Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Provozní parametry spalovacího motoru při použití palivových směsí hydrogenovaného oleje a motorové nafty

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jakub Čedík, Ph.D.**

Autor práce: **Bc. Jakub Štamberk**

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jakub Štamberk

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Provozní parametry spalovacího motoru při použití palivových směsí hydrogenovaného oleje a motorové nafty

Název anglicky

Operational parameters of combustion engine fuelled by hydrotreated oil – diesel fuel blends

---

Cíle práce

Cílem diplomové práce je v rešeršní části podat informace týkající se problematiky spalovacího motoru, jeho vybraných provozních parametrů, biopaliv a jejich vlivu na vybrané provozní parametry spalovacího motoru. V praktické části experimentálně ověřit vliv vybraných směsí hydrogenovaného rostlinného oleje s motorovou naftou na vybrané provozní parametry vznětového motoru (kouřivost motoru, produkce pevných částic atd.).

Metodika

1. Úvod

2. Rozbor současného stavu (literární rozbor, týkající se problematiky spalovacích motorů a jejich jednotlivých provozních parametrů, analýza biopaliv a jejich vlivu na vybrané provozní parametry motoru)

3. Cíl práce

4. Metodika práce (testovací přístroje a zařízení, metodika měření a zatěžování motoru, metodika zpracování a vyhodnocování dat)

5. Výsledky měření (zhodnocení vlivu směsí hydrogenovaného rostlinného oleje na motorové nafty na vybrané provozní parametry motoru)

6. Závěr

Doporučený rozsah práce

50-60

Klíčová slova

vznětový motor, biopaliva, hydrogenovaný olej

Doporučené zdroje informací

BAUER, F. *Traktory.* Praha: Profi Press, 2013. ISBN 978-80-86726-52-6.

HEYWOOD, J B. *Internal combustion engine fundamentals.* New York ; Chicago ; San Francisco ; Athens ; London ; Madrid ; Mexico City ; Milan ; New Delhi ; Singapore ; Sydney ; Toronto: McGraw-Hill Education, 2018. ISBN 978-1-260-11610-6.

HROMÁDKO, J. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. TECHNICKÁ FAKULTA. *Speciální spalovací motory.* V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2011. ISBN 978-80-213-2168-7.

HROMÁDKO, J. *Spalovací motory : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol.* Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.

HROMÁDKO, J. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol.* Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

Odborná periodika (databáze Scopus, Web of Science apod..)

Předpisy, normy, firemní literatura

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Jakub Čedík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2020

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 08. 10. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci s názvem „Provozní parametry spalovacího motoru při použití palivových směsí hydrogenovaného oleje a motorové nafty“ vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Jakuba Čedíka, Ph.D., s použitím uvedených pramenů a literatury, a že jsem ji nevyužil k získání jiného nebo stejného titulu.

V Praze dne …….

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval všem, kteří mi pomohli při psaní této diplomové práce. Především bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce Ing. Jakubovi Čedíkovi, Ph.D., za cenné rady, konzultace, odborné vedení a připomínky k mé diplomové práci.

Dále chci poděkovat své rodině a přítelkyni za trpělivost a podporu při studiu.

Abstrakt:

Tato diplomová práce se zabývá vlivem směsí motorové nafty s hydrogenovaným rostlinným olejem (HVO) na provozní parametry motoru. Testováno bylo několik směsí paliv a byl zkoumán jejich vliv na průběh točivého momentu a výkonu vznětového motoru. Dále byl vyhodnocován vliv na velikost měrné spotřeby paliva, účinnost motoru a na produkci pevných částic. V teoretické části práce je stručně popsán princip a druhy spalovacích motorů a jejich výhody a nevýhody. Dále je popsána ropa, konvenční a alternativní paliva, biopaliva podle generací a HVO. Metodická část práce popisuje způsoby, jakými bylo dosaženo cílů práce, popis měření, měřících přístrojů a vybavení. Kapitola „Výsledky“ popisuje zpracování výsledků měření a jejich vyhodnocení. Naměřená data jsou zobrazena v grafech a tabulkách a výsledky jsou porovnány s výsledky měření pro motorovou naftu a paliva jsou vyhodnocena podle měřených parametrů.

Klíčová slova: vznětový motor, biopaliva, hydrogenovaný olej

Operational parameters of combustion engine fuelled by hydrotreated oil – diesel fuel blends

Abstract:

This diploma thesis deals with the influence of mixtures of diesel with hydrotreated vegetable oil (HVO) on operating parameters of diesel engine. Several fuel mixtures were tested and their effect on the course of torque and engine power was investigated. Furthermore, the effect on the size of specific fuel consumption, engine efficiency and on the production of particles was investigated. The theoretical part of the thesis briefly describes the principle and types of internal combustion engines and their advantages and disadvantages. It also describes oil, conventional and alternative fuels, biofuels by generation and HVO. The methodical part of the work describes the ways in which the objectives of the work were achieved, a description of measurements, measuring instruments and equipment. The chapter "Results" describes the processing of measurement results and their evaluation. The measured data are displayed in graphs and tables and the results are compared with the measurement results for diesel and fuels are evaluated according to the measured parameters.

Keywords: diesel engine, biofuels, hydrotreated vegetable oil

Obsah

1 Úvod 1

2 Rozbor současného stavu 2

2.1 Popis spalovacího motoru 2

2.2 Rozdělení podle způsobu zažehnutí směsi 2

2.2.1 Zážehový motor 2

2.2.2 Vznětový motor 3

2.3 Ropa 4

2.3.1 Těžba ropy a její zpracování 5

2.4 Paliva pro spalovací motory 7

2.4.1 Konvenční paliva 7

2.4.2 Alternativní paliva 8

2.4.3 Zemní plyn 8

2.4.4 Vodík 10

2.5 Biopaliva a jejich základní dělení 11

2.5.1 Kapalná biopaliva 11

2.5.2 Plynná biopaliva 12

2.5.3 Pevná biopaliva 12

2.6 Rozdělení biopaliv podle generací 13

2.6.1 Biopaliva I. generace 13

2.6.2 Biopaliva II. generace 17

2.6.3 Biopaliva III. generace 20

2.7 HVO (Hydrogenované rostlinné oleje) 22

2.8 Měření provozních parametrů vznětového motoru 26

2.8.1 Měření výkonových parametrů motoru 26

2.8.2 Charakteristiky spalovacích motorů 27

2.8.3 Měření spotřeby paliva 29

2.8.4 Měření emisí a pevných částic 30

3 Cíl práce 36

4 Metodika práce 37

4.1 Použité přístroje a měřící aparatura 37

4.2 Porovnávaná paliva a sledované parametry 41

4.3 Metodika analýzy výkonových parametrů 42

4.4 Metodika analýzy pevných částic, měření měrné spotřeby paliva a účinnosti motoru. 44

5 Výsledky měření 45

5.1 Výsledky analýzy výkonových parametrů motoru za použití motorové nafty bez biosložky 45

5.2 Výsledky analýzy vlivu směsi motorové nafty a HVO na výkonových parametrech motoru 47

5.2.1 Směs motorové nafty a 5 % obj. HVO 47

5.2.2 Směs motorové nafty a 10 % obj. HVO 48

5.3 Výsledky měření měrné spotřeby paliva 50

5.4 Výsledky měření účinnosti motoru 52

5.5 Výsledky analýzy pevných částic 54

5.6 Celkové porovnání výsledků měření testovaných paliv 57

6 Závěr 60

7 Seznam použitých zdrojů 63

8 Seznam obrázků 68

9 Seznam tabulek 69

10 Seznam grafů 70

1 Úvod

V dnešní době, která je uspěchaná a nutí nás k rychlým přesunům, si život bez automobilu dokážeme jen stěží představit. Automobily se staly nepostradatelnou součástí našeho života a jejich počet stále roste, což mimo jiné dokládají statistiky registru vozidel.

Spalovací motory vozidel, které stále patří k nejpoužívanějším, spalují nejčastěji paliva vyráběná z ropy. Ropné zásoby ovšem nejsou nekonečné a její spotřeba se neustále zvyšuje, což vzhledem k faktu, že jde o neobnovitelný zdroj energie, znamená, že se množství ropy rychle zmenšuje a její cena poroste. Tento fakt přiměl společnost hledat jiné alternativní zdroje energie, které by byly na ropě nezávislé a neměly tak negativní dopady na životní prostředí.

Tato paliva musí být vyrobena za obnovitelných zdrojů energie a jeho výrobní náklady musí být konkurenceschopné proti palivům z ropy. Suroviny na výrobu alternativních paliv by neměly v budoucnu být vstupní suroviny do potravinářství, ale mělo by se jednat o využití odpadních látek. Právě tyto podmínky splňují hydrogenované rostlinné oleje (HVO), které se vyrábí z odpadních látek z potravinářství jako je například použitý olej, zbytky z rafinace olejů, či rybí tuk. Jedná se palivo s velkým potenciálem a v současné době již některé čerpací stanice nabízejí toto palivo ve směsi s motorovou naftou motoristům.

Smyslem těchto směsných paliv je využít odpadní látky z průmyslu jako palivo a ušetřit tak motorovou naftu do doby, než by se přešlo na provoz pouze na HVO, nebo se našel jiný vhodnější způsob pohonu, který by úplně nahradil „černé zlato“. HVO, jako biopalivo pro vznětové motory se používá nejčastěji ve směsi s motorovou naftou, protože v tomto případě nejsou nutné žádné úpravy palivového systému vozidla. Tato palivová směs má samozřejmě vliv na provozní parametry motoru. A právě vlivem této směsi na provozní parametry motoru se zabývá tato diplomová práce.

2 Rozbor současného stavu

2.1 Popis spalovacího motoru

Spalovací motor je tepelný stroj, který získává tepelnou energii spalováním paliva a využitím vhodného plynného média ji převádí na mechanickou práci. Energie vzniklého plynného média může být využita jako energie potenciální (tlak spalin) u pístových spalovacích motorů, nebo energie kinetická (rychlost proudu spalin) u spalovacích turbín. [1]

2.2 Rozdělení podle způsobu zažehnutí směsi

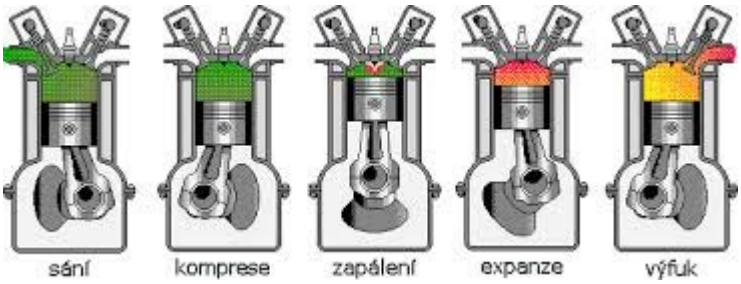
Podle způsobu zažehnutí směsi v motoru rozlišujeme motory zážehové a vznětové. V následujících odstavcích budou stručně popsány oba nejčastější motory, jejich funkce a vlastnosti. Ve zbytku diplomové práce bude rozebírán již pouze vznětový motor.

2.2.1 Zážehový motor

Čtyřdobý zážehový motor je nejdůležitějším typem spalovacího motoru. U zážehového motoru je zažehnutí paliva docíleno pomocí zapalovací svíčky, která zažehne směs paliva a vzduchu na konci kompresní fáze motoru. Zážehové motory se vyznačují menší hmotností, kultivovanějším chodem a jsou schopny dosáhnout poměrně vysokých otáček. Mají však nižší účinnost, a tedy i vyšší spotřebu paliva. [1]

Pracovní látkou je směs benzinových par se vzduchem. Činnost motoru lze rozdělit na čtyři doby, jak můžeme vidět na obrázku 1. Při sání se v pracovním prostoru nemění tlak, sací ventil je otevřen, píst ve válci motoru se pohybuje dolů a pracovní prostor je plněn pracovní látkou. Při stlačení (kompresi) se ve válci mění všechny stavové veličiny, tj. p, V i T. Ventily motoru jsou uzavřeny a píst stlačuje směs. Výbuch probíhá při téměř nezměněném objemu plynu. Mezi kontakty zapalovací svíčky přeskočí jiskra a zapálí směs: výbuchem vzniká plyn o vysoké teplotě a tlaku, který při svém rozpínání posouvá píst a koná práci. Při poslední fázi-výfuku se otevírá výfukový ventil a píst vytlačuje plyn do výfukového potrubí. [1]

Klikový mechanismus převádí pohyb pístů na točivý pohyb klikového hřídele, který přes převodovou skříň otáčí koly vozidla. Obsah motoru se měří objemem vzduchu nasátého do všech válců, když se písty dostanou ze své nejvyšší polohy do polohy nejnižší. Obsah motoru dnešního běžného rodinného auta je 1 200 až 2 000 cm^3. Spalování probíhá uvnitř motoru, proto motor patří mezi spalovací. Se čtyřdobými zážehovými motory se setkáme převážně v osobních automobilech. Jejich účinnost se pohybuje od 20 % do 33 %. [1], [49],[50]



Obrázek 1: Pracovní cyklus čtyřdobého zážehového motoru [2]

2.2.2 Vznětový motor

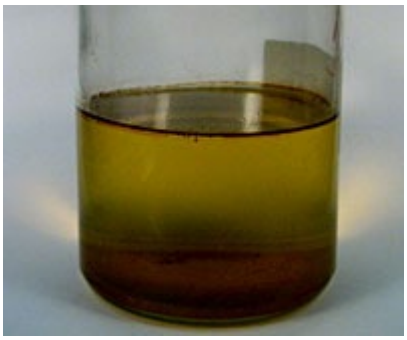
Vznětový neboli Dieselův motor, který můžeme vidět na obrázku 2 nevyužívá k zažehnutí paliva jiskru, ale vysokou teplotu nasátého a následně stlačeného vzduchu, do kterého je vstříknuto palivo, kterým je motorová nafta. Tento motor tedy pracuje s mnohem vyššími tlaky než motory zážehové pro dosažení potřebné teploty vzduchu. Vznětové motory využívají takzvané přímé vstřikování paliva, při němž je palivo vstříknuto do spalovacího prostoru na konci kompresního zdvihu motoru. Jelikož je nutné vstřikovat palivo pod vyšším tlakem, než jaký je uvnitř spalovacího prostoru v okamžiku maximální komprese, vyžadují vznětové motory řádově mnohonásobně vyšší vstřikovací tlaky než motory zážehové, které palivo vstřikují buď do sacího potrubí, nebo během kompresního zdvihu, nikoliv však na jeho konci jako je to u motorů zážehových. Hlavní výhodou vznětových motorů je jejich vyšší účinnost, vyšší točivý moment a nižší spotřeba paliva. Vznětové motory však nejsou schopny dosahovat tak vysokých otáček jako zážehové motory, jelikož mají robustnější konstrukci. Tyto vlastnosti vedou k vyšší hmotnosti a setrvačnosti vnitřních součástí vznětového motoru. Vznětové motory jsou také ve vyšších otáčkách limitovány délkou

pracovního zdvihu, která je obvykle delší než u zážehových motorů, pro zajištění vyššího kompresního poměru. [1],[3]

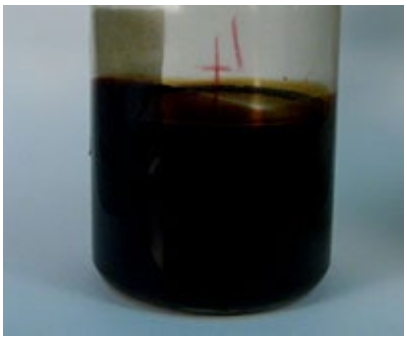
Obrázek 2: Vznětový motor [4]

2.3 Ropa

Ropa, kterou můžeme vidět na obrázcích 3 a 4 je žlutozelená až hnědá kapalina tvořená směsí uhlovodíků fosilního původu, především alkanů. Ropa obsahuje 80-85 % uhlíku, 10-15 % vodíku, 4-7 % síry nepatrný podíl dusíku. Ropa jako surovina je známá již od starověku a je důležitou komoditou, bez níž by se moderní civilizace neobešla. [5]



Obrázek 3: Ropa žlutozelené barvy [6]



Obrázek 4: Ropa hnědé barvy [6]

Vznik ropy dokládají 2 teorie. První je teorie anorganická, která tvrdí, že ropa vznikla reakcí vody a karbidů těžkých kovů. Druhá je teorie organická, podle které ropa vznikla rozkladem organických zbytků za zvýšeného tlaku a teploty. Organická teorie vzniku je podporována mnohými uznávanými vědci a geology na rozdíl od teorie anorganické. [5]

2.3.1 Těžba ropy a její zpracování

Ložiska ropy, která obsahují také ložiska zemního plynu, se ve velké většině případů nalézají stovky metrů až několik kilometrů pod zemí mezi dvěma nepropustnými vrstvami. Ropa se proto těží za pomocí hlubinných vrtů na pevnině nebo ze dna oceánů. Těžbu ropy můžeme rozdělit na tzv. primární a sekundární způsob. Primární způsob těžby ropy probíhá za pomoci tlaku zemního plynu, díky kterému ropa sama vyvěrá na povrch. Samovolné vyvěrání je velmi vzácné a ložiska těžená tímto způsobem jsou již dnes vyčerpaná. Druhý způsob těžby navazuje na ten první, ovšem přirozený tlak zemního plynu v ložisku je nahrazen umělým způsobem, a to za pomocí zpětného pumpování zemního plynu, vzduchu či vody. Další způsob je čerpání čerpadly. I přesto, že ropu těží mnoho států světa, je výtěžnost ložisek v průměru okolo 35 %, což není mnoho, ovšem současná ekonomická situace nedovoluje zvyšování výtěžnosti. [7]

Mezi největší producenty ropy na světě patří rozhodně Rusko, USA, Saúdská Arábie, Čína, státy střední a jižní Ameriky jako Mexiko nebo Venezuela či Írán.

Ropu lze rozdělit podle jejího původu například na ropu „West Texas Intermediate“ (WTI) nebo ropu Brent. Další dělení ropy je podle její hustoty, kde ji dělíme na „lehkou“, „střední“ a „hustou“ a nebo podle jejího obsahu síry na „kyselou“ a „sladkou“. „Kyselá“ ropa obsahuje větší množství síry (více než 0,5 %), což komplikuje její zpracování, které je

náročnější technologicky i finančně, aby vyhověla normám. [5], [7]

Ještě před samotným zpracováním ropy, které nazýváme frakční destilace, je nutné ropu zbavit různých příměsí, jako vody a soli, které se běžně vyskytují v oceánech. Při frakční destilaci jsou odděleny jednotlivé frakce ropy na základě jejich rozdílných bodů varu. Ropa je ohřívána v pecích, které mají trubkovou konstrukci a je dále odváděna do tzv. atmosférické kolony. Po provedené tzv. atmosférické destilaci, která probíhá za atmosférického tlaku, je ropa rozdělena do frakcí. Tyto frakce můžeme vidět v tabulce 1. [5], [7]

Tabulka 1: Produkty atmosférické destilace [5]

Produkty atmosférické destilace
Plyny
Benzínová frakce
Petrolej
Plynový olej
Destilační zbytek (Mazut)

Zbytek z atmosférické destilace, který nazýváme mazut, a který se již nedá za atmosférického tlaku destilovat, je přečerpán do vakuové komory, kde poslouží jako surovina při vakuové destilaci. Vakuová destilace probíhá za sníženého tlaku, což způsobuje nižší teploty pro destilaci. Frakce oddělené při vakuové destilaci můžeme vidět v tabulce 2.

Tabulka 2: Produkty vakuové destilace [5]

Produkty vakuové destilace
Vakuový plynový olej
Olejový destilát I
Olejový destilát II
Olejový destilát III
Destilační zbytek (Asfalt)

Paliva, která se z ropy vyrábí, označujeme jako paliva konvenční či klasická. Nejvýznamnější jsou benzín, který se získává přímo atmosférickou destilací a motorová nafta. Motorová nafta, se vyrábí smíšením petroleje s plynovým olejem v určitém poměru, který se liší dle ročního období. Další metodou výroby nafty je krakování, což je proces, při kterém se štěpí produkty z vakuové destilace, které mají uhlovodíky s dlouhými molekulami, na kratší. Mezi další významné produkty při výrobě ropy patří asfalt, který se využívá

na povrchy vozovek nebo petrolej, který se dá použít na svícení. [5]

2.4 Paliva pro spalovací motory

2.4.1 Konvenční paliva

Tato kapitola popisuje přehled konvenčních paliv, která jsou vyráběna z ropy a jsou dnes nejpoužívanějšími. Paliva můžeme rozdělit podle použití v zážehovém motoru a ve vznětovém motoru na automobilový benzín a motorovou naftu.

Benzín

Benzín se jako palivo začal používat na konci devatenáctého století. Benzín se získává z ropy a je používán jako palivo do zážehových motorů. Tvoří ho směs těkavých a hořlavých uhlovodíků. Benzín můžeme rozdělit podle několika kritérií, přičemž tím prvním je rozdělení podle jeho využití na benzíny letecké, automobilové a technické a dále ho můžeme rozdělit podle velikosti oktanového čísla na benzíny s oktanovým číslem v rozmezí 95 až 98 a benzíny s oktanovým číslem větším než 98. Oktanové číslo vyjadřuje objemový podíl dvou látek: izooktanu a n-heptanu (čistý n-heptan má oktanové číslo 0). Oktanovým číslem je vyjádřena odolnost paliva proti samovznícení (klepání) při kompresi ve válci, přičemž platí, že čím je hodnota oktanového čísla větší, tím je palivo odolnější proti samovznícení. V současné době je automobilový benzín nejrozšířenějším motorovým palivem pro osobní automobily na světě. [5]

Motorová nafta

Motorová nafta je směs kapalných uhlovodíků, které jsou vyráběny procesy zvanými rafinace a destilace ropy v teplotním rozmezí 150 až 370 °C. Nafta se využívá jako palivo do vznětových motorů v silniční, železniční a lodní dopravě, ale i v zemědělství. Kvalita nafty se vyjadřuje pomocí cetanového čísla, které udává rychlost vznícení po vstřiku do válce. Čím je číslo větší, tím rychleji dochází ke vznícení. Toto číslo se vyjadřuje jako objemový podíl cetanu (čistý cetan má cetanové číslo 100, což znamená krátkou prodlevu vznícení) a metylnaftalenu (čistý metylnaftalen má cetanové číslo 0, tedy velmi dlouhá prodleva vznícení). Minimální hodnota cetanového čísla motorové nafty je dle normy 51. Nicméně

cetanové číslo nesmí být ani příliš veliké, protože při vysokých hodnotách cetanového čísla dochází k hoření paliva v blízkosti vstřikovací trysky. Tato skutečnost zapříčiňuje nedostatečné promíchání se vzduchem a způsobuje tvorbu sazí ve výfuku. Velká pozornost je v dnešní době věnována emisím vznětových motorů, a proto jsou do nafty přidávány biosložky a aditiva, které ovlivňují produkci emisí i užitné vlastnosti motorové nafty. [5], [8], [9]

2.4.2 Alternativní paliva

Alternativní paliva jsou paliva, která představují alternativu ke konvenčním palivům vyráběným z ropy, jako jsou motorová nafta a benzín. Za podporou alternativních paliv stojí snaha potlačit emise skleníkových plynů, které produkují paliva konvenční.
Alternativní paliva lze rozdělit do 3 kategorií: [5]

- Zemní plyn
- Vodík
- Biopaliva

2.4.3 Zemní plyn

Zemní plyn je považován za alternativní palivo i přesto, že je to fosilní zdroj energie a nachází se ve stejných ložiskách s ropou. Ovšem jeho světové zásoby jsou podstatně vyšší než u ropy a pohybují se dle odhadů kolem $5{,}11.10^{14}$ m^3, což by lidstvu mělo při současné spotřebě vystačit na zhruba 200 let. Hlavní složkou zemního plynu je metan, který je zastoupen ze 70 až 90 %, dalšími složkami jsou 3 plyny (etan, propan, butan), které mohou tvořit až 20 %. Posledními složkami zemního plynu jsou oxid uhličitý (2-8 %), dusík či sirovodík (0-5 %). Složení zemního plynu je velmi proměnlivé a tato skutečnost významně ovlivňuje jeho kvalitu. V České republice je hlavní složkou metan, který tvoří zhruba 98 % směsi. Zemní plyn je bez zápachu, a proto se přistupuje k tzv. deodorizaci neboli přidání zapáchajících plynů, aby bylo možné zjistit jeho výskyt. Zemní plyn se stejně jako ropa po vytěžení rafinuje. Při rafinaci dochází k oddělení pevných nečistot a vlhkosti. [5]
Zemní plyn se pro účely pohonu dopravních prostředků vyrábí a dodává ve 2 základních formách:

- CNG (Compressed Natural Gas) neboli stlačený zemní plyn

- LNG (Liquefied Natural Gas) neboli zkapalněný zemní plyn

Větší využití má v současné době CNG, protože proces zkapalnění je velmi nákladný a má vybudovanou rozsáhlou infrastrukturu. Pro výrobu zkapalněného zemního plynu je potřeba ho ochladit na -162 °C, což je velmi energeticky a technologicky náročné, a proto se více používá stlačená varianta zemního plynu. Ovšem zkapalněná varianta zemního plynu se hojně využívá v USA či Kanadě, například u nákladních vozidel či autobusů z důvodů malého objemu plynu oproti CNG v nádrži, což umožnuje větší dojezd. [5]

Vozidla, která jsou upravena na spalování zemního plynu lze rovněž použít na bioplyn či plyn vzniklý procesem zplyňování uhlí. Vznětový motor lze upravit pro spalování zemního plynu jeho přestavbou, která umožní jeho provoz v takovém režimu, který dokáže spalovat zemní plyn a určité množství motorové nafty. V České republice se výrobou motorů, které používají jako palivo zemní plyn, zabývá například holdingová firma TEDOM, která ve svém závodu v Jablonci nad Nisou vyrábí motory stacionární či ve verzích pro pohon vozidel s atmosférickým plněním nebo motory, které jsou přeplňovány turbodmychadlem. [32]
CNG motory jsou využívány nejen u osobních vozidel, ale také u vozidel nákladních, autobusů či dokonce traktorů. Významný výrobce autobusů Iveco Czech republic nabízí ve svých autobusech s označením Citelis motory Cursor 8 CNG EEV, které spalují CNG. Traktor, který umožňuje spalovat zemní plyn či bioplyn s motorovou naftou vyvinul výrobce traktorů Steyr. Tento traktor nese označení Steyr CVT a je zobrazen na obrázku 5. Tento traktor podle výrobce snižuje náklady na palivo o 40 %. Rovněž u tohoto modelu došlo k významnému snížení emisí. Emise oxidu uhličitého se snížily o 20 %, emise pevných částic o 17 % a emise oxidu uhelnatého dokonce o 97 %. [5], [10]

Obrázek 5: Traktor Steyr CVT [11]

2.4.4 Vodík

Vodík je nejlehčí a nejjednodušší plynný prvek, který tvoří převážnou část hmoty ve vesmíru. Jedná se o bezbarvý hořlavý lehký plyn bez chuti a bez zápachu. Má široké uplatnění jako zdroj energie, redukční činidlo nebo se využívá v metalurgii. Využití vodíku k pohonu automobilu je záležitost poměrně stará. Již roku 1806 sestrojil švýcarský konstruktér François Isaac de Rivaz pístový spalovací motor s elektrickým zapalováním, který byl schopen spalovat směs plynného vodíku se vzduchem a roku 1808 si ho nechal patentovat. Tento motor je považován za první spalovací motor na světě. Vodík se jako palivo v automobilech využívá dvěma způsoby. První způsob je přeměna chemické energie na mechanickou přímým spalováním vodíku v rotačním nebo pístovém spalovacím motoru a druhá je přeměna chemické energie vodíku na energii elektrickou za pomocí reakce s kyslíkem. V prvním případě je použit spalovací motor, zatímco v druhém případě je použit palivový článek a elektromotor. Vodíkový spalovací motor funguje na podobném principu jako motor zážehový či vznětový. Vodíkové palivo je zažehnuto zapalovací svíčkou nebo se vstřikuje pod vysokým tlakem do spalovacího prostoru. Vodík se někdy označuje jako palivo budoucnosti a zřejmě se v budoucnu stane velmi oblíbeným. Toto palivo má i přes řadu výhod také mnoho nevýhod, které v současné době neumožnují jeho masové uplatnění. [12], [13]

2.5 Biopaliva a jejich základní dělení

Biopaliva jsou organická paliva vyrobená či vzniklá z biomasy a slouží jako zdroje energie. Můžeme je rozdělit do 3 generací, které určují zdroj, ze kterého se biopalivo vyrábí. Biopaliva první generace se vyrábí ze škrobnatých plodin, jako je například obilí, cukrová řepa, cukrová třtina, nebo brambory, zatímco pro výrobu druhé generace biopaliv se využívá dřevnatých surovin a odpadních látek jako je sláma, štěpiny nebo hnůj a pro výrobu biopaliv třetí generace se využívají řasy. Zdroje pro výrobu biopaliv můžeme rozdělit na tzv. biomasu pěstovanou, kde se jedná o škrobnaté a cukernaté plodiny jako brambory, obilí, cukrová řepa, cukrová třtina, kukuřice, olejniny apod., trávy a biomasu odpadní, kam patří zbytky z rostlinné výroby (sláma), odpady z živočišné výroby (exkrementy, odpady komunální, odpady potravinářského průmyslu). V porovnání s fosilními palivy (nafta, uhlí) umožňují biopaliva snížení produkce skleníkových plynů CO_2, protože při spalování uvolní do ovzduší stejné množství oxidu uhličitého jako spotřebovaly rostliny, ze kterých biopaliva vznikla, nicméně jejich výroba je energeticky a technologicky náročná a tato skutečnost snižuje jejich ekologický přínos. Biopaliva se vyskytují ve třech podobách, a to ve formě pevné (kusové brikety, pelety), kapalné (rostlinné oleje a jejich deriváty, bioetanol apod.) a plynné (bioplyn). [14],[15]

2.5.1 Kapalná biopaliva

Tato biopaliva se při svém skladování, přepravě a využití nachází v kapalném stavu. Mezi kapalná biopaliva jsou řazena takzvaná „alkoholová“ biopaliva, kam patří například bioethanol, neboli ethanol vyráběný z rostlin, které obsahují větší množství škrobu a sacharidů. Bioethanol se vyrábí nejčastěji z cukrové řepy, kukuřice, brambor, obilí atd. Mezi další alkoholová biopaliva patří biomethanol, který je vyráběn hlavně ze dřeva a jeho zbytků a butanol, který lze vyrobit fermentací (kvašením) biomasy a lze ho použít přímo v benzínových motorech, protože je méně korozivní než etanol. [34]. Poslední skupinou mezi kapalnými biopalivy jsou biooleje, které se využívají v naftových motorech (rostlinný olej, bionafta). Bionafta se získává transesterifikací rostlinných olejů a živočišných tuků. Při transesterifikaci reagují triglyceridy s metanolem a za pomocí katalyzátoru vznikají metylestery a glycerol. Transesterifikace může být katalyzována kyselinami, zásadami nebo enzymem lipázou. [15].[16],[17], [18]

2.5.2 Plynná biopaliva

Tato biopaliva se při skladování, přepravě a energetickém využití nachází v plynném skupenství. Biopalivo z této skupiny, které můžeme nazvat nejvýznamnějším, je bezpochyby biometan. Biometan je bioplyn, který obsahuje 98 % metanu a je zbaven CO^2. Bioplyn je možné získat tzv. přirozenou cestou, protože se přirozeně vyskytuje v mokřadech nebo sedimentech, ovšem pro průmyslové účely se lépe hodí řízený proces - získávání bioplynu z odpadů ze zemědělské výroby, skládek nebo čistíren odpadních vod. Biometan je svým chemickým složením shodný se zemním plynem, který je označován jako CNG (Compressed natural gas), ovšem liší se způsobem svého vzniku, neboť zemní plyn postupně vznikal jako důsledek rozkladných procesů organické hmoty, které probíhaly v anaerobních podmínkách, neboli bez přístupu vzduchu a za velkého tlaku. Tyto procesy trvaly několik miliónů let. Zemní plyn se vyskytuje v nalezištích společně s ropou nebo s černým uhlím.

V současné době se na trhu vyskytují vozy, které mohou být poháněny pomocí zemního plynu, ale i za pomoci bioplynu, díky identickému složení. [15], [18]

2.5.3 Pevná biopaliva

Pevná biopaliva se při skladování, přepravě a energetickém využití nachází v pevné podobě. Jsou často využívána při vytápění rodinných domů. Nejvýznamnější zástupci této skupiny jsou palivové dřevo, štěpka, sláma, pelety atd. [15], [18]

2.6 Rozdělení biopaliv podle generací

Biopaliva je možné rozdělit do tzv.“ Generací“, podle toho, z jakých surovin jsou vyráběna. V současné době rozeznáváme 3 generace biopaliv. Mezi jednotlivými generacemi jsou rozdíly nejen v odlišnosti vstupních surovin, v technologii výroby a v rozšíření, ale také v ekologickém přínosu.

2.6.1 Biopaliva I. generace

Jedná se o biopaliva, která jsou vyráběna ze zemědělských produktů obsahujících cukr, škrob a olej. Plodiny pro jejich výrobu se pěstují na zemědělské půdě, což vede k jejímu nucenému záboru a znemožňuje tak její plné využití pro potravinářské účely. Mezi nejznámější biopaliva I. generace patří metylester řepkového oleje (MEŘO) neboli bionafta, která se vyrábí lisováním olejů z rostlin, které se označují jako vysoko olejnaté. Dalším významným biopalivem I. generace je bioetanol, který je možné vyrobit několika způsoby. Prvním způsobem je jeho získávání z plodin, které jsou vysoce škrobnaté (kukuřice, obilí). Druhým způsobem je využití plodin, které mají velké množství jednoduchých sacharidů (cukrová řepa, cukrová třtina). Biomasa pro produkci biopaliv I. generace je nejefektivněji produkována v tropických regionech, kde jsou vhodné přírodní podmínky a dostatek úrodné půdy (roční výnosy jsou dva až třikrát vyšší než v mírném pásmu). Vlivem nízkého ocenění životního prostředí může v těchto regionech docházet k nahrazení přírodních ekosystémů, jako jsou lesy, mokřiny a pastviny, bioenergetickými plodinami, převážně plantážemi pro pěstování cukrové třtiny. Vezmeme-li v potaz dopady na kyselost půdy, použitá umělá hnojiva, ztrátu biodiverzity a jedovatost pesticidů, mohou tyto negativní jevy převýšit jejich výhody. [14]

Rostlinné oleje

Rostlinné oleje se nachází v plodinách, které jsou na ně bohaté, a proto je nazýváme vysokoolejnaté. Metylestery olejů se vyrábí pomocí takzvané reesterifikace rostlinných olejů, při které se využívá nižších alkoholů, jako jsou methanol nebo ethanol. V našem klimatickém pásmu se nejčastěji produkuje methylester řepkového oleje (MEŘO), který se vyrábí z řepky olejné. Čistý MĚŘO se označuje jako bionafta. [15].

Většina produkce rostlinných olejů tvoří 4 nejvýznamnější oleje. Jedná se o olej řepkový, slunečnicový, sójový a palmový. Ačkoliv to nemusí být patrné, tak poslední 2 jsou nejrozšířenější a dohromady tvoří kolem 60 % produkce rostlinných olejů. Tyto oleje se dají uplatnit při spalování ve vznětových spalovacích motorech. [18]

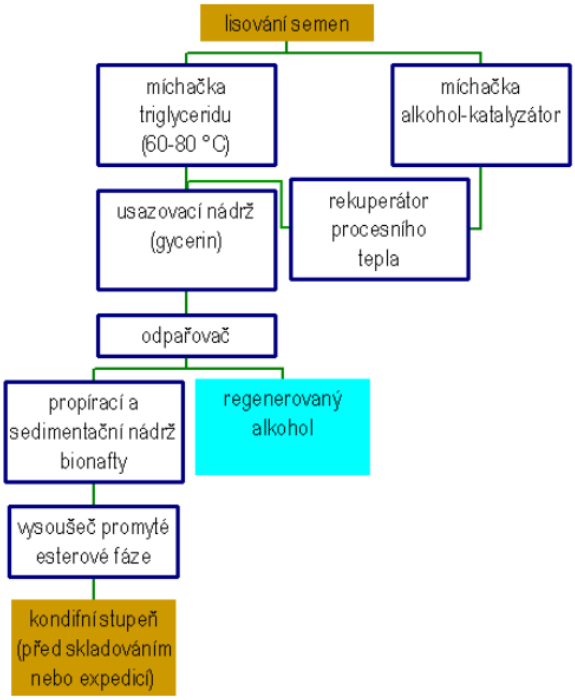
Rostlinný olej má odlišné fyzikální vlastnosti než motorová nafta, které způsobují rozdílné složení mastných kyselin v molekulách. Tyto odlišné vlastnosti jsou například nestabilita a tvorba usazenin na částech motoru během spalování. Nejdůležitější je ovšem rozdílná kinematická viskozita, která má u rostlinného oleje při teplotě 20 °C až dvacetkrát vyšší hodnotu. Tyto hodnoty se liší v závislosti na druhu rostlinného oleje. Rozdíly v kinematické viskozitě je možné vyřešit za pomocí vstřikování předehřátého rostlinného oleje. Toto opatření sníží kinematickou viskozitu na přijatelnou hodnotu a k problémům nedochází. Další variantou je smíšení rostlinných olejů s motorovou naftou. Za hlavní výhodu rostlinných olejů lze považovat jejich snadnou dostupnost a lze je využívat v surovém stavu, ale pouze po důkladné filtraci po jejich zpracování (vylisování). Je doporučeno používat rostlinné oleje v palivové kvalitě dle normy ČSN 65 6516, aby došlo ke snížení rizika poruchy motoru. [15], [19]

Bioetanol

Bioetanol I. generace, jak již bylo zmíněno v předchozím textu, je vyráběn ze zemědělských plodin, které obsahují jednoduché sacharidy nebo škrob. Vzniká za pomoci alkoholového kvašení. Plodiny obsahující jednoduché sacharidy se mohou přímo fermentovat, ale u plodin, které obsahují škrob se nejdříve škrob musí rozštěpit na cukry a teprve poté je lze fermentovat. Takto vyrobený bioetanol je možné využívat v zážehových spalovacích motorech jako palivo. Ve světě má uplatnění především třtinový bioetanol, který se v mnoha státech Jižní Ameriky používá jako automobilové palivo. Je to také způsobeno tím, že většina vozů v této oblasti je vybavena zážehovým motorem a například v Brazílii byla do 80. let většina automobilů vybavena speciální úpravou motoru, díky němuž mohly jezdit na bioetanol. Brazílie má dodnes největší podíl vozidel, která mohou využívat čistý alkohol a je v této oblasti světovým lídrem. Další zemí, kde se bioetanol hojně využívá jsou Spojené státy americké, kde se bioetanol z kukuřice přidává do benzínu. [20],[21].

Bionafta I. generace (MEŘO)

Bionaftou se ze zákona ČNR č. 587/1992 Sb. rozumí paliva a maziva biologicky odbouratelná minimálně z 90 % za 21 dní podle mezinárodního testu CEC L-33-A-93, přičemž podíl metylesteru kyselin obsažených v různých tucích a olejích musí činit více než 30 % všech látek v bionaftě obsažených. Bionafta I. generace je ekologické alternativní palivo na bázi metylesterů nenasycených mastných kyselin rostlinného původu (tzv. MEŘO). MEŘO je zkratka pro metylestery řepkového oleje, současně s touto zkratkou se můžeme setkat i s evropskou FAME (Fat Acid Methylesther, tj. metylestery mastných kyselin). MEŘO je čirá kapalina bez jakýchkoliv nečistot, zabarvená do žluta, s vodou nemísitelná. MEŘO je hořlavá kapalina III. třídy nebezpečnosti, neobsahuje PCB, ani látky obsahující těžké kovy. Při znečištění půdy se MEŘO samo biologicky odbourá. Postup výroby MEŘO můžeme vidět na obrázku 6. Vyrábí se složitým procesem, kterému říkáme esterifikace. Při esterifikaci se mísí olej s nízkomolekulárním alkoholem za homogenní katalýzy. Jako alkohol je nejčastěji používán metanol, případně etanol. Transesterifikace se provádí za homogenní bazické katalýzy (KOH, NaOH). Jako katalyzátor je možno použít kyselinu (nejvíce H_2SO_4). Výhodou tohoto způsobu výroby je nenáročnost na výrobní zařízení a snadné provedení. Nevýhodou je nemožnost získání katalyzátoru zpět z reakce (ztráta katalyzátoru při bočné reakci – zmýdelnění oleje). Na výrobu bionafty lze použít téměř všechny druhy olejů včetně odpadních rostlinných olejů (použité fritovací oleje) a živočišných tuků. Nejdůležitějšími parametry pro reakci jsou: molární poměr methanol/olej, typ a množství katalyzátoru, teplota a čas reakce, intenzita míchání a složení vstupního rostlinného oleje (zejména množství volných mastných kyselin a vody). Vedlejším produktem výroby metylesteru je glycerin, který je dále používán v dalších odvětvích chemického průmyslu k výrobě zubních past, mýdel atd. [16], [51]



Obrázek 6: Postup výroby MEŘO [16]

Výhody použití bionafty: [16]

- Nízká toxicita a je biologická odbouratelnost (90 % rozloženo za 21 dní).
- Z těchto důvodů ji je možné využít v oborech, kde hrozí kontaminace půdy, jako například zemědělství či lesnictví.
- Schopnost lepšího spalování a tím snížení kouřivosti motoru, množství polétavých částic, síry a oxidu uhličitého.
- Snižuje usazování karbonu v motoru a tím prodlužuje jeho životnost.
- Bionafta má vysokou mazací schopnost a tím přispívá ke snižování opotřebení a zvyšování životnosti vstřikovacího čerpadla a vstřikovací soustavy.

Nevýhody použití bionafty: [16]

- Určitý pokles výkonu motoru o cca 3 %.
- Zvýšení spotřeby paliva o 3 %.
- Nárůst množství oxidu dusíku NOx (o cca 10 %).
- Při nízkých teplotách (pod 5 °C) mohou vznikat problémy s dopravou paliva a se startováním.
- Pokud přijde bionafta do kontaktu s vodou, dojde ke vzniku mastných kyselin a následné možné korozi palivového systému.

MEŘO ve světě

Příkladem země, kde je použití bionafty nejrozšířenější je Francie, která v 80. letech provedla mnoho obsáhlých provozních zkoušek a kde je MEŘO běžně přimíchováno do nafty v objemu 5 %. Tato směs je označována jako tzv. „City-Diesel“. Francie rovněž bionaftu používá jako topný olej. V Německu bionaftu využívají jak zemědělci, tak například vozidla taxislužby, jejichž motory jsou upraveny tak, že umožnují jízdu na bionaftu i klasickou naftu. V Německu bylo po roce 2005 okolo 500 čerpacích stanic s bionaftou (MEŘO) a jejich počet stále narůstá. Pro skladování bionafty není nutné plnit žádné zvláštní předpisy, což v praxi vede k jednoduchému přizpůsobení klasických naftových nádrží na toto palivo. Čistá bionafta se také používá v Rakousku.[5],[16]

Výroba MEŘO v ČR

Na území České republiky v současné době vyrábí MEŘO 16 subjektů, jejichž výrobní kapacita představuje reálnou výrobu cca 100 tis. tun MEŘO ročně a potencionální kapacitu 150 000 tun MEŘO ročně. Ve výrobních závodech se uplatňuje několik druhů výrobních technologií, které splňují nejpřísnější kvalitativní normy. Výrobní závody jsou dosti rozdílné vzhledem ke kapacitě výroby, přičemž nejmenší výroba má od 2 tis. tun a největší kolem 55 tis. tun.[5]

Rozhodující výrobní kapacita je soustředěna ve třech zpracovatelských závodech:

- 55 tis. tun MEŘO – AGROPODNIK, a.s. Jihlava – Dobronín
- 42 tis. tun MEŘO – SETUZA, a.s. závod Olomouc
- 15 tis. tun MEŘO – SETUZA, a.s. závod Mydlovary

Kontrola kvality MEŘO v ČR

Kvalita MEŘO je důsledně kontrolována Státním zemědělským intervenčním fondem dle ČSN 656507/Z1, který poskytuje podporu, a kvalita směsného paliva bionafty je kontrolována Českou obchodní inspekcí dle ČSN 656508. ČSN 656507/Z1 byla po vstupu do EU nahrazena evropskou normou na metylestery mastných kyselin EN 14214. [16]

2.6.2 Biopaliva II. generace

Do biopaliv II. generace patří především paliva vyráběná zejména z lignocelulózové biomasy. Tato biopaliva se někdy označují pojmem pokročilá biopaliva. Biopaliva

II. generace, jsou vyráběna z velkého množství plodin, jako jsou např. rychlerostoucí dřeviny, bioodpad, odpad ze zemědělské výroby a odpad, jako jsou stébla, piliny, kůra stromů a listy. Nejvíce využívaným palivem II. generace je bioplyn, pro jehož výrobu se využívá biologicky rozložitelná hmota. Jejich výhodou je využití především odpadních látek stromů a nekonkurování zemědělským plodinám. Tato biopaliva mají také nevýhody, které jsou spojené především s vysokými náklady, v důsledku přeměny polysacharidů (celulóza) na jednoduché cukry, což je finančně náročné. V budoucnu ovšem zcela jistě dojde ke snížení nákladů díky rozšíření výroby a přilákání nových investorů. [15],[22].

Bionafta II. generace (tzv. směsná nafta)

Výroba Bionafty II. generace začala v roce 1996. Jedná se o směsné palivo pro vznětové motory, které obsahuje 5-30 % methylesterů řepkového oleje, ostatní příměsy a běžnou motorovou naftu. Maximální množství MEŘO je však 36 %. Methylester tvoří jednu ze tří složek směsné nafty. Druhou složkou jsou lehké alkany, které nesnižují biologickou odbouratelnost paliva a mají vynikající fyzikálně-chemické vlastnosti. Ovšem jejich problémem je poměrně nízká mazivost. Vzrůst objemové spotřeby paliva v důsledku jeho nižší měrné hmotnosti je kompenzován snížením exhalací. Třetí složkou je tzv. bezsirný destilát. Tento destilát má poměrně velkou výhřevnost a jeho úkolem je zvýšit výkon a snížit spotřebu paliva. Ovšem tato složka má velký nedostatek, kterým je nízká biologická odbouratelnost a vysoké emise vznikající při jeho spalování. Výzkumy potvrzují, že při zvýšení uhlovodíků nad 30 % dochází ke snížení biologické odbouratelnosti pod 90 %. Tato odbouratelnost se zjišťuje pomocí tzv. CEC testu. Bionafta II. generace má přibližně stejné vlastnosti jako motorová nafta, která v ní tvoří většinový podíl, ovšem díky přimíchanému metylesteru řepkového oleje má výhody a nevýhody stejné jako MEŘO. V České republice se smí podle normy ČSN 65 6508 vyrábět bionafta druhé generace s obsahem 31 % MEŘO. [5], [16]

Bionafta II. generace v ČR byla přenesena jako palivo pro automobily z nižší sazby DPH do vyšší sazby, což způsobilo vyrovnání cen s motorovou naftou. V důsledku tohoto kroku a dalších událostí na trhu s ropou ve světě se o ní zájem zmenšil a přestala se téměř vyrábět. [5], [16]

Bioetanol II. generace

Bioetanol II. generace se na rozdíl od svého předchůdce vyrábí z různých dřevnatých zbytků, zbytků travních porostů a obilovin, protože těchto surovin je dostatek a jsou levnější než potravinářské plodiny (cukrová řepa, obilniny), které se dají využít určitě jinak a smysluplněji. Zpracování této biomasy na bioetanol II. generace má rovněž lepší energetickou bilanci. V České republice se výzkumem této metody výroby bioetanolu II. generace zabývá Výzkumný ústav rostlinné výroby (VÚRV), který sídlí v Praze Ruzyni.[23], [24]

Biobutanol

Biobutanol patří stejně jako směsná bionafta a bioetanol z odpadních látek mezi biopaliva II. generace a s bioetanolem II. generace má mnoho společného. Vzniká jako vedlejší produkt při výrobě bioetanolu. Butanolu při výrobě vzniká poměrně málo (15-25 %) a je smíšen s acetonem, který se dá ze směsi odstranit. Vyšší výtěžnost biobutanolu není možná v důsledku biologického omezení, jelikož i při nízké koncentraci (zhruba 2 %) dochází k zastavení fermentačního procesu v důsledku stagnace růstu mikroorganismů. Nejčastěji používanými mikroorganismem pro produkci A.B.E (Aceton-Butanol-Etanol) je Escherichia coli a Clostridia. Mezi velké výhody patří vyšší energetický obsah v porovnání s biologicky vyrobeným etanolem, který je vyšší zhruba o třetinu. Biobutanol se dá přidávat ve vyšší koncentraci do benzínu (maximálně 10 %) a není nutné upravovat motor. Díky svým vlastnostem jako je nízká tenze par a z toho plynoucí menší odpar v letních měsících, nepohlcování vody a malá agresivita vůči konstrukčním materiálům a plastům se jedná o zajímavé biopalivo. Je rovněž biologicky odbouratelný a nepředstavuje riziko pro přírodu. Ovšem jeho největší nevýhodou je malé oktanové číslo a neschopnost, tedy alespoň prozatím, ho vyrábět ve větším měřítku. [25], [26]

Biometan (Bioplyn)

Biometan patří mezi biopaliva II. generace a vzniká procesem, kterému říkáme anaerobní fermentace. Na výrobu bioplynu jsou využívány odpadní produkty jako chlévská mrva, zbytky z potravinářského průmyslu, ale i kukuřice. Fermentace neboli kvašení, probíhá

za přítomnosti bakterií ve vlhké biomase, bez přístupu vzduchu. Biometan se vyrábí více způsoby, ovšem nejčastější je výroba v bioplynové stanici, jejíž schéma můžeme vidět na obrázku č.16. Jádrem je vytápěný fermentor, ve kterém se promíchává substrát a zajišťuje homogenní podmínky. Proces biologického rozkladu mění biomasu především na vodu, oxid uhličitý a metan. V bioplynové stanici se zachycuje vzniklý metan a ukládá se do zásobníku, zatímco vedlejší produkty jako kyslík, dusík, amoniak a sirovodík se odvádějí k dalšímu zpracování a využití. V dalších krocích se bioplyn čistí a odsiřuje. Vlastnosti a složení bioplynu se velmi liší podle zpracovávané biomasy. Zatímco u 1 tuny mrvy je výtěžnost cca 40 m^3 plynu, tak u 1 tuny kukuřičné siláže se pohybuje kolem 200 m^3. [27], [28]

2.6.3 Biopaliva III. generace

K jejich výrobě se používají řasy, které jsou schopny vyrobit lipidy, které slouží pro transesterifikaci na bionaftu nebo škrob, který je výchozím produktem pro fermentaci na bioethanol. Fytoplankton, kam patří i řasy, je jedním z nejrozšířenějších druhů na Zemi, a proto jsou řasy hojně zastoupeny v mořích a oceánech, kde umožnují dýchání ostatním živočichům, protože ze sebe vylučují kyslík. Řasy jsou jako organismy velmi univerzální.

Z pohledu získávání uhlíku je můžeme rozdělit: [29], [30]

- Autotrofní řasy, které získávají uhlík z anorganických zdrojů, kam patří CO^2, sluneční záření nebo sůl.
- Heterotrofní řasy, které získávají uhlík z organických látek, které produkují jiné organismy.
- Mixotrofní řasy, které pro své přežití využívají anorganických i organických zdrojů.

Řasy můžeme dále dělit na řasy mikroskopické a makroskopické. Mikroskopické řasy jsou řasy, které žijí převážně ve vodách slaných, ale i sladkých. Nejznámější mikroskopické řasy jsou Sinice nebo Zlativky. Produkty vzniklé z mikroskopických řas obsahují průměrně 50 % uhlíku, který pochází z oxidu uhličitého. Makroskopické řasy jsou na rozdíl od mikroskopických řas mnohobuněčné organismy, vyskytující se především na hrubých stěnách skalnatých ploch a stěn, což znamená, že se ve velkých počtech vyskytují také u pobřeží moře a lze je tedy snadno získat. Řasy můžeme také rozdělit podle barev. Dělí

se na řasy zelené, ty jsou na Zemi velmi zastoupenou skupinou, která má přes 7000 druhů, řasy červené nebo hnědé. Kolem 90 % zelených řas můžeme najít ve sladkých vodách a největší druhy se vyskytují i v mořích. Nicméně rostou i na vlhkých půdách. [29],[30]

I přes tyto schopnosti, které řasy mají, a i přes to, že jsou velmi nenáročné na prostor v porovnání s rostlinami, které slouží například pro výrobu biopaliv I. Generace, je problematické především zpracování paliv z nich vzniklých. Kultivováním řas je možné získat několik typů biopaliv a dalších vedlejších produktů. Celý proces je založen na fotosyntetické schopnosti řas, díky níž dochází k absorbci slunečního záření za pomocí chlorofylu a je přeměňováno na chemickou energii. Oxid uhličitý a voda jsou přeměněny za pomocí fotonů a fotosyntézou a dalšími procesy jsou získávány jiné látky, mezi které patří například uhlovodíky nebo rostlinné oleje. Proces není v současné době ekonomicky rentabilní, protože náklady na výrobu paliv z ropy jsou třetinové oproti nákladům na jejich výrobu z řas. Biopaliva III. generace jsou stále ve vývoji, ale v budoucnu by řasy mohly vyrábět tato biopaliva a pohlcovat oxid uhličitý a plně nahradit paliva získaná z ropy, nicméně tento proces je ještě na poměrně dlouhou dobu. [29],[30]

Bionafta III. generace

Bionafta III. generace z řas se vyrábí velmi podobně jako bionafta I. generace, tedy procesem, kterému říkáme transesterifikace. Vlastnosti obou biopaliv jsou velmi podobné, a dokonce jsou podobné i vlastnosti bionafty III. generace a motorové nafty, jak ukazuje tabulka 3. Paliva se liší pouze v drobnostech a některé vlastnosti jako například bod vzplanutí či kyselost má bionafta III. generace lepší než nafta motorová. Hůře je na tom bionafta ohledně bodu tuhnutí, kdy běžná motorová nafta zamrzne při - 20 °C a bionafta III. generace již při – 11,5 °C. [31]

Tabulka 3: Srovnání vlastností motorové nafty a bionafty III. generace [31]

Vlastnost paliva	Motorová nafta	Bionafta III. generace
Hustota při 15 °C (kg/m^3)	838,00	864,00
Bod vzplanutí (°C)	75,00	65,00
Bod tuhnutí (°C)	-20,00	-11,50
Filtrovatelnost (°c)	-6,70	-11,00
Výhřevnost (MJ/kg)	40,00 až 45,00	41,00
Kyselost (mgKOH/g)	0,50	0,37

Biometan

Biometan je další palivo, které je možné vyrobit z mořských řas a patří mezi biopaliva III. generace. Proces jeho výroby se jmenuje pyrolýza, což je termický rozklad organických látek, v anaerobním prostředí, tedy bez přístupu kyslíku. Vlivem tepla dochází k ohřevu hmoty až na takzvanou mez termické stability organických látek, které se štěpí na nízkomolekulární látky a pevný zbytek. Biometan se dá dále využít jako palivo ve spalovacích motorech. [31].

Biovodík

Biovodík je palivo, které řadíme taky mezi biopaliva třetí generace, ovšem jeho výroba je nákladná. Celý proces je velmi technicky náročný a spočívá v tom, že řasy mají genetické a metabolické vlastnosti pro výrobu, ovšem je potřebné udržovat anaerobní podmínky. Proto je možné zatím vyrobit pouze zlomek teoretického maxima, ovšem pokud by se všechna úskalí podařilo překonat má toto palivo dobré vyhlídky do budoucna. [31]

2.7 HVO (Hydrogenované rostlinné oleje)

Rostlinné oleje není nutné zpracovávat na biopaliva pouze transesterifikací, ale je možné využít také proces hydrogenace. Z rostlinných olejů lze touto metodou vyrobit tzv. HVO. Toto palivo, jehož zkratka znamená v angličtině „Hydrotreated vegetable oil“ neboli hydrogenovaný rostlinný olej, je možnou alternativou na poli biopaliv a z hlediska zařazení patří mezi biopaliva II. generace. Procesem hydrogenizace, jehož schéma, můžeme vidět

na obrázku 12, dochází u rostlinných olejů k odstranění dvojných vazeb působením vodíku a v důsledku toho se vytvářejí nasycené uhlovodíky. [32],[33]

Na výrobu HVO je možno využít kromě běžně dostupných rostlinných olejů ze zemědělských plodin jako například řepka nebo sója, také rostlinné oleje, které produkují určité druhy řas. Proces získávání těchto olejů je ale zatím ve vývinu, protože řasy je nutné modifikovat kvůli vyšší výtěžnosti oleje. Toto řešení je velmi zajímavé do budoucna pro průmyslové využití s ohledem na ekologii, neboť řasy, jak již bylo zmíněno u biopaliv III. generace, jsou téměř neomezený zdroj rostlinných olejů a nezabírají plochu na zemědělské půdě. [32], [33]

Surovinou pro hydrogenizační proces mohou být také rostlinné tuky jako například hovězí lůj, či drůbeží tuk. Tyto suroviny se vyskytují v hojné míře a jsou poměrně laciné, a proto se v dnešní době již běžně používají pro výrobu bionafty. Jedinou nevýhodou využití těchto tuků do budoucna by mohla být skutečnost, že tyto produkty mají rovněž své využití v potravinářském průmyslu a z důvodu masivní výroby HVO by jich časem mohl být nedostatek. Poslední surovinou pro výrobu hydrogenovaného oleje jsou odpadní rostlinné či živočišné tuky, jako například fritovací olej, rybí tuk, či odpadní tuk z rafinace olejů. Tyto tuky nemají de facto další využití a končily běžně jako odpad. Použití těchto tuků na biopaliva se jeví jako velmi zajímavá, efektivní a ekologická metoda jejich zpracování. [32], [33],[48]

HVO má oproti klasické bionaftě velké množství vlastností, které odpovídají uhlovodíkovým palivům, jako je dobrá oxidační stabilita a materiálová kompatibilita s palivovým systémem, což umožnuje použití tohoto paliva i ve vozech bez speciálních úprav palivového systému. Další výhodou použití HVO je skutečnost, že nemá žádná zvláštní omezení v dopravě, logistice, a proto se skladovací a distribuční kapacity dají pro toto palivo použít. Tato skutečnost je celkem podstatná, neboť výrazně usnadňuje rozšíření tohoto biopaliva, jak z praktických, tak z ekonomických důvodů. V mnoha ohledech jsou vlastnosti HVO dokonce mnohem lepší než vlastnosti běžné motorové nafty. Jedná se například o nižší obsah sirného znečištění nebo o vyšší cetanové číslo, které souvisí s nízkým obsahem aromatických uhlovodíků a rychlostí vznícení pod tlakem při vstřiku do válce motoru. Tyto parametry příznivým směrem ovlivňují provozní vlastnosti motoru a také jeho emise. Vysoké hodnoty cetanového čísla souvisí především s minimálním výskytem aromatických

uhlovodíků v HVO. Aromatické uhlovodíky mají při spalování obecně větší sklon k tvorbě pevných částic, a proto HVO a směsná paliva, která ho obsahují, mají předpoklad k menší tvorbě částic. Tento předpoklad byl již několikrát potvrzen různými studiemi, při kterých byly ve vznětových motorech použity jak paliva, kde tvoří je čisté HVO, tak směsi HVO a fosilní motorové nafty. Těmito studiemi byla prokázaná skutečnost příznivého vlivu HVO na snížení pevných částic a emisí částic a také snížení ostatních regulovaných složek výfukových emisí, jako jsou uhlovodíky nebo oxidy dusíku. V porovnání s ropnou motorovou naftou tyto studie prokázaly snížení emisí částic přibližně o 25-40 %, snížení emisí uhlovodíků a CO_2 o 50-80 %, snížení emisí NOx o 6-16 %. [32], [33], [35],[47]

HVO má ve srovnání s běžnou motorovou naftou bohužel poměrně nízkou hustotu a viskozitu. Relativně nízká hustota snižuje hustotu směsného paliva (HVO + Motorová nafta), takže již při zhruba 30 objemových % HV ve směsi s motorovou naftou tato směs začne vykazovat nižší hustotu, která se blíží dolnímu limitu pro motorové nafty určené pro mírné klima. Tento limit je 820 kg/m^3 a je upraven normou EN 590. Pokud se jedná o směs HVO a běžné motorové nafty bez přídavku určitého poměru MEŘO (FAME), tak je nutné použití aditiv s mazivostními přísadami, jako u standartní motorové nafty. HVO se do motorové nafty nejčastěji přimíchává v poměru právě 30 % HVO a 70 % běžná motorová nafta. V tabulce 4 můžeme vidět porovnání vybraných vlastností standartní motorové nafty z ropy, bionafty z řepkového oleje (MEŘO, FAME) a HVO v poměru 30/70 a 100/0 (HVO/Motorová nafta). [32], [33]

Tabulka 4: Srovnání fyzikálně-chemických vlastností paliv [32]

Parametr	Motorová nafta	Bionafta (MEŘO)	HVO (30/70)	HVO (100/0)
Destilační zkouška při 250 °C předestiluje [% objemu]	40,00	0,00	30,60	2,80
Destilační zkouška při 350 °C předestiluje [% objemu]	97,00	92,00	-	-
95 % objemu se předestiluje při [°C]	343,70	354,00	326,60	291,00
Hustota při 15 °C [kg/m3]	840,10	882,50	822,10	779,60
Cetanové číslo	51,10	58,50	55,10	74,90
Bod vzplanutí [°C]	67,50	> 120	68,00	69,00
Obsah polyaromatických uhlovodíků [% objemu]	5,00	< 0,01	3,60	0,10
Obsah síry [mg/kg]	8,50	4,00	6,10	<3,00
Oxidační stabilita, h c	196,10	9,80	30,80	19,80
Kin. viskozita při 40 °C	2,60	4,63	2,65	2,85

Směšovací poměr 30/70 HVO/Motorová nafta není záležitost pouze technických parametrů paliva, ale je také záležitost legislativy České republiky, která umožňuje podle zákona

o spotřebních daních použití HVO s daňovým zvýhodněním při přídavku minimálně 30 % do motorové nafty. [32]

V České republice se odvětvím výroby HVO zabývá několik firem, z nichž je nejvýraznější firma Unipetrol, která se zapojila v roce 2015. První testy probíhaly již v roce 1996, ale tehdy se projekt ukončil. Dceřiná společnost firmy Unipetrol, firma Benzina, která patří mezi největší petrolejářské firmy u nás soudí, že použití HVO je nejvhodnější varianta ke splnění cíle Evropské komise snížit emise v dopravě. V palivech s obchodním označením Verva Diesel, které jsou v dostání na více než 70 % čerpacích stanic této značky v ČR je přimícháno 30 % HVO. Společnost začala palivo s touto biosložkou distribuovat teprve v březnu letošního roku. Další čerpací stanicí v České republice, kde je palivo s obsahem HVO dostupné je OMV, kde nese obchodní označení Maxxmotion Diesel. [34], [35], [36], [38]

Koncern OMV odebírá HVO od nejvýraznějšího Evropského výrobce, kterým je finská firma Neste oil. Jejich HVO má obchodní označení NExBTL a vyrábí se v rafinériích ve Finsku či Nizozemí. Ve Finsku jsou prodávaná biopaliva s označením Neste Pro Diesel nebo Neste Green 100. První palivo má v sobě obsaženo 15 % NExBTL, zbytek tvoří motorová nafta a aditiva. Druhé palivo je tvořeno pouze produktem NExBTL a aditivy. Jedná se tedy o 100 % HVO palivo. Tato paliva nabízejí kromě Finska také v ostatních evropských zemích jako je například Norsko. Norský výrobce paliv Bunkeroil nabízí 100 % HVO palivo a udává, že je možno ho použít jako náhradu za fosilní naftu, neboť má téměř identické složení. Pro účely použití 100 % HVO jako náhrady za motorovou naftu již byla vydána evropská technická specifikace, která 100 % HVO zahrnuje. Čisté palivo NExBTL renewable diesel bylo v rámci různých projektů úspěšně používáno pro pohon vznětových motorů motorových vozidel. Do těchto testů se také zapojili výrobci nákladních automobilů. Za zmínku stojí určitě přední evropští výrobci nákladních vozidel a autobusů Scania a DAF. Scania momentálně vyvíjí a testuje provoz svých modelů s motory splňující Euro 5 a 6 na HVO a hovoří až o 85 % snížení emisí CO_2, zatímco DAF již nabízí modely LF, CF a XF s motory, které zvládnou použití HVO a hovoří dokonce až o 90 % snížení CO_2. [32], [33], [37], [38], [39]

2.8 Měření provozních parametrů vznětového motoru

Měření provozních parametrů slouží k dokonalému posouzení charakteristiky motoru. Mezi zjišťované parametry patří průběh výkonu motoru, průběh točivého momentu, měrná spotřeba či produkce emisí a pevných částic. Zjištěním těchto hodnot můžeme vyhodnotit, jaké bude mít motor provozní vlastnosti, můžeme určit hospodárnost provozu, stav pohonné jednotky nebo vliv palivové směsi na produkci emisí. Měření provozních parametrů slouží také k posouzení vhodnosti použití biopaliva pro vznětový motor.

2.8.1 Měření výkonových parametrů motoru

Výkonové parametry, které se vyhodnocují při tomto měření jsou výkon [kW] a točivý moment [Nm]. Tyto hodnoty se měří v závislosti na frekvenci otáček motoru [min-1].

Pro hodnocení a porovnávání spalovacích motorů, se používá několik druhů výkonů: [40], [41]

- **Indikovaný výkon**: Tento výkon je vyvíjený tlakem plynů a je předávaný na písty, je to výkon bez mechanických ztrát.
- **Užitečný výkon**: Výkon, který je měřený až v místě odběru. Zpravidla hlavní hřídel traktoru nebo na spojkové přírubě a měří se při zapojení všech nezbytných pomocných zařízení.
- **Jmenovitý výkon**: Největší užitečný výkon, který může motor vyvíjet po určenou dobu buď trvale, nebo přerušovaně, při jmenovitých otáčkách a dalších jmenovitých podmínkách.
- **Ztrátový výkon**: Jedná se o dílčí část výkonu, který je spotřebován na překonání všech mechanických nebo hydraulických ztrát v motoru. Zároveň jsou sem zahrnuty ztráty, které vznikly pohonem nezbytných zařízení (alternátor, posilovač řízení).

Stejné je to u točivého momentu, sleduje se:

- **Indikovaný točivý moment.**
- **Užitečný točivý moment.**
- **Jmenovitý točivý moment.**
- **Ztrátový točivý moment.**

Metody měření výkonových parametrů jsou pro lepší přehlednost uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5: Metody měření výkonových parametrů motoru [41]

<table>
<tr><th>Způsob zatížení</th><th>Umístění motoru</th><th>Výstup výkonu</th><th>Princip měřícího zařízení</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Stacionární (Statické)
1. Zatěžovacím momentem brzdy se udržují předvolené otáčky motoru

2. Zvolí se zatěžovací moment nezávisle na otáčkách</td><td>Zkušební stanoviště</td><td>Klikový hřídel nebo jiné srovnatelné místo</td><td rowspan="4">Absorpční dynamometry:
1. Elektromagnetické vířivé brzdy
2. Hydraulické brzdy
3. Mechanické frikční brzdy
4. Vzduchové brzdy
5. Tandemové brzdy
Univerzální dynamometry:
1. Elektrodynamické motorgenerátory na stejnosměrný nebo střídavý proud
Torzní dynamometry</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Ve vozidle</td><td>Obvod hnacích kol (válcové zkušebny)</td></tr>
<tr><td>Klikový hřídel nebo jiné srovnatelné místo</td></tr>
<tr><td>Vývodový hřídel (traktory)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Dynamické

1. Urychlování setrvačných hmot zvoleným točivým momentem</td><td rowspan="3">Ve vozidle</td><td>Obvod hnacích kol (válcové zkušebny)</td><td>Měření úhlového zrychlení setrvačných hmot</td></tr>
<tr><td>Klikový hřídel nebo jiné srovnatelné místo</td><td>Měření úhlového zrychlení klikového hřídele</td></tr>
<tr><td>Přepočet výkonu na klikový hřídel</td><td>Měření přímočarého zrychlení celého vozidla</td></tr>
</table>

2.8.2 Charakteristiky spalovacích motorů

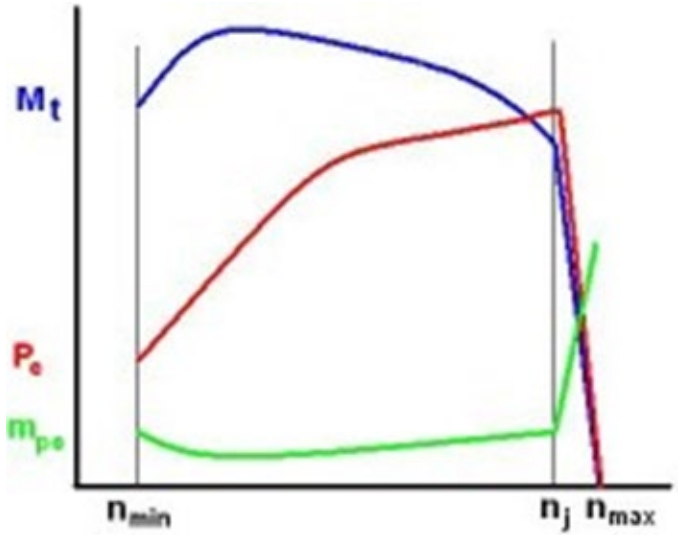
Charakteristika motoru je grafické znázornění závislosti vybraných provozních parametrů motoru v soustavě souřadnic. Také se může jednat o znázornění závislosti určité provozní veličiny na proměnlivé konstrukční veličině, která charakterizuje seřízení motoru. Charakteristiky se často předpovídají pomocí výpočtu nebo modelování a jejich ověření těchto předpokladů se provádí na základě měření. Hlavními druhy charakteristik podle volby závisle proměnné jsou otáčkové charakteristiky, zatěžovací charakteristiky, seřizovací charakteristiky a charakteristiky úplné (universální). [40], [41]

Otáčková charakteristika

Je znázornění závislosti užitečného výkonu motoru a dalších důležitých provozních veličin na jeho otáčkách při stálém nastavení dodávky paliva. Na ose otáček se místo hodnot v absolutních mohou vynášet také poměrné otáčky, které vyjadřují poměr otáček

skutečných k jmenovitým. Při zjišťování otáčkové charakteristiky měřením dochází ke změně otáček pouze vlivem změny zatěžovacího momentu. Nedochází tedy ke změně v dodávce paliva a v seřízení regulátoru. [40], [41]

Otáčkové charakteristiky se používají pro posuzování vlastností motorů, které pracují především s proměnlivými otáčkami. Pro motory pracující s proměnlivými otáčkami se používá jmenovitá otáčková charakteristika, kterou můžeme vidět na obrázku 7. Pro ostatní motory se používají soustavy otáčkových charakteristik. [40], [41]



Obrázek 7: Jmenovitá otáčková charakteristika vznětového motoru [41]

Zatěžovací charakteristika

Zatěžovací charakteristika představuje funkční závislost měrné spotřeby paliva, popřípadě jiných nezbytných veličin na veličině, která udává zatížení motoru – například užitečný výkon nebo točivý moment. Měření této charakteristiky se zpravidla zjišťuje při relativně konstantních otáčkách motoru. Tolerance možné odchylky nastavených otáček je 1 %.
Zatěžovací charakteristika se používá především pro posuzování vlastností motorů, které pracují se stálými otáčkami. [40], [41]

Seřizovací charakteristika

Seřizovací charakteristika je znázorněním závislosti užitečného výkonu a měrné spotřeby paliva nebo dalších nezbytných veličin na některé provozní nebo konstrukční veličině, která charakterizuje seřízení motoru. Touto veličinou může být například úhel předstihu

vstřikování nebo otevírací tlak jehly vstřikovací trysky atd. Seřizovací charakteristiky mají svoje uplatnění například při vývoji motorů, nebo při tvorbě prototypů, a jejich účelem je určení optimálního seřízení motoru. Dále se využívají při hodnocení motoru při práci v netradičních pracovních podmínkách. [40], [41]

Úplná (univerzální) charakteristika

Tato charakteristika zahrnuje řadu diagramů izolinií (vrstevnic) parametrů motoru. Zpravidla se doplňuje sítí hyperbol konstantního výkonu a pro jednomyslné hodnocení motorů úplnou charakteristikou se stanoví soustava os tak, že na ose, kde jsou úsečky zobrazeny otáčky a na ose, kde jsou souřadnice, je znázorněn střední užitečný tlak. Úplná charakteristika se nezjišťuje přímým měřením, ale skládá se soustavy otáčkových charakteristik tak, že se ke všem bodům s určitou stejnou pořadnicí na křivkách jedné ze sledovaných veličin zjistí hodnoty otáček a středního užitečného tlaku. Po vynesení těchto souřadnic můžeme získat body křivky úplné charakteristiky. [40], [41]

2.8.3 Měření spotřeby paliva

Za běžných podmínek zjišťujeme hodnoty průměrné a okamžité spotřeby paliva, která se udává v litrech na 100 km. Spotřebu paliva můžeme považovat za ukazatel šetrnosti a za významný hodnotící ukazatel, který je schopen stanovit technický stav motoru. Důležitým ukazatelem je hodnota měrné spotřeby paliva, která udává potřebné množství paliva na práci, kterou pohonná jednotka vykonala a je tedy ukazatelem, který přesně hodnotí její účinnost. Měrná spotřeba paliva je veličina, která udává kolik hmotnostního množství paliva je potřeba k vyprodukování jednotky mechanické práce a udává se v $g.kW^{-1}.h^{-1}$ nebo $kg.kW^{-1}.h^{-1}$ a je závislá na otáčkách a zatížení motoru. Spotřebu paliva lze měřit v provozu a ve zkušebně. V provozu měříme především průměrnou a okamžitou spotřebu, zatímco měření měrné spotřeby provádíme ve zkušební stanici, aby měření probíhalo vždy za stejných podmínek. [41]

Metody měření spotřeby paliva můžeme rozdělit následovně: [41]

- **Volumetrické** – Jedná se o přímé měření, které je založeno na principu měření objemu spotřebovaného paliva. Toto měření je vhodné pro měření za provozu i pro měření ve zkušební stanici.

- **Gravimetrické** – Jedná se o přímé měření, které je založeno na principu měření hmotnosti spotřebovaného paliva. Toto měření je použitelné pro měření na zkušební stanici.
- **Emisní** – Tato nepřímá metoda měření spotřeby paliva je založena na výpočtu spotřeby paliva ze známého objemového průtoku spalin.

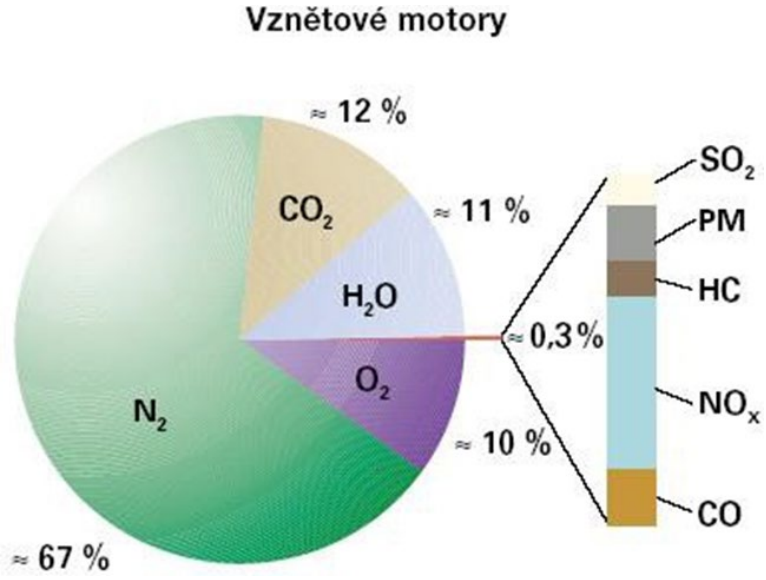
2.8.4 Měření emisí a pevných částic

Emise, které produkuje motor při spalování, jsou důležitým ukazatelem, který ovlivňuje vývoj spalovacích motorů a vyhovující emisní parametry jsou přímou podmínkou pro uvedení motoru potažmo automobilu do výroby a na trh. Složení emisí je kvalitativním ukazatelem spalovacího procesu a celkové kondice. Jedná se také o klíčový ukazatel při hodnocení vlivu biopaliv na provozní parametry motoru. [42]

Složení výfukových plynů

Emise vznětových motorů se skládají z mnoha chemických látek, které jsou zastoupeny v různých koncentracích. Podle posledních výzkumů se ve výfukových plynech může nacházet až 160 složek. Nejvýznamnější složkou výfukových plynů je jednoznačně dusík, který do spalovacího procesu vstupuje v nasávaném vzduchu a ve větší míře prochází spalovacím procesem v nezměněném stavu. Pouze menší množství dusíku se za pomoci vysokých teplot a tlaků zoxiduje na oxidy dusíku (Nox). Dále zastoupené složky ve výfukových plynech jsou oxid uhličitý (CO_2), kyslík (O_2), vodní pára. Kyslík a vodní pára jsou v emisích zastoupeny přibližně ve stejném poměru. Při dokonalé oxidaci paliva na bázi uhlovodíků vzduchem vznikají právě tyto produkty dokonalého hoření, tzn. oxid uhličitý (CO_2) a vodní pára. Teoreticky je pro dokonalé spálení 1 kg nafty potřeba 14,78 kg vzduchu. V reálných podmínkách ovšem nedochází vždy k dokonalé oxidaci paliva, a kromě již zmíněného oxidu uhličitého a vodní páry vznikají i další složky jako kyslík (O_2), oxid uhelnatý (CO), nespálené uhlovodíky (HC), pevné částice (PM), sirnaté sloučeniny a další. Složení výfukových plynů můžeme vidět na obrázku 8. Mnohé z těchto složek škodí lidskému zdraví a z tohoto důvodu je jejich množství ve výfukových plynech omezen emisními normami. Mezi přímo sledované škodliviny u vznětových motorů se řadí CO, NOx, HC a PM. Produkce škodlivých látek ve výfukových plynech vznětových motorů výrazným

způsobem závisí na součiniteli přebytku vzduchu λ, který udává přebytek vzduchu ve směsi. Pokud je λ rovna 1 jedná se o tzv. stechiometrickou (ideální směs). Při této směsi dochází k dokonalému spalování. Pokud je λ menší než 1 tak je směs bohatá a nemá dost kyslíku pro oxidaci a pokud je λ menší než 1, tak je směs příliš chudá a má přebytek kyslíku a nedostatek paliva. Nesilniční mobilní stroje, tedy například zemědělské stroje, musí plnit emisní normy označované Etapa IV pro evropský trh a Tier 4 pro trh v Severní Americe. Osobní a užitková vozidla uváděná na trh od 1. 9. 2018 musí splňovat emisní normu Euro 6c. [41], [42], [43], [44]



Obrázek 8: Složení výfukových plynů vznětového motoru [41]

Oxid uhličitý CO_2

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn, který je bez chuti a zápachu. Jedná se o velmi stabilní a minimálně reagující plyn, který nemá závažný vliv na lidské zdraví při normální koncentraci. V případě zvýšené koncentrace ve vdechovaném vzduchu začne vytěsňovat kyslík a v důsledku toho hrozí bolesti hlavy nebo zadušení. Oxid uhličitý vzniká při dokonalém spalování paliva v motoru a jeho výskyt ve výfukových plynech znamená, že spalovací proces probíhá správně a veškerý uhlík v palivu je dokonale spálen. Oxid uhličitý vzniká také v katalyzátoru, kdy hovoříme o takzvaném „sekundárním CO_2“. Zde probíhá oxidace škodlivého oxidu uhelnatého na CO_2. I přes tuto skutečnost, že se jedná o produkt dokonalé oxidace, způsobuje oxid uhličitý radiační clonu, která zabraňuje

předávání tepla mezi planetou Zemí a okolím a dochází tak k postupnému globálnímu oteplování, a proto je nazýván jako tzv. „skleníkový plyn“. [41]

Oxid uhelnatý CO

CO je jedovatý plyn, který má schopnost vázat se na hemoglobin, který se nachází v krvi. CO se k hemoglobinu váže rychleji než kyslík a tím způsobuje blokaci dýchací funkce a v krajním případně i smrt. Hlavní příčinou vzniku oxidu uhelnatého je spalování bohaté směsi, nicméně může být zjištěn zvýšený výskyt i při spalování chudých směsí. Vždy vzniká při nedokonalém spalování a nedostatečné oxidace paliva. [42], [43]

Oxidy dusíku NOx

Mezi nejčastější oxidy dusíku patří oxid dusnatý NO, oxid dusný N_2O a oxid dusičitý NO_2. Z těchto sloučenin se mezi nejvíce škodlivé řadí především NO_2, který má dokonce větší škodlivost než oxid uhelnatý. Oxidy dusíku mají podíl na vzniku oxidačního smogu. NOx vznikají oxidací dusíku při spalovacím procesu, který probíhá za vysoké teploty a tlaku. Jejich tvorba je závislá na bohatosti směsi a koncentraci kyslíku, tzn. tvorba NOx klesá s rostoucí hodnotou součinitele λ. Příznačným pro tvorbu oxidů dusíku je, že maximálních hodnot dosahují v okamžiku, kdy jsou ostatní hodnoty emisí nízké. [42], [43]

Nespálené uhlovodíky HC

Pojmem HC jsou obecně označovány látky, jejichž škodlivost se liší. Nejškodlivějšími nespálenými uhlovodíky jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH). Nespálené uhlovodíky můžou vznikat při nepříznivých podmínkách pro spalování. Příkladem může být chladnější stěna válce, díky které může dojít k zastavení oxidačních reakcí. Na tvorbu těchto látek má kromě bohaté směsi, tedy kdy součinitel λ je větší než 1, významný vliv také teplotní režim motoru a konstrukce spalovacího prostoru a pístu. [43]

Oxidy síry SOx

Hlavním a nejdůležitějším oxidem síry ve výfukových plynech je oxid siřičitý (SO_2). Tento bezbarvý, jedovatý plyn, který se do lidského těla dostává vdechnutím, kde napadá sliznici a plíce může způsobit otok hrtanu a plic. Oxid siřičitý má přímý vliv na tvorbu kyselých dešťů, které způsobují devastaci životního prostředí. Oxid siřičitý vzniká při spalovacím procesu uvnitř vznětového motoru při spalování motorové nafty, ve které je síra v určitém

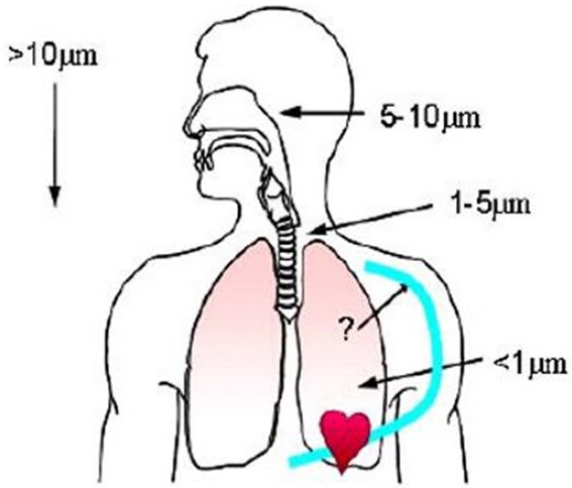
poměru obsažena. Maximální obsah síry v motorové naftě je regulován normou ČSN EN 590 a obsah síry se neustále snižuje, čímž dochází také ke snížení produkce oxidu siřičitého. Jedná se tedy o nepřímou formu regulace této složky ve výfukových plynech, jelikož neodstraňujeme následky, tedy vzniklé emise, ale snažíme se eliminovat jejich příčinu, tedy obsah síry v palivu. V dnešní době je hlavním producentem oxidů síry průmysl a vznětové motory mají na produkci těchto plynů podstatně menší vliv než v minulosti [41], [43], [45]

Pevné částice PM

Pevné částice, které se anglicky označují jako „particulate matter“ jsou kapalné nebo pevné prvky, které se za normálních podmínek vyskytují ve výfukových plynech. Projevují se jako tmavý kouř, který je rozpoznatelný lidským okem. Tento tmavý kouř je spíše typický pro vznětové motory, ovšem objevuje se i u motorů zážehových, a to hlavně z důvodu přímého vstřikování paliva. Pevné částice se skládají z mnoha složek, z nichž nejvýznamnější jsou uhlík ve formě sazí, voda, dusík a sulfáty. Dalšími složkami jsou popel, otěrové částice motoru nebo zbytky nespáleného paliva nebo maziva. Saze vznikají při nedokonalé oxidaci paliva za vysokých teplot, bez přístupu kyslíku a jejich množství klesá s nárůstem součinitelem λ. [41], [43]

Pevné částice jsou podle velikostí rozděleny do tří skupin. Jedná se o skupiny PM 10, PM2,5 a PM 1. Číslo udává maximální velikost částic v µm ve skupině, tedy do skupiny PM 10 patří všechny částice do od velikosti 2,5 µm do velikosti 10 µm. Velikost pevných částic ovlivňuje i schopnost udržet se ve volném prostoru, než dojde k jejich usazení. Větší částice skupiny PM 10 se usadí zpravidla do několika hodin, zatímco menší částice mohou poletovat dny až týdny, než dojde k jejich usazení nebo spláchnutí vodou. Velikost částic má také podstatný vliv na schopnost usazování v lidském těle. Největší částice se usadí v nosní sliznici a střední částice do velikosti 5 µm sice projdou do horních cest dýchacích, ale jsou zachyceny v nosní dutině. Částice pod 5 µm mohou proniknout hlouběji do dýchacích cest, ale jsou zpravidla zachyceny na průduškách. Částice menší než 1 µm proniknou přes průdušky, ale jsou zachyceny v plicních sklípkách. Nejlépe pronikají do lidského těla nejmenší částice. Jedná se o částice menší než 0,1 µm. Ty se usazují v lidském těle, kde mohou přes plicní stěny proniknout do lymfatického systému, popřípadě do krevního oběhu. Právě tyto částice představují pro lidský organismus největší hrozbu, a proto se produkce těchto částic velmi kontroluje. Distribuce pevných částic do lidského těla

v závislosti na jejich velikosti je znázorněna na obrázku 9. Pevné částice větších rozměrů mohou způsobit podráždění oka nebo jícnu. Střední částice mohou způsobit zánět průdušek nebo pocit dušení a nejmenší částice mohou při dlouhodobém vystavení způsobit například zánět plic. [41], [43], [46]



Obrázek 9: Pronikání pevných částic do lidského těla podle velikosti [41]

Metody měření emisí pevných částic

Provoz vozidel se spalovacími motory způsoboval a způsobuje emise, které mají negativní dopady na životní prostředí a lidské zdraví. Z důvodu snížení těchto negativních dopadů byly zavedeny emisní limity, které musí splňovat každé vozidlo nebo stroj se spalovacím motorem. Z důvodu dodržování plnění emisních limitů byly vynalezeny metody měření emisí pevných částic.

Tyto metody měření jsou: [42]

- filtrační metoda,
- hmotnostní měření koncentrace částic,
- opacimetrie.

Filtrační metoda

Tato metoda byla využívána spíš v minulosti a dnes se již skoro nepoužívá. Funguje na principu zachytávání částic kouře na filtrační papír. Vyhodnocení se provádí za pomocí fotoelektrického měřícího přístroje. Tento přístroj měří množství světla, které se odrazí zpět od použitého filtračního papíru a výsledek je porovnán s hodnotami pro nepoužitý

filtrační papír. Výsledkem je rozdíl v množství odraženého světla, který se nazývá stupeň zčernání a udává se v jednotkách SZ (Schwarzungszahl), BSZ (Bosch Schwarzungszahl) nebo Bn (Bosch number). [42],

Hmotnostní měření koncentrace částic

Princip této metody spočívá ve zvážení filtračního elementu, který je ze skelných vláken. Často bývá tento filtrační element potažen teflonem. Přes tento filtrační element prochází testovaný vzorek spalin, na kterém se usazují pevné částice a po měření je filtrační materiál opětovně zvážen a rozdíl těchto hodnot vztažený k celkovému množství spalin vyjadřuje hmotnostní koncentraci částic ve výfukových plynech. [42]

Opacimetrie

Tato metoda je v praxi nejpoužívanější a jako jediná je podle vyhlášky č. 211/2018 Sb., o technických kontrolách a měření emisí vozidel, přípustná pro měření emisí a kouřivosti vznětových motorů na stanicích technické kontroly. Metoda využívá Behr–Lambertova zákona a je založena na pohltivosti světelného toku procházejícího přes sloupec výfukových plynů. K měření se využívá přístroj zvaný opacimetr, který se skládá z měřící trubice, do které jsou přivedeny výfukové. Trubice má na jednom konci světelný zdroj a na druhém konci čidlo (fotonku). V trubici je sloupec spalin prosvícen a je zjištěno prošlé záření. Výslednou hodnotou je stupeň absorpce světla N, s pomocí kterého se vypočítá absorpční koeficient k. [42]

3 Cíl práce

Tato diplomová práce si dává za obecný cíl zlepšení životního prostředí a snížení emisí skleníkových plynů. Konkrétním cílem práce je posouzení vlivu směsí HVO a motorové nafty na provozní parametry vznětového motoru a porovnání tvorby pevných částic při spalovacím procesu. Dosáhnutí konkrétního cíle je možné za pomoci splnění dílčích cílů:

- Analýza výkonových parametrů motoru za použití čisté motorové nafty bez biosložky a za použití směsí motorové nafty a HVO.
- Analýza provozních parametrů motoru za použití čisté motorové nafty bez biosložky a za použití směsí motorové nafty a HVO.
- Analýza produkce pevných částic vznětového motoru za použití čisté motorové nafty bez biosložky a za použití směsí motorové nafty a HVO.
- Vyhodnocení a porovnání naměřených dat vznětového motoru při použití všech měřených paliv.

4 Metodika práce

V kapitole metodika práce je uveden postup experimentálního měření, které pomohlo k dosažení dílčích cílů práce a následně také k dosažení globálního cíle. Tato kapitola se dělí na několik podkapitol tak, aby mohly být jednotlivé dílčí práce splněny. V první podkapitole jsou uvedeny použité přístroje, měřící aparatura. Druhá podkapitola popisuje použitá paliva a sledované parametry, které slouží pro dosažení cílů. Třetí podkapitola popisuje metodiku analýzy výkonových parametrů. Ve čtvrté podkapitole je uveden postup měření při analýze pevných částic, měrné spotřeby a účinnosti motoru při provozu vznětového motoru na jednotlivá testovaná paliva či jejich směsi.

Měření probíhalo ve zkušební laboratoři Katedry jakosti a spolehlivosti strojů Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze. Měření bylo komplexní a obsahovalo naměření hodnot, které slouží k vyhodnocení několika sledovaných parametrů (složení emisí a pevných částic ve spalinách, spotřeba paliva).

4.1 Použité přístroje a měřící aparatura

Zetor Forterra 8641

Měření probíhalo na traktoru značky Zetor, model Forterra 8641, který je zobrazen na obrázku 10. Tento traktor je osazen řadovým čtyřválcovým vznětovým motorem s přímým vstřikem paliva do válce, který nese označení 1204. Motor je přeplňován turbodmychadlem. Traktor byl vyrobený v roce 2006. Technické údaje tohoto traktoru jsou uvedené v tabulce 6.

Obrázek 10: Zetor Forterra 8641

Tabulka 6: Technické parametry traktoru Zetor Forterra 8641

Parametr		Hodnota
Typ motoru		1204
Druh motoru		Vznětový, přímé vstřikování
Provedení motoru		Řadový, stojatý, chlazený vodou
Druh rozvodu		OHV
Počet válců		4
Obsah válců	cm^3	4156
Vrtání x zdvih	mm	105 x 120
Kompresní poměr		17
Jmenovité otáčky	$ot.min^{-1}$	2200
Max. přeběhové otáčky	$ot.min^{-1}$	2460
Volnoběžné otáčky	$ot.min^{-1}$	750 ± 25
Čistý výkon při jmenovitých otáčkách	kW	60
Max. točivý moment	Nm	351
Převýšení Mt	%	35
Specifická spotřeba paliva při uvedeném výkonu	$g.kW^{-1}.h^{-1}$	253

Dynamometr MAHA ZW 500

Motor traktoru byl spojený přes zadní vývodový hřídel s tenzometrickým dynamometrem MAHA ZW 500, který slouží pro zatížení motoru traktoru. Dynamometr MAHA ZW 500 je zobrazen na obrázku 11. Tento dynamometr, který obsahuje dvě brzdy vířivých proudů, pracuje s procentuální odchylkou menší než 1 %. Převodový poměr mezi vývodovým hřídelem a klikovým hřídelem motoru byl 3,543. Tento převodový poměr slouží pro následné přepočítání naměřeného točivého momentu na vývodovém hřídeli na točivý

moment motoru (ztráty v převodové soustavě nebyly při porovnávacích měřeních uvažovány). Vybrané technické parametry dynamometru MAHA LPS-ZW 500 jsou uvedené v tabulce 7.

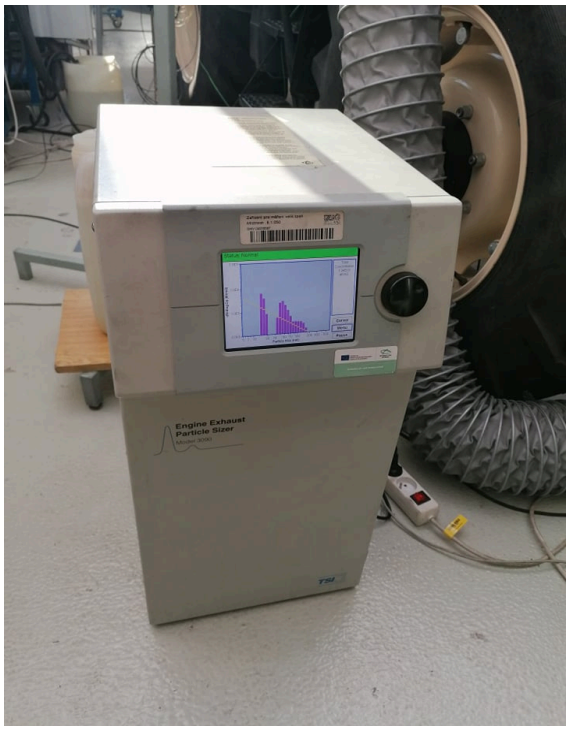
Obrázek 11: Dynamometr MAHA ZW500 připojený k traktoru Zetor

Tabulka 7: Technické parametry dynamometru MAHA ZW500

Parametr		Hodnota
Maximální brzdný výkon	kW	500
Maximální otáčky	min^{-1}	2 500
Maximální točivý moment	Nm	6 600
Velikost hřídele	"	1 ¾ (šesti drážkový)
Rozměry (d x š x v)	mm	3 580 x 2 110 x 1 420
Hmotnost	kg	1 300

Analyzátor částic EEPS 3090

Pro měření byl použit analyzátor velikosti částic (spektrometr) EEPS (Engine Exhaust Particle Sizer) 3090, který slouží pro stanovení velikosti a koncentrace pevných částic, které produkuje vznětový motor traktoru. Zařízení můžeme vidět na obrázku 12. Výstupní data přístroje udávají počet částic v 1 cm^3 zředěných výfukových plynů podle velikost částic. Vybrané technické parametry tohoto spektrometru jsou uvedené v tabulce 8.



Obrázek 12: Analyzátor částic EEPS 3090

Tabulka 8: Technické parametry Analyzátoru částic EEPS 3090

Parametr		Hodnota
Rozsah velikostí částic	nm	5,6 – 560
Rozlišení		16 kanálů na dekádu (32 celkem)
Vzorkovací frekvence	Hz	10
Průtok vzorku	$l.min^{-1}$	10
Teplota vzorku	°C	10 – 52
Provozní teplota	°C	0 – 40
Tlak (autokorekce)	kPa	70 – 103
Rozměry (v x š x d)	mm	704 x 343 x 439
Hmotnost	kg	32

Laboratorní váha

K měření spotřeby paliva byla použita laboratorní váha VIBRA AJ-6200, kterou můžeme vidět na obrázku 13. Technické parametry váhy jsou shrnuty v tabulce 9.

Obrázek 13: Laboratorní váha Vibra AJ-6200

Tabulka 9: Technické parametry váhy Vibra AJ-6200

Parametr	Jednotka	Hodnota
Maximální váživost	g	6200
Ověřitelný dílek	g	0,01
Přesnost	g	0,1

4.2 Porovnávaná paliva a sledované parametry

Pro experimentální měření byla vybrána paliva s různou koncentrací HVO v motorové naftě tak, aby bylo možné sledovat změny sledovaných parametrů vznětového motoru. Fyzikálně-chemické vlastnosti vybraných paliv jsou uvedeny v tabulce 10. Srovnávacím etalonem pro směsi motorové nafty a HVO bude motorová nafta bez biosložky. Použití těchto směsí by mělo v budoucnu snížit spotřebu motorové nafty a zvyšovat podíl obnovitelných paliv.

Přehled paliv použitých k experimentálnímu měření:

- Čistá motorová nafta (bez biosložky).
- Směs motorové nafty a 5 % HVO.
- Směs motorové nafty a 10 % HVO.

Tabulka 10: Fyzikálně-chemické vlastnosti vybraných testovaných paliv

Palivo	Kinematická viskozita při 40°C ($mm^2 . s^{-1}$)	Hustota při 15°C ($kg. m^{-3}$)	Výhřevnost ($MJ. kg^{-1}$)	Cetanové číslo (-
D100	2,587	835	43,15	51
HVO5	2,649	833,3	43,19	-
HVO10	2,623	830,27	43,23	-
HVO	2,889	781,33	442	84–99

Sledované výkonové parametry motoru byly voleny takovým způsobem, aby vystihovaly vliv použitého paliva na účinnost motoru. Velikosti částic, které vznikají při spalovacím procesu byly sledovány v nejběžnějších sledovaných velikostech.

U jednotlivých směsí paliv použitých pro experimentální měření budou sledovány následující parametry:

- Výkonové parametry motoru (výkon, točivý moment).
- Provozní parametry motoru (měrná spotřeba paliva, účinnost motoru).
- Velikosti částic.

4.3 Metodika analýzy výkonových parametrů

Měření výkonových parametrů motoru traktoru Zetor Forterra 8641 probíhalo v laboratořích Katedry jakosti a spolehlivosti strojů. K traktoru byl přes zadní vývodový hřídel připojen dynamometr MAHA ZW 500, který sloužil pro zatěžování motoru. Sání vzduchu do motoru bylo zajištěno upraveným potrubím, které zajišťovalo laminární proudění a ve středu potrubí bylo nainstalováno průtokové čidlo kvůli větší přesnosti měření průtoku vzduchu. Na začátku vedení byla umístěna bezeztrátová vtoková dýza, ve které byl umístěn manometr ve tvaru U, který sloužil pro zjišťování tlaku v sání. Tento manometr můžeme vidět na obrázku 14. Testovaná paliva se nacházela v externí palivové nádrži a jejich hmotnostní úbytky byly zjišťovány pomocí laboratorní váhy VIBRA AJ-6200. Kvůli ucelenosti a objektivnosti měření byla k motoru připojena mnohá čidla, především čidlo teploty oleje, čidlo tlaku paliva, čidlo pro měření otáček motoru, čidlo teploty

výfukových plynů a pro dílčí měření byla použita čidla emisního analyzátoru a analyzátoru částic EEPS 3090.

Obrázek 14: Manometr ve tvaru U pro měření tlaku v sání

Před samotným experimentem proběhlo zahřátí motoru na provozní teplotu a kontrola měřící aparatury. Po důkladném zapojení a zkontrolovaní funkčnosti všech měřících přístrojů bylo zahájeno samotné měření. Jako první a zároveň porovnávací etalonové palivo byla použita motorová nafta bez biosložky. Po provedení měření na motorové naftě byla měření provedena i pro další palivové směsi. Při použití každého testovaného paliva bylo provedeno naměření vnější otáčkové charakteristiky, které spočívalo ve zvyšování zatížení motoru dynamometrem při maximální dávce paliva. Se vzrůstajícím zatěžovacím momentem docházelo k poklesu otáček motoru. Výsledkem měření vnější otáčkové charakteristiky motoru jsou grafy závislosti točivého momentu a výkonu na otáčkách motoru, které jsou zobrazeny a vyhodnoceny v kapitole 5.

4.4 Metodika analýzy pevných částic, měření měrné spotřeby paliva a účinnosti motoru.

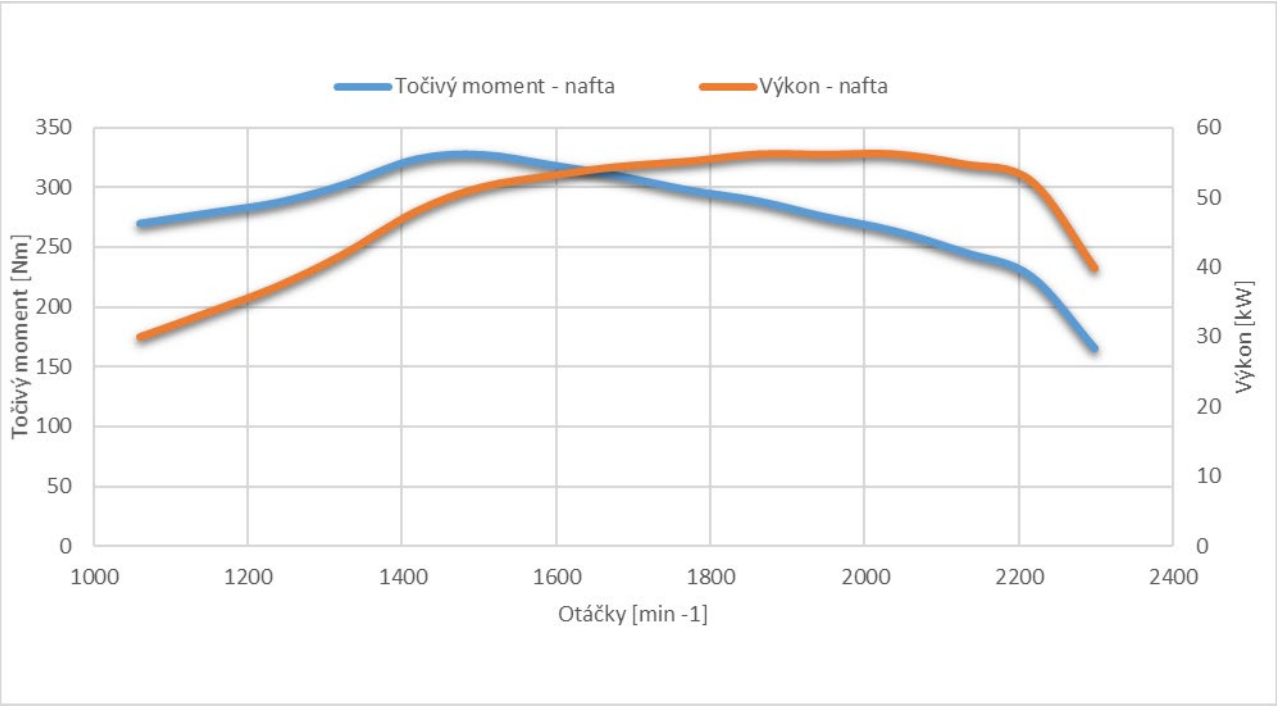
Měření produkce pevných částic probíhalo hned po měření vnější otáčkové charakteristiky motoru na dané palivo. Traktor byl zahřátý na požadovanou provozní teplotu a do motoru bylo čerpáno pouze aktuálně čerpané palivo, aby nedošlo k znehodnocení výsledků měření. Do výfuku traktoru bylo připojeno čidlo analyzátoru velikostí částic EEPS 3090, který vyhodnocoval velikosti částic v rozsahu 5,6-500 nanometrů. Měření pro každé palivo bylo provedeno třikrát, a to při různých velikostí zatěžování motoru, aby byla zajištěna dostatečná objektivita. Měření probíhalo ve stabilním režimu a při 1950 $ot.min^{-1}$, protože při těchto otáčkách dosahuje pomocný pohon traktoru své jmenovité hodnoty. Motor byl zatěžován na 50 %, 70 % a na plné zatížení. Zatěžování motoru probíhalo při 500, 700 a 970 Nm. Každé měření trvalo přibližně 2 minuty a po celkovém ukončení měření každého testovaného paliva byla palivová soustava traktoru propláchnuta novým zkušebním palivem a zbylé předešlé palivo bylo odčerpáno do odpadní nádoby. Při tomto měření bylo rovněž provedeno měření měrné spotřeby a účinnosti motoru při různém zatěžování. Naměřené hodnoty byly z analyzátoru částic převedeny do aplikace v počítači, kde byly následně zpracovány v aplikaci Excel. Výsledkem měření jsou grafy počtu částic v $1cm^3$ spalin, vzniklých spalováním testovaných paliv. Tyto grafy jsou zobrazeny a vyhodnoceny v kapitole 5.

5 Výsledky měření

V této kapitole jsou prezentovány výsledky dat, která byla naměřena v rámci praktické části diplomové práce. Data byla naměřena podle popsané metodiky a výsledky měření jsou rozčleněny a popsány v jednotlivých podkapitolách, které odrážejí jednotlivé dílčí cíle diplomové práce. Naměřená data jsou znázorněna a vyhodnocena v grafech a tabulkách. V první podkapitole jsou uvedeny výsledky vnější otáčkové charakteristiky testovaného motoru pro motorovou naftu bez biosložky, která slouží pro vyhodnocení výkonových parametrů motoru. V druhé podkapitole jsou uvedeny výsledky vnější otáčkové charakteristiky motoru pro testované palivové směsi motorové nafty a HVO. Třetí podkapitola popisuje data vyhodnocená při měření měrné spotřeby paliva podle stupně zatěžování motoru. Čtvrtá podkapitola popisuje data, která byla získána při částicové analýze motoru podle stupně zatěžování. Data popisují velikostní spektrum a koncentraci pevných částic produkovaných motorem v závislosti na testovaném palivu. Poslední pátá podkapitola popisuje celkové vyhodnocení testovaných paliv s motorovou naftou. Výsledná data pro jednotlivá testovaná paliva jsou porovnána s daty pro čistou motorovou naftu.

5.1 Výsledky analýzy výkonových parametrů motoru za použití motorové nafty bez biosložky

Jako porovnávací neboli etalonové palivo pro měření byla použita motorová nafta bez biosložek (metylesterů). Vnější otáčková charakteristika pro motorovou naftu bez biosložek je zobrazena v grafu č.1 a v tabulce 11 je zaznamenán maximální točivý moment, maximální dosažený výkon a točivý moment při jmenovitých otáčkách.



Graf 1:Vnější otáčková charakteristika nafty bez biosložky

Při použití motorové nafty bez biosložky byl naměřen maximální výkon 56,2 kW při 2037 otáčkách a maximální točivý moment byl 326,8 Nm při 1503 otáčkách. Měřením byl zjištěn výkon motoru 52,3 kW při jmenovitých otáčkách, které v tomto případě činní 2200 ot /min.

Tabulka 11: Hodnoty výkonových parametrů motorové nafty bez biosložky

Motorová nafta	**Mt_{max} (Nm)**	**P_{max} (kW)**	**P_{nj} (kW)**
Hodnota	326,81	56.21	52,35
Otáčky (min^{-1})	1503	2037	2200

M_{tmax} *– maximální dosažený točivý moment*

P_{max} *– maximální dosažený výkon*

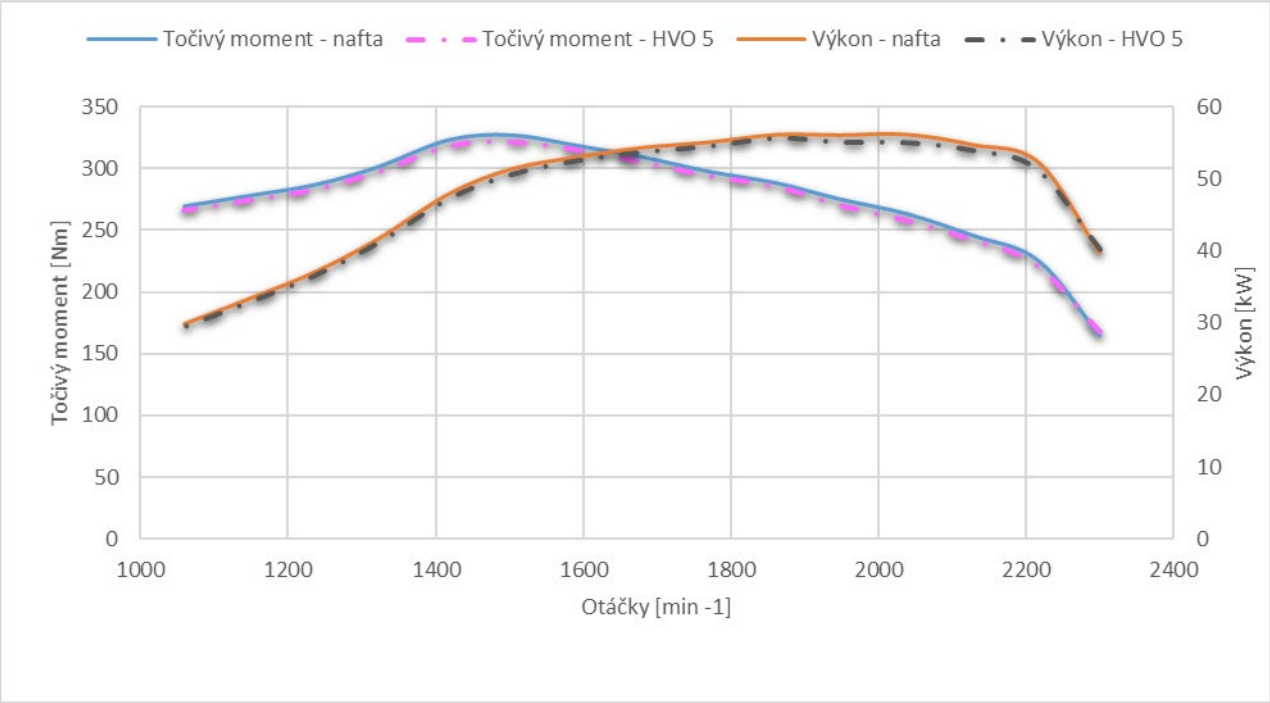
P_{nj} *– výkon ve jmenovitých otáčkách*

5.2 Výsledky analýzy vlivu směsi motorové nafty a HVO na výkonových parametrech motoru

Tato podkapitola je rozdělena na 2 části, přičemž každá řeší vliv směsi motorové nafty a hydrogenovaného rostlinného oleje v různém poměru na výkonové parametry motoru.

5.2.1 Směs motorové nafty a 5 % obj. HVO

Jako druhé testované palivo byla použita směs motorové nafty bez biosložky, ve které bylo přimícháno 5 % obj. hydrogenovaného rostlinného oleje. Vnější otáčková charakteristika pro 5% směs HVO s motorovou naftou je zobrazena v grafu č.2 a v tabulce 12 je zaznamenán maximální točivý moment, maximální dosažený výkon a točivý moment při jmenovitých otáčkách. Pro lepší porovnání výsledků jsou v grafu vyneseny také naměřené hodnoty pro motorovou naftu.



Graf 2: Vnější otáčková charakteristika motorové nafty a směsi motorové nafty s 5 % HVO

Při použití motorové nafty a 5 % obj. HVO byl naměřen maximální výkon 55,2 kW při 1863 otáčkách a maximální točivý moment byl 321,45 Nm při 1503 otáčkách. Měřením byl zjištěn

výkon motoru 51,32 kW při jmenovitých otáčkách, které v tomto případě činní 2200 ot/min.

Tabulka 12: Hodnoty výkonových parametrů motorové nafty a 5 % obj. HVO

Motorová nafta + HVO 5 % obj.	**Mt_{max} (Nm)**	**P_{max} (kW)**	**P_{nj} (kW)**
Hodnota	321,45	55,64	51,32
Otáčky (min^{-1})	1503	1863	2200

M_{tmax} *– maximální dosažený točivý moment*

P_{max} *– maximální dosažený výkon*

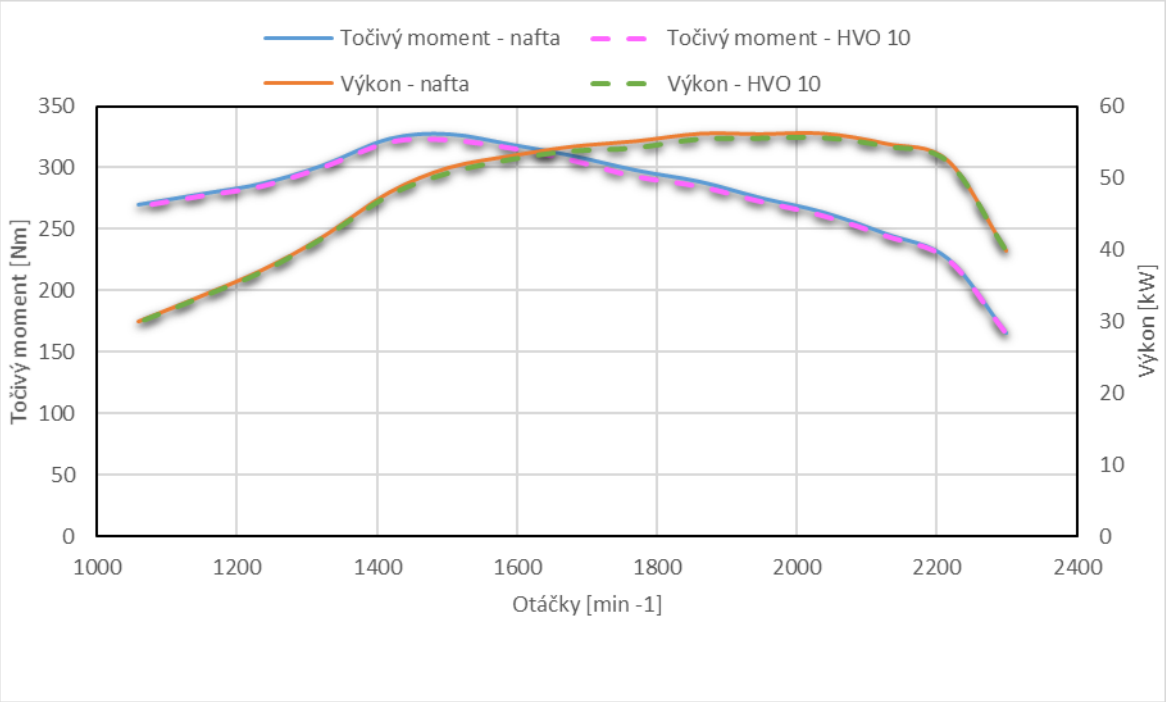
P_{nj} *– výkon ve jmenovitých otáčkách*

Z grafu 2 vyplývá skutečnost, že přidáním 5 % obj. hydrogenovaného rostlinného oleje do motorové nafty dochází k poklesu výkonu a také točivého momentu motoru. Nejvyšší pokles výkonu nastal v oblasti kolem 2037 min^{-1} a činil 2 %. Nejnižší pokles výkonu motoru byl 0,9 % a byl zaznamenán při 1324 min^{-1}. Průměrný pokles výkonu při použití této směsi byl 1,27 %.

Točivý moment nejvíce poklesl o 2,2 % a tento pokles byl zaznamenán při 2037 min^{-1}. Nejnižší pokles točivého momentu nastal při 1863 min^{-1} a činil zhruba 1 %. Průměrný pokles točivého momentu při použití této směsi činil 1,3 %.

5.2.2 Směs motorové nafty a 10 % obj. HVO

Jako poslední testované palivo byla použita směs motorové nafty bez biosložky, ve které bylo přimícháno 10 % obj. hydrogenovaného rostlinného oleje. Vnější otáčková charakteristika pro 10% směs HVO s motorovou naftou je zobrazena v grafu č. 3 a v tabulce 13 je zaznamenán maximální točivý moment, maximální dosažený výkon a točivý moment při jmenovitých otáčkách. Pro lepší porovnání výsledků jsou v grafu opět vyneseny také naměřené hodnoty pro motorovou naftu.



Graf 3: Vnější otáčková charakteristika motorové nafty a směsi motorové nafty s 10 % HVO

Při použití motorové nafty a 10 % obj. HVO byl naměřen maximální výkon 55,67 kW při otáčkách 2037 min^{-1} a maximální točivý moment byl 322,27 Nm při 1504 otáčkách. Měřením byl zjištěn výkon motoru 52,28 kW při jmenovitých otáčkách, které v tomto případě činí 2200 min^{-1}.

Tabulka 13: Hodnoty výkonových parametrů motorové nafty a 10 % obj. HVO

Motorová nafta + HVO 10 % obj.	**Mt_{max} (Nm)**	**P_{max} (kW)**	**P_{nj} (kW)**
Hodnota	322,27	55,67	52,28
Otáčky (min^{-1})	1504	2037	2200

M_{tmax} *– maximální dosažený točivý moment*

P_{max} *– maximální dosažený výkon*

P_{nj} *– výkon ve jmenovitých otáčkách*

Z grafu 3 je patrné, že také přidáním 10 % obj. hydrogenovaného rostlinného oleje do motorové nafty dochází k poklesu výkonu a točivého momentu motoru, ovšem pokles v tomto případě je u obou veličin o něco nižší. Nejvyšší pokles výkonu nastal v oblasti kolem

1768 min $^{-1}$ a činil 1,65 %. Nejnižší pokles výkonu motoru byl 0,06 % a byl zaznamenán při 1324 min $^{-1}$. Průměrný pokles výkonu při použití této směsi byl 0,66 %.

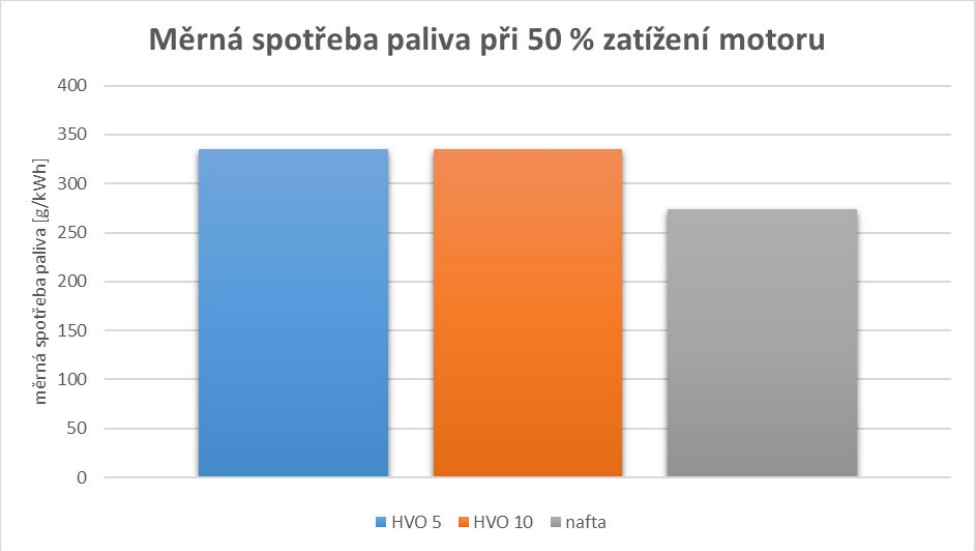
Točivý moment nejvíce poklesl o 1,53 % a tento pokles byl zaznamenán při 1768 min $^{-1}$. Nejnižší pokles točivého momentu nastal při 2216 min $^{-1}$ a činil zhruba 0,18 %. Průměrný pokles točivého momentu při použití této směsi činil 0,65 %.

5.3 Výsledky měření měrné spotřeby paliva

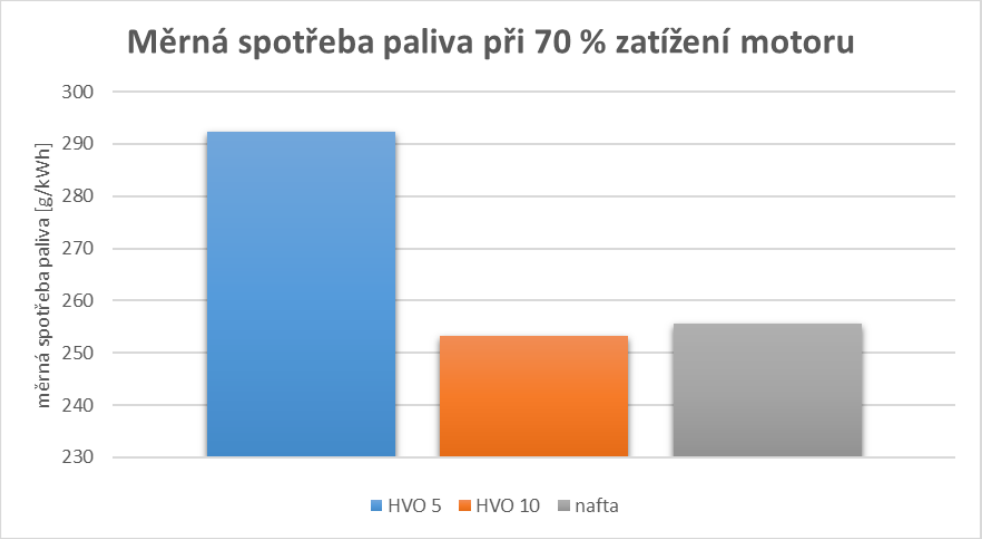
Měření měrné spotřeby paliva probíhalo při třech stupních zatěžování motoru přes vývodový hřídel pomocí dynamometru. V grafu 4, 5 a 6 jsou znázorněna data o měrné spotřebě každého paliva při různém zatížení motoru a v tabulce 14 jsou tato data pro přesnost uvedena.

Tabulka 14: Hodnoty měrné spotřeby paliv dle zatěžování motoru

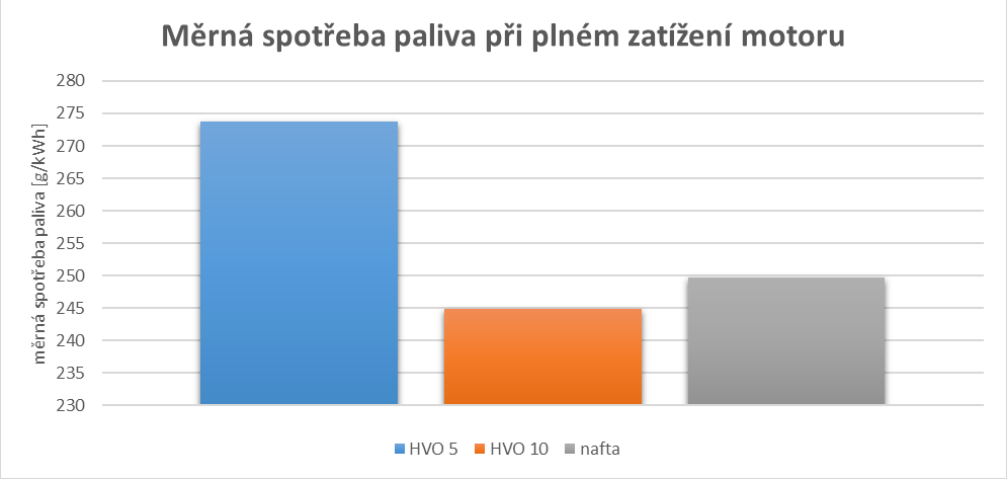
Měrná spotřeba (g/kWh)	**Zatížení motoru (Nm)**		
Palivo	500	700	970
Nafta	273,53	255,53	249,73
Nafta + 5 % HVO	335,63	292,30	273,76
Nafta + 10 % HVO	335,07	253,34	244,80



Graf 4: Měrná spotřeba testovaných paliv při 50 % zatížení motoru



Graf 5: Měrná spotřeba testovaných paliv pří 70 % zatížení motoru



Graf 6: Měrná spotřeba testovaných paliv při plném zatížení motoru

Otáčky motoru byly přibližně konstantní, tedy 1950 ot.min^{-1}, ale měnilo se zatížení. Při vyšším zatížení měrná spotřeba motoru klesla, ale to je dáno faktem, že motor produkoval větší mechanickou práci. Naopak při nižším zatížení byla mechanická práce nižší, a proto vzrostla hodnota měrné spotřeby.

Z grafu 4 je patrné, že při nižším zatížení motoru byly obě měrné spotřeby paliv s HVO přibližně stejné a nepatrně lepší výsledek byl u motorové nafty, což nasvědčuje faktu, že motorová nafta je ekonomičtější především pro nižší zatížení motoru.

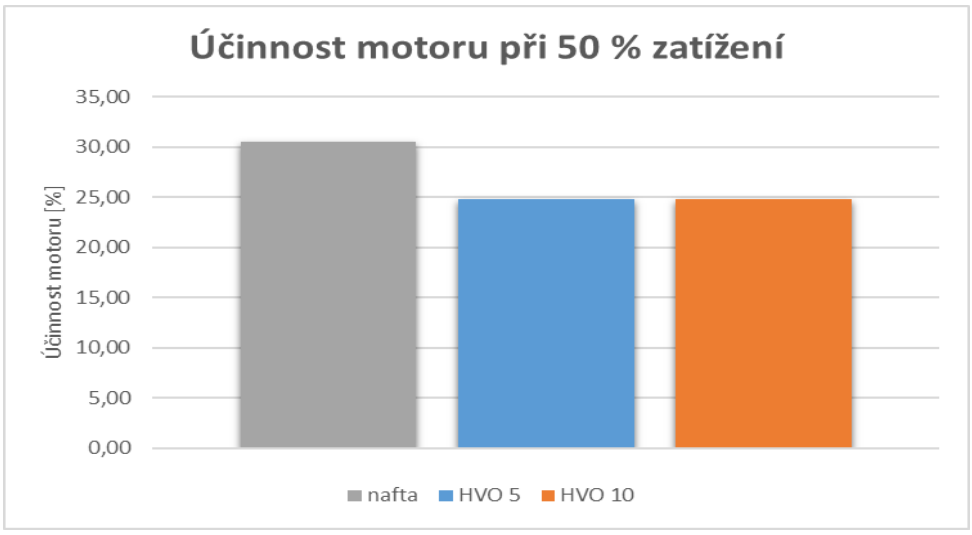
Ve středním zatížení motoru už byly rozdíly měrných spotřeb citelnější. Z grafu 5 je patrné, že nejvyšší měrnou spotřebu mělo palivo s 5 % HVO. Naopak motorová nafta měla o 13 % menší měrnou spotřebu a palivo s 10 % HVO mělo o 15% menší měrnou spotřebu ve středním zatížení. Data získaná z měření měrné spotřeby při vysokém zatížení, která jsou zobrazena na v grafu 6, ukazují skutečnost, že nejvyšší měrnou spotřebu má palivo s 5 % HVO, a naopak nejnižší měrnou spotřebu má palivo s 10 % HVO, jehož spotřeba při vysokém zatížení je o 11 % menší. Z naměřených dat vyplývá, že palivová směs s 10 % HVO se jeví z hlediska měrné spotřeby ve středním a vysokém zatížení z testovaných paliv jako nejvhodnější.

5.4 Výsledky měření účinnosti motoru

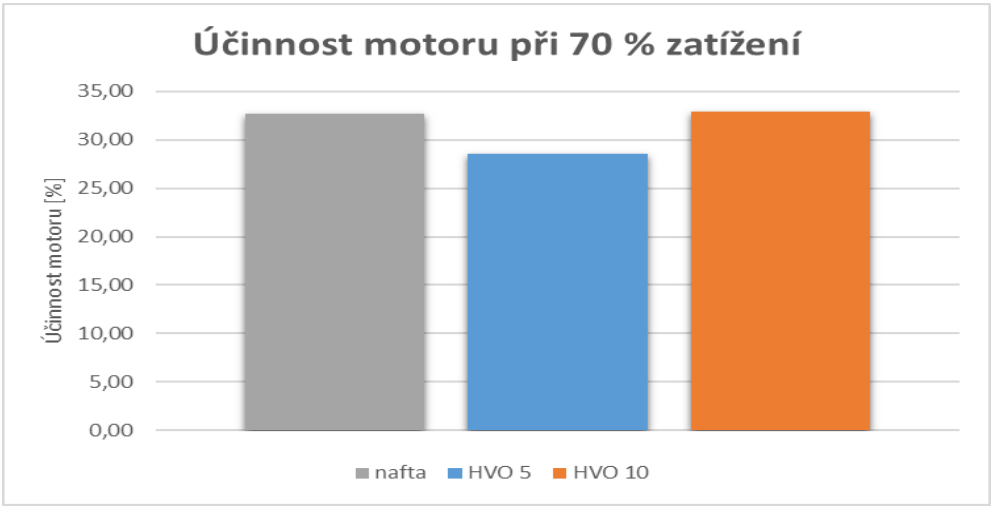
Měření účinnosti motoru probíhalo stejně jako měření pevných částic a měrné spotřeby paliva při třech stupních zatěžování. Motor byl zatížen na 50, 70 a 100 % svého výkonu. Toto zatížení odpovídá 500, 700 a 970 Nm. V grafu 7, 8 a 9 jsou znázorněna data o účinnosti motoru při různém stupni zatěžování pro testované palivové směsi a v tabulce 15 jsou tato data pro přesnost uvedena.

Tabulka 15: Hodnoty účinnosti motoru dle zatěžování

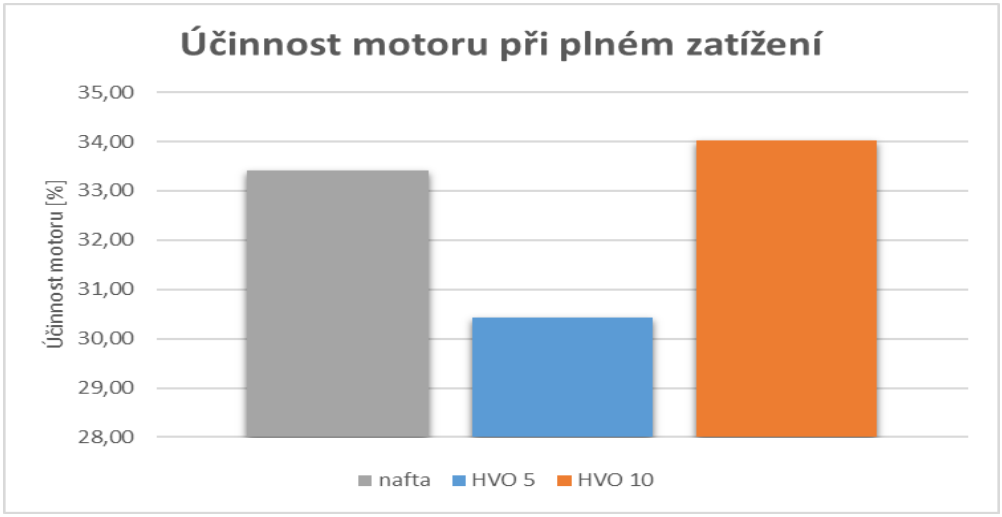
Účinnost motoru (%)	**Zatížení motoru (Nm)**		
Palivo	500	700	970
Nafta	30,50	32,65	33,41
Nafta + 5 % HVO	24,83	28,52	30,43
Nafta + 10 % HVO	24,85	32,87	34,02



Graf 7: Účinnost motoru při 50 % zatížení



Graf 8: Účinnost motoru při 70 % zatížení

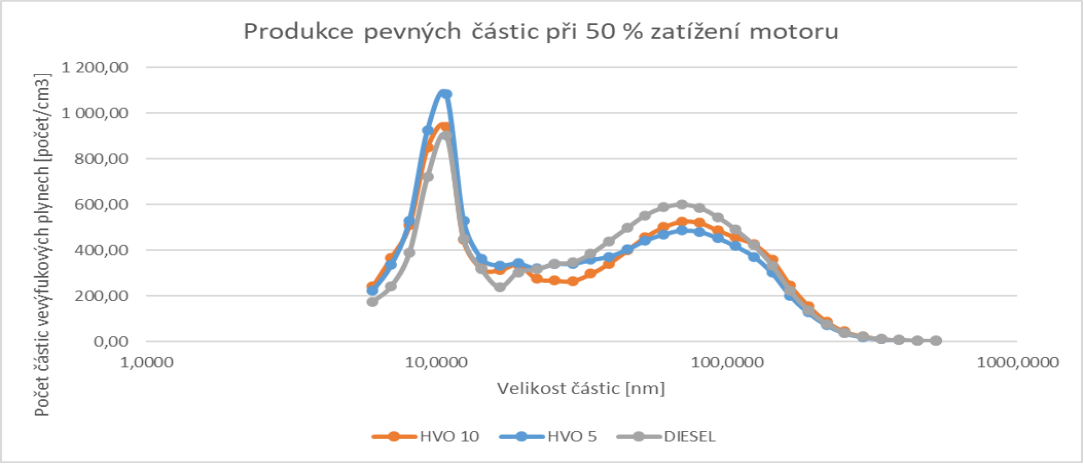


Graf 9: Účinnost motoru při plném zatížení

Z grafu 7 je patrné, že při 50% zatížení motoru byly hodnoty účinnosti motoru paliv s HVO stejné a lepšího výsledku o zhruba 5 % dosáhla motorová nafta, což nasvědčuje faktu, že motorová nafta je z hlediska účinnosti motoru vhodnější především pro nižší zatížení motoru. Z grafu 8 vyplývá, že při 70 % zatížení motoru přibližně stejných výsledků dosáhla motorová nafta a palivo s 10 % HVO. Naopak palivo s 5 % HVO mělo při 70 % zatížení nejmenší hodnoty pro účinnost motoru. Pro 70 % zatížení je tedy z hlediska účinnosti motoru nejvhodnější palivo motorová nafta nebo palivová směs s 10 % HVO. Data získaná z měření účinnosti motoru při plném zatížení, která jsou zobrazena v grafu 9, ukazují skutečnost, že nejvyšší účinnost měl motor při použití směsi motorové nafty a 10 % HVO. Čistá motorová nafta měla nepatrně horší výsledky (cca o 2 %) a palivová směs 5 % HVO měla nejmenší hodnoty účinnosti. Z naměřených dat vyplývá, že palivová směs s 10 % HVO se jeví z hlediska účinnosti motoru ve středním a vysokém zatížení z testovaných paliv jako nejvhodnější.

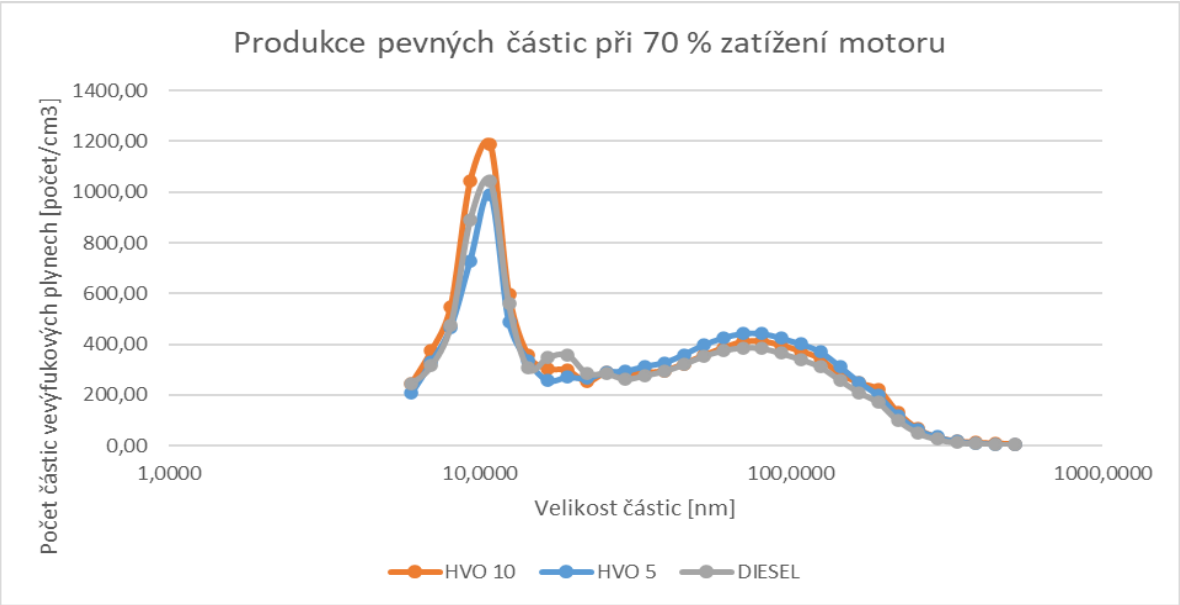
5.5 Výsledky analýzy pevných částic

Měření pevných částic produkovaných motorem traktoru podle jednotlivých testovaných paliv bylo provedeno při 50 %, 70 % a při plném zatížení motoru traktoru. Nízké zatížení odpovídá 500 Nm, střední 700 Nm a plné 970 Nm. Měření probíhalo pomocí analyzátoru částic EEPS 3090, jehož parametry jsou popsány v kapitole 4.1. Měřené částice nabývaly hodnot od 6 do 523 nanometrů. Hodnoty zjištěné měřením, tedy velikosti částic a jejich koncentrace jsou pro lepší přehlednost zobrazena v grafech podle stupně zatěžování motoru.



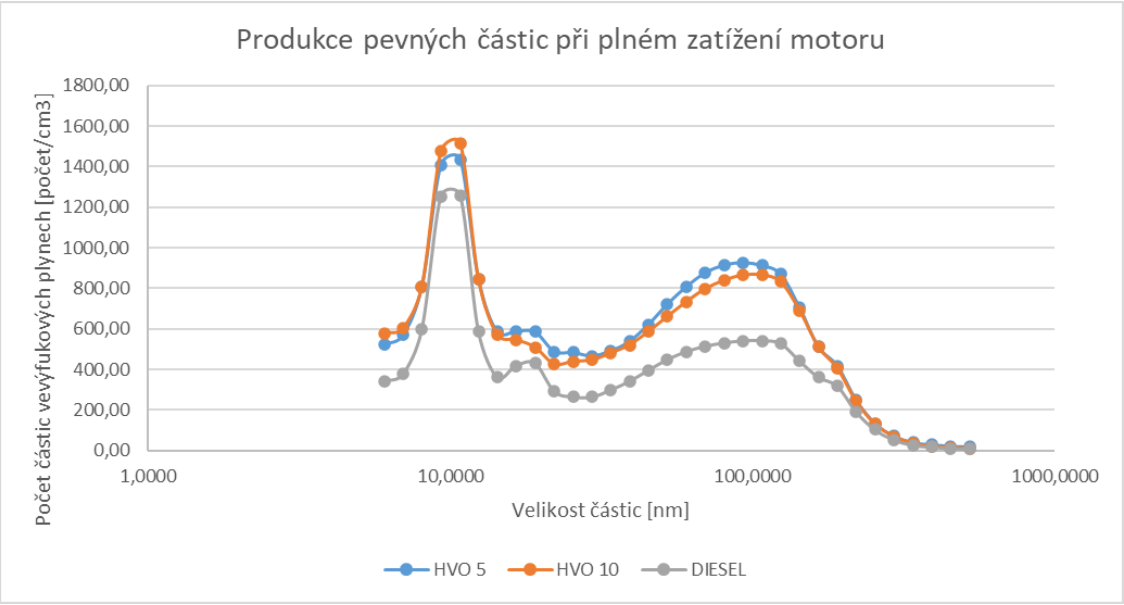
Graf 10: Produkce pevných částic při 50 % zatížení motoru

V grafu 10 můžeme vidět produkci pevných částic testovaného motoru při 50% zatížení, které odpovídá 500 Nm podle jednotlivých testovaných paliv. Z grafu je patrné, že při nízkém zatížení produkují palivové směsi s HVO více částic především menších rozměrů oproti motorové naftě. Jedná se především o velikostní rozmezí od 6 do 10,8 nm. Největší nárůst produkce částic můžeme pozorovat u částic velikosti 10,8 nm u testovaného paliva s 5 % HVO a tento nárůst činní 17 % oproti motorové naftě. Také pro částice velikosti 14,3 až 19,1 nm můžeme konstatovat, že motorová nafta produkuje při nízkém zatížení oproti palivům s HVO menší počet těchto částic v 1 cm^3, i když rozdíl již není tak markantní. V produkci částic od 19,1 do 107,5 nm již motorová nafta postupně dominuje a u paliv s HVO se počet těchto částic snižuje. Od hranice 124 nm zůstává produkce částic u všech paliv přibližně stejná.



Graf 11: Produkce pevných částic při 70 % zatížení motoru

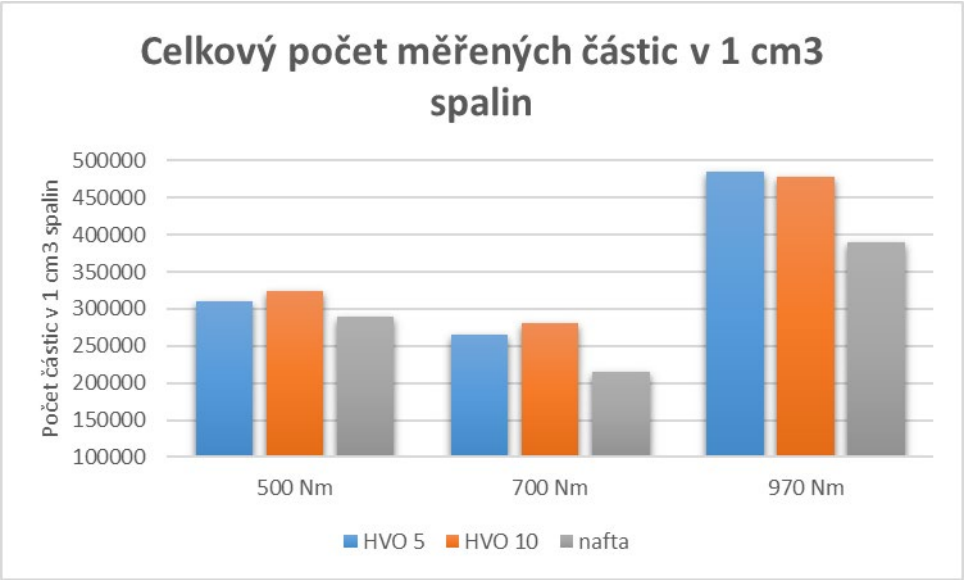
V grafu 11 můžeme vidět produkci pevných částic testovaného motoru při 70 % zatížení, které odpovídá 700 Nm podle jednotlivých testovaných paliv. Z grafu je patrný nárůst maximální hodnoty částic na 1189 oproti 1082, což byla maximální hodnota částic v 1cm^3 při nízkém zatížení. Největší koncentrace částic je opět pro velikost 10,8 nm, ale tentokrát maximální hodnoty dosáhlo palivo s 10 % HVO. Rozdíl oproti motorové naftě je 13 % a oproti palivu s 5 % HVO dokonce 17 %. V rozmezí 16,5 až 22,1 nm můžeme vidět nárůst množství částic u motorové nafty. Od velikosti 22,1 nm zůstává produkce částic u jednotlivých paliv přibližně stejná nebo se liší v řádech 1 až 2 %.



Graf 12: Produkce pevných částic při plném zatížení motoru

V grafu 12 můžeme vidět produkci pevných částic testovaného motoru při plném zatížení, které odpovídá 970 Nm podle jednotlivých testovaných paliv. Z grafu je opět patrný nárůst maximální hodnoty koncentrace částic v 1 cm^3. Maximální hodnota je 1515 částic/cm^3 a je opět pro velikost částic 10,8 nm. Maximální hodnoty zde stejně jako v předešlém grafu dosáhlo palivo s 10 % HVO. Nárůst produkce částic 10,8 nm je oproti palivu s 5 % HVO 6 % a oproti motorové naftě dokonce 17,2 %. Z grafu je patrné, že palivo s 10 % HVO má největší produkci částic v rozmezí 6 až 14,3 nm a od této hranice vyšších hodnot dosahuje palivo s 5% HVO až do velikosti částic124,1 nm, kdy se hodnoty produkce částic pro obě paliva vyrovnají. Z grafu je také patrné, že motorová nafta má při vysokém zatížení motoru nejmenší hodnoty koncentrace pevných částic celého měřeného velikostního spektra.

V grafu 13 můžeme vidět celkové údaje o produkovaných pevných částicích podle stupně zatěžování. Z grafu 13 vyplývá, že motorová nafta produkuje dohromady nejméně pevných částic v 1 cm^3 výfukových plynů při všech stupních zatěžování, zatímco paliva s přidaným HVO mají nepatrně vyšší produkci pevných částic. Tento nárůst je přibližně v rozmezí 20 až 25 % podle stupně zatěžování.



Graf 13*: Celkový počet měřených pevných částic v 1 cm³ spalin*

5.6 Celkové porovnání výsledků měření testovaných paliv

Během experimentu byla testována 3 paliva. Motorová nafta dosáhla z hlediska výkonu a točivého momentu maximálních hodnot. Naopak u paliv s HVO došlo k poklesu výkonu i točivého momentu. Největší pokles maximálního výkonu a točivého momentu byl zaznamenán u paliva s 5 % HVO. Z výsledků měření tedy můžeme vyhodnotit palivovou směs s 10 % HVO jako vhodnější, protože pokles hodnot točivého momentu a výkonu byl oproti motorové naftě bez biosložek nejmenší. V tabulce 16 a 17 je uveden přehled naměřených hodnot maximálních hodnot výkonů a točivých momentů a procentuální nárůst nebo pokles hodnot pro ostatní paliva od referenčního paliva.

Tabulka 16: Vliv testovaných paliv na výkon motoru

Palivo	**P_{max} (kW)**	Nárůst/Pokles výkonu (%)
Motorová nafta	56.21	-
Motorová nafta + 5 % HVO	55,64	-1,01
Motorová nafta + 10 % HVO	55,67	-0,96

Tabulka 17: Vliv testovaných paliv na velikost točivého momentu

Palivo	Mt_{max} (Nm)	Nárůst/Pokles točivého momentu (%)
Motorová nafta	326,81	-
Motorová nafta + 5 % HVO	321,45	-1,64
Motorová nafta + 10 % HVO	322,27	-1,39

Měření měrné spotřeby paliva, které probíhalo při nízkém, středním a vysokém zatížení motoru ukázalo skutečnost, že z testovaných paliv je pro nízké zatížení nejvhodnější palivo motorová nafta. Pro střední a vysoké zatížení se jako nejvhodnější palivo ukázala palivová směs s 10 % HVO. Naopak směs s 5 % HVO při všech měřeních vykázala největší měrnou spotřebu paliva. V tabulce 18 je kompletní přehled naměřených hodnot měrných při jednotlivých stupních zatěžování a procentuální odchylky pro jednotlivá paliva od referenčního paliva.

Tabulka 18: Vliv testovaných paliv na měrnou spotřebu motoru

Měrná spotřeba (g/kWh)	Zatížení motoru (Nm)			Nárůst/ Pokles měrné spotřeby (%)		
Palivo	500	700	970	500	700	970
Nafta	273,53	255,53	249,73	-	-	-
Nafta + 5 % HVO	335,63	292,30	273,76	22,70	14,38	9,62
Nafta + 10 % HVO	335,07	253,34	244,80	22,49	-0,80	-1,97

Měření účinnosti motoru, které probíhalo při nízkém, středním a vysokém zatížení motoru ukázalo skutečnost, že z testovaných paliv je pro nízké zatížení nejvhodnější palivo motorová nafta. Pro střední a vysoké zatížení se jako nejvhodnější palivo ukázala palivová směs s 10 % HVO. Naopak směs s 5 % HVO při všech měřeních vykázala nejmenší účinnost motoru. V tabulce 19 je kompletní přehled naměřených hodnot měrných při jednotlivých stupních zatěžování a procentuální odchylky pro jednotlivá paliva od referenčního paliva.

Tabulka 19: Vliv testovaných paliv na účinnost motoru

Účinnost motoru (%)	**Zatížení motoru (Nm)**			Nárůst/ Pokles účinnosti motoru (%)		
Palivo	500	700	970	500	700	970
Nafta	30,50	32,65	33,41	-	-	-
Nafta + 5 % HVO	24,83	28,52	30,43	-18,59	-12,64	-8,91
Nafta + 10 % HVO	24,85	32,87	34,02	-18,52	0,67	1,82

Měření produkce pevných částic probíhalo také při nízkém, středním a vysokém zatížení motoru. Grafy v kapitole 5.4 ukázaly skutečnost, že všechna testovaná paliva při všech třech zatíženích motoru produkují největší množství částic ve velikostním spektru 8,1 až 12,4 nm, přičemž nejvyšší hodnoty koncentrace dosahovaly částice velikosti 10,8 nm.

Z analýzy pevných částic vyplývá skutečnost, že při nižším zatížení do 500 Nm je nejvhodnější palivo motorová nafta, nebo nafta s 10 % HVO. Výfukové plyny vzniklé spalováním čisté motorové nafty mají nejmenší koncentraci menších částic a nafta s 10 % HVO produkuje nejméně částic střední velikosti. Při středním zatížení se jako nejvhodnější palivo jeví nafta s 5 % HVO, kvůli nejnižší koncentraci malých částic, ovšem od střední velikosti částic jejich koncentrace stoupá, ovšem nárůst není nijak dramatický. Při měření motoru za vysokého zatížení se vzhledem k produkci pevných částic jeví motorová nafta jako nejvhodnější palivo, a to díky faktu, že v celém velikostním spektru produkovalo toto palivo nejméně částic v 1 cm^3.

6 Závěr

Tato diplomová práce je zaměřena na posouzení vlivu směsi motorové nafty a hydrogenovaného rostlinného oleje na provozní parametry vznětového motoru. Cílem práce bylo posoudit vliv testovaných paliv na výkonové a provozní parametry motoru a produkci pevných částic. Z výkonových parametrů byl vyhodnocován výkon a točivý moment motoru. Z provozních parametrů byla vyhodnocována měrná spotřeba a účinnost motoru.

V teoretické části práce jsou ve stručnosti představeny principy spalovacích motorů a popsány ty nejčastější, tedy zážehový a vznětový motor. Následně je popsána ropa jako současný hlavní zdroj pohonných hmot a jsou představeny konvenční a alternativní paliva. Poté jsou rozebrána biopaliva podle složení a jejich rozdělení podle tzv. „generací“. V závěru teoretické části jsou popsány hydrogenované rostlinné oleje (HVO), jejich výroba a uplatnění.

V praktické části práce je popsáno měření, které proběhlo v laboratořích Katedry jakosti a spolehlivosti strojů na Technické fakultě České zemědělské univerzity v Praze. Měření probíhalo pro 3 paliva. Prvním byla motorová nafta bez biosložky, která sloužila jako porovnávací palivo. Dalšími testovanými palivy byly směsi motorové nafty s 5 a 10 % HVO. Experiment zahrnoval měření vnější otáčkové charakteristiky pro každé palivo pro vyhodnocení výkonových parametrů a měření při 3 stupních zatížení pro zjištění měrné spotřeby paliva a produkce pevných částic.

Na základě provedeného měření bylo zjištěno, že z hlediska výkonových parametrů nejvyšších hodnot točivého momentu a výkonu dosáhla čistá motorová nafta. Paliva s HVO měla výkonové parametry nižší v řádu jednotek procent, nicméně k citelnému poklesu výkonu a točivého momentu nedošlo a u paliva s 10 % HVO byl pokles oproti motorové minimální a z tohoto důvodu lze toto palivo doporučit.

Z hlediska měrné spotřeby se ukázalo, že při nižším zatížení motoru má nejmenší spotřebu motorová nafta, ovšem ve středním a vyšší zatížení motoru se z hlediska měrné spotřeby paliva ukázala nejvhodnější směs nafty s 10 % HVO.

Z hlediska účinnosti motoru se ukázalo, že při nižším zatížení motoru má nejvyšší hodnoty účinnosti motorová nafta, ovšem ve středním a vyšším zatížení motoru se z hlediska účinnosti motoru ukázala nejvhodnější směs nafty s 10 % HVO.

Analýza pevných částic nicméně ukázala, že při 50 % zatížení (500 Nm) vzniká u paliva s 5 % HVO výrazně více pevných částic menší velikosti než v případě směsi s 10 % HVO nebo motorovou naftou. Při středním zatížení do 700 Nm má směs 5 % HVO naopak nejmenší produkci pevných částic menší velikosti a nárůst počtu částic ve středním rozmezí velikostí částic je oproti ostatním testovaným palivům zanedbatelný a je v řádech jednotek procent.

Při plném zatížení (970 Nm) se z hlediska produkce pevných částic jeví motorová nafta jako nejvhodnější palivo, neboť v celém rozsahu velikostí pevných částic dosáhla nejlepších hodnot.

Testované palivové směsi motorové nafty a HVO mají oproti motorové naftě nepatrně nižší výkonové parametry, které ovšem nejsou nijak citelné pro provoz a směs s 10 % HVO lze doporučit především kvůli nižší měrné spotřebě ve středním a vysokém zatížení, což by mohlo výrazně ovlivnit ekonomický provoz chodu stroje. Z hlediska produkce pevných částic jsou na tom testovaná paliva s HVO, ve většině případů hůře než motorová nafta, ovšem tento problém by se mohl vyřešit instalací výkonnějších a kvalitnějších filtrů pevných částic.

Celkově lze o HVO říct, že jde o velmi zajímavé palivo, které se již dnes uplatňuje u některých výrobců paliv právě ve směsi s motorovou naftou a například někteří výrobci nákladních vozidel toto palivo doporučují pro své vozy především kvůli snížení emisí, a především spotřeby paliva. Výhodou HVO je skutečnost, že se jedná o produkt, který lze vyrobit mimo

jiné z odpadních tuků, které jinak končily jako odpad a tímto způsobem by mohly být využity a nahradit alespoň z části motorovou naftu, které bude v budoucnu ubývat.

7 Seznam použitých zdrojů

[1] HROMÁDKO Jan, HROMÁDKO Jiří, HÖNIG Vladimír, MILER Petr. Spalovací motory. Praha: Grada Publishing, a.s., 2011, 296s. ISBN 978-80-247-3475-0.

[2] Čtyřdobý zážehový motor - Vysvětlení pojmů, technické informace, slovník pojmů, Audi Klub. Audi Klub - Vše o Audi, bazar Audi, recenze Audi, pojištění vozů, slevy na díly [online] [cit: 2020-11-11] Dostupné z: https://audiklub.cz/techwiki/ctyrdoby-zazehovy-motor

[3] HALDERMAN, James D., MITCHELL, Chase D., GLASSMAN, Corey W. Advanced engine performance diagnosis, Third Edition. Upper Saddle River: Pearson / Prentice Hall, 2005, 516s. ISBN 978-0-13-113254-2

[4] Dieselový motor. Med-Auto.Com - automobilový portál [online] [cit: 2020-11-11] Dostupné z: https://cs.med-auto.com/auto-opravy/dieselovy-motor.html

[5] VLK, F., 2006: Paliva a maziva motorových vozidel. František Vlk, Brno, 376 s

[6] Život s autem | Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity. Informační systém [online] [cit: 2020-11-12] Dostupné z: https://is.muni.cz/do/ped/kat/fyzika/autem/pages/tezba-ropy.html

[7] CÍLEK, V., 2007: Alternativa budoucnosti. Databáze online [cit. 2020-11-12]. Dostupné na: http://www.petrol.cz/alternativa/clanek.asp?id=8615

[8] Nafta v ČR. Oenergetice.cz [online]. Dian Hrozek, 2015 [cit. 2020-11-13]. Dostupné z: http://oenergetice.cz/ropa/nafta/

[9] Cetanové číslo. Www.autolexicon.net [online]. Jan Sajdl [cit. 2020-11-14]. Dostupné z: http://www.autolexicon.net/cs/articles/cetanove-cislo/

[10] FUKA, V., 2009: První evropský traktor na bioplyn. Databáze online [cit. 2020-11-17] Dostupné z: http://www.agroweb.cz/Prvni-evropsky-traktor-na-bioplyn s46x34174.html

[11] ABSOLUT CVT | Steyr. Steyr - Traktory [online] [cit. 2020- 11-17] Dostupné z: https://www.steyr.cz/absolut-cvt

[12] Vodík má nakročeno stát se palivem budoucnosti. V cestě mu stojí levná ropa i technologické problémy — ČT24 — Česká televize. ČT24 — Nejdůvěryhodnější zpravodajský web v ČR — Česká televize [online]. Copyright © [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/2177173-vodik-ma-nakroceno-stat-se-palivem-budoucnosti-v-ceste-mu-stoji-levna-ropa-i

[13] Vodík palivem budoucnosti - Časopis Vesmír. [online]. Copyright © VESMÍR, spol. s [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2001/cislo-10/vodik-palivem-budoucnosti.html
[14] HROMADKO, Jan & MILER, Petr & HÖNIG, Vladimír & CINDR, Martin. (2010). Technologies in Second-generation Biofuel Production. Chemicke Listy. 104. 784-790.
[15] BRATSKÝ, D., STACHO, D. Biopaliva pro dieselové motory. In: Sborník přednášek 16. ročníku konference Reotrib 2010 – Kvalita paliv a maziv. VŠCHT Praha. Praha, 2012. s. 102-108. ISBN: 978-80-7080-748-4.
[16] Bionafta (FAME) - náhrada za fosilní naftu [online] [cit. 2020-11-19] dostupné na WWW: http://kfch.upce.cz/htmls/vedecka_cinnost_bionafta.html
[17] Kapalné biopalivo. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-11-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kapalné_biopalivo
[18] TUZA, Jakub. Biopaliva pro vozidlové spalovací motory. Brno, 2012. Bakalářská práce.
[19] HROMÁDKO, Jan a Jiří HROMÁDKO. Analýza škodlivých emisí vznětového motoru při provozu na rostlinný olej.Chemagazín. 2010, 20(1), 2.
[20] Bioethanol. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bioethanol
[21] ČMARADOVÁ, Miroslava. Výroba ethanolu z obnovitelných zdrojů energie. Brno,2011. Bakalářská práce
[22] DOLSKÝ, František. Využití bionafty jako paliva pro nákladní silniční dopravu [online]. Praha, 2016 [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66558/F6-DP-2016-Dolsky-Frantisek-Diplomova_prace_Dolsky.pdf?sequence=-1
[23] ROUBÍČEK, V. Technologie ropy: alternativní paliva. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2000. 267 s. ISBN 80-7078-690-6
[24] VÁŇA, Jaroslav, KRATOCHVÍL, Zdeněk: Vývoj technologie výroby bioetanolu ze slámy v České republice úspěšně ukončen. Biom.cz [online]. 2002-08-19 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyvoj-technologie-vyroby-bioetanolu-ze-slamy-v-ceske-republice-uspesne-ukoncen>. ISSN: 1801-2655

[25] POSPÍŠIL, Milan, Gustav ŠEBOR, Pavel ŠIMÁČEK a Zlata MUŽÍKOVÁ. Nové trendy výroby biopaliv a jejich využití v dopravě. Chemické listy. 2012, (106), 8
[26] SKALICKÝ, Michal. Druhá generace biopaliv v reálném světě. Praha, 2010. Diplomová práce.
[27] Bioplynové stanice | Energetické stavby | Energetika | Aktivity | Tenza. [online]. Copyright ©2021 infocount, s.r.o. [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: http://www.tenza.cz/cz/aktivity/energetika/energeticke-stavby/bioplynove-stanice/
[28] MUŽÍK, Oldřich, KÁRA, Jaroslav: Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. Biom.cz [online]. 2009-03-04 [cit. 2020-12-16]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>. ISSN: 1801-2655.
[29] Biopaliva druhé a třetí generace | 3 pól - Magazín plný pozitivní energie. Úvod | 3 pól - Magazín plný pozitivní energie [online]. Copyright © Třípól [cit. cit. 2020-12-16]. Dostupné z: https://www.3pol.cz/cz/rubriky/obnovitelne-zdroje/987-biopaliva-druhe-a-treti-generace
[30] DOUCHA, Jiri. (2012). Budeme vyrábět bioetanol z řas?. Energie 21. 34-37.
[31] VOBECÁ, Kateřina. Biopaliva z vodních řas [online]. Praha, 2012 [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: https://is.cuni.cz/webapps/zzp/download/130071625/?lang=cs
[32] KRAJÍČEK, Ivo. Výkonové a emisní parametry paliv s vysokým obsahem HVO. In: Sborník přednášek 22. ročníku konference Reotrib 2016 – Kvalita paliv a maziv. VŠCHT Praha. Praha, 2012. s. 102-108. ISBN: 978-80-7080-962-4.
[33] P. ŠIMÁČEK, D. VRTIŠKA, Z. MUŽÍKOVÁ, AND M. POSPÍŠIL (Department of Petroleum Technology and Alternative Fuels, University of Chemistry and Technology, Prague): Motor Fuels Produced by Hydrotreating of Vegetable Oils and Animal Fats
[34] Informace k distribuci motorové nafty s 30 % HVO (Verva Diesel)- nelze uplatnit na "zelenou naftu" | ČMSZP. ČMSZP | Českomoravský svaz zemědělských podnikatelů [online]. Copyright©[cit.2021-01-12]. Dostupné z: http://cmszp.cz/ostatni/220/informace-k-distribuci-motorove-nafty-s-30-hvo-verva-diesel-nelze-uplatnit-na-zelenou-naftu/
[35] VÁCHOVÁ, Veronika & VOZKA, Petr. (2015). Hydrogenace rostlinných olejů na paliva pro vznětové motory. Paliva. 7. 66. 10.35933/paliva.2015.03.03.

[36] Unipetrol vyvíjí paliva z kuchyňského oleje bionafta už neobstojí [online] [cit. 2021-01-02] Dostupné z: http://www.lidovky.cz/byznys/firmy-a-trhy/unipetrol-vyviji-paliva-z-kuchynskeho-oleje-bionafta-uz-neobstoji.A150729_125458_firmy-trhy_pave
[37] Hydrogenovaný rostlinný olej-DAF Trucks CZ. Document Moved [online] [cit. 2021-01-02] Dostupné z: https://www.daftrucks.cz/cs-cz/trucks/alternative-fuels-and-drivelines/clean-diesel-technology/hvo
[38] ŠIMÁČEK, Pavel & Vrtiška, Dan & Mužíková, Z. & Pospisil, Milan. (2017). Motor fuels produced by hydrotreating of vegetable oils and animal fats. Chemicke Listy. 111. 206-212.
[39] rel-HVO součástí strategie Scanie ke snížení emisí | Scania Česká republika. Scania [online]. Copyright © Copyright Scania 2016. Všechna práva vyhrazena. Scania Czech Republic s.r.o., Sobínská 186, 252 19 Chrášťany, Česká republika [cit.2021-01-05] Dostupné z: https://www.scania.com/cz/cs/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2015/06/rel-hvo_sou_astistrategiescaniekesnieniemisi-60-484544.html
[40] MACEK J., Spalovací motory I, ČVUT, Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03618-1
[41] HROMÁDKO J., HROMÁDKO J., HÖNIG V., MILER P., Spalovací motory, Grada, Praha, 2011, ISBN 978-80-247-3475-0
[42] TAKÁTS, Michal. Měření emisí spalovacích motorů. Praha: Vydavetelství ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01632-3.
[43] ŠMERDA, Tomáš, ČUPERA, Jiří a FAJMAN, Martin. Vznětové motory vozidel: Biopaliva, emise, traktory. Brno: CPress, 2013. ISBN 978-80-264-0160-5.
[44] BEROUN, Stanislav. Spalovací proces ve válci pístového spalovacího motoru – Výfukové emise. Technická univerzita v Liberci, 2002
[45] SAJDL, Jan. Emise výfukových plynů. Autolexicon.net [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: http://www.autolexicon.net/cs/articles/emise-vyfukovych-plynu/
[46] Polétavý prach – neviditelná hrozba. Hluk & Emise [online]. 2007 [cit. 2019-01-31]. Dostupné z: http://hluk.eps.cz/hluk/emise/poletavy-prach-%E2%80%93-neviditelna-hrozba/
[47] Millo, Federico & Debnath, Biplab & Vlachos, Theodoros & Ciaravino, Claudio & Postrioti, Lucio & Buitoni, Giacomo. (2015). [cit. 2019-01-31] Effects of different biofuels

blends on performance and emissions of an automotive diesel engine. Fuel. 159. 614–627. 10.1016/j.fuel.2015.06.096.
[48] Lorenzi, Guido & Baptista, Patrícia & Venezia, Baldassarre & Silva, Carlos & Santarelli, Massimo. (2020). [cit. 2019-01-31] Use of waste vegetable oil for hydrotreated vegetable oil production with high-temperature electrolysis as hydrogen source. Fuel. 278. 117991. 10.1016/j.fuel.2020.117991.
[49] Referaty.sk - Spaľovacie motory. Referaty.centrum.sk - Všetko čo študent potrebuje [online]. Copyright © 1999 [cit. 12.04.2021]. Dostupné z: https://referaty.centrum.sk/prirodne-vedy/fyzika-a-astronomia/4107/?page=1
[50] Čtyřdobý zážehový motor | Eduportál Techmania. Eduportál | Eduportál Techmania [online]. Copyright © Techmania Science Center, o.p.s. [cit. 12.04.2021]. Dostupné z: http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/plyny/tepelne-motory/ctyrdoby-zazehovy-motor
[51] Seta – Velkoobchod PHM [online]. [cit. 12.04.2021] Dostupné z: http://www.seta.cz/velkoobchod-phm

8 Seznam obrázků

Obrázek 1: Pracovní cyklus čtyřdobého zážehového motoru [2] 3

Obrázek 2: Vznětový motor [4] 4

Obrázek 3: Ropa žlutozelené barvy [6] 4

Obrázek 4: Ropa hnědé barvy [6] 5

Obrázek 5: Traktor Steyr CVT [11] 10

Obrázek 6: Postup výroby MEŘO [16] 16

Obrázek 7: Jmenovitá otáčková charakteristika vznětového motoru [41] 28

Obrázek 8: Složení výfukových plynů vznětového motoru [41] 31

Obrázek 9: Pronikání pevných částic do lidského těla podle velikosti [41] 34

Obrázek 10: Zetor Forterra 8641 38

Obrázek 11: Dynamometr MAHA ZW500 připojený k traktoru Zetor 39

Obrázek 12: Analyzátor částic EEPS 3090 40

Obrázek 13: Laboratorní váha Vibra AJ-6200 41

Obrázek 14: Manometr ve tvaru U pro měření tlaku v sání 43

9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Produkty atmosférické destilace [5] 6

Tabulka 2: Produkty vakuové destilace [5] 6

Tabulka 3: Srovnání vlastností motorové nafty a bionafty III. generace [31] 22

Tabulka 4: Srovnání fyzikálně-chemických vlastností paliv [32] 24

Tabulka 5: Metody měření výkonových parametrů motoru [41] 27

Tabulka 6: Technické parametry traktoru Zetor Forterra 8641 38

Tabulka 7: Technické parametry dynamometru MAHA ZW500 39

Tabulka 8: Technické parametry Analyzátoru částic EEPS 3090 40

Tabulka 9: Technické parametry váhy Vibra AJ-6200 41

Tabulka 10: Fyzikálně-chemické vlastnosti vybraných testovaných paliv 42

Tabulka 11: Hodnoty výkonových parametrů motorové nafty bez biosložky 46

Tabulka 12: Hodnoty výkonových parametrů motorové nafty a 5 % obj. HVO 48

Tabulka 13: Hodnoty výkonových parametrů motorové nafty a 10 % obj. HVO 49

Tabulka 14: Hodnoty měrné spotřeby paliv dle zatěžování motoru 50

Tabulka 15: Hodnoty účinnosti motoru dle zatěžování 52

Tabulka 16: Vliv testovaných paliv na výkon motoru 57

Tabulka 17: Vliv testovaných paliv na velikost točivého momentu 58

Tabulka 18: Vliv testovaných paliv na měrnou spotřebu motoru 58

Tabulka 19: Vliv testovaných paliv na účinnost motoru 59

10 Seznam grafů

Graf 1:Vnější otáčková charakteristika nafty bez biosložky 46

Graf 2: Vnější otáčková charakteristika motorové nafty a směsi motorové nafty s 5 % HVO 47

Graf 3: Vnější otáčková charakteristika motorové nafty a směsi motorové nafty s 10 % HVO 49

Graf 4: Měrná spotřeba testovaných paliv při 50 % zatížení motoru 51

Graf 5: Měrná spotřeba testovaných paliv pří 70 % zatížení motoru 51

Graf 6: Měrná spotřeba testovaných paliv při plném zatížení motoru 51

Graf 7: Účinnost motoru při 50 % zatížení 53

Graf 8: Účinnost motoru při 70 % zatížení 53

Graf 9: Účinnost motoru při plném zatížení 53

Graf 10: Produkce pevných částic při 50 % zatížení motoru 54

Graf 11: Produkce pevných částic při 70 % zatížení motoru 55

Graf 12: Produkce pevných částic při plném zatížení motoru 56

Graf 13: Celkový počet měřených pevných částic v 1 cm^3 spalin 57