

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Bioethanol jako palivo ve spalovacích motorech

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Hromádko Ph.D.

Autor práce: Luděk Mikule

PRAHA 2011

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Akademický rok 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Luděk Mikule

obor Silniční a městská automobilová doprava

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze
čl. 16 určuje tuto bakalářskou práci.

Název práce: **Bioethanol jako palivo ve spalovacích motorech**

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Výroba bioethanolu
4. Využití bioethanolu v zážehových motorech
5. Využití bioethanolu ve vznětových motorech
6. Závěr
7. Seznam literatury
8. Přílohy

Rozsah hlavní textové části: 30 - 40 stran

Doporučené zdroje:

1. Šebor G., Pospíšil M., Žákovec J.: Technickoekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě, výzkumná zpráva vypracovaná pro Ministerstvo dopravy ČR, VŠCHT Praha, červen 2006. Dostupný z WWW: <http://www.mdcz.cz/cs/Strategie/Zivotni_prostredi/>.
2. Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport, Brusel 8.5. 2003
3. Miler P., Hromádko J., Hromádko J., Hönig V., Schwarzkopf M.: Zhodnocení ekologického potenciálu paliva E85. Listy cukrovarské a řepařské, 125, 2009 (5/6). ISSN 1210-3305, s. 180-184.
4. Matějovský, V.: Automobilová paliva. Nakladatelství GRADA, Praha, 2005. ISBN 80-247-0350-5
5. Maxwell, T., T.: Alternative Fuels – Emissions, Economics, and Performance. Society of Automotive Engineers, U.S.A, 1995, ISBN 1-56091-523-4

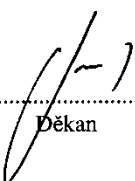
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Hromádko, Ph.D.**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2011


.....
Vedoucí katedry




.....
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pouze za odborného vedení vedoucího bakalářské práce ing. Jana Hromádka Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Souhlasím s případným zapůjčením mé bakalářské práce pro studijní účely.

V Praze dne

.....

vlastnoruční podpis

Poděkování

Úvodem mé práce bych chtěl poděkovat ing. Janu Hromádkovi Ph.D. za jeho cenné připomínky, trpělivost a ochotu při vedení mé bakalářské práce.

Abstrakt: Cílem bakalářské práce je analyzovat způsoby výroby a možnosti využití bioethanolu jako paliva ve spalovacích motorech. První část práce je zaměřena na výrobu bioethanolu z cukrové řepy, obilovin a lignocelulózové hmoty. V této části je rovněž uvedeno porovnání produkčního potenciálu různých surovin pro výrobu bioethanolu. Ve zbývajících částech práce jsou uvedeny možnosti využití paliv s různým podílem bioethanolu v zážehových a vznětových motorech. Důraz je kladen na porovnání produkce škodlivých emisí, spotřeby a užitečného výkonu při různém podílu bioethanolu v palivu. Všechna měření pochází z vědeckých a výzkumných materiálů.

Klíčová slova: Bioethanol, biopaliva, emise, lignocelulóza, fermentace.

Bio-ethanol used as fuel of internal combustion engines

Summary: The aim of this bachelor's thesis is to analyse the possibilities of bioethanol production and its utilization as fuel in combustion engines. The first part of this paper focuses on the production of bioethanol from sugar beet, cereal and lignocelluloses substance. The comparison of the production potential of various raw materials for bioethanol production is also included in this section. The remaining part of the thesis introduces the possible uses of fuels with a different portion of bioethanol in ignition and compression engines. Emphasis is put on the comparison of harmful emission production, consumption and actual output with regard to a different portion of bioethanol in fuel. All measurement comes from scientific and research materials.

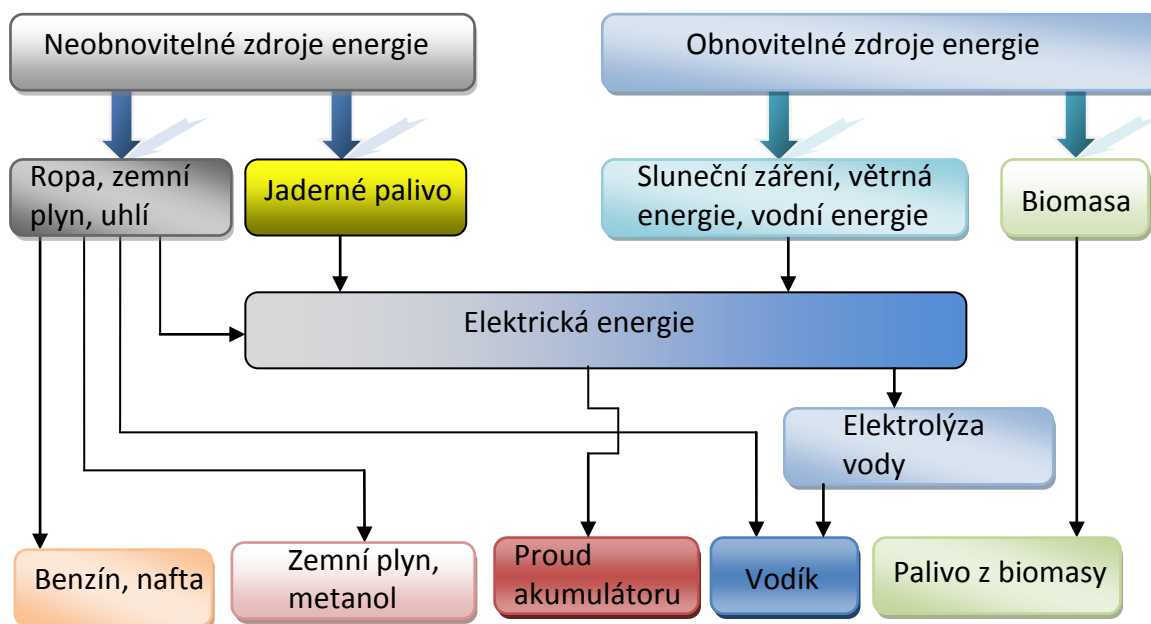
Key words: Bioethanol, biofuel, emission, lignocelluloses, fermentation.

OBSAH
OBSAH

1	Úvod	1
2	Cíl práce a metodika	3
3	Výroba bioethanolu	4
3.1	<i>Výroba bioethanolu fermentací cukrů</i>	4
3.1.1	<i>Výroba bioethanolu z cukrové řepy nebo cukrové třtiny</i>	6
3.1.2	<i>Výroba bioethanolu z obilovin</i>	9
3.1.3	<i>Výroba bioethanolu z lignocelulózové hmoty</i>	10
3.2	<i>Rafinace a dehydratace bioethanolu</i>	14
4	Využití bioethanolu v zážehových motorech	16
4.1	<i>Paliva s podílem 85 % bioethanolu (motory pro FFV)</i>	17
4.2	<i>Zážehové motory na benzin s podílem ETBE</i>	19
4.3	<i>Zážehové motory na benzin s podílem bioethanolu do 20 %</i>	20
5	Využití bioethanolu ve vznětových motorech	22
5.1	<i>Částečná náhrada nafty bioethanolem</i>	23
5.1.1	<i>Směs nafty s podílem 5 % bioethanolu</i>	23
5.1.2	<i>Směs nafty s podílem 20 % bioethanolu</i>	26
5.2	<i>Úplná náhrada nafty bioethanolovým palivem</i>	27
6	Závěr	31
7	Seznam literatury	32
8	Přílohy	34

1 Úvod

Lidé si již natolik zvykli na dopravní prostředky poháněné spalovacími motory, že život bez nich je téměř nepředstavitelný. Mezi hlavní důvody, proč se výrobci automobilů předhánějí ve vývoji pohonných jednotek na alternativní paliva patří především snížení závislosti na ubývajících fosilních palivech a snížení produkce škodlivých výfukových plynů. Z tohoto důvodu jsou stále zpříšňovány legislativní emisní předpisy a nové automobily musí být vybaveny náležitostmi jako jsou filtry pevných částic nebo třícestné katalyzátory. Do budoucna je tedy nutné najít vhodný alternativní zdroj energie, který musí plnit požadavky na komfort jízdy jako je dlouhý dojezd, nízká spotřeba a zároveň být šetrný k životnímu prostředí. Vhodný alternativní zdroj energie musí mít rovněž zajištěnou dostatečnou infrastrukturu doplňování nebo dobíjení. Přehled dostupných zdrojů paliv je znázorněn na obr. 1.



Obr. 1: Druhy paliv [24]

Nejjednodušší způsob jak se v budoucnu oprostít od závislosti na fosilních zdrojích energie je využití biomasy, tj. využití energie z paliv, která vznikají z dorůstajících surovin jako výsledek výrobní činnosti nebo energie získané z výrobních odpadů. Mezi hlavní paliva vyráběná z biomasy se řadí etanol, metanol, bionafta a bioplyn. Jako velmi perspektivní se

jeví bioethanol, který lze vyrobit z dorůstajících surovin jako cukrová třtina, cukrová řepa, brambory a podobně. Výhodná je zejména výroba z odpadů ze sadů nebo slámy.

EU se nachází v čele mezinárodního úsilí v boji proti klimatickým změnám. Musí zajistit snížení emisí skleníkových plynů GHG (Green House Gases), k němuž se zavázala v rámci Kjótského protokolu. Prostředkem, jak dosáhnout tohoto cíle, je racionalizace spotřeby energie a využívání obnovitelných zdrojů energie ve všech sférách průmyslu. V dopravním sektoru je hlavním prostředkem snížení GHG plynů a zvyšování biopaliv.

Prvním opatřením EU vedoucím k rozšíření využívání biopaliv bylo v roce 2003 přijetí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/30/ES, o podpoře využívání biopaliv nebo jiných obnovitelných paliv v dopravě. Dle této směrnice měly členské státy zajistit, aby na jejich trh bylo uváděno alespoň minimální procento biopaliv a jiných obnovitelných pohonných hmot. Referenční hodnota pro tyto cíle činila 2 %. Do 31. prosince 2010 se referenční hodnota pro tyto cíle zvýšila na 5,75 %. [6]

Dalším podstatným krokem bylo přijetí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES, o podpoře energie z obnovitelných zdrojů. Dle této směrnice každý členský stát zajistí, aby se v roce 2020 podíl energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie rovnal alespoň jeho celkovému národnímu cíli pro podíl energie z obnovitelných zdrojů. Pro ČR je to 13 %. Dále každý členský stát zajistí, aby podíl energie z obnovitelných zdrojů ve všech druzích dopravy v roce 2020 činil alespoň 10 % konečné spotřeby energie v dopravě v uvedeném členském státě. Tato směrnice dále zavádí zcela novou povinnost v oblasti uplatňování biopaliv, tzv. kritéria udržitelnosti pro biopaliva a biokapaliny. Kritéria udržitelnosti biopaliv lze rozdělit na dvě základní povinnosti a to prokázání původu biopaliva a prokázání úspory emisí skleníkových plynů. Podporu biopaliv je také třeba hledat v článku 16 odstavce 5 směrnice 2003/96/ES, kterou se mění struktura rámcových předpisů Společenství o zdanění energetických produktů a elektřiny. Na jejím základě je možné daňově zvýhodnit čistá biopaliva a jejich vysokoprocenní směsi s fosilními palivy. [2]

V České republice byl tento článek transformován pomocí Víceletého programu podpory dalšího uplatnění biopaliv v dopravě, který byl vypracován Ministerstvem zemědělství. Po notifikaci orgány EU je na základě tohoto programu možné čistá biopaliva osvobodit od spotřební daně, u vysokoprocenních směsí s obsahem biosložky větším než 5 % pak odpočtem spotřební daně z podílu biosložky.

2 Cíl práce a metodika

Cílem práce bylo analyzovat možnosti využití a způsoby výroby bioethanolu jako paliva ve spalovacích motorech. První část práce (kapitola 3) je věnována způsobům výroby bioethanolu z cukrové řepy, cukrové třtiny, obilovin a nakonec také z lignocelulóзовé hmoty. Výroba bioethanolu z lignocelulóзовé hmoty je předmětem intenzivní výzkumné činnosti a jeví se jako velmi perspektivní. Následující kapitola (kapitola 4) je věnována využití bioethanolu jako paliva v zážehových motorech. V této kapitole jsou uvedeny způsoby využití bioethanolu od nízkoprocentního přimíchávání do benzínu až po paliva s vysokým obsahem bioethanolu jako E 85. Kapitola 5 analyzuje možnosti využití bioethanolu ve vznětových motorech. Tato kapitola je rozdělena na dvě hlavní části. První část se zabývá částečnou náhradou nafty bioethanolem (paliva s podílem 5 a 20 % bioethanolu). Druhá část je věnována úplné náhradě nafty bioethanolovým palivem a jeho využitím. Jedná se zejména o paliva E 85 a E 95.

Kapitoly 4 a 5 rovněž nabízejí porovnání produkce škodlivých výfukových plynů při použití různých druhů paliv, vliv přimíchávání bioethanolu na měrnou spotřebu, měrný výkon, kouřivost a další. V těchto kapitolách lze rovněž najít porovnání vlastností bioethanolu, nafty a benzínu. Všechny měření emisí, spotřeby, kouřivosti a podobně pocházejí z výzkumných a vědeckých materiálů. Část těchto měření byla provedena na Katedře vozidel a pozemní dopravy Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze a v Ústavu pro výzkum motorových vozidel (TÜV ÚVMV s.r.o.).

3 Výroba bioethanolu

3.1 Výroba bioethanolu fermentací cukrů

Kvasný neboli fermentační způsob výroby bioethanolu z biomasy je založen na působení enzymů mikrobiální buňky (většinou buněk některých kvasinek) v procesu, kterému se říká lihové kvašení. Tento proces probíhá převážně bez přístupu vzduchu. Pro potřebný nárůst buněk a jejich aktivitu je příznivé mírné provzdušnění kvasného média a to hlavně na začátku fermentace. Enzymové vybavení mikroorganismů určuje zkvasitelnost sacharidů. Přímě zkvasitelné jsou pouze monosacharidy (molekula obsahuje 6 uhlíků). Složitější sacharidy musí být před zkvašením hydrolyzovány na již zmíněné monosacharidy. To lze provést působením vlastních enzymů mikroorganismů nebo se hydrolyza provede přidávkem kyseliny, v tomto případě hovoříme o kyselé hydrolyze. [23] Hlavními producenty etanolu v přírodě jsou kvasinky. Pro průmyslové využití se využívají pouze pravé kvasinky. Pravé kvasinky jsou takové kvasinky, které se řadí do druhu *Saccharomyces cerevisiae*. [21]

V úvahu tedy pro výrobu kvasného ethanolu přicházejí následující sacharidy:

- Monosacharidy (glukosa, fruktosa, galaktosa, mannosy)
- Disacharidy (laktosa, sacharosa, celobiosa, maltosa)
- Trisacharidy (rafinosa)

Pro výrobu bioethanolu je tedy vhodná jakákoliv biomasa obsahující dostatečné množství cukrů nebo látek, které je možné na cukry převést. Je možné použít: cukrovou řepu, cukrovou třtinu, brambory, pšenici, kukuřici, ječmen, triticales (hybridní obilnina, která vznikla zkřížením žita a pšenice), hlízy topinamburů, čekanku, biomasu stromů a trav. Různé druhy biomasy použitelné pro výrobu bioethanolu jsou uvedeny v tab. 1 [11] spolu s jejich produkčním potenciálem.

Tab. 1: Produkční potenciál výroby bioethanolu pro různé suroviny. [11]

Surovina	Produkční potenciál bioethanolu (l.t ⁻¹)	Surovina	Produkční potenciál bioethanolu (l.t ⁻¹)
Cukrová třtina	70	Kukuřice	360
Cukrová řepa	110	Rýže	430
Batata	125	Ječmen	250
Brambory	110	Pšenice	340
Cassava	180	Sladký čirok	60
Celulózová biomasa			280

Vlastní fermentační proces výroby bioethanolu probíhá podle následující chemické rovnice.



Při tomto procesu jsou zkvasitelné sacharidy transformovány na bioethanol a oxid uhličitý. Při fermentaci vznikají vedlejší produkty, které komplikují proces destilačního dělení ethanolu a také snižují výtěžek ethanolu.

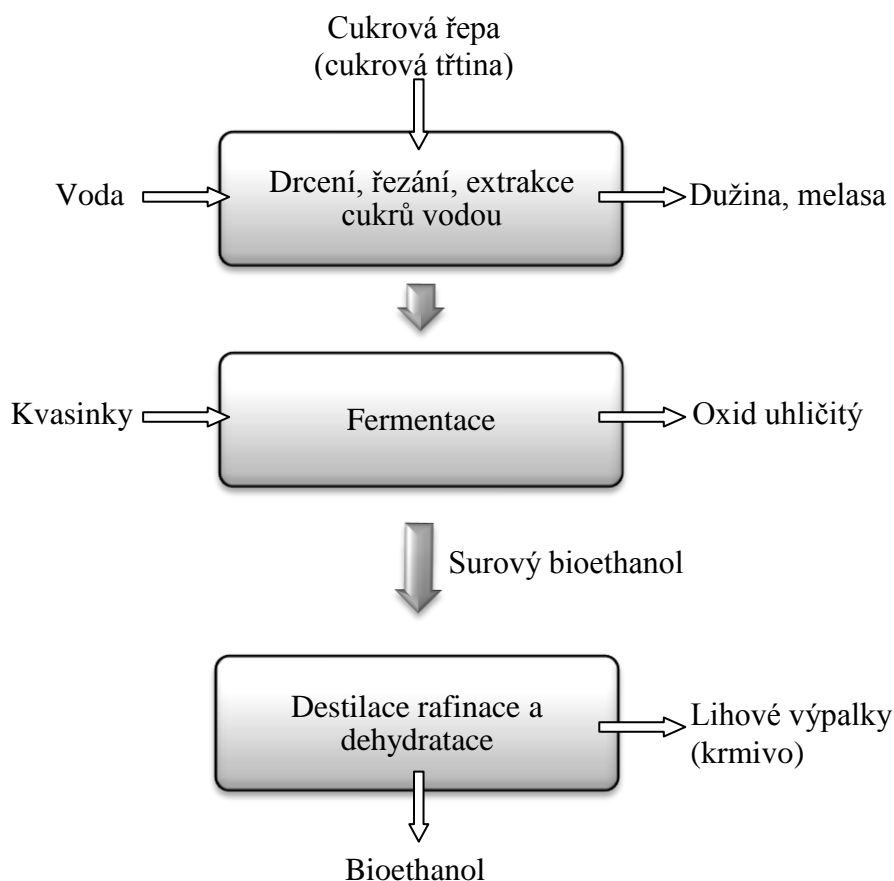
Jsou to především tyto látky:

- Organické kyseliny
- Glycerol a akrolein
- Vyšší alkoholy (přiboudlina)
- Estery
- Ostatní látky (diacetyl, aceton a další)

V podmínkách České republiky je možná výroba bioethanolu vhodného pro pohon motorových vozidel zejména z obilovin a cukrové řepy. Výroba bioethanolu z lignocelulósové hmoty je zatím ve stádiu intenzivního výzkumu. S komerčním využitím se počítá za 5 – 10 let. [21]

3.1.1 Výroba bioethanolu z cukrové řepy nebo cukrové třtiny

Cukrová řepa a cukrová třtina obsahuje jednoduché cukry. Výroba bioethanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry je relativně méně složitý technologický proces, protože nevyžaduje enzymatické štěpení polysacharidů na zkvasitelné jednoduché cukry. V Brazílii je hlavní surovinou pro výrobu bioethanolu cukrová třtina. V některých evropských zemích se můžeme setkat s tím, že hlavní surovina pro výrobu bioethanolu je cukrovka. Blokové schéma výroby bioethanolu z cukrové řepy nebo z cukrové třtiny je uvedeno na obr. 2.



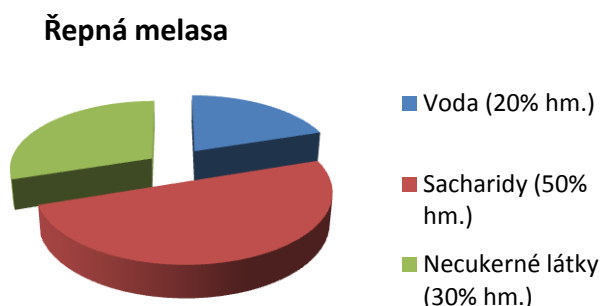
Obr. 2: Blokové schéma výroby bioethanolu z obilovin [21]

Prvním krokem je mechanické drcení a řezání, tím se dosáhne rozmělnění cukrové řepy nebo cukrové třtiny. Dále se pomocí vypírky vodou oddělí cukry. Oddělené cukry jsou dále zkvašeny ve fermentoru na bioethanol. Toho se dosáhne působením kvasinek. Tato operace probíhá za obdobných podmínek jako v případě výroby bioethanolu z obilovin, jak je uvedeno v kapitole 3.1.1. Odpadem ze zpracování cukrové řepy nebo cukrové třtiny jsou melasa a dužina. Využití cukrovky jako hlavní suroviny pro výrobu bioethanolu nepřichází v úvahu, protože hlavní důraz je většinou kladen na výrobu cukru. Proto je potřebné zpracovat jeden z vedlejších produktů. Jeden z nich je melasa. Melasa je zbytek po vycukernění cukrové řepy či cukrové třtiny, jak je znázorněno na obr. 1. [21]

Množství melasy je závislé na:

- Klimatických podmínkách
- Půdě
- Druhu cukrovky
- Technologickém postupu výroby cukru

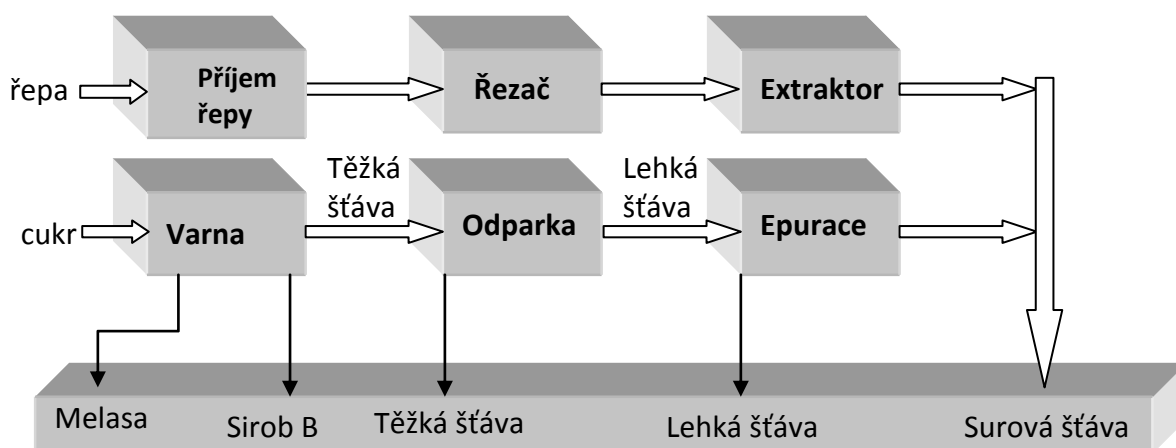
Množství melasy je většinou 1 – 3 % hmotnosti zpracovávané řepné hmoty. V České Republice se setkáme převážně s řepnou melasou. Její složení je naznačeno na obr 3.



Obr. 3: Složení řepné melasy

Hlavní cukernou složkou je sacharóza (cukr řepný, cukr třtinový). Tento cukr není přímo zkvasitelný, proto se štěpí působením zředěných kyselin nebo účinkem enzymu invertasy na glukosu a fruktosu. Glukosa a fruktosa je již zkvasitelná. [21]

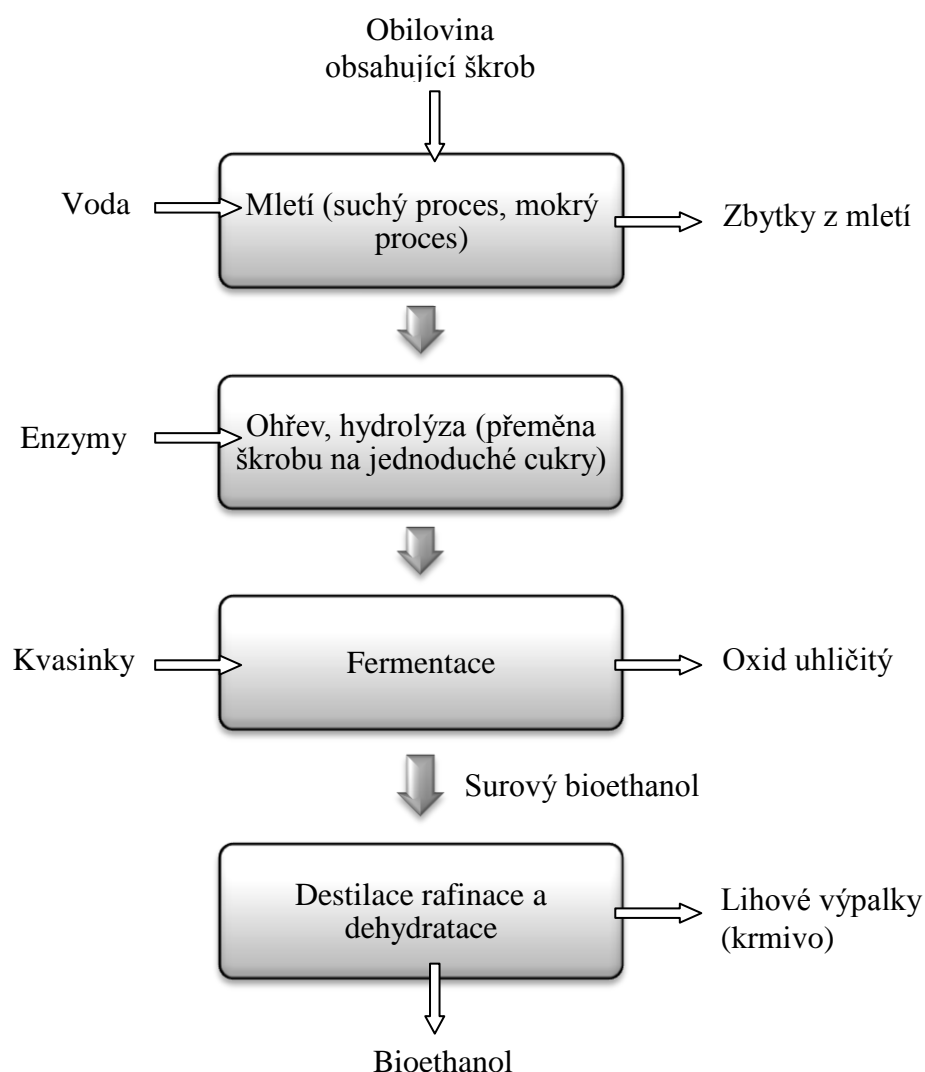
V ČR proběhlo posouzení dalších možných surovin pro výrobu bioethanolu. Účel tohoto posouzení byl vybrat takový meziprodukt z výroby cukru, který by měl co nejnižší hodnotu pro cukrovar a byl dobře zpracovatelný. Do výběru se dostaly tři potenciální suroviny. Byly to: surová šťáva, těžká šťáva a sirob B (černý sirob). Jako velmi vhodný se jeví sirob B, což je jeden z produktů varny jak je vidět na obr. 4. Jeho vlastnosti jsou blízké melase (vysoký obsah barevných látek, dobrá skladovatelnost, vysoká sušina). Sirob B má o 10 % vyšší obsah cukru než melasa, což je kolem 60 % hmotnosti. Jeho množství se pohybuje kolem 8 – 10 % zpracované řepy. Je proto možné snadno spočítat množství sirobu B odkládané pro výrobu bioethanolu. Pokud by cukrovar denně zpracovával 1000 t řepy na ethanol a celková zpracovatelská kapacita cukrovaru byla 5000 t řepy za den, bylo by denní množství Sirobu B 400 – 500 t. [16]



Obr. 4: Produkty cukrovaru [12]

3.1.2 Výroba bioethanolu z obilovin

Obiloviny jsou v mírném klimatickém pásu hlavní surovinou pro výrobu bioethanolu. V USA se nejvíce zpracovává kukuřice a pšenice, v Evropě hlavně pšenice, ječmen a triticales (hybridní obilnina, která vznikla zkřížením žita a pšenice). Na obr. 5 je uvedeno blokové schéma výroby bioethanolu z obilovin.



Obr. 5: Blokové schéma výroby bioethanolu z obilovin. [21]

Při výrobě bioethanolu z obilovin a kukuřice jsou jako surovina použita pouze zrna obsahující škrob. Tyto zrna představují malý podíl z celkové rostlinné hmoty. Škrobová zrna je nejprve nutné zpřístupnit působení komplexu enzymů. Prvním krokem je tedy mechanická předúprava. Mechanickou předúpravou se rozumí mletí nebo drcení. Mletí a drcení se provádí za mokra nebo za sucha. Při mechanické předúpravě vzniká odpad v podobě vláknitých slupek zrn a stébel jak je vidět na obr. 4. Po mechanické předúpravě následuje proces bobtnání a zmazovatění zrn škrobu. Tento proces je také nazýván procesem přípravy zápary. Škrob uložený ve škrobových zrnech je postupně převáděn na zkvasitelný sacharid, hlavně glukosu. Toho lze docílit působením enzymů nebo využitím termostabilních štěpících enzymů α -amylas mikrobiálního původu, popřípadě kyselou hydrolyzou. [23] Následuje fermentace neboli kvašení jak je možno vidět na obr. 5. Následuje destilační oddělení surového bioethanolu od prokvašené zápary. Jako vedlejší produkt získáme obilné výpalky (destilační zbytek). Ty se dále zahušťují, popřípadě i suší, a používají jako krmivo pro hospodářská zvířata. [19]

3.1.3 Výroba bioethanolu z lignocelulózové hmoty

Výroba bioethanolu z lignocelulózové biomasy je poměrně komplikovaná a komerčně se zatím nerozšířila. Suroviny vhodné pro výrobu jsou zejména rychle rostoucí plodiny jako vrba nebo blahovičnick eukalyptus. Vhodné jsou ovšem také zbytky ze zemědělské produkce jako sláma, vylisovaná cukrová třtina nebo řepné řízky. Použit lze rovněž organické podíly komunálního odpadu nebo odpady ze zpracování dřeva a podobné dřevní zbytky. Složitá přeměna lignocelulózové biomasy na jednoduché fermentovatelné cukry je předmětem intenzivní výzkumné činnosti, přičemž komerční využití se předpokládá v horizontu 10 - 15 let. Jelikož je tato surovina k dispozici v poměrně velkém množství a je cenově dostupnější, je o ní velký zájem. Zpracování lignocelulózové biomasy na bioethanol vykazuje rovněž lepší energetickou bilanci.[6] Lignocelulózová biomasa by mohla produkovat až 492 mld. litrů bioethanolu ročně. [1] Potencionální produkce bioethanolu je šestnáctkrát větší než současná světová produkce bioethanolu. Jedním z velmi hojných odpadních materiálů na světě je rýžová sláma. Její roční produkce představuje 731 miliónů tun a je k dispozici po celém světě (Asie 667,6 miliónů tun, Amerika 37,2 miliónů tun, Afrika 20,9 miliónů tun, Evropa 3,9 miliónů tun, Oceánie

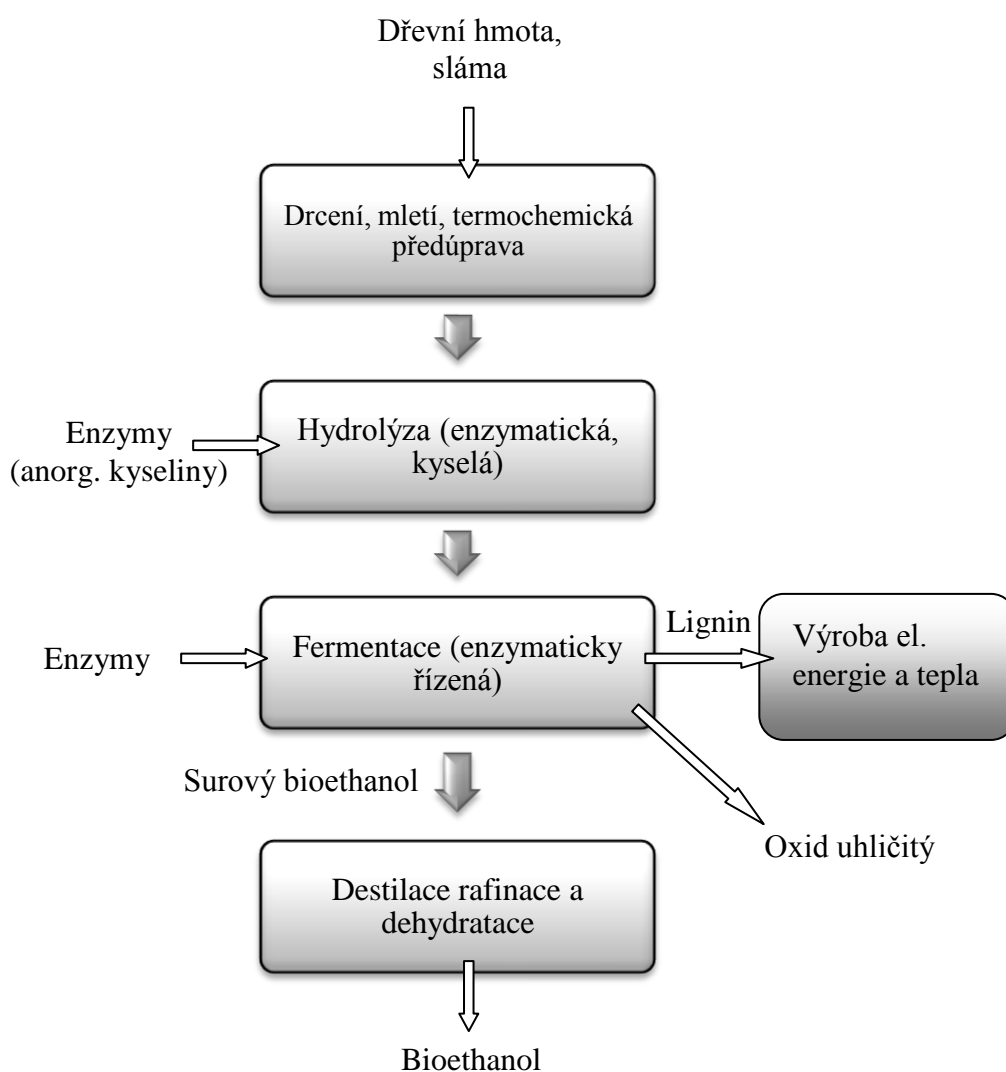
1,7 miliónů tun). Toto množství rýžové slámy může produkovat až 205 miliard litrů bioethanolu ročně, čímž by se rýžová sláma stala největším zdrojem sloužícím k výrobě bioethanolu. [9]

Lignocelulózové energetické plodiny představují slibný výchozí produkt, kvůli vysokým výnosům, nízkým nákladům, využitelnosti méně kvalitních půd, a celkové nízké enviromentální zátěži. Tab. 2 představuje biochemické složení několika vhodných výchozích produktů. Borovice obsahuje nejvyšší podíl celulózy a hemicelulózy, jenž naznačuje na největší potenciál k výrobě bioethanolu. Předpokládané využití ligninu bude spočívat ve výrobě elektrické energie. Jelikož je podíl ligninu u rákosových trav nejnižší, lze zde očekávat i nižší výrobu elektrické energie. [3]

Tab. 2: Biochemické složení vhodných výchozích produktů pro výrobu bioethanolu [3]

Výchozí produkt		Listnaté dřeviny			Jehličnaté dřeviny	Trávy
		Trnovník akát	Topol	Eukalyptus	Borovice	Rákosové trávy
Celulóza		41,61	44,7	49,5	44,55	31,98
- Glucan	6C	41,61	44,7	49,5	44,55	31,98
Hemicelulóza		17,66	18,55	13,07	21,9	25,19
-Xylan	5C	13,86	14,56	10,73	6,3	21,09
-Arabinan	5C	0,94	0,82	0,31	1,6	2,84
-Galactan	6C	0,93	0,97	0,76	2,56	0,95
-Mannan	6C	1,92	2,2	1,27	11,43	0,3
Lignin		26,7	26,44	27,71	27,67	18,13
Ash		2,15	1,71	1,26	0,32	5,95
Acids		4,57	1,48	4,19	2,67	1,21
Extractives		7,31	7,12	4,27	2,88	17,54
Výhřevnost [GJ/t]		19,5	19,6	19,5	19,6	18,6

Při procesu konverze lignocelulósové biomasy na bioethanol je potřeba uskutečnit hydrolýzu lignocelulósové biomasy na jednoduché fermentovatelné cukry, čímž se liší od výroby bioethanolu z obilovin a cukrové řepy. Tato hydrolýza je mnohem složitější než hydrolýza škrobu. Lignocelulósová biomasa obsahuje polymery cukrů nazývané celulósa a hemicelulósa. Oba tyto složité polysacharidy lze transformovat na jednoduché cukry, přičemž obsah celulósy v sušině je 40 – 60 % a obsah hemicelulósy v sušině tvoří 20 – 40 %. Zbytek tvoří lignin (aromatický polymer). Lignin nelze fermentovat, jelikož je rezistentní vůči biologické degradaci. Z tohoto důvodu musí být oddělen a lze ho využít například na výrobu tepla nebo elektrické energie. Na obr. 6 je znázorněno obecné blokové schéma výroby bioethanolu ze slámy nebo ze dřeva. [21]



Obr. 6: Blokové schéma výroby bioethanolu z lignocelulósové biomasy [21]

Nejdříve je nutné slámu nebo dřevo rozmělnit na menší kousky (mletím nebo drcením). Poté se rozmělněná hmota podrobí termochemické předúpravě. Účelem termochemické předúpravy je narušení struktury celulósy a hemicelulósy a následné usnadnění přístupu enzymům nebo kyselině. Dalším krokem je konverze na jednoduché cukry. Této konverze na fermentovatelný materiál lze docílit kyselou hydrolýzou.

Tento postup lze rozdělit na dva stupně:

- V prvním stupni dojde k narušení polymerní struktury materiálu (působení koncentrovaného roztoku kyseliny (0,5 % hm.) při teplotě 200 °C) Výsledkem tohoto postupu je konverze hemicelulósy na přímo fermentovatelné jednoduché cukry rozpustné ve vodě.
- V druhém stupni je provedena konverze na glukosu, která je přímo fermentovatelná (působení koncentrovaného roztoku kyseliny (2 % hm.) při teplotě 240 °C). Nutnost provádět tento krok je dána vyšší odolností celulósy, u které došlo v prvním kroku pouze k redukci velikosti řetězců polysacharidů a k otevření její struktury.

Posledním krokem při výrobě bioethanolu je Destilace, rafinace a dehydratace. Lignin může být oddělen v průběhu fermentace nebo v průběhu hydrolýzy. Optimální oddělení ligninu je stále předmětem výzkumu. Nevýhodou kyselé hydrolýzy je nákladnost a skutečnost, že dosažené výtěžky glukosy lze považovat za limitní. [21]

Další možností převedení celulosy na glukosu (jednoduchý cukr) je použití enzymů, které jsou schopny celulosu rozložit.

Je možno použít tři varianty. Tyto varianty spočívají v kombinaci fáze štěpení (konverze) a vlastní fermentace:

- SHF proces (Separated Hydrolysis and Fermentation) Kombinace fáze štěpení a vlastní fermentace ve dvou samostatných krocích.
- SSF proces (Simultaneous Saccharification and Fermentation) Kombinace fáze štěpení a vlastní fermentace souběžně v jednom reaktoru.
- SSCF proces (Simultaneous Saccharification Combined with Fermentation)

U všech těchto tří procesů je dosahováno vyšší konverze hemicelulosity a celulosity na jednoduché cukry než v případě použití kyselé hydrolýzy. K problémům s akumulací a inhibicí fermentačního procesu nedochází, protože vznikající cukry jsou ihned fermentovány. [21]

3.2 Rafinace a dehydratace bioethanolu

Pokud má vyráběný bioethanol sloužit jako pohonná hmota, je cílem rafinace odstranění vedlejších produktů fermentace. Odstranění těchto vedlejších produktů je velmi důležité, protože v opačném případě mohou nepříznivě působit na součásti palivového systému a na průběh procesu odvodňování lihu. Jedná se především o kyseliny, ketony, aldehydy a přiboudlinu. K odstranění těchto vedlejších produktů fermentace se používá soustavy dvou destilačních kolon.

Obě destilační kolony jsou procesně propojeny, aby k provozu stačil jeden zdroj tepla a došlo k takzvanému kaskádovému vytápění jedné kolony s druhou. S přihlédnutím na chemické složení destilovaného média je volen protiproudý teplotní spád s nižší teplotou varu záparů, nebo vyšší teplotou varu záparů u rektifikovaného ethanolu. Protiproudý teplotní spád je zde umístěn z důvodu, aby se v kontaktním ústrojí nevytvářely usazeniny a inkrustace (ukládání buněčných látek do stěn). Výsledkem po rafinaci a rektifikaci je rafinovaný bioethanol, ve kterém je obsaženo maximálně 95.5 % hmotnosti ethanolu, zbytek tvoří voda.

Voda a ethanol vytváří při destilačním dělení směs s konstantním bodem varu (azeotropická směs). Azeotropickou směs již nelze procesem destilačního dělení dále dělit, proto je nutné použít modifikované metody:

- Destilační dělení ternární směsi (posunutí azeotropického bodu vlivem třetí látky. Pro tento účel můžeme použít heptan, benzen, cyklohexan...) Výsledná jakost ethanolu nebude vyšší než 95,5 % hmotnosti. Tato metoda je poměrně energeticky náročná. [21]
- Metoda adsorbce na molekulových sítích. Výsledná jakost ethanolu bude vyšší než 99,5 % hmotnosti. [21]

4 Využití bioethanolu v zážehových motorech

V současné době lze do automobilových benzinů přimíchávat bioethanol s maximálním podílem 10 % hm. (Směrnice EC2009/30)

Bioethanol určený k použití do automobilových benzinů, který byl získán kvasným procesem musí podle ČSN 65 6511 obsahovat před denaturací nejméně 97,7 % ethanolu.

V porovnání s benzinem má bioethanol nízkou výhřevnost, velmi malou mazací schopnost ale vysokou odolnost vůči klepání vyjádřenou oktanovým číslem.

Oktanové číslo (OČ) charakterizuje antidekonační vlastnost automobilového benzínu tj. odolnost proti detonačnímu hoření. Oktanové číslo vyjadřuje procentuální objemový podíl isooktanu (oktanové číslo 100) a n-heptanu (oktanové číslo 0) ve směsi, která má stejnou odolnost proti vzniku detonací při spalování, jako zkoušené palivo. Hodnoty oktanového čísla paliva získáváme měřením na zkušebním jednoválcovém motoru s proměnným kompresním poměrem. Pro definovaný režim práce zkušebního motoru určíme při postupném zvyšování kompresního poměru počátek klepání u hodnoceného benzínu. Ponecháme kompresní poměr a změnou objemového poměru isooktanu a n-heptanu v porovnávacím palivu vyhledáme takovou směs, která má z hlediska klepání stejné vlastnosti.

Podrobnější porovnání je uvedeno v tab. 3. Bioethanol může způsobit korozi palivového systému, což je možno potlačit přidáním inhibitorů koroze ale poté může bioethanol působit agresivně na některé pryže a plasty. [15]

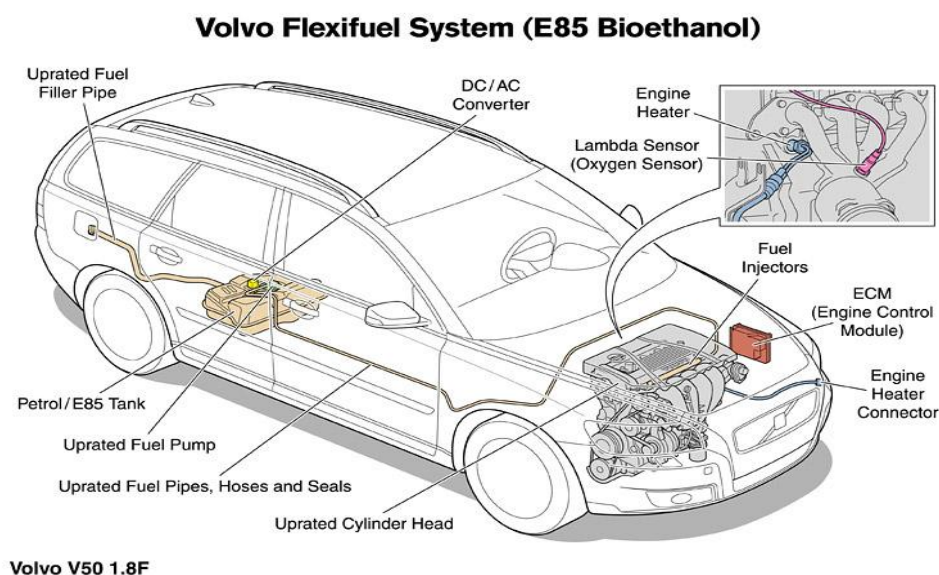
Tab. 3: Porovnání vlastností bioethanolu a benzínu [4]

Porovnání vlastností bioethanolu a benzínu		
	Benzin	Bioethanol
Hustota (při 15°C)	~ 750 kg.m ⁻³	~ 794 kg.m ⁻³
Výhřevnost	43 MJ.Kg ⁻¹	27 MJ.Kg ⁻¹
Hmotnostní podíl kyslíku	< 2,7	34,7
Oktanové číslo	91 - 100	108

4.1 Paliva s podílem 85 % bioethanolu (motory pro FFV)

Bioethanol lze po jeho denaturaci využít jako příměs do automobilového benzínu v několika možných koncentracích. Jednou z možností je použití bioethanolu ve speciálně upravených motorech v podobě vysokoprocentních směsí. Nejvíce se používá palivo ethanol 85, nazývané též E 85. Palivo E 85 obsahuje 85 % bioethanolu a 15 % benzínu. Toto palivo lze spalovat ve vozidlech označovaných jako FFV (Flexi Fuel Vehicle). Flexi Fuel vozidla mohou být provozována jak na benzin, tak na bioethanolové palivo s různým podílem bioethanolu až do 85 %. Jelikož má bioethanol vysoké oktanové číslo, nepředstavuje jeho využití v zážehových motorech velký problém. Princip spalování různých směsí bioethanolu a benzínu spočívá v měření koncentrace kyslíku ve výfukových plynech pomocí sondy. Podle hodnot koncentrace kyslíku získá řídicí jednotka informace o množství bioethanolu v palivu. Podle těchto informací řídicí jednotka upraví seřizovací parametry motoru jako předstih zážehu, dávkování paliva a podobně.

Vozidla FFV vyrábí řada výrobců, např. VW, Fiat, Renault, Volvo, Saab, Ford. V Evropě je palivo E 85 nejvíce používáno ve Švédsku, kde je v provozu přibližně 16 tis. vozidel Ford Focus FFV a počet plnicích stanic s palivem E 85 je vyšší než 250. [14]



Obr. 7: Systém FFV u vozu Volvo V50 1.8F [8]

Pro spalování paliva E 85 v běžných vozidlech je třeba provést úpravu řídicí jednotky motoru. Tato úprava spočívá především v prodloužení doby vstřiku paliva. V závislosti na typu vstřikovací soustavy a výrobci zařízení se cena takovéto přestavby motoru pohybuje v rozmezí 5 – 15 tisíc Kč. [18]

Palivo E 85 je běžně k dostání u čerpacích stanic v západní Evropě. V České republice začala toto vysokoprocenní palivo vyrábět společnost Agroetanol TTD. Zájem čerpacích stanic o toto palivo je ale poměrně malý. Je to způsobeno zejména jeho relativně nákladnou výrobou a také poměrně malým počtem automobilů, které ho mohou používat. V budoucnu lze ale očekávat, že poptávka po palivu E 85 poroste, protože podle zákona o spotřebních daních je možné odpočítat spotřební daně z podílu biosložky. Tento odpočet zvýhodňuje palivo s vysokým obsahem biosložky.

Na Katedře vozidel a pozemní dopravy Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze byly zkoušeny možnosti využití paliva E 85 v běžném spalovacím motoru. Při tomto testu byla upravena řídicí jednotka motoru. Vyhodnocení přínosu tohoto paliva proběhlo pomocí virtuální simulace evropského jízdního cyklu. V tab. 4 je zobrazeno souhrnné vyhodnocení spotřeby paliva a produkce jednotlivých složek škodlivých emisí. Výsledky jsou přepočtené na jeden ujetý kilometr pro palivo natural 95 a E 85. [18]

Tab. 4: Spotřeba paliva a produkce škodlivých emisí pro palivo E85 a natural 95. [18]

Měrné emise	Městská část cyklu	Mimoměstská část cyklu	Kombinovaný provoz
Spotřeba paliva E85 [g·km ⁻¹]	92,25	52,62	67,20
Spotřeba paliva natural 95 [g·km ⁻¹]	63,56	35,62	45,90
CO ₂ na palivo E85 [g·km ⁻¹]	218,6	122,8	158,05
CO ₂ na palivo natural 95 [g·km ⁻¹]	225,5	126,7	163,06
CO na palivo E85 [g·km ⁻¹]	0,27	0,26	0,26
CO na palivo natural 95 [g·km ⁻¹]	0,43	0,33	0,37
HC na palivo E85 [mg·km ⁻¹]	2,59	1,49	1,89
HC na palivo natural [mg·km ⁻¹]	3,2	1,86	2,35
NO _x na palivo E85 [mg·km ⁻¹]	17,25	17,42	17,36
NO _x na palivo natural [mg·km ⁻¹]	24,39	25,46	25,07

Shrnutí a stručná charakteristika paliva E 85:

- Nižší měrná spotřeba tepla než u benzinových motorů.
- Vysoká hodnota OČ umožňuje zvětšení kompresního poměru a následné lepší využití účinnosti motoru.
- Vyšší naplnění válců palivovou směsí zvyšuje výkon motoru
- Při kombinovaném způsobu provozu vzroste hmotnostní spotřeba paliva o 46,4 %, což je dáno nižší výhřevností. [18]
- Problémy při spouštění motoru za nízkých teplot, způsobené vysokým výparným skupenským teplem.
- Uvažujeme-li kombinovaný způsob provozu, poklesne produkce oxidu uhelnatého o 30 %, produkce nespálených uhlovodíků poklesne o 21 % a produkce oxidů dusíku poklesne o 31 %. [18]

4.2 Zážehové motory na benzin s podílem ETBE

Bioethanol lze také použít jako kyslíkatou oktanové číslo zvyšující složku benzinů – ETBE (ethyl-terc, butyl éter). ETBE vzniká reakcí izobutanu a ethanolu, probíhající na kyselém katalyzátoru už při poměrně nízké teplotě. Výhodou je, že se nemusí používat čistý izobutan, ale mohou být přítomny i další uhlovodíky, protože ty se reakce nezúčastní. ETBE je ze 47 % složen z bioethanolu. Výhodou ETBE je i menší rozpustnost ve vodě, takže nebezpečí kontaminace spodních vod při úniku benzínu do půdy je podstatně menší než když benzin obsahuje MTBE. [17]

V Evropě je snižování nepříznivého vlivu benzínu na životní prostředí upraveno normou pro kvalitu benzinů ČSN EN 228, která umožňuje, aby benzin obsahoval až 2,7 % kyslíku. Jako kyslíkatá složka benzinů snižující obsah oxidu uhelnatého a uhlovodíků ve výfukových plynech motorů bývá použit metyltercbutyléter (MTBE), který lze nahradit ETBE. Provozní parametry motoru poháněného benzinem s ETBE jsou prakticky shodné s parametry motoru poháněného benzinem s MTBE. Tab. 5 uvádí základní vlastnosti MTBE a ETBE. Z údajů o obsahu kyslíku lze vypočítat, jaké množství ETBE může být namísto MTBE do benzínu přidáno. Podíl 14,8 % MTBE způsobující obsah kyslíku v benzinu 2,7 % lze nahradit přibližně 17 % ETBE. Přechodem z MTBE na ETBE podle výše uvedených údajů se mírně zvýší oktanové číslo benzínu. [13]

Tab. 5: Vlastnosti ETBE a MTBE [13]

Parametr	Jednotka	MTBE	ETBE
Chemický vzorec		C ₅ H ₁₂ O	C ₆ H ₁₄ O
Hustota při 15°C	Kg.m ⁻³	746	745
Výhřevnost	KWh.Kg ⁻¹	9,8	10,1
Obsah kyslíku	% hm.	18,2	15,7
Oktanové číslo VM		116	118

Výroba ETBE byla vyzkoušena i v České rafinérské, a. s., v Kralupech nad Vltavou v roce 2001. Za použití 1 138 m³ bioethanolu z obilí bylo vyprodukováno 2 495 m³ ETBE, který byl použit jako přísada do benzínu Natural 95 namísto MTBE. Benzin byl dodán na čerpací stanice a zákazníci změnu přijali bez připomínek.

4.3 Zážehové motory na benzin s podílem bioethanolu do 20 %

Přidání bioethanolu do benzínu přináší problémy způsobené citlivostí bioethanolu na vodu a také problémy s relativně vysokým tlakem nasycených par bioethanolu. Nevýhodou je hlavně zvýšená spotřeba pohonných hmot a problémy při jízdě v horkém letním počasí kdy vyšší odpařivost bioethanolu může mít za následek vznik bublinek v palivovém systému. Vlivem poutání vody v pohonných hmotách dochází ke zvýšení korozivnosti kovových částí motoru. Tento problém se projeví spíše u starších motorů s karburátorem než u nových motorů se vstřikováním pohonných hmot. Pokud se v palivu bude vyskytovat určité množství vody, může dojít k rozvrstvení paliva na benzin a bioethanol. Z tohoto důvodu je nutný přídavek kosolventů. [14]

Kosolventy jsou většinou rozvětvené vyšší alkoholy (butanoly) nebo organické metyestery, lépe ale cyklické étery (dioxan, tetrahydrofuran). Množství kosolventu je nutno přidat až do poloviny objemového množství bioethanolu. [10]

V ústavu pro výzkum motorových vozidel TUV-ÚVMV Praha bylo provedeno mnoho zkoušek motoru provozovaného na benzin s přimícháním různého množství bioethanolu až do 30 %. Zkoušený motor s objemem válců 1,4i a výkonem 50KW měl mírně vyšší spotřebu paliva, což je způsobeno nižší výhřevností bioethanolu. Při zkoušce nebyly překročeny přípustné hodnoty výfukových škodlivin podle předpisu EHK 83-05. Výsledky zkoušek ukázaly, že benzinový motor nemusí být významněji přizpůsoben asi do podílu 20 % bioethanolu v benzínu. Obvykle tedy postačí změna seřízení nebo předimenzování palivového příslušenství. [14]

5 Využití bioethanolu ve vznětových motorech

V porovnání s naftou má bioethanol nízkou výhřevnost, nízkou vznětlivost charakterizovanou cetanovým číslem (CČ) a v neposlední řadě velmi malou mazací schopnost. Vzhledem k odlišnosti těchto parametrů, které jsou podrobněji uvedeny v tab. 6 je použití bioethanolu ve vznětových motorech složitější.

Z principu práce vznětového motoru plyne požadavek na dobrou vznětlivost vstříknutého paliva. Doba, která uplyne mezi vstříkem paliva a okamžikem vznícení se nazývá průtah vznícení. Z hlediska vlastností paliva je tato doba vyjádřena cetanovým číslem (CČ). Cetanové číslo je určeno objemovým podílem cetanu a heptametylnonanu. To znamená, že cetanové číslo 100 vyjadřuje velmi krátkou prodlevu vznícení a naopak cetanové číslo 0 vyjadřuje velmi dlouhou prodlevu vznícení. Cetanové číslo většiny naft používaných ve světě se pohybuje okolo padesáti.

Tab. 6: Porovnání vlastností bioethanolu a nafty [4]

Porovnání vlastností bioethanolu a nafty		
	Nafta	Bioethanol
Hustota (při 15°C)	~ 830 kg.m ⁻³	~ 794 kg.m ⁻³
Výhřevnost	42,7 MJ.Kg ⁻¹	27 MJ.Kg ⁻¹
Hmotnostní podíl kyslíku	< 0,6	34,7
Cetanové číslo	50	7

Základní úprava motoru tedy spočívá ve zvýšení kompresního poměru na 25 a více a vzhledem k nízké výhřevnosti bioethanolu je nutná změna dimenzování vstříkovacího systému. Nevýhodou je, že takto upravený motor již nelze provozovat na běžnou naftu.

Nabízí se tedy dvě možnosti využití bioethanolu ve vznětových motorech a to buď částečná náhrada nafty bioethanolem nebo úplná náhrada nafty bioethanolvým palivem jako například E 95. [6]

5.1 Částečná náhrada nafty bioethanolem

Bioethanol bez aditiv zvyšujících vznětlivost paliva lze použít u motorů, které umožňují současně pracovat se dvěma palivy. V tomto případě bioethanolem a naftou. Nabízí se řada způsobů použití jako například:

- Vstřikování směsi nafty s bioethanolem do spalovacího prostoru.
- Vstřikování pomocí dvou vstřikovacích čerpadel, přičemž jedno čerpadlo vstřikuje naftu a druhé vstřikuje bioethanol.
- Nasávání směsi bioethanolu se vzduchem, kde se nízkotlakým vstřikováním bioethanolu do sání motoru tvoří palivová směs.

Jak již bylo řečeno, jednou z možností využití bioethanolu ve vznětových motorech je přimíchání bioethanolu přímo do motorové nafty. Tento způsob však naráží na obtížnou mísitelnost a stálost směsi. Stálost a mísitelnost směsi je tedy vhodné podpořit aditivy, jako například butanolem. Z pohledu produkce uhlíkatých emisí a kouřivosti byl zaznamenán nejvyšší relativní efekt při přimíchání 5 % bioethanolu. Je nutné si uvědomit, že při přimíchání většího množství bioethanolu dojde ke snížení mazací schopnosti paliva. Snížení mazací schopnosti paliva zvyšuje opotřebení vstřikovacího zařízení. [5]

5.1.1 Směs nafty s podílem 5 % bioethanolu

Na Katedře vozidel a pozemní dopravy ČZU v Praze bylo ověřeno využití bioethanolu ve vznětových motorech. Směs tvořila motorová nafta s přídavkem 5% bioethanolu. Nepřetržitým mícháním byla zajištěna stálost této směsi. Důraz byl kladen na změnu produkce škodlivých emisí.

Měření bylo provedeno na zkušebním motorovém stanovišti katedry vozidel a pozemní dopravy technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze. Zkoušky byly provedeny na traktorovém motoru Zetor 7701, jehož základní parametry jsou uvedeny v tab. 7. K měření emisí HC, CO a CO₂ byl využit analyzátor Infralyt 4000, používající ke

zjištění koncentrací emisí nedisperzní infračervenou metodu (NDIR = Non Dispersive Infrared). Emise NO_x byly měřeny analyzátozem Uras 2T, kouřivost byla měřena pomocí přístroje Hartridge. Nastavování zatěžovacího momentu bylo provedeno dynamometrem VD 250. [5]

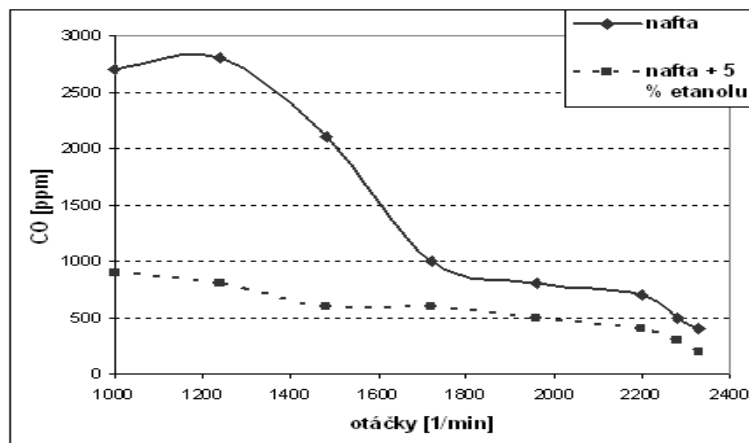
Tab. 7: Parametry měřeného motoru [5]

Parametr	Hodnota
Typ motoru	Z 7701
Maximální výkon	55 kW
Maximální točivý moment	280 Nm
Počet válců	4
Vrtání	102 mm
Zdvih	120 mm
Kompresní poměr	17
Jmenovité otáčky	2 200 ot/min
Předvstřík paliva	25° před HÚ
Vstříkovací tlak	18,7 ±0,1 MPa
Vstříkovací čerpadlo	PP 4 M 3137 S 0164
Výkonnostní regulátor	RV M 900 1100 3300
Vstříkovací trysky	DOP 160 S 430-1436

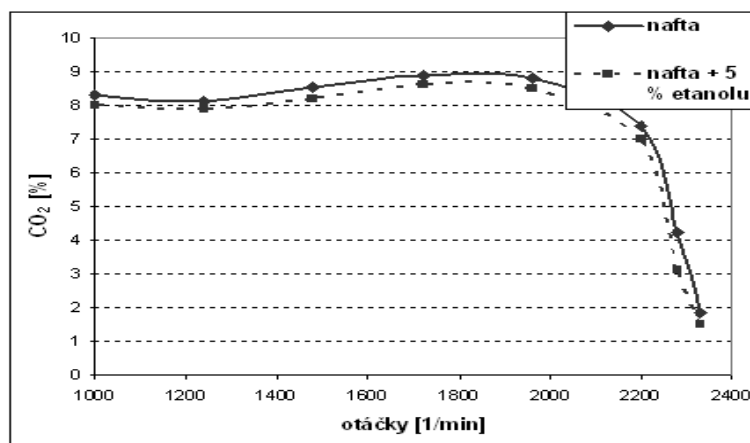
- V prvním kroku byla použita motorová nafta jako palivo. Při plné dodávce paliva byla naměřena vnější otáčková charakteristika motoru (změnou zatěžovacího momentu motoru). V tomto kroku byly naměřeny jednotlivé složky škodlivých emisí (CO₂, CO, HC) a kouřivost.
- V druhém kroku bylo použito palivo složené z 95 % nafty a 5 % bioethanolu. V tomto kroku byly naměřeny stejné parametry jako v kroku jedna. Během měření bylo nutné směs paliva stále míchat, kvůli špatné mísitelnosti nafty s bioethanolem.

Bylo zjištěno, že přidáním 5 % bioethanolu do nafty klesne točivý moment motoru o 2 - 3 %, což je způsobeno nižší výhřevností bioethanolu jak je uvedeno v tab. 6. Dále

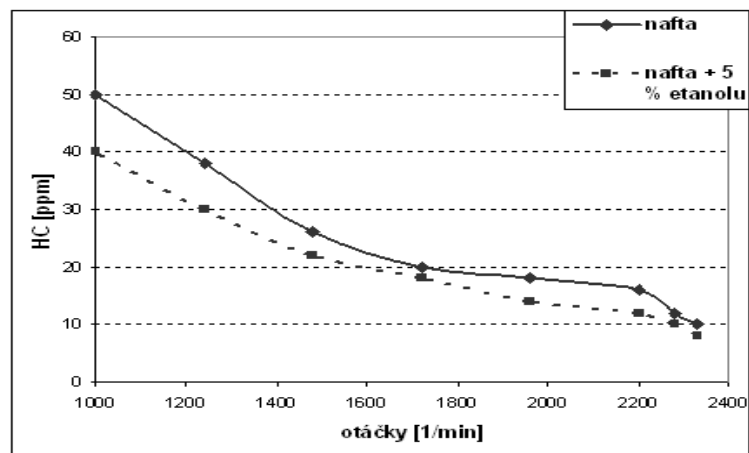
bylo zjištěno, že přidání 5 % bioethanolu do nafty vede k výraznému poklesu emisí CO a mírnému poklesu emisí CO₂, HC, a NO_x. Kouřivost motoru byla rovněž nižší. Výsledky měření reprezentují obr. 8 až 12.



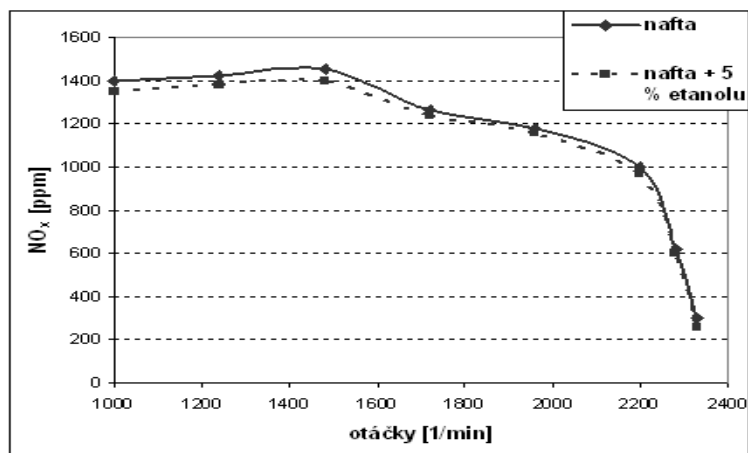
Obr. 8: Srovnání produkce emisí CO u nafty a směsi nafta + 5 % ethanolu. [5]



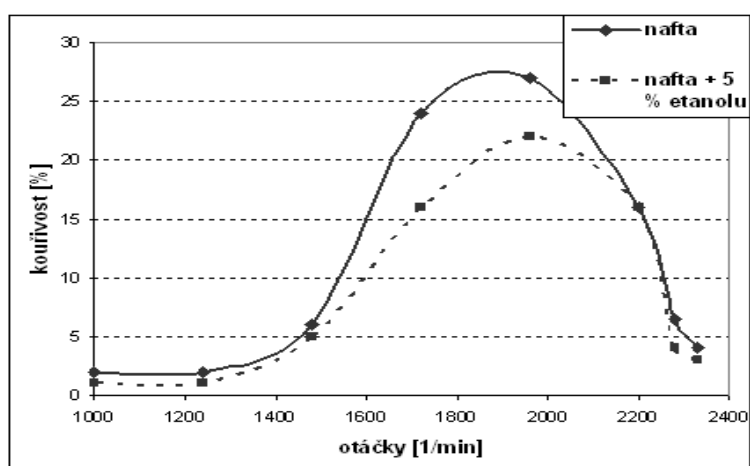
Obr. 9: Srovnání produkce emisí CO₂ u nafty a směsi nafta + 5 % ethanolu. [5]



Obr. 10: Srovnání produkce emisí HC u nafty a směsi nafta + 5 % ethanolu. [5]



Obr. 11: Srovnání produkce emisí NO_x u nafty a směsi nafta + 5 % ethanolu. [5]



Obr. 12: Srovnání kouřivosti motoru u nafty a směsi nafta+ 5 % ethanolu. [5]

5.1.2 Směs nafty s podílem 20 % bioethanolu

Možnost přimíchání bioethanolu do motorové nafty byla vyzkoušena na Katedře vozidel a pozemní dopravy České zemědělské university v Praze. Celkové charakteristiky byly naměřeny na traktorovém motoru zetor 7701, jehož parametry jsou uvedeny v tab. 7. Celkové charakteristiky byly naměřeny pro motorovou naftu a následně pro směs paliva složenou z 80 % nafty a 20 % bioethanolu. Během měření byla směs paliva stále míchána, čímž byla zajištěna homogenita směsi. Přínos přidávání 20 % bioethanolu byl vyhodnocen pomocí simulace NRTC (Non Road Transient Cycle). Důraz byl kladen na

změnu spotřeby paliva a změnu produkce jednotlivých škodlivých složek emisí. Výsledky přepočtené na jednu kilowatt hodinu jsou uvedeny v tab. 8. [7]

Tab. 8: Průměrné měrné emise a průměrná měrná spotřeba při simulaci NRTC cyklu pro motorovou naftu a směs s 20 % bioethanolu. [7]

Parametr	Nafta	Nafta + 20 % bioethanolu
průměrná měrná spotřeba paliva [g·kWh ⁻¹]	275,76	297,84
průměrné měrné emise CO ₂ [g·kWh ⁻¹].	829,32	822,01
průměrné měrné emise CO [g·kWh ⁻¹].	25,35	22,29
průměrné měrné emise HC [g·kWh ⁻¹].	0,16	0,13
průměrné měrné emise NO _x [g·kWh ⁻¹].	6,55	5,43
průměrná kouřivost [m ⁻¹]	0,04	0,032

Z výsledků je zřejmé, že použití směsi o složení 80 % nafty a 20 % bioethanolu se negativně projeví na spotřebu. Jedná se konkrétně o navýšení spotřeby o 8 %, které je opět zapříčiněno nižší výhřevností bioethanolu jak je uvedeno v tab. 6. Největší přínos je však v produkci škodlivých emisí. Největší pokles nastal v produkci emisí nespálených uhlovodíků, konkrétně 18,75 %. Výrazný je i pokles emisí oxidů dusíku (17,1 %) a oxidu uhelnatého (12,07 %). Výsledky tedy ukazují na významný ekologický přínos. [7]

5.2 Úplná náhrada nafty bioethanolovým palivem

Již zmíněné nepříznivé vlastnosti bioethanolu jako například korozní agresivita, nízká mazací schopnost a nízké cetanové číslo lze ovlivnit aditivy. Používají se aditiva na bázi organických dusitanů a dusičnanů. Možnostmi využití těchto paliv se zabývá řada významných výrobců motorů. Důvodem zájmu o tyto bioethanolová paliva je skutečnost, že vznětové motory, které jsou na ně provozované produkují méně některých škodlivých

emisí než motory provozované jen na naftu. Jedná se konkrétně o snížení emisí oxidů dusíku, a pevných částic. Dalším kladem je, že výfukové plyny neobsahují sloučeniny síry a množství úsad v motoru je rovněž nižší. [14]

Jak již bylo řečeno, většina vlastností bioethanolového paliva je upraveno pomocí vhodných aditiv, aby se blížili motorové naftě. Hlavním rozdílem tedy zůstává opět nižší výhřevnost. Motor provozovaný na bioethanolové palivo se tedy vyznačuje zejména těmito odlišnostmi:

- Palivová vstřikovací soustava, skládající se z vstřikovacího čerpadla a trysek musí být přizpůsobena na 1,6 krát nižší výhřevnost bioethanolového paliva.
- Provoz na bioethanolové palivo vyžaduje jiný počátek vstřiku paliva než provoz na naftu.
- Ke snížení emisí CO a HC musí být motor, který je provozován na bioethanolové palivo vybaven oxidačním katalyzátorem, který je složen z vrstvy drahých kovů (platina, paladium). Vrstvy drahých kovů vyvolají reakci nedokonalých produktů hoření s přebytečným kyslíkem.

V Ústavu pro výzkum motorových vozidel (TÜV ÚVMV s.r.o.) bylo na traktorovém motoru zkoušeno palivo E 95. Byly zkoušeny dvě varianty paliva, jedna s obsahem 95 % ethanolu a 5 % přísad pro vznícení AVOCET a druhá s obsahem ethanolu 85 % a 15 % přísad pro vznícení LC3027. Stanovení spotřeby paliva a měření produkce škodlivých emisí bylo stanoveno v souladu s homologačními předpisy EHK24 a EHK 96. Předpis EHK 96 definuje osmibodový zatěžovací test pro měření produkce škodlivých emisí a pevných částic při homologaci nesilničního vozidla a předpis EHK 24 stanovuje podmínky pro měření kouřivosti motoru. Výsledky měření jsou znázorněny v tab. 9. [14]

Tab. 9: Procentuální změna parametrů v porovnání s provozem na naftu. [14]

Parametr	E 95 -AVOCET	E 85 -LC3027
P_e (užitečný výkon)	-35,9 %	-33,3 %
M_t (točivý moment)	-37 %	-34,5 %
m_{pe} (měrná spotřeba paliva)	+69,60%	+63,70%
kouřivost	-3,8 %	-97 %
CO (oxid uhelnatý)	+199%	+126%
HC (nespálené uhlovodíky)	+562%	+287%
NO_x (oxidy dusíku)	+5%	+33%
PT (produkce pevných částic)	-34 %	-51 %

Z výsledků měření je patrné, že při provozu motoru na palivo E 85 i na palivo E 95 dojde ke znatelnému poklesu užitečného výkonu i točivého momentu. Tento problém je možné odstranit zvýšením vstřikovací dávky paliva. K tomu je většinou nutné vyměnit vstřikovací systém paliva, což znemožní opětovné provozování motoru na naftu. Velmi znatelné je také zvýšení měrné spotřeby paliva, které je způsobeno menší výhřevností bioethanolu, stejně jako u předchozích případů. Z tab. 9 je zřejmé, že provozování motoru na palivo E 85 a E 95 přináší velmi znatelný nárůst produkce nespálených uhlovodíků a oxidu uhelnatého. Z tohoto důvodu musí být motory spalující tyto paliva vybaveny oxidačním katalyzátorem. Mírný nárůst produkce oxidů dusíku může být snížen změnou recirkulovaného množství výfukových plynů. Hlavní výhody provozování vznětového motoru na paliva E 85 a E 95 lze najít v poklesu produkce pevných částic a kouřivosti. Pokles kouřivosti je mnohem znatelnější u paliva E 85.

Podobný test byl proveden i na Technické universitě v Liberci. Smyslem testu bylo posouzení škodlivých emisí motoru provozovaného na etanolové palivo. Motor byl provozován na palivo o složení ethanol + 5 % avocet + mazivostní přísada. Průměrné úrovně výfukových emisí vznětových motorů zjištěné v třináctirežimovém testu podle předpisu EHK 49, byly porovnávány s průměrnými emisemi zjištěnými při provozu vznětových motorů na naftu. Všechny vznětové motory byly vybaveny oxidačním katalyzátorem.

Výsledkem testu bylo zjištění, že došlo k:

- Snížení obsahu pevných částic na 30 %
- Snížení obsahu oxidů dusíku na 80 %
- Zvýšení obsahu oxidu uhelnatého na 150 %
- Zvýšení obsahu nespálených uhlovodíků na 200 %

I přes relativně rozdílné vlastnosti bioethanolu a nafty vyžadující větší úpravy než u zážehových motorů našla bioethanolová paliva ve vznětových motorech uplatnění. V ČR může být příkladem autobus Scania OmniLink Ethanol, který byl uveden do provozu v roce 2009 v Dobrovicích u Mladé Boleslavi. Autobus spaluje palivo s obchodním označením ED 95, které obsahuje 95 % bioethanolu. Ve srovnání se standardními vznětovými motory produkuje přibližně o 90 % CO₂ méně. Ethanolová verze je odvozena od typu poháněného standardním vznětovým motorem typu DC9E02 270, kapalinou chlazeným řadovým pětiválcem o zdvihovém objemu 8900 cm³ a největším výkonu 198 kW/1900 min⁻¹. Úpravy zahrnují mimo jiné náhradu několika pryžových těsnění palivového systému za silikonová, záměnu vysokotlakého vstřikovacího systému HPI za jednodušší, pracující s nižšími tlaky a několika dalších, zanedbatelných detailů. Vzhledem k aplikaci systému EGR (recirkulace výfukových plynů) není nutná ani instalace odlučovače pevných částic ve výfukovém systému, stejně jako vstřikování katalytického činidla AdBlue. [22]



Obr. 13: Autobus Scania OmniLink Ethanol [22]

6 Závěr

Pro zachování trvale udržitelného rozvoje lidské společnosti v oblasti dopravy je nutné snížit spotřebu fosilní energie. Vzhledem k omezenému dojezdu, nižšímu výkonu a vyšší ceně elektromobilů nebo nákladné výrobě a omezené infrastruktuře čerpacích stanic pro vodíkové pohony se stále jeví biopaliva jako nejlepší způsob snižování produkce škodlivých výfukových plynů. Jedním z nejperspektivnějších biopaliv je bioethanol. Vzhledem k zpřísnování emisních limitů nebude stávající částečné přimíchávání bioethanolu za nějaký čas dostačující, proto bude nutné začít používat vysokoprocentní bioethanolová paliva jako již zmíněný E 85 nebo E 95. Největší význam má bioethanol u zážehových motorů, u nichž nepředstavuje aplikace výraznější problém. Z tohoto důvodu se nejperspektivnější jeví spalování bioethanolu ve vozidlech označených jako FFV (Flexi Fuel Vehicle), která umožňují spalování paliva s různým podílem bioethanolu. U vznětových motorů nastávají při částečné náhradě nafty bioethanolem problémy s udržení homogenity směsi a úplná náhrada nafty bioethanolovým palivem je relativně nákladná. Z tohoto důvodu může provoz vznětových motorů na vysokoprocentní bioethanolová paliva jako ED 95 obstát spíše u vozidel městské hromadné dopravy viz autobus Scania OmniLink Ethanol ale u osobních automobilů zřejmě uplatnění nenajde.

Produkce bioethanolu jako motorového paliva v celosvětovém měřítku je v posledních letech na vzestupu. V současné době je většina bioethanolu vyráběna z potravinářských plodin, což negativně působí na cenu potravin. Větší přínos lze očekávat od výroby bioethanolu z lignocelulósové hmoty, která je v přírodě více rozšířena.

7 Seznam literatury

- [1] Bohlmann G. M.: Process economic considerations for production of ethanol from biomass feedstocks. *Ind. Biotechnol*, 2, 2006, s. 14–20.
- [2] Directive 2003/96/EC of the European Parliament and of the Council on restructuring the Community framework for the taxation of energy products and electricity the, Brusel 27.10. 2003
- [3] Hamelinck, C.N.; Hooijdonk, G.; Faaij, A.P.C.: Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term, *Biomass Bioenergy* 28 (2005), pp. 384–410.
- [4] Hromádko, Jan, Hönic, Vladimír: Ekonomická analýza využití bioetanolu v zážehových motorech. *Listy cukrovarnické a řepařské*, www.cukr-listy.cz [online], ISSN: 1210-3306
- [5] Hromádko, Jan: Využití etanolu ve vznětových motorech. *Biom.cz* [online]. 2010-05-12 [cit. 2011-02-06]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-etanolu-ve-vznetovych-motorech>>. ISSN: 1801-2655.
- [6] Hromádko J., Hromádko J., Miler P., Hönic V., Štěrbá P.: Výroba bioetanolu , *Listy cukrovarnické a řepařské*. Roč. 126, č. 7/8 (červenec-srpen 2010), s. 267-271. ISSN 1210-3306
- [7] Hromádko J., Miler P., Hromádko J., Hönic V., Schwarzkopf M.: Zhodnocení environmentálního přínosu přimíchávání ethanolu do motorové nafty. *Doprava*, 51, 2009 (3). ISSN 0012-5520, s 22-24
- [8] Jungman, Aleš. *Auto.cz* [online]. 2007 [citováno 2011-01-20]. Volvo: dva další modely schopny spalovat palivo E85. Dostupné z [www](http://www.auto.cz/volvo-dva-dalsi-modely-schopny-spalovat-palivo-e85-10547): <<http://www.auto.cz/volvo-dva-dalsi-modely-schopny-spalovat-palivo-e85-10547>>.
- [9] Karimi, K.; Emtiazi, G.; Taherzadeh, M.J.: Ethanol production from dilute-acid pretreated rice straw by simultaneous saccharification and fermentation with *Mucor indicus*, *Rhizopus oryzae*, and *Saccharomyces cerevisiae*, *Enzyme and Microbial Technology* 40 (2006), pp. 138–144.
- [10] Kizlink, Juraj: Vliv biopaliv na motory. *Biom.cz* [online]. 2010-04-20 [cit. 2011-02-04]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vliv-biopaliv-na-motory?add_disc=1>. ISSN: 1801-2655.
- [11] Kumar N. V. L. et al.: Liquid biofuels in South Asia: resources and technologies. *Asian Biotechnol Develop Rev.*, 8, 2006, s. 31–49.

[12] Kunteová, L: Technický líh z cukru a škrobu. LCaŘ 117, č. 7-8, Praha 2001, s. 185 – 187.

[13] Laurin, Josef: Étery získávané z biomasy jako alternativní automobilová paliva. *Biom.cz* [online]. 2007-09-12 [cit. 2011-02-04]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/etry-ziskavane-z-biomasy-jako-alternativni-automobilova-paliva>>. ISSN: 1801-2655.

[14] Laurin, Josef. Motory na paliva s kvasným lihem. [online]. 2006 [citováno 2011-02-10]. Dostupné z www: <http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2006/2006_102_01.pdf>.

[15] Laurin J.: Uplatnění motorových biopaliv v dopravě v ČR. *Alternativní energie*, 9, 2006 (4), ISSN 1212-1673

[16] Mach, J.: Nepotravinářské využití cukrové řepy zejména k výrobě bioethanolu. *Agrární perspektivy VII – Sborník prací*, 1988, s. 544 – 549.

[17] Matějovský, V.: *Automobilová paliva*. Nakladatelství GRADA, Praha, 2005. ISBN 80-247-0350-5

[18] Miler P., Hromádko J., Hromádko J., Höning V., Schwarzkopf M.: Zhodnocení ekologického potenciálu paliva E85. *Listy cukrovarské a řepařské*, 125, 2009 (5/6). ISSN 1210-3305, s. 180-184.

[19] Ondračka, Tomáš: Výpalky jako krmná surovina. *Biom.cz* [online]. 2009-03-02 [cit. 2010-11-25]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vypalky-ako-krmna-surovina>>. ISSN: 1801-2655.

[20] Pavlůsek, Ondřej. *Auto.cz* [online]. 2007 [citováno 2011-01-20]. Chevrolet Volt-provedení pro modelový rok 2011. Dostupné z www: <<http://www.auto.cz/chevrolet-video-volt-provedeni-modelovy-rok-2011-5599>>

[21] Sánchez O. J., Cardona C. A.: Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technol.*, 99, 2008, s. 5270–5295.

[22] Scania.cz [online]. C2009 [cit. 2011-01-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.scania.cz/about-scania/media/press-releases/firstclean.aspx>>

[23] Šebor G., Pospíšil M., Žákovec J.: Technickoekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě, výzkumná zpráva vypracovaná pro Ministerstvo dopravy ČR, VŠCHT Praha, červen 2006.

[24] Štětina, Josef. Alternativní pohony motorových vozidel [prezentace]. 2009 [cit. 2011-02-10]. Dostupné z www: <<http://ottp.fme.vutbr.cz/vyuka/sat/SeminatAT2009-05.pdf>>

8 Přílohy

Příloha 1:

Nejúspornější automobily se vznětovými motory na evropském trhu (údaje výrobců). [17]

typ vozidla	výkon [Kw]	mimo město	město	kombinovaná
		spotřeba nafty (l/100Km)		
Audi A2 1,2 TDI	45	2,7	3,6	3
VW Lupo 1,2 TDI	45	2,7	3,6	3
Smart 0,8 Turbodiesel	30	3,1	3,9	3,4
Citroen C3 1,4 HDI	50	3,8	5,1	4,2
Renault Clio 1,5 DCI	60	3,5	5,3	4,2
Citroen C3 1,4 HDI 16V	66	3,7	5,3	4,3
Fiat Panda 1,3 Multijet	51	3,7	5,4	4,3
Ford Fiesta 1,4 TDCI	50	3,7	5,3	4,3
Peugeot 206 1,4 HDI	50	3,6	5,5	4,3
Seat Arosa 1,4 TDI	55	3,5	5,6	4,3
Škoda Fabia 1,4 TDI	55	3,9	5,5	4,4
Toyota Yaris 1,4 D	55	3,9	5,5	4,4

Příloha 2:

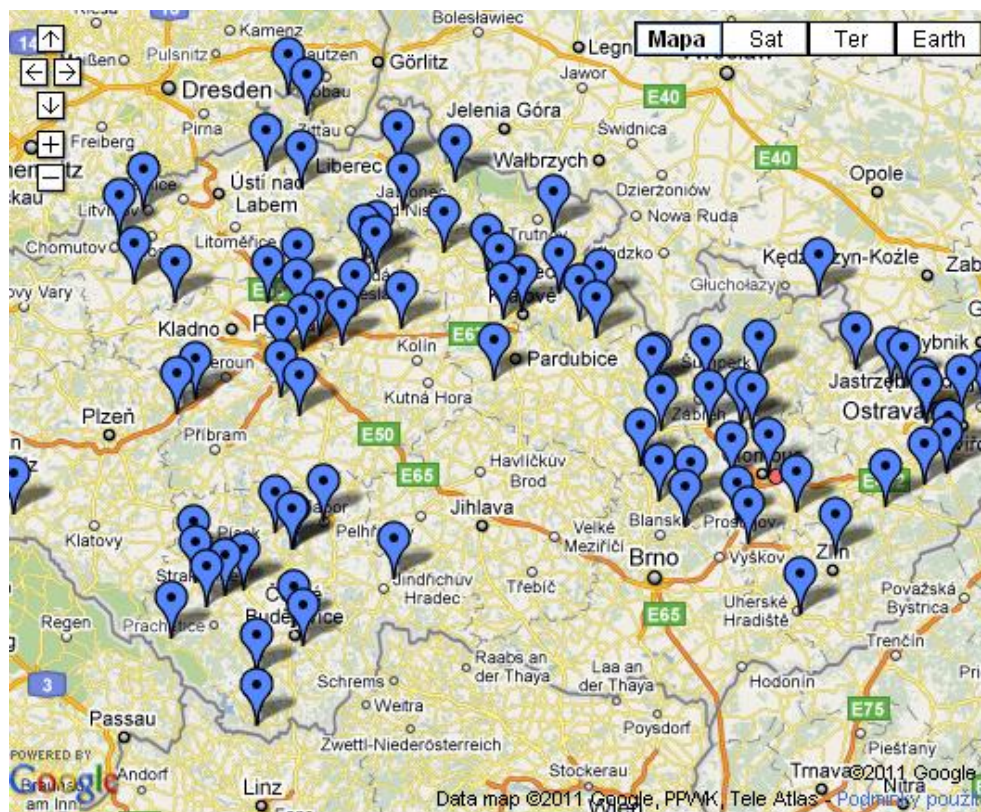
Nejúspornější automobily se zážehovými motory na evropském trhu (údaje výrobců). [17]

typ vozidla	výkon [Kw]	mimo město	město	kombinovaná
		spotřeba benzínu (l/100Km)		
Smart 0,7 Turbo	37	4	5,9	4,7
Suzuki Alto 1,1 16V	46	4	6,5	4,9
VW Lupo 1,4 16J FSI	77	4,1	6,3	4,9
Daihatsu Curoe 1,0 12V	41	4,4	6,4	5,1
Honda Jazz 1,2	57	4,5	5,7	5,3
Smart 0,6 Turbo	52	4,9	6,4	5,4
Daihatsu Sirion 1,0 12V	41	4,7	6,7	5,5
Honda Jazz 1,4	61	4,7	6,8	5,5
Opel Corsa 1,0 12V	43	4,7	7,2	5,6
Fiat Punto 1,2	44	4,8	7,3	5,7
Lancia Ypsilon 1,2	44	4,8	7,3	5,7

Příloha 3: Traktorový motor Zetor 7701 [5]



Příloha 4: Vybrané čerpací stanice paliva E 85 na území ČR.



Příloha 5:

Hybridní Chevrolet Volt (primárním zdrojem energie je elektřina - dojezd 60 km, sekundárním zdrojem je spal. motor na benzín nebo palivo E 85 – 450 km dojezd na jednu nádrž.) [20]

