

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

Analýza vlivu biopaliva na emise spalovacího motoru

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Autor práce: Jan Květ

PRAHA 2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra jakosti a spol. strojů

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Květ Jan

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Analýza vlivu biopaliva na emise spalovacího motoru

Anglický název

Analysis of biofuel influence on the internal-combustion engine emissions

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zpracovat literární rešerši předpisů a vyhlášek, které upravují použití biopaliva ve spalovacích motorech a kontrolu emisí. Na základě tohoto rozboru potom popsat způsoby měření emisí a zhodnotit vliv vybraného biopaliva na emise spalovacího motoru.

Metodika

První část bakalářské práce bude řešena literárním rozбором vyhledaných předpisů a vyhlášek popisujících použití biopaliva ve spalovacích motorech a hodnocení emisí. Na základě tohoto rozboru bude porovnán a zhodnocen vliv biopaliva a ropného paliva na emise vybraného spalovacího motoru.

Osnova práce

- Úvod
- Předpisy a vyhlášky
- Metody a možnosti měření emisí
- Zhodnocení vlivu biopaliva
- Závěr

Rozsah textové části

30-40

Klíčová slova

biopaliva, emise, spalovací motor

Doporučené zdroje informací

Bauer, F., Sedlák, P., Šmerda, T. (2006). Traktory. Praha: Profi Press, 2006. 192 p. ISBN 80-86726-15-0.

Holas, J. (1996). Současný stav výroby a užití bionafty v České republice. In Sborník z 13. vyhodnocovacího semináře "Systém výroby řepky". 1996, s. 162-168.

Vančurová, P. (2008). Podmínky konkurenceschopnosti výroby bionafty v České republice (doktorská disertační práce). Praha: ČZU v Praze, 2008.

ČSN 65 6507: Biopalivo pro vznětové motory - methylestery řepkového oleje - technické požadavky. ČSNI, v aktuálním znění.

ČSN EN 590: Motorová paliva - motorové nafty - technické požadavky a metody zkoušení. ČSNI, v aktuálním znění.

Periodika a firemní literatura

Vedoucí práce

Pexa Martin, Ing., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2010

Termín odevzdání

duben 2012

prof. Ing. Josef Pošta, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 10.2.2011

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Pexy, Ph.D. a v seznamu literatury jsem uvedl všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne 7. 4. 2012

.....
Jan Květ

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. za jeho čas, připomínky a cenné rady při zpracovávání této bakalářské práce.

Abstrakt: Tato bakalářská práce zhodnocuje vliv současně používaných biopaliv na emise vznětových motorů. První část práce popisuje legislativu v oblasti emisí motorových vozidel a v oblasti používání biopaliv. V druhé části se pojednává o složkách výfukových plynů spalovacích motorů a o metodách jejich měření. Třetí a zároveň stěžejní část obsahuje porovnání škodlivých emisí vznikajících při spalování bioethanolu, rostlinných olejů a bionafty s emisemi motorové nafty. Zde jsou zahrnuty také informace o úspoře skleníkových plynů, údaje o dominantních vlastnostech biopaliv a komplikace vyskytující se u motorů provozovaných na biogenní kapalná paliva.

Klíčová slova: biopaliva, emise, spalovací motor

Analysis of biofuel influence on the internal-combustion engine emissions

Summary: This bachelor thesis evaluate the influence of contemporary used biofuels on the compression ignition engine emissions. The first part of the thesis describes the legislation at the area of the motor vehicle emissions and use of biofuels. The second part deals with combustion engine exhaust gasses components and also about their measuring methods. The third part, which is the principal one, compares harmful emissions arising during combustion of bioethanol, vegetable oil and biodiesel with diesel fuel emissions. This part also contains the information about greenhouse gas savings, datas about biofuel dominant attributes and complicatons that occur in case the engines are run with biogenic liquid fuels.

Key words: biofuel, emissions, combustion engine

Obsah

1. Úvod	1
2. Předpisy a vyhlášky	2
2.1 Emisní předpisy v ČR.....	2
2.1.1 Schvalování nových typů vozidel.....	3
2.1.1.1 Homologace vozidel do 3,5 t.....	3
2.1.1.2 Homologace vozidel nad 3,5 t.....	4
2.1.1.3 Homologace nesilničních vozidel.....	4
2.1.2 Měření emisí v provozu.....	5
2.2 Legislativa v oblasti paliv.....	7
3. Metody a možnosti měření emisí	10
3.1 Popis škodlivých složek výfukových plynů	10
3.2 Metody měření emisí škodlivých plynů	12
3.2.1 Měření založené na absorpci infračerveného záření.....	12
3.2.2 Měření založené na absorpci ultrafialového záření	13
3.2.3 Měření založené na principu chemické luminiscence	13
3.2.4 Měření založené na principu ionizace v plameni	13
3.2.5 Analyzátoři měřící magnetické vlastnosti plynu	14
3.3 Měření kouřivosti vznětových motorů	14
3.3.1 Měření kouřivosti filtrační metodou.....	15
3.3.2 Přímé hmotnostní měření koncentrace částic	15
3.3.3 Opacimetrie	15
3.4 Příklady schválených přístrojů používaných v praxi.....	15
3.5 Statické měření emisí.....	17
3.6 Dynamické měření emisí.....	17
4. Zhodnocení vlivu biopaliv na emise vznětového motoru	18
4.1 Emise motoru vznikající při spalování rostlinných olejů	19
4.1.1 Způsoby použití rostlinných olejů ve vznětových motorech.....	20
4.1.2 Vliv rostlinných olejů na obsah škodlivin ve spalinách	21
4.2 Emise motoru vznikající při spalování bionafty.....	23
4.3 Emise motoru vznikající při spalování bioethanolu	26
4.3.1 Emise směsi bioethanolu s naftou	27
4.3.2 Emise paliva E95	28
4.4 Analýza životního cyklu biopaliv z hlediska produkce skleníkových plynů	29
4.5 Shrnutí vlivu biopaliv na emise vznětového motoru.....	32
4.6 Komplikace vznikající s užitím kapalných biopaliv.....	33
4.6.1 Problematika použití rostlinných olejů.....	33
4.6.2 Problematika použití MEŘO	34
4.6.3 Problematika použití bioethanolu.....	35
5. Závěr	36
Seznam použité literatury	38
Seznam použitých zkratk	42
Seznam obrázků	43
Seznam tabulek	44

1. Úvod

Doprava je odvětví lidské činnosti, které má velmi vysokou spotřebu ropných pohonných hmot a současně produkuje velké množství škodlivin do ovzduší. Ropa je neobnovitelná surovina, jejíž zásoby jsou omezené a ceny této suroviny stále stoupají. Snaha o snížení závislosti na ropě a o zlepšení kvality ovzduší především v městech vede k hledání alternativních pohonů použitelných hlavně v silniční dopravě. Existuje několik řešení zmíněných problémů, ale nejvíce pozornosti je věnováno kapalným biopalivům pro spalovací motory a elektromotorům poháněným energií z akumulátorů nebo z vodíkových palivových článků. Kapalné pohonné hmoty na přírodní bázi mají velkou výhodu v již vytvořené síti čerpacích stanic a v možnosti použití ve stávajících vozidlech s minimálními úpravami. Využívání těchto pohonných hmot ve větším měřítku by tedy mohlo být provedeno rychle a s relativně nízkými náklady.

Základními druhy spalovacích motorů používaných v silničních dopravních prostředcích jsou motory zážehové a vznětové, při čemž vznětové motory vykazují vyšší účinnost přeměny energie obsažené v palivu na mechanickou. S tím souvisí nižší měrná spotřeba paliva a také menší množství produkovaných emisí oxidu uhličitého, který je hlavním původcem skleníkového efektu v atmosféře. Tyto důvody vedou k potřebě posouzení vlivu biopaliv pro vznětové motory na škodliviny vznikající při spalování. Z hlediska úspor skleníkových plynů a také z pohledu zdrojových surovin lze rozdělit biogenní paliva na I. a II. generaci. Biopaliva I. generace se získávají ze surovin původně určených k výrobě krmiv a potravin. Vykazují sice nižší úspory oxidu uhličitého, ale jsou rozšířenější a v krátkodobém měřítku mají potenciál pro rychlejší navýšení produkce.

Cílem této práce je shrnutí předpisů a vyhlášek upravujících použití biopaliv ve spalovacích motorech a kontrolu emisí. Dále práce popisuje škodlivé složky výfukových plynů a metody jejich měření. Hlavním cílem práce je posouzení množství vznikajících emisí škodlivin a skleníkových plynů při spalování biopaliv I. generace ve vznětovém motoru společně se zhodnocením vhodnosti vybraných paliv pro jejich použití v běžné praxi. Ke srovnání slouží standardní motorová nafta.

2. Předpisy a vyhlášky

2.1 Emisní předpisy v ČR

Příčinou emisí škodlivin z motorů vozidel do volného ovzduší jsou výfukové plyny vznikající při spalování pohonných hmot. Pokud by proběhla dokonalá oxidace uhlovodíkového paliva, vznikl by pouze oxid uhličitý a voda. Při skutečném hoření vznikají spaliny, jako komplexní směsi obsahující stovky chemických látek v různých koncentracích, přispívající k dlouhodobému oteplování atmosféry, k tzv. „skleníkovému efektu“ nebo často s toxickými mutagenními i karcinogenními vlastnostmi pro člověka. Nejvýznamnější škodliviny znečišťující ovzduší ze spalovacích motorů je možné rozdělit na látky limitované, na které se vztahují emisní limity dané legislativou a látky nelimitované. Emise škodlivin v ČR upravuje zákon č. 221/2011 Sb., o ochraně ovzduší. Mezi limitované škodliviny jsou řazeny oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku (NO_x), nespálené uhlovodíky (HC) a pevné částice (PM). [1, 6, 19, 44]

Nelimitované škodliviny mají často závažnější dopady na zdraví člověka, ale pro nedostatek informací o látkách samotných a vzhledem k daleko vyšším nárokům na měřicí techniku není v současné době jejich produkce monitorována. Za nejnebezpečnější látky lze považovat polychlorované dibenzofurany a dibenzodioxiny (PCDF, PCDD), a také polyaromatické uhlovodíky (PAH). Legislativa ČR se při snižování limitních hodnot škodlivých látek ve výfukových plynech dostala na úroveň evropských předpisů přijetím zákona č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a vyhlášek ministerstva dopravy č. 301/2001 Sb., o schvalování technické způsobilosti vozidel a č. 302/2001 Sb., o pravidelných technických prohlídkách a měření emisí vozidel. [1, 19, 15]

Měření produkce emisí a tedy i uplatňované předpisy lze rozdělit do dvou částí:

- Schvalování nových typů vozidel, kde se používá měřicí technika na špičkové úrovni spolu s vysoce kvalifikovaným personálem.
- Emisní kontroly, u kterých se, v rámci kompromisu mezi kvalitou měřících přístrojů a dostatečnému pokrytí všech vozidel podléhajících emisním kontrolám, používají přístroje servisní či provozní s nižšími nároky na obsluhu a v dostupnější cenové hladině. [6, 15]

2.1.1 Schvalování nových typů vozidel

Homologačním orgánem v ČR je Ministerstvo dopravy a spojů. V současné době jsou pro homologaci vozidel v Evropské unii a tedy i v ČR platné předpisy EURO 5. Přehled emisních limitů norem EURO 4, EURO 5 a EURO 6 je zobrazen v tabulce 1. [6]

Tab. 1 Emisní limity v normách EURO [6]

Osobní vozidla se vznětovými motory do 3,5 t (g.km ⁻¹)						
	platnost	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM
EURO 4	1/2005	0,5	-	0,3	0,25	0,25
EURO 5	9/2009	0,5	-	0,23	0,18	0,005
EURO 6	9/2014	0,5	-	0,17	0,08	0,005
Osobní vozidla se zážehovými motory do 3,5 t (g.km ⁻¹)						
EURO 4	1/2005	1	0,1	-	0,08	-
EURO 5	9/2009	1	0,1	-	0,06	0,005
EURO 6	9/2014	1	0,1	-	0,06	0,005
Vozidla nad 3,5 t (g.kWh ⁻¹)						
EURO 4	10/2005	1,5 - ESC	0,46 (THC)	-	3,5	0,02 - ESC
		4,0 - ETC	0,55 (NMHC) 1,1 (CH ₄)			0,03 - ETC
EURO 5	10/2008	1,5 - ESC	0,46 (THC)	-	2	0,02 - ESC
		4,0 - ETC	0,55 (NMHC) 1,1 (CH ₄)			0,03 - ETC
EURO 6	1/2013	1,5 - ESC	0,13 (THC)	-	0,04	0,01 - ESC
		4,0 - ETC	0,16 (NMHC) 0,5 (CH ₄)			0,01 - ETC

2.1.1.1 Homologace vozidel do 3,5 t

Předpisy EURO 5 platí pro vozidla do 1305 kg od 1. 9. 2009 a pro vozidla nad 1305 kg od 1. 9. 2010. V zájmu sjednocování legislativy jsou předpisy EURO používány i v dalších státech mimo Evropskou unii. Používá se pro ně též označení EHK 83 plus číslo revize. Pro vozidla do 3,5 t jsou to předpisy EHK (ECE) R 83.05 a zkušební testy ECE 15, UDC (Urban Driving Cycle) a EUDC (Extra Urban Driving Cycle). Cyklus UDC + EUDC je také označován jakou NEDC (New European Driving Cycle). Dále se na tuto kategorii vozidel vztahují předpisy pro měření kouřivosti vznětových motorů EHK 24. Přehled předpisů EHK souvisejících s emisemi motorových vozidel je v tabulce 2. Limity emisí CO, HC, NO_x, a PM jsou dané pro každou kategorii velmi přísné. [6]

Zavedení nyní platné emisní normy EURO 5 způsobilo především zpřísnění emisních limitů pro vznětové motory vozidel do 3,5 t, u kterých došlo k pětinasobnému snížení emisního limitu pro pevné částice, což se dá plnit pouze pomocí instalace filtrů pevných částic. Zároveň je nutno využívat nové technologie umožňující snížení obsahu NO_x. Naopak mnoho již dříve vyráběných zážehových motorů přísnější limity EURO 5 splnilo bez problémů. V jejich případě nastala změna ve 25 % snížení limitů na HC a NO_x a dále taktéž emise CO zůstaly nezměněny. Navíc začaly být u zážehových motorů limitovány emise PM. [22]

Tab. 2 Emisní předpisy EHK [19]

Číslo předpisu EHK	Název a obsah předpisu
24	Kouřivost vznětových motorů
40	Plynné škodliviny motocyklů
47	Plynné škodliviny mopedů
49	Emise vznětových motorů, platí pro nákladní automobily a autobusy s hmotností přesahující 3,5 t
83	Emise škodlivin z motorů podle požadavků na palivo, platí pro osobní a lehké nákladní automobily s hmotností do 3,5 t
96	Emise plyných škodlivin ze vznětových motorů traktorů
101	Emise CO ₂ a spotřeba paliv u vozidel M1 a N1

2.1.1.2 Homologace vozidel nad 3,5 t

Pro homologaci vozidel nad 3,5 t jsou v platnosti zkušební testy ESC (European Stationary Cycle), ETC (European Transient Cycle) a pro vznětové motory platí navíc test ELR (European Load Response) pro měření kouřivosti motoru. Limity emisí CO, HC, NO_x a PM jsou přísně stanovené samostatně pro každou kategorii vozidel. Při homologaci vozidel od platnosti předpisu EURO 4 se musí motor kvůli větší objektivnosti zkoušet oběma testy, ESC/ELR i testem ETC. U zážehových motorů se ELR test kouřivosti neprovádí. [6]

2.1.1.3 Homologace nesilničních vozidel

V současné době jsou podle direktivy 2010/26/ES v oblasti homologace nesilničních vozidel platné standardy III/IV zpřísnující a nahrazující standardy I/II. Schvalování zemědělských a lesnických traktorů se také týká směrnice 2010/22/ES. Podle standardů III/IV se motory testují na motorovém dynamometru testem Non-Road Transient Cycle (NRTC). Motory jsou rozděleny do tříd dle výkonu, pracovního cyklu a také podle použití stroje. Pro každou třídu platí jiné emisní limity a test obsahuje rozdílný počet módů. Přehled limitů emisí standard EurEST zobrazuje tabulka 3. [4, 32]

Tab. 3 Emisní limity motorů traktorů a samojízdných zemědělských strojů [4]

Výkonová třída traktoru	Emise (g.kWh ⁻¹)	Platnost				
		2006	2008	2012	2013	2014
37 - 56	CO	5,0	5,0			5,0
	HC	1,3				
	NO _x	7,0	-			-
	NO _x + HC	-	4,7			4,7
	PM	0,4	0,4			0,025
56 - 75	CO	5,0	5,0	5,0		5,0
	HC	1,3	-	0,19		0,19
	NO _x	7,0	-	3,3		0,4
	NO _x + HC	-	4,7	-		-
	PM	0,4	0,4	0,025		0,025
75 - 130	CO	5,0	5,0	5,0		5,0
	HC	1,0	-	0,19		0,19
	NO _x	6,0	-	3,3		0,4
	NO _x + HC	-	4,0	-		-
	PM	0,3	0,3	0,025		0,025
Nad 130	CO		3,5		5,0	3,5
	HC				0,19	0,19
	NO _x		-		2,0	0,4
	NO _x + HC		4,0		-	-
	PM		0,2		0,025	0,25

Legenda:

EurEST II	EurEST IIIA	EurEST IIIB	EurEST IV
-----------	-------------	-------------	-----------

2.1.2 Měření emisí v provozu

V ČR povinnost pravidelného měření emisí u vozidel v provozu vyplývá ze zákona č. 56/2001 Sb., přičemž rozsah a praktické provedení emisních kontrol jsou dány vyhláškou Ministerstva dopravy č. 302/2001 Sb., o technických prohlídkách a měření emisí vozidel. Cílem legislativy je udržet škodlivé emise vozidel v provozu na přijatelné úrovni pomocí pravidelných emisních kontrol v průběhu celé životnosti vozidla. [43]

Za přiměřené ukazatele technického stavu vozidla z hlediska emisí se u zážehových motorů pokládají zejména emise CO, měřené při volnoběhových a zvýšených otáčkách. U motorů bez katalyzátoru nebo s neřízenými katalyzátory je předepsáno také měření HC ve stejných otáčkách. U vznětových motorů je limitovaná kouřivost měřená při opakovaných volných akceleracích. Při takové zkoušce je motor obvykle v režimu maximální dodávky paliva a produkuje nejvíce částic. Takto lze ověřit i chování v neustálených režimech jízdy. [15, 43]

Výjimku tvoří motory s elektronickým vstřikováním, kde řídicí jednotka může zabránit plné dodávce paliva do nezátíženého motoru. Emise NO_x se nesledují, neboť používané chemiluminiscenční analýzy mají složitou obsluhu a navíc je jejich cena příliš vysoká. [15]

Vyhláška č. 302/2001 Sb. předepisuje nejen způsob měření škodlivin ve stanicích měření emisí, ale také kontrolu seřízení motoru při provozní teplotě a vizuální kontrolu dílů a systémů ovlivňujících vznik emisí. Pro zážehové i pro vznětové motory jsou stanovené rozdílné metody kontroly složení výfukových plynů. [43]

U vozidel se zážehovými motory s neřízeným emisním systémem se zjišťuje obsah oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků při volnoběžných otáčkách a při zvýšených otáčkách pohybujících se mezi 2500 a 2800 min⁻¹. Vozidla se zážehovými motory, vybavená řízeným emisním systémem, jsou při volnoběžných otáčkách kontrolována na obsah složky CO ve výfukových plynech. Při zvýšených otáčkách, které jsou shodné s předcházejícím typem vozidel, se měří součinitel přebytku vzduchu a množství oxidu uhelnatého ve spalínách. U vozidel vybavených vznětovými motory se provádí měření kouřivosti motoru pomocí metody volné akcelerace. [43]

Výsledky měření se vždy porovnávají s výrobcem předepsanými hodnotami. Pokud výrobce motorového vozidla nepředepíše hodnoty pro kontrolu emisí, nesmí dojít k překročení hodnot uvedených v tabulkách 4 a 5. [43]

Tab. 4 Emisní limity pro zážehové motory dle vyhlášky č. 302/2001 Sb. [43]

Rok výroby vozidla	Emisní systém	CO [%]	HC [ppm]
do 31. 12. 1972	neřízený	6	2000
1. 1.1973 – 31. 12. 1986	neřízený (katalyzátor)	4,5	1200
od 1. 1. 1987	neřízený + katalyzátor	3,5	800
	řízený + katalyzátor	0,5 volnoběh 0,3 ($\lambda=1\pm0,03$) vyšší ot.	-

λ - součinitel přebytku vzduchu lambda vypočítává přístroj pro měření emisí zážehového motoru z obsahu složek výfukového plynu podle Brettschneiderova vzorce.

Tab. 5 Limitní hodnoty kouřivosti motorů dle vyhlášky č. 302/2001 Sb. [43]

Rok uvedení do provozu	kouřivost [m ⁻¹]
před 1981	4
po 1981	štitkový údaj + 0,5

2.2 Legislativa v oblasti paliv

Kromě široce známých druhů paliv pro spalovací motory, které jsou běžně na trhu, existuje i řada dalších chemických látek, jenž se dají využít jako palivo nebo jako složky paliv pro současné spalovací motory. Právní předpisy České republiky přesně definují, která paliva mohou být používána pro provoz vozidel a jaké musí mít vlastnosti. Pokud nejsou požadavky právních předpisů na vlastnosti splněny, nesmí být palivo použito. [13]

V některých případech právní předpis umožňuje použít i palivo, které není vyjmenováno mezi schválenými, ale obvykle váže souhlas s jeho použitím na doporučení výrobce motoru, který pak odpovídá za to, že při provozu s takovým nestandardním palivem se nebudou vyskytovat ani ekologické ani technické problémy. Této možnosti se prakticky využívá pouze při zkouškách nových druhů paliv v provozním měřítku. [13]

V současné době jsou v České republice stanoveny požadavky na pohonné hmoty pro provoz vozidel na pozemních komunikacích zákonem č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot, v platném znění, spolu s vyhláškou č. 133/2010 Sb., o jakosti a evidenci pohonných hmot, ve znění pozdějších předpisů. Do standardních motorových paliv je nyní přidáván podíl biosložky a to maximálně 10 % bioethanolu do automobilového benzínu (případně lze přidávat vyhláškou definované množství jiné kyslíkaté látky, například ETBE) a max. 7 % FAME do motorové nafty. Do roku 2020 by se tento podíl měl zvýšit na minimálně 10 %. Podle směrnice 2009/28/ES by do roku 2020 v ČR mělo 13 % z celkového množství vyrobené energie pocházet z obnovitelných zdrojů. Z hlediska vlivu na životní prostředí je také důležité, že od 1. 1. 2001 je v ČR zakázán prodej benzinů obsahujících příměsi olova včetně olovnatých sloučenin. [13, 30, 42]

Tab. 6 Přehled norem technických požadavků na biopaliva a paliva s příměsí bioložek [34]

Norma	Datum vydání	Palivo
ČSN EN 228	1. 12. 2008	Bezolovnaté automobilové benziny
ČSN EN 590+A1	1. 7. 2010	Motorové nafty
ČSN EN 14274+A1 Oprava 1	1. 11. 2011	Methylestery mastných kyselin (FAME) pro vznětové motory
ČSN 656508	1. 12. 2009	Směsné motorové nafty obsahující methylestery mastných kyselin (FAME)
ČSN EN 15376	1. 9. 2011	Ethanol jako složka automobilových benzinů
ČSN P CEN/TS 15293	1. 6. 2011	Ethanol E85
ČSN 656513	1. 12. 2009	Ethanol E95 pro vznětové motory
ČSN 656514	1. 12. 2007	Bioplyn pro zážehové motory
ČSN 656516	1. 12. 2007	Řepkový olej pro spalovací motory na rostlinné oleje

Vyhláška č. 278/2011 Sb. stanovuje podle jakých norem se hodnotí jakost pohonných hmot a vymezuje použité pojmy. Přehled některých norem pro paliva zobrazuje tabulka 6. Nejvíce používaná biopaliva jsou bioethanol, bionafta, bioplyn a rostlinné oleje. V dopravě používané pohonné hmoty mají různé chemické složení a specifické vlastnosti. Z hlediska provozu je velmi důležitý energetický obsah využitelný při spalování, který přímo ovlivňuje spotřebu paliva. Obsah energie některých motorových paliv znázorňuje tabulka 7. [20, 42, 36]

Tab. 7 Využitelný energetický obsah vybraných paliv [36]

Palivo	(MJ.kg ⁻¹)	(MJ.l ⁻¹)
Bioethanol	27	21
Bio-ETBE	36	27
Bionafta	37	33
Rostlinný olej	37	34
Bioplyn	50	-
Benzin	43	32
Motorová nafta	43	36

Palivářský biolh se vyrábí kvasným procesem, stejně jako lh potravinářský. U palivového bioethanolu navíc následuje proces odvodnění, protože s benzínem se mísí pouze ethanol s obsahem velmi malého množství vody. Odvodnění lihu však výrobu výrazně prodražuje. Bioethanol se v současné době používá jako pohonná hmota buď formou nízkoprocentního přídatku do motorových benzinů nebo formou vysokoprocentních bioethanolových směsí pro pohon motorů. Jsou to E85 pro zážehové motory a E95 pro vznětové motory. E85 je směs benzínu s bioethanolem a existuje ve formě letní a zimní směsi. E95 je směs minimálně 95,8 % bioethanolu s komplexní aditivací. Při použití lihu v palivu E95 odpadá problém mísitelnosti s uhlovodíky a není tedy úplné odvodnění nutné. [13, 30]

Bioplyn se získává methanogenním kvašením organických látek. Nejvýhodnější je používat odpadní látky, jako je například chlévská mrva. Po vyčištění jsou jeho parametry shodné se zemním plynem. Jeho hlavní složkou je methan. Po vyčištění lze bioplyn použít ve vozích s pohonem na CNG, zde je spalován v zážehových motorech. Problém u bioplynu je nákladnost jeho čištění a nestálé množství, ve kterém je vyráběn. [6]

Rostlinné oleje (RO) se vyrábějí ze semen či plodů vhodných rostlin a to lisováním či extrakcí uhlovodíky. Složením jsou RO směsí triglyceridů mastných kyselin, u nichž převažují molekuly s 16 a 18 atomy uhlíku a současně s jednou či dvěma dvojnými vazbami. Obsah mastných kyselin v různých rostlinných olejích a v živočišných tucích je uveden v tabulce 8. Kyseliny jsou uvedeny zkratkami, kde první číslo znamená počet uhlíkových

atomů a druhé počet dvojných vazeb. Tabulka znázorňuje jen průměrné hodnoty, jelikož obsah mastných kyselin v olejích kolísá. V ČR se čisté RO jako paliva příliš nepoužívají, protože se svými vlastnostmi odlišují od motorové nafty, přesto jsou v provozu vozidla jezdící i na čistý řepkový olej. Použití řepkového oleje jako motorového paliva upravuje norma ČSN 656516. [5, 17, 27]

Tab. 8 Obsah mastných kyselin v některých rostlinných olejích a živočišných tucích [5]

Olej (tuk)	Obsah mastné kyseliny [%]														
	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	16:0	18:0	20:0	22:0	16:1	18:1	20:1	22:1	18:2	18:3
Palmový		<0,4	<0,2	<0,4	1	45	8	0,5		<0,6	38			10	<0,5
Sojový				0,2	<0,5	10	4	0,5	0,4	<1	21	0,5	<0,3	56	8
Řepkový					<0,2	4,5	1,5	0,5	<0,5	0,5	56	2	<2	21	10
Slunečnicový						6,5	5	0,5	<0,5	0,5	24	<0,5	<0,5	63	<0,3
Palmojádrový	<0,8	4	4	47	16	9	2,5				15			2,5	
Kokosový	<0,6	8	6	47	18	9	2,5	0,1			7	<0,2		2	<0,5
Olivový						11,5	2,5	<0,6		1,5	74	0,2		9,5	<1,5
Hovězí lůj					3	26	20			3,5	40			4,5	0,5
Skopový lůj				<0,6	5,6	27	32			1,5	32			1,6	0,2

Bionafta je jiný termín pro methylestery mastných kyselin (FAME). V Evropě se používají především methylestery kyselin řepkového oleje MEŘO. Bionafta se v ČR využívá formou nízkoprocentního přídatku do motorové nafty dále jako směsná motorová nafta SMN30 o obsahu min. 30 % MEŘO a nebo přímo čistá bionafta B100. Ve všech případech jde o palivo pro vznětové motory. [6, 30]

Použití a distribuci biopaliv nově upravuje nařízení vlády č. 446/2011 Sb. o kritériích udržitelnosti bioopaliv. Od 1. ledna 2012 se výrobci a dodavatelé musí prokázat certifikátem o splnění kritérií udržitelnosti při výrobě a distribuci biopaliv. První podmínkou je úspora skleníkových plynů v celém životním cyklu biopaliva ve výši minimálně 35 %. Od 1. 1. 2017 bude limit zvýšen na 50 % a o rok později budou muset biopaliva vykazovat úsporu alespoň 60 % skleníkových plynů. Další podmínky se týkají surovin pro biopaliva, které nesmějí pocházet z biologicky rozmanitých biotopů, původních lesů, rašelinišť a zvláště z chráněných oblastí přírody. [39, 31]

Z pohledu ceny paliv je nutno podotknout, že v případě vysokoprocentních směsí E85, E95, SMN30, B100 (tj. 100 % FAME), čistých rostlinných olejů a bioplynu je v rámci spotřebních daní biosložka daňově zvýhodněna, což neplatí o biosložce v benzinech a v naftě s nízkoprocentním přídatkem biopaliva. [30]

3. Metody a možnosti měření emisí

3.1 Popis škodlivých složek výfukových plynů

Oxid uhličitý CO₂

Jedná se o produkt dokonalého spalování. CO₂ je bezbarvý nehořlavý plyn, bez zápachu, těžší než vzduch, velmi stabilní. Je značně rozpustný ve vodě za vzniku slabé nestálé kyseliny uhličitě. Škodlivě působí na lidský organizmus až ve chvíli, kdy jeho vyšší koncentrace začne vytěsňovat kyslík. [6, 15]

Oxid uhličitý patří mezi plyny způsobující radiační clonu omezující vyzařování tepla ze země do okolí, zvanou skleníkový efekt. Kyslíčnický uhličitý významně pohlcuje záření, které by jinak odešlo do vesmíru a ve srovnání s ostatními skleníkovými plyny vzniká ve výrazně větším množství. Podíl spalovacích motorů na produkci antropogenních emisí CO₂ je cca 10 %. [6, 15]

Oxid uhelnatý CO

CO je produktem nedokonalé oxidace uhlíku z uhlovodíkového paliva, hlavně z důvodu nedostatku kyslíku ve směsi paliva a vzduchu. Nedostatek kyslíku může být místní nebo časový. Vznik oxidu uhelnatého se týká především zážehových motorů, jelikož vznětové motory pracují s přebytkem kyslíku, a tak koncentrace CO jsou přibližně desetinné. Kyslíčnický uhelnatý je bezbarvý nedráždivý plyn bez chuti, zápachu. Je lehčí než vzduch. Pro lidský organizmus je jedovatý, jelikož s krevním hemoglobinem vytváří velmi stabilní karboxyhemoglobin. Tím se omezuje přenášení vzdušného kyslíku z plic do krevního oběhu s následkem poškození lidských orgánů nedostatkem kyslíku. Dále se CO podílí na tvorbě letního (fotochemického) smogu, který vzniká obzvláště ve velkoměstech. Produkce oxidu uhelnatého z antropogenních zdrojů je srovnatelná s přírodními emisemi. [6, 15]

Oxidy dusíku NO_x

Vznikají oxidací vzdušného dusíku při spalování ve fázi pracovního oběhu s vysokou teplotou. Při poklesu teplot spalování se snižuje rychlost tvorby NO a tedy i jeho koncentrace ve výfukových plynech. Emise oxidů dusíku jsou zvyšovány úpravami motorů vedoucími k vyšší energetické účinnosti motoru. Přímá škodlivost NO je vcelku nízká, ale při pohybu v atmosféře dochází k oxidaci na oxid dusičitý, který je již škodlivější. [6, 15]

Na stěnách sliznic vytváří kyselinu dusičnou (HNO_3), na kterou dýchací soustava reaguje jako na začínající hoření a automaticky přivírá přístup vzduchu do plic. Vzniká pocit dušení a nucení ke kašli. Tento jev nastává již při velmi nízkých koncentracích. Oxidy dusíku se podílejí na tvorbě kyselých dešťů a významně přispívají i ke vzniku letního smogu. [6, 15]

Nespálené uhlovodíky HC

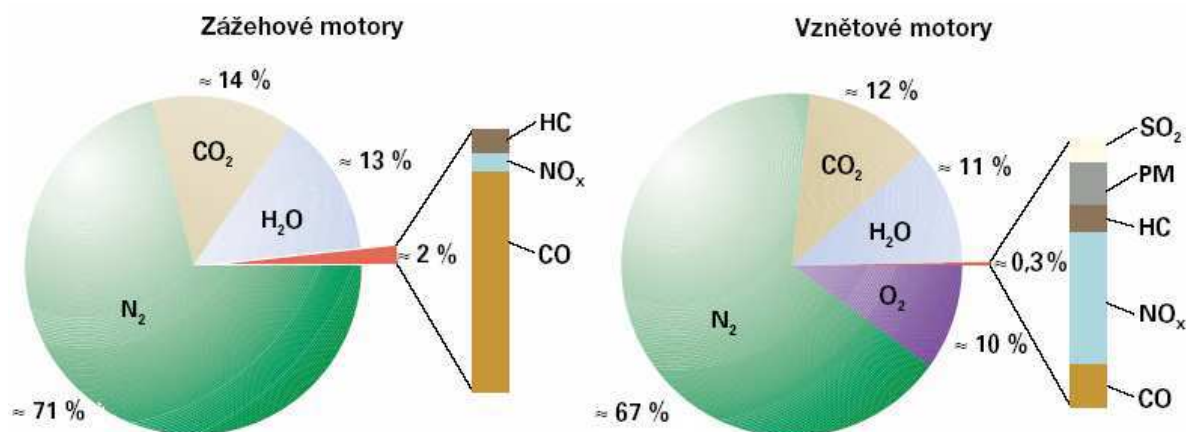
Nespálené uhlovodíky (HC) jsou směsí různých uhlovodíků obsažené v původním palivu, nebo vzniklé předčasně ukončenou oxidační reakcí v některých částech spalovacího prostoru za nepříznivých teplot. První jmenované mají obvykle nejmenší škodlivost. Za to druhy uhlovodíků, vznikající jako meziproducty oxidačních reakcí původních uhlovodíků, mají mnohem větší škodlivost a některé patří do skupiny karcinogenních látek. Za nejnebezpečnější se považují polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), jejichž škodlivost se zvyšuje vazbou na povrch emitovaných pevných částic. V procesu předoxidačních reakcí vznikají ještě aldehydy. Ty spolu s původními palivovými uhlovodíky vytvářejí charakteristický zápach výfukových plynů spalovacích motorů. Celkově nespálené uhlovodíky vedou k poruchám podmíněných reflexů a poškozují dýchací cesty a sliznice. V blízké budoucnosti lze předpokládat zahrnutí PAH a dalších meziproductů oxidace paliv mezi limitované emise. [6, 15]

Oxid siřičitý SO_2

SO_2 je bezbarvý, štiplavě páchnoucí plyn, poměrně silně napadá sliznice a potlačuje odolnost organismu vůči infekcím. S vodou vytváří kyselinu siřičitou, jež způsobuje tzv. „kyselé deště“, které poškozují především lesní porosty. Oxid siřičitý je produkován převážně vznětovými motory, ale v současné době je obsah síry v motorové naftě minimální a podíl emisí oxidů síry ze spalovacích motorů je tedy zanedbatelný. [6, 15]

Pevné částice PM

Pevné částice (PM) vznikají v motorech při spalování neodpařených kapek paliva v místě s vysokou teplotou při nedostatku vzduchu. Obsahují elementární uhlík, organický uhlík a malé množství sulfátu, dusíku, vody a další neidentifikovatelné složky. Jádro částic se skládá z pevného uhlíku a popele. Tvorba sulfátů závisí na obsahu síry v palivu a v mazacím oleji. Emise PM se snižují s rostoucí hodnotou přebytku vzduchu při spalování. Krátkodobé působení pevných částic způsobuje podráždění očí, jícnu, průdušek a dýchací potíže. Chronická expozice může způsobit zánět a změny v plicích. Je odhadnuta referenční koncentrace $5\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, která nepůsobí rakovinotvorně ani po dlouhou dobu expozice. [6, 15]



Obr. 1 Složení výfukových plynů [6]

3.2 Metody měření emisí škodlivých plynů

3.2.1 Měření založené na absorpci infračerveného záření

Při absorpci elektromagnetického záření se energie pohlceného fotonu projeví zvýšením energie atomu, respektive molekuly plynu. Energie potřebná k vybuzení vibrací víceatomových molekul odpovídá záření kolem 1 až 10 μm , tedy zhruba infračervené oblasti. Jednodušší molekuly a různé druhy vazeb ve složitějších molekulách si přibližně ponechávají charakteristické absorpční pásy, bez ohledu na zbytek molekuly. Souměrné molekuly H₂, N₂ a O₂ naopak IR záření neabsorbují. [15, 3]

V měřicím přístroji založeném na metodě pozitivní filtrace je infračervené záření emitováno zářičem, a prochází kyvetami z materiálu propustného pro příslušné vlnové délky. Ve srovnávací kyvetě je plyn nepohlcující infračervené záření, například dusík. Měřicí kyvetou proudí analyzované spaliny. Za kyvetami se nachází dvoukomorový detektor naplněný plynem jehož koncentrace se zjišťuje. Pohlcením části záření měřenou složkou v měřicí kyvetě dojde ke změně tlaku a současně i teploty v detektoru a rozdíl signálů nabude hodnoty závislé na koncentraci detekované složky. Pro zabránění teplotní rovnováhy při přívodu energie a sdílení tepla s okolím se tok záření upravuje rotační clonou. Analyzátoru na principu absorpce infračerveného záření se obvykle využívá pro zjišťování koncentrace CO a CO₂. [15, 3]

3.2.2 Měření založené na absorpci ultrafialového záření

Metoda založená na absorpci ultrafialového záření využívá skutečnost, že atomy či molekuly mohou přecházet mezi diskrétními energetickými stavy a rozdíl energií odpovídá jistým vlnovým délkám. Látky tedy absorbují stejnou vlnovou délku jakou jindy emitují. Fotometrické analyzátory pracující v UV oblasti používají výbojky s dutou katodou, ve kterých je náplní plyn, jehož koncentrace se v měřicí kyvetě zjišťuje. Ultrafialové záření je časově modulováno rotující clonou a lokálně rozděleno polopropustným zrcadlem. Část záření prochází měřicí kyvetou. Zde dochází k jeho absorpci složkami přítomnými v analyzovaném vzorku proplachujícího kyvetu. Referenční paprsek je veden přímo na korekční detektor. Zpracováním signálů z výstupů obou detektorů se v elektronických obvodech přístroje generuje napětí, které je lineární funkcí koncentrace sledované složky ve vzorku. Analyzátory využívající absorpce UV záření se používají ke zjišťování koncentrace oxidů dusíku. [15, 3]

3.2.3 Měření založené na principu chemické luminiscence

Základem chemiluminiscenčních analyzátorů CLA jsou některé chemické reakce s emisí světelného záření. Například oxidace kyslíčnicku dusnatého ozónem. V přístroji se ozón vyrábí z kyslíku působením elektrostatického pole, pak se přivádí společně s analyzovanými spaliny do reakční komůrky, ke které přiléhá fotonásobič. Ozón musí být přiváděn v přebytku, aby výstupní signál byl přímo úměrný množství NO ve vzorku. Daná chemická reakce není příliš ovlivňována dalšími složkami spalin, proto má tato metoda vysokou selektivitu. Chyba přístroje vlivem teploty je eliminována udržováním teploty komůrky na 50°C a chlazením fotonásobiče. [15, 3]

3.2.4 Měření založené na principu ionizace v plameni

Při přítomnosti organických par v plameni hořícího vodíku se vytvářejí snadno ionizovatelné částice. Ty mohou zprostředkovat vedení elektrického proudu mezi elektrodami v okolí plamene. Jednou elektrodou bývá těleso hořáku, druhá sběrací elektroda je v těsné blízkosti plamene. Důležitá je závislost velikosti procházejícího elektrického proudu na koncentraci organické látky. Při hoření čistého vodíku však ionty s dostatečnou životností nevznikají. Taktéž oxid uhličitý, uhelnatý, vodní páry, dusík a vzácné plyny ionty nevytvářejí. [15, 3]

Touto metodou lze měřit obsah uhlovodíků ve spalínách, ale pro dosažení správných výsledků je nutné optimální nastavení směšovacího poměru při hoření. Detektor je totiž citlivý i na přítomnost kyslíku v analyzované směsi plynů. Při měření spalin se ve vzorcích nachází obvykle několik druhů uhlovodíků zároveň a to způsobuje rozdílné velikosti proudu. Přibližně tedy platí, že velikost proudu je úměrná molární koncentraci a současně počtu uhlíků v molekule. Proto je nutné vědět, jak přispívají jednotlivé složky k výsledku. Celkově je tato metoda málo selektivní mezi jednotlivými typy uhlovodíků. Pro vyhodnocení signálu se musí použít zesilovač, protože je iontový proud velmi malý. [15, 3]

3.2.5 Analyzátoři měřící magnetické vlastnosti plynu

Z plynů má největší permeabilitu kyslík, proto je pro stanovení jeho množství vhodné použít přístroje na principu měření magnetických vlastností plynu. Nejdůležitější částí těchto přístrojů je tedy elektromagnet nebo permanentní magnet. Přístroje se dělí na magnetomechanické, magnetopneumatiké a termomagnetické. [15]

Termomagnetický analyzátor má prstencovou komoru s vodorovným příčným kanálem s navinutými dvěma vinutími z odporového materiálu. Z jedné větve kruhové komory je kyslík vtahován magnetickým polem do kanálu, kde vlivem zvýšení teploty ztrácí magnetizmus. Tento vtažený vzorek je vytlačován přísunem studeného kyslíku a prochází příčným kanálem do druhé větve prstencové komory. První vinutí je ochlazováno proudem studeného vzorku, zatímco druhé vinutí se zahřívá více, jelikož vzorek má po průchodu kanálem vyšší teplotu. Rozdíl teplot i odporů vinutí je úměrný koncentraci kyslíku v analyzovaném vzorku. Výhoda tohoto principu je, že není potřeba žádného provozního média. [15]

3.3 Měření kouřivosti vznětových motorů

Na rozdíl od plynných emisí je kouř vycházející ze vznětového motoru viditelný i bez přístrojů. Je proto zřejmé, že se stal prvním negativně působícím jevem o který se začal veřejně projevovat zájem. Metodiku měření kouřivosti předepisuje EHK 24 a vztahuje se na všechny vznětové motory silničních vozidel. [15]

3.3.1 Měření kouřivosti filtrační metodou

Při této metodě se filtruje danou rychlostí určitý objem výfukových plynů přes filtrační papírek. Množství zachycených částic se vyhodnocuje opticky porovnáním pohlceného světla procházejícího zčernalým papírkem se světlem procházejícím nepoužitým papírkem. V modernějším přístroji je tato metoda automatická s kontinuálním páskem papíru a reflektivním fotometrem. [15]

3.3.2 Přímé hmotnostní měření koncentrace částic

Před vlastním měřením koncentrace se změří hmotnost filtru ze skelných vláken laboratorními váhami, poté se filtr umístí do měřicí aparatury, kde se přes něj prosávají předepsaným způsobem spaliny. Na konci měření se filtrační element znovu zváží a následným výpočtem se stanoví hmotnostní koncentrace pevných částic ve vzorku výfukových plynů spalovacího motoru. [15]

3.3.3 Opacimetrie

Opacimetr měří pohlcování světla výfukovými plyny při průchodu měřicí trubici mezi zdrojem světla a fotočlánkem. Ten indikuje množství dopadajícího světla. Pokud by teoreticky bylo světlo pohlceno úplně, byla by hodnota opacity 100 %. Pohlcování světla ve výfukových plynech způsobují nejen pevné částice ve formě černého kouře, ale též mazací olej zbarvující kouř do modra. [16]

3.4 Příklady schválených přístrojů používaných v praxi

Ve stanicích měření emisí je nutno používat schválené přístroje pro měření emisí podle Vyhlášky č. 302/2001Sb., které mají platnou certifikaci. Provozní přístroje se od laboratorních liší menšími rozměry, jednodušší obsluhou, snadnější údržbou a odolnější konstrukcí. Jedná se většinou o vícesložkové IR analyzátory a servisní opacimetry spojené do sestavy s ovládáním přes PC a výstupem na tiskárnu. [15, 35]

Analyzátor vyfukových plnů AVL DiGAS 480

Přístroj AVL DiGAS 480 je určen pro měření emisí zážehových a vznětových motorů. Jeho výhodou je bezúdržbová koncepce měřicí komory. Jedná se o čtyřsložkový IR analyzátor s možností rozšíření o pátý prvek NO_x. [23]

Tento přístroj je během 2 minut připraven k měření a je možno získat celou volitelnou sestavu dle přání zákazníka s plnohodnotným a jednoduchým ovládáním přes PC. Emisní sestava AVL je znázorněna na obrázku 2. [23]

Opacimetr výfukových plynů AVL DiSMOKE 480

Do modulové sestavy firmy AVL je možno zařadit i opacimetr AVL DiSMOKE 480. Přístroj slouží k zjišťování kouřivosti motorů a disponuje snadným ovládáním i vysokou přesností měření. Opacimetr je plně připraven k měření za necelé 3 minuty. [23]

Emisní analýza Bosch BEA 850

Bosch BEA 850 je modulový komplex pro měření emisí zážehových a vznětových motorů s vybavením umožňujícím měření dalších veličin, kterými jsou teplota, otáčky, předstih, napětí lambda sondy, dynamický předvstřík a úhel sepnutí. Plynné emise jsou měřeny modulem čtyřsložkového analyzátoru Bosch BEA 050 pracujícím na principu absorpce infračerveného záření, který je navíc rozšiřitelný o měření NO_x. Modul má vysokou přesnost, stabilitu měření, rychlou údržbu a k měření je připraven již za 1 minutu pro zapnutí. Právě tyto vlastnosti jsou výhodné pro provoz na SME. Měření kouřivosti této sestavy zajišťuje modul opacimetru Bosch RTM 430 s vysokou přesností díky optimálnímu proudění v měřicí komoře. Díky magnetickému uchycení vysílače a přijímače je umožněno snadné čištění měřicí komory. Obrázek 3 zachycuje sestavu BEA 850. [21]



Obr. 2 Emisní sestava AVL [23]



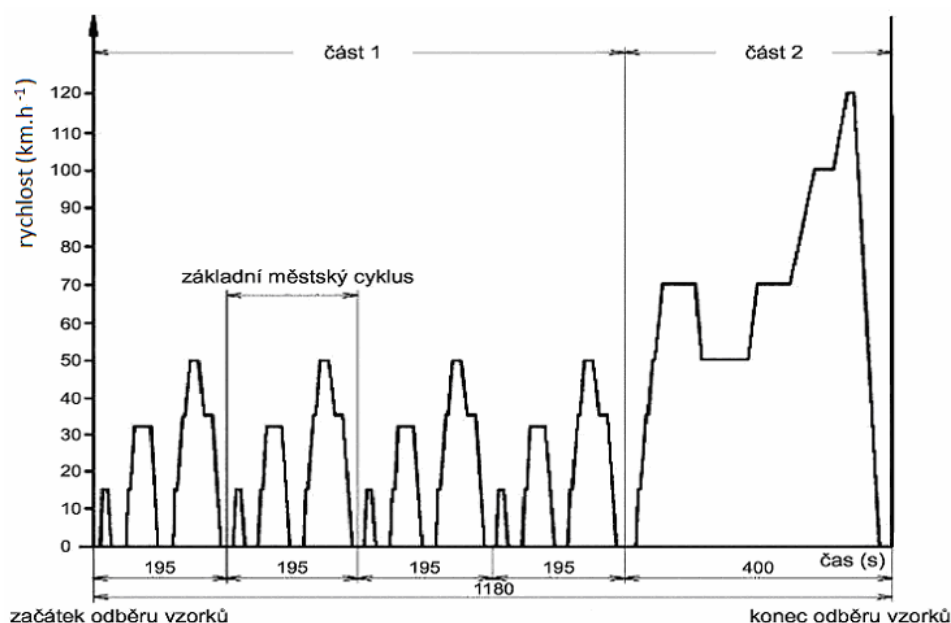
Obr. 3 Emisní analýza BEA 850 [35]

3.5 Statické měření emisí

Při statickém měření emisí je motor v ustálených otáčkách při neměnném zatížení. Pro základní a jednoduché měření emisí je možno použít statické testy při vně nezatíženém motoru, takové testy se používají například ve stanicích měření emisí. Zde se měří emise při volnoběžných a zvýšených otáčkách. Výhodou jsou poměrně nízké náklady na měřicí zařízení, ale nedostatkem je malá schopnost odhalit nedostatečně fungující katalyzátor. Ten většinou dokáže při nezatíženém motoru emise snižovat v dostatečné míře, avšak v provozu při vyšším zatížení je již jeho funkce nedostatečná. Naopak statické testy se zatížením se používají i při schvalování nových typů vozidel. Příkladem je ESC test. Při tomto testu se zatěžuje samostatný motor v 13-ti ustálených režimech otáček a zatížení. Z každého režimu se zahrnují naměřené hodnoty emisí do stanovených výpočtů měrných emisí zkoušeného spalovacího motoru. [6]

3.6 Dynamické měření emisí

Pro získání objektivnějších informací o skutečném množství emisí spalovacího motoru v provozu je vhodné použít dynamické měření emisí. Názorným příkladem takového měření je simulace jízdního cyklu na řízeném válcovém dynamometru označená jako cyklus NEDC. Obsahuje městský i mimo-městský cyklus a hodnoty emisí jsou stanovovány analýzou zředěných spalin, při které zůstává zachován konstantní průtok zředěného vzorku, ale mění se koncentrace emisních složek. Časový průběh cyklu NEDC je zachycen na obr. 4. [6]



Obr. 4 Průběh zkušebního cyklu NEDC [6]

4. Zhodnocení vlivu biopaliv na emise vznětového motoru

Biopaliva mají všeobecně pozitivní vliv na emise spalovacích motorů, ale pokles obsahu jednotlivých složek škodlivin se u různých druhů biogenních paliv liší, někdy je naopak zaznamenanatelný nárůst. V této kapitole je popsán především vliv biopaliv I. generace, která se vyrábějí z potravinářských plodin a jsou v současnosti nejrozšířenější. Posuzovány jsou rostlinné oleje, bionafta a bioethanol, případně jejich směsi s motorovou naftou a to při použití ve vznětovém motoru. Vlastnosti některých biopaliv a motorové nafty jsou vypsány v tabulce 9. [38]

Možnost rozšíření produkce biopaliv z potravinářských plodin je omezená spotřebou potravin a současně plochou, na které je možné tyto rostliny pěstovat. Je tedy vhodné hledat zdroje pro výrobu kapalných paliv na přírodní bázi i jinde. Biopaliva II. generace mohou být vyráběna z dřevní hmoty, biologického odpadu a z vedlejších produktů v zemědělství, ale jejich výroba není zatím rozšířena. Další prostor se nabízí v pěstování rostlin, které svými nároky nekonkurují potravinářským plodinám. Příkladem může být zakládání směsných kultur obilí se lničkou obecnou. Tato rostlina snižuje výnosy základní plodiny a její výnos představuje 80 až 120 kg oleje na hektar. Rozšíření monokultury na směsnou přitom vyžaduje jen mírné navýšení nákladů. [37]

V poslední době je také věnována zvýšená pozornost rostlinám z rodu *Jatropha*. Pro výrobu biopaliv je nejvýznamnější druh *Jatropha curcas*, který má velký potenciál v rozvojových zemích, jelikož může být sklizeň plodů realizována i manuálně. Tento keř má vysokou toleranci k životním podmínkám a lze jej pěstovat i v suchých a neúrodných oblastech nevhodných pro zemědělství, ve ztížených podmínkách však nemá vysoké výnosy. Semena *Jatrophy curcas* jsou toxická, ale obsahují 30 až 35 % oleje a pro použití v motorech může být olej transesterifikován na bionaftu dobré kvality. [2, 14]

Tab. 9 Přehled vlastností vybraných paliv pro vznětové motory

Vlastnost	Rozměr	Motorová nafta tř. F	MEŘO tř. F	SMN30 tř. F	Řepkový olej	EEŘO	Bio-ethanol	Methylestery Jatrophového oleje
Hustota při 15°C	kg.m ⁻³	820 – 845	860 - 900	820 - 860	917 - 920	880	790	860 - 930
Kinetická viskozita při 40°C	mm ² .s ⁻¹	2,0 - 4,5	3,5 - 5,0	2,0 - 4,5	35	4,6 - 4,9	1,3	4,6
Bod filtrovatelnosti	°C	max -20	max -20	max -20	-2	-15	-114	- 15 až -33
Bod vzplanutí	°C	min 55	min 101	min 55	317	176	20	170
Cetanové číslo	-	min 51	min 51	min 51	38	-	8	50
Cetanový index	-	min 46	-	min 46	-	58	-	-
Výhřevnost	MJ.kg ⁻¹	42,7	37,3	40,8	36	37,6	26,8	38-42
Obsah síry	mg.kg ⁻¹	max 10	max 10	max 10	-	max 10	max 10	0,12

4.1 Emise motoru vznikající při spalování rostlinných olejů

Rostlinné oleje (RO) lze relativně jednoduše vyrábět a mají tedy oproti ostatním biopalivům, běžně používaným v dopravě, nižší energetické nároky na výrobu. V podstatě je stačí vylišovat a rafinovat. Od motorové nafty se však výrazně liší v několika parametrech. Jde především o nižší výhřevnost, vyšší kinematickou viskozitu a teplotu vzplanutí. RO jsou méně škodlivé pro lidský organismus i životní prostředí a rychleji se rozkládají. Z pohledu zdravotního, bezpečnostního a ekologického rizika patří mezi nejvhodnější kapalná paliva. V tabulce 10 jsou pro porovnání zobrazeny vlastnosti několika olejů. [5, 17, 41]

Rostliny využívané k získávání oleje jsou například palma olejná, sója, řepka, slunečnice, podzemnice olejná, len, kokos a již zmíněná *Jatropha curcas*. Olej z palmy olejné, pěstované v tropech jihovýchodní Asie, pochází především z Malajsie a Indonésie, kde jsou kvůli plantážím káceny rozsáhlé plochy deštného pralesa. Sójový olej produkují nejvíce USA, Brazílie, Argentina a Čína. V Evropě se rostlinné oleje vyrábějí hlavně z řepky olejky. *Jatropha curcas* pochází z lesů pobřežních oblastí střední Ameriky a je rozšířena v některých subtropických a tropických oblastech Ameriky, Afriky i Asie. Pro tuto rostlinu jsou nevhodné oblasti s velkým úhrnem srážek nebo s výskytem mrazů. [27, 14]

Tab. 10 Vlastnosti vybraných rostlinných olejů

Vlastnost	Rozměr	Řepkový olej	Slunečnicový olej	Lněný olej	Sójový olej	Podzemnicový olej	Jatrofiový olej
Hustota při 15°C	kg.m ⁻³	920	927	935	934	925	919
Kinematická viskozita při 20°C	mm ² .s ⁻¹	97,7	65,8	51	63,5	84,3	50
Bod zákalu	°C	- 2	- 16 až - 18	-18 až -27	-8 až -18	-2 až -3	-
Bod vzplanutí	°C	317	316	-	330	333	240
Spalné teplo	MJ.kg ⁻¹	40,6	39,8	39,8	39,7	40	42

4.1.1 Způsoby použití rostlinných olejů ve vznětových motorech

V běžném vznětovém motoru je spalování rostlinných olejů poměrně problematické. Pro praktické využití je tedy vhodnější použít rostlinné oleje k výrobě methylesterů mastných kyselin (FAME), které lze spalovat i v neupravených motorech. Provoz vozidla na RO je také možný, ale k překlenutí základních obtíží je nutno použít buď speciální duotermický motor, nebo upravit stávající na dvoupalivový. [17, 7]

Elsbettův duotermický motor je chlazený pouze motorovým olejem a jeho písty mají dno vyrobené z litiny. V litinovém dně pístu je vytvořena kulová spalovací komora, jejíž stěna dosahuje teploty 550 až 650 °C, což zabezpečuje jinak obtížné odpaření kapiček vstříknutého oleje. Kvalitnějšímu rozprašení rostlinného oleje navíc napomáhá tangenciální vstřikování paliva do rozvířeného vzduchu jednou nebo dvěma tryskami. [7]

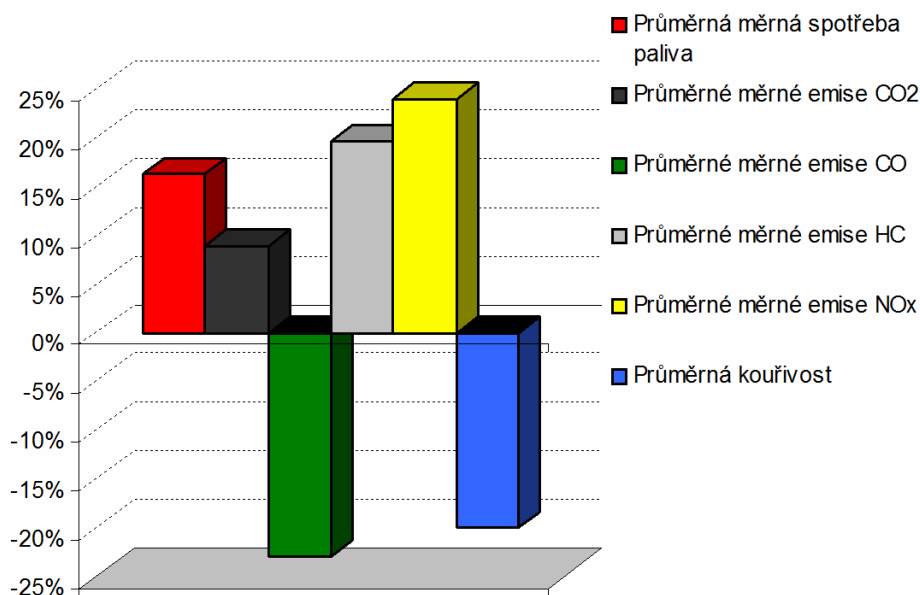
U dvoupalivového systému je vozidlo vybaveno dvěma oddělenými palivovými nádržemi, jednou na motorovou naftu a druhou na rostlinný olej. Olej je obvykle ohříván chladicí kapalinou ve výměníku. Pro dobrou funkci vstřikovací soustavy je nutné ohřát rostlinný olej na teplotu 70 až 80°C, tím je docíleno snížení jeho viskozity. Start motoru se realizuje většinou na motorovou naftu a k provozu na olej se přechází až po dosažení zmíněné teploty ve výměníku. Pro zkrácení doby provozu na naftu může být olej u některých systémů ohříván elektrickým topným tělesem. V dostatečném předstihu před zastavením motoru je nutné přejít opět ke spalování nafty, aby došlo k naplnění nízko i vysokotlaké části palivového systému naftou a nezůstal zde žádný rostlinný olej, který by tvořil úsady a znesnadňoval studený start motoru. [27, 7]

4.1.2 Vliv rostlinných olejů na obsah škodlivin ve spalínách

Traktorový vznětový motor Zetor 7701 má při spalování motorové nafty a řepkového oleje předeřátého na 80°C rozdílný obsah složek emisí. Navíc dochází ke zhoršení spotřeby o 16 % a výkonu o 5 %. Tento fakt způsobuje hlavně nižší výhřevnost rostlinného oleje. Průměrné hodnoty emisí daného motoru při provozu na řepkový olej a na naftu se nacházejí v tabulce 11. Tyto hodnoty jsou nejlepším ukazatelem ekonomické a ekologické zátěže způsobené běžným provozem motorového vozidla a mohou být mezi sebou snadno srovnávány. Grafické zobrazení změn obsahu škodlivin a spotřeby motoru se nalézá na obrázku 5. Hodnoty představují výsledek NRTC cyklu simulovaného počítačem z 16 bodů zatížení traktorového motoru. [7]

Tab. 11 Průměrné hodnoty produkce emisí motoru Zetor 7701 [7]

	Motorová Nafta	Řepkový olej	Změna
Průměrné měrné emise CO ₂ [g.kWh ⁻¹]	829,32	903,14	8,9 %
Průměrné měrné emise CO [g.kWh ⁻¹]	25,35	19,54	-22,9 %
Průměrné měrné emise HC [g.kWh ⁻¹]	0,157	0,188	19,7 %
Průměrné měrné emise NO _x [g.kWh ⁻¹]	6,55	8,12	24,0 %
Průměrná kouřivost [m ⁻¹]	0,04	0,032	-20,0 %

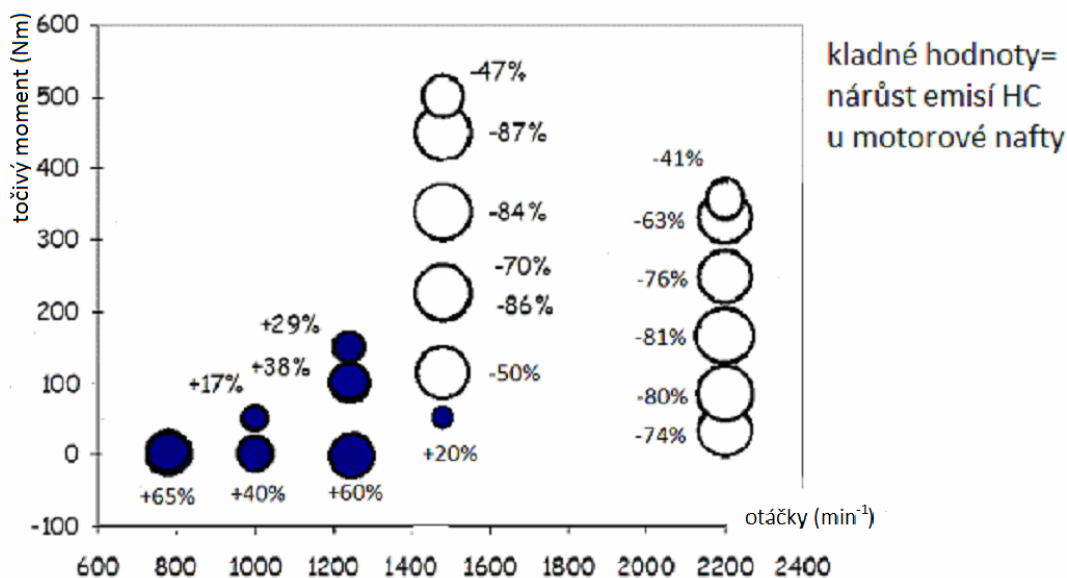


Obr. 5 Změny obsahu škodlivin a spotřeby motoru Zetor 7701 při spalování řepkového oleje ve srovnání s provozem na motorovou naftu [7]

Z hodnot je zřejmé, že použitím řepkového oleje dochází u daného motoru ke snížení obsahu oxidu uhelnatého a pevných částic, zatímco ostatní parametry se zhoršují. Z tohoto důvodu nelze konstatovat kladný či záporný vliv rostlinných olejů na emise škodlivin v běžném provozu. Průměrné hodnoty ovšem v sobě zahrnují i negativní vlivy chodu motoru v nízkých otáčkách. [7]

Spalování rostlinného oleje je totiž problematické zvláště v nízkých otáčkách, kdy se viskózní olej odpařuje obtížněji než nafta. Relativně velké množství paliva je pak spáleno neúplně a výrazně narůstají zejména emise nespálených uhlovodíků. Při středních a vyšších otáčkách a při plném zatížení je rychlost tvoření směsi paliva se vzduchem ovlivněna vířením náplně válce a čas mezi vstřikem paliva a jeho vznícením se mezi naftou a rostlinným olejem téměř neliší. [40]

Při měření emisí přeplňovaného traktorového motoru Zetor 1505 byly podrobněji zkoumány výsledky při jednotlivých zatíženích a otáčkách. Na motoru byl při testování instalován dvoupalivový systém s ohřevem řepkového oleje na 70°C. Použitím rostlinného oleje poklesl výkon motoru o 10 % a narostly škodliviny ve výfukových plynech v nízkých otáčkách. Při vyšších otáčkách a při vyšším zatížení vyházejí emise u řepkového oleje nižší než u nafty. Ukázkou je obrázek 4, kde jsou zobrazeny emise HC. Prázdné kruhy v grafu znamenají snížení emisí HC ve srovnání s motorovou naftou. Výsledné hodnoty emisí u osmibodového NRSC testu motoru Zetor 1505 poukazují na zlepšení produkce škodlivin v oblasti středních a vyšších zatížení viz. tabulka 12. [17]



Obr. 6 Změna emisí uhlovodíků z řepkového oleje v porovnání s motorovou naftou při spalování v motoru Zetor 1505 [40]

Tab. 12 Souhrnné hodnoty emisí motoru Zetor 1505 při testu NRSC [17]

Emise (g.kWh ⁻¹)	Motorová nafta	Řepkový olej	Změna
CO	1,38	1,35	- 2 %
HC	0,49	0,17	- 65 %
NO _x	3,37	3,54	+ 5 %
HC + NO _x	3,86	3,71	-4 %
PM	0,33	0,24	-29 %

Souhrnně lze konstatovat, že rostlinné oleje nemají stejný vliv na emise rozdílných motorů. Spalováním RO v motorech Zetor, Avia, Ford a Volkswagen nastávají následující změny proti spalování motorové nafty:

- Spotřeba paliva a emise CO₂ jsou vyšší než při provozu na naftu.
- Emise NO_x klesají na všech motorech při nízkých otáčkách. Při vyšších otáčkách a zatížení vycházejí lépe u motorů Ford, Avia a Volkswagen.
- Hodnoty emisí PM, HC a CO výrazně narůstají v nízkých otáčkách.
- Ve vyšších otáčkách a zatížení naopak hodnoty emisí CO, HC a PM výrazně klesají u motorů Avia a Zetor. U ostatních motorů dochází ke snížení množství pevných částic a v případě HC a CO se projevy liší dle typu motoru.
- U oxidačních katalyzátorů vozidel Volkswagen je zjištěna o 10 % vyšší účinnost ve srovnání se spalováním motorové nafty.
- Měření neregulovaných plynných emisí poukazují na vyšší podíl NO₂ v NO_x a na vyšší zastoupení formaldehydu a etylenu v organických látkách, naopak nebyly zaznamenány významné koncentrace akroleinu ani aromatických látek. [17]

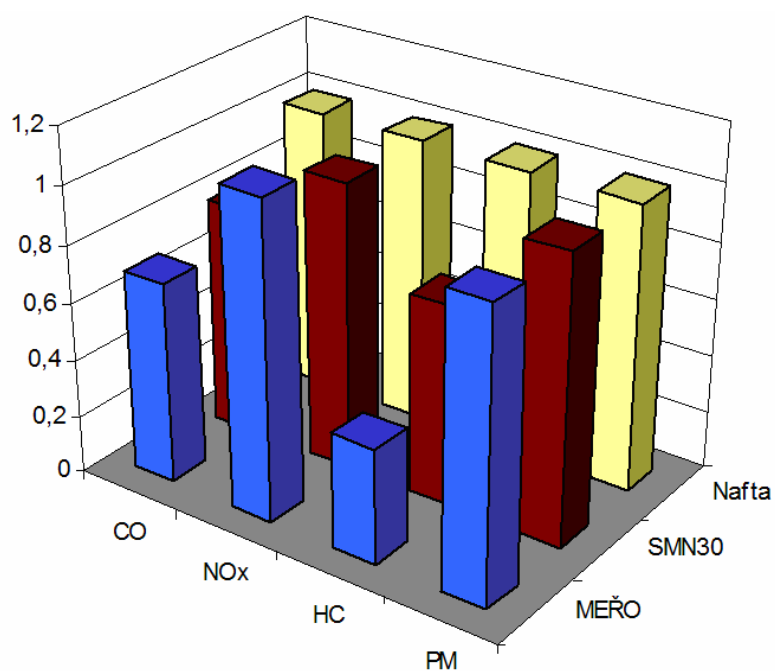
4.2 Emise motoru vznikající při spalování bionafty

Bionafta neboli methylestery mastných kyselin jsou vhodným palivem pro vznětové motory. Jejich hustota a cetanové číslo jsou podobné jako u klasické minerální motorové nafty, i když se jejich chemické složení odlišuje. Vlastnosti v Evropě nejpoužívanějších methylesterů kyselin řepkového oleje a motorové nafty lze odečíst z tabulky 9. Hodnota cetanového čísla MEŘO dokazuje bezproblémovou vznětlivost, nevýhodou je naopak větší viskozita proti naftě. Menší výhřevnost způsobuje vyšší spotřebu u tohoto biopaliva. [38]

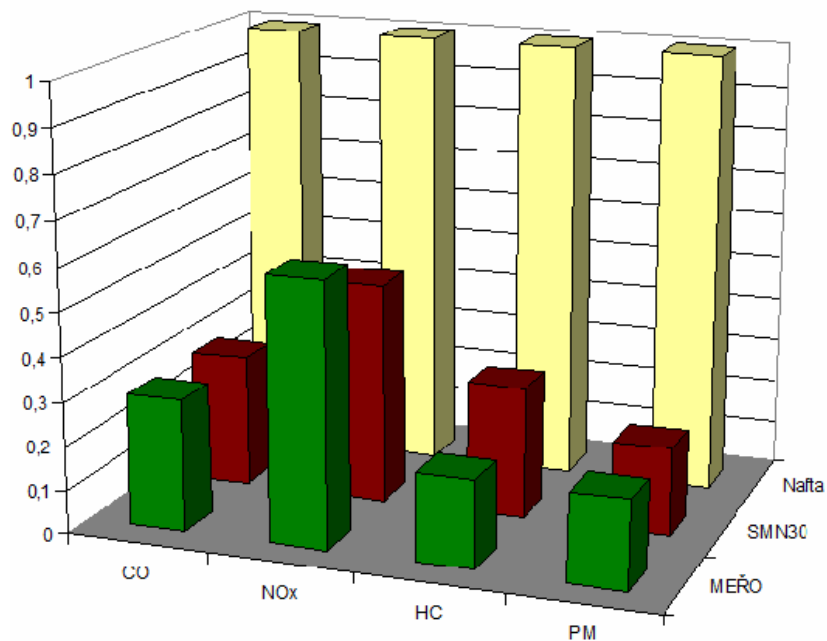
MEŘO má také vyšší bod vzplanutí, který je důležitý z hlediska bezpečného zacházení s palivem. Praktickou výhodou je skutečnost, že má dobré mazací vlastnosti a hlavně neomezenou mísitelnost s motorovou naftou. Tím vzniká prostor pro výrobu směsné bionafty. Další výhodou bionafty v ekologickém hledisku je její velmi dobrá biologická odbouratelnost. Udává se okolo 98 % za 21 dní. Na druhou stranu to však znamená problematictější dlouhodobé skladování. [11, 38]

Aplikaci biopaliv v dopravě se věnoval také výzkumný program Auto-Oil II organizovaný v rámci Evropské komise. Zpráva obsahuje data o emisích z motorů osobních a nákladních vozidel a autobusů při použití standardních i alternativních paliv. [38]

Z experimentálních měření obsahu škodlivých složek ve výfukových plynech různých vozidel byly stanoveny průměrné emise pro jednotlivé škodliviny u vozidel emisních kategorií EURO 2 až EURO 4. Získané relativní emisní faktory paliv pro nákladní automobily jsou v grafech na obr. 7 a 8. Emisní faktory jsou v tomto případě relativní čísla vypočtená poměrem hodnot emisí měřeného paliva a hodnot daných předpisy pro motorovou naftu, proto má nafta emisní faktor roven jedné. U směsné nafty SMN30, která je v ČR nejrozšířenějším biopalivem pro vznětové motory, stojí za povšimnutí zvláště pokles množství emisí u motorů splňujících normy EURO 4. To dokazuje, že zařízení pro snižování škodlivých emisí pracují ve srovnání s motorovou naftou efektivněji při spalování bionafty. [38]



Obr. 7 Relativní emisní faktory regulovaných škodlivin pro nákladní vozidla splňující normy EURO 2 [38]



Obr. 8 Relativní emisní faktory regulovaných škodlivin pro nákladní vozidla splňující normy EURO 4 [38]

Z hlediska produkovaného množství neregulovaných emisí má hodnotné informace výzkum provedený v USA. Výsledky měření toxických nelimitovaných emisí při přimíchání 20 % bionafty do motorové nafty nebo při použití čisté bionafty ve vznětovém motoru udává tabulka 13. Testované motory nebyly vybaveny EGR systémy ani filtry pevných částic, tudíž lze přepokládat ještě větší snížení emisí, pokud by daná paliva byla použita u motorů splňujících předpisy EURO 5. [18]

Tab. 13 Změny jedovatých složek obsažených ve výfukových plynech vznětových motorů ve srovnání s motorovou naftou [18]

Škodlivina	20 % směs bionafty	100 % bionafta
Acetyldehyd	-7,10 %	-14,40 %
Akrolein	-1,50 %	-8,50 %
Benzen	16,50 %	-0,80 %
Etylbenzen	-44,90 %	-61,00 %
Formaldehyd	-7,80 %	-15,10 %
Naftalen	-13,80 %	-26,70 %
Toluen	19,90 %	13,30 %
Xylen	-12,30 %	-39,50 %

Je možno konstatovat, že použití paliva složeného z 20 až 30 % bionafty, přináší určitou úsporu emisí škodlivin, ale především lze takové biopalivo bez větších problémů použít v běžných vznětových motorech bez nutnosti úpravy motoru a palivového systému. Směsná bionafta vykazuje z provozního hlediska téměř shodné parametry s motorovou naftou a běžný provozovatel motorového vozidla ani rozdíl nezaregistruje. [38, 18]

4.3 Emise motoru vznikající při spalování bioethanolu

Bioethanol jako palivo se díky svým vlastnostem používá častěji v zážehových motorech, kde s jeho aplikací nejsou zásadní problémy. Použití bioethanolu ve vznětových motorech je také možné, i když naráží na více problémů. Prvním problémem je nízké cetanové číslo, což znamená špatnou vznětlivost paliva. Dále je to snížená mazací schopnost ethanolu a ještě je nutno zmínit nízkou výhřevnost. Existuje hned několik možností, jak využít bioethanol ve vznětových motorech. [8]

První možností je přimíchávání biolihu do motorové nafty. Tuto možnost omezuje obtížná mísitelnost nafty a lihu, kdy navíc oddělování fází vzniklé směsi výrazně napomáhá přítomnost vody v palivu a nízká teplota. Přidáním vhodných aditiv lze separaci složek omezit. [9]

Další varianta využívá dvoupalivový systém s odděleným přívodem paliv do spalovacího prostoru. Lze použít vstřikování bioethanolu do spalovacího prostoru samostatným vstřikovačem současně se vstřikem zapalovací dávky motorové nafty druhým vstřikovačem. Případně může být do válce nasávána směs biolihu se vzduchem, jako je tomu u zážehových motorů. Vlastní zapálení směsi se i v tomto případě provádí vstříknutím malé dávky nafty. [9]

Třetí způsob představuje výrobu ethylesterů řepkového oleje (EEŘO), kde je v podstatě bioethanolem nahrazen methanol při výrobě MEŘO. Musí ovšem dojít k úpravě technologie esterifikace. Vlastnosti EEŘO a MEŘO se příliš neliší a uplatnění EEŘO brání hlavně vyšší výrobní náklady. [25]

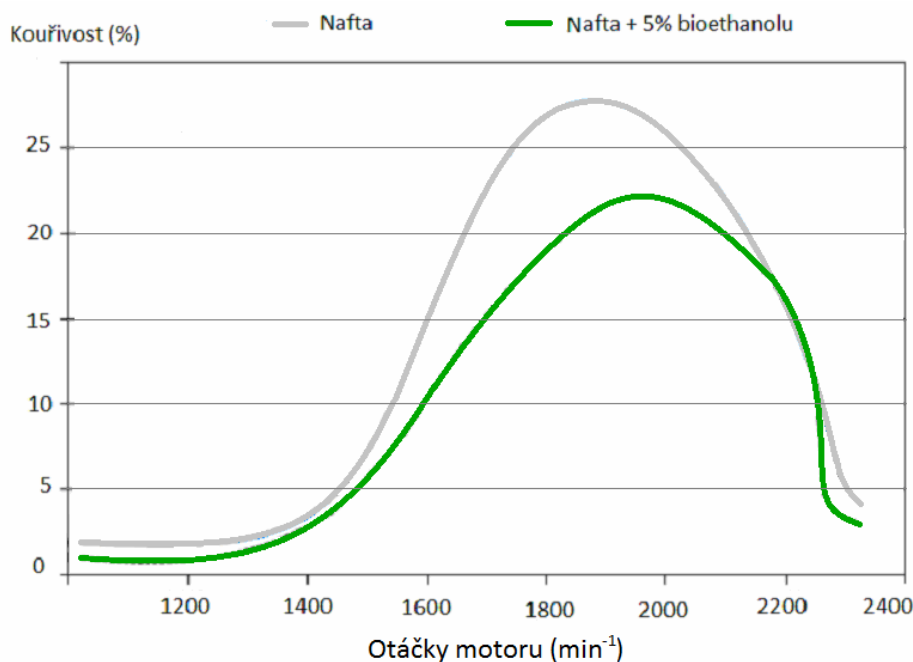
Poslední variantou využití bioethanolu jako paliva pro vznětové motory představuje vysokoprocentní ethanolové palivo E95, které je sice nejrozšířenější, ale je distribuováno do uzavřených provozů. E95 se skládá z cca 95 % bioethanolu a 5 % přísady AVOCET. Tato přísada upravuje především vznětlivost paliva. I přes výraznou aditivaci nelze palivo E95 spalovat v běžných vznětových motorech a je potřeba provést jejich úpravu, která spočívá ve

zvýšení kompresního poměru na 25:1 a více a ve změně dimenzování vstřikovacího systému. Ta je nutná vzhledem k nízké výhřevnosti ethanolu. [9, 25]

4.3.1 Emise směsi bioethanolu s naftou

Směs biolihu a nafty představuje způsob, jak snížit emise bez dodatečných úprav motoru. Již zmíněný problém se stabilitou směsi lze zmírnit přidáním butanolu, nicméně vzniklou směs není možné doporučit pro provoz při nízkých teplotách. Největší poměrný efekt přináší přidání 5 % ethanolu zejména z pohledu uhlíkatých emisí (CO, HC, PM). Vyšší procento již tak výrazné změny nepřináší. Zároveň je nutné vzít v úvahu skutečnost, že větší množství ethanolu snižuje mazací schopnost paliva a tím následně zvyšuje opotřebení vstřikovacího čerpadla. V běžné praxi se proto nedá počítat s větším než 15 % přidáním ethanolu. [8]

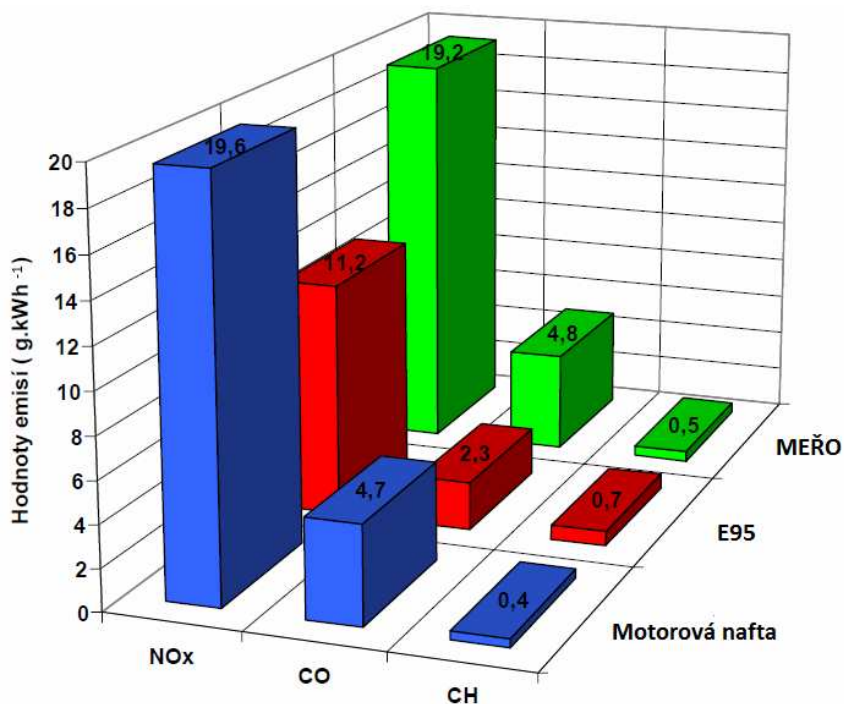
U motoru Zetor 7701 měla aplikace směsi 5 % bioethanolu s naftou pozitivní vliv na složení spalin. Získané hodnoty emisí představují výsledky pro NRTC cyklus. U směsného paliva sice došlo k poklesu točivého momentu o 2 až 3 %, ale spalování směsi 95 % nafty a 5% biolihu vykazovalo o 22,5 % nižší kouřivost, o 14 % nižší obsah uhlovodíků, množství CO pokleslo o 10,7 % a oxidy dusíku o 7 %. Průběh změny kouřivosti motoru ukazuje obrázek 9. Přidání 5 % bioethanolu do motorové nafty tedy přináší zajímavé výsledky v oblasti emisí a nepatrnou změnu výkonu vznětového motoru. [8, 12]



Obr. 9 Změna kouřivosti motoru Zetor 7701 při spalování směsi bioethanolu s naftou [8]

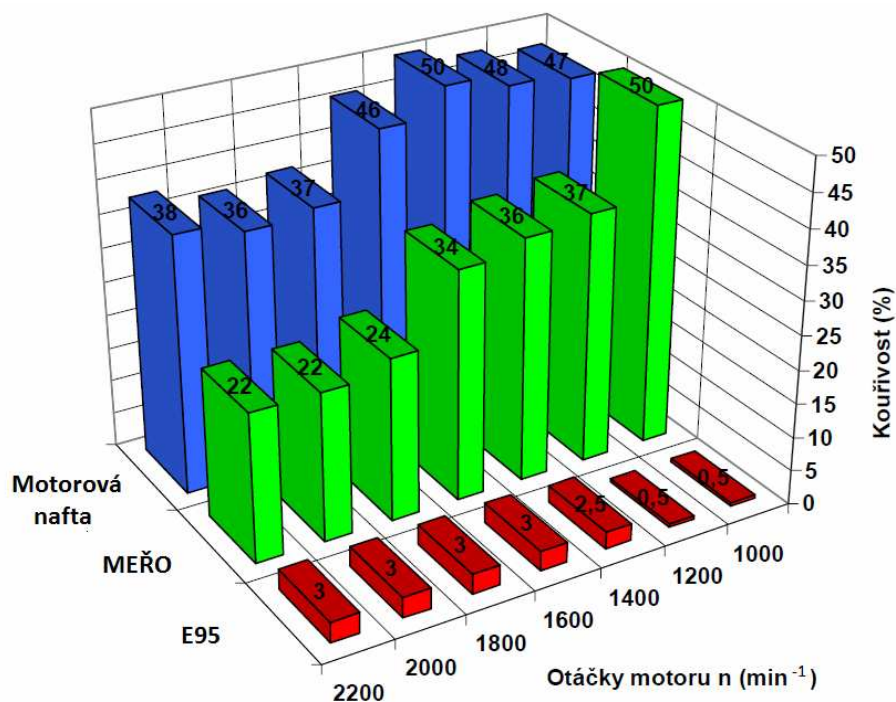
4.3.2 Emise paliva E95

Provoz vznětovém motoru Zetor 7701 prokazuje výrazné snížení emisí při použití bioethanolového paliva E95. Porovnání emisí nafty, E95 a MEŘO zobrazují obrázky 10 a 11. U paliva E95 jsou emise oxidu uhličitého přibližně poloviční, obsah NO_x ve spalinách poklesl o 43 %, ale nespálené uhlovodíky vůči motorové naftě narostly o 57 %. Během testování byla navíc zjištěna minimální kouřivost motoru při spalování bioethanolu. [25]



Obr. 10 Porovnání emisí motorové nafty, E95 a MEŘO spalovaných v Zetoru 7701 [25]

Bioethanol E95 je tedy možné použít i ve vznětových motorech a dosáhnout tím zmenšení množství škodlivin ve výfukových plynech. Při doplnění vznětových motorů přestavěných na palivo E95 o oxidační katalyzátor dojde k odstranění většiny CO a nespálených HC ze spalin. U moderních motorů splňujících současné normy lze tedy očekávat výrazně lepší složení emisí. [9]



Obr. 11 Hodnoty kouřivosti pro motorovou naftu a biopaliva [11]

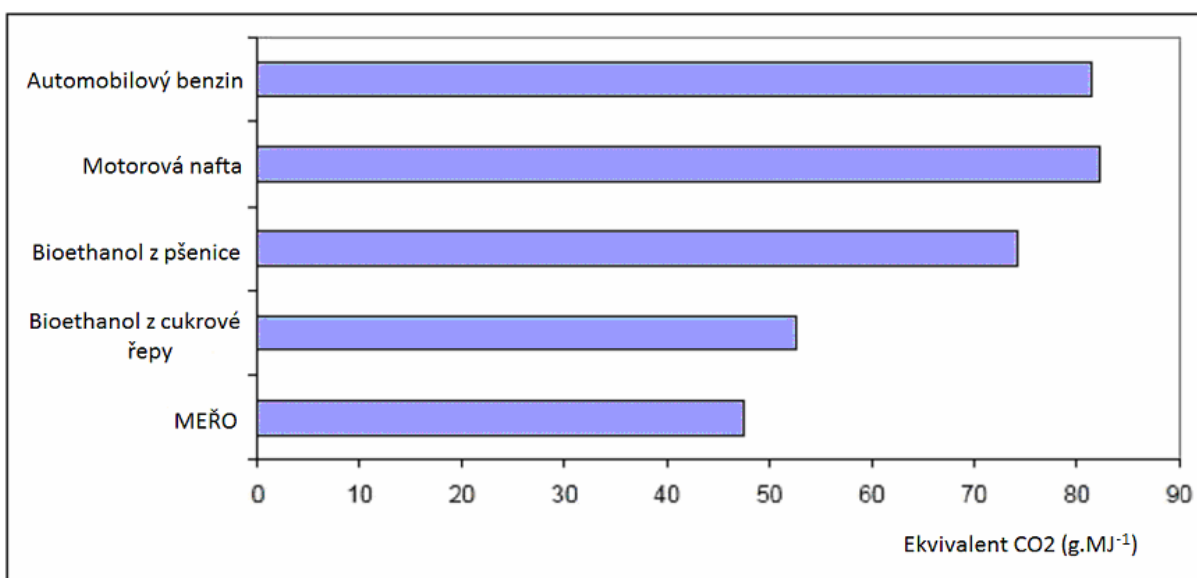
4.4 Analýza životního cyklu biopaliv z hlediska produkce skleníkových plynů

Produkce skleníkových plynů (GHG) zvláště CO₂ může být u biopaliv stanovena několika způsoby. Asi nejsnazší je prohlásit, že při spalování biogenních paliv vzniká tolik CO₂, kolik bylo dříve odebráno ze vzduchu při pěstování zdrojových rostlin. Dále je možno změřit přesné množství kyslíčnatého uhlíkatého při spalování a výsledek porovnat s ropnými palivy. Zde se ovšem nezohledňuje oxid uhličitý odčerpaný ze vzduchu při růstu rostlin, ani N₂O vznikající v důsledku použití dusíkatých hnojiv. [38, 26]

Nejvíce vypovídající je určení množství skleníkových plynů vznikajících při použití biogenních paliv kombinací předchozích možností, zahrnující navíc výrobu a distribuci biopaliv. Tato metoda se označuje jako analýza životního cyklu (LCA). Pro paliva v dopravě se používá analýza well-to-wheels (WTW), která je rozložena na dvě části. První část well-to-tank (WTT) zahrnuje pěstování plodin, výrobu a rafinaci biopaliv a jejich následnou distribuci až po čerpání do nádrží vozidel. Druhá polovina analýzy tank-to-wheels (TTW) hodnotí vznik skleníkových plynů při konečné spotřebě paliva ve vozidle. [38, 28, 26]

Nutno podotknout, že CO₂ není jediný skleníkový plyn a N₂O či methan mají dokonce výraznější účinky, ale jejich produkované množství je mnohem nižší. Ostatní GHG plyny mají na tvorbu skleníkového efektu skoro stejný podíl jako má oxid uhličitý, proto se pro definování výsledného vlivu používá přepočítání na ekvivalent CO₂. [38, 26]

Výsledná bilance u každého druhu biopaliva se mění v závislosti na vhodnosti pěstované plodiny pro daný region a na technologiích výroby. Analýza životního cyklu motorových paliv pro ČR byla provedena na vozidlech Škoda Fabia. Jedno vozidlo mělo přeplňovaný vznětový motor 1.4TDi a druhé bylo vybaveno zážehovým motorem o zdvihovém objemu 1,4 litru. Byla porovnávána kapalná paliva fosilní a biopaliva I. generace. Testovaná biogenní paliva vykázala největší produkci GHG plynů při výrobě. Emise skleníkových plynů přepočtené na ekvivalent CO₂ WTW analýzy kapalných motorových paliv ukazuje graf na obrázku 12. Z grafu je zřejmé, že pro české poměry je z hlediska tvorby GHG plynů nejvhodnější používat jako palivo methylestery řepkového oleje. [39]



Obr. 12 Emise skleníkových plynů přepočtených na ekvivalent CO₂ WTW analýzy [39]

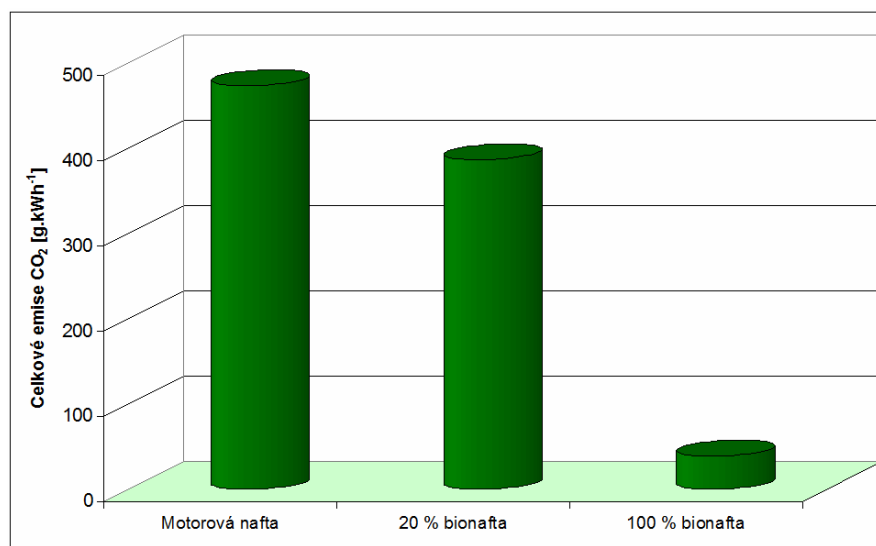
Úspora v produkci skleníkových plynů značně závisí na způsobu zpracování biopaliv, na využití vedlejších produktů výroby a také na použitém množství dusíkatých hnojiv při pěstování plodin a s tím související vznik N₂O. Příkladem snížení GHG plynů v cyklu bioethanolu může být využití lihovarských výpalků a slámy na výrobu bioplynu nebo spalování slámy v kogenerační jednotce. V cyklu MEŘO je zase vhodné využít řepkové šrotky pro přímé spalování, případně pro výrobu bioplynu. [38, 25, 24]

Příloha V směrnice 2009/28/ES uvádí standardní úspory skleníkových plynů u různých biopaliv vyráběných technologiemi s rozdílným využitím surovin. V tabulce 14 je vypsáno několik z nich zvolených biopaliv. Vyšších hodnot úspory GHG plynů lze očekávat při přechodu k biopalivům II. generace, kde zdrojem nejsou potravinářské plodiny, ale energetické rostliny nebo odpadní biomasa. [38, 25, 36]

Tab. 14 Standardní úspory skleníkových plynů u vybraných biopaliv [36]

Palivo	Úspora skleníkových plynů
Ethanol z řepy cukrové	52%
Ethanol z pšenice	16%
Ethanol z pšenice (sláma jako procesní palivo v kogenerační jednotce)	69%
Bionafta z řepkového semene	38%
Bionafta ze slunečnice	51%
Bionafta z odpadního rostlinného oleje	83%
Čistý rostlinný olej z řepkového semene	57%
Ethanol z pšeničné slámy	85%
Methanol z odpadního dřeva	94%

Z hlediska využití odpadu může být zajímavá i výroba bionafty z použitého rostlinného oleje. Do životního cyklu takové bionafty se nezapočítává výroba oleje, protože tato část spadá do potravinářského řetězce. V podstatě se jedná o velmi efektivní způsob likvidace odpadního oleje. Analýzy životního cyklu methylesterů kyselin použitého fritovacího oleje, zaměřené na vznik skleníkových plynů, ukazují úsporu přesahující 90 % emisí CO₂ a N₂O. U emisí methanu dochází k poklesu o více než 80 %. Graf na obrázku 13 ukazuje emise CO₂ u čisté bionafty z fritovacího oleje, motorové nafty a nafty s příměsí 20 % methylesterů kyselin fritovacího oleje. Použití biopaliv z použitého fritovacího oleje sice přináší výrazné snížení emisí GHG z životního cyklu paliv, avšak nelze jimi pokrýt výraznější podíl spotřeby pohonných hmot v dopravě a mohou tedy sloužit pouze jako doplněk celkové spotřeby biopaliv. [33, 10]



Obr. 13 Porovnání emisí CO₂ v životním cyklu motorové nafty, čisté bionafty z fritovacího oleje a 20 % bionafty [33]

4.5 Shrnutí vlivu biopaliv na emise vznětového motoru

Posouzení vlivu rostlinných olejů na emise je poněkud složitější. Zde hraje významnou roli nejen konstrukce motoru, ale také režim v jakém je motor provozován. Na celkové emise vozidel u nichž se během jízdy mění otáčky i zatížení, například automobily v městském provozu, mají rostlinné oleje sporný vliv. V nízkých otáčkách totiž dochází vlivem nedokonalého spalování k nadměrné produkci pevných částic, oxidu uhelnatého i nespálených uhlovodíků. Se stoupajícími otáčkami a při vyšším zatížení se stává spalování rostlinných olejů efektivní, a tak motory uvolňují méně pevných částic, než kdyby spalovaly motorovou naftu. Vliv rostlinných olejů na plynné složky emisí se mění u různých typů vozidel, ale vozidla vybavená oxidačním katalyzátorem vykazují vyšší účinnost odbourávání spalin, než když jezdí na motorovou naftu. Vzhledem k této skutečnosti je vhodnější používat rostlinné oleje pouze v motorech pracujících delší dobu pod zatížením a ve vyšším spektru otáček.

V případě aplikace bionafty velmi záleží na druhu oleje z jakého byla bionafta vyrobena a na technické úrovni motoru a systémů pro snižování emisí. Použitím čisté bionafty z řepkového oleje u starších typů motorů dochází převážně ke snížení emisí nespálených uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého. Oxidy dusíku většinou narůstají a změna množství pevných částic je nevýznamná. U některých motorů se při přechodu na MEŘO významné změny ve složení spalin téměř neprojeví.

Naopak moderní motory, schopné plnit emisní normy Euro 4 a Euro 5, dokáží odbourávat nežádoucí složky spalin bionafty účinněji, než je tomu v případě motorové nafty. Například u methylesterů kyselin řepkového oleje dochází k redukci všech základních škodlivých složek. Z porovnání se směsnou bionaftou SMN30 lze zjistit, že kromě snížení HC nepřináší u moderních motorů vyšší obsah MEŘO v naftě výraznou redukci škodlivin.

Z biopaliv hodnocených v této práci dochází k nejvýraznějšímu snížení škodlivých emisí u bioethanolu. Při spalování paliva E95 sice vzrůstá podíl nespálených uhlovodíků, ale je zásadně redukován obsah oxidů dusíku, oxidu uhelnatého a především pevných částic. Velmi efektivní se zdá být i přidání 5 % bioethanolu do nafty, kdy tato směs vykazuje snížení obsahu všech základních škodlivin ve výfukových plynech v rozsahu 5 až 20%.

Z pohledu redukování emisí je možno konstatovat, že vliv konstrukce pohonné jednotky a zařízení sloužících k úpravě složení výfukových plynů je mnohem větší, než je vliv paliva odlišného složení ať už biopaliva nebo jiného alternativního paliva. [38]

Při posuzování vlivu biopaliv na celkové emise skleníkových plynů (GHG) je nutno použít analýzu životního cyklu vybraného paliva. Nejvíce zde záleží na zdrojové surovině a na způsobu využití vedlejších produktů. V ČR nejrozšířenější methylestery řepkového oleje vykazují při standardním způsobu výroby úsporu okolo 40 % skleníkových plynů, bioethanol z cukrové řepy přes 50 % a čistý řepkový olej přes 55 %. Pokud by byla pro výrobu bioethanolu použita sláma, jako vedlejší produkt potravinářského obilí, došlo by k redukování produkce 85 % GHG plynů. Mezi paliva s nejnižším vznikem skleníkových plynů během jejich životního cyklu patří bionafta z použitého fritovacího oleje. U toho paliva může být docílena úspora až 91 % GHG.

4.6 Komplikace vznikající s užitím kapalných biopaliv

4.6.1 Problematika použití rostlinných olejů

Rostlinné oleje se liší od nafty rozdílným složením a vlastnostmi znesnadňujícími jednoduchou náhradu motorové nafty. Pro palivářské použití je nutné konkrétně řepkový olej rafinovat, aby se docílila chemická i fyzikální čistota. Tím se zamezí vzniku popelných úsad ve spalovacím prostoru i ve výfukovém systému vozidla. Největším problémem je viskozita, která je o řád vyšší při 20°C a při nízkých teplotách je až stonásobná. Ta spolu s nižším povrchovým napětím způsobuje problematické rozprašení paliva. Navíc má řepkový olej vyšší bod vzplanutí i teplotu počátku destilace. [17, 29]

Díky těmto skutečnostem dochází k nedokonalému spalování směsi paliva a vzduchu zvláště v režimu nízkých otáček nebo u studeného motoru. Rostlinný olej pak ulpívá na povrchu válce a pístu a dostává se do mazacího oleje. [17]

Při provozu motoru na rostlinné oleje vznikají následující obtíže:

- problematické startování a nepravidelný chod v zimním období,
- horší filtrovatelnost zvláště při nízkých teplotách,
- vyšší spotřeba paliva,
- zapékání pístních kroužků a poškozování pístní skupiny,
- tvorba úsad v palivovém systému i uvnitř motoru,
- znehodnocování motorového oleje kvůli polymeraci vniklého nespáleného paliva.

Pro zmírnění negativních účinků řepkového oleje se aplikuje několik opatření. Nejčastější je ohřev paliva na 70 až 80°C. Další používané konstrukční prvky jsou vstřikovací trysky s více otvory, vysokotlaké vstřikování, dvoupalivová soustava využívající naftu ke startování motoru, zvýšení kompresního poměru, instalace více vstřikovačů a častější výměna motorového oleje. Adekvátní je konstruovat motor přímo na spalování RO. V provozu je přesto nutné počítat s kratším intervalem údržby palivové nádrže a výměny palivového filtru i motorového oleje. [27, 7]

4.6.2 Problematika použití MEŘO

Provoz na MEŘO přináší proti RO méně problémů, přesto není přechod od motorové nafty bezproblémový. Na druhou stranu výhodou MEŘO i řepkového oleje je vyšší mazivost. Z technických problémů při použití čisté bionafty lze vyjmenovat:

- tendence ředit motorový olej, zvláště při nízkých teplotách a nízkých otáčkách,
- vyšší agresivita vůči pryžovým hadicím a těsněním, vznik koroze,
- horší chladové vlastnosti neaditivované bionafty,
- poškozování vstřikovacích čerpadel, případně jejich zalepování,
- náchylnost k tvorbě úsad v motoru a ucpávání palivových trysek.

Díky dokonalé mísitelnosti s motorovou naftou se většina problémů nechá odstranit použitím směsné bionafty SMN30, která má podobné parametry jako motorová nafta. V tomto případě v podstatě stačí, když mají motory palivovou soustavu odolnou vůči působení MEŘO. Doporučeno je také častěji vyměňovat motorový olej. Z pohledu paliva je nezbytné, aby splňovalo normu, tedy aby pro výrobu SMN30 bylo použité MEŘO v požadované čistotě. [11, 38]

4.6.3 Problematika použití bioethanolu

Značnou výhodou aplikování biopaliva vyrobeného z ethanolu je lepší provoz v zimních měsících. U tohoto paliva totiž nedochází ke ztrátě filtrovatelnosti v mrazech, které se v ČR vyskytují. Kvůli nízké výhřevnosti biolihu je však nutné upravit palivovou soustavu na větší dodávku paliva a zajistit její odolnost vůči korozivnímu působení ethanolu. Nízkou vznětlivost paliva lze upravit dostatečnou aditivací a zvětšením kompresního poměru motoru na 25:1 a více. [9, 8]

Při distribuci a skladování biogenních pohonných hmot je nutné brát zřetel na jejich tendenci k napadání těsnících materiálů a korozivnost, kvůli které dochází k poškozování zařízení. Naopak nízká oxidační stabilita, hygroskopičnost a napadání mikroorganismy klade zvýšené nároky na čistotu a vzduchotěsnost přepravních i skladovacích nádrží. [38]

5. Závěr

Analýzou vlivu různých biopaliv I. generace na emise vznětového motoru a posouzením problematiky vzniku skleníkových plynů bylo zjištěno, že použití biopaliv může přinést ekologický benefit jen za určitých podmínek. Aby pohonné hmoty z přírodních zdrojů umožnily šetřit neobnovitelné zdroje, je bezpodmínečně nutný větší energetický zisk ze spalování, než je množství energie vynaložené na jejich výrobu. Navíc kapalná paliva vyráběná z potravinářských surovin nemají dostatečný potenciál pro pokrytí významného podílu spotřeby energií v dopravě.

Všechna posuzovaná biopaliva dokáží splnit podmínku úspory skleníkových plynů ve výši stanovené legislativou, která v současné době činí minimálně 35 %. V tomto ohledu by bioethanol neměl být produkován z pšenice standardním způsobem. V České republice je tedy vhodnější vyrábět jej z cukrové řepy. Mezi pohonné hmoty s nejvyšší úsporou skleníkových plynů během celého životního cyklu patří bionafta z použitého fritovacího oleje a bioethanol z obilné slámy. Proto by bylo vhodné začít více využívat i tato paliva.

Ze srovnání s motorovou naftou vyplývá, že rostlinné oleje jsou pro běžný provoz nevyhovující, neboť způsobují množství problémů i po instalaci přehřívání paliva. Jejich průměrné emise se liší od emisí nafty v jednotlivých složkách, ale celkově nemají pozitivní přínos. Uplatnění rostlinných olejů lze nalézt především v motorech kamionů, lodí, lokomotiv a dálkových autobusů, ve kterých je umožněno spalování paliva v režimu vyšších otáček motoru a se stálým zatížením. Pak vykazují jejich výfukové plyny nižší obsah škodlivin.

Vhodnější je z olejů vyrobit methylestery mastných kyselin, které jsou z provozního hlediska naftě podobnější a způsobují méně problémů. Nejrozumnější je namíchat z methylesterů a motorové nafty směsnou bionaftu SMN30. Takové palivo je svými parametry téměř shodné s motorovou naftou a pokud výrobci motoru použijí v palivovém systému dostatečně odolné pryže, není třeba motor upravovat. Též provozní problémy typické pro MEŘO vznikají v mnohem menší míře. Z pohledu emisí vykazuje směsná bionafta, ve srovnání s motorovou naftou, snížení obsahu všech základních škodlivin výfukových plynů u motorů vybavených systémy pro dodatečnou úpravu spalin.

Nejvýraznější vliv na složení spalin má bioethanol. Směs 5 % biolihu s motorovou naftou je schopna redukovat všechny hlavní emise, především pevné částice. Použití takového paliva nevyžaduje úpravu motoru, je však potřeba vyřešit stabilitu dané směsi. Podíl biosložky je však příliš malý pro efektivní šetření fosilních paliv. Bioethanolové palivo E95 dokáže snížit kromě uhlovodíků všechny ostatní emise vznětového motoru. U pevných částic dochází dokonce k poklesu o více než 90 %. Podmínkou pro použití paliva E95 je přestavba motoru v takovém rozsahu, že již neumožňuje použití motorové nafty.

Pro efektivní aplikování biopaliv a snížení emisí je nutné počítat s použitím zvoleného biopaliva již v konstrukci motoru a použít vhodná zařízení pro snižování emisí škodlivin, která dokáží pracovat s biogenními palivy účinněji než s motorovou naftou. Stupeň technologie motoru má mnohem větší vliv na emise, než druh použitého paliva.

Pro krátkodobý horizont by bylo vhodné používat ve vznětových motorech již rozšířenou směsnou bionaftu SMN30. V případě, že si provozovatelé mohou dovolit pořídit speciální motor, lze aplikovat bioethanol E95. V budoucnu je třeba se zaměřit na hledání nových rostlin, ze kterých je možné vyrábět bionaftu a které nekonkurují potravinářským plodinám. Pro zvýšení efektivity výroby bioethanolu je třeba využít vedlejší produkty potravinářské výroby.

Seznam použité literatury

- [1] ADAMEC, V. a kol.: *Doprava, zdraví a životní prostředí*. Praha: Grada Publishing a.s., 2008, 176 s., ISBN 978-80-247-2156-9
- [2] ASWANI, K., SATYWATI, S.: An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. *Industrial Crops and Products*, Volume 28, Issue 1, July 2008, Pages 1-10, ISSN 0926-6690
- [3] BARTOVSKÝ, T. *Analyzátory emisí*. Praha: Vuste, 1994. 160 s.
- [4] BAUER, F.; SEDLÁK, P.; ŠMERDA, T.: *Traktory*, Praha: Profi Press, 2006, 192 s., ISBN 80-86726-15-0
- [5] HÖNIG, V.; ŠMIDRKAL, J.; FILIP, V.; BĚLOHLAV, Z.; ZÁMOSTNÝ, P.: *Současný stav a perspektivy využití rostlinných olejů*. *Chemicke listy*, 2008, roč. 102, č. 11, s. 984 - 991. ISSN: 0009-2770.
- [6] HROMÁDKO, J. a kol.: *Spalovací motory*. Praha: Grada Publishing a.s., 2011, 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0
- [7] HROMÁDKO, J.; HÖNIG, V.; HROMÁDKO, J.; MILER, P.; KRUPÍČKA, J.: *Analýza škodlivých emisí vznětového motoru při provozu na rostlinný olej*. *Chemagazín*, 2010, roč. 20, č. 1, s. 18 - 20. ISSN: 1210-7409
- [8] HROMÁDKO, J.; HÖNIG, V.; HROMÁDKO, J.; MILER, P.; SCHWARZKOPF, M.: *Využití etanolu ve vznětových motorech*. *Listy cukrovarnické a řepařské*, 2009, roč. 125, č. 1, s. 24 - 27. ISSN: 1210-3306.
- [9] HROMÁDKO, J.; HROMÁDKO, J.; MILER, P.; ŠTĚRBA, P.: *Využití paliva E95 ve vznětových motorech*. *Listy cukrovarnické a řepařské*, 2011, roč. 127, č. 2, s. 63 - 66. ISSN: 1210-3306.
- [10] CHUA, C. B. H.; LEE, H. M.; LOW, J. S. C.: Life cycle emissions and energy study of biodiesel derived from waste cooking oil and diesel in singapore. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Singapore: Singapore Institute of Manufacturing Technology, 2010, s. 417-423. doi:10.1007/s11367-010-0166-5
- [11] KÁRA, J.; POKORNÝ, Z.: *Aditivované etanolové palivo pro vznětové motory*. *Zemědělská technika* 44, 1998, s. 107 - 111
- [12] KREJČÍ, J.: *Vliv alternativních paliv na parametry vznětových motorů*. Diplomová práce. Praha: ČZU v Praze, 2010
- [13] MATĚJOVSKÝ, V.: *Automobilová paliva*. Praha: Grada Publishing a.s, 2005, 224 s., ISBN 80-247-0350-5.

- [14] PANDREY, V. C.; SINGH, K.; SINGH, J. S.; KUMAR, A.; SINGH, B.; SINGH, R. P.: *Jatropha curcas: A potential biofuel plant for sustainable environmental development. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 16, Issue 5, June 2012, Pages 2870-2883, ISSN 1364-0321
- [15] TAKÁTS, M.: *Měření emisí spalovacích motorů*. Praha. Vydavatelství ČVUT. 1997. 111 s. ISBN 80-01-01632-3
- [16] VLK, F.: *Diagnostika motorových vozidel*. Brno: vlastním nákladem, 2006. ISBN 80-239-7064-X
- [17] VOJTÍŠEK, M.: *Vliv provozních podmínek na spalování rostlinných olejů ve stávajících vznětových motorech a na výfukové emise*. Teze doktorské disertační práce, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN: 978-80-7372-516-7

Internetové odkazy

- [18] *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*. Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality U.S. Environmental Protection Agency [online]. October 2002 [cit. 2012-02-20]. Dostupné z: <<http://www.epa.gov/otaq/models/analysis/biodsl/p02001.pdf>> EPA420-P-02-001
- [19] ADAMEC, V. a kol.: *Kompendium ochrany kvality ovzduší: Znečištění ovzduší z dopravy*. [online]. 2005 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z: <http://www.cdv.cz/text/szp/clanky/ochrana_ovzdusi_priloha.pdf>.
- [20] Biopalivafrci [online]. [cit. 2011-11-11]. Dostupné z: <<http://biopalivafrci.cz>>
- [21] BOSCH [online]. [cit. 2011-11-15]. Dostupné z: <www.bosch.cz>
- [22] CERMAN, J.: *EURO5: Zdraží emisní limity automobily?*. Nazeleno.cz [online]. 2008-10-09 [cit. 2011-11-09]. Dostupné z: <<http://www.nazeleno.cz/nazelenoplus/emise-co2/euro-5-zdrazi-emisni-limity-automobily.aspx>>
- [23] IHR Technika [online]. [cit. 2011-11-15]. Dostupné z: <<http://www.diagnostic-shop.cz/eshop/emisni-pristroje/>>
- [24] JEVIČ, P.: *Energetická bilance a životní cykly biogenních pohonných hmot – 2*. Biom.cz [online]. 2010-11-15 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energeticka-bilance-a-zivotni-cykly-biogennich-pohonnych-hmot-2>>. ISSN: 1801-2655.
- [25] KÁRA, J.: *Využití bioalkoholu*. Biom.cz [online]. 2001-12-18 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-bioalkoholu>>. ISSN: 1801-2655.
- [26] KOČÍ, V.: *Problematika posuzování životního cyklu biopaliv*. Biom.cz [online]. 2011-11-14 [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/problematika-posuzovani-zivotniho-cyklu-biopaliv>>. ISSN: 1801-2655.

- [27] LAURIN, J.: *Rostlinné oleje jako motorová paliva*. Biom.cz [online]. 2008-10-29 [cit. 2012-02-04]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rostlinne-oleje-jako-motorova-paliva>>. ISSN: 1801-2655
- [28] *Life-cycle assessment*. Wikipedia, the free encyclopedia [online]. [cit. 2012-02-26] Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Life-cycle_assessment>
- [29] MATĚJOVSKÝ, V.: *Obejde se zemědělství bez nafty?*. Biom.cz [online]. 2009-01-19 [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/obejde-se-zemedelstvi-bez-nafty>>. ISSN: 1801-2655.
- [30] *Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů*. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR [on-line]. Červenec 2010, [cit. 2011-11-10]. Dostupné z: <<http://www.odpadjeenergie.cz/getFile.aspx?itemID=926572>>
- [31] *Nařízení vlády č. 446/2011 Sb., o kritériích udržitelnosti biopaliv*. Úřad vlády ČR [on-line]. 2011-12-07 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/legislativa/fyto-legislativa/446-2011-sb>>
- [32] *Nonroad Diesel Engines*. Dieselnet.com [on-line]. 2010 [cit. 2011-11-10]. Dostupné z: <<http://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>>
- [33] PAK, A.: *A Well-to-Wheels Lifecycle Assessment of Used Vegetable Oil Biodiesel Produced On MIT Campus*. Mit.edu [online]. 2007-08-17 [cit. 2012-03-06]. Dostupné z: <<http://web.mit.edu/biodiesel/downloads/BiodieselLCARreport.pdf>>
- [34] *Seznam norem třídy 65*. České Normy [on-line]. [cit. 2012-01-10]. Dostupné z: <<http://www.ceske-normy.cz/trida-65>>
- [35] *Schválená zařízení a přístroje podle vyhlášky MDS č. 302/2001Sb., §11 a §29 pro STK v ČR*. Dekra [online]. 2011-11-21 [cit. 2011-12-15]. Dostupné z: <<http://www.usmd.cz/data/schvzar.php>>
- [36] *Směrnice č. 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES*. Evropský parlament a Rada Evropské Unie [online]. 2009-04-23 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:cs:PDF>>
- [37] SMRŽ, M.: *Biopaliva versus potraviny?*. Eurosolar.cz [online]. 2009-05-08 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <<http://www.eurosolar.cz/phprs/view.php?cislocianku=2009050001>>
- [38] ŠEBOR, G.; POSPÍŠIL, M.; ŽÁKOVEC, J.: *Technicko - ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě*, výzkumná zpráva pro Ministerstvo dopravy ČR, VŠCHT Praha, 2006, 2 sv. 398 s. [online]. [cit.2011-11-20]. Dostupné z: <http://www.mdcr.cz/cs/Strategie/Zivotni_prostredi/>

- [39] ŠPIČKA, L.; JEDLIČKA, J.: *LCA motorových (bio)paliv pro zavedení daně z CO₂*. Biom.cz [online]. 2011-11-21 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/lca-motorovych-biopativ-pro-zavedeni-dane-z-co2>>. ISSN: 1801-2655.
- [40] VOJTÍŠEK, M.: *Dopad spalování rostlinných olejů ve vznětových motorech na výfukové emise*. Biom.cz [online]. 2011-07-06 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/dopad-spalovani-rostlinnych-oleju-ve-vznetovych-motorech-na-vyfukove-emise>>. ISSN: 1801-2655.
- [41] VOJTÍŠEK, M.: *Jezdíme na rostlinný olej*. Biom.cz [online]. 2010-11-10 [cit. 2012-02-12]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/jezdime-na-rostlinny-olej>>. ISSN: 1801-2655.
- [42] *Vyhláška č. 133/2010 Sb., o jakosti a evidenci pohonných hmot, v platném znění*. Ministerstvo průmyslu a obchodu [on-line]. 2010-05-05 [cit. 2012-01-10]. Dostupné z: <<http://portal.gov.cz>>
- [43] *Vyhláška č. 302/2001 Sb., o technických prohlídkách a měření emisí vozidel*. Ministerstvo dopravy a spojů [on-line]. 2001-08-07 [cit. 2011-11-10]. Dostupné z: <<http://www.sagit.cz/pages/sbirkatxt.asp?zdroj=sb01302&cd=76&typ=r>>
- [44] *Zákon č. 221/2011 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů*. Parlament ČR [on-line]. 2011-07-21 [cit. 2011-11-25]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/legislativa/fyto-legislativa/2212011-sb>>

Seznam použitých zkratek

B100	bionafta s obsahem 100% methylesterů mastných kyselin
CO	oxid uhelnatý
CO ₂	oxid uhličitý
CLA	chemiluminiscenční analýza
CNG	stlačený zemní plyn (Compressed natural gas)
E85	Ethanol 85, vysokoprocenční směs lihu s benzinem
E95	Ethanol 95, lihové palivo pro vznětové motory
ECE	Hospodářská komise pro Evropu (Economic Commission for Europe)
EEŘO	ethylestery kyselin řepkového oleje
EHK	Evropská hospodářská komise
ELR	European load response
ESC	Evropský stacionární cyklus měření emisí (European stationary cycle)
ETBE	ethyl-terciální butyléter
ETC	Evropský přechodný cyklus měření emisí (European transient cycle)
EUDC	mimoměstský cyklus měření emisí (Extra urban driving cycle)
FAME	methylestery mastných kyselin (fatty acid methyl ester)
GHG	skleníkové plyny (Greenhouse gasses)
HC	uhlovodíky (Hydrocarbons)
CH ₄	methan
IR	infračervené záření (Infrared radiation)
MEŘO	methylestery kyselin řepkového oleje
NEDC	nový evropský jízdní cyklus (New European Driving Cycle)
NMHC	nemethanové uhlovodíky (Non-methan hydrocarbons)
NRTC	statické homologační měření nesilničních vozidel (Non-Road Transient Cycle)
NRSC	starší metoda statického měření nesilničních vozidel (Non-Road Steady Cycle)
NO _x	oxidy dusíku
N ₂ O	oxid dusný
NO	oxid dusnatý
PM	pevné částice (particulate matter)
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky (Polycyclic aromatic hydrocarbons)
PCDD	polychlorované dibenzodioxiny
PCDF	polychlorované dibenzofurany

RO	rostlinné oleje
SME	stanice měření emisí
SMN30	směsná bionafta s obsahem 30% methylesterů mastných kyselin
THC	celkový obsah uhlovodíků (Total hydrocarbons)
TTW	analýza konečné spotřeby paliva „z nádrže ke kolům“ (Tank-to-Wheels)
UDC	metoda měření emisí simulující městský cyklus (Urban driving cycle)
UV	ultrafialové záření
WTT	analýza bilance paliva „ze zdroje do nádrže“ (Well-to-Tank)
WTW	analýza celkové bilance paliva „od zdroje ke kolům“ (Well-to-Wheels)

Seznam obrázků

Obr.1 Složení výfukových plynů

Obr. 2 Emisní sestava AVL

Obr. 3 Emisní analýza BEA 850

Obr. 4 Průběh zkušebního cyklu NEDC

Obr. 5 Změny obsahu škodlivin a spotřeby motoru Zetor 7701 při spalování řepkového oleje ve srovnání s provozem na motorovou

Obr. 6 Změna emisí uhlovodíků z řepkového oleje v porovnání s motorovou naftou při spalování v motoru Zetor 1505

Obr. 7 Relativní emisní faktory regulovaných škodlivin pro nákladní vozidla splňující normy EURO 2

Obr. 8 Relativní emisní faktory regulovaných škodlivin pro nákladní vozidla splňující normy EURO 4

Obr. 9 Změna kouřivosti motoru Zetor 7701 při spalování směsi bioethanolu s naftou

Obr. 10 Porovnání emisí motorové nafty, E95 a MEŘO spalovaných v Zetoru 7701

Obr. 11 Hodnoty kouřivosti pro motorovou naftu a biopaliva

Obr. 12 Emise skleníkových plynů přepočtených na ekvivalent CO₂ WTW analýzy

Obr. 13 Porovnání emisí CO₂ v životním cyklu motorové nafty, čisté bionafty z fritovacího oleje a 20 % bionafty

Seznam tabulek

Tab. 1 Emisní limity v normách EURO

Tab. 2 Emisní předpisy EHK

Tab. 3 Emisní limity motorů traktorů a samojízdných zemědělských strojů

Tab. 4 Emisní limity pro zážehové motory dle vyhlášky č. 302/2001 Sb.

Tab. 5 Limitní hodnoty kouřivosti motorů dle vyhlášky č. 302/2001 Sb.

Tab. 6 Přehled norem technických požadavků na biopaliva a paliva s příměsí biosložek

Tab. 7 Využitelný energetický obsah vybraných paliv

Tab. 8 Obsah mastných kyselin v některých rostlinných olejích a živočišných tucích

Tab. 9 Přehled vlastností vybraných paliv pro vznětové motory

Tab. 10 Vlastnosti vybraných rostlinných olejů

Tab. 11 Průměrné hodnoty produkce emisí motoru Zetor 7701

Tab. 12 Souhrnné hodnoty emisí motoru Zetor 1505 při testu NRSC

Tab. 13 Změny jedovatých složek obsažených ve výfukových plynech vznětových motorů ve srovnání s motorovou naftou

Tab. 14 Standardní úspory skleníkových plynů u vybraných biopaliv