



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ALTERNATIVNÍ PALIVA PRO VZNĚTOVÉ SPALOVACÍ MOTORY

ALTERNATIVE FUELS FOR CI ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Cvejn

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Michal Cvejn**
Studijní program: Základy strojního inženýrství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Radim Dundálek, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Alternativní paliva pro vznětové spalovací motory

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení základních pojmů zadané problematiky. Zamyšlení nad aktuálními trendy v oblasti alternativních paliv (HVO, FAME, UCO/UCOME atd.) – hydrogenace, paliva na bázi živočišných a kafilerních tuků případně použitých rostlinných olejů.

Cíle bakalářské práce:

Uvedení přehledu možných alternativních paliv a jejich vlastností.
Porovnání s klasickou naftou dle EN590.
Úvaha nad perspektivou budoucího vývoje a reálného uplatnění v praxi.

Seznam doporučené literatury:

REIF, Konrad. Diesel engine management: systems and components. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2014. ISBN 9783658039806.

MAJEWSKI, W. A., KHARI, K. M. Diesel Emissions and Their Control, SAE International, 2006, 561 s., ISBN 0768006740, 9780768006742.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Zájem o environmentálně přívětivější alternativy k fosilním palivům stále roste. Nejen kvůli omezeným zásobám ropy, ale také kvůli emisním regulacím, které se stále zpřísňují. Vznětové motory mají ve světě hojně využití, a to nejen v silniční dopravě. Elektrifikace vozového parku však nemusí být jediným řešením otázky udržitelnosti do budoucna. Tato bakalářská práce uvádí přehled paliv, které by bylo možné použít jako náhradu za motorovou naftu ve vznětových motorech. U každého z jednotlivých paliv je uveden proces výroby, přední vlastnosti, emisní charakteristiky a případné potřebné konstrukční úpravy motoru. Hydrogenovaný rostlinný olej se v současnosti jeví jako nejlepší náhrada klasické nafty. Na závěr je uvedena současná dostupnost těchto paliv v České republice. Do budoucna je potřeba tomuto tématu věnovat větší pozornost.

KLÍČOVÁ SLOVA

nafta, bionafta, FAME, UCOME, HVO, DME

ABSTRACT

Interest in more environmentally friendly alternatives to fossil fuels is growing. Not only because of limited oil supplies, but also because emissions regulations are becoming more stringent. Diesel engines are widely used around the world, and not only in road transport. However, the electrification of the fleet may not be the only solution to the issue of sustainability in the future. This bachelor thesis presents an overview of fuels that could be used to replace diesel in diesel engines. For each of the individual fuels, the production process, leading properties, emission characteristics and any necessary engine design modifications are presented. Hydrotreated vegetable oil appears to be the best substitute for conventional diesel at present. Finally, the current availability of these fuels in the Czech Republic is given. More attention should be paid to this topic in the future.

KEYWORDS

diesel, biodiesel, FAME, UCOME, HVO, DME

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CVEJN, Michal. *Alternativní paliva pro vznětové spalovací motory*. Online, bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství, 2024. Vedoucí práce Radim Dundálek. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/158027>.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Radima Dundálka, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 24. května 2024

.....

Michal Cvejn

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D. za jeho všestrannou pomoc, kterou mi poskytl při realizaci této práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině a nejbližším přátelům za jejich podporu nejen při psaní práce, ale také v průběhu celého studia.

OBSAH

Úvod	10
1 Motorová nafta	11
1.1 Hlavní požadavky na palivo	11
1.2 Emise a jejich regulace	13
2 FAME	15
2.1 Výroba	15
2.2 Vlastnosti	16
2.3 Emise	17
2.4 Úpravy motoru	18
2.5 UCOME	18
2.6 TME	19
2.7 Mikrořasy	19
2.8 Sinice	20
2.9 Shrnutí	21
3 HVO	22
3.1 Výroba	22
3.2 Vlastnosti	23
3.3 Emise	24
3.4 Úpravy motoru	25
3.5 Shrnutí	25
4 DME	26
4.1 Výroba	26
4.2 Vlastnosti	27
4.3 Emise	28
4.4 Úpravy motoru	29
4.5 Shrnutí	29
5 Současná dostupnost	30
Závěr	31
Použité informační zdroje	32
Seznam použitých zkratk a symbolů	35

ÚVOD

Je těžké odhadnout, na jak dlouhou dobu budeme moci jako společnost využívat ropné zásoby naší planety. Podle některých odborníků se mohou zásoby konvenční ropy vyčerpat v horizontu několika desítek let, pokud se spotřeba bude nadále zvyšovat a nebudou podniknuty zásadní kroky ve využívání energie. Této situaci může pomoci například objevení nových ložisek nebo technologická inovace v těžbě a zpracování ropy, což by sice problém oddálilo, ale celkově by ho neřešilo. Snaha o nalezení obnovitelných paliv je tedy na místě.

Obrovským tématem současnosti je také změna klimatu a globální oteplování. V poslední době je silniční dopravě, a spalovacím motorům jako takovým, v Evropě věnována velká pozornost, jelikož je na ně nahlíženo jako na jeden z hlavních zdrojů znečištění ovzduší a jsou také spojeny s tvorbou skleníkových plynů. Tvorba emisí z těchto motorů je nezpochybnitelná, ovšem to, do jaké míry ovlivňuje Evropský dopravní sektor globální klima je otázka jiná. Evropská unie již řadu let vydává normy, které určují povolené množství vypuštěných emisí do ovzduší při spalování ve spalovacích motorech. V tomto ohledu by mohla přinést alternativní paliva jiný pohled na věc. Jiné chemické složení a fyzikální vlastnosti těchto paliv mohou přímo ovlivnit množství vyprodukovaných emisí.

Automobilový průmysl v dnešní době intenzivně pracuje na elektrifikaci vozidel a pohonných jednotek, jelikož se má podle současných plánů Evropské Unie v roce 2035 zakázat prodej spalovacích aut, aby bylo dosaženo uhlíkové neutrality do roku 2050. Elektrická vozidla jsou však výrazně dražší než automobily se spalovacími motory a současná infrastruktura není připravena na kompletní nasazení elektromobilů. V budoucnu by se tedy teoreticky mohly vyrábět pouze vozidla, která nebudou produkovat výfukové plyny. Co se ale stane s vozidly s vnitřním spalováním, které budou stále v provozu? Jestli se v budoucnosti rozhodneme jít pouze cestou elektromobility, alternativní paliva by mohla hrát obrovskou roli v období přechodu z fosilních paliv na elektrický pohon. Klasické automobily by v této době přechodu mohly být poháněny pomocí paliv, které by byly udržitelné a celkově ekologičtější.

Tato práce se zaměřuje na zkoumání různých typů alternativních paliv určených pro vznětové motory, a to včetně jejich vlastností, výrobních procesů, využitelnosti a ekologických dopadů. Cílem je poskytnout komplexní pohled na současný stav a zhodnotit jejich potenciál, jako náhrady za tradiční fosilní naftu.

1 MOTOROVÁ NAFTA

Podle normy ČSN EN 590 jsou v České republice dostupné nafty třídy B, D a F, což jsou nafty pro letní, přechodné a zimní podmínky. Norma také stanovuje parametry pro speciální třídu nafty 2, tedy naftu pro arktické klima. Tyto třídy se primárně liší v hodnotě filtrovatelnosti a takzvaného cloud pointu.[1] Cloud point, někdy také nazývaný bod zakalení, je teplota, při které dochází k tvorbě voskových krystalů, které jsou pro chod vznětových motorů nežádoucí. V nejhorším případě mohou vzniklé krystaly kompletně blokovat proudění paliva.

V současné době také norma předepisuje maximální procentuální podíl biosložky v motorové naftě. Pro třídy B, D a F je tato hodnota stanovena na 7 % podílu složky FAME. Nafta pro arktické podmínky neobsahuje biosložku, protože snižuje výše zmíněný cloud point. Obsah FAME se může především projevit tvorbou úsad ve skladovacích a vozidlových nádržích, když nafta zůstává delší dobu v klidu. Z tohoto důvodu se pro běžné používání doporučuje naftu spotřebovat do tří měsíců od nákupu.[2]

1.1 HLAVNÍ POŽADAVKY NA PALIVO

Dieselová paliva jsou produktem stupňové destilace ropy. Obsahují různé spektrum uhlovodíků s body varu v rozmezí 180–370 °C a ke vznícení dojde přibližně při 350 °C. V Evropě stanovuje technické specifikace pro motorovou naftu norma EN 590. Ta zahrnuje požadavky na chemické složení nafty, její fyzikální vlastnosti, a to za účelem zajištění bezporuchovosti vozidla a omezení znečišťujících látek.[3] Vybrané kontrolované parametry jsou uvedeny v *tab. 1*.

Tab. 1 Vybrané parametry normy ČSN EN 590 [4]

Parametr	Jednotka	Limit
Bod vzplanutí	°C	min. 55
Destilační zkouška	–	–
– při 250 °C předdestiluje	% (V/V)	max. 65
– při 350 °C předdestiluje	% (V/V)	min. 85
– 95 % (V/V) předdestiluje při	°C	max. 360
Obsah síry	mg/kg	max. 10
Obsah FAME	% (V/V)	max. 7
Hustota při 15 °C	kg/kg ³	820 – 845
Obsah vody	mg/kg	max. 200
Oxidační stabilita	g/m ³	max. 25
	h	max. 20
Viskozita při 40 °C	mm ² /s	2,00 – 4,50
Obsah PAU	% (m/m)	max. 8
Cetanové číslo	–	min. 51
Cetanový index	–	min. 46

CETANOVÉ ČÍSLO

Dieselové motory nevyžadují externě dodávanou zapalovací jiskru, palivo se musí samovolně vznítit s co nejmenším zpožděním. Cetanové číslo vyjadřuje jak rychle a efektivně se palivo samovznítí a začne hořet po vstřikování.[3] Malé cetanové číslo způsobí dlouhou prodlevu vznícení a když k němu dojde, tak je palivo ve spalovacím prostoru rozprašeno a částečně i odpařeno. To způsobí příliš rychlý nárůst tlaku, který se například projeví vysokým hlukem. Paliva s velkým cetanovým číslem mají naopak prodlevu krátkou, a začínají hořet už velmi blízko vstřikovací trysky. Díky tomu dochází k nedokonalému spalování a tvorbě sazí, jelikož se palivo nedostatečně promísilo se vzduchem.[5] Zpravidla tedy platí, že čím vyšší cetanové číslo palivo má, tím je kvalitnější. Příliš vysoké cetanové číslo vede ale také k nežádoucím účinkům.

OBSAH SÍRY

Dieselová paliva obsahují chemicky vázanou síru, která může způsobit korozivní poškození motoru. Oxidy síry jsou škodlivé vůči životnímu prostředí a vedou také ke vzniku kyselých dešťů. U lidí vedou oxidy síry k negativnímu vlivu na kůži, oči a při vdechování poškozují dýchací cesty. Množství síry obsažené v palivu je závislé na kvalitě surové ropy a přísadách přidaných při rafinérii. Zejména zlomkové složky, které se vyskytují v ropě, obsahují vysoké množství síry.[3][4]

OBSAH VODY

Bakterie, kvasinky a plísně potřebují ke svému přežití vodu. Jejich nárůst souvisí s tvorbou biokalů v nádržích, ať už u automobilů, nebo ve skladovacích nádržích. Stačí velmi malé množství nerozpuštěné vody v palivu a může dojít ke korozi, vážnému poškození palivových čerpadel a ucpávání filtrů. Při nízkých teplotách může docházet i k tvorbě krystalků ledu. Není ale možné zabránit zanesení vody do nádrže s palivem v důsledku kondenzace vody ze vzduchu.[1][3][4]

HUSTOTA

Kromě viskozity, povrchového napětí a tlaku nasycených par, hustota také ovlivňuje rozprašování paliva, které dále působí na průběh jeho spalování. Je to hlavní faktor ovlivňující množství vstříknutého paliva. Na hustotě závisí také přeprava a distribuce vyrobeného paliva.[6]

OXIDAČNÍ STABILITA

Přítomnost méně stabilních a reaktivních látek snižuje oxidační stabilitu nafty. To vede k tvorbě úsad, které zanáší palivový filtr a ostatní části palivového systému. Palivo se špatnou oxidační stabilitou má také horší mazací vlastnosti a rychleji degraduje. Tento parametr je velmi důležitý při skladování nafty.[4]

1.2 EMISE A JEJICH REGULACE

Doprava hraje velkou roli v otázce znečišťování životního prostředí a změně klimatu. Spalování fosilních paliv přispívá k zesílení skleníkového efektu. Výsledkem ideálního spalování nafty by byl pouze CO_2 a H_2O . To je však kvůli reálným podmínkám provozu motorů nevládnutelné, a tak vznikají další škodlivé emise. Nejvýznamnějšími z nich jsou CO , HC , NO_x a PM . [7]

OXID UHELNATÝ (CO)

Koncentrace oxidu uhelnatého ve výfukových plynech závisí hlavně na směsi vzduchu a paliva. Vzniká primárně spalováním bohaté směsi ($\lambda > 1$) kvůli nedostatku vzduchu. To zapříčiní, že se veškerý uhlík nedokáže přeměnit na CO_2 a vzniká CO . U vznětových motorů většinou dochází k chudému spalování ($\lambda < 1$), ale i přes to oxid uhelnatý v tomto režimu spalování vzniká. Například kvůli nízké turbulenci ve spalovací komoře, nebo když je palivo nedostatečně rozprášeno a vznikají příliš velké kapky. [7]

Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn bez zápachu. Po vdechnutí se přenáší do krevního oběhu a brání hemoglobinu přenášet kyslík. Může ovlivnit funkci některých orgánů, což má za následek zhoršení koncentrace, zpomalení reflexů, zmatenost a v nejhorším případě způsobuje udušení. [7]

UHLOVODÍKY (HC)

Emise uhlovodíků vznikají neúplným spálením paliva kvůli nedostatečné teplotě v blízkosti stěn válce. Hlavní příčinou vzniku těchto emisí je spalování chudé směsi při nízkém zatížení motoru. Díky nízké rychlosti plamene dojde jen k částečnému spálení celkového množství paliva. Nepravidelné provozní podmínky, seřízení, konstrukce a palivo motoru ovlivňují vznik uhlovodíků. Ty mimo jiné nevznikají pouze ve výfukových plynech, ale také ve skříní motoru a palivovém systému. [7]

Uhlovodíky jsou toxické, dráždí dýchací cesty a jsou karcinogenní. Spolu s dalšími emisemi hrají stěžejní roli při tvorbě přízemního ozonu, který je lidskému zdraví nebezpečný. [7]

PEVNÉ ČÁSTICE (PM)

Emise pevných částic mohou pocházet ze shlukování malých částic neúplně spáleného paliva a mazacího oleje. Dále jejich tvorbu ovlivňuje obsah popela, sulfátů a vody v palivu. Pevné částice jsou obvykle kuličky o průměru až 40 nm. Vznik těchto emisí závisí na procesu a teplotě spalování, kvalitě paliva a mazacího oleje a na chlazení výfukových plynů. Emise PM jsou až 10× vyšší než emise tohoto typu z benzínových motorů. [7]

Vdechování pevných částic může způsobit vážné zdravotní problémy, jako jsou předčasná úmrtí, astma, rakovina plic a jiné kardiovaskulární problémy. Emise pevných částic také přispívají k celkovému znečištění životního prostředí, snižování viditelnosti a ke změně klimatu. [7]

OXIDY DUSÍKU (NO_x)

Oxid dusnatý (NO) a oxid dusičný (NO₂) jsou jednotně označovány jako oxidy dusíku. Dusík obsažený ve vzduchu za normálních okolností nereaguje s kyslíkem při spalování. Vysoké teploty ve spalovací komoře však způsobují reakci mezi těmito prvky a vznikají emise NO_x. Zvyšováním teploty spalování se zvyšuje množství uvolněných NO_x a to trojnásobně pro každé navýšení o 100 °C. Vznětové motory jsou zodpovědné za přibližně 85 % všech emisí oxidů dusíku.[7]

NO je bezbarvý plyn bez zápachu, zatímco NO₂ má červeno-hnědou barvu a štiplavý zápach. Oba jsou toxické, oxid dusičný však pětikrát tolik než oxid dusnatý. Jsou také spojovány s poškozením plic. Oxidy dusíku přispívají ke vzniku smogu, přízemního ozonu a kyselých dešťů.[7]

REGULACE EMISÍ

Evropské normy EURO stanovují limity vypuštěných škodlivých látek, které produkují motorová vozidla. Tyto normy jsou navrženy s cílem snížit negativní dopady automobilové dopravy na životní prostředí a lidské zdraví. Každá nová generace norem stanovuje přísnější limity emisí, než předchozí verze (viz tab. 2), což nutí automobilový průmysl k vývoji čistějších a účinnějších motorů. Oxid uhličitý bývá nejvíce skloňován v mediálním prostoru jako hlavní příčina globálního oteplování a klimatické krize jako takové celkově. Normy EURO ale paradoxně neurčují limit CO₂ emisí. Předpisy, které jsou aktuálně v platnosti, bývají také doplňovány o způsobu měření.

Tab. 2 Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO (upraveno) [8]

Euro norma	Rok vydání	CO	NO _x	HC + NO _x	PM
-	-	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]
1	1992	3,16	-	1,13	0,18
2	1996	1,00	-	0,70	0,08
3	2000	0,64	0,50	0,56	0,05
4	2005	0,50	0,25	0,30	0,025
5	2009	0,50	0,18	0,23	0,005
6	2014	0,50	0,08	0,17	0,005

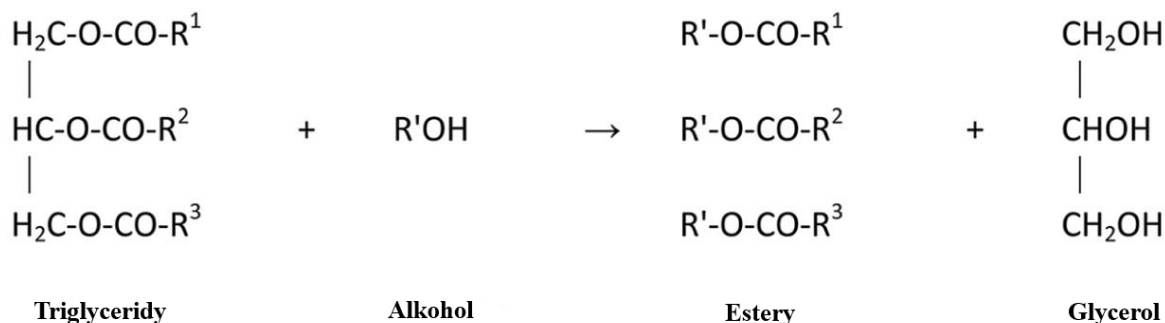
Jak lze z tab. 2 vidět, normy pro vozidla v Evropské unii přicházely v pravidelných intervalech s nižšími požadavky. V současné chvíli je již Evropským parlamentem schválena norma EURO 7. Emisní limity pro osobní automobily zůstanou na stejné úrovni, jak určovala předchozí norma. Legislativa však nově zavádí opatření ke snížení emisí pevných částic, které vznikají otěrem pneumatik o vozovku a brzdových destiček o kotouče. Pro vozidla se spalovacími motory je tato hodnota stanovena na 7 mg/km. Až bude norma schválena Radou Evropské unie, pro nová osobní vozidla vstoupí v platnost po dva a půl roce, pro stávající automobily po tři a půl roce.[9]

2 FAME

Fatty acid methyl esters, neboli metylestery mastných kyselin, jsou souhrnně nazývána alternativní paliva pro vznětové motory získávaná z obnovitelných zdrojů, jako jsou rostlinné oleje a živočišné tuky. FAME se v literatuře často označuje jako biodiesel. V Evropě se pro výrobu FAME převážně využívá řepka olejná. V souvislosti s tím se často lze setkat se zkratkou RME/MEŘO (rapeseed methyl ester/metylester řepkového oleje), která specificky označuje řepku jako výchozí surovinu pro výrobu paliva. Kromě řepkového oleje jsou také k výrobě využívány oleje slunečnicové, sójové, palmové a kokosové, často v závislosti na klimatických podmínkách v místě výroby.[10]

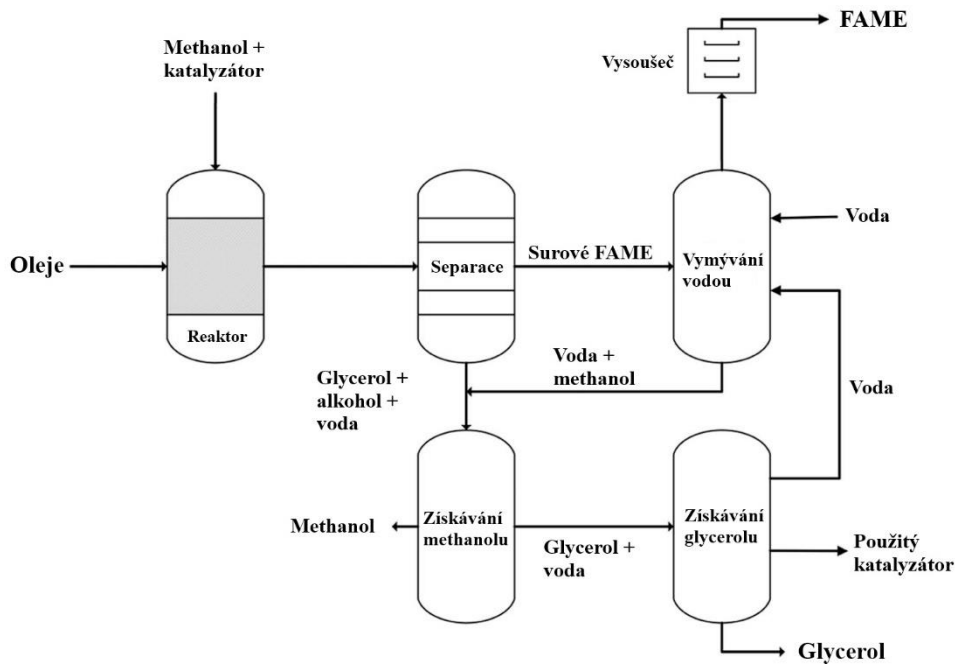
2.1 VÝROBA

Transesterifikace (alkoholýza) je považována za jednu z nejefektivnějších metod výroby FAME díky její jednoduchosti a nízkým nákladům. Jedná se o chemickou reakci mezi triglyceridy a alkoholem za přítomnosti katalyzátoru, viz *obr. 1*. Výsledným produktem této reakce je FAME a jako vedlejší produkt vzniká glycerol, který se dále může využívat v potravinářském nebo farmaceutickém průmyslu.[11]



Obr. 1 Proces transesterifikace (upraveno) [11]

Je nutno podotknout, že jak alkohol, tak použité oleje mají významný vliv na vlastnosti výsledného esteru. Jako nejlevnější alkohol se k výrobě používá methanol. Je ale třeba zvážit charakteristiky různých alkoholů, které by mohly být použity při výrobě místo methanolu.[11] Proces výroby je znázorněn na *obr. 2*.



Obr. 2 Proces výroby FAME (upraveno) [11]

Proces promývání produktového esterového roztoku je nezbytný, aby se odstranil zbylý katalyzátor a případné nečistoty, které vzniknou v průběhu reakce.[11]

Mezi hlavní problémy spojené s výrobou, které ovlivňují širší využití FAME, patří nedostatek surovin. Není totiž vyprodukováno dostatečné množství rostlinných olejů, aby mohly plně nahradit tradiční motorovou naftu. Dalším problémem je takzvané dilema potravin versus palivo, které vyplývá z obav, že výroba paliva z potravinových olejů může zvýšit jejich cenu a snížit dostupnost potravin. Navíc může vést k tomu, že zemědělská půda bude upřednostňována pro pěstování plodin určených pro výrobu paliva, místo pěstování potravin.[11]

2.2 VLASTNOSTI

Mezi přední výhody FAME patří vyšší cetanové číslo, nízký nebo žádný obsah síry, absence aromatických látek, vysoký bod vzplanutí, přirozené mazivé vlastnosti a biologická odbouratelnost. Obecně také platí, že při použití FAME mírně klesá výkon motoru a krouticí moment.[11][12][13]

Špatné tokové vlastnosti při nízkých teplotách jsou hlavním problémem FAME, jak v čisté formě, tak v příměsích s motorovou naftou, jak již bylo zmíněno v první kapitole. Při nízkých teplotách vznikají pevné částice a krystaly, které ucpávají palivové potrubí a filtry.[11]

Oproti motorové naftě má nižší spalné teplo, které se projevuje sice mírnou, ale vyšší spotřebou paliva. Vyšší hustota tuto vlastnost částečně kompenzuje.[11]

Palivo je více náchylné na přítomnost vzduchu. Ostatní vlivy, jako vystavení světlu, zvýšená teplota a přítomnost kovů usnadňují jeho oxidaci. Ta vede k růstu bakterií a tvorbě usazenin. Antioxidační přísady jsou tedy téměř vždy nezbytné k tomu, aby bylo dosaženo minimální

oxidační stability, kterou předepisuje norma.[11] Srovnání FAME s motorovou naftou je uvedeno v *tab. 3*.

Tab. 3 Vybrané vlastnosti paliv (převzato v omezeném rozsahu) [14]

Parametr	Jednotka	Nafta	FAME
Hustota při 15 °C	g/ml	0,837	0,882
Viskozita při 40 °C	mm ² /s	2,94	4,43
Nižší výhřevnost	MJ/kg	42,8	38,3
Stechiometrická potřeba vzduchu	kg/kg	14,73	13,7
Cetanové číslo	-	54,1	55,2
Bod ucpání studeného filtru	°C	-22	-11
Bod vzplanutí	°C	70,5	165
Mazivost při 60 °C	µm	406	190
Obsah síry	mg/kg	6,1	1

2.3 EMISE

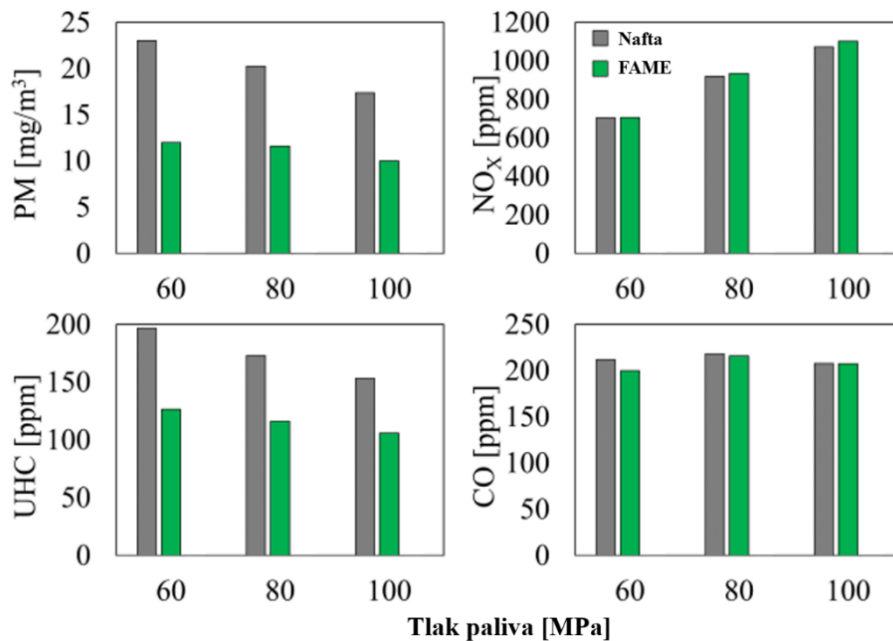
Studie zmíněná v [10] zjistila, že FAME při spalování produkuje vyšší emise CO₂, než klasická nafta. Nicméně je potřeba zohlednit celkový životní cyklus, aby se mohla vyjádřit emisní bilance paliva. Zemědělské vstupy potřebné k pěstování mohou zvýšit tyto emise, naopak fotosyntéza rostlin při pěstování může emise oxidu uhličitého snížit. Oproti motorové naftě má FAME výhodu pro místní životní prostředí, jeho globální dopad je ale méně jasný.[11]

Většina studií zmíněných v [15] uváděla trend v snižování emisí CO při použití FAME, v některých případech až o 90 %. Existují však i studie, které sledují opačný trend při různých podmínkách zatížení motoru.

Emise HC jsou rovněž podle většiny literatury nižší než u motorové nafty.

Největší rozdíly ve výsledcích se týkají emisí NO_x. Mnoho literatur zmíněných v [15] sleduje nárůst oxidů dusíku, nejvíce při vysokém zatížení motoru. Jiné zase uvádějí snížení těchto emisí, když se vezme v potaz celý pracovní rozsah motoru.

FAME výrazně snižuje emise pevných částic, jak se shoduje většina zdrojů, v některých případech až o 50 %.[15] Vysoká viskozita paliva a jiné faktory mohou však ovlivnit správný chod vstřikovačů a dalších komponentů motoru, které pak dále mohou přispívat k větší tvorbě PM. V tomto ohledu tedy musí být brán velký důraz na údržbu motoru.[10]



Obr. 3 Emise při použití FAME (upraveno) [14]

Na grafech z obr. 3 jsou znázorněny výsledky tvorby emisí v čtyřtákním jednoválci v porovnání s klasickou naftou. Lze vidět, že nejznatelnější pokles byl zaznamenán u emisí pevných částic a uhlovodíků. V tvorbě oxidu uhelnatého nenastal u FAME výrazný pokles, hodnoty jsou velmi blízko emisím vzniklých ze spalování motorové nafty. Naopak mírný vzrůst hodnot můžeme sledovat u oxidů dusíku.

2.4 ÚPRAVY MOTORU

Při používání čistého FAME ve stávajících vznětových motorech nejčastěji dochází k poruchám palivového čerpadla, ucpávání palivového filtru a zasekávání pohyblivých součástí. Bylo také sledováno nadměrné koksování vstřikovačů, což je tvorba tuhého uhlíkatého materiálu u těchto součástí vlivem vysokých teplot spalování.[12] Vyšší bod varu FAME také způsobuje, že značná část paliva zůstává v mazacích olejích, a to poté vede k jejich ředění.[10] Těmto problémům se dá vyhnout častější údržbou, to ovšem znamená, že k provozu budou potřebné vyšší náklady.

Korozivost spjatá s nízkou oxidační stabilitou FAME by vyžadovala použití odolnějších materiálů, hlavně co se týče palivových nádrží, systému vstřikování a těsnících materiálů.

Lze ale říci, že směsi paliv s malým obsahem FAME se dají používat ve stávajících vznětových motorech bez významnějších úprav.[12]

2.5 UCOME

Náklady na výrobu FAME jsou z velké části (až 80 %) určeny cenou vstupní suroviny, je tudíž snaha o nalezení levnějších alternativ dlouhodobým tématem. Mezi tyto cenově dostupné

suroviny patří použité kuchyňské oleje (UCO, used cooking oil).[11] Zkratka UCOME tedy označuje metylestery získané právě z těchto zdrojů.

Opětovné použití olejů využívaných například ke fritování má dvojí výhodu. Za prvé se minimalizují vstupní náklady pro výrobu bionafty, a za druhé se může vyřešit problém likvidace těchto odpadních olejů. Většina použitých olejů z domácností se totiž jednoduše vylévá do kanalizací a odpadní odtoky jsou o to více zatěžovány. V současné době neexistuje systematický způsob, jak tyto oleje shromažďovat. Hlavním zdrojem pro získávání těchto olejů pro výrobu jsou odpadní vody.[11][16]

UCO obsahují značné množství volných mastných kyselin a dalších nečistot. Je tedy potřeba před transesterifikací oleje přefiltrovat, a obvykle se také používá předúprava kyselinou, aby se snížil obsah volných mastných kyselin. To sice může výrobu zdražit, ale vzhledem k tomu, že jsou náklady na vstupní surovinu víceméně nulové, je i tak výsledný produkt méně nákladný oproti čistým olejům. Větší obsah mastných kyselin u UCO vede k dalším problémům spojeným s distribucí a manipulací, protože mají vyšší bod tuhnutí. Mají tedy oproti rostlinným olejům horší vlastnosti při toku za studena. Používají se zde aditiva pro zlepšení těchto a jiných vlastností.[11]

2.6 TME

Dalším způsobem, jak minimalizovat náklady na výrobu FAME, je využití živočišných tuků. Zkratka TME (tallow methyl esters) konkrétně označuje lůj jako výchozí surovinu pro výrobu metylesterů. Možnosti využití loje klesají, neboť se mění stravovací návyky lidí a průmysl pro výrobu mýdel nedokáže využít veškerý přebytek vyprodukovaného loje.[17] Stejně jako u použitých kuchyňských olejů lze tedy k výrobě FAME využít tyto odpadní tuky, které by jinak neměly další uplatnění. Porovnání TME vyrobených z kuřecího a skopového tuku je znázorněno v *tab. 4*.

Tab. 4 Vlastnosti paliv TME (převzato v omezeném rozsahu) [17]

Parametr	Jednotka	TME (kuřecí tuk)	TME (skopový tuk)	FAME (standard)
Hustota	kg/l	0,867	0,856	0,86–0,9
Viskozita	kg/ms	0,00625	0,00598	< 0,005
Bod zakalení	°C	-5	-4	-
Bod tuhnutí	°C	-6	-5	-
Cetanové číslo	-	61	59	58
Obsah vlhkosti	% (m/m)	0,01	0,02	< 0,05
Obsah popela	% (m/m)	0,022	0,025	< 0,02
Kyselost	mgKOH/g	0,25	0,65	< 0,8

2.7 MIKROŘASY

Jako další výchozí surovinu pro výrobu FAME lze použít vodní mikrořasy. Díky vysokému obsahu lipidů se jeví jako dobrá alternativa vůči plodinám pěstovaným na souši. Řasy mají velký potenciál výnosu, mohou být masově produkovány na nevyužité orné půdě a jsou

přizpůsobivé, co se týče klimatických podmínek. Na druhou stranu potřebují ve srovnání se suchozemskými rostlinami více vstupů, jako jsou dusíkatá hnojiva a větší množství energie potřebné ke sklizni a jejich další úpravě. Rozšíření pěstování a efektivní extrakce olejů z řas představují další výzvy do budoucna.[10][11]

K získání lipidů se používá extrakce pomocí rozpouštědla. Ty následně podstoupí tradiční transesterifikační proces vedoucí ke vzniku metylesterů mastných kyselin. V případě mikrořas je však nutné surovinu před samotnou extrakcí rozpouštědlem vysušit, což zahrnuje značné náklady. FAME z mikrořas vykazuje velké rozdíly v chemickém složení, které jsou způsobené různým složením jednotlivých řas.[13]

Tab. 5 Porovnání FAME z mikrořas s naftou (převzato v omezeném rozsahu) [13]

Parametr	Jednotka	FAME z mikrořas	Nafta
Cetanové číslo	-	46,5	50 – 53,3
Viskozita při 40 °C	mm ² /s	5,06	2,62 – 2,64
Hustota při 15 °C	kg/l	0,912	0,82 – 0,84
Nižší výhřevnost	MJ/kg	37,42	44
Bod vzplanutí	°C	95	71
Bod zakalení	°C	16,1	4
Mazivost při 60 °C	mm ² /s	0,136	0,406
Obsah síry	% (m/m)	7,5	5,9
Obsah kyslíku	% (m/m)	10,47	0
Obsah vodíku	% (m/m)	11,12	13,86
Obsah uhlíku	% (m/m)	78,41	86,13

Mnohé vlastnosti paliva získané z mikrořas jsou podobné, jak lze vidět v tab. 5. Viskozita a hustota biopaliv z mikrořas jsou vyšší než u standardní bionafty a motorové nafty. To může ovlivnit rozprašování a zapalování ve spalovací komoře. To v konečném důsledku snižuje výkon motoru. Klíčovým rozdílem mezi FAME z mikrořas a motorovou naftou je přítomnost kyslíku, který ovlivňuje spalování ve válci motoru a snižuje emise výfukových plynů.[13]

Uhlovodíky a oxid uhelnatý jsou při použití paliva z mikrořas trvale nižší ve srovnání s motorovou naftou. Naopak emise oxidů dusíku nevykazují žádný konzistentní trend.[13]

2.8 SINICE

Sinice nabízejí slibný potenciál pro výrobu bionafty. Jsou schopny přeměnit až 10 % sluneční energie na biomasu a mají vysokou produktivitu a rychlý růstový potenciál. Získané lipidy lze dále zpracovat na biopaliva. Tyto mikroorganismy představují potenciálně efektivní a ekologicky udržitelnou alternativu k fosilním palivům.[18] V současné době je ale výroba z těchto zdrojů předmětem výzkumů.

2.9 SHRnutí

FAME je v současné době především využíváno jako příměs do motorových naft. Použití čistého produktu má určité nevýhody, zejména špatné tokové vlastnosti za studena a problémy spojené při delším skladování. Tyto vlastnosti pak nutí uživatele k častější údržbě motoru, jmenovitě palivových filtrů.

Použití rostlinných olejů pěstovaných na orné půdě se nejeví jako nejlepší způsob výroby tohoto paliva, kvůli dříve zmíněné otázce palivo versus potravina. U využívání použitých kuchyňských olejů a dalších živočišných tuků tato otázka odpadá, je ale potřeba vzít v potaz dodatečné úpravy olejů z těchto zdrojů, aby se kvalitativně dostaly na stejnou úroveň. Výroba z řas a sinic se do budoucna jeví jako nejudržitelnější způsob výroby.

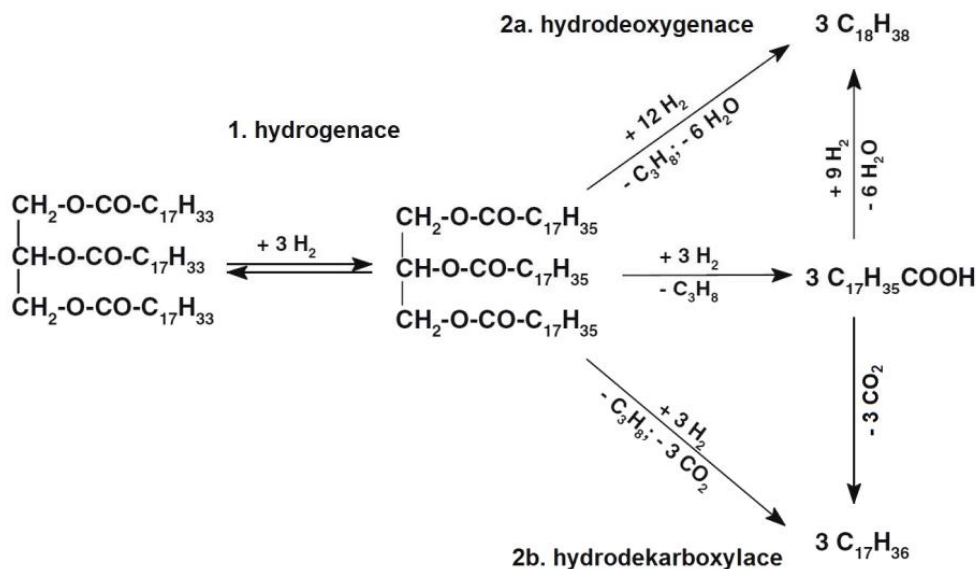
Emise z FAME jsou ve většině případů srovnatelné nebo nižší než u motorové nafty. Je však otázka, jestli tento pokles dokáže z celkového hlediska vyvážit nárůst emisí NO_x.

3 HVO

Hydrotreated vegetable oil, tedy hydrogenovaný rostlinný olej, je dalším typem alternativního paliva pro vznětové motory. Pro výrobu HVO se používají stejné vstupní suroviny jako v případě FAME, včetně použitých kuchyňských olejů a živočišných tuků. V literatuře je toto palivo často označováno jako čistý nebo udržitelný biodiesel.

3.1 VÝROBA

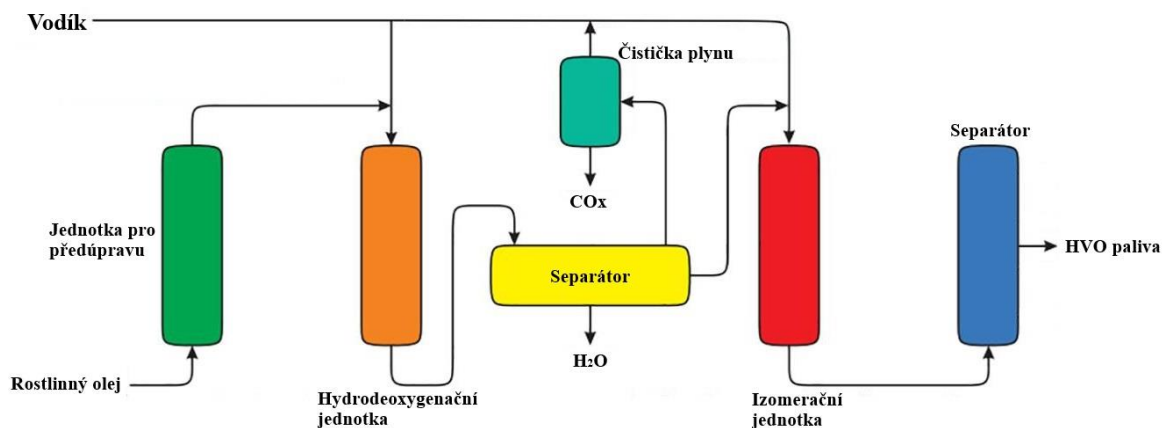
Proces hydrogenace je výrazně složitější, než transesterifikace v případě výroby FAME. Výsledným produktem nejsou estery mastných kyselin, ale čisté uhlovodíky. Výroba probíhá ve vodíkové atmosféře při teplotách v rozmezí 300–420 °C. Katalyzátorem v tomto případě bývají kombinace kovů jako nikl, molybden, kobalt a wolfram. Mohou být používány také katalyzátory z drahých kovů, jako palladium a platina. Po samotném nasycení vodíkem následuje štěpení nenasyčených triglyceridů a to buď způsobem hydrodeoxygenace nebo hydrodekarboxylace.[19] Zjednodušené reakční schéma je uvedené na obr. 4.



Obr. 4 Reakční schéma výroby HVO [19]

Hydrodekarboxylační cesta snižuje výtěžek uhlovodíků asi o 5 % oproti druhé metodě, díky ztrátě uhlíku v podobě CO₂. Na druhou stranu hydrodeoxygenační cesta vyžaduje až 4× větší množství vodíku k výrobě.[19]

HVO vyrobené tímto způsobem má však nedostačující vlastnosti toku za studena, což je v případě použití v motorech jako alternativního druhu paliva značný problém. Z tohoto důvodu ve většině případů výroby následuje po hydrogenaci proces izomerace, který nízkoteplotní vlastnosti zlepšit natolik, že jsou srovnatelné se zimním typem motorové nafty.[19] Výrobní zařízení je znázorněno na obr. 5.



Obr. 5 Typické technologické zařízení pro výrobu HVO (upraveno) [20]

Při výrobě HVO vzniká jako vedlejší produkt propan, který je považován jako vysoce kvalitní palivo. V porovnání s glycerinem, který vzniká při výrobě FAME, má daleko větší uplatnění v energetickém průmyslu.[20]

3.2 VLASTNOSTI

HVO se v porovnání s motorovou naftou především vyznačuje daleko vyšším cetanovým číslem a úzkým rozsahem teploty varu. Tyto vlastnosti mají za následek rychlejší odpařování paliva, nižší zpoždění vznícení, a celkově lepší průběh spalování ve vznětových motorech. Neobsahuje téměř žádné aromatické uhlovodíky, síru a další minerály, tedy složky, které se normálně vyskytují v naftě.[20] Porovnání vlastností nafty a HVO je uvedené v tab. 6.

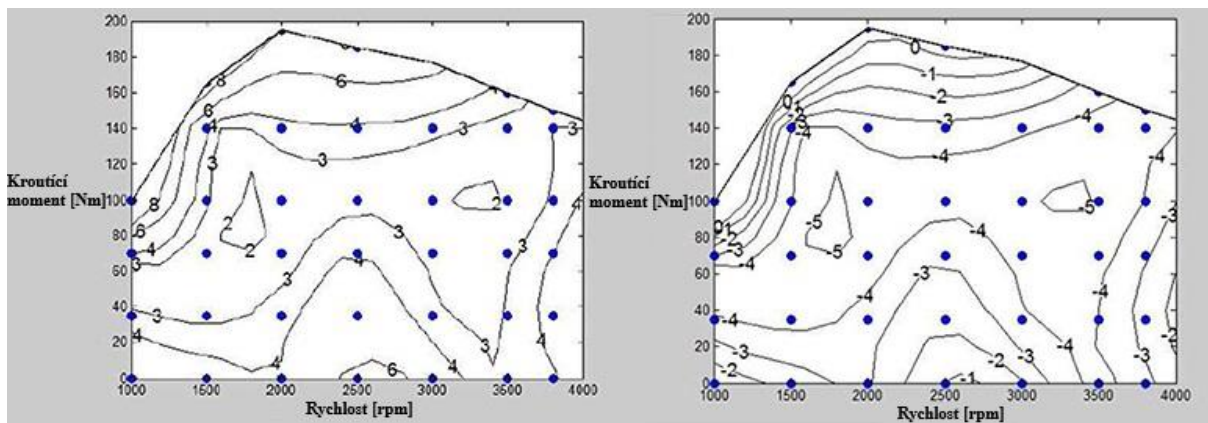
Tab. 6 Vlastnosti motorové nafty a HVO (převzato v omezeném rozsahu) [21]

Parametr	Jednotka	Nafta	HVO
Hustota při 60 °C	kg/m ³	832,4	778,7
Kinematická viskozita	mm ² /s	3,24	2,82
Bod vzplanutí	°C	59	83
Bod zakalení	°C	-5	-22
Obsah síry	ppwt	9,1	< 5,0
Cetanové číslo	-	56,5	76,3
Obsah popela	% (m/m)	0,002	< 0,001
Obsah vody	mg/kg	160	20
Polyaromatické uhlovodíky	% (m/m)	2,2	0
Výhřevnost	MJ/kg	43	44
Oxidační stabilita	hod	> 6	> 22
Obsah kyslíku	% (m/m)	0,77	0
Obsah vodíku	% (m/m)	12	15,4
Obsah uhlíku	% (m/m)	87,2	84,6

Díky nižší hustotě mají paliva HVO oproti motorové naftě lepší vlastnosti rozstříku. To může mít pozitivní vliv na výkon motoru.[20]

Oxidační stabilita je v porovnání s konvenční naftou lepší, jelikož HVO neobsahuje kyslík. Palivo tedy netrpí na tvorbu úsad při dlouhodobém skladování, jako tomu je při skladování paliva FAME.[21]

Studie [21] sledovala objemové a hmotnostní spotřeby paliva v porovnání s motorovou naftou. Výsledky jsou uvedeny na obr. 6.



Obr. 6 Procentuální změna objemové spotřeby paliva (vlevo) a hmotnostní spotřeby paliva (vpravo) (upraveno) [21]

Nižší hustota vede k nárůstu objemové spotřeby paliva, kdežto vyšší výhřevnost HVO vede k nižší spotřebě paliva v závislosti na hmotnosti.[21]

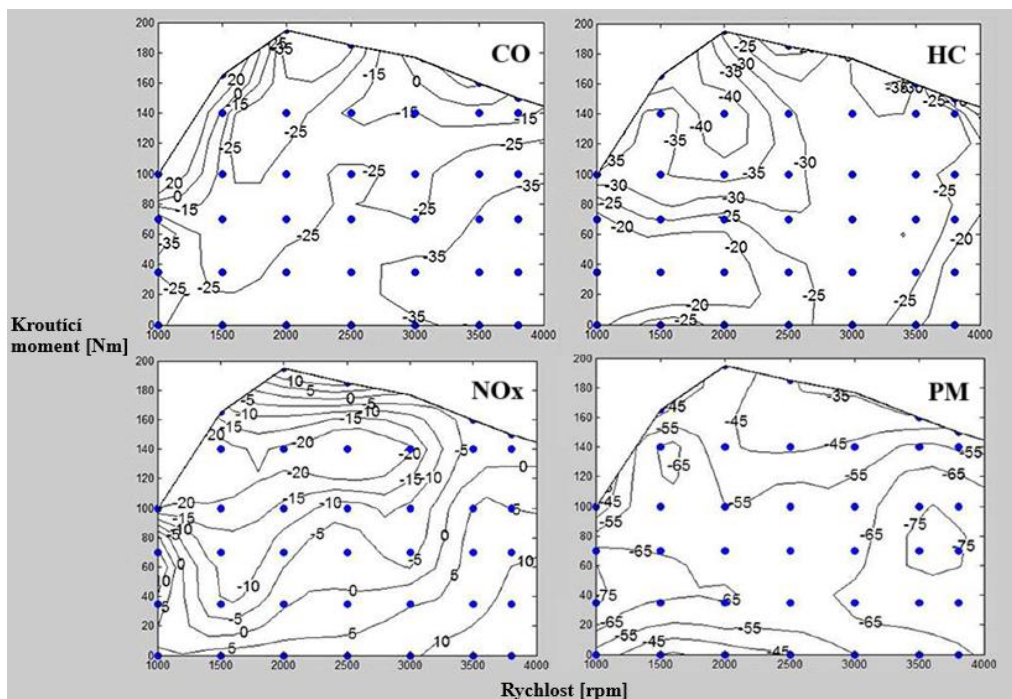
3.3 EMISE

Většina studií se shoduje na snižování všech pozorovaných emisí u těžkých motorů, viz tab. 7. Co se týče lehkých motorů, u emisí NO_x není prokazatelné, jaký vliv má HVO na jejich tvorbu.

Tab. 7 Tvorba emisí v těžkých motorech vůči naftě [22]

Emise	Efekt HVO
PM	(-28; -46) %
NO _x	(-7; -14) %
HC	(0; -48) %
CO	(-5; -78) %

Studie [21] zkoumala tvorbu emisí v různých provozních bodech lehkého motoru vyhovujícího normě EURO 5. Výsledky, znázorněné na obr. 7, ukázaly, že použití paliva HVO umožňuje znatelné snížení emisí PM, HC a CO bez jakýchkoliv úprav řízení motoru, avšak vliv paliva na emise NO_x nebyl jasně definován.



Obr. 7 Tvorba emisí při použití paliva HVO (upraveno) [21]

3.4 ÚPRAVY MOTORU

Použití 100% HVO v moderních vznětových motorech je v podstatě bezproblémové, tudíž nejsou potřebné mechanické změny motoru. Dá se tedy říci, že úpravy by se týkaly zejména elektronického řízení motoru, jmenovitě časování a množství vstřikovaného paliva. Další systémy jako EGR a přeplňování turbodmychadlem by bylo nutné také přenastavit pro odemknutí plného potenciálu paliva HVO. V případě EGR se otevírá možnost použití silnějšího nastavení, což by vedlo k zvyšování tepelné účinnosti.[20]

Aby došlo k zamezení poškození palivového ústrojí, vzhledem menší viskozitě a obecně horším mazacím schopnostem HVO, jsou za potřebí aditiva, která tyto vlastnosti zlepšují.

3.5 SHRUTÍ

HVO je oproti naftě a FAME vysoce kvalitní palivo, hlavně díky jeho cetanovému číslu (běžně přes 70) a skladovacím schopnostem. Pro jeho výrobu jsou využívány stejné vstupní suroviny jako pro výrobu FAME. Výrobní proces je sice složitější a nákladnější, ale získané palivo nemá tolik nežádoucích účinků. Dá se tedy použít v čisté formě bez negativních vlivů na motor. V budoucnu pro toto palivo bude, stejně jako u metylesterů, hrát velkou roli extrahování lipidů z vodních řas, popřípadě ze sinic.

Podobně jako u FAME dochází při používání HVO jako paliva, k výraznému snižování emisí HC a PM, emise CO snižuje dokonce ještě více. Stejně jako u FAME není pozorována výrazná změna tvorby NO_x.

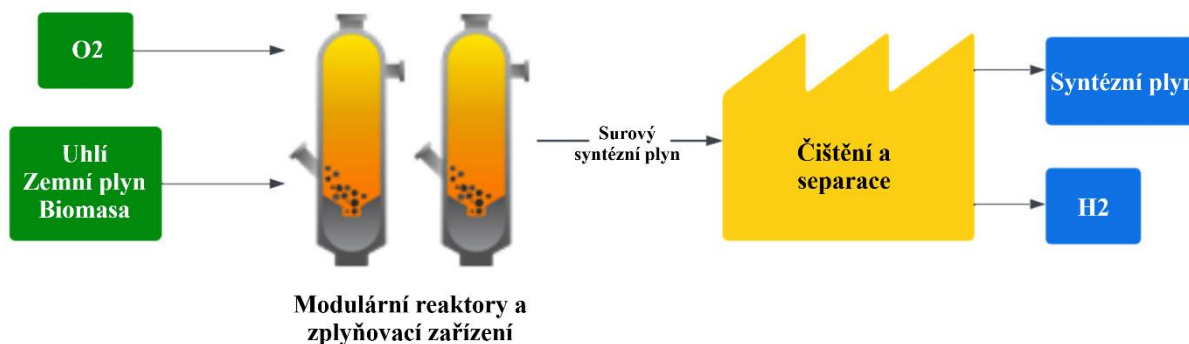
4 DME

Dimethylether (systematický název methoxymethan) je nejjednodušší ether. Za normálních podmínek se jedná o neviditelný plyn sladkého zápachu. Aby bylo možné používat DME jako palivo pro vznětové motory, je zapotřebí ho stlačit, aby plyn zkapalněl. Bývá často přirovnáván k LPG, jelikož má podobné vlastnosti.

Kromě fosilních zdrojů, jako je zemní plyn a uhlí, lze DME vyrábět z biomasy, olejů a ostatních odpadních živočišných produktů. V současnosti je však výroba ze zemního plynu ekonomicky přívětivější, než když se jako vstupní suroviny používají obnovitelné zdroje.[23]

4.1 VÝROBA

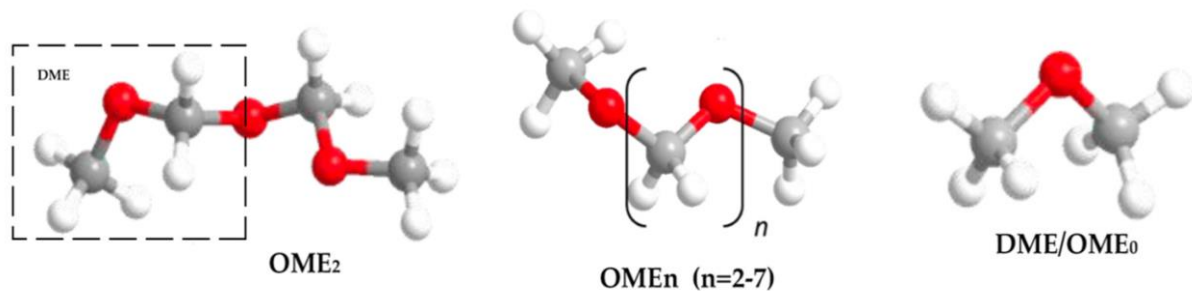
Vstupní suroviny je nejdříve potřeba přeměnit na syntézní plyn. Jedná se o několikastupňový proces, který zahrnuje zplyňování těžkých uhlovodíků a parní reformaci lehkých uhlovodíků. Surovina se díky zahřívání a přítomnosti kyslíku rozloží na plynné složky. Výsledná směs je obvykle tvořena vodíkem, oxidem uhličitým, oxidem uhelnatým, methanem a dusíkem. Z této směsi se dále syntetizuje methanol, který je pak přeměněn na DME.[24] Výroba syntézního plynu je znázorněna na *obr. 8*.



Obr. 8 Výroba syntézního plynu (upraveno) [24]

Samotná výroba DME se provádí dehydrogenací methanolu. Při tomto procesu se methanol zahřívá v přítomnosti silného katalyzátoru, kterým může být například kyselina sírová, aby došlo k odstranění molekuly vody. DME lze vyrábět i přímou konverzí ze syntézního plynu, kde syntéza methanolu a jeho dehydrogenace probíhá současně. Výsledný produkt je nutné vyčistit od zbytkového methanolu a vody.[23][24]

Je třeba také zmínit oxymethylen ethery (OME_x), které vycházejí právě z DME. Paliva OME_x jsou řetězcem opakujících se molekul dimethyletheru. Mají podobné vlastnosti jako DME, ale díky vyšší molekulové hmotnosti mají OME_x například vyšší teplotu varu. OME_x taktéž svými vlastnostmi připomíná LPG, ale vzhledem ke svým fyzikálním a chemickým vlastnostem se více přibližuje naftě.[24] *Obr. 9* znázorňuje strukturu těchto paliv.



Obr. 9 Struktura paliv OME_x a DME [24]

4.2 VLASTNOSTI

DME je netoxický, nemá tedy negativní účinky na lidské zdraví a není škodlivý vůči životnímu prostředí. Při vysokých molárních hmotnostech má při delším působení narkotické účinky, ale lze ho rozpoznat podle zápachu. Hoří modrým plamenem, což je důležitá bezpečnostní vlastnost. Jak již bylo řečeno, DME je za normálních podmínek v plynném stavu. Při tlaku nad 0,5 MPa kondenzuje do kapalné fáze. DME se od motorové nafty nejvíce liší vysokým obsahem kyslíku, nízkým bodem varu a nízkou viskozitou.[23] Srovnání DME s naftou je uvedeno v tab. 8.

Tab. 8 Vybrané parametry DME a nafty (převzato v omezeném rozsahu) [25]

Parametr	Jednotka	DME	Nafta
Hustota při 25 °C (kapalina)	kg/m ³	668	856
Bod varu	°C	-23,6	180 – 370
Teplota samovznícení	°C	235	250
Cetanové číslo	-	55 – 62	40 – 55
Dolní výhřevnost	MJ/kg	27,6 – 28,8	42,5 – 43,2
Obsah kyslíku	% (m/m)	34,8	0
Bod vzplanití	°C	-41	> 55
Viskozita při 30 °C	cSt	< 0,1	3,0 – 7,5

Díky vysokému obsahu kyslíku a absenci C-C vazeb dochází v motorech poháněných na DME ke spalování bez kouře. Nízký bod varu a vyšší cetanové číslo způsobují rychlé odpaření paliva po vstříknutí do válce a celkově vylepšují průběh spalování.[23]

DME má kvůli kyslíku nižší entalpii spalování oproti motorové naftě. Aby bylo dosaženo uvolnění stejného množství energie jako při spalování nafty, je potřeba vstříkovat větší objem paliva do válce, tudíž dojde k prodloužení vstřikovací doby.[23]

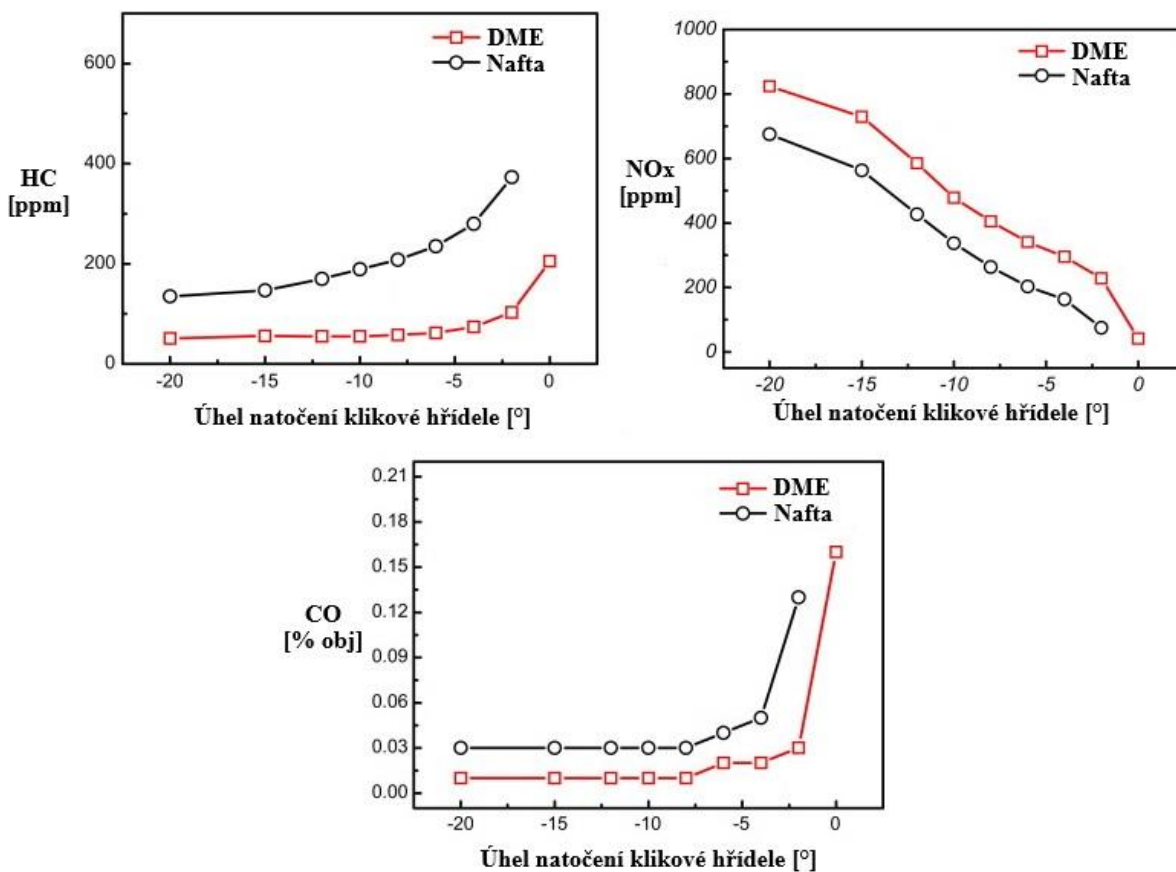
4.3 EMISE

Údaje o emisích CO se v literatuře liší v závislosti na typu motoru a provozních podmínkách. Vyšší produkce CO může být důsledkem delšího trvání vstřiku společně s nižšími vstřikovacími tlaky.[23]

HC emise ze spalování DME jsou obvykle nižší nebo stejné jako emise při spalování nafty, díky schopnosti dobrého mísení se vzduchem.[23][26]

Tvorba emisí NO_x, podobně jako u CO, závisí na různých provozních podmínkách motoru a systémů dodávání paliva. Na *obr. 10* lze vidět nárůst těchto emisí, jelikož docházelo ke zvýšení teploty paliva ve válci. Vyšší teploty bývají spojené s větší tvorbou oxidů dusíku. Dá se ale říci, že při optimalizaci vstřiku paliva DME vykazuje obecně nižší emise NO_x. [23][26]

Emise pevných částic a sazí jsou při spalování DME téměř nulové (méně než 2 %), díky vysokému obsahu kyslíku.[23]



Obr. 10 Emise při spalování DME (upraveno) [26]

4.4 ÚPRAVY MOTORU

Motory poháněné na DME by vyžadovaly rozsáhlejší úpravy v porovnání s FAME nebo HVO. Nutností by v tomto případě byl uzavřený tlakový palivový systém, včetně palivové nádrže, jelikož je potřeba DME udržet v kapalně fázi. Mezi nádrží a vstřikovacím systémem by dále bylo zapotřebí nízkotlaké čerpadlo a chladicí systém.[23]

DME nevyžaduje vysoké vstřikovací tlaky, jako jsou dnes používány v moderních vznětových motorech. Uvádí se, že vstřík pod tlakem 20–30 MPa je pro palivo dostačující. Nízká hustota a výhřevnost paliva by vyžadovala větší objem a delší dobu vstříku. Palivové čerpadlo by muselo být uzpůsobeno na práci s DME. Palivo je více stlačitelné, tudíž kompresní práce musí být vyšší. Díky nízké viskozitě DME by se muselo počítat s únikem paliva, ke kterému dochází v oblastech s malou vůlí, například mezi pístem a válcem. Většina těsnících materiálů z běžných elastomerů by musela být nahrazena kvalitnějším antikoročním materiálem, například o-kroužky s teflonovým povlakem.[23]

Nižší mazivost oproti motorové naftě vede k většímu opotřebením pohyblivých součástí. Díky této vlastnosti by musely být například přizpůsobeny materiály ložisek a rozhraní mezi pístem a válcem.[23]

Motory poháněné na DME by nepotřebovaly filtr pevných částic, jelikož tvorba sazí a pevných částic je zanedbatelná. Stejně jako u HVO by bylo možné použít EGR ve vyšší míře.[23]

4.5 SHRNUÍ

DME lze na rozdíl od FAME a HVO vyrábět z jiných levnějších fosilních zdrojů, což se ve výsledku projeví na ceně samotného paliva. DME by tedy bylo lákavé svou nižší cenou, ale těžko by tato skutečnost vyvážila náklady spojené s přestavbou motoru. Palivo disponuje určitými výhodami oproti motorové naftě, jako jsou vyšší cetanové číslo nebo nižší bod samovznícení. Problémy spojené s manipulovatelností a rozsáhlými úpravami motorů toto palivo staví do horší pozice, v otázce kompletního nahrazení nafty, oproti jiným alternativním palivům.

Stejně jako u předchozích paliv je při používání DME sledováno celkové snížení kontrolovaných emisí, kromě oxidů dusíku.

5 SOUČASNÁ DOSTUPNOST

FAME

Jak již bylo řečeno, palivo FAME se v současnosti primárně využívá jako příměs do klasické motorové nafty a to do 7 % celkového objemu. V České republice existují firmy, které vyrábí a nabízí palivo FAME k prodeji, například PREOL, Agrofert nebo Temperator, avšak dostupnost paliva v čisté podobě, jako náhrada motorové nafty, je pro normálního zákazníka mizivá.

V Německu se od roku 2024 budou moci používat na čerpacích stanicích nafty s vyšším podílem FAME (do 10 % objemu) a bionafty vyrobené z alternativních zdrojů (XTL) až ve stoprocentní koncentraci. Prodej těchto paliv není povinný a není tedy jisté, do jaké míry se budou na čerpacích stanicích vyskytovat. Ve Francii bylo používání paliv B10 odsouhlaseno již před dvěma roky a v současnosti jsou na velkých čerpacích stanicích běžně dostupné.[27]

HVO

V současnosti se v České republice nachází dvě čerpací stanice, které nabízejí k prodeji čisté HVO pod názvem HVO100. První se nachází v Červeném Kříži u Jihlavy a druhá v Lukách nad Jihlavou.[28] K datu 9. 3. 2024 se dle článku [28] na první zmíněné čerpací stanici palivo HVO prodávalo za 48,90 Kč, kdežto klasická nafta v tu dobu vyšla na 37,90 Kč na litr, což je v tomto případě rozdíl 11 Kč. Je jisté, že i při dalším rozšiřování dostupnosti HVO bude jeho cena rozhodně vyšší než u konvenční motorové nafty, jelikož se jedná o palivo vyrobené z obnovitelných zdrojů a výroba není natolik rozšířená, aby byla na trhu dostatečná konkurence. Je však otázka, jestli argumenty o mírnějších dopadech paliva na životní prostředí jsou natolik dostačující, aby v současnosti dokázali přesvědčit řadového zákazníka ke koupi paliva HVO navzdory jeho ceně.

Akciová společnost Čepro (dříve známá jako České produkty a ropovody) v současnosti nabízí k prodeji kromě fosilních paliv také naftu s příměsí HVO a čisté HVO. Porovnání prodejních cen paliv bez DPH je znázorněno v *tab. 9*.

Tab. 9 Ceny paliv společnosti Čepro [29]

Obchodní název	Produkt	Cena k 19. 4. 2024
NM	Nafta	29,74 Kč
Diesel Optimal Pro	Nafta s 15 % HVO	30,74 Kč
HVO (XTL)	HVO	35,74 Kč

DME

DME dokáže pracovat jen ve speciálně upravených vznětových motorech, není proto komerčně nabízeno. Distribuce paliva by pravděpodobně nebyla problémem, jelikož existuje infrastruktura pro manipulaci s LPG, která by byla schopna pracovat s DME.

ZÁVĚR

V této bakalářské práci byla představena alternativní paliva, která mají největší potenciál pro nahrazení konvenční motorové nafty, jako primárního zdroje energie pro vznětové motory. Palivo FAME se již dlouhodobě používá jako biosložka nafty, avšak použití metylesterů v čisté formě pro motory není v dnešní době příliš prosazováno. Důvodem je pravděpodobně oxidační stabilita paliva a obecně problémy spojené s častější údržbou motoru. Na druhou stranu palivo HVO, které vychází ze stejných výrobních surovin, tyto nevýhody nemá. Ačkoliv se jedná o složitější a nákladnější výrobní proces než u FAME, palivo HVO je daleko kvalitnější, i v porovnání s klasickou naftou. Palivo by tedy mohlo být v současnosti používáno ve stávajících vznětových motorech bez jakýchkoliv modifikací. Řada výrobců automobilů již oficiálně schválila používání paliva HVO v motorech, tudíž lze očekávat, že v budoucnu bude palivo schváleno plošně od všech výrobců. Velké společnosti čerpacích stanic sice zatím nejeví zájem o nasazení paliva HVO do své nabídky, ale i přes to, se v České republice začínají objevovat stanice, které toto palivo nabízí. Co se týče paliva DME, jeho nasazení jako náhrady za naftu by s sebou neslo mnoho problémů, jelikož se za normálních podmínek vyskytuje v plynném skupenství. Pro distribuci paliva by sice bylo pravděpodobně možné využít stávající infrastrukturu pro distribuci LPG, ale potřebné náklady pro výrazné modifikace motoru staví DME do daleko horší pozice oproti výše zmíněným palivům. Nedá se tedy předpokládat, že by DME mohlo hrát v budoucnu velkou roli v otázce nahrazení motorové nafty. Naopak se očekává, že palivu HVO bude v blízké době věnována větší pozornost, vzhledem k tomu, že se jedná o vysoce kvalitní palivo bez vedlejších negativních účinků.

Všechna uvedená paliva mají odlišné emisní charakteristiky oproti motorové naftě. Ve většině studií byl u paliv pozorován pokles všech kontrolovaných emisí s výjimkou emisí NO_x . Je ale potřeba zmínit, že tyto výsledky většinou pochází z motorů, na kterých nebylo žádným způsobem měněno nastavení. Předvstřík paliva a délka vstříku může společně s dalšími úpravami dodávky paliva výrazně ovlivnit průběh spalování, které dále ovlivňuje tvorbu emisí. Zároveň díky jiným fyzikálním a chemickým vlastnostem paliv se otevírají nové možnosti v oblasti využití recirkulace výfukových plynů.

Jedná se o paliva vyrobená z obnovitelných zdrojů, tudíž je téměř jisté, že cena alternativních paliv bude i budoucnu vyšší oproti běžné naftě. Situace by se mohla změnit, pokud by například nastaly technologické inovace ve výrobě těchto paliv, nebo by se zlepšily metody získávání vstupních surovin. Pokud v budoucnosti bude růst poptávka po alternativních palivech, společnosti by mohly ve velkém měřítku začít investovat do výrobních kapacit a infrastruktury, čímž by postupně docházelo k hromadné výrobě těchto paliv, a to by více snížilo jejich cenu. Podpora ze strany vlády, včetně poskytování dotací a investic do výzkumu, vývoje a výroby, by dále mohla výrazně snížit náklady na alternativní paliva jak pro výrobce, tak pro spotřebitele.

Dnešní svět upřednostňuje elektrifikaci vozidel jako cestu k ekologičtější dopravě. To má za důsledek, že se alternativním palivům nevěnuje dostatečná pozornost. V současnosti nemáme dostatek informací o tom, jakou emisní stopu vlastně výroba autobaterií produkuje a jakého životního cyklu je schopna se dožít. V České republice stále dominují uhelné elektrárny pro výrobu elektrické energie. Otázkou je, do jaké míry je v současnosti využívání elektřiny jako zdroje pro pohon automobilů ekologické. Alternativní paliva jsou společně s vlivy na životní prostředí pozorovány již delší dobu a byla by škoda je nezahrnout do naší cesty za ekologičtější budoucnost jen proto, že při jejich spalování vznikají emise.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] *Motorová nafta*. Online. EG energie. Dostupné z: <https://www.egenergie.com/ropne-produkty/motorova-nafta/>. [cit. 2024-03-27].
- [2] POLÁČEK, Vladimír. *Používání motorových naft obsahující biosložku*. Online. Oleje.cz. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/poradna/pouzivani-motorovych-naft-obsahujicich-bioslozku>. [cit. 2024-04-01].
- [3] *Diesel engine management : systems and components*. Wiesbaden : Springer, 2014. ISBN 978-3-658-03980-6.
- [4] VRTIŠKA, Dan. Kvalita paliv pro vznětové motory: vliv na provoz vozidel a emise polutantů, kontrola jakosti. Online. *Paliva*. 2014, roč. 6, č. 3, s. 90-96. ISSN 1804-2058. Dostupné z: <https://doi.org/10.35933/paliva.2014.03.04>. [cit. 2024-03-27].
- [5] SAJD, Jan. *Cetanové číslo*. Online. Autolexicon.net. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/cetanove-cislo/>. [cit. 2024-03-27].
- [6] TODORUȚ, Adrian; MOLEA, Andreia a BARABÁS, István. Predicting the Temperature and Composition – Dependent Density and Viscosity of Diesel Fuel – Ethanol Blends. Online. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*. 2020, roč. 64, č. 2, s. 213-220. ISSN 1587-3765. Dostupné z: <https://doi.org/10.3311/PPch.14757>. [cit. 2024-03-27].
- [7] REŞITOĞLU, İbrahim Aslan; ALTINIŞIK, Kemal a KESKIN, Ali. The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. Online. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2015, roč. 17, č. 1, s. 15-27. ISSN 1618-954X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0793-9>. [cit. 2024-03-27].
- [8] SAJDL, Jan. *Emisní norma EURO*. Online. Autolexicon.net. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/>. [cit. 2024-03-27].
- [9] *Europoslanci schválili emisní normu Euro 7. Automobilkám dá více času připravit se na přísnější pravidla*. Online. ČT24. 2024. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/clanek/svet/europoslanci-schvalili-emisni-normu-euro-7-347089>. [cit. 2024-05-19].
- [10] BENAJES, Jesús; GARCÍA, Antonio; MONSALVE-SERRANO, Javier a GUZMÁN-MENDOZA, María. A review on low carbon fuels for road vehicles: The good, the bad and the energy potential for the transport sector. Online. *Fuel*. 2024, roč. 361, č. 361. ISSN 00162361. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.130647>. [cit. 2024-04-01].

- [11] KNOTHE, Gerhard a RAZON, Luis F. Biodiesel fuels. Online. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2017, č. 58, s. 36-59. ISSN 03601285. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.08.001>. [cit. 2024-04-01].
- [12] HASAN, M.M. a RAHMAN, M.M. Performance and emission characteristics of biodiesel–diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: A review. Online. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017, roč. 74, s. 938-948. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.045>. [cit. 2024-04-01].
- [13] HOSSAIN, Farhad M.; RAINEY, Thomas J.; RISTOVSKI, Zoran a BROWN, Richard J. Performance and exhaust emissions of diesel engines using microalgae FAME and the prospects for microalgae HTL biocrude. Online. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018, roč. 82, s. 4269-4278. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.026>. [cit. 2024-04-01].
- [14] HUNICZ, Jacek; KRZACZEK, Paweł; GĘCA, Michał; RYBAK, Arkadiusz a MIKULSKI, Maciej. Comparative study of combustion and emissions of diesel engine fuelled with FAME and HVO. Online. *Combustion Engines*. 2021, roč. 184, č. 1, s. 72-78. ISSN 2300-9896. Dostupné z: <https://doi.org/10.19206/CE-135066>. [cit. 2024-04-01].
- [15] ROY, Murari Mohon; WANG, Wilson a BUJOLD, Justin. Biodiesel production and comparison of emissions of a DI diesel engine fueled by biodiesel–diesel and canola oil–diesel blends at high idling operations. Online. *Applied Energy*. 2013, roč. 106, s. 198-208. ISSN 03062619. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.057>. [cit. 2024-04-01].
- [16] ENWEREMADU, C.C. a MBARAWA, M.M. Technical aspects of production and analysis of biodiesel from used cooking oil—A review. Online. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009, roč. 13, č. 9, s. 2205-2224. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.007>. [cit. 2024-04-01].
- [17] BHATTI, H; HANIF, M; QASIM, M a ATAURREHMAN. Biodiesel production from waste tallow. Online. *Fuel*. 2008, roč. 87, č. 13-14, s. 2961-2966. ISSN 00162361. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.04.016>. [cit. 2024-04-26].
- [18] FUAD HOSSAIN, Md.; RATNAYAKE, R.R.; MAHBUB, Shamim; KUMARA, K.L. Wasantha a MAGANA-ARACHCHI, D.N. Identification and culturing of cyanobacteria isolated from freshwater bodies of Sri Lanka for biodiesel production. Online. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2020, roč. 27, č. 6, s. 1514-1520. ISSN 1319562X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.03.024>. [cit. 2024-04-01].
- [19] ŠIMÁČEK, Pavel; VRTIŠKA, Dan; MUŽÍKOVÁ, Zlata a POSPÍŠIL, Milan. Motorová paliva vyráběná hydrogenací rostlinných olejů a živočišných tuků. Online. *Chemické Listy*. 2017, roč. 111, č. 3. ISSN 1213-7103. Dostupné z: <https://doi.org/0009-2770>. [cit. 2024-04-22].

- [20] SZETO, Wai a LEUNG, Dennis Y.C. Is hydrotreated vegetable oil a superior substitute for fossil diesel? A comprehensive review on physicochemical properties, engine performance and emissions. Online. *Fuel*. 2022, roč. 327. ISSN 00162361. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125065>. [cit. 2024-04-09].
- [21] DIMITRIADIS, Athanasios; NATSIOS, Ioannis; DIMARATOS, Athanasios; KATSAOUNIS, Dimitrios; SAMARAS, Zissis et al. Evaluation of a Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) and Effects on Emissions of a Passenger Car Diesel Engine. Online. *Frontiers in Mechanical Engineering*. 2018, roč. 4. ISSN 2297-3079. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fmech.2018.00007>. [cit. 2024-04-09].
- [22] AATOLA, Hannu; LARMI, Martti; SARJOVAARA, Teemu a MIKKONEN, Seppo. Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NO_x, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine. Online. *SAE International Journal of Engines*. 2009, roč. 1, č. 1, s. 1251-1262. ISSN 1946-3944. Dostupné z: <https://doi.org/10.4271/2008-01-2500>. [cit. 2024-04-09].
- [23] ARCOUMANIS, Constantine; BAE, Choongsik; CROOKES, Roy a KINOSHITA, Eiji. The potential of di-methyl ether (DME) as an alternative fuel for compression-ignition engines: A review. Online. *Fuel*. 2008, roč. 87, č. 7, s. 1014-1030. ISSN 00162361. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.06.007>. [cit. 2024-04-15].
- [24] RAM, Vishal a SALKUTI, Surender Reddy. An Overview of Major Synthetic Fuels. Online. *Energies*. 2023, roč. 16, č. 6. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en16062834>. [cit. 2024-04-15].
- [25] TRIPATHI, Ayush; VALERA, Hardikk a AGARWAL, Avinash Kumar. Dimethyl ether fuelled genset engine development and optimisation of novel fuel injection equipment for improved performance and emissions. Online. *Fuel*. 2024, roč. 367. ISSN 00162361. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131300>. [cit. 2024-04-15].
- [26] PARK, Su Han a LEE, Chang Sik. Combustion performance and emission reduction characteristics of automotive DME engine system. Online. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2013, roč. 39, č. 1, s. 147-168. ISSN 03601285. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2012.10.002>. [cit. 2024-04-15].
- [27] STEHLÍK, Jakub. *Smí do vaší nádrže? Nafta s vyšším podílem biosložky škodovkám nechutná.* Online. Aktuálně.cz. 2024. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/smi-do-vasi-nadrze-v-nemecku-schvalili-naftu-s-vyssim-obsahe/r~c9aab054b2f711eea3c0ac1f6b220ee8/>. [cit. 2024-04-22].
- [28] BEDNÁŘ, Marek. *V Česku už natankujete obnovitelnou naftu HVO100. Je hodně drahá.* Online. Auto.cz. 2024. Dostupné z: <https://www.auto.cz/v-cesku-uz-natankujete-obnovitelnou-naftu-hvo100-je-hodne-draha-151821>. [cit. 2024-04-22].
- [29] ČEPRO. *Základní ceny ČEPRO.* Online. ČEPRO AS. 2024. Dostupné z: <https://www.ceproas.cz/produkty-a-sluzby/ceny>. [cit. 2024-04-22].

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

B10	Nafta s 10% obsahem biosložky
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
DME	Dimethylether
EGR	Recirkulace výfukových plynů
FAME	Metylestery mastných kyselin
H ₂ O	Voda
HC	Uhlovodíky
HVO	Hydrogenovaný rostlinný olej
LPG	Zkapalněný ropný plyn
KOH	Hydroxid draselný
MEŘO	Metylestery řepkového oleje
NO	Oxid dusnatý
NO ₂	Oxid dusičný
NO _x	Oxidy dusíku
OME _x	Oxymethylen ethery
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
PM	Pevné částice
RME	Metylestery řepkového oleje
TME	Metylestery loje
UCO	Použitý kuchyňský olej
UCOME	Metylestery použitého kuchyňského oleje
XTL	Palivo v kapalném formě
λ	Součinitel přebytku vzduchu [-]