vzniku škodlivin

- Oxid uhelnatý

U zážehových motorů je oxid uhelnatý produkt nedokonalé oxidace a jeho přítomnost ve spalínách znamená nedostatek kyslíku ve spalované směsi. To znamená při součiniteli přebytku vzduchu $\lambda < 1$, tedy bohatá směs. Tento nedostatek kyslíku může být místní nebo časový (při $\lambda = 1$, tedy stechiometrická směs, se při některých obězích spaluje bohatá směs jako důsledek fluktuace směšovacího poměru). Oxid uhelnatý je pak přítomen ve výfukových plynech spolu s kyslíkem. Globální nebo lokální nedostatek kyslíku lze považovat za hmotově-bilanční příčinu emise CO. [1]

- Oxidy dusíku

Tvorba emise oxidu dusnatého (NO) je velice závislá na teplotě. Tvorba tohoto plynu je popsána Zeldvičovou řetězovou reakcí:



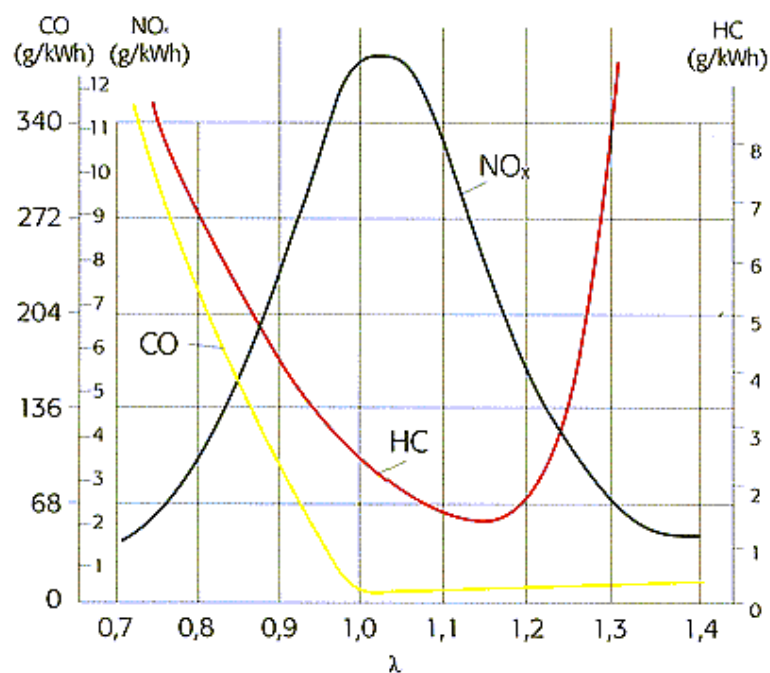
Tyto reakce jsou vratné v závislosti na okamžitých koncentracích volných radikálů N, O, H a teplotě reakce. Reakce probíhají při vysokých teplotách (1900 – 2000°C) a potřebují dostatek času, jinak reakce zamrznou a nedojde k vytvoření oxidů dusíku. Nejvyšší teploty jsou dosahovány při spalování mírně bohaté směsi. K vytvoření oxidů dusíku je ale zapotřebí také dostatek kyslíku, proto se nejvyšších koncentrací NO_x dosahuje při $\lambda = 1,05 - 1,1$. U zážehových motorů, kde dochází ke spalování homogenních směsí, jsou typické vysoké koncentrace NO a nízké koncentrace NO₂. [1]

- Nespálené uhlovodíky

Tyto látky jsou ve spalínách obsaženy jako výsledek předčasně zastavených oxidačních reakcí v některých místech spalovacího prostoru (nejčastěji u chladných stěn válce), vynecháním nebo poruchou spalování jako produkt tepelných krakovacích a dalších chemických reakcí, ukončených dříve, než mohl proběhnout celý proces oxidace. Na produkci nespálených uhlovodíků má významný vliv teplotní režim motoru, konstrukce spalovacího prostoru a pístu. (tzv. „zhášecí prostory“ s výškou uložení těsnícího pístního kroužku) a bohatost směsi. Optimální hodnota součinitele přebytku vzduchu se z hlediska nespálených uhlovodíků

pohybuje mezi $\lambda=1,1-1,2$. Vyšší i nižší hodnota tohoto součinitele vede ke zvyšování koncentrace HC ve spalinách, jak je vidět z přiloženého obrázku níže. Na jejich obsah má také významný vliv technický stav a správné seřízení motoru. K vytváření výše zmíněných, nebezpečných polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH) v průběhu spalování, dochází zejména pokud původní uhlovodíková molekula má více než dva atomy uhlíku. Potom se významná role vzniku PAH připisuje tzv. acetylenové C_2H_2 cestě s ethylenem (C_2H_4) jako meziproductem krakovacích reakcí, z něj vzniká dehydrogenací acetylen, ze kterého za vhodných podmínek vznikají dehydrogenací a polymerizací těžké polycyklické aromatické uhlovodíky jako například naftalen, antracen, pyren, fluoraten, chrysen apod. a jejich deriváty.

[1]

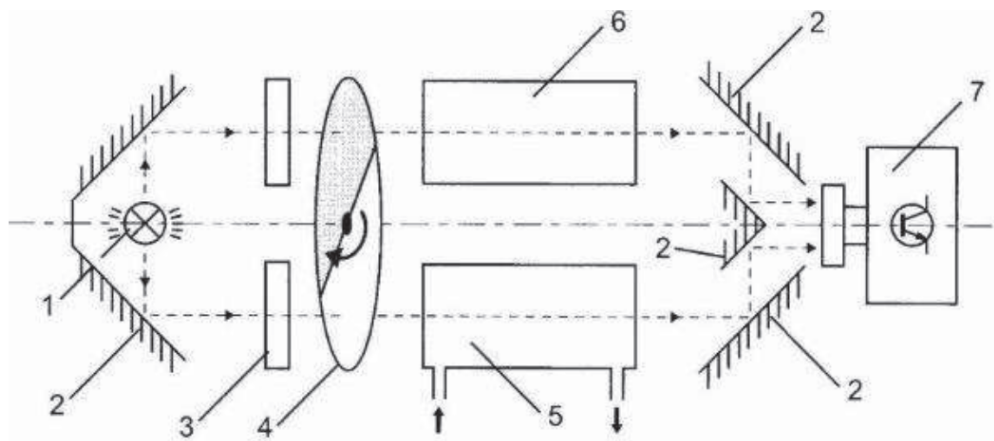


Obr. 14 Produkce emisí zážehového motoru v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu λ [1]

2.2.3. Měření emisí zážehového motoru

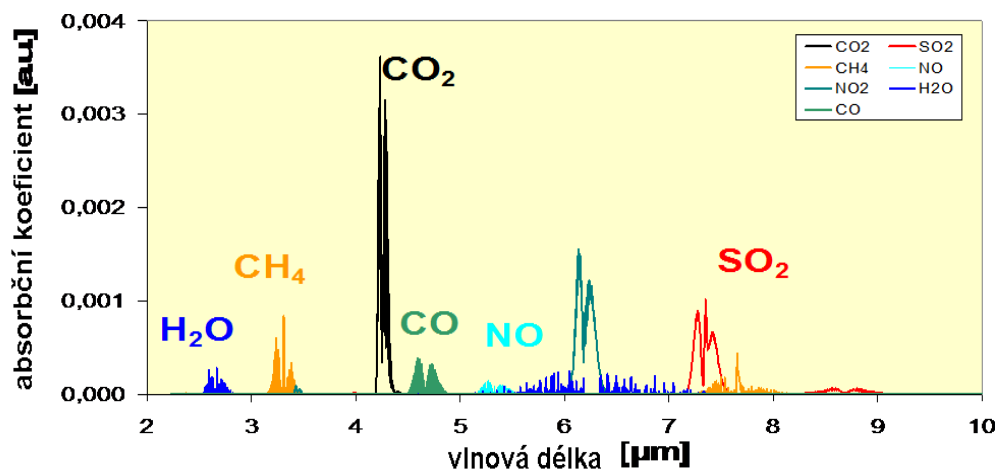
- Měření, založené na principu absorpce infračerveného záření

Metoda Non Dispersive InfraRed (NDIR) využívá skutečnosti, že při průchodu elektromagnetického záření je část energie pohlcena. Všechny plyny, které obsahují v molekule nejméně dva atomy, mají unikátní závislost absorpčního koeficientu na vlnové délce záření. Infraanalýzátor je také nejjednodušší a nejlevnější metoda pro výzkum a vývoj. [39, 40]



Obr. 15 Schéma metody NDIR – 1 – zdroj infračerveného záření, 2 – reflektor, 3 – filt výběru pracovní vlnové délky, 4 – rotační clona, 5 – měřící kyveta, 6 – referenční kyveta, 7 – detektor [41]

Tyto přístroje jsou používány jako vícesložkové, protože na jedné optické lavici měříme koncentrace více složek najednou (CO, CO₂ a HC) a senzor pro O₂. Nevýhodou této metody je skutečnost, že nemůžeme měřit celkové množství HC, protože se analyzuje pouze část z celkového spektra. Také při nízké teplotě mohou uhlovodíky kondenzovat ve vedení a analyzátor poté ukazuje zkreslené údaje. [41]

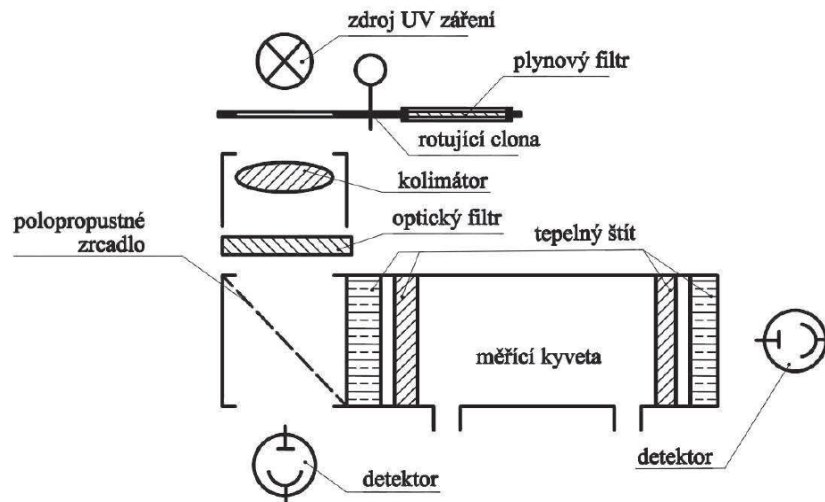


Obr. 16 Závislost absorpčního koeficientu na vlnové délce pro vybrané plyny [42]

- Měření, založené na principu absorpce ultrafialového záření

Metoda Non Dispersive Ultraviolet (NDUV) využívá jako zářiče plynovou výbojku s dutou katodou. UV záření prochází měřící kyvetou, kde dochází k absorpci aktivními složkami výfukových plynů, zatímco referenční paprsek je veden přímo na korekční detektor. Na změnu vlnové délky pro měření různých plynů se používá různá plynová náplň výbojky.

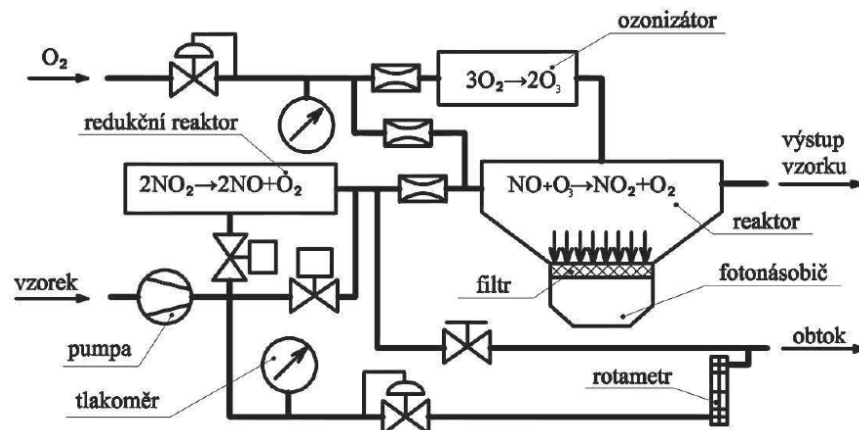
V elektronických obvodech se generuje napětí, které je lineárně závislé na koncentraci sledovaného plynu. Tato metoda se převážně používá pro měření koncentrace oxidu dusíku (NO, NO₂) a SO₂. [40,43]



Obr. 17 Schéma metody NDUV [40]

- Měření s využitím principu chemické luminiscence

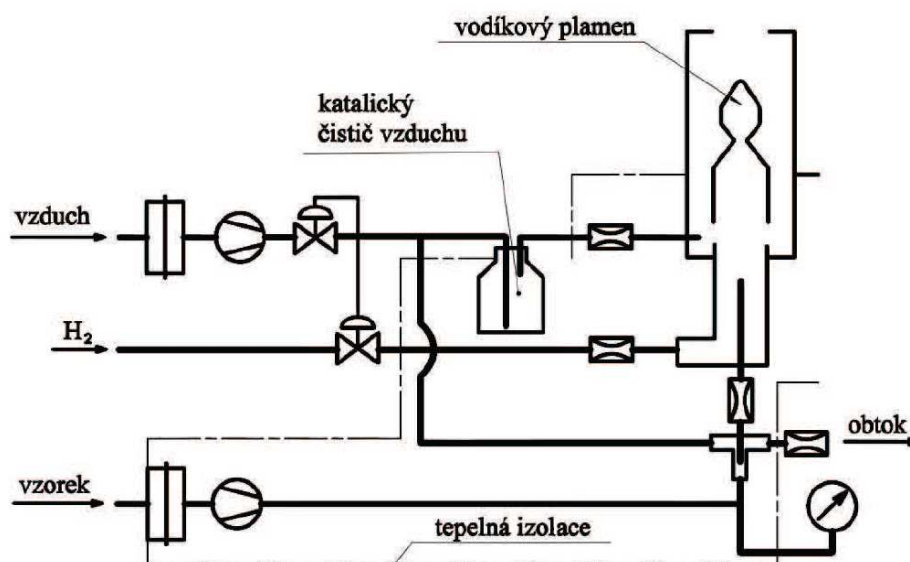
Tato metoda je založena na principu emise specifických kvant (fotonů), které provázejí některé chemické procesy. Používá se především k určení koncentrace oxidů dusíku. Kromě těchto oxidů dusíku vstupuje do procesu také ozón, který je vyráběn v přístroji. Vstupní látkou do procesu je ale pouze NO, proto pro zjištění celkové koncentrace NO_x musí vzorek projít vyhřívaným katalytickým reaktorem, kde dojde k redukci oxidu dusičitého na oxid dusnatý. Tento pneumatický systém je poměrně složitý, protože ovlivňuje odezvy fotonásobiče. [40]



Obr. 18 Schéma měřícího zařízení, pracujícího na principu chemické luminiscence [40]

- Měření s využitím principu změny vodivosti vodíkového plamene

Tento princip využívá velmi malý proud iontů, který vzniká po připojení elektrického potenciálu na vzduchovo-vodíkový plamen. Vstoupí-li do detektoru látka obsahující organicky vázaný uhlík, vznikají při jejím hoření iontové fragmenty a elektrony, které zvýší elektrickou vodivost plamene, a tím vzroste i ionizační proud. Tento proud narůstá úměrně množství organicky vázaného uhlíku, z čehož také plyne, že metoda je použitelná pouze pro snímání množství HC ve výfukových plynech. Proud iontů se snímá pomocí dvou elektrod, z nichž jedna je samotné těleso hořáku a druhou tvoří šroubovice s proměnlivým průměrem, rovný drát či těleso trubkového tvaru. Tlak vodíku se reguluje v závislosti na tlaku spalovacího vzduchu, aby byl zajištěn trvalý směšovací poměr. [40, 44]



Obr. 19 Schéma zařízení, pracující na principu změny vodivosti vodíkového plamene [40]

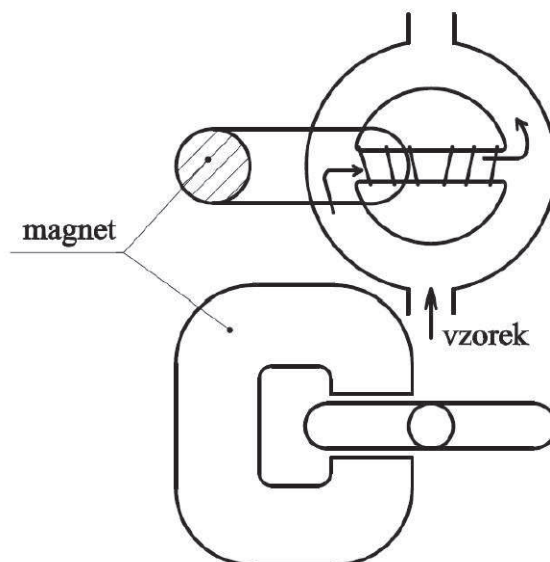
- Měření, založené na principu změny magnetických vlastností

Používá se ke stanovení množství kyslíku ve výfukových plynech, protože kyslík má z plynů nejvyšší permeabilitu a proto je vtahován do magnetického pole nejsilněji. Součástí zařízení je permanentní magnet nebo elektromagnet. Podle průtoku vzorku rozlišujeme přístroje:

- Magnetomechanické
- Magnetopneumatické
- Termomagnetické

Kyslík, vtažený do levé větve ztrácí při zvýšení teploty magnetické vlastnosti a je vytlačen přísunem chladného kyslíku. Strháváním nemagnetických molekul vzniká průtok příčným

kanálem. Levé vinutí se ochlazuje díky stálému přísunu chladného vzorku, zatímco pravé vinutí není ochlazováno s takovou intenzitou. Tento rozdíl teplot je úměrný koncentraci kyslíku ve vzorku.

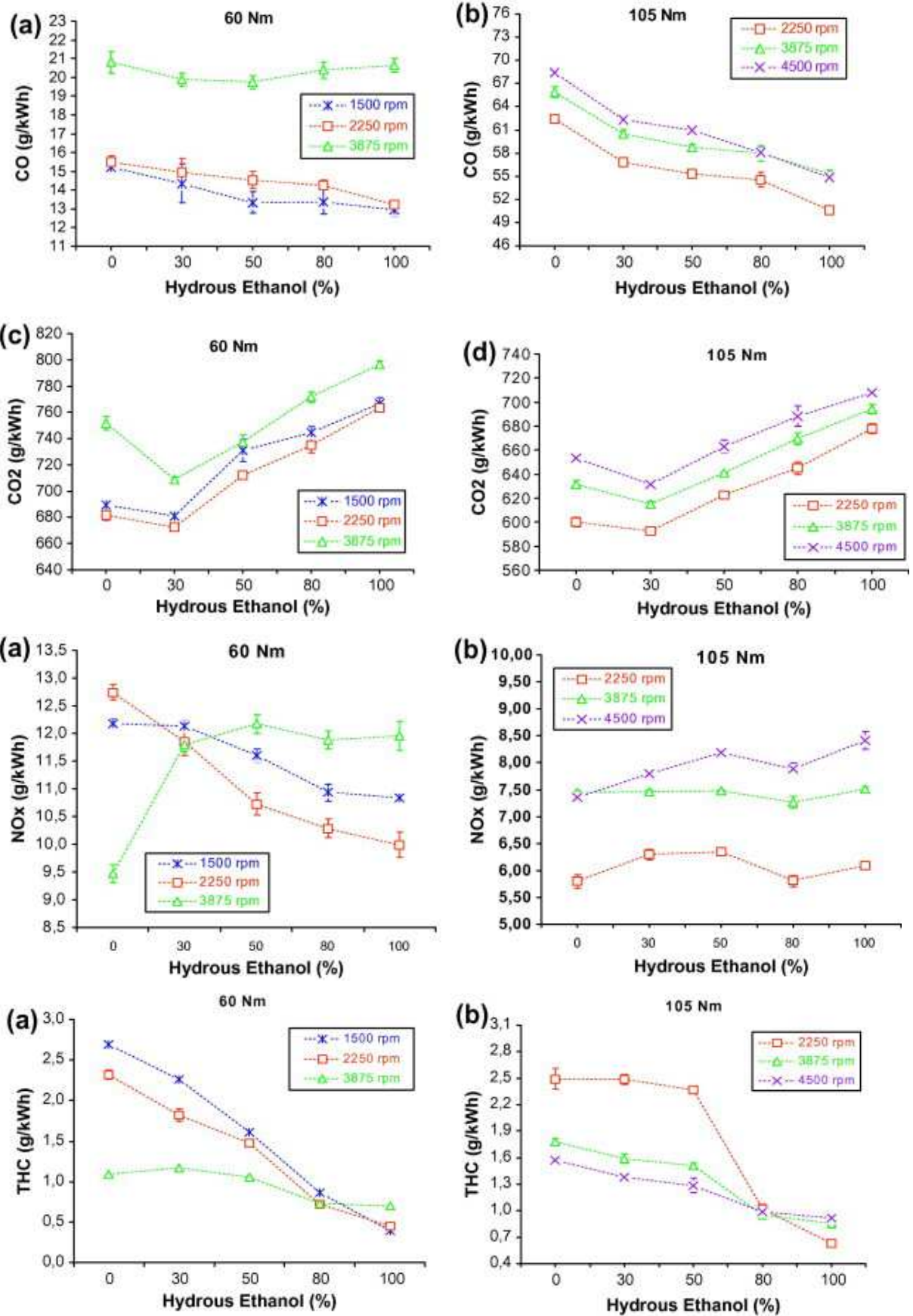


Obr. 20 Schéma zařízení, využívající princip změny magnetického pole [40]

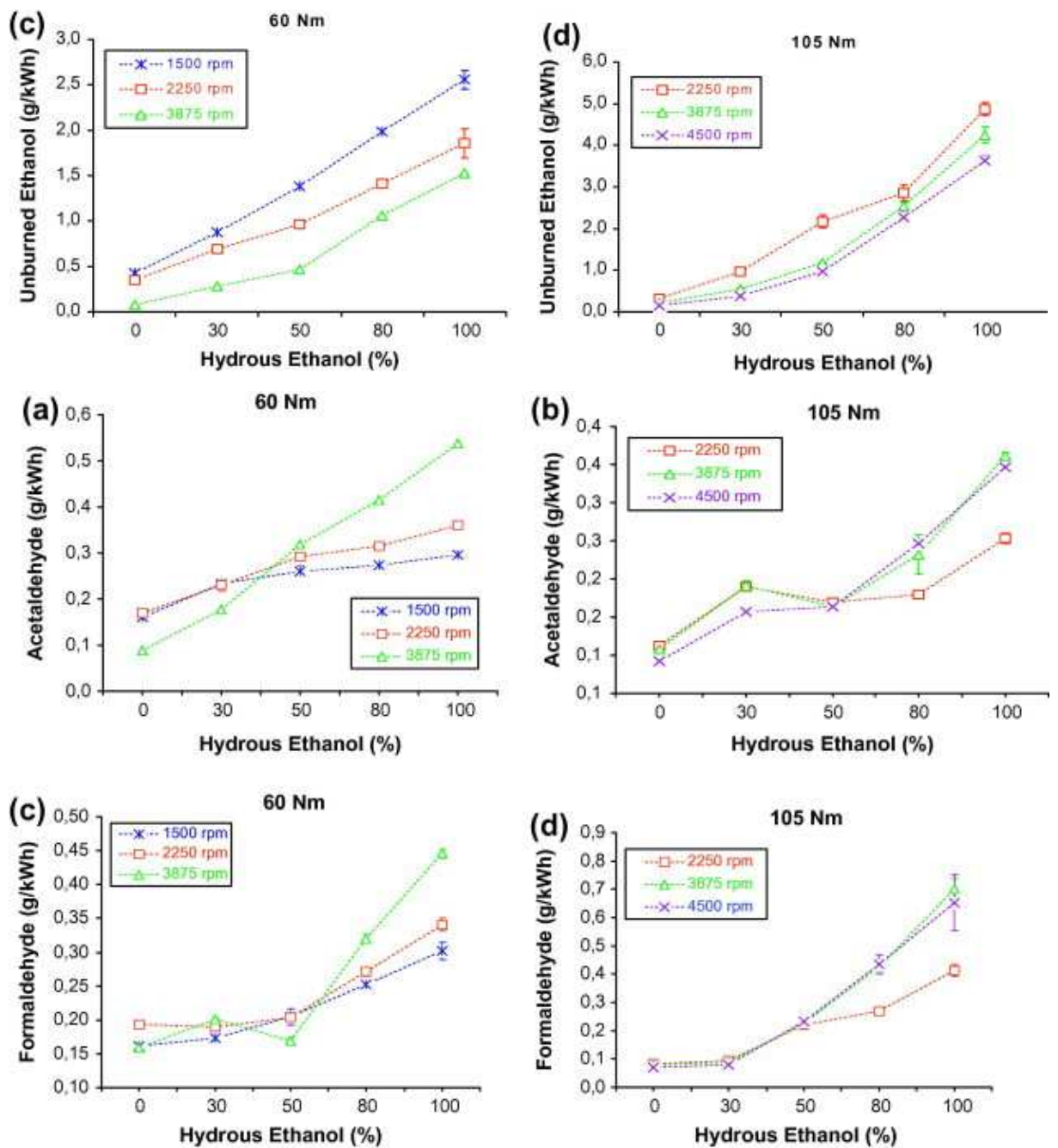
2.2.4. Ovlivnění produkce emisí podílem bioethanolu v palivu

Při spalování biopaliv se, kromě množství skleníkových plynů, sníží také obsah dalších anorganických a organických škodlivin, obsažených ve výfukových plynech spalovacích motorů (oxidu uhelnatého (CO), oxidů dusíku (NO_x), nespálených uhlovodíků (HC), pevných částic (PM) a minoritních organických sloučenin s vysokým rizikovým potenciálem). Biopaliva také vykazují lepší biologickou odbouratelnost než fosilní paliva. [2]

U FFV vozidel se samozřejmě s podílem etanolové složky v palivu mění koncentrace jednotlivých složek emisí. Jak prezentuje de Melo a kol. s rostoucím podílem ethanolu se snižuje množství CO a nespálených uhlovodíků při nízkém i vysokém zatížení, množství NO_x se při nízkém zatížení viditelně snižuje (pouze při otáčkách 3875min⁻¹ vidíme rapidní nárůst), při vysokém zatížení se drží přibližně na stejné hladině. Se zvyšujícím se podílem ethanolu se také snižuje množství celkových uhlovodíků. Zvyšuje se naopak množství CO₂, nespáleného ethanolu a aldehydů jako acetaldehyd a formaldehyd při nízkém i vysokém zatížení. Zvýšení množství CO₂ lze předpokládat, kvůli rostoucí spotřebě. Měření bylo prováděno na motoru Fiat 1.4L Flex-Fuel.[32]



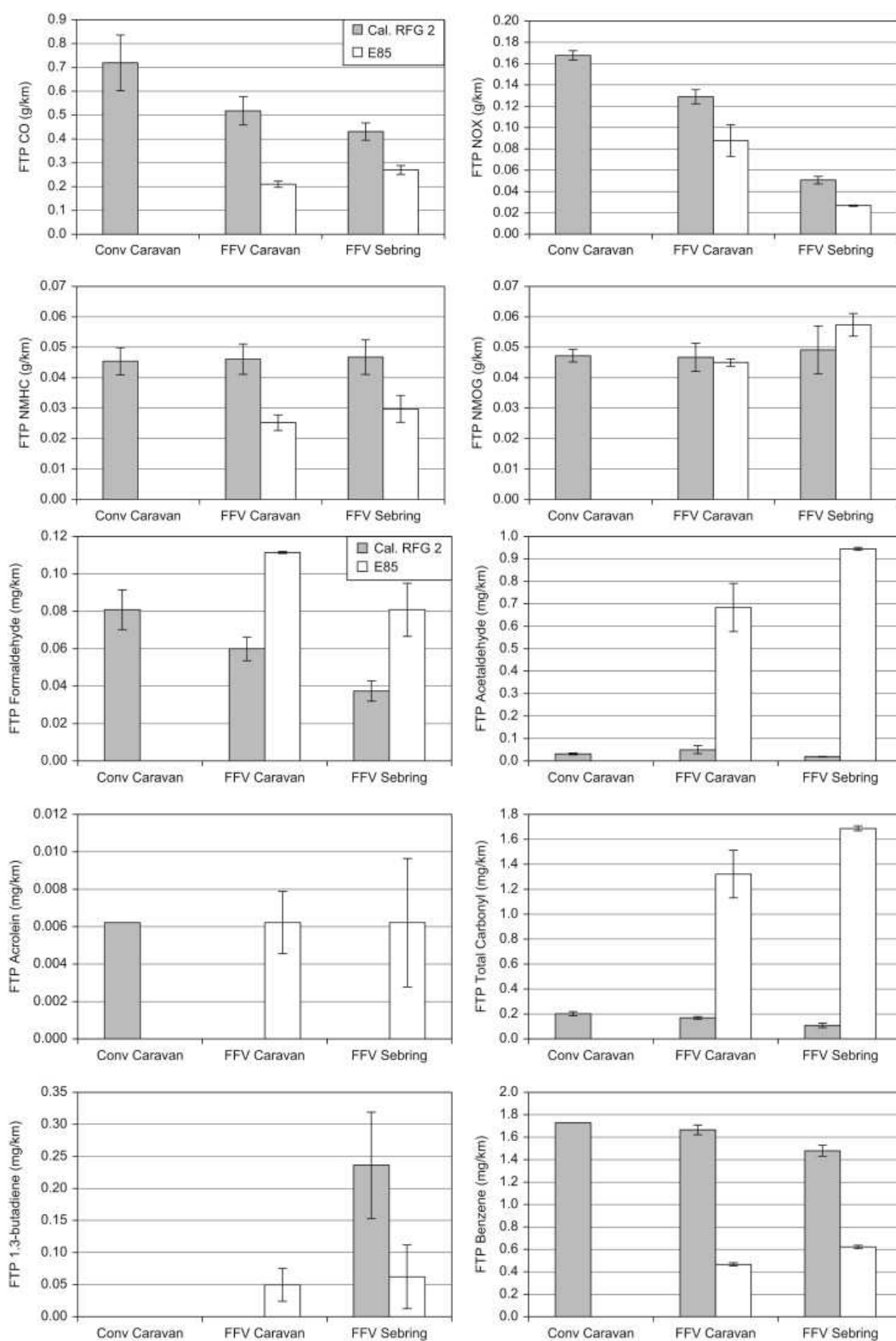
Obr. 21 Vliv koncentrace neodvodněného ethanolu v benzínu na množství vypouštěného CO, CO₂, NO_x a celkových uhlovodíků [32]



Obr. 22 Vliv koncentrace neodvodněného ethanolu v benzínu na množství nespáleného ethanolu a aldehydů [32]

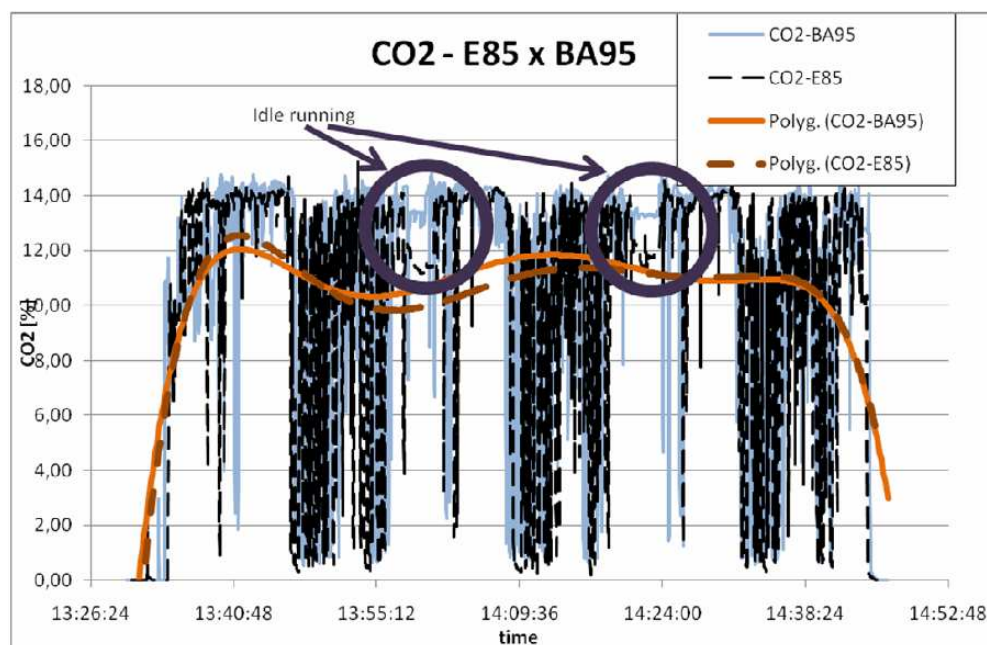
Porovnání produkce emisí při používání konvenčního benzínu a paliva E85 nabízí Graham a kol., jejíž statistická analýza ukazuje, že používání paliva E85 vede ke statisticky významnému snížení emisí NO_x (-45%), NMHC (non-methane hydro-carbons) (-48%), 1,3-butadienu (-77%) a benzenu (-76%). Dále statisticky významnému zvýšení emisí formaldehydu (73%) a acetaldehydu (2540%) a žádné statisticky významné změně emisí CO, CO_2 a NMOG (non-methane organic gas). Hodnoty byly naměřeny na dvou Chyrlerech Caravan (r.v. 2002), z nichž jeden je konvenční a jeden FFV, a Chyrleru Sebring FFV

(r.v. 2004). Vozidla byla testována čtyř-fázovým FTP (Federal Test Procedure) nebo UDDS a US06 cyklem. [24]

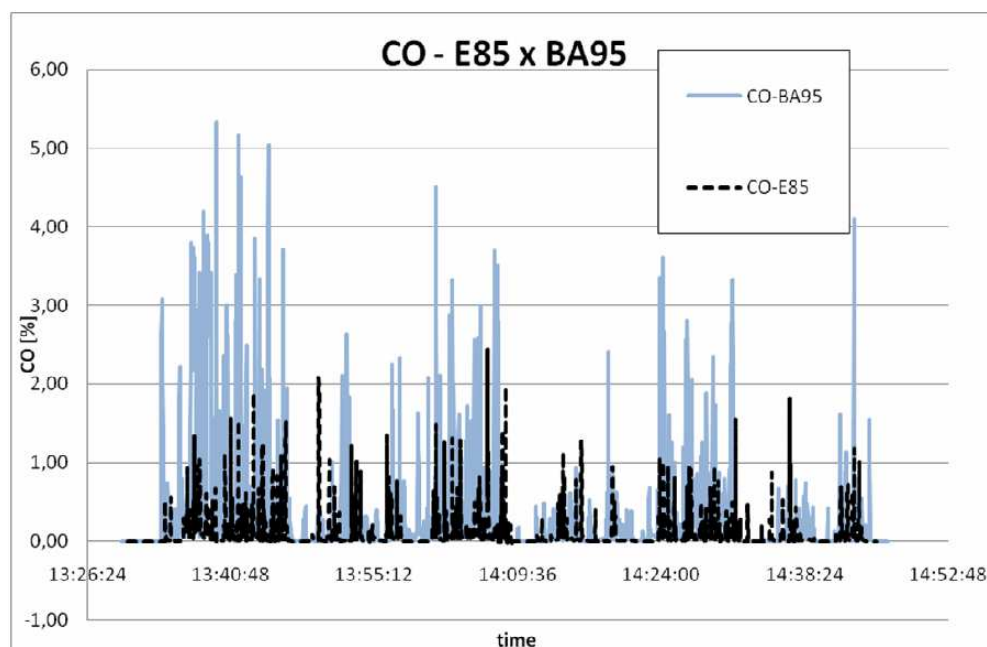


Obr. 23 Porovnání emisí výfukových plynů u modelů značky Chrysler při provozu na benzín a E85 [24]

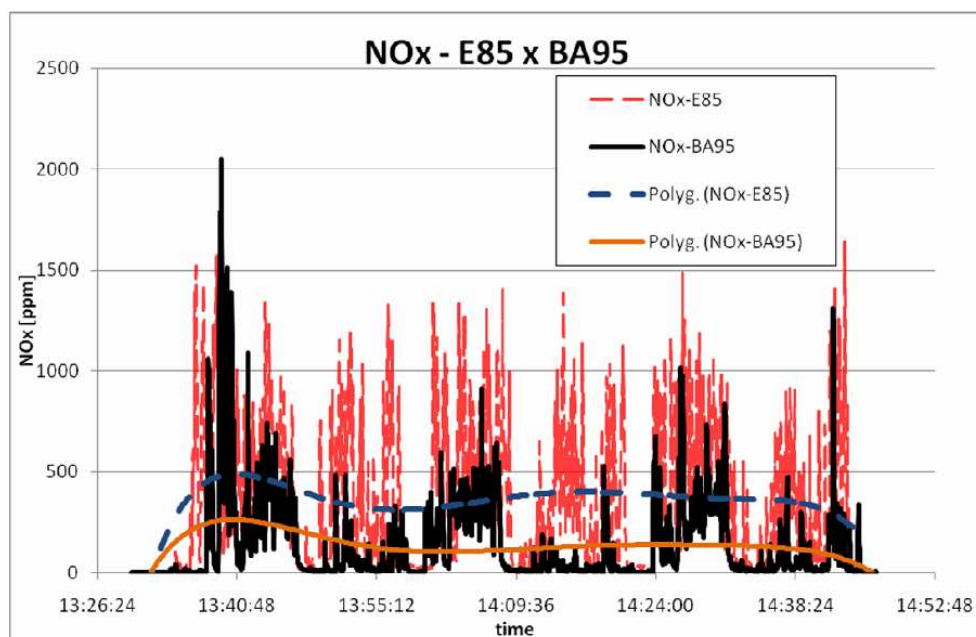
Srovnání emisí z běžného benzínu a paliva E85 pro neupravený zážehový motor je uveden na obrázku 24, 25 a 26. Testovací cyklus byl zajištěn v reálném provozu v okolí města Liberec s výše zmíněnou Škodou Felicií 1.3 MPI (1996). Z výsledků je patrné, že došlo ke snížení emisí CO, téměř dvojnásobnému zvýšení emisí NO_x, emise CO₂ zůstala přibližně stejná. [46]



Obr. 24 Porovnání emisí CO₂ pro Natural 95 E85 v reálném provozu [46]



Obr. 25 Porovnání emisí CO pro Natural 95 E85 v reálném provozu [46]



Obr. 26 Obr. 25 Porovnání emisí NOX pro Natural 95 E85 v reálném provozu [46]

2.3. Spotřeba paliva zážehového motoru

Spotřeba paliva je velice důležitý ukazatel, který vypovídá o hospodárnosti provozu vozidla ale i o jeho technickém stavu. V tomto ohledu je nejdůležitější měrná spotřeba [g/kWh], která má vyšší vypovídací hodnotu o stavu motoru a je používána jako komplexní diagnostický signál. Měrná spotřeba nejpřesněji charakterizuje celkovou účinnost motoru. V praxi jsou používány spíše hodnoty vyjadřující spotřebu v litrech na 100 km případně v litrech za 1h. [1]

2.3.1. Tepelná bilance a účinnost motoru

2.3.1.1. Tepelná bilance

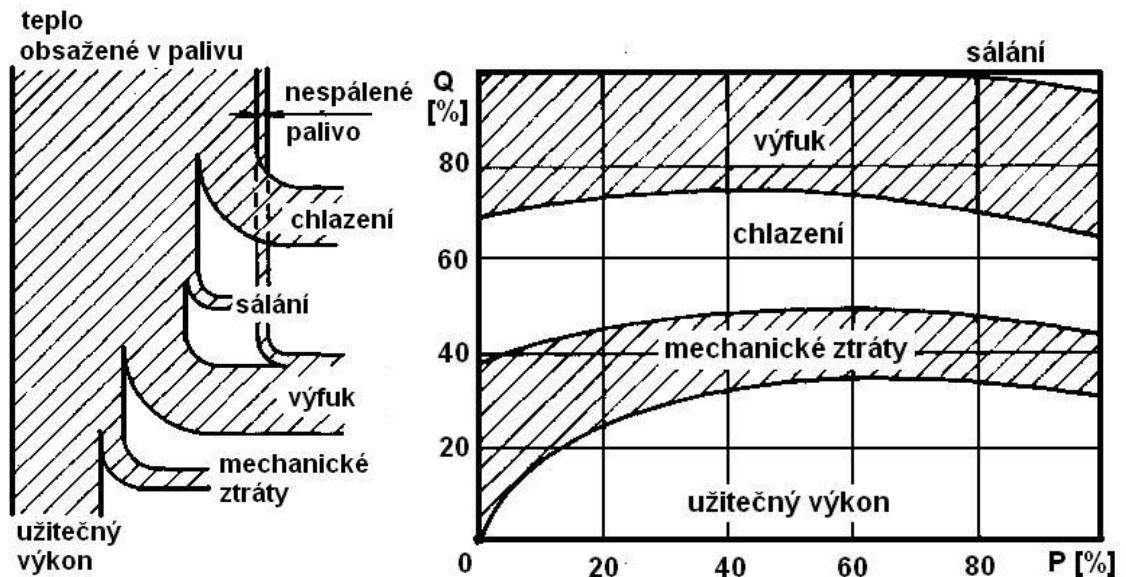
Z tepla, které dodáme do pracovního oběhu palivem, se na užitečný výkon využije pouze část. Přehled o celkovém rozdělení dodaného tepla poskytuje tepelná bilance a s ní související účinnosti motoru. Tepelná bilance by měla vykazovat takové hodnoty, které zajistí hospodárny provoz ve všech režimech práce motoru. Pro provoz motoru jsou tepelné ztráty nezbytné, ale je možné je snižovat. Tepelnou bilanci můžeme vyjádřit takto: [1]

$$Q_p = Q_{ns} + Q_{ch} + Q_s + Q_v + Q_m + Q_e \quad (7)$$

Tepla mají rozměry $J \cdot kg^{-1}$, $J \cdot s^{-1}$ nebo $J \cdot oběh^{-1}$

- Q_p – teplo přivedené do oběhu v palivu
- Q_{ns} – teplo ztracené nedokonalým spalováním (0 – 10%)

- Q_{ch} – teplo odvedené chlazením (12 – 30%)
- Q_s – teplo odvedené sáláním (0 – 5%)
- Q_v – teplo odvedené výfukem (30 – 55%)
- Q_m – teplo představující mechanické ztráty (5 – 10%)
- Q_e – teplo efektivní (ekvivalentní užitečnému výkonu) (25 – 35%)



Obr. 27 Schéma tepelné bilance spalovacího motoru [1]

2.3.1.2. Účinnosti spalovacího motoru

Základní účinnosti spalovacího motoru můžeme rozdělit následovně:

- Chemická účinnost spalování

Představuje stupeň dokonalosti spalování paliva, tedy s jakou účinností se převádí chemicky vázané teplo v palivu na teplo přivedené do oběhu. Je definována jako poměr tepla přivedeného do oběhu a tepla obsaženém v palivu. Přivedené teplo lze vyjádřit jako teplo obsažené v palivu bez tepelných ztrát.[1]

$$\eta_{ch} = \frac{Q_p - Q_{ns}}{Q_p} = 1 - \frac{Q_{ns}}{Q_p} \quad (8)$$

Pokud obecná tepla nahradíme teplem, uvolněným při spálení 1kg paliva, vypadá vztah následovně:

$$\eta_{ch} = 1 - \frac{H_{ns}}{H_u} \quad (9)$$

- H_{ns} – tepelné ztráty nedokonalým spálením 1kg paliva [$J \cdot kg^{-1}$]

- H_u – spodní výhřevnost paliva [$J \cdot kg^{-1}$]

Na velikost η_{ch} má vliv řada faktorů, nejdůležitější jsou např. hodnota součinitele přebytku vzduchu, tvar spalovacího prostoru, teplota při spalování, stupeň rozprášení paliv apod. [1]

- Tepelná účinnost

Tepelná nebo také termická účinnost vyjadřuje poměr tepla spotřebovaného na práci teoretického pracovního oběhu a tepla přivedeného do oběhu a lze ji obecně vyjádřit takto:

$$\eta_t = \frac{Q_t}{Q_p} = \frac{Q_p - Q_o}{Q_p} \quad (10)$$

- Q_o – odvedené teplo [J]

Po úpravě dostaneme obecný vztah:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \cdot \frac{\alpha(\gamma-1) + \kappa(\alpha-1)}{\theta-1 + \kappa\theta(\beta-1)} \quad (11)$$

- γ – stupeň izochorického výfuku [-]
- ε – kompresní poměr [-]
- κ – poměr měrných tepel [-]
- θ – stupeň izochorického spalování (souč. zvýšení tlaku) [-]
- β – stupeň izobarického spalování (souč. zvětšení objemu) [-]
- α – stupeň izobarického výfuku [-]

Po úpravě dostaneme pro zážehový motor (oběh s izochorickým spalováním) vztah:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \cdot \frac{\gamma-1}{\theta-1} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \quad (12)$$

Na tepelnou účinnost má pozitivní vliv rostoucí kompresní poměr, součinitel zvýšení tlaku a poměr měrných tepel a snížení součinitele zvětšení objemu. [1]

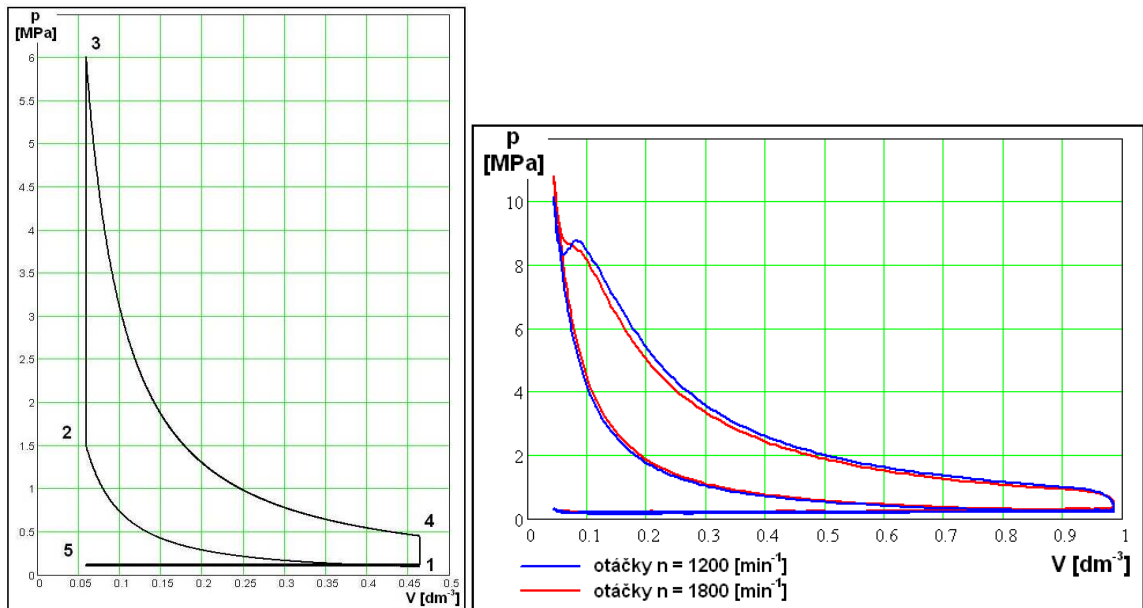
- Stupeň plnosti diagramu

Vyjadřuje poměr tepla spotřebovaného na indikovanou práci a poměr tepla spotřebovaného na práci teoretického oběhu. [1]

$$\eta_p = \frac{Q_i}{Q_t} = \frac{Q_i}{Q_p - Q_o} \quad (13)$$

- Q_i – teplo, spotřebované na práci indikovaného oběhu [J]
- Q_t - teplo, spotřebované na práci teoretického oběhu [J]

η_p představuje poměr ploch skutečného indikátorového a teoretického p-V diagramu. který je vypočítán bez ohledu na ztráty prouděním, škrcením apod. Jeho hodnota bývá 0,9-0,97, přičemž je vyšší u vznětových motorů. [45]



Obr. 28 Příklad teoretického (vlevo) a indikátorového p-V diagramu [1]

- Indikovaná účinnost

Indikovaná účinnost představuje součin chemické účinnosti, tepelné účinnosti a stupně plnosti diagramu. Můžeme ji také definovat jako poměr tepla spotřebovaného na indikovanou práci a tepla přivedeného do oběhu v palivu. [1, 45]

$$\eta_i = \eta_{ch} \cdot \eta_t \cdot \eta_p = \frac{Q_i}{Q_p} \quad (14)$$

- Mechanická účinnost

Tato účinnost představuje poměr efektivního a indikovaného výkonu. Efektivní výkon můžeme vyjádřit také jako rozdíl indikovaného a ztrátového výkonu. [1]

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{Q_e}{Q_i} = \frac{P_i - P_z}{P_i} = 1 - \frac{P_z}{P_i} \quad (15)$$

- P_e – efektivní výkon
- P_i – indikovaný výkon

- Q_e – teplo, spotřebované na efektivní práci
- P_z – ztrátový výkon

Ztrátový výkon je spotřebováván na pokrývání třecích odporů, ventilačních ztrát v klikové skříni, k pohonu pomocných zařízení jako jsou rozvodové ústrojí, alternátor, mazací soustava apod. a práci potřebnou k naplnění válce směsí. Mechanická účinnost klesá s rostoucími otáčkami a kompresním poměrem. Její hodnota se pohybuje mezi 10-30% P_i . [1]

- Celková účinnost

Celková (efektivní) účinnost vyjadřuje veškeré ztráty motoru součin indikované a mechanické účinnosti.

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m \quad (16)$$

Nebo také pomocí příslušných tepel:

$$\eta_e = \frac{Q_e}{Q_p} \quad (17)$$

Celkovou účinnost můžeme také vyjádřit:

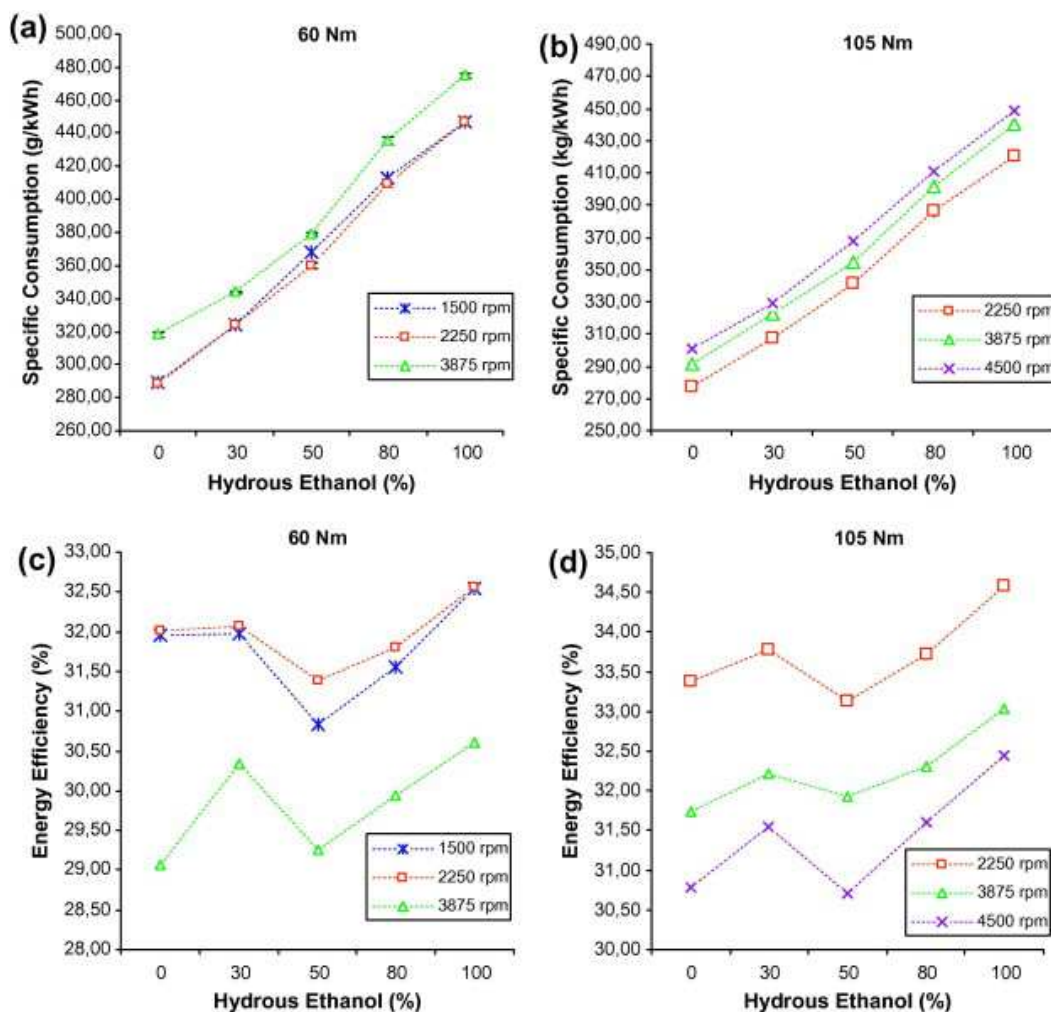
$$\eta_e = \frac{1}{m_{pe} \cdot H_u} \quad (18)$$

- m_{pe} – měrná efektivní spotřeba paliva [$\text{g} \cdot \text{kWh}^{-1}$]

U zážehových motorů se hodnota celkové účinnosti pohybuje mezi 25-35%. U vznětových motorů je její hodnota až 40-45%. [1]

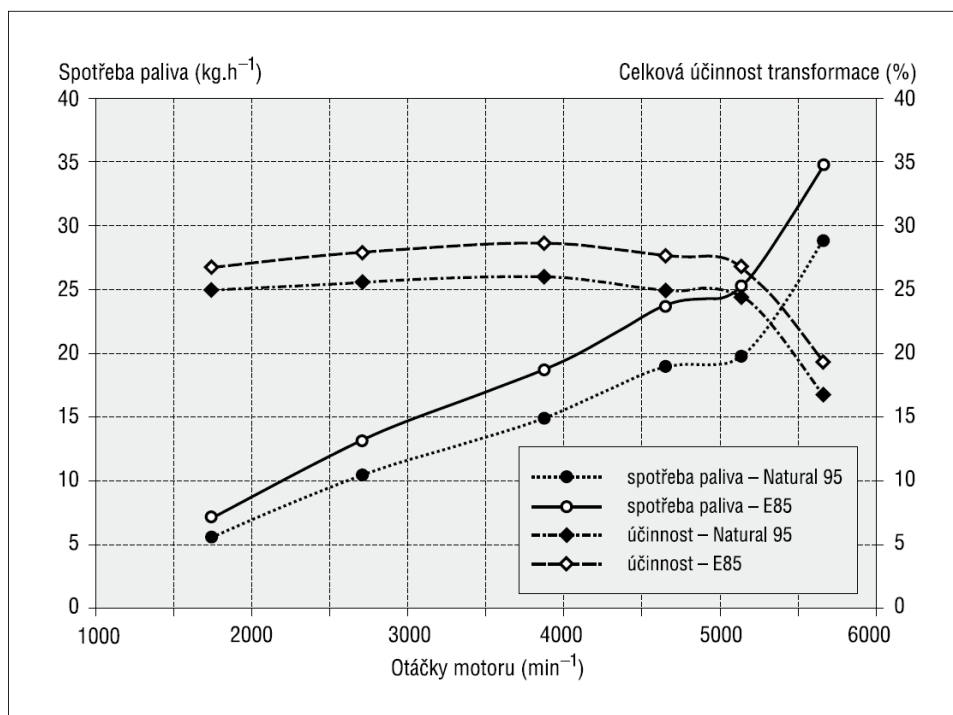
2.3.2. Ovlivnění spotřeby paliva podílem bioethanolu v palivu

Vzhledem k nižší výhřevnosti bioethanolu, lze očekávat, že vliv na spotřebu bude negativní, tedy že spotřeba bude vyšší. Na obrázku 29 vidíme, že s rostoucím podílem ethanolu v benzínu roste i měrná spotřeba paliva. Zajímavější ale je, že s rostoucím podílem ethanolu roste i měrná účinnost motoru. Výjimku tvoří pouze 50% podílu ethanolu, který v některých případech dokonce účinnost motoru snížil, konkrétně při zatížení 60Nm a otáčkách 1500 a 2250 min^{-1} . [32]



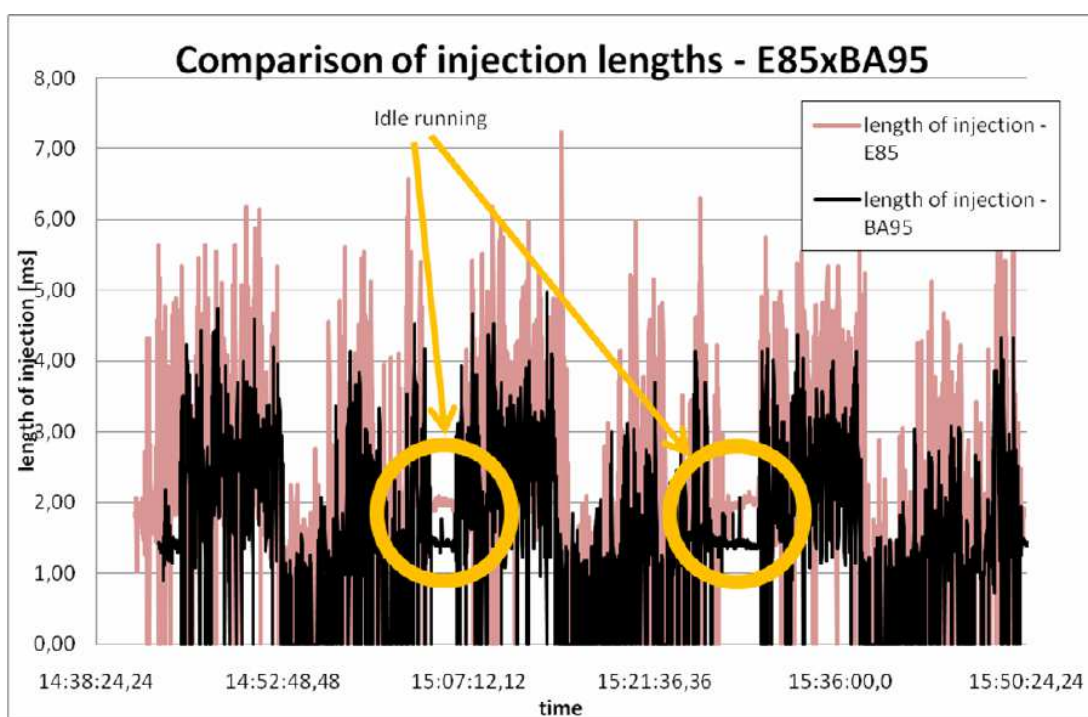
Obr. 29 Závislost měrné spotřeby a účinnosti motoru na podílu ethanolu v palivu. [32]

Zvýšení účinnosti motoru při provozu na palivo E85 potvrzují ve svém článku také Čupera a Polcar. Z obrázku 30 vidíme, že v maximální hodnotě je hodinová spotřeba přibližně o 17% vyšší. Po přepočtení na jednotku MJ/kWh, která interpretuje potřebu energie vázané v palivu na jednotku produkované energie, dojdeme k závěru, že směs s benzínem s sebou nese o 16% více energie. To znamená, že palivo E85 vykazuje vyšší účinnost. Měření probíhalo na VW Golf 1.6 čtvrté modelové řady s prodlouženými intervaly vstříků. [47]



Obr. 30 Hodinová spotřeba a účinnost motoru pro Natural 95 a E85. [47]

Na obrázku 31 je uvedena délka vstřiku u výše zmíněného, neupraveného automobilu Škoda Felicia 1.3 (1996, 130 000km) Vozidlo bylo provozováno na Natural 95 a E85, v běžném provozu v ČR. Je jasně patrné, že intervaly vstřiků jsou delší. V cyklu jsou místa, kdy motor běžel na volnoběh, v těchto místech je také delší interval vstřiku. [46]



Obr. 31 Srovnání délky vstřiku pro E85 a Natural 95 [46]

3. Cíl a metodika diplomové práce

3.1. Cíl práce

Obecným cílem této diplomové práce je přispět ke snížení zatížení životního prostředí a lidského zdraví škodlivými emisemi výfukových plynů zážehových motorů.

Konkrétním cílem práce je experimentálně ověřit a analyzovat vliv spalování paliva E85 v zážehovém motoru na tvorbu škodlivých emisí, jako jsou CO₂, CO, NO_x a HC a také na spotřebu paliva a celkovou účinnost motoru.

Tento konkrétní cíl můžeme rozdělit do několika dílčích cílů. Jsou to:

- Ověřit produkci škodlivých emisí a spotřebu paliva zážehového motoru při spalování benzínu Natural 95 a vytvořit vnější otáčkovou charakteristiku
- Ověřit produkci škodlivých emisí a spotřebu paliva zážehového motoru při spalování paliva E85 s přídatnou řídicí jednotkou a vytvořit vnější otáčkovou charakteristiku
- Ověřit produkci škodlivých emisí a spotřebu paliva zážehového motoru při spalování paliva E85 bez úprav a vytvořit vnější otáčkovou charakteristiku

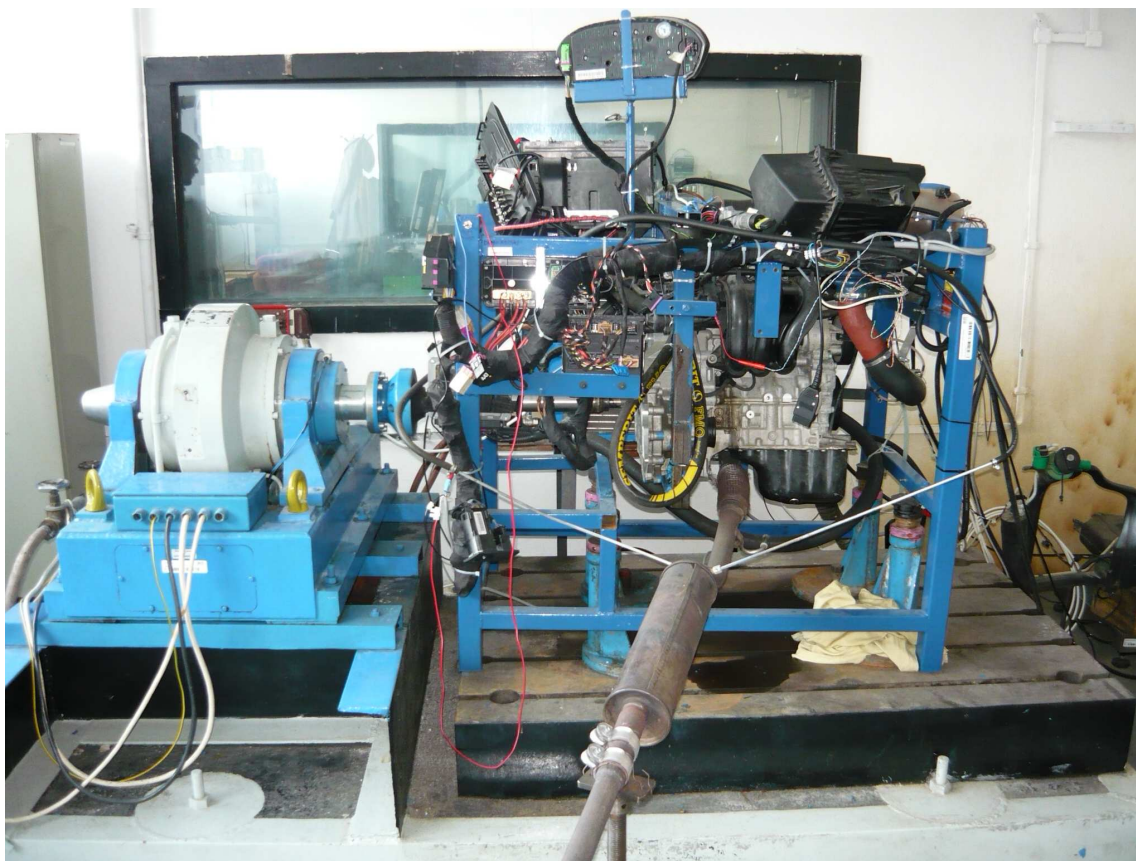
3.2. Metodika práce

Metodika diplomové práce rozvádí a upřesňuje dosažení dílčích cílů, stanovených výše.

3.2.1. Přístrojové vybavení experimentu

Níže je uveden popis jednotlivých přístrojů, využitých při měření. K měření byly využity přístroje a brzdové stanoviště katedry vozidel a pozemní dopravy (obrázek 32). Jsou to:

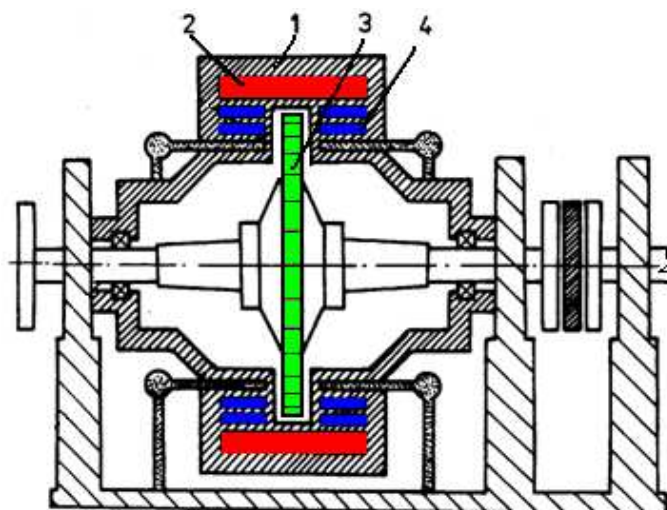
- Vířivý dynamometr
- Motor Škoda Fabia 1.2HTP
- Emisní analyzátor VMK
- Diagnostický systém VAG-COM
- Přídatná řídicí jednotka vstřikování
- Palivoměr



Obr. 32 Brzdové stanoviště katedry vozidel a pozemní dopravy

3.2.1.1. Vířivý dynamometr

Vířivý dynamometr je umístěn na brzdovém stanovišti katedry vozidel a pozemní dopravy. Schéma vířivého dynamometru je uvedeno na obrázku 32. Při průtoku stejnosměrného proudu budícím vinutím vzniká magnetické pole. Působením magnetického pole vznikají ve stěnách komor vířivé proudy, které vytvářejí vstřícné pole a brzdí rotor. Velikostí tohoto budícího proudu ovládáme velikost brzdného momentu. Pólový kotouč může být poměrně úzký, protože magnetické siločáry procházejí kotoučem pouze v axiálním směru, proto má konstrukce v porovnání s jinými malý moment setrvačnosti. Odbrzdná energie se odvádí do chladících komor ve formě tepla, které je odváděno vodou. Parametry dynamometru jsou uvedeny v tabulce 8. [1]



Obr. 33 Schéma vířivého dynamometru – 1 – výkyvně uložené těleso, 2 – budící vinutí, 3 – ozubený pólový kotouč, 4 – chladící komory [1]

Tab. 8 Parametry dynamometru [52]

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

Reakce od dynamometru je zachycena přes tenzometrický snímač, jehož parametry jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 9 Parametry tenzometru [52]

Tenzometr	
Jmenovité zatížení (kN)	2
Sloučená chyba (% j.z.)	0,5
Reprodukovatelnost (%)	0,05

3.2.1.2. Motor Škoda Fabia 1.2HTP

Pro experiment byl použit motor Škoda Fabia 1.2HTP, jeho parametry jsou uvedeny v tabulce 10.

Tab. 10 Parametry testovaného motoru [52]

kód motoru	AWY (BMD)
Konstrukce	řadový 3-válcový motor, OHC, 2 ventily na válec
Obsah (cm ³)	1198
Vrtání (mm)	76,5
Zdvih (mm)	86,9
Kompresní poměr	10,3 : 1
Max. výkon (kW)	40 při 4750min ⁻¹
Max. točivý moment (Nm)	106 při 3000min ⁻¹
Řídící jednotka motoru	Simos 3PD (vícebodové vstřikování)
Palivo	Natural BA 95
Emisní norma	EURO4
Emise CO ₂ (g/km)	142

3.2.1.3. Emisní analyzátor VMK

Emisní analyzátor VMK, který byl použit pro podstatnou část experimentu, byl zkonstruován společností VMK s.r.o. na základě potřeb katedry vozidel a pozemní dopravy. Tento analyzátor splňuje náročné požadavky pro měření emisí v provozu. Je určen pro měření koncentrací oxidu uhličitého (CO₂), oxidu uhelnatého (CO), oxidů dusíku (NO_x), nespálených uhlovodíků (HC) a kyslíku (O₂) ve spalinách spalovacích motorů s vnitřním spalováním. Přístroj vychází z lehkých, přenosných a robustních servisních analyzátorů, používaných při servisu a technických prohlídkách ve státě Kalifornie, USA. [49, 52]

Přístroj je upraven tak, že je možné ho používat také ke kontinuálnímu měření po delší dobu, k měření vznětových motorů a k měření vozidel za provozu. Zařízení dosahuje vysoké přesnosti a opakovatelnosti měření, srovnatelné s laboratorními podmínkami. Přístroj je znázorněn na obrázku 34 a jeho parametry jsou uvedeny v tabulce 11. [49, 52]



Obr. 34 Emisní analyzátor VMK [52]

Tab. 11 Parametry emisního analyzátoru VMK [49]

Měřená složka	Rozsah	Rozlišení	Přesnost měření
CO	0 - 10 % vol	0,01 % vol	0 - 0,67%: 0,02% absolutně, 0,67- 10%: 3% z naměřené hodnoty
CO ₂	0 - 16 % vol	0,1 % vol	0 - 10%: 0,3% absolutně, 10 - 16%: 3% z n.h.
HC	0 - 20 000 ppm	1 ppm	10 ppm nebo 5% z n.h.
NO _x	0 - 5 000 ppm	1 ppm	0 - 1000 ppm: 25 ppm, 1000 - 4000 ppm: 4% z n.h.
O ₂	0 - 22 % vol	0,1 % vol	0 - 3%: 0,1% 3 - 21%: 3% z n.h.

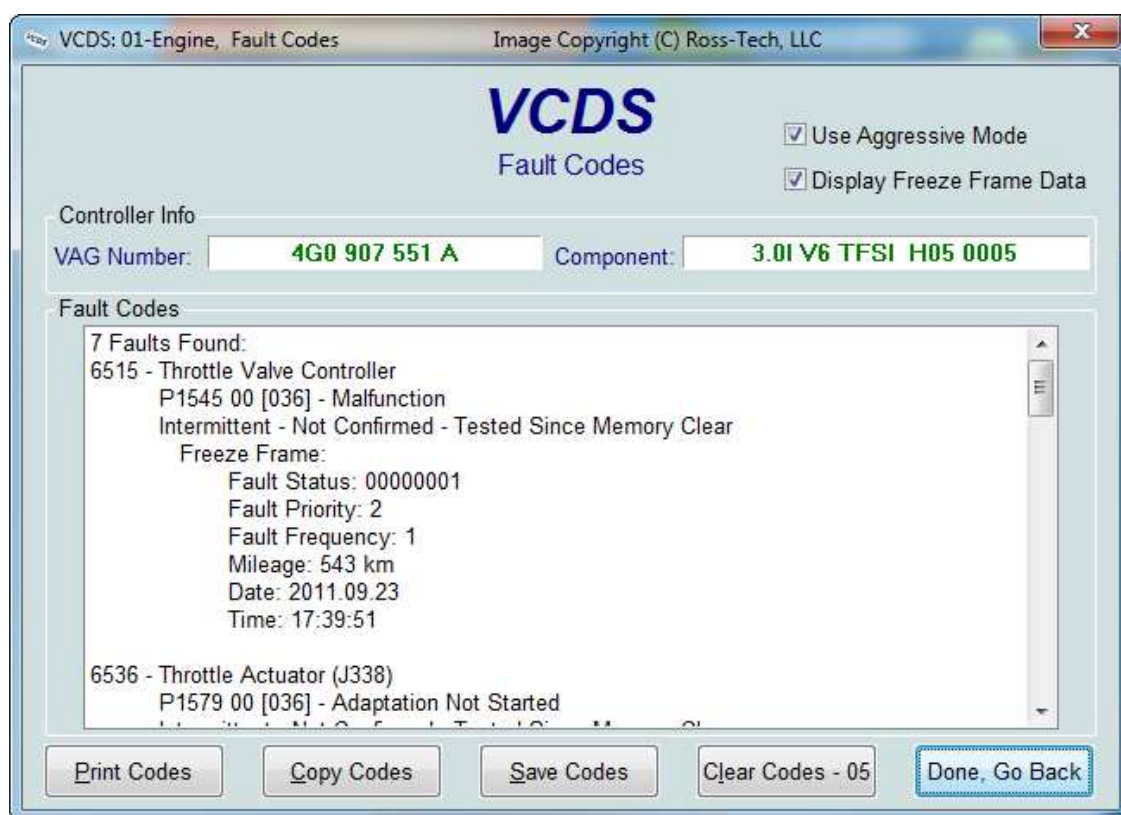
- Popis funkce

Hlavní částí analyzátoru je nedisperzní infračervený analyzátor. Přístroj tedy využívá principu absorpce infračerveného záření (metoda NDIR), který byl již zmíněn výše. Základní částí přístroje je optická lavice, která se skládá z optické kyvety se vzorkem, zdroje a detektoru infračerveného záření. Měření se provádí v takových oblastech vlnových délek, ve kterých je vysoká absorpce sledované látky, a zároveň absorpce ostatních látek je co nejnižší. Při ideálních podmínkách je intenzita I snímaná detektorem funkcí pouze intenzity světla I_0 bez přítomnosti sledované látky, molární koncentrace C sledované látky a absorpčního koeficientu A sledované látky dle Beer - Lambertova zákona. Přesnost zařízení je zvýšena sledováním teploty a tlaku vzorku, absorpce infračerveného záření ve více oblastech a pozadového signálu detektorů při vypnutém zdroji záření. [49, 52]

Jak je patrné z obrázku, vzorek vstupuje do přístroje přes filtr na zadní straně přístroje, kde jsou odstraněny částice a kondenzát. Tento kondenzát je ze spodní části filtru odčerpáván spolu s částí vzorku ven z přístroje. Přefiltrovaný vzorek postupuje dále do přepínacího ventilu. Do tohoto ventilu je také přiváděn nulovací plyn buď ve formě vzduchu, případně lze použít syntetický vzduch nebo dusík. Z přepínacího ventilu je vzorek dále čerpán čerpadlem do měřicí kyvety spektrometru nebo ven z přístroje. Do kyvety je čerpáno pouze malé množství vzorku, protože potřebujeme zachovat velký celkový průtok ($100\text{cm}^3/\text{s}$) kvůli rychlé odezvě a zároveň dostatečně malý průtok měřicí kyvetou, aby byly minimalizovány turbulence a míchání vzorku v kyvetě. Z kyvety poté vzorek volně odtéká ven z zadní části přístroje. [49]

3.2.1.4. Diagnostický systém VAG-COM

Tento systém komunikuje přes rozhraní OBD, u koncernových vozů (VW, Audi, Seat, Škoda) umožňuje přímou komunikaci se všemi řídicími jednotkami ve vozidle. Výhodou je vyšší počet snímaných hodnot oproti OBD, kde jsou pouze 4. Na obrázku 35 je zobrazeno hlášení o chybách. [50, 52]



Obr. 35 Diagnostický systém VAG-COM [51]

Pro potřeby našeho experimentu snímáme především otáčky motoru, zatížení motoru, hodnotu součinitele přebytku vzduchu. Dále pro experiment bylo použito zobrazení a mazání hlášení o chybách a mazání adaptačních hodnot řídicí jednotky.

3.2.1.5. Přídavná řídicí jednotka

Tato jednotka byla vyrobena za pomoci katedry elektrotechniky a automatizace. Vstupem do jednotky jsou impulsy pro vstřikovače, tedy výstupy hlavní řídicí jednotky automobilu. Zařízení tyto impulsy prodlouží o přednastavenou hodnotu v %, tzn. zvýší dávku paliva. V našem případě jednotka prodlužuje dobu vstřiku o 28%.

3.2.1.6. Palivoměr

Palivoměr měří průtok paliva do vstřikovačů. Výstupem z palivoměru jsou impulsy, celkový stav paliva, které protéklo zařízením, se pak spočítá dle vztahu.

$$V = \frac{N}{1800} \quad (19)$$

- V – objem paliva (l)
- N – počet impulsů (-)

3.2.2. Popis metody experimentu

Škodlivé emise byly měřeny pomocí zkušební cyklu, získaného z reálného provozu záznamem polohy plynového pedálu, zatížení a otáček motoru z OBD diagnostiky. Tento cyklus byl získán ze Škody Fabia 1.2HTP a trvá 330 sekund. Cílem je simulování reálného provozu motoru na brzdovém stanovišti.

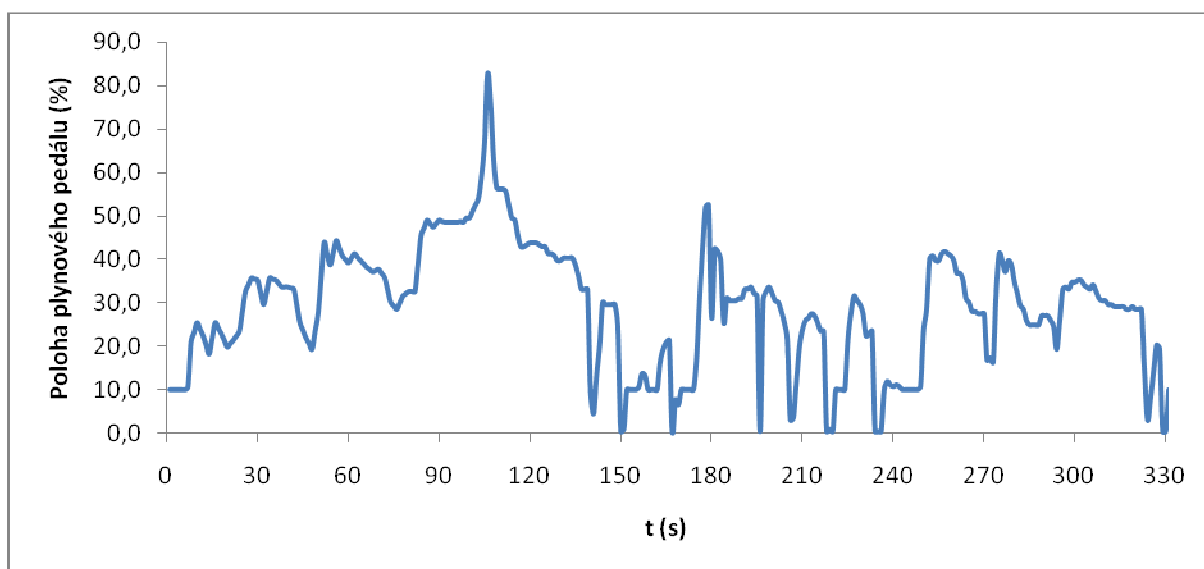
Zatížení motoru lze také charakterizovat množstvím nasáté směsi do válců. Na získání dat pro zkušební cyklus lze při jeho stanovení vycházet z několika veličin, nasnímaných z OBD diagnostiky za provozu. V případě použitého motoru jsou dostupné následující veličiny: [52]

- zatížení motoru (%),
- tlak v sacím potrubí (mbar),
- průměrná doba vstřiku (ms),
- úhel otevření škrticí klapky (°)

V našem případě bylo použito zatížení motoru (%) nasnímané z OBD diagnostiky, protože korelační analýza zde ukázala nejtěsnější korelaci k okamžitému točivému momentu snímaného tenzometrickým snímačem na vířivém dynamometru. [52]

Údaje o otáčkách byly pro účely získání dat pro cyklus snímány také pomocí OBD diagnostiky. Nevýhodou je šířka vzorkovacího pásma, která omezuje nejnižší rozlišitelnou změnu otáček. Avšak pro naše účely poskytuje stále dostatečnou přesnost. [52]

Protože cyklus byl použit pro různá paliva, nejsou hodnoty točivého momentu a otáček motoru přesně shodné pro všechna měření. Důvodem jsou rozdílné výkonové parametry motoru při použití těchto paliv. Parametr, který zůstává pro všechna měření neměnný, je nastavení polohy plynového pedálu v závislosti na čase (obrázek 36).



Obr. 36 Závislost polohy plynového pedálu v čase pro použitý cyklus

V průběhu měření se data z měřících zařízení neustále ukládají vždy po sekundě na pevný disk PC, které rovněž obsahuje i ovládací software. Parametry získané z řídicí jednotky, dynamometru a palivoměru jsou ukládány v souboru DBF a data z emisního analyzátoru jsou ukládána do souboru CSV, kde jsou jednotlivá data oddělena čárkou (oba typy souborů lze zpracovat například v programu MS Excel). Do textového souboru se potom ukládají základní informace o začátku a konci zkušebního cyklu a celkovém spotřebovaném palivu za cyklus.

Po zahřátí motoru a vynulování přístrojů byly výše zmíněným zkušebním cyklem nejprve měřeny škodlivé emise motoru pracujícího na benzín Natural BA 95. Poté emise motoru pracujícího na palivo E85, kdy přídatná řídicí jednotka prodlužovala interval vstříku o 28%. Jako poslední část měření byla hodnota prodloužení intervalu vstříku nastavena na hodnotu 0%, tedy motor byl bez úprav.

Vždy po naměření zkušebního cyklu byla ještě vytvořena vnější otáčková charakteristika motoru na určité palivo pro zjištění vlivu na výkonové parametry motoru a jeho měrnou spotřebu.

4. Vyhodnocení experimentu

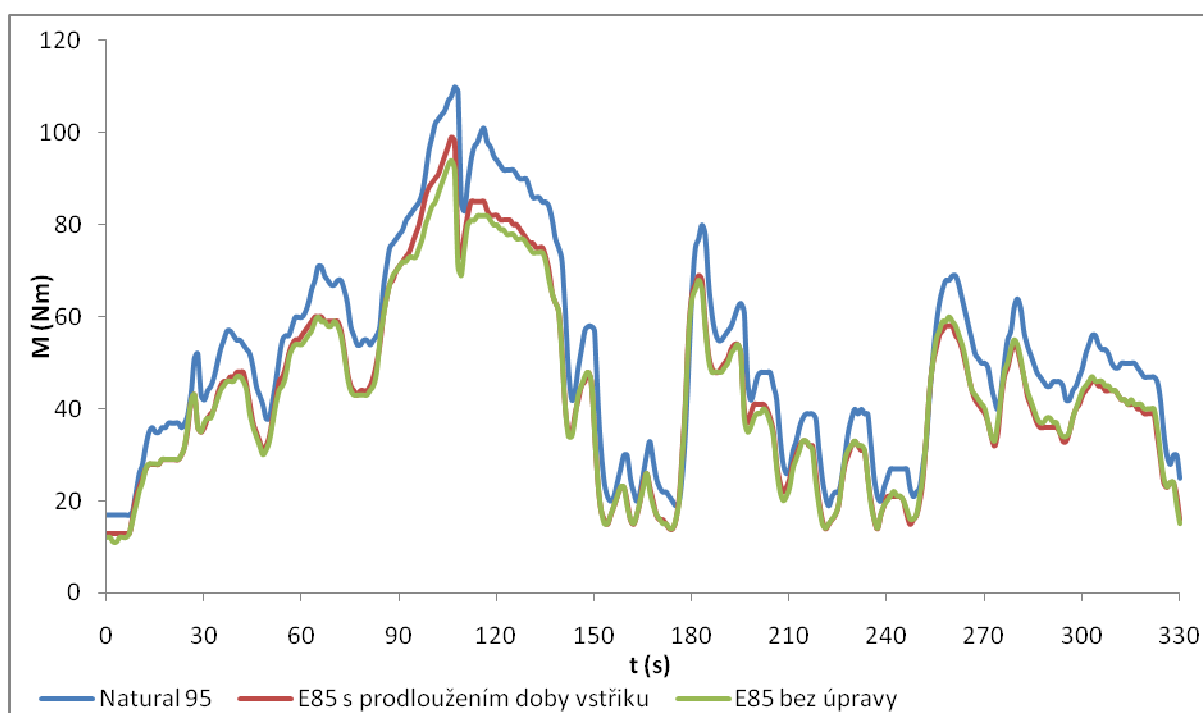
Výsledná data byla zpracována za pomoci programu MS Excel. U měření pomocí zkušebního cyklu jsem vyhodnocoval konkrétní průběh točivého momentu a otáček pro jednotlivé cykly, škodlivé emise, měrnou spotřebu paliva, účinnost motoru a průběh součinitele přebytku vzduchu. Pro vnější otáčkovou charakteristiku jsem vyhodnocoval točivý moment, výkon a měrnou spotřebu paliva a účinnost.

4.1. Vyhodnocení zkušebních cyklů

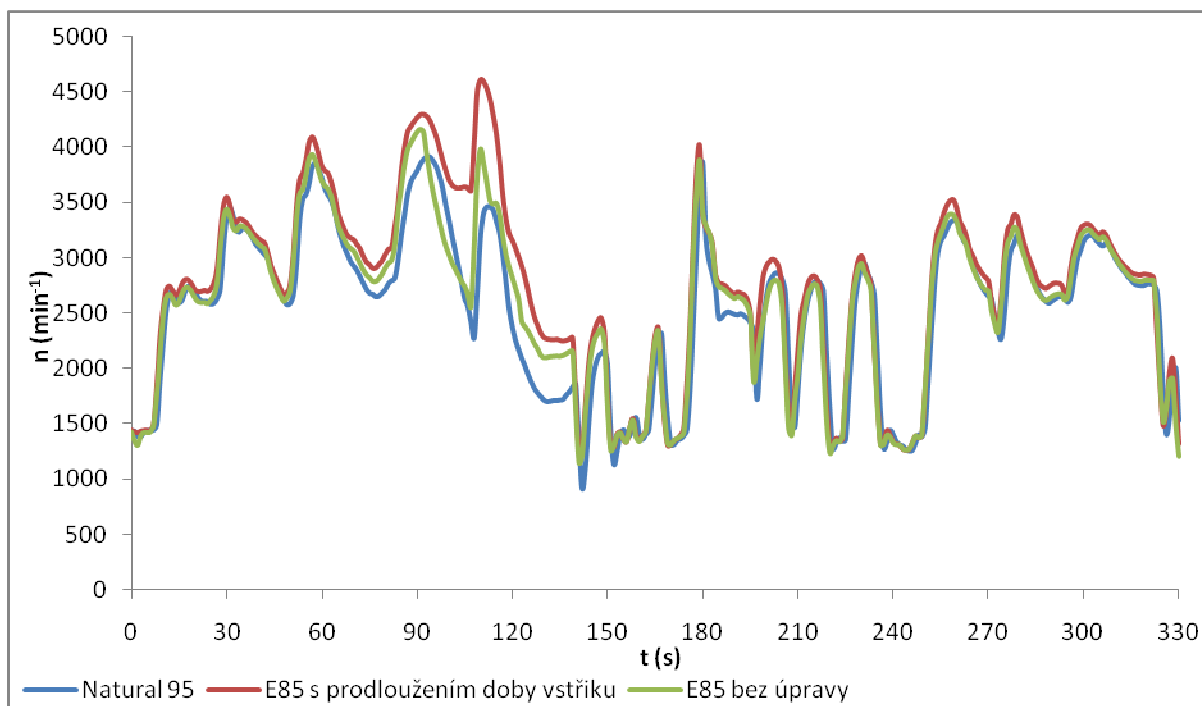
4.1.1. Průběhy točivého momentu a otáček při zkušebním cyklu

Na obrázku 37 jsou znázorněny průběhy točivého momentu, naměřeného na dynamometru při zkušebních cyklech v závislosti na čase pro paliva Natural 95, E85 s prodloužením doby vstřiku a E85 bez úpravy. Průběhy otáček při zkušebních cyklech jsou uvedeny na obrázku 38.

Z obrázků 37 a 38 můžeme vidět, že největší rozdíl otáček i točivého momentu je v oblasti přibližně od 90 do 150 sekund. V tomto intervalu můžeme vidět na obrázku 36 oblast s prudkým stoupáním a klesáním polohy plynového pedálu.



Obr. 37 Průběhy točivého momentu při zkušebním cyklu



Obr. 38 Průběhy otáček motoru při zkušebním cyklu

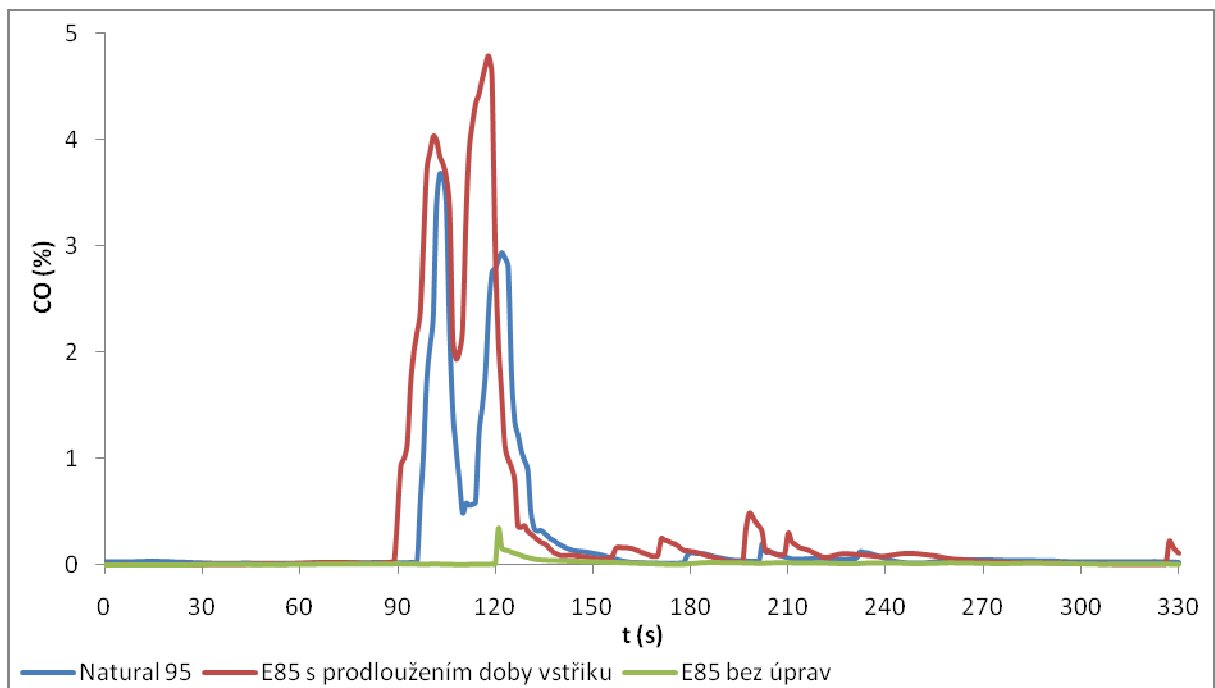
4.1.2. Vyhodnocení škodlivých emisí

Data o koncentraci všech složek emisí byla synchronizována s průběhem nastavení plynového pedálu, aby se kompenzovala reakční doba emisního analyzátoru. Pro tuto synchronizaci byly využity údaje o koncentraci CO₂, která v případě prudkého poklesu nastavení plynového pedálu také poklesne.

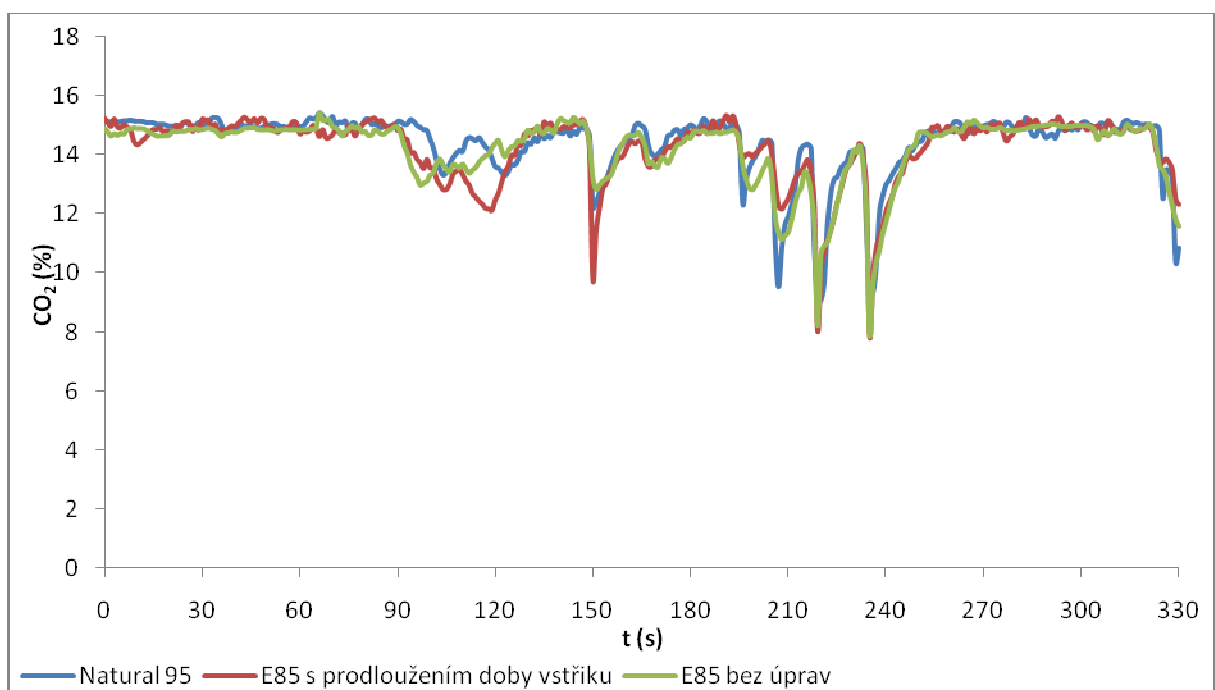
Hmotnostní vyjádření bylo vypočítáno na základě znalosti hmotnostního toku směsi (který lze zjistit z okamžité spotřeby paliva, stechiometrického poměru bioethanolu a benzínu a okamžité hodnoty součinitele přebytku vzduchu) a koncentrace příslušné složky emisí.

Na obrázku 39 vidíme průběh koncentrace oxidu uhelnatého v čase při zkušebním cyklu pro paliva Natural 95, E85 s prodloužením doby vstřiku a E85 bez úpravy.

Z grafu je vidět, že nejvyšší koncentrace CO byla mezi 90 a přibližně 130 sekundami. Také je zajímavé, že při použití paliva E85 bez úpravy se emise CO velice rapidně snížily, zatímco při prodloužení vstřiku jsou při vysokém, dynamickém zatížení výrazně vyšší než při použití konvenčního benzínu Natural 95. Důvodem může být příliš bohatá směs, zvláště u varianty E85 s prodloužením vstřiku



Obr. 39 Průběh koncentrace emisí CO při zkušebním cyklu.

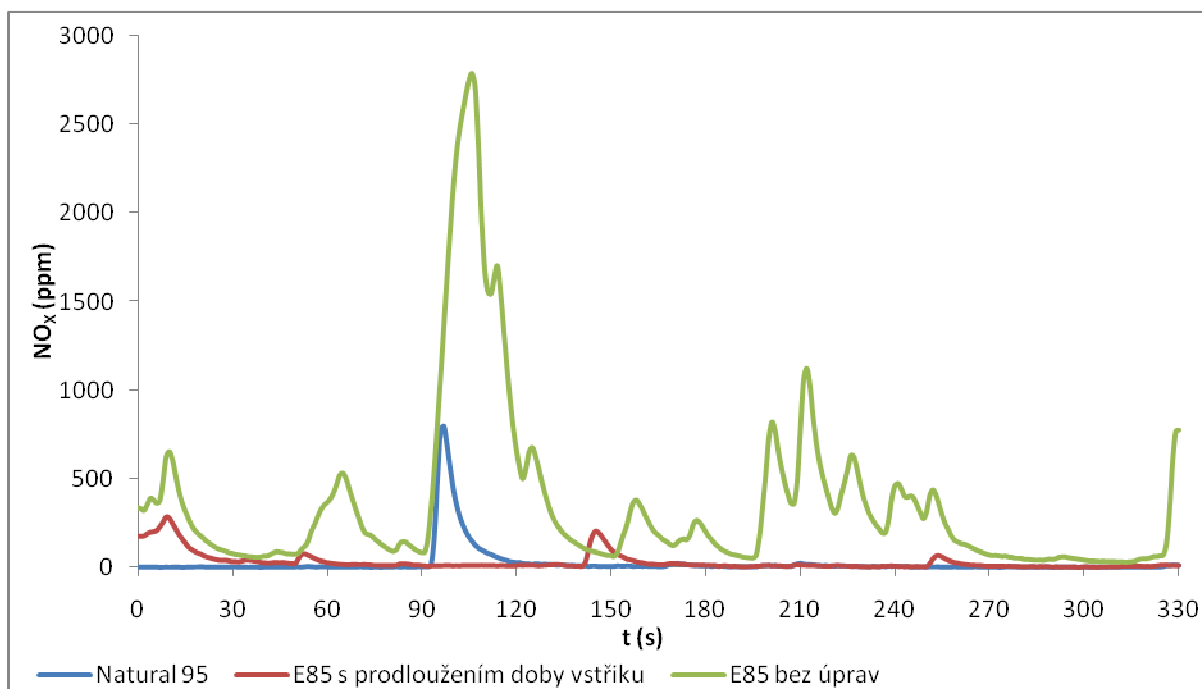


Obr. 40 Průběh koncentrace emisí CO₂ při zkušebním cyklu

Závislost emisí CO₂ v čase při zkušebním cyklu je znázorněna na obrázku 40. Z průběhu vidíme, že koncentrace tohoto plynu je u všech třech variant přibližně stejná. Propady, které vidíme u všech třech variant okolo 150. až 240. sekundy jsou spojeny se zkráceným vstřikem v důsledku prudkého snížení polohy plynového pedálu (viz obrázek 36) a tím i zatížení

motoru, což ukazuje také hodnota součinitele přebytku vzduchu, která v těchto místech výrazně stoupne (viz obrázek 43). Menší úbytek koncentrace u paliva E85 s prodlouženou dobou vstřiku okolo 120. sekundy může být vysvětlen nárůstem hodnoty CO, tedy zhoršeným spalováním.

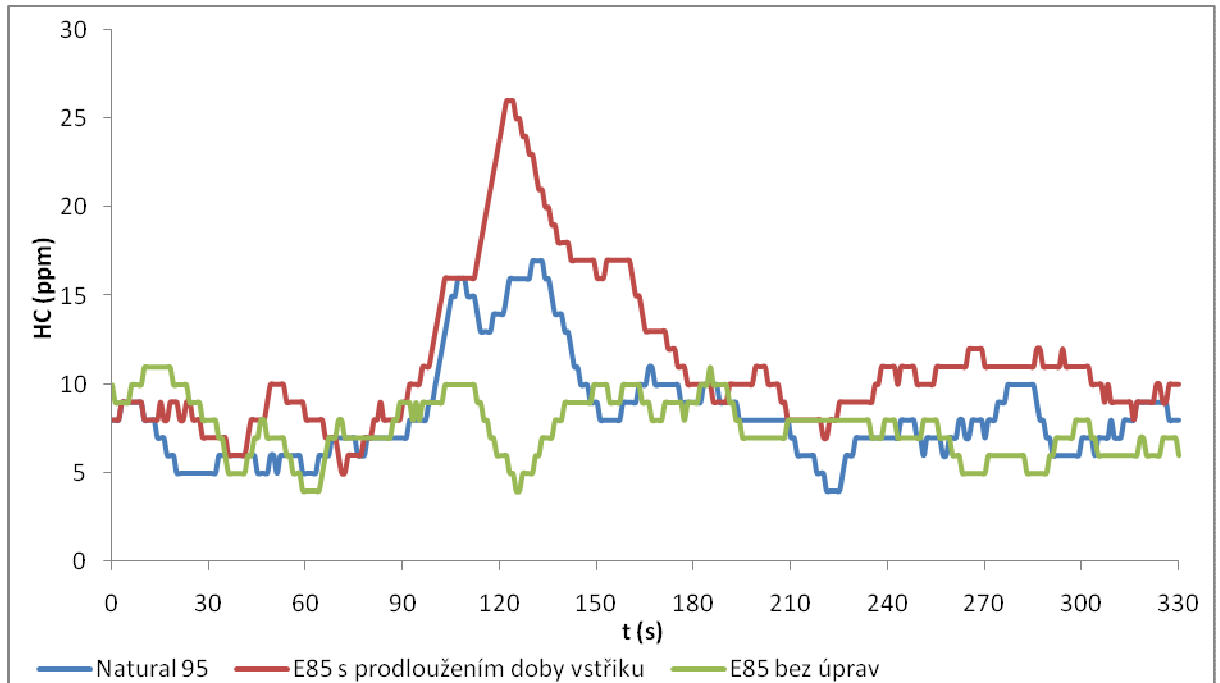
Obrázek 41 znázorňuje průběh emisí NO_x v čase pro zkušební cyklus. Je z něj patrný velice vysoký nárůst hladiny NO_x pro palivo E85 bez úpravy, zvláště při vyšším zatížení. To může být způsobeno s největší pravděpodobností chudou směsí mezi 90. a 120. sekundou cyklu (obrázek 43), projevující se nízkou koncentrací CO a HC (obrázek 39 a 42). Díky tomu nemůže dojít v katalyzátoru k eliminaci oxidů dusíku a třícestný katalyzátor se stává pro NO_x neúčinný. Při vyšší hodnotě součinitele přebytku vzduchu je také dostatek přebytečného kyslíku k tvorbě oxidů dusíku. U paliva E85 s prodlouženým vstřikem se naopak koncentrace NO_x snižuje, což může být způsobeno opačným efektem, tedy bohatou směsí mezi 90. a 120. sekundou cyklu, projevující se velmi nízkou koncentrací NO_x v této oblasti.



Obr. 41 Průběh koncentrace emisí NO_x při zkušebním cyklu

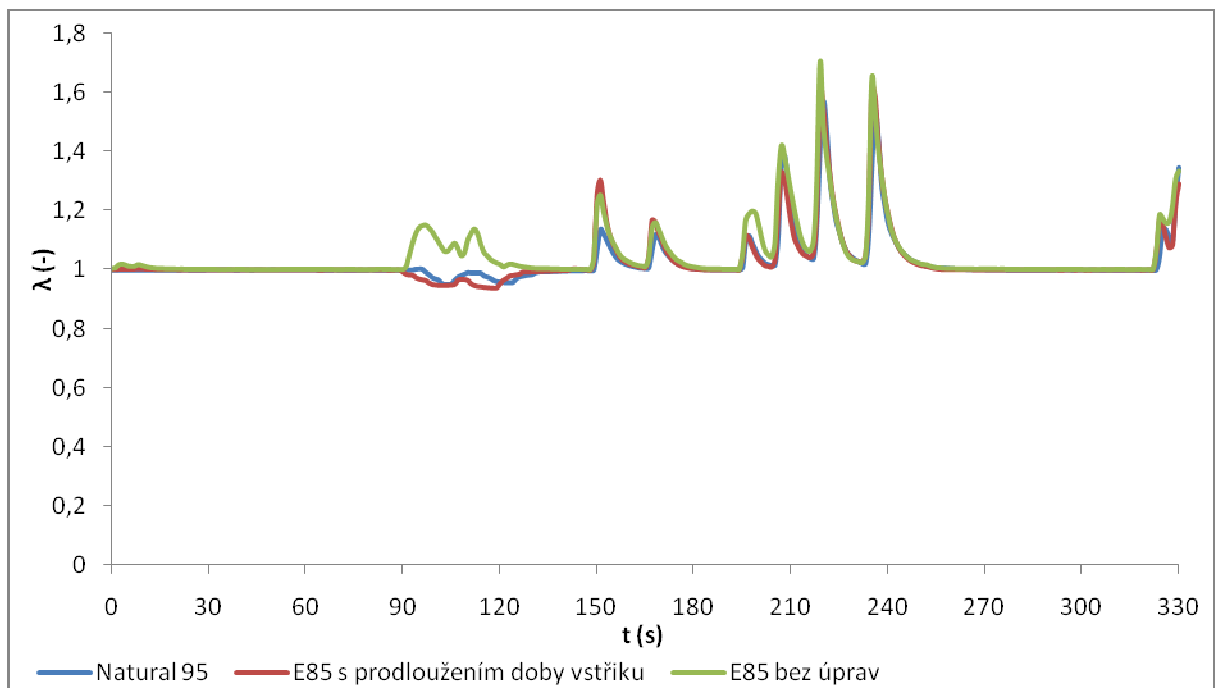
Průběh emisí HC je znázorněn na obrázku 42. Vidíme, že maximální koncentrace dosahují nespálené uhlovodíky opět okolo 120. sekundy cyklu. Oproti benzínu Natural 95 došlo u paliva E85 bez úpravy ke snížení koncentrace HC ve spalínách. To může být způsobeno chudou směsí mezi 90. a 120 sekundou zkušebního cyklu. Jako produkt předčasně

zastavených oxidačních reakcí se nespálené uhlovodíky vyskytují převážně u bohaté směsi spolu s CO, kdy ve směsi není dostatek kyslíku. To se ukazuje u paliva E85 s prodloužením doby vstřiku, kde došlo ke zvýšení koncentrace nespálených uhlovodíků.



Obr. 42 Průběh koncentrace emisí HC při zkušebním cyklu

Dále vidíme na obrázku 43 průběh součinitele přebytku vzduchu. Je z něj patrné, že tento součinitel má pro všechny tři varianty velice podobný průběh. Největší odlišnost je opět mezi 90. a 120. sekundou. Můžeme zde vidět, že u paliva E85 bez úpravy motor spaluje chudou směs okolo hodnoty $\lambda=1,2$. Způsobeno je to pravděpodobně tím, že při vysokém zatížení není dostatečný přísun paliva díky nižšímu stechiometrickému poměru E85. Řídící jednotka se zde již nedokáže adaptovat a sama adekvátně přizpůsobit délku vstřiku. Opačný případ nastává u paliva E85 s prodloužením vstřiku. Zde můžeme pozorovat větší pokles součinitele přebytku vzduchu než u benzínu Natural 95. Tomu také odpovídá hodnota CO (viz obrázek 39) a HC (obrázek 42). Prudké zvýšení součinitele, které můžeme pozorovat mezi 150. až 240. sekundou pravděpodobně souvisí s prudkým snížením polohy plynového pedálu (viz obrázek 36)

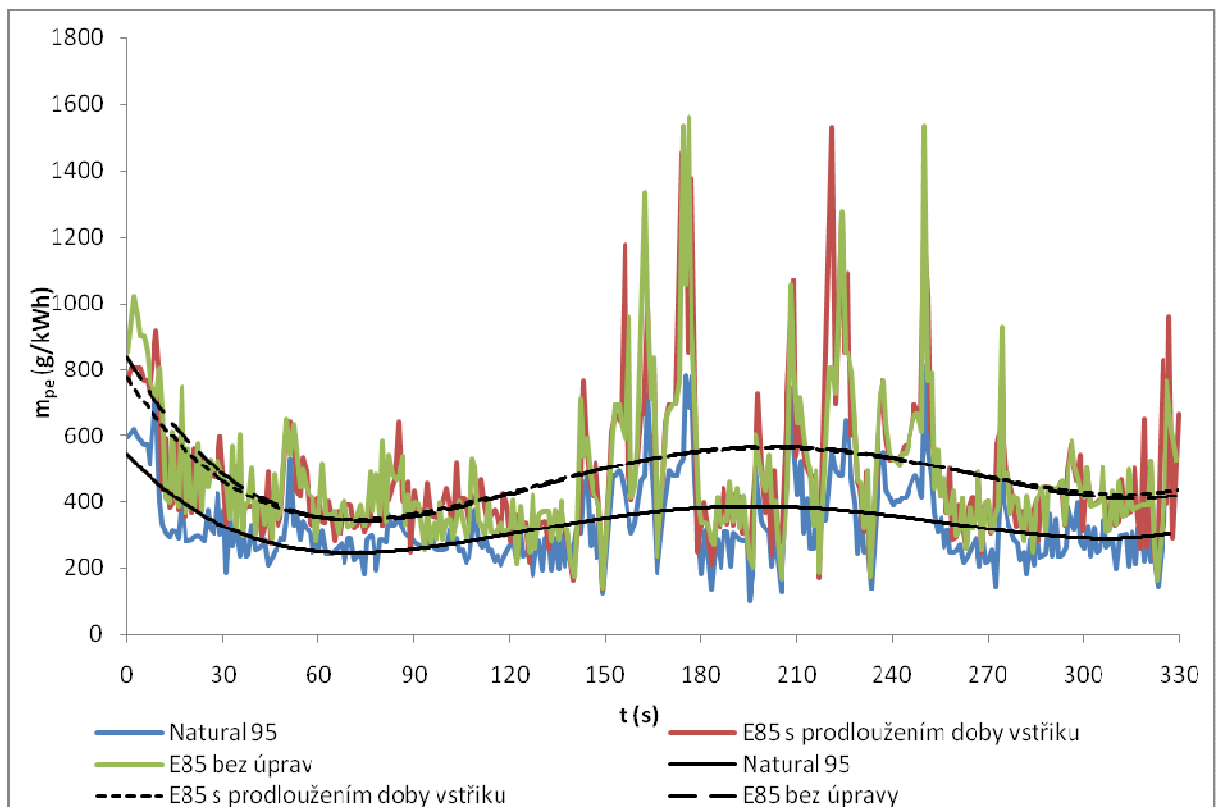


Obr. 43 Průběh součinitele přebytku vzduchu při zkušebním cyklu

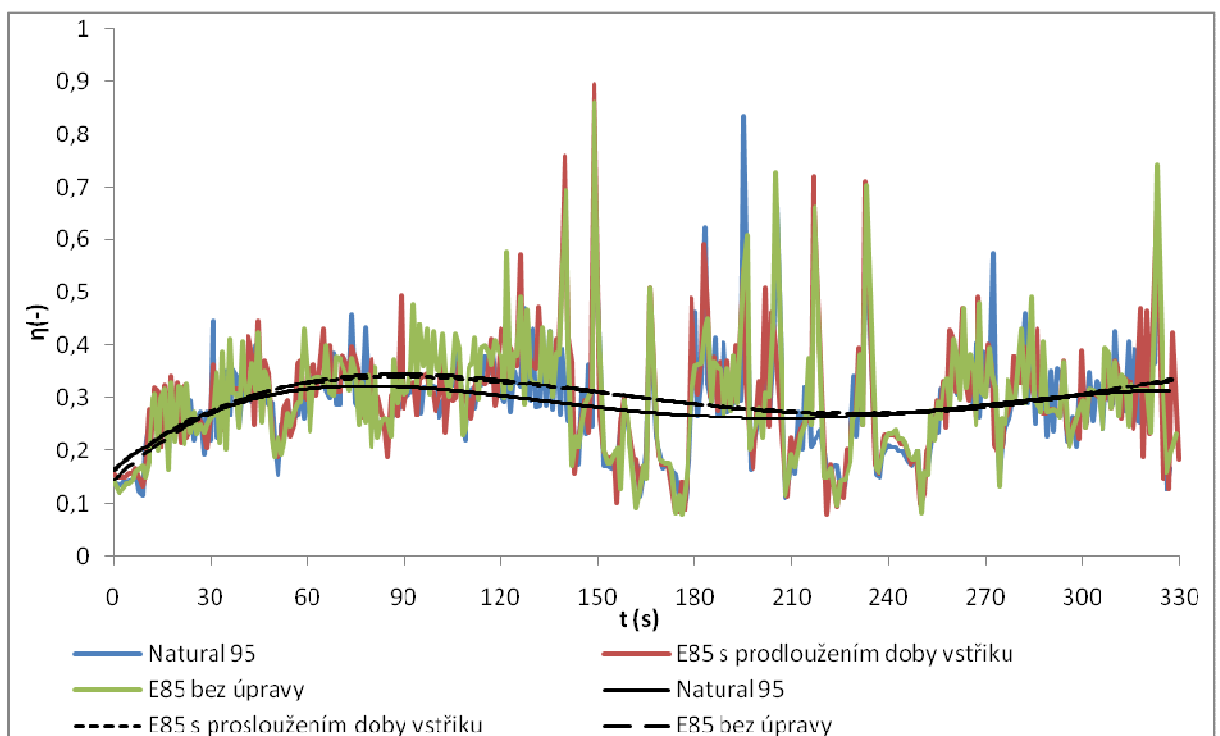
4.1.3. Vyhodnocení spotřeby paliva a účinnosti motoru

Na obrázku 44 je znázorněn průběh měrné spotřeby při zkušebním cyklu pro všechny tři varianty. Na první pohled je patrné, že měrná spotřeba je pro obě varianty, používající palivo E85, znatelně vyšší než u benzínu Natural 95. Oblasti s nejvyšší měrnou spotřebou se nacházejí v místech se spíše menším zatížením, kde je velmi proměnlivá poloha plynového pedálu, ale přitom výkon zůstává relativně nízký.

Průběh účinnosti motoru je znázorněn na obrázku 45. Na první pohled je zarážející, jakých hodnot místy dosahuje. To je způsobeno tím, že při rychlém uvolnění polohy plynového pedálu se okamžitě sníží doba vstřiku a tím i průtok paliva. Dynamometr ale stále odebírá energii jednu nebo dvě sekundy na úkor otáček. Dále můžeme vidět, že průběhy účinnosti jsou v tomto měřítku pro všechny varianty podobné. Na polynomické spojnici trendu ale můžeme vidět, že obě varianty používající palivo E85 (zvláště pak E85 bez úpravy), mají účinnost lepší, než varianta s benzínem Natural 95.



Obr. 44 Průběh měrné spotřeby při zkušebním cyklu



Obr. 45 Průběh účinnosti motoru při zkušebním cyklu

4.1.4. Souhrn výsledků měření pomocí zkušebního cyklu

Průměrné hodnoty koncentrací jednotlivých složek emisí a součinitele přebytku vzduchu pro zkušební cyklus jsou uvedeny v tabulce 12. Jak je patrné, výsledky obou variant s palivem E85 se od sebe velmi liší. Zatímco se u verze E85 bez úprav snížila koncentrace CO přibližně o 92%, u verze s prodloužením vstřiku se zvýšila téměř o 60%. Nejvýraznější je ale nejspíše změna koncentrace emisí NO_x, která se u varianty bez úprav zvýšila více než 15-krát.

Tab. 12 Průměrné hodnoty emisí a součinitele přebytku vzduchu pro zkušební cyklus

	CO		CO ₂		NO _x		HC		λ	
	průměrná koncentrace (%)	porovnání s N 95 (%)	průměrná koncentrace (%)	porovnání s N 95 (%)	průměrná koncentrace (ppm)	porovnání s N 95 (%)	průměrná koncentrace (ppm)	porovnání s N 95 (%)	průměrná hodnota (-)	porovnání s N 95 (%)
Natural 95	0,236	-	14,42	-	21,88	-	8,37	-	1,029	-
E85 s prodloužením vstřiku	0,375	+58,61	14,26	-1,1	31,55	+44,18	11,19	+33,75	1,032	+0,36
E85 bez úpravy	0,018	-92,04	14,23	-1,29	353,93	+1517,48	7,57	-9,49	1,051	+2,21

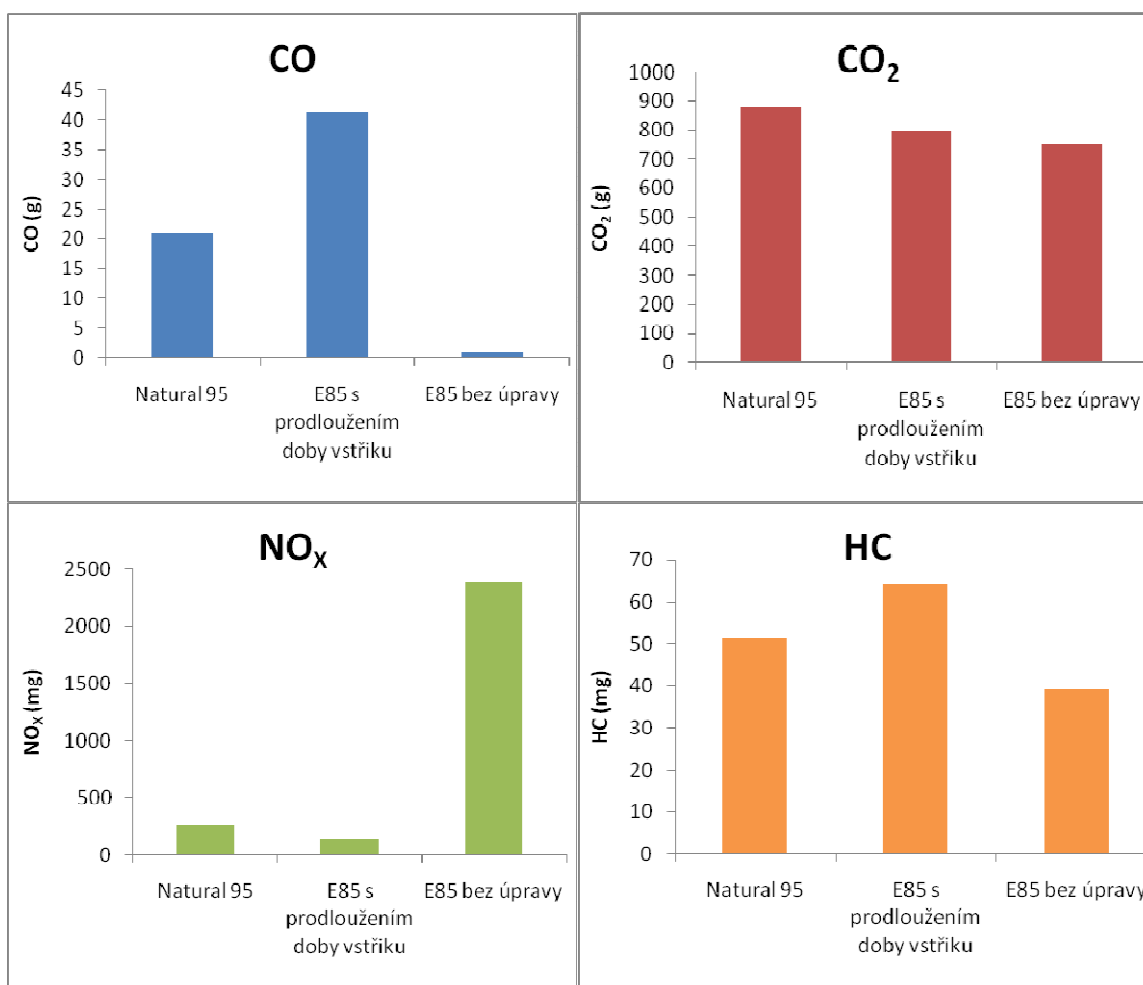
Dále je v tabulce 13 a na obrázku 46 uvedeno hmotnostní vyjádření vypuštěných emisí za cyklus. Jak je vidět hodnoty porovnání s benzínem se od předchozí tabulky liší. Je to způsobeno tím, že při různé koncentraci mohl být motor různě zatížen, což znamená, že mohl být různý okamžitý hmotnostní průtok směsi. E85 a benzín mají také rozdílný stechiometrický poměr. To znamená, že při stejné spotřebě paliva je rozdílný hmotnostní průtok válci. Hmotnostní průtok směsi byl vypočítán dle vztahu:

$$\dot{m} = \dot{m}_p * s_t * \lambda + \dot{m}_p \quad (20)$$

- \dot{m} – okamžitý hmotnostní průtok směsi (kg*s⁻¹)
- \dot{m}_p – okamžitý hmotnostní průtok paliva (kg*s⁻¹)
- s_t – stechiometrický poměr (kg vzduchu/kg paliva)
- λ – součinitel přebytku vzduchu

Tab. 13 Hmotnostní vyjádření vyprodukovaných emisí v průběhu cyklu

	CO		CO ₂		NO _x		HC	
	Celková produkce (g)	porovnání s N 95 (%)	Celková produkce (g)	porovnání s N 95 (%)	Celková produkce (mg)	porovnání s N 95 (%)	Celková produkce (mg)	porovnání s N 95 (%)
Natural 95	21,01	-	879,93	-	270,2	-	51,5	-
E85 s prodloužením vstříku 28%	41,33	+96,72	800,06	-9,08	144,6	-46,48	64,4	+25,05
E85 bez úpravy	0,98	-95,34	754,8	-14,22	2394,3	+786,12	39,3	-23,69



Obr. 46 Hmotnostní produkce emisí CO, CO₂, NO_x a HC během zkušebním cyklu

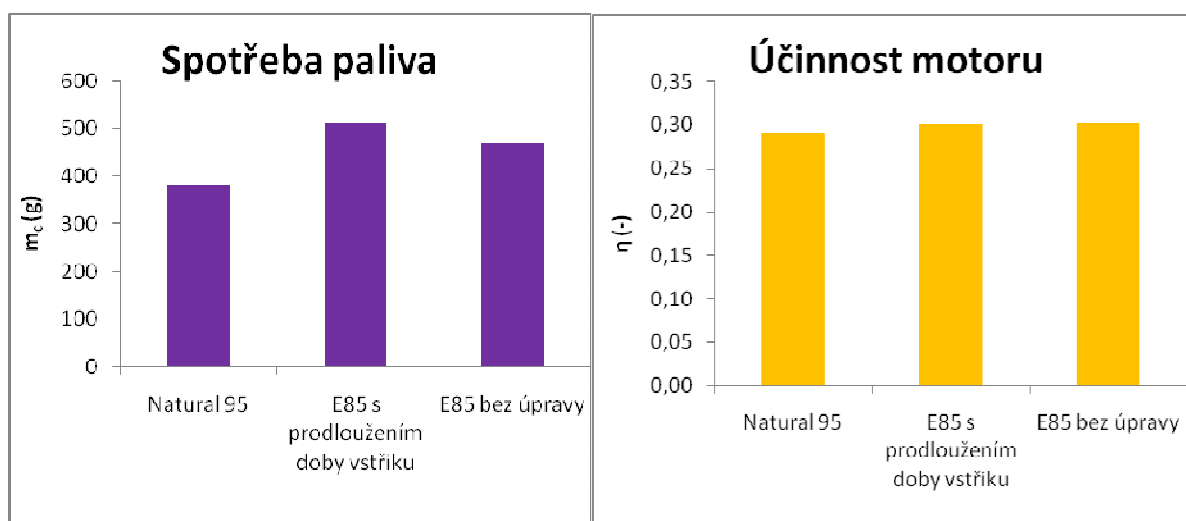
Pro porovnání spotřeby a účinnosti motoru je v tabulce 14 a 15 znázorněna celková spotřeba za cyklus a průměrná účinnost motoru. Grafické znázornění je na obrázku 47. Účinnost motoru byla vypočítána z měrné spotřeby jako poměr dodané energie v palivu a získané mechanické energie.

Tab. 14 Spotřeba za zkušební cyklus

	spotřeba					
	celková (g)	porovnání s N 95 (%)	hodinová (l/h)	porovnání s N 95 (%)	měrná (g/kWh)	porovnání s N 95 (%)
Natural 95	380,07	-	5,59	-	284,49	-
E85 s prodloužením vstřiku 28%	512,55	+ 34,86	7,31	+30,80	404,52	+42,19
E85 bez úpravy	469,20	+23,45	6,69	+19,74	402,12	+41,35

Tab. 15 Účinnost za zkušební cyklus

	účinnost	
	celková (-)	porovnání s N 95 (%)
Natural 95	0,292	-
E85 s prodloužením vstřiku 28%	0,302	+0,943
E85 bez úpravy	0,303	+1,123

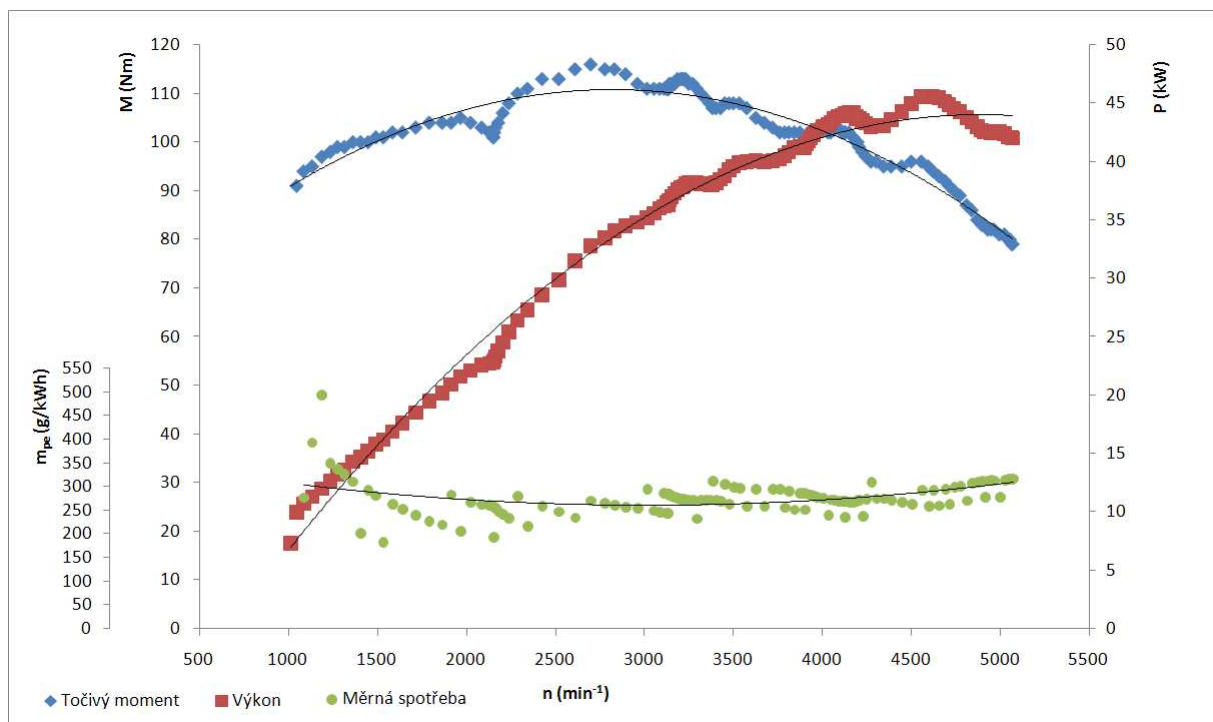


Obr. 47 Hmotnostní spotřeba paliva a účinnost motoru během zkušebního cyklu

4.2. Vyhodnocení vnějších otáčkových charakteristik

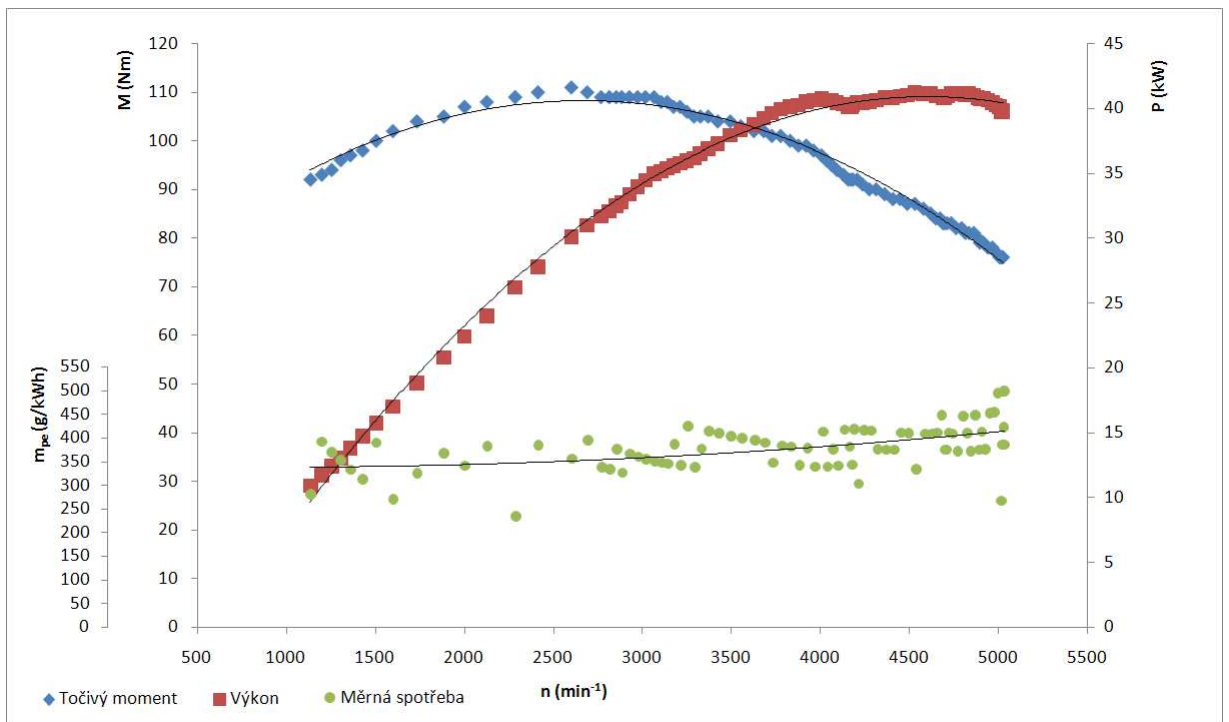
Vnější otáčková charakteristika zobrazuje průběh maximálního točivého momentu, výkonu a jemu odpovídající měrné spotřeby paliva na otáčkách. U benzínu Natural 95 jsme naměřili maximální točivý moment 116Nm při 2698 min^{-1} a maximální výkon 45,6kW při 4592 min^{-1} . Průběh vnější otáčkové charakteristiky můžeme vidět na obrázku 48.

Pro variantu E85 s prodloužením doby vstřiku byl v porovnání s benzínem naměřen nižší maximální točivý moment, jeho hodnota činí 111Nm při 2599 min^{-1} a nižší maximální výkon s hodnotou 41,2kW při 4530 min^{-1} . To může být vysvětleno nižší spodní výhřevností paliva E85. Z průběhu točivého momentu a výkonu, který je znázorněn na obrázku 49 vidíme, že oproti variantě s benzínem je hladký a bez kolísání. Dále je patrné, že měrná spotřeba paliva se u této varianty pohybuje ztelně výše, než u Naturalu 95.

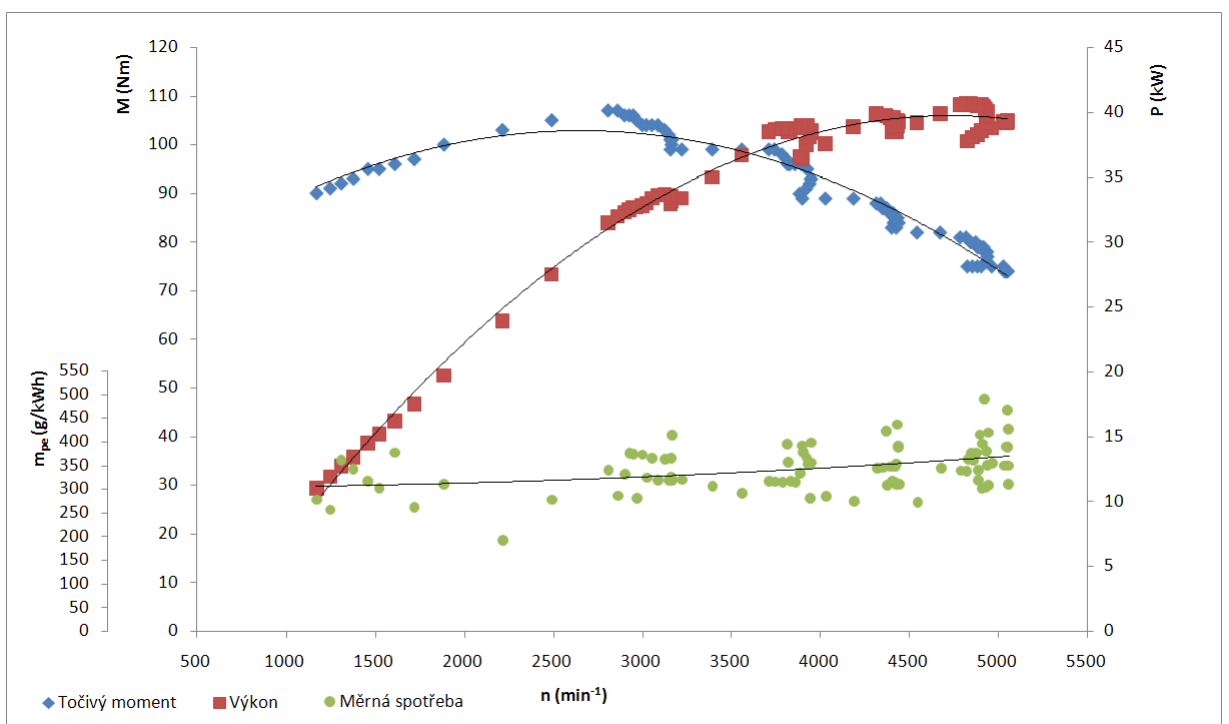


Obr. 48 Vnější otáčková charakteristika – Natural 95

Z obrázku 50, na kterém je znázorněna vnější otáčková charakteristika pro variantu E85 bez úpravy, je na první pohled patrné, že průběh točivého momentu je velmi nerovnoměrný a téměř skokově přechází při zatěžování mezi jednotlivými oblastmi. Tento jev může být způsoben neschopností neupraveného motoru se přizpůsobit palivu E85 (dostatečně prodloužit intervaly vstřiku), protože i po naměření dvou zkušebních cyklů a vnější otáčkové charakteristiky hlásila řídicí jednotka pomocí OBD diagnostiky chybovou zprávu, upozorňující na příliš chudou směs. Maximální točivý moment byl pro tuto variantu naměřen 107Nm při 2860 min^{-1} a maximální výkon 40,7kW při 4844 min^{-1} , což je způsobeno jednak nižší výhřevností jako u případu výše, jednak nižším množstvím vstřikovaného paliva.



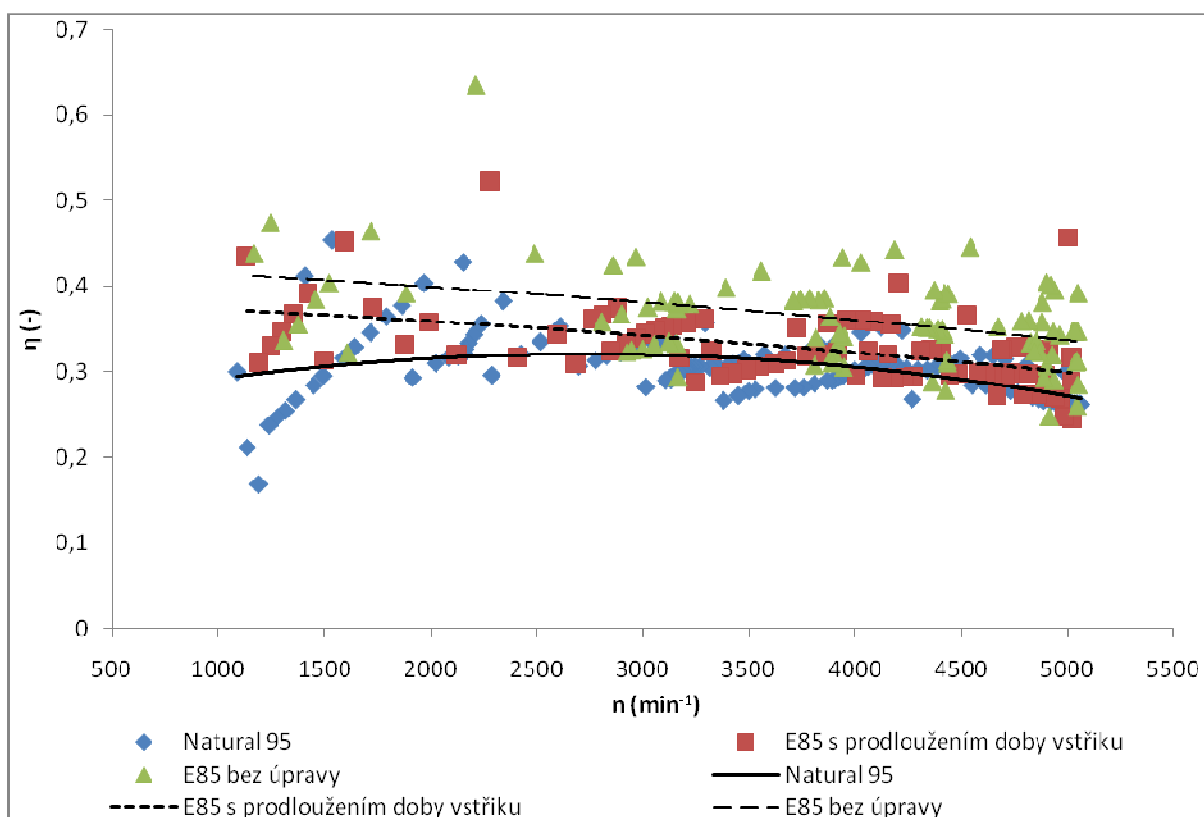
Obr. 49 Vnější otáčková charakteristika – E85 s prodloužením doby vstřiku



Obr. 50 Vnější otáčková charakteristika – E85 bez úprav

Účinnost motoru při maximálním zatížení, tedy při vnější otáčkové charakteristice, je znázorněna na obrázku 51. Z grafu je jasně vidět, že obě varianty, používající palivo E85 mají

vyšší účinnost. Zvláště pak varianta E85 bez úpravy, kde je na polynomické spojnici trendu vidět skutečně výrazný nárůst účinnosti motoru.



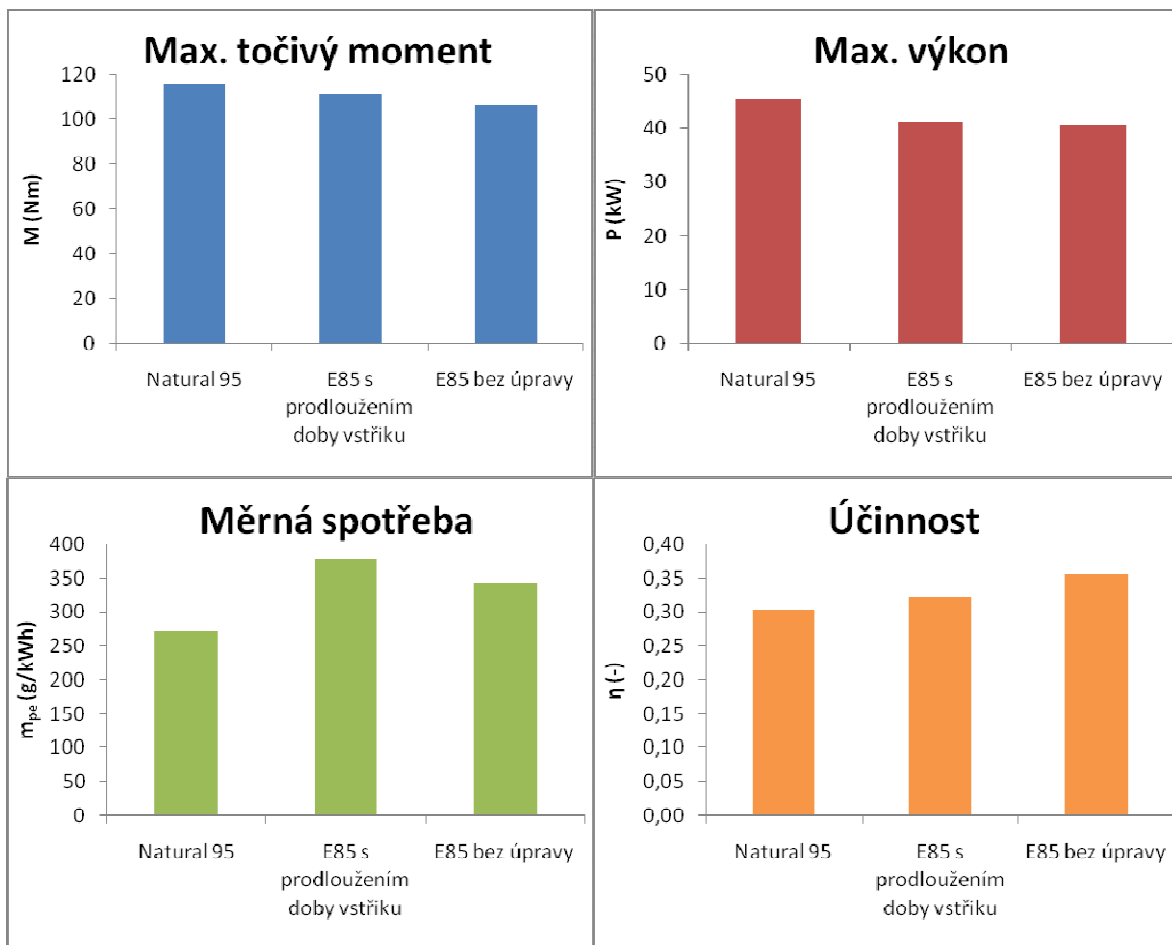
Obr. 51 Účinnost motoru, při vnější otáčkové charakteristice

4.2.1. Souhrn výsledků měření vnějších otáčkových charakteristik

Jak je patrné z výsledků, vliv na točivý moment a výkon má palivo E85 negativní. Výkonový rozdíl, mezi variantami s Naturem 95 a E85 bez úpravy, činí přibližně 10,7% (4,9kW), což není natolik výrazné. Maximální výkonové parametry, celková měrná spotřeba a účinnost motoru při vnější otáčkové charakteristice jsou uvedeny v tabulce 16.

Tab. 16 Maximální výkonové parametry, měrná spotřeba a účinnost motoru

	Točivý moment		Výkon		Měrná spotřeba		Účinnost motoru	
	(Nm)	porovnání s N 95 (%)	(kW)	porovnání s N 95 (%)	(g/kWh)	porovnání s N 95 (%)	(-)	porovnání s N 95 (%)
Natural 95	116	-	45,60	-	273,74	-	0,304	-
E85 s prodloužením vstříku	111	-4,315	41,2	-9,65	378,89	+35,78	0,322	+2,514
E85 bez úpravy	107	-7,76	40,7	-10,75	343,20	+23,19	0,356	+5,963



Obr. 52 Maximální výkonové parametry, měrná spotřeba paliva a účinnost motoru

Pokles točivého momentu a výkonu je pravděpodobně způsoben nižší výhřevností paliva E85 a u varianty E85 bez úpravy také nižším množstvím paliva. Dále z obrázku 53 vidíme nárůst měrné spotřeby, zvláště u varianty E85 s prodlouženou dobou vstříku, která je také spojena s nižší výhřevností. Nejzajímavější částí je ovšem účinnost motoru, která u varianty E85 bez úpravy vzroste oproti benzínové variantě téměř o 6%.

5. Doporučení a závěr

V současné době nejvíce roste produkce i použití bioethanolu I. generace (v Evropě až o 15%), což má svá omezení, protože tento bioethanol je vyráběn z potravinářských surovin a jejich pěstování zabírá zemědělskou půdu (v Evropě je vyhrazeno až 10%) a v neposlední řadě je jeho výroba finančně náročná. Evropská komise chce do roku 2020 zvýšit podíl bioethanolu v dopravě až na 10%. K tomu mohou dopomoci nové technologie na jeho výrobu. Pro evropské podmínky je nejzajímavější bioethanol II. generace, protože je zde dostatek lignocelulóзовých surovin pro jeho výrobu. Tato technologie je zatím stále ve stádiu výzkumu, zaměřujícího se především na zvýšení celkové efektivity a snížení nákladů jak na výrobu, tak i na suroviny. Další možností, jak podpořit zvýšení podílu bioethanolu v dopravě je nižší cena při možnosti odpočtu spotřební daně z podílu biosložky v palivu. Při uplatnění tohoto odpočtu je cena na jednotku energie paliva E85 ve srovnání s benzínem nižší i při uvažování ceny ropy 50 dolarů za barel. [3, 7, 25]

Jak je vidět z teoretické rešerše i z výsledků zkušebního cyklu, vliv na emise může mít palivo E85 velice rozličný. U varianty s E85 a prodlouženou dobou vstřiku vidíme, že emise CO vzrostou při zkušebním cyklu v hmotnostním vyjádření téměř o 100% a emise nespálených uhlovodíků o více než čtvrtinu. Díky tomu naopak klesnou emise NO_x, protože katalyzátor má v tomto pásmu vyšší účinnost na oxidy dusíku než u benzínu Natural 95. V tomto případě se tedy nepotvrdily předpoklady, vyplývající z teoretické rešerše. Příčina je s největší pravděpodobností příliš velké prodloužení doby vstřiku, které činí 28%. Pokud palivo E85 spalujeme bez úprav v motoru, který je určen pro spalování konvenčního benzínu, snížíme emise oxidu uhelnatého téměř na nulu (0,98g) a emise nespálených uhlovodíků téměř o čtvrtinu. V takovém případě ovšem rapidně vzrostou emise NO_x, hlavně díky špatné účinnosti třicestného katalyzátoru, způsobené nedostatkem CO a HC, a také díky vysokému přebytku kyslíku ve spalinách při vysokém zatížení, kde řídicí jednotka již nestíhá dodávat dostatečné množství paliva. Tato varianta tedy částečně potvrzuje naše předpoklady, vyplývající z teoretické rešerše. Otázkou také zůstává dlouhodobý vliv provozu takového motoru na palivo E85 bez úprav, protože po skončení měření pomocí zkušebního cyklu i vnější otáčkové charakteristiky hlásila řídicí jednotka pomocí OBD diagnostiky chybovou zprávu, upozorňující na příliš chudou směs. To znamená, že se motor nedokáže bez úpravy

dodávaného množství paliva E85 plně přizpůsobit, protože lambda regulace nemá v tomto případě možnost dostatečně zvýšit množství dodávaného paliva.

Za zkušební cyklus, trvající 330 s se zvýšila celková (hmotnostní) spotřeba paliva pro variantu E85 s prodloužením doby vstříku o více než třetinu a přibližně o čtvrtinu pro variantu bez úpravy. Toto zvýšení spotřeby odpovídá předpokladům a je vysvětleno nižší výhřevností bioethanolu. Pro reálný provoz má větší vypovídající hodnotu vyjádření spotřeby v l/h, která se díky rozdílu v hustotě zvýší přibližně o 30% pro variantu s prodloužením doby vstříku a přibližně o 20% pro variantu bez úpravy. Měrná spotřeba při zkušebním cyklu se pro palivo E85 zvýšila více než spotřeba absolutní. Pro obě varianty s palivem E85 se zvýšila více než o 40%, což je způsobeno tím, že při zkušebním cyklu dosahují obě varianty s E85 nižšího točivého momentu a tím i nižšího výkonu než s použitím benzínu (obrázek 37). Pro vnější otáčkovou charakteristiku, kde motor pracuje pouze v režimu maximálního zatížení, postačí k vyjádření pouze měrná spotřeba paliva (tabulka 16). Ta se zvýší poněkud méně než při zkušebním cyklu, což je dáno skutečností, že motor zde pracuje po celou dobu při vyšší účinnosti.

Jednoznačně pozitivní vliv má palivo E85 na účinnost spalování, která se při maximálním zatížení u varianty E85 bez úpravy zvýšila téměř o 6% na přibližně 36% oproti Naturalu 95, ovšem za cenu chudé směsi a z toho vyplývajících důsledků. U varianty E85 s prodlouženou dobou vstříku se účinnost v průběhu vnější otáčkové charakteristiky zvýšila přibližně o 2,5% na 32%. Z toho můžeme předpokládat, že pro optimální množství paliva se bude účinnost pohybovat mezi těmito hodnotami. Účinnost se zvýší i v reálném provozu, samozřejmě ne tolik jako při vnější otáčkové charakteristice, protože se motor pohybuje v různých režimech. Z měření pomocí zkušebního cyklu vyplývá, že se účinnost v provozu zvýší přibližně o 1,1% pro variantu bez úpravy a o 1% pro variantu s prodlouženou dobou vstříku.

Jak je vidět z vnějších otáčkových charakteristik, točivý moment i výkon motoru se pod vlivem paliva E85 snižuje. Tento pokles točivého momentu můžeme pozorovat také při zkušebním cyklu (obrázek 37). To je dáno nižší hodnotou výhřevnosti bioethanolu. Pokles maximálního točivého momentu činí pro variantu E85 bez úpravy přibližně 8%, pro variantu s prodloužením doby vstříku přibližně 4%. Při pohledu na průběh vnějších otáčkových charakteristik vidíme pro variantu E85 bez úprav značně nerovnoměrný průběh točivého momentu i výkonu, což souvisí s již výše zmíněnou neschopností řídicí jednotky plně se

přizpůsobit palivu E85. Naopak při pohledu na průběh charakteristiky pro variantu s prodloužením doby vstřiku vidíme, že je hladší a rovnoměrnější než pro Natural 95.

Pro optimální výsledky v produkci škodlivých emisí i spotřebě paliva bych především doporučil další výzkum v oblasti optimálního množství vstřikovaného paliva, tzn. optimální prodloužení doby vstřiku oproti benzínové verzi. Takové množství paliva by se mělo vyznačovat tím, že se při jeho spálení ve válci vyprodukuje dostatek oxidu uhelnatého, aby byla zachována dobrá účinnost třicestného katalyzátoru z pohledu oxidů dusíku. Což znamená, že směs nesmí být příliš chudá. Směs ale nesmí být příliš bohatá nebo se emise CO v porovnání s benzínem zvýší a vytratí se jedna z hlavních výhod tohoto paliva. Také by měla být zachována další přednost paliva E85, kterou je lepší účinnost spalování než u Naturalu 95. Jak je patrné z výsledků, nejlepší účinnosti se ale dosahuje spíše při spalování chudší směsi. Je tedy jasné, že mezi těmito požadavky je nutno najít kompromis.

Jako další opatření, přispívající ke snižování emisí NO_x při zachování chudé směsi a tím i nízkých emisí CO, HC a dobré účinnosti, by mohl být například sběrný katalyzátor NO_x. Tento sběrný katalyzátor se používá spolu s předsazeným třicestným katalyzátorem u motorů s přímým vstřikováním paliva, kde motor pracuje s vrstvenou směsí ($\lambda > 1$). V takovém režimu nemá klasický třicestný katalyzátor dostatečnou účinnost pro redukci oxidů dusíku. Sběrný katalyzátor pracuje při $\lambda = 1$ jako hlavní třicestný katalyzátor a při $\lambda > 1$ ukládá NO_x pomocí oxidů baria ve formě bariumnitrátů. Vzhledem k omezené kapacitě tohoto katalyzátoru je nutné jej každých 30 – 60 sekund regenerovat, což se provádí pomocí reakce s oxidem uhelnatým, který se získá krátkým provozem s bohatou směsí po dobu 1 – 2 s. Další možností jak snížit množství vypouštěného NO_x je pak vnější recirkulace spalin. Ta se používá ke snížení maximální teploty hoření, protože spaliny, které mají velmi malý podíl kyslíku, se prakticky neúčastní oxidační reakce ve válci a pouze přejímají teplo, vzniklé hořením. Při vnější recirkulaci se spaliny přepouští z výfuku do sání přes EGR ventil (Exhaust Gas Recirculation), který může být ovládán různými způsoby (elektronicky, pod tlakem v sání) V závislosti na recirkulujícím množství můžeme snížit emise NO_x o 50 – 60% a do 10 – 15% recirkulace nemusíme počítat se zvýšením spotřeby paliva. [1]

Seznam použité literatury

- [1] Hromádko J. a kol.: Spalovací motory, Nakladatelství Grada, Praha, 2011, ISBN 978-80-247-3475-0
- [2] Hromádko J. a kol.: Hodnocení životního cyklu fosilních paliv a bioetanolu. Listy cukrovarnické a řepařské, 2009, roč. 125, č. 11, s. 320-323, ISSN 1210-3306
- [3] Hromádko J. a kol.: Ekonomická analýza využití bioetanolu v zážehových motorech. Listy cukrovarnické a řepařské, 2009, roč. 125, č. 3, s. 101-103, ISSN 1210-3306
- [4] BEST Bioethanol for sustainable transport: EU indicate climate savings with biofuels. [online]. [cit. - 2012-10-27], Dostupné z:
<http://www.best-europe.org/Pages/ContentPage.aspx?id=562>
- [5] Mužíková Z., Pospíšil M., Šebor G.: Využití bioetanolu jako pohonné hmoty ve formě paliva E85. Chemické listy, 2010, roč. 104, č. 7, s. 678-683, ISSN 1213-7103
- [6] Hromádko J. a kol.: Využití bioetanolu jako paliva ve spalovacích motorech. Chemické listy, 2011, roč. 105, č. 2, s. 122-128, ISSN 1213-7103
- [7] Šebor G., Pospíšil M., Žákovec J.: Technickoekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě, výzkumná zpráva vypracovaná pro Ministerstvo dopravy ČR, VŠCHT Praha, červen 2006. [online]. [cit. - 2012-11-09], Dostupné z:
http://www.mdcr.cz/cs/Strategie/Zivotni_prostredi/
- [8] Mužíková Z. a kol.: Fyzikálně-chemické vlastnosti butanol-benzínových směsí. Konference APROCHEM 2009, Odpadové fórum 2009. 2009. s. 1434-1440. ISBN 978-80-02-02111-7
- [9] da Silva R. a kol.: Effect of additives on the antiknock properties and Reid vapor pressure of gasoline. Fuel, 2005, roč. 80, č. 7-8, s. 951-959, ISSN 0016-2361
- [10] Pumphrey J.A., Brand J.I., Scheller W.A.: Vapour pressure measurements and predictions for alcohol-gasoline blends. Fuel, 2000, roč. 79, č. 11, s. 1405-1411, ISSN 0016-2361
- [11] Sánchez O. J., Cardona C. A.: Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. Bioresource Technology, 2008, roč. 99, č. 11, s. 5270-5295, ISSN 0960-8524
- [12] Liu R., Shena F.: Impacts of main factors on bioethanol fermentation from stalk juice of sweet sorghum by immobilized *Saccharomyces cerevisiae* (CICC 1308). Bioresource Technology, roč. 99, č. 4, 2008, s.847-854, ISSN 0960-8524

- [13] Hromádka J. a kol.: Výroba bioetanolu. Listy cukrovarnické a řepařské, 2010, roč. 126, č. 7-8, s. 267-270, ISSN 1210-3306
- [14] Wendhausen R. a kol.: Continuous fermentation of sugar cane syrup using immobilized yeast cells. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2001, roč. 91, č. 1, s. 48-52, ISSN 1389-1723
- [15] Varga E. a kol.: Pretreatment of corn stover using wet oxidation to enhance enzymatic digestibility. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2003, roč. 104, č. 1, s. 37-50, ISSN 1559-029
- [16] Gnansounou E.: Production and use of lignocellulosic bioethanol in Europe: Current situation and perspectives. Bioresource Technology, 2010, roč. 101, č. 13, s. 4842-4850, ISSN 0960-8524
- [17] Goh C.S., Lee K.T.: A visionary and conceptual macroalgae-based third-generation bioethanol (TGB) biorefinery in Sabah, Malaysia as an underlay for renewable and sustainable development. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, roč. 14, č. 2, s. 842-848, ISSN 1364-0321
- [18] Butler R.A.: High oil prices fuel bioenergy push. Mongabay.com, 2006, [online]. [cit. - 2012-11-23], Dostupné z: <http://news.mongabay.com/2006/0509-biofuels.html>
- [19] Seambiotic: Microalgae Cultivation. 2008, [online]. [cit. - 2012-11-23], Dostupné z: <http://www.seambiotic.com/research/microalgae-speices/>
- [20] Algenol biofuels: About Algenol. 2011, [online]. [cit. - 2012-11-23], Dostupné z: <http://www.algenolbiofuels.com/>
- [21] Ueno Y., Kurano N., Miyachi S.: Ethanol production by dark fermentation in the marine green alga, Chlorococcum littorale. Journal of Fermentation and Bioengineering, 1998, roč. 86, č. 1, s. 38-43, ISSN 0922-338X
- [22] International Energy Agency: Energy balances of OECD countries. Maulde et Renou, 2009, ISBN 978-92-64-06120-0
- [23] International Energy Agency: Medium-Term Oil Market Report 2009. 2009, [online], [cit. - 2012-11-25], Dostupné z: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/mtomr2009-1.pdf>
- [24] Graham L.A., Belisle S.L., Baas C.L.: Emissions from light duty gasoline vehicles operating on low blend ethanol gasoline and E85. Atmospheric Environment, 2008, roč. 42, č. 19, s. 4498-4516, ISSN 1352-2310
- [25] Beran O.: V tomto roce se na Zemi vyrobí už přes 88 miliard litrů bioetanolu. Biom.cz, 2011, ISSN 1801-2655, [online], [cit. - 2012-12-02]. Dostupné z:

<http://biom.cz/cz-kapalna-biopaliva/odborne-clanky/v-tomto-roce-se-na-zemi-vyrobi-uz-pres-88-miliard-litru-bioethanolu>

- [26] Ministerstvo průmyslu a obchodu: Kapalná biopaliva za rok 2011. 2012, [online], [cit. - 2012-12-02], Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument102478.html>
- [27] Laurin J.: Motory na paliva s kvasným lihem. XXXVII. International conference of Czech and Slovak Universities' Departments and Institutions. Dealing with the Research of Combustion Engines. Česká zemědělská univerzita Praha, 2006. ISBN 80-213-1510-5.
- [28] Laurin J.: Kvasný líh v motorových palivech v České republice. 7 th International Symposium MOTOR FUELS 06, Slovenská spoločnosť priemyselnej chemie, pobočka SLOVNAFT Bratislava, Vysoké Tatry, 2006, s. 464-476. ISBN 80-968011-3-9.
- [29] Zezulka L.: Saab 9-5 2.3t BioPower: zelená míle. Auto.cz, 2006, [online], [cit. - 2013-02-05], Dostupné z: <http://www.auto.cz/saab-9-5-2-3t-biopower-zelena-mile-13887>
- [30] Láník O.: Saab 9-5 2.3t BioPower - Alkoholový dýchánek. Auto.cz, 2007, [online], [cit. - 2013-02-05], Dostupné z: <http://www.auto.cz/saab-9-5-2-3t-biopower-1610>
- [31] Biofuels Platform: Use of biofuels in Switzerland. [online], [cit. - 2013-02-05], Dostupné z: <http://www.biofuels-platform.ch/en/infos/ch-use.php>
- [32] de Melo T.C.C. a kol.: Hydrous ethanol-gasoline blends - Combustion and emission investigations on a Flex-Fuel engine. Fuel, 2012, roč. 97, č. 7, s. 796-804, ISSN 0016-2361
- [33] Kamimura A., Sauer I.L.: The effect of flex fuel vehicles in the Brazilian light road transportation. Energy Policy, 2008, roč. 36, č. 2, s. 1574-1576, ISSN 0301-4215
- [34] Adamcová P.:Oxid uhelnatý zabíjí. BOZPinfo.cz, 2010, [online], [cit. - 2013-02-06], Dostupné z :
http://www.bozpinfo.cz/win/knihovna-bozp/citarna/clanky/ochrana_zdravi/co100209.html
- [35] Miler P., Kraft W.: EU přehodnotí své záměry ve snižování emisí CO2 u aut. Autoforum.cz, 2012, [online], [cit. - 2013-02-06], Dostupné z:
<http://www.autoforum.cz/zivot-ridice/eu-prehodnoti-sve-zamery-ve-snizovani-emisi-co2-u-aut/>
- [36] Grahama L.A., Belislea S.L., Riegerb P.: Nitrous oxide emissions from light duty vehicles. Atmospheric Environment, 2009, roč. 43, č. 12, s. 2031-2044, ISSN 1352-2310

- [37] Šrám, R., Ústav experimentální medicíny AVČR. Presentace na jednání v rámci Plánu pro ozdravení Ostravy, MŽP ČR, 11. března 2010
- [38] Batterman S.A. a kol.: Non-methane hydrocarbon emissions from vehicle fuel caps. Atmospheric Environment. 2005, roč. 39, č.10, s. 1855-1867, ISSN 1352-2310
- [39] Thorž F.: Emise, jejich měření a principy konstrukce systémů pro jejich snižování. Bakalářská práce, VUT v Brně - Fakulta strojního inženýrství, Brno, 2011, 46 s., [online], [cit. - 2013-02-16], Dostupné z:
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38838
- [40] Pexa M.: Produkce emisních složek výfukových plynů. ČZU v Praze - Technická fakulta, [online], [cit. - 2013-02-16], Dostupné z:
<http://tf.czu.cz/~PEXA/Budejovice/Prednasky/P-Emise.pdf>
- [41] Papoušek M., Štěrba P.: Diagnostika spalovacích motorů. Computer Press, Brno, 2007, ISBN 978-80-251-1697-5
- [42] TOP Instruments, s. r. o.: Měření CO₂. [online], [cit. - 2013-02-16], Dostupné z:
<http://www.topinstruments.cz/mereni-co2.html>
- [43] FLSmith: Ultraviolet Light - UV/NDUV. [online], [cit. - 2013-02-16], Dostupné z:
<http://www.flsmidth.com/en-us/Gas+Analysis+Technology/Products/Measuring+Principles/Ultraviolet+Light+-+UV+og+NDUV>
- [44] Vaculíková E.: Sledování emisí v pražské spalovně odpadů. Automa. 2008, roč. 14, č. 11, s. 24-26, ISSN 1210-9592
- [45] Smilek L.: Zvýšení výkonových parametrů motoru AR67203. Diplomová práce, VUT v Brně - Fakulta strojního inženýrství, Brno, 2012, 106 s., [online], [cit. - 2013-02-16], Dostupné z:
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=55266
- [46] Vojtíšek-Lom M., Mazač M.: „Ordinary“ gasoline car operated on E-85 fuel as a measure for lower exhaust emissions. XLII. International Scientific Conference KOKA 2011, Žilina, 2011, [online], [cit. - 2013-02-16], Dostupné z:
http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2011/2011_05_04.pdf
- [47] Čupera J., Polcar A.: Výkonové parametry zážehového motoru při spalování paliva E85. Listy cukrovarnické a řepařské, 2011, roč. 127, č. 11, s. 357-360, ISSN 1210-3306

- [48] Winthera M., Møllera F., Jensenb T.C.: Emission consequences of introducing bio ethanol as a fuel for gasoline cars. Atmospheric Environment, 2012, roč. 55, č. 1, s. 144-153, ISSN 1352-2310
- [49] VOJTÍŠEK, M.: VMK CO_x - příručka uživatele. Praha, VMK s. r.o, 2009
- [50] Ross-Tech, LLC: VCDS. [online], [cit. - 2013-02-26], Dostupné z: <http://www.ross-tech.com/vag-com/index.html>
- [51] Ross-Tech, LLC: VCDS User's manual. 2012, [online], [cit. - 2013-02-26], Dostupné z: <http://www.ross-tech.net/VCDS/download/manual/VCDS-11-11-manual.pdf>
- [52] Kotek M.: Návrh metody provozního měření emisí motorových vozidel. Disertační práce, ČZU v Praze - Technická fakulta, Praha, 2012, 123 s.

Seznam obrázků

Obr. 1 Úspora CO ₂ při použití bioethanolu z různých plodin [4]	3
Obr. 2 Vliv koncentrace ethanolu v benzínu na Reidův tlak par [10]	5
Obr. 3 Blokové schéma výroby bioethanolu ze surovin, obsahující jednoduché cukry a ze surovin, obsahující škrob [6].....	9
Obr. 4 Blokové schéma výroby bioethanolu II. generace z lignocelulózové biomasy [6]	11
Obr. 5 Blokové schéma výroby bioethanolu III. generace z mořských řas [17]	12
Obr. 6 Celosvětová produkce bioethanolu na výrobu biopaliv v milionech litrů [25]	13
Obr. 7 Scénáře budoucího využití bioethanolu v Dánsku [48].....	13
Obr. 8 Saab 9-5 2.3t BioPower [30]	16
Obr. 9 Srovnání součinitele přebytku vzduchu pro provoz na Natural 95 a E85 [46].....	17
Obr. 10 Funkční a palivový systém automobilu Volvo C30 FlexiFuel – 4 válcový motor o objemu 1.8l s max. výkonem 92kW [31].....	17
Obr. 11 Schematické uspořádání motoru pro FFV – 1– zachycovač palivových par, 2 – ventil zachycovače palivových par, 3 – snímač tlaku, 4 – vstřikovače, 5 - zapalovací cívka, 6 – snímač polohy vačkového hřídele, 7 – pedál akcelerace, 8 škrticí klapka, 9 – ventil recirkulace výfuk. plynů, 10 – snímač klepání, 11 – snímač teploty, 12 – lambda sonda, 13 – snímač otáček, 14 – palivová nádrž s čerpadlem, 15 – řídicí jednotka motoru, 16 – nádrž na benzin, 17, 18, 19 – benzinový palivový systém pro spouštění motoru [28]	18
Obr. 12 FFV systém automobilu Renault Mégane E85.....	19
Obr. 13 Složení výfukových plynů zážehového motoru [1].....	20
Obr. 14 Produkce emisí zážehového motoru v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu λ [1].....	23
Obr. 15 Schéma metody NDIR – 1– zdroj infračerveného záření, 2 – reflektor, 3 – filt výběru pracovní vlnové délky, 4 – rotační clona, 5 – měřící kyveta, 6 – referenční kyveta, 7 – detektor [41]	24
Obr. 16 Závislost absorpčního koeficientu na vlnové délce pro vybrané plyny [42].....	24
Obr. 17 Schéma metody NDUV [40]	25
Obr. 18 Schéma měřícího zařízení, pracujícího na principu chemické luminiscence [40]	25
Obr. 19 Schéma zařízení, pracujícího na principu změny vodivosti vodíkového plamene [40] ..	26
Obr. 20 Schéma zařízení, využívající princip změny magnetického pole [40]	27

Obr. 21 Vliv koncentrace neodvodněného ethanolu v benzínu na množství vypouštěného CO, CO ₂ , NOX a celkových uhlovodíků [32]	28
Obr. 22 Vliv koncentrace neodvodněného ethanolu v benzínu na množství nespáleného ethanolu a aldehydů [32].....	29
Obr. 23 Porovnání emisí výfukových plynů u modelů značky Chrysler při provozu na benzín a E85 [24].....	30
Obr. 24 Porovnání emisí CO ₂ pro Natural 95 E85 v reálném provozu [46]	31
Obr. 25 Porovnání emisí CO pro Natural 95 E85 v reálném provozu [46]	31
Obr. 26 Obr. 25 Porovnání emisí NOX pro Natural 95 E85 v reálném provozu [46].....	32
Obr. 27 Schéma tepelné bilance spalovacího motoru [1]	33
Obr. 28 Příklad teoretického (vlevo) a indikátorového p-V diagramu [1]	35
Obr. 29 Závislost měrné spotřeby a účinnosti motoru na podílu ethanolu v palivu. [32]	37
Obr. 30 Hodinová spotřeba a účinnost motoru pro Natural 95 a E85. [47].....	38
Obr. 31 Srovnání délky vstřiku pro E85 a Natural 95 [46].....	38
Obr. 32 Brzdové stanoviště katedry vozidel a pozemní dopravy	40
Obr. 33 Schéma vířivého dynamometru – 1 – výkyvně uložené těleso, 2 – budící vinutí, 3 – ozubený pólový kotouč, 4 – chladicí komory [1]	41
Obr. 34 Emisní analyzátor VMK [52]	43
Obr. 35 Diagnostický systém VAG-COM [51]	44
Obr. 36 Závislost polohy plynového pedálu v čase pro použitý cyklus	46
Obr. 37 Průběhy točivého momentu při zkušebním cyklu	48
Obr. 38 Průběhy otáček motoru při zkušebním cyklu	49
Obr. 39 Průběh koncentrace emisí CO při zkušebním cyklu.....	50
Obr. 40 Průběh koncentrace emisí CO ₂ při zkušebním cyklu.....	50
Obr. 41 Průběh koncentrace emisí NOX při zkušebním cyklu.....	51
Obr. 42 Průběh koncentrace emisí HC při zkušebním cyklu.....	52
Obr. 43 Průběh součinitele přebytku vzduchu při zkušebním cyklu	53
Obr. 44 Průběh měrné spotřeby při zkušebním cyklu	54
Obr. 45 Průběh účinnosti motoru při zkušebním cyklu	54
Obr. 46 Hmotnostní produkce emisí CO, CO ₂ , NOX a HC během zkušebním cyklu.....	56
Obr. 47 Hmotnostní spotřeba paliva a účinnost motoru během zkušebního cyklu	57
Obr. 48 Vnější otáčková charakteristika – Natural 95.....	58
Obr. 49 Vnější otáčková charakteristika – E85 s prodloužením doby vstřiku	59
Obr. 50 Vnější otáčková charakteristika – E85 bez úprav.....	59

Obr. 51 Účinnost motoru, při vnější otáčkové charakteristice	60
Obr. 52 Maximální výkonové parametry, měrná spotřeba paliva a účinnost motoru	61

Seznam tabulek

Tab. 1 Závislost na ropě a podíl dopravy na spotřebě ropy ve vybraných evropských zemích v roce 2007 [22]	2
Tab. 2 Porovnání základních vlastností bioethanolu a benzínu [6, 7, 8]	6
Tab. 3 Požadavky na kvalitu ethanolu, přimíchávaného do benzínu, uvedené v ČSN EN 65 6511 [7]	6
Tab. 4 Vybrané jakostní ukazatele ethanolového paliva E85 [5, 7]	7
Tab. 5 Výroba bioethanolu v EU [25]	14
Tab. 6 Podíl bioethanolu na trhu ve vybraných evropských zemích [16]	15
Tab. 7 Domácí produkce, dovoz, vývoz, změna zásob a hrubá spotřeba bioethanolu (pro pohon motorů) v ČR v roce 2011 po měsících v tunách [26]	15
Tab. 8 Parametry dynamometru [52]	41
Tab. 9 Parametry tenzometru [52]	41
Tab. 10 Parametry testovaného motoru [52]	42
Tab. 11 Parametry emisního analyzátoru VMK [49]	43
Tab. 12 Průměrné hodnoty emisí a součinitele přebytku vzduchu pro zkušební cyklus	55
Tab. 13 Hmotnostní vyjádření vyprodukovaných emisí v průběhu cyklu	56
Tab. 14 Spotřeba za zkušební cyklus	57
Tab. 15 Účinnost za zkušební cyklus	57
Tab. 16 Maximální výkonové parametry, měrná spotřeba a účinnost motoru	60