

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Biopaliva a konstrukce spalovacích motorů

bakalářská práce

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

Autor práce: Jiří Širmar

PRAHA 2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra jakosti a spol. strojů

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Širmar Jiří

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Biopaliva a konstrukce spalovacích motorů

Anglický název

Biofuels and construction of combustion engines

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je na základě literárního rozboru porovnat požadavky zvolených druhů biopaliv na konstrukci spalovacího motoru.

Metodika

- v první části bude na základě literárního rozboru stručně popsán vývoj a současná konstrukce spalovacího motoru,
- následovat bude část práce, která bude popisovat požadavky zvolených biopaliv na změnu konstrukce spalovacího motoru,
- v závěrečné části práce budou porovnány jednotlivé konstrukční požadavky biopliv z hlediska technického a ekonomického,
- svázání a odevzdání bakalářské práce.

Osnova práce

1. Úvod
2. Konstrukce spalovacích motorů
3. Biopaliva a jejich požadavky na konstrukci
4. Porovnání konstrukčních požadavků biopaliv
5. Závěr

Rozsah textové části

40 - 50 stran

Klíčová slova

biopaliva, konstrukce spalovacího motoru, přestavba

Doporučené zdroje informací

KAMEŠ, J.: Alternativní pohony automobilů, 1. vydání, Ben, Praha, 2004, 232 s. ISBN 80-7300-127-6

ŠMERDA, Tomáš, Jiří ČUPERA a Martin FAJMAN. Vznětové motory vozidel: biopaliva, emise, traktory. 1. vyd. Brno: CPress, 2013, 136 s. Auto-moto-profi (CPress). ISBN 978-80-264-0160-5.

HROMÁDKO, Jan. Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.

předpisy a periodika

Vedoucí práce

Pexa Martin, doc. Ing., Ph.D.

Konzultant práce


Ing. Jakub Mařík

Termín zadání

listopad 2013

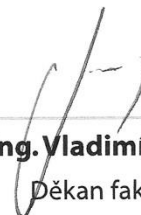
Termín odevzdání

duben 2015



prof. Ing. Josef Pošta, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 3.2.2014

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Martina Pexy, Ph.D. a použil jen prameny a publikace citované v příloženém seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ:

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. M. Pexovi, Ph.D. za připomínky a čas, který věnoval mé práci.

Abstrakt:

Práce se zabývá problematikou využití biopaliv jako pohonných hmot v dopravním sektoru. V první části je věnována pozornost vývoji a konstrukci spalovacích motorů se zaměřením na biopaliva. V druhé části jsou popsány charakteristické vlastnosti biopaliv, podmínky a možnosti jejich využití ve spalovacích motorech. Ve třetí části je porovnání běžných paliv s biopalivy a jejich požadavky na konstrukci spalovacích motorů. Stručně je shrnut i vliv biopaliv na životní prostředí. V závěru jsou shrnuty požadavky biopaliv na spalovací motory a jejich ekologické a ekonomické aspekty.

Klíčová slova: biopaliva, spalovací motor, konstrukce, přestavba, ekologie

Biofuels and construction of combustion engines**Summary:**

The work deals with the use of biofuels as a fuel in the transport sector. The first part is devoted to the development and construction of combustion engines with a focus on biofuels. The second part describes the characteristics of biofuels, conditions and their potential use in internal combustion engines. The third part is the comparison of conventional fuels with biofuels and their requirements for the design of internal combustion engines. The influence of biofuels on the environment is also briefly summarized. The conclusion summarizes the requirements for biofuel combustion engines and their ecological and economic aspects.

Key words: Biofuels, combustion engine, construction, conversion, ecology

Obsah

Úvod	1
1. Konstrukce spalovacích motorů	3
1.1. Definice spalovacího motoru	3
1.2. Základní rozdělení spalovacích motorů	3
1.3. Parní motor	7
1.3.1. Historie a vývoj parního motoru	7
1.3.2. Popis práce parního stroje	8
1.3.3. Vývoj parního motoru ZEE (Zero Emission Engine)	9
1.3.4. Použití parních motorů v současnosti	11
1.4. Zážehový motor	12
1.4.1. Historie a vývoj	12
1.4.2. Současná konstrukce a popis práce zážehového motoru	13
1.5. Vznětový motor	16
1.5.1. Historie a vývoj	16
1.5.2. Současná konstrukce a popis práce vznětových motorů	17
1.6. Elsbettův duotermický motor	18
1.7. Wankelův motor	19
1.7.1. Princip práce Wankelova motoru	20
1.7.2. Výhody a nevýhody Wankelova motoru	20
1.8. Stirlingův motor	21
1.8.1. Historie a vývoj Stirlingova motoru	21
1.8.2. Princip činnosti a modifikace Stirlingova motoru	21
1.8.3. Současné aplikace Stirlingova motoru	22
1.8.4. Výhody a nevýhody Stirlingova motoru	23
2. Biopaliva a jejich požadavky na konstrukci	24
2.1. Biopaliva	24
2.2. Bioethanol	26
2.2.1. Výroba bioethanolu	27
2.2.2. Spalovací motory využívající bioethanol	28

2.3.	<i>Bioplyn</i>	30
2.3.1.	Výroba, skladování bioplynu	30
2.3.2.	Použití ve spalovacích motorech	31
2.4.	<i>Rostlinné oleje a jejich estery</i>	32
2.4.1.	Výroba methylesterů mastných kyselin	33
2.4.2.	Spalovací motory využívající FAME - RME (MEŘO)	34
2.4.3.	Spalovací motory využívající rostlinné oleje	35
3.	Porovnání konstrukčních požadavků motorů na biopaliva	37
3.1.	<i>Porovnání konstrukčních požadavků motorů na bioethanol</i>	37
3.2.	<i>Porovnání konstrukčních požadavků motorů na estery rostlinných olejů a čisté rostlinné oleje</i>	40
	Závěr	43
	Seznam literatury	45
	Seznam obrázků	48
	Seznam tabulek	49
	Seznam zkratk	49

Úvod

Budoucnost vývoje motorů závisí na hledání nových pohonných systémů využívající alternativní paliva. V současné době jednu z nejdiskutovanějších skupin alternativních paliv představují **biopaliva**, která patří mezi obnovitelné zdroje energie na rozdíl od fosilních paliv. Nastává však problém s kompatibilitou biopaliv s konvenčními spalovacími motory, proto je nutné provést ve většině případů konstrukční změny motorů.

Důvodem vedoucím k využívání alternativních paliv a biopaliv ve státech EU je hlavně rostoucí spotřeba energie, omezené zásoby ropy, závislost na dovozu této suroviny a rostoucí emise skleníkových plynů. V EU je dopravní sektor po energetice druhým největším producentem skleníkových plynů. V České republice je na třetím místě za energetikou a průmyslem. Cílem ke snížení produkce skleníkových plynů je zlepšení účinnosti spalování paliva a větší využívání biopaliv. Program zavádění biopaliv je součástí širšího programu pro využití alternativních zdrojů v dopravě a ve výrobě elektrické energie a tepla. Závazky na snižování emisí skleníkových plynů vyplývají ze směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/30/EC a následně ze 2009/28/EC, podle které se podíl energie z obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě EU má zvýšit na 20 % a každý členský stát EU má zajistit, aby podíl energie z obnovitelných zdrojů činil alespoň 10 % konečné spotřeby energie v dopravě.

Zavedením větší spotřeby biopaliv do dopravy, může být návodem ke snížení závislosti na dovážené ropě. Tento trend musí pokračovat hlavně s ohledem na nové výzkumy týkající se čistoty ovzduší, ekonomiku provozu a omezených zásob fosilních paliv. Ekologie by měla být pro budoucnost v tomto směru tím hlavním měřítkem. Výzkum musí hledat takové alternativy, které tyto podmínky budou splňovat.

Problematice využívání biopaliv se věnuje i tato práce, která má za cíl na základě literárního rozboru porovnat požadavky zvolených druhů biopaliv na konstrukci spalovacích motorů.

Bakalářská práce je zpracována formou rozboru literárních poznatků zabývajících se touto problematikou. První část je zaměřena na vývoj a současnou konstrukci spalovacích motorů, jejich rozdělení a konstrukce některých speciálních motorů. Dalším tématem,

které je shrnuto ve druhé části, jsou požadavky nejčastěji používaných biopaliv v České republice na změnu spalovacích motorů. Ve třetí části práce jsou na základě odborné literatury porovnány konstrukční požadavky spalovacích motorů na biopaliva z technického a ekologického hlediska, výhody a nevýhody použití biopaliv ve spalovacích motorech. V závěru jsou shrnuty požadavky biopaliv na spalovací motory a jejich ekologické a ekonomické aspekty.

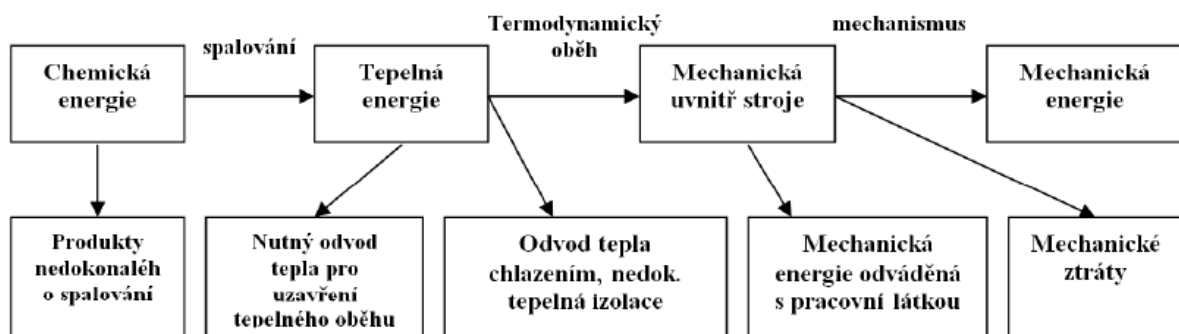
1. Konstrukce spalovacích motorů

Spalovací motory prošly od vynálezu parního stroje po současnost složitým vývojem. Postupně došlo ke zmenšení rozměrů i hmotnosti. V současné době je konstrukce spalovacích motorů zaměřena na využití a provozní vlastnosti, hlavně z hlediska ekonomického a ekologického.

1.1. Definice spalovacího motoru

„**Spalovací motor** je mechanický tepelný stroj, který spalováním paliva získává tepelnou energii a využitím vhodného plynného média ji převádí na mechanickou práci. Energie plynného média je využívána jako energie potenciální (tlak spalin) u pístových spalovacích motorů, nebo energie kinetická (rychlost proudu spalin) u spalovacích turbín.“ [9, str. 11]

To znamená, že chemická energie, která je obsažená v palivu, se přeměňuje na mechanickou práci (viz. Obr. 1).



Obr. 1 Znárodnění přeměny energie ve spalovacím motoru [26]

1.2. Základní rozdělení spalovacích motorů

Spalovací motory je možno rozdělit několika způsoby. Jedno ze základních dělení je dělení **podle způsobu přeměny tepelné energie na mechanickou**.

- **Pístové spalovací motory** - Energie se přenáší na píst klikového nebo obdobného mechanismu (viz. Rozdělení pístových spalovacích motorů). Pístové spalovací motory lze ve většině případů upravit tak, aby je bylo možno použít na více druhů paliv. Používají se **paliva** fosilní uhlovodíková paliva kapalná (benzín, nafta, petrolej), plynná (propan-butan, zemní plyn), paliva z biomasy (bioethanol, rostlinné oleje a jejich estery, bioplyn) a vodík (pokud se vyřeší problém s jeho výrobou a distribucí).
- **Turbínové spalovací motory** - Mechanická energie se získává z dynamické energie spalin. Rotační kompresor poháněný turbínou dopravuje potřebný vzduch do zvláštní komory, kam se tryskami vstřikuje kapalné palivo, zde dochází k plynulému a nepřerušovanému spalování. U těchto motorů lze použít téměř **jakékoliv palivo**.
- **Proudové spalovací motory** - Zde se využívá reakční síly vytékajících spalin proudících vysokou rychlostí z výstupní trysky motoru. Vzduch se nasává kompresorem v přední části motoru, stlačuje se, tím se zahřívá a pokračuje do spalovací komory, kde se do vzduchu vstřikuje palivo. Zažehnutím směsi se uvolní tepelná energie a horké plyny. Plyny poté roztáčejí turbínu, která v zadní části motoru přes hřídel pohání kompresor. Ve výstupní trysce za turbínou je vysoký tlak a tepelná energie se mění na kinetickou, tím vzniká tah motoru. Jako palivo se používá letecký benzín nebo letecký petrolej (nemají doposud rovnocennou konkurenci v oblasti pohonu leteckých motorů), alternativní letecká paliva – vodík, zkapalněný zemní plyn, nebo paliva na bázi ethanolu (širší využití není zatím ekonomické). [5,9]

Dále spalovací motory je možné dělit **podle způsobu přívodu tepelné energie**.

- **Motory s vnějším spalováním** - Spalování probíhá mimo pracovní válec. Jako médium pro přenos energie je použita vodní pára, vzduch a některé plyny (např. helium). U těchto motorů lze použít téměř jakékoliv palivo (např. parní motor, Stirlingův motor, parní turbína).
- **Motory s vnitřním spalováním** – Proces spalování probíhá uvnitř pracovního válce. Médium jsou zde přímo produkty spalování. U těchto motorů lze použít

pouze palivo vhodné dané konstrukci motoru (např. pístový spalovací motor, spalovací turbína). [9]

Rozdělení pístových spalovacích motorů

Pístové spalovací motory se dělí **podle počtu dob pracovního cyklu**.

- **Čtyřdobé motory** - Pracovní doba probíhá ve čtyřech fázích (sání, komprese, expanze, výfuk),
- **Dvoudobé motory** - Pracovní doba u těchto motorů probíhá ve dvou fázích (sání a komprese, expanze a výfuk).

Podle skupenství paliva se dělí na:

- **Motory plynové** - Nejčastějším palivem je propan-butan ve zkapalněné formě (LPG), zemní plyn ve stlačené formě (CNG), nebo zkapalněné formě (LNG), vysokopevní (kychtový) plyn, generátorový plyn, kalový plyn a bioplyn.
- **Motory na kapalná paliva** - Používají kapalná paliva ropného původu - benzín, petrolej (lehko odpařitelná) nebo nafta, mazut (těžko odpařitelná), dále kapalná paliva neropného původu - methanol, ethanol, methylester řepkového oleje) a směsná paliva - nafta a methylester řepkového oleje (např. směsná nafta), lihobenzinová paliva (např. E85).
- **Více palivové motory** - Většinou je to možnost použití plynného nebo kapalného paliva (propan-butan + benzín, zemní plyn + benzín, zemní plyn + nafta, bioplyn + benzín).
- **Motory na tuhá paliva** - Do ústrojí pro přípravu směsi je přiváděno palivo v tuhém, práškovém stavu (např. uhelný prach).

Podle způsobu dopravy čerstvé náplně do válce se dělí na:

- **Motory s přirozeným sáním** (čtyřdobé motory) - Nasávají čerstvou náplň (vzduch, směs paliva se vzduchem) do válce motoru podtlakem, který vzniká pohybem pístu ve válci.

- **Motory s vyplachováním** (dvoudobé motory) - K dopravě čerstvé náplně do válce motoru se využívá přetlak vyvolaný dmychadlem nebo stlačením směsi paliva se vzduchem v klikové skříni pístem. Přitom vstupující čerstvá náplň vyplachuje vnitřní objem válce od zbylých spalin.
- **Motory přepřňované** - K dopravě čerstvé náplně do válce je využíváno dmychadlo produkující přetlak.

Podle způsobu zapálení směsi paliva se vzduchem se dělí na:

- **Zážehové motory** - Pomocí energie vnějšího zdroje (např. elektrická jiskra) je zažehnuta směs paliva se vzduchem.
- **Vznětové motory** - Při vysoké teplotě vyvolané stlačením vzduchu a dostatečném kompresním poměru se vznítí palivo, které je vstřikováno do válce motoru, případně komůrky.

Z konstrukčního hlediska se mohou dělit **podle způsobu přenosu sil od pístu**:

- **Motory křížákové** - U pomaloběžných motorů o velkém výkonu je využíván pro zachycení axiálních sil klikového mechanismu křížák. Ten je spojen s pístem pístní tyčí a s klikovým mechanismem ojníc.
- **Motory s prostým klikovým mechanismem** - Zde slouží k zachycení axiálních sil klikového mechanismu plášť pístu. Přenos sil mezi pístem a klikovým hřídelem zajišťuje ojnice.
- **Motory bez klikového mechanismu** - Motory speciální konstrukce např. rotační (Wankel), s volnými písty (lineární motor), se šikmou deskou (Stirling).

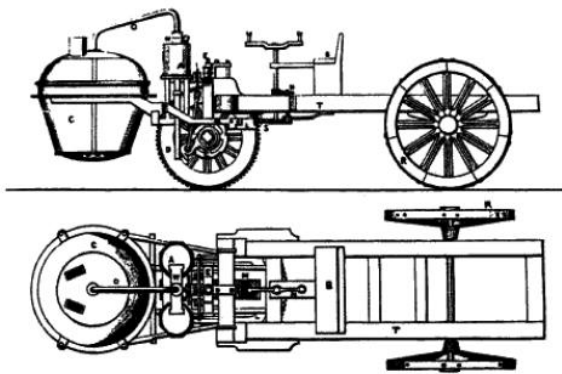
Další dělení je například podle způsobu činnosti (jednočinné, dvojčinné), podle konstrukce rozvodového mechanismu (ventilové, šoupátkové, s kanálovým rozvodem nebo kombinace), podle počtu válců (jednoválcové, víceválcové), podle způsobu chlazení (kapalinou chlazené, vzduchem chlazené, kombinace) atd. [9]

1.3. Parní motor

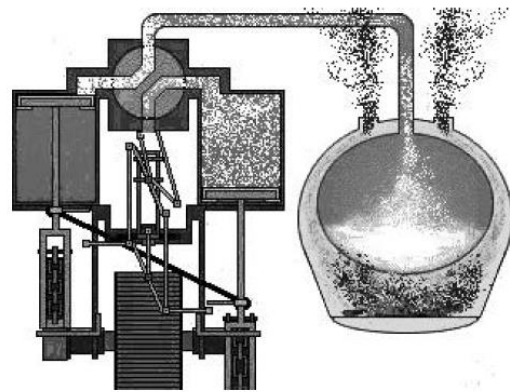
Život lidské společnosti úplně od základu změnil vynález parního stroje – nový zdroj hnací síly. Tím se začala psát historie spalovacích motorů.

1.3.1. Historie a vývoj parního motoru

Parní stroj vynalezl kolem roku 1765 Angličan James Watt (1736-1819). Tento vynález se stal na více než sto let univerzálním motorem. Patent na tento stroj získal J. Watt v roce 1769. V témže roce kapitán francouzské armády Nicolas Joseph Cugnot (1725-1804) předvedl v Paříži svůj vynález parního vozu pro dělostřelectvo „Fardier“ (vůz pro těžké náklady), tříkolové vozidlo poháněné svislým dvouválcovým motorem (Obr. 3). Přední kolo bylo poháněno na principu rohatky a západky, což znamenalo, že při pohybu dolů jedna pístní tyč zabrala za široké ozuby kovového kotouče, zpět se pohybovala volně, kdy pracoval druhý píst (Obr. 2). Po zdokonalení měl vůz vlastní ohniště. [2,10,25]



Obr. 3 Cugnotův „Fardier“ [10]



Obr. 2 Princip rohatkového pohonu [10]

Vynález parního stroje patří právem Wattovi, který se zasloužil o rozšíření parního stroje a jeho dalšího zdokonalování. Důležité zdokonalení spočívalo v zavedení dvojčinného parního stroje a vynálezu odstředivého regulátoru, který se používal ke stabilizaci otáček parního stroje. Dvě rotující závaží byla poháněna strojem a pomocí odstředivé síly byla vychylována a tím, pomocí páky a táhla, byl ovládán ventil, který přiváděl páru ke stroji.

V roce 1801, po uvolnění Wattova patentu, postavil anglický konstruktér Richard Trevithick (1771-1833) parní kočár, pojmenoval ho "The Puffing Devil" (Bafající ďábel). V roce 1802 si nechal tento vysokotlaký parní stroj patentovat. První samohybné vozidlo v USA vynalezl v roce 1804 Oliver Evans (1755-1819), toto parní vozidlo bylo schopné pohybu jak po vodě, tak po souši. První parní automobil na území ČR předvedl v roce 1815 Josef Božek (1782-1835). [9,10,25]

„V roce 1815 začíná George Stephenson (1781-1848) konat pokusné jízdy s první lokomotivou a v roce 1830 otevřel pravidelný provoz na trati Liverpool – Manchester. Železniční doprava se rozšířila natolik, že po zavedení tzv. praporkového zákona (Locomotive Act) v roce 1861, prakticky zlikvidovala konkurenci silniční dopravy.“ [9, str. 13]

Období největšího rozmachu pro parní lokomotivy byla 1. polovina 20. století, kdy 90 % železniční dopravy zajišťovali parní lokomotivy. Později se v nákladní dopravě objevují i parní vozy, například parní vůz značky Škoda Sentinel (Obr. 4). Vzhledem k velkým rozměrům parních motorů, nutnosti velkých zásob vody a uhlí, špatné regulovatelnosti výkonu se s jejich použitím ve vozidlech skončilo již před 2. světovou válkou. [2,10]



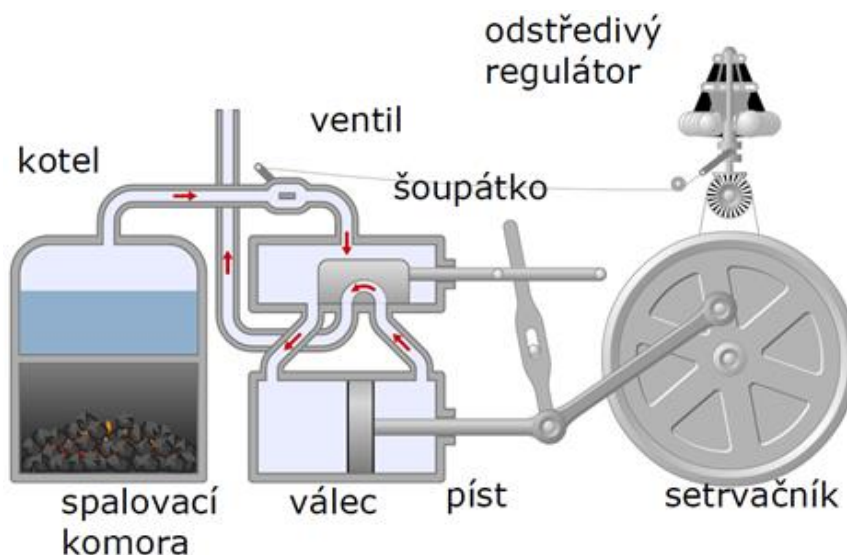
Obr. 4 Škoda Sentinel [9]

1.3.2. Popis práce parního stroje

Popis práce parního stroje je znázorněn na Obr. 5. Spalováním paliva se vytváří ve spalovací komoře teplo na ohřev vody v nádrži. Pára, která se z kotle vypaří, je přes regulátor vedena do ústrojí vnitřního rozvodu (nejčastěji šoupátkové komory) a odtud pak je rozdělována do válce. Tlak páry ve válci způsobuje pohyb pístu. Ven je pak vypouštěna

použitá pára přes šoupátkovou komoru. Na setrvačnick je přenášen posuvný pohyb pístu přes pístní tyč, ojnici s klikou, která posuvný pohyb převádí na rotační. Šoupátko je poháněno z části výkonu stroje ústrojím vnějšího rozvodu, které řídí nucený pohyb částí vnitřního rozvodu – šoupátka. Posuv pístu vytlačuje použitou páru přes šoupátkovou komoru potrubím ven. Stabilizace otáček je zajištěna pomocí odstředivého regulátoru, který ovládá ventil.

Motory se vyznačují vysokou spolehlivostí, snadnou regulací otáček a reverzací. Dělí se na výfukové (s vypuštěnou párou se dál nepracuje), kondenzační (pára se po vypuštění ochladí v kondenzátoru, teplo se znovu využije) a dvojčinné (pracovní prostor je z obou stran pístu). [11,19,20]

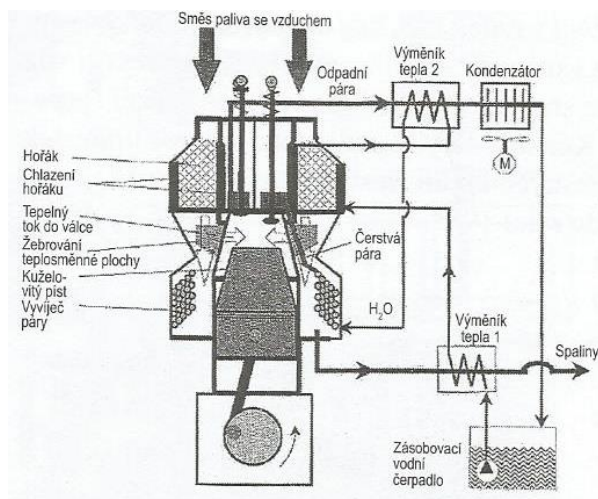


Obr. 5 Schéma parního stroje [11]

1.3.3. Vývoj parního motoru ZEE (Zero Emission Engine)

K renesanci parního motoru vedly až výhody spočívající v **nízké produkci emisí** a možnosti **multipalivového provozu**. Od roku 1994 byl zahájen vývoj parního motoru ZEE německou firmou Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr. Zkoušely se dvě verze prototypů. Jednoválcový prototyp ZEE02 (Obr. 6), sloužící k vývoji a zkoušení spalování a volbě vhodného termodynamického cyklu a tříválcový prototyp ZEE03 (Obr. 7), který byl navržen k aplikaci do osobních vozů.

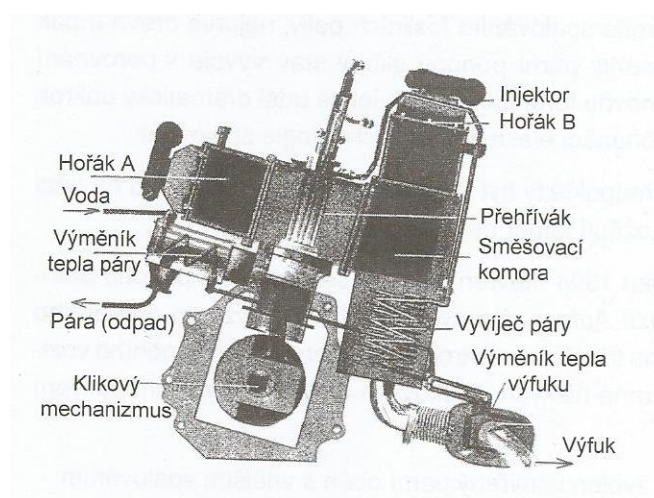
- Prototyp ZEE02** - Motor se skládá ze speciálního pórového hořáku, který svou vysokou chemickou účinností minimalizuje škodlivé emise, což je předpoklad k hospodárnému převodu tepelné energie na mechanickou. Do hořáku vstupuje směs paliva se vzduchem, zde prohořívá a horké spaliny jdou kolem kuželovité hlavy válce, kde vzniká silný proud tepla, který během expanze ohřívá páru. Horké spaliny jdou kompaktním trubkovým vyvíječem páry, cílový tlak páry za vyvíječem je 10 MPa a teplota 800 °C. Voda ze zásobníku ochlazuje spaliny za vyvíječem páry ve výměníku 1, dále chladí pórový hořák a páru ve výfuku motoru ve výměníku 2 před kondenzátorem a takto ohřátá vstupuje do vyvíječe páry. U cílového stavu páry má ideální Rankinův cyklus termickou účinností 36,8 %, ideální isothermický proces 50,3 % a porovnávací Carnotův cyklus 65,2 %. [9,10,12]



Obr. 6 Schéma parního motoru ZEE02 [10]

- Prototyp ZEE03** - Motor je stavebnicově sestaven a vybaven šesti hořáky. Jednotlivé válce a jejich parní systémy jsou vzájemně odděleny. Každý válec má výparník a výměník tepla výfuku. Voda o tlaku 5 MPa proudí výměníkem tepla výfuku, kde expandovaná pára předá zbytkové teplo a následuje další ohřev ve výměníku tepla. Teplota přehřáté páry ve vyvíječi páry dosahuje 500 °C a je přivedena do plnicího systému. Výkon a otáčky motoru odpovídá nastavené teplotě přehříváku (teplota páry až 900 °C). Hořák u tohoto

prototypu je podobný termickým reaktorům, tím je dosažena stabilizace plamene s velmi homogenním rozdělením teploty, což přináší výhody oproti klasickým hořákům – extrémně nízké emise, více palivový provoz, plynulost regulace výkonu. Různé velikosti otvorů uvnitř hořáku umožňují spalovat různé druhy paliv - všechna běžná automobilová paliva, zemní plyn, vodík propan-butan, biopaliva. U tekutých paliv je nutno předřadit odpařovací jednotku. [9,10,12]



Obr. 7 Řez parním motorem ZEE03 [24]

1.3.4. Použití parních motorů v současnosti

V dnešní době, kdy se hledají cesty jak nejlépe využít energii paliva, se parní motory opět dostávají na scénu. Při využití moderních materiálů se konstrukce těchto motorů zdokonaluje, je méně náročná na údržbu a i při nižších otáčkách má přijatelnou účinnost. Moderní konstrukce umožňuje široké uplatnění parních pístových motorů na místech, kde se nedají z finančních nebo technických důvodů použít turbíny. Uplatnění parních pístových motorů je hlavně v malých spalovnách a teplárnách spalujících biomasu. Zde jsou využívány jako **kogenerační jednotky** – výroba elektrické energie a tepla. Je to další krok jak snížovat spotřebu fosilních paliv a zlepšovat životní prostředí. [20]

1.4. Zážehový motor

Revoluci v dopravě způsobil začátkem 20. století vynález zážehového motoru. Vozidla se zážehovými motory postupně vytlačila vozidla na parní či plynový pohon. [31]

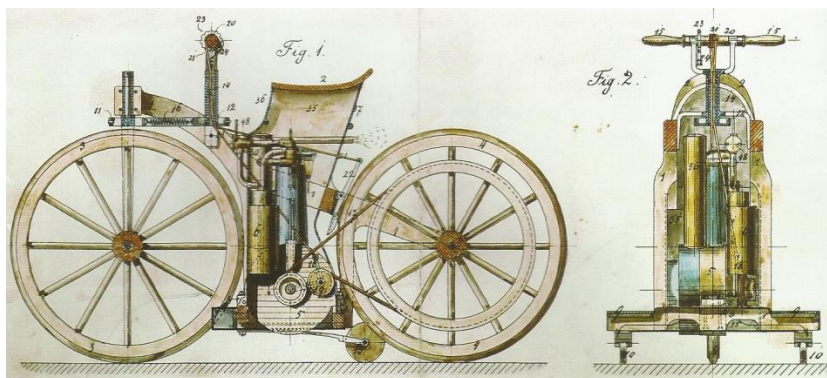
1.4.1. Historie a vývoj

V roce 1807 patent na vozidlo poháněné výbušným motorem získal švýcarský vynálezce Issac de Rivaz. Motor vozu měl válec, ve kterém se směs svítiplynu a vzduchu zapalovala elektricky. Píst, výbuchem vytlačen vzhůru, byl pak svou hmotností a atmosférickým tlakem vzduchu tlačěn zpět. Kola byla poháněna přes ozubený hřbet a soukolí. Za úspěšného tvůrce výbušných motorů je považován Francouz belgického původu Jean Joseph Etienne Lenoir (1822-1900), roku 1859 získal patent na motor poháněný svítiplynem a v roce 1860 začal stavět vůz s plynovým motorem, kde byl stlačený plyn umístěn v nádrži ve vozidle. Německý vynálezce N. A. Otto v roce 1867 staví společně s E. Langenem atmosférický plynový motor. Přes hlučnost tohoto motoru se vzhledem k nízké spotřebě plynu osvědčil a začal se v roce 1872 sériově vyrábět.

V roce 1876 vyrobil Otto čtyřtákní motor se zvýšeným kompresním poměrem a nechal si ho patentovat. Sériovou výrobu tohoto motoru zajišťoval hlavní konstruktér Gottlieb Daimler (1834-1900) a tento typ motoru se stal základem pro stavbu pozdějších spalovacích motorů. Dodnes je zážehový motor tohoto principu označován jako „Ottův motor“. V roce 1884 zdokonalil Otto elektrické zapalování a zavedl nízko napěťové magneto. Díky tomu mohly motory přejít na kapalná paliva a tím se stát mobilními. Otto se snažil vynalézt dvoudobý motor, ale za jeho života se mu to nepodařilo. V roce 1879 K. Benz (1844 – 1929) zkonstruoval dvoudobý plynový spalovací motor. Roku 1885 sestrojil první tříkolové vozidlo, které dosáhlo rychlosti až 11 km/h. [2,9,25]

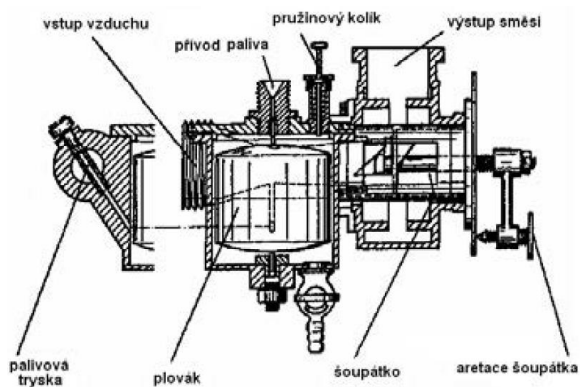
K. Benz se proslavil hlavně až svými automobily se spalovacími motory vlastní konstrukce. Velkou nevýhodou Ottových motorů byla vysoká hmotnost a malý výkon. Proto se německý vynálezce Gottlieb Daimler snažil o zvýšení výkonu motorů zvýšením otáček. Poznal, že základním omezením je nízkonapěťové elektrické zapalování. Řešení našel

v zapalování pomocí žhavicí trubičky. V roce 1885 motor zabudoval do stroje dřevěné konstrukce (Obr. 8) a vznikl tak první motocykl, který měl dvě malá stabilizační kolečka. [9]



Obr. 8 Stroj Gottlieba Daimlera dřevěné konstrukce [2]

O vylepšení chodu motoru se zasloužil Němec Wilhelm Maybach (1846-1929) vynálezem prvního karburátoru, který pracoval na principu novodobých karburátorů, využívající podtlaku k tvorbě směsi paliva se vzduchem (Obr. 9). [9]



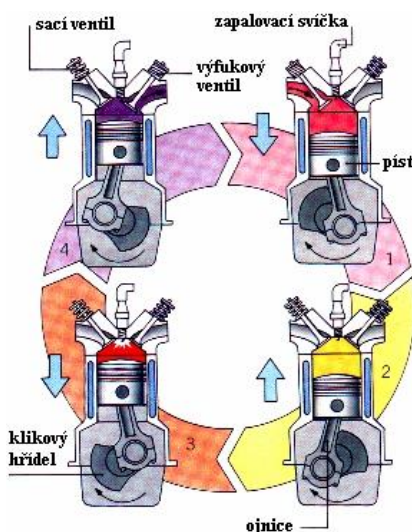
Obr. 9 Karburátor – Maybach [9]

1.4.2. Současná konstrukce a popis práce zážehového motoru

Zážehový motor je v podstatě zdokonalení původního Ottova motoru (alternativa Wankelův motor - viz. kapitola 1.7.). Tyto motory jsou také označovány jako motory benzínové. Jedná se o motory s vnitřním spalováním, které pracují buď v cyklu dvoudobém,

nebo čtyřdobém. Princip motoru je u obou typů podobný, jde o sání nebo vstřík paliva, jeho zažehnutí, expanzi a výfuk spalin. Pomocí energie vnějšího zdroje (např. elektrická jiskra) je zažehnuta směs paliva se vzduchem. Aby nedocházelo k detonačnímu hoření, je kompresní poměr omezen teplotou vznícení směsi. Tyto motory pracují oproti vznětovým s nižším tlakem a jejich nejvyšší výkon a nejvyšší točivý moment je ve vyšších otáčkách. [9,23,27]

Pracovní oběh u **čtyřdobých motorů** (Obr. 10)

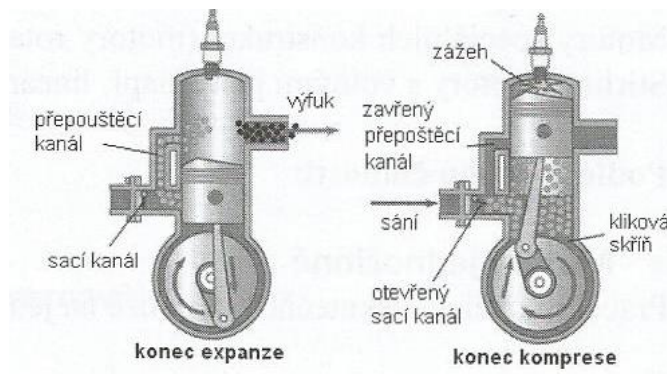


Obr. 10 Oběh čtyřdobého motoru [27]

1. **Sání** - Píst se pohybuje z horní úvratě do dolní úvratě. Přes sací ventil, který je otevřen před horní úvratí, probíhá sání paliva se vzduchem nad píst (u zážehových motorů s přímým vstříkem paliva a u vznětových motorů je nasáván pouze vzduch).
2. **Komprese** - Píst se pohybuje z dolní úvratě do horní úvratě. Po uzavření sacích ventilů se začíná náplň válce stlačovat a současně ohřívat. Těsně před horní úvratí se u zážehových motorů buď vstříkne palivo a poté se směs zažehne (motory s přímým vstříkem) nebo se stlačená náplň (směs paliva se vzduchem) rovnou zažehne. U vznětových motorů se vstříkne palivo a to se vysokou teplotou vznítí.
3. **Expanze** - Část směsi shoří před horní úvratí, část v horní úvratí a zbytek dohoří na začátku Expanzního zdvihu. Píst je velkou silou vržen k dolní úvratí, a tím se získává mechanická práce.

4. **Výfuk** - Před dolní úvratí je otevřen výfukový ventil. Píst se pohybuje z dolní úvratě do horní úvratě a vytlačuje spaliny. Výfukový ventil se zavírá těsně za horní úvratí a celý cyklus se opakuje. [9,27]

Pracovní doba u **dvoudobých motorů** (Obr. 11)



Obr. 11 Oběh dvoudobého motoru [9]

1. Píst se nachází v dolní úvratí, jeho horní hrana odkrývá přepouštěcí kanál, kudy se z klikové skříně přepouští předběžně stlačená směs paliva a vzduchu do prostoru nad píst. Pohybem pístu z dolní úvratí do horní se uzavírá přepouštěcí a výfukový kanál a směs je ve válci stlačována. V klikové skříně vzniká podtlak a po odkrytí sacího kanálu spodní hranou pístu se do klikové skříně nasává směs.
2. Před horní úvratí dojde k zážehu směsi jiskrou. V horní úvratí vlivem hoření narůstá tlak a píst je tlačěn k dolní úvratí. Píst prvně překryje sací kanál, kdy skončí sání a začíná komprese v klikové skříně. Následně otevírá výfukový kanál a dochází k výfuku spalin. Před dolní úvratí se otevře přepouštěcí kanál a tím předběžně stlačená směs paliva a vzduchu vytlačí zbytky spalin. Cyklus se opakuje. [9,27]

Zážehový motor vyžaduje k provozu určitý poměr vzduchu a paliva (součinitel přebytku vzduchu λ). Ideální spalování nastává, pokud zmíněný poměr je 14,8 kg vzduchu na 1 kg paliva - tzv. stechiometrická měrná spotřeba paliva je značně závislá na směšovací poměru vzduchu a paliva. Pro co nejmenší možnou spotřebu paliva je nutný přebytek vzduchu, jehož hranice je určena zejména zápalností směsi a použitelnou dobou hoření.

Tvorba směsi paliva a vzduchu se v motoru provádí buď v sacím potrubí, tzn. mimo válec (vnější tvorba směsi - dříve u vozidel, které používali motory s karburátory nebo nepřímé vstřikování benzínu) nebo se provádí přímo ve válci (vnitřní tvorba směsi – motor s přímým vstřikováním benzínu).

Paliva zážehových motorů jsou buďto kapalná (např. benzin, benzol, metanol, ethanol, butanol), nebo plynná (např. zemní plyn, propan-butan, bioplyn, vodík). [5,9]

1.5. Vznětový motor

Vznětový motor je v dnešní době jeden z nejvýznamnějších druhů používaných spalovacích motorů.

1.5.1. Historie a vývoj

Vznik vznětového motoru je spojen se jménem Rudolfa Diesela (1858-1913). První jeho prototyp poháněl uhelný prach, druhý pokus byl s motorem s vodním chlazením a vstřikováním benzínu, poté byl benzin nahrazen lampovým petrolejem. Až třetí prototyp splňoval všechny požadavky a tak vznikl klasický čtyřdobý vznětový motor. Tím se rok 1897 stal rokem vzniku vznětových motorů. Motor měl výkon 14,7 kW při otáčkách 170 min⁻¹. Motor měl poměrně vysokou účinnost, ale pro značné rozměry, hmotnost a složitost vysokotlakého kompresoru byl proto používán jako motor stacionární nebo lodní. Až po náhradě kompresoru vstřikovacím čerpadlem došlo ke zmenšení rozměrů a snížení hmotnosti a tak motory mohly být použity i ve vozidlech.

Patent na hydraulické vstřikování pro vznětové motory podal ředitel anglické továrny Vickers James Kechni v roce 1910. Se stejným nápadem přichází Robert Bosch (1861-1942) v roce 1921. Plně funkční prototypy byly vyrobeny již v letech 1923-24. Velké rozšíření vznětových motorů způsobila sériová výroba vstřikovacích čerpadel v roce 1927. [9,25]

1.5.2. Současná konstrukce a popis práce vznětových motorů

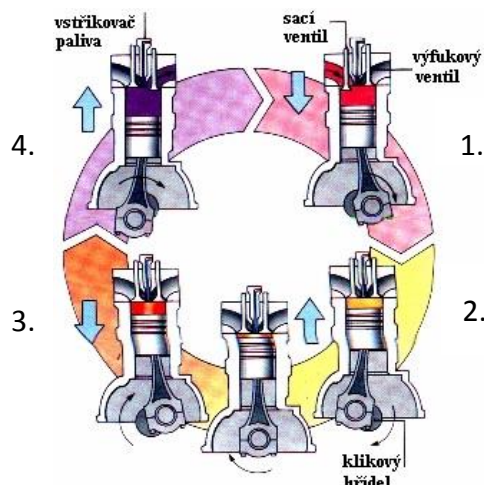
Vznětové motory se od zážehových příliš neliší. Rozdíl je v tom, že u zážehových motorů dochází k tvorbě směsi paliva se vzduchem výhradně uvnitř spalovacího prostoru. Základním rozdílem je to, že je do válce nasáván filtrovaný vzduch, který má po stlačení na konci kompresního zdvihu zápalnou teplotu paliva. Při této vysoké teplotě, vyvolané stlačením vzduchu při dostatečném kompresním poměru, se vznítí palivo, které je vstříkováno do válce motoru, případně komůrky. Další rozdíl je v konstrukci částí klikového mechanismu, pístní skupiny a hlavy válců, které musí odolávat většímu tlakovému a teplotnímu zatížení než motory zážehové. Účinnost u zážehových motorů je v rozmezí 25 - 35 % a více, u vznětových motorů je účinnost vyšší 35 - 50 %. [9,17]

Palivová soustava vznětového motoru má za úkol vstříknout palivo do válce motoru přesně v určitý okamžik a v určitém množství. Na funkci palivové soustavy závisí průběh hoření ve válci motoru a tedy i dosažení požadovaného výkonu a hospodárnosti provozu. Vznětové motory je možné dělit podle způsobu vstříkování paliva do válce na motory s přímým a nepřímým vstříkováním. [17]

Pracovní doby vznětových motorů (Obr. 12) se od zážehových motorů s nepřímým vstříkováním (viz. kapitola 1.4.2 – pracovní doba) liší v těchto pracovních dobách:

1. Sání - Je nasáván pouze vzduch.
2. Komprese - U vznětových motorů se vstříkované palivo vysokou teplotou vznítí vlivem vysokého kompresního poměru. [9,17,27]

Paliva vznětových motorů jsou např. motorová nafta, syntetická motorová nafta, MEŘO (methylester řepkového oleje) nebo jiné estery rostlinných olejů, směs motorové nafty s estery rostlinných olejů (např. směsná motorová nafta - 30 % MEŘO, směs motorové nafty s přídavkem MEŘO do 7 % objemových), purifikovaný řepkový olej, směs s vysokým podílem ethanolu (ethanol : MEŘO : motorová nafta = 90 : 3 : 7). [5,9]



Obr. 12 Oběh vznětového motoru [27]

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1. Sání - filtrovaný vzduch je nasáván do válce | 2. Komprese - stlačení vzduchu |
| 3. Expanze - vznícením směsi paliva a vzduchu | 4. Výfuk |

1.6. Elsbettův duotermický motor

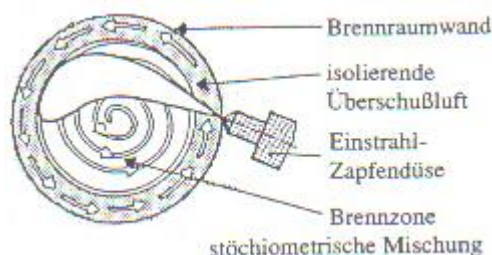
Elsbettův duotermický motor je speciální motor vycházející z konstrukce vznětového motoru. Hlavní odlišnost tohoto řešení liší se od konvenčního vznětového motoru je v použití speciálních pístů, způsobu vstříkávání paliva a systému chlazení motoru. Podstatou systému je zabránění úniku tepelné energie ze spalovacího prostoru a její soustředění v kulovém spalovacím prostoru pístu. Proto je motor také nazýván "duotherm".

Konstrukce a popis práce Elsbettova motoru

Od konvenčního vznětového motoru se odlišuje konstrukcí spalovacího prostoru. Je používán píst s litinovou korunou, jehož dno tvoří kulová spalovací plocha. Odpaření kapiček vstříknutého oleje je způsobováno teplotou stěny spalovacího prostoru, která dosahuje hodnot 550 až 650 °C.

Dále se odlišuje zvláštním přívodem vzduchu. Vzduch je nasáván vířivě ve šroubovici a tím je podle hustoty rozvrstven. Vzduch s menší hustotou, který se podílí na spalování, je ve středu spalovací komory pístu. A chladný čerstvý vzduch s vyšší hustotou je držen odstředivou silou při stěně válce (viz. Obr. 13). Princip duotermie umožňuje tedy dosažení

vyšší teploty spalovacího centra a nízké teploty obalu. A tím se zároveň minimalizují tepelné ztráty.



Obr. 13 Víření paliva a vzduchu [3]

Je to motor s přímým vstřikováním se samočisticími kuželovými tryskami. Trysky vstřikují palivo vyššími vstřikovacími tlaky tangenciálně, a tím dochází k vířivému pohybu směsi paliva a vzduchu. Což způsobuje lepší prohoření směsi a zamezení tvorby látek polymerní povahy (Solid Organic Fraction). Chlazení probíhá pouze motorovým olejem.

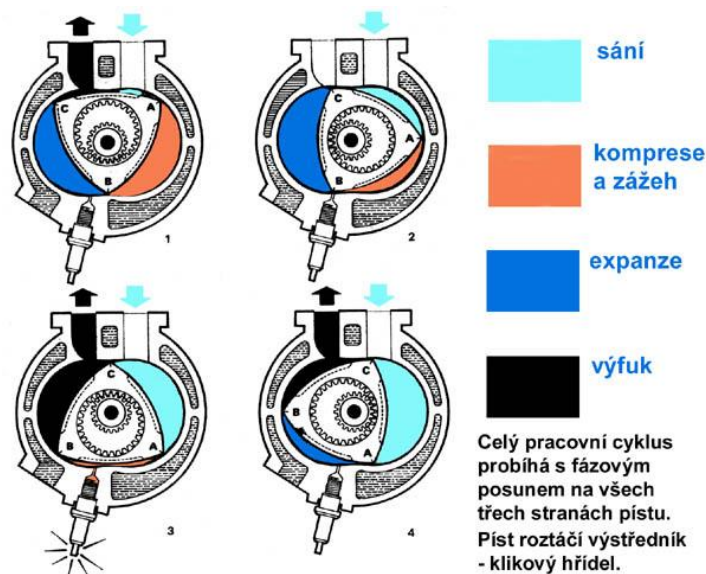
Vhodná **paliva Elsbettova motoru** jsou především rafinované rostlinné oleje získávané studeným lisováním, ale lze je libovolně mísit s motorovou naftou. [3,5]

1.7. Wankelův motor

Během vývoje spalovacích motorů bylo patentováno několik motorů s kývavým, rotačním nebo krouživým pohybem pístu. Do sériové výroby se dostal pouze jediný typ motoru a to motor Wankelův. Felix Wankel začal s vývojem tohoto motoru v roce 1954. Po deseti letech v roce 1964 se začal vyrábět sériově pro osobní automobil NSU Spider. Další model NSU RO80 s dvourotorovým Wankelovým motorem byl oceněn v roce 1968 titulem Auto roku. Z významných automobilek s Wankelem experimentovali ještě třeba Mercedes-Benz, Citroen, Mazda, Rolls-Royce, Lada, GM (General motors), ale s vyskytujícími se problémy brzy upustili od sériové výroby Wankelova motoru. V sériové výrobě pokračovala pouze automobilka Lada a Mazda. Mazda až do roku 2012, kdy ukončila výrobu modelu RX-8. Ale i nadále pokračuje ve vývoji. Mazda připravila Wankelův motor s přímým vstřikováním paliva pro koncept Taiki a pro novou verzi mazdy RX-7. Motor je označen Renesis 16X a předpokládá se, že by mohl **spalovat i vodík**. [10,16,29,30]

1.7.1. Princip práce Wankelova motoru

Wankelův motor pracuje s oběhem zážehového motoru. Základem motoru je unikátní konstrukce pístu a komory. Válec má složitý tvar epitrochoidy. Píst trojúhelníkovitého tvaru s boky ve tvaru třech stejných oblouků, tvořících válcové plochy, rotuje excentrickými pohyby uvnitř motorové skříně okolo hřídele. Pracovní cyklus proběhne během jedné otáčky pístu a hřídel se otočí díky převodovému poměru 3:1 třikrát rychleji (Obr. 14). [10,29]



Obr. 14 Princip činnosti Wankelova motoru [28]

1.7.2. Výhody a nevýhody Wankelova motoru

Výhody Wankelova motoru spočívají v nižších vibracích, klidném a rovnoměrném chodu motoru, menším zastaveném prostoru, příznivějším průběhu charakteristik motoru, lepším poměru váhy a výkonu, menším počtu součástí, menší produkci NO_x ve spalínách.

Nevýhody jsou nízká životnost lišt utěsňujících spalovací prostor, celkové utěsnění spalovacího prostoru, velké ztráty tepla a nízká tepelná účinnost vzhledem k tvaru spalovacího prostoru, nízká hodnota kompresního poměru, vysoká spotřeba paliva a motorového oleje, větší produkce HC, CO a CO_2 . [10,28]

1.8. Stirlingův motor

Stirlingův motor může být **spalovacím motorem** s vnějším spalováním - umožňuje spalovat téměř všechna paliva, nebo může být **motorem tepelným** využívající rozdíl teplot získaný jiným způsobem (sluneční energie, geotermální energie, odpadní teplo a další).

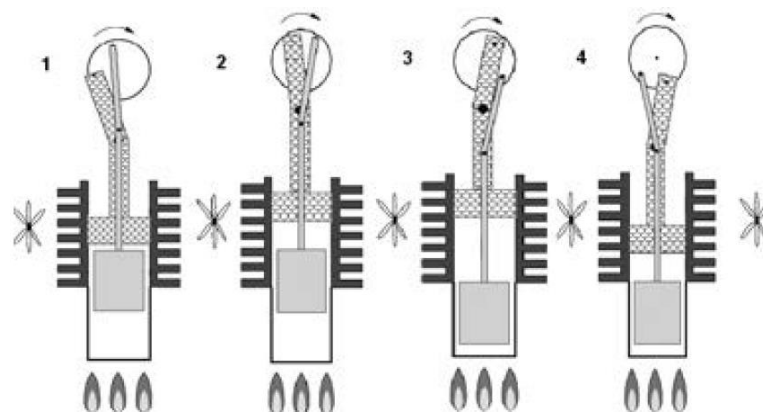
1.8.1. Historie a vývoj Stirlingova motoru

Stirlingův motor byl vynalezen roku 1816 skotským pastorem Robertem Stirlingem (1790-1878). V roce 1818 postavil motor na čerpání vody z kamenolomu ve Skotsku. Poté svůj stroj zdokonalil a obdržel ještě dva patenty. Stirlingův motor prošel dlouhým vývojem a nyní dochází k renesanci v energetickém sektoru. V 70. letech 20. století se začalo uvažovat o vývoji stirlingových motorů do osobních automobilů. Švédská FFV Group začíná s vývojem motorů určených pro městské autobusy terénní vozidla a ponorky. Bylo několik verzí těchto motorů, ale ukázalo se, že náklady na sériovou výrobu by byly několikrát vyšší než stejně výkonný vznětový motor. V roce 1974 byl motor implementován do osobního vozidla Ford Pinto a Ford Taurus, ale do sériové výroby se nedostali z důvodu ceny pohonné jednotky, kterou prodražil systém regulace výkonu. [10,25]

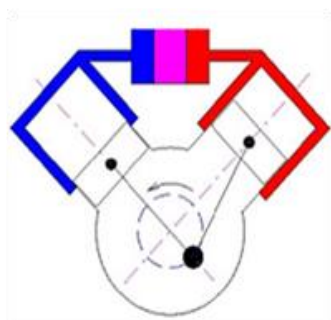
1.8.2. Princip činnosti a modifikace Stirlingova motoru

Stirlingův motor se většinou skládá ze dvou pístů a jednoho nebo dvou válců, podle toho, o jakou modifikaci se jedná. Tyto motory se mohou dělit na modifikace alfa (Obr. 16), beta a gama (Obr. 17).

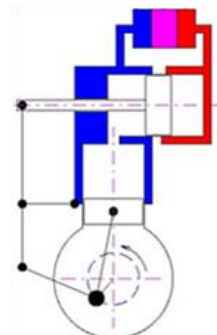
Obecně lze popsat princip Stirlingova motoru na modifikaci beta, má dva pracovní prostory, mezi nimiž může volně proudit plyn za prakticky stejných tlaků. Prostory se liší rozdílnou teplotou docílenou buď přímým ohříváním a chlazením komor, nebo častěji, vnějším ohříváčem a chladičem a mezi ně bývá obvykle zařazen ještě regenerátor. Princip činnosti je znázorněn na Obr. 15. [9,10,25]



Obr. 15 Princip činnosti Stirlingova motoru modifikace beta [9]



Obr. 16 Modifikace alfa [25]



Obr. 17 Modifikace gama [25]

1.8.3. Současné aplikace Stirlingova motoru

Současné aplikace směřují k využívání Stirlingova motoru k výrobě elektrické energie v kogeneračních jednotkách nebo solárních jednotkách. V Evropě se Stirlingovým motorem zabývá německá firma Solo Stirling GmbH, která vyrábí kogenerační jednotku na bázi inovovaného motoru United Stirling V-160. Solární jednotku Stirlingova motoru pro výrobu elektrické energie vyvinula SES (Stirling Energy Systems, Inc., USA) pro solární elektrárny. Další zajímavostí je malá kogenerační jednotka novozélandské firmy Whispergen, která je určena do kuchyňských linek pro běžné domácnosti. V topné sezóně je přebytek elektrické energie dodáván do sítě a naopak, funguje jako „roční akumulátor elektřiny.“ U nás se vývojem kogeneračních jednotek se Stirlingovým motorem zabývá například firma Tedom. Nejčastějším palivem pro pohon kogeneračních jednotek je zemní plyn. V současnosti se

zvyšuje počet zařízení využívajících pro svůj provoz bioplyn, skládkový plyn, kalový plyn nebo jiná alternativní paliva, jako např. důlní plyn. [4,10,14]

Ze zkušenosti vyplývá, že výrobní náklady Stirlingova motoru pro spalovací aplikace budou několikrát vyšší než u stejně výkonného motoru s vnitřním spalováním. Z toho důvodu by se měl Stirlingův motor používat hlavně tam, kde se běžný spalovací motor nemůže uplatnit. Stirlingův motor se může využít na výrobu mechanické nebo elektrické energie z energie sluneční, ze spalování plynů s nízkou výhřevností nebo plynů těžko spalitelných v běžných motorech s vnitřním spalováním, spalováním pevných paliv z obnovitelných zdrojů (např. peletky). Při použití **biomasy** je výhodou, že spalování probíhá vně motoru. Spaliny nepůsobí přímo na píst nebo lopatky motoru. Při aplikaci Stirlingova motoru je nutné zvážit použití rekuperačního výměníku a hledat tak kompromis mezi snadným čištěním a účinností, protože díly spalovacího systému budou zanášeny pevnými částicemi spalin. To brání širšímu uplatnění Stirlingova motoru. [4,10,14]

1.8.4. Výhody a nevýhody Stirlingova motoru

Výhody – Stirlingův motor dokáže využít **jakákoliv paliva** – plynná, kapalná, pevná, jak fosilní paliva, tak i paliva z biomasy. Dokáže využít i teplo z geotermální energie, solární energie a odpadní teplo z technologických procesů. Má tichý chod, vysokou životnost, minimální poruchovost a nulovou spotřebu oleje. Při správné konstrukci motoru má nízké emisní hodnoty.

Nevýhody – Mezi největší nevýhody patří vyšší cena, obtížná regulace výkonu (u kogeneračních jednotek nepředstavuje problém), vyšší měrná hmotnost a nižší účinnost. [10,25]

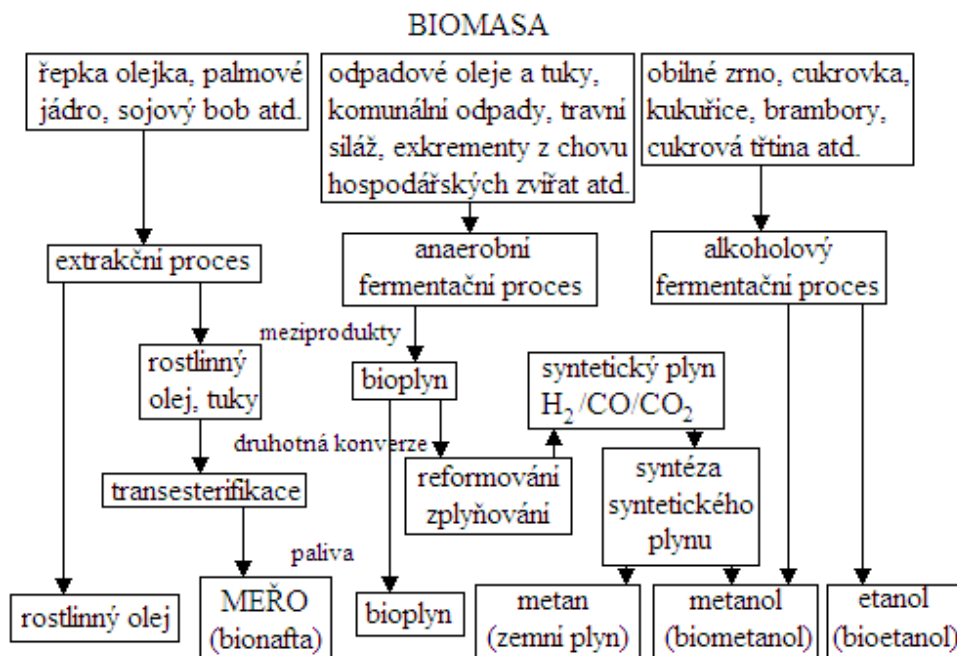
2. Biopaliva a jejich požadavky na konstrukci

V Evropě je současné době trendem prosazování biopaliv jako náhrady za část paliv fosilních. Evropská unie zavedla směrnicí 2009/28/EC požadavek na zvýšení podílu energie z obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě energie v roce 2020 na 20 % a to s podílem biopaliv v dopravě 10 %. Díky tomuto nařízení došlo k plošnému přimíchávání biopaliv do paliv fosilních a k jejich daňovému zvýhodnění. [6,18]

2.1. Biopaliva

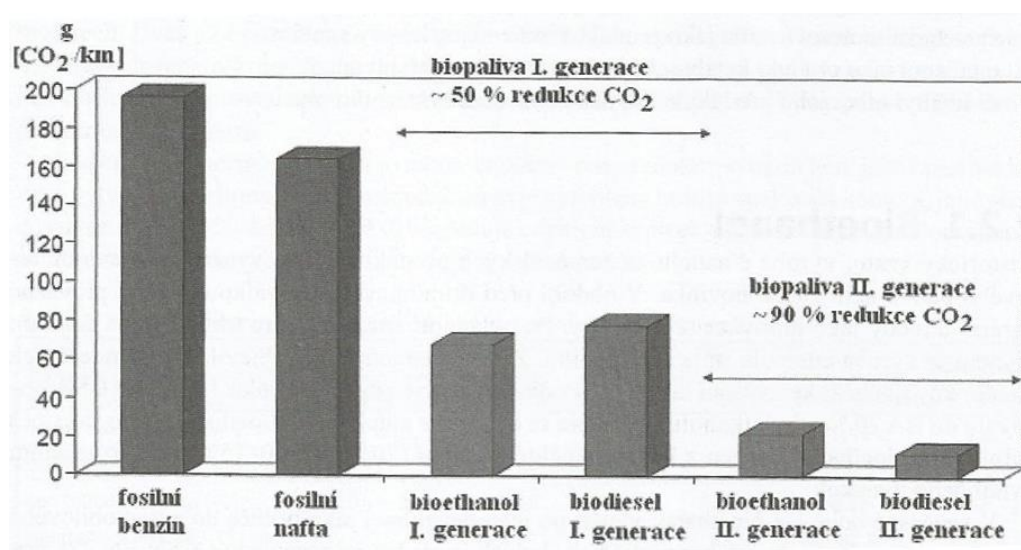
Biomasa je substance biologického původu neboli hmota všech organismů na Zemi (rostliny v půdě nebo ve vodě, chov živočichů, produkce organické hmoty atd.).

Biopalivo je kapalná nebo plynná hmota vyráběná z biomasy, která je určená pro dopravu (Obr.18).



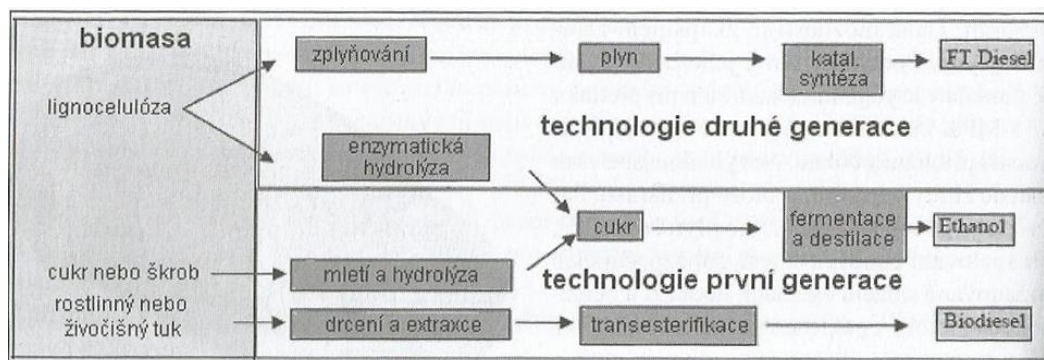
Obr. 18 Výrobní procesy při výrobě biopaliv z biomasy [5]

Biopaliva patří, na rozdíl od fosilních uhlovodíkových paliv, mezi obnovitelné zdroje energie, což znamená, že se jejich zásoba dá obnovit v přijatelně časových intervalech. Z hlediska ekologického při spalování biopaliva nedochází v naší atmosféře k nárůstu oxidu uhličitého (skleníkový efekt). Problémem je ale zatím energetická náročnost výroby biopaliv. Některá biopaliva přinášejí jen malou úsporu oxidu uhličitého. Do této skupiny patří biopaliva **první generace**, která mohou snížit produkci CO₂ jen o 50 %. Proto je vhodnější zaměřit se na technologii biopaliv **druhé generace**, u kterých dochází ke snížení produkce CO₂ až o 90 % (Obr. 19). [5,9]



Obr. 19 Úspora v produkci CO₂ pro biopaliva 1. a 2. generace [9]

Biopaliva první a druhé generace se liší hlavně vstupní surovinou. Při výrobě biopaliv první generace se používá potravinářská biomasa (cukrová třtina, cukrová řepa, obilí, kukuřice) a to může mít paradoxně i podíl na zvyšování cen potravin. U výroby biopaliv druhé generace tvoří vstupní surovinu nepotravinářské plodiny a odpadní lignocelulózový materiál (dřevo, dřevěné štěpky, sláma, tráva, použitý papír, biologický odpad). Je zde však problém s jejich výrobou, která je technologicky náročná, přesto, že se tyto suroviny vyskytují v dostatečném množství (Obr. 20). [5,9]



Obr. 20 Způsoby technologie výroby biopaliv [9]

Nejběžněji používaná **biopaliva I. generace** jsou - MĚŘO (methylester řepkového oleje), bioethanol vyráběný z produktů obsahující cukr nebo škrob (cukrová třtina, cukrová řepa, kukuřice, obilí), bioETBE (ethyltercbuthylether) vytvořen adiční reakcí bioethanolu s isobutanem, rostlinný olej (u nás řepkový).

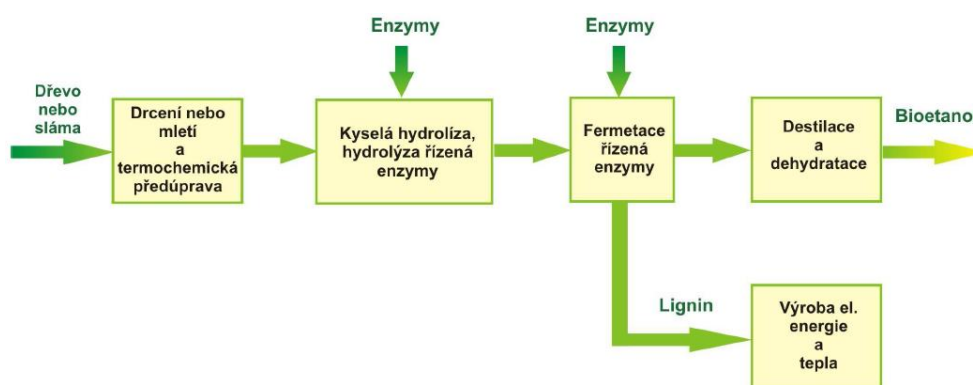
Mezi **biopaliva II. generace** patří bioethanol z lignocelulóзовé biomasy, syntetická motorová nafta jako produkt Fischer-Tropschovy syntézy, methanol jako produkt katalytické konverze syntézního plynu, di-methyl-ether jako produkt katalytické konverze syntézního plynu. [5,9]

2.2. Bioethanol

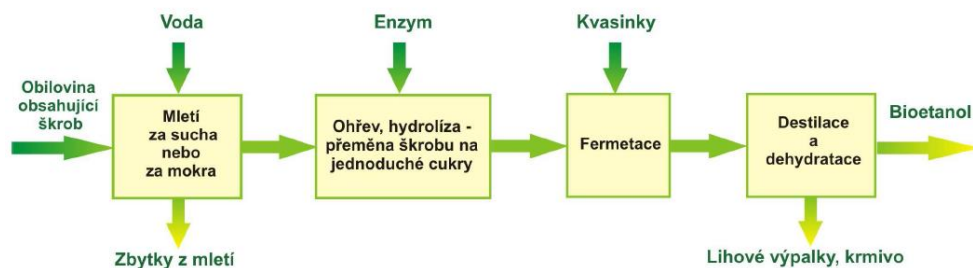
Bioethanol je druhý nejnižší alkohol, bezbarvá kapalina ostré alkoholické vůně, je snadno zápalný. Je to nejstarší biopalivo, které bylo využíváno již před 2. světovou válkou. Ethanol se vyráběl ze zemědělských produktů. Používala se dvojsměs autobenzín - bioethanol nebo trojsměs autobenzín - bioethanol - benzen (z kamenouhelného dehtu) pod označením dynol nebo dynakol. Motivací této výroby byly hlavně agrární důvody, ale s přísunem ropy a zemního plynu se výroba ethanolu stala nevýhodnou. Energetický zájem se objevil až v 80. letech se zvýšením cen ropy. [6,9]

2.2.1. Výroba bioethanolu

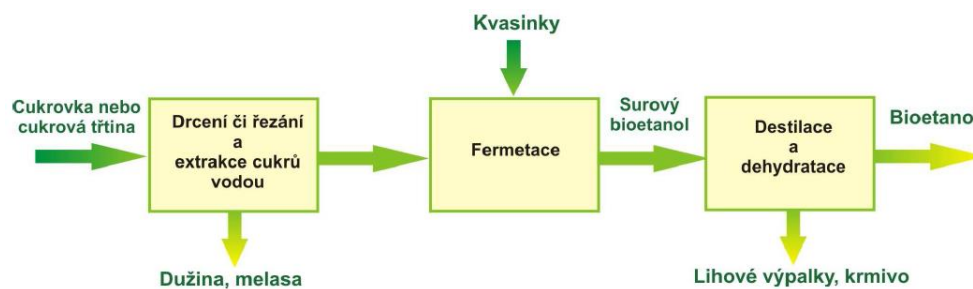
Bioethanol se vyrábí z **lignocelulóзовé biomasy** (sláma, rychle rostoucí dřeviny štěpky, papír, odpad biologického původu apod.) (Obr. 21), nebo z **produktů obsahující cukr** (cukrová řepa, cukrová třtina) (Obr. 22), nebo **škrob** (obiloviny, brambory, kukuřice) (Obr. 23). Největší část produkce ethanolu se připravuje z jednoduchých sacharidů alkoholovým kvašením působením různých druhů kvasinek, kdy se rostlinné sacharidy přeměňují na ethanol a oxid uhličitý za vzniku tepla a energie. V České republice se k výrobě bioethanolu používá obilí a cukrová řepa. [5,6,7,10]



Obr. 21 Výroba z lignocelulóзовé biomasy [21]



Obr. 22 Výroba z biomasy obsahující škrob [21]



Obr. 23 Výroba z biomasy obsahující jednoduché cukry [21]

„Budoucnost výroby bioethanolu je ve výrobě z lignocelulózové biomasy, která představuje perspektivní zdroj suroviny pro výrobu bioethanolu, jenž je na zemi dostupný v hojném počtu.“ [10, str. 134]

Nejnovějším trendem je výzkum výroby bioethanolu z **řas nebo mikroorganismů** (různé druhy řas – sladkovodní i mořské). V ČR vzniklo Centrum řasových biotechnologií v Třeboni pod záštitou Mikrobiologického ústavu Akademie věd České republiky, kde se tímto výzkumem zabývají. Bioethanol vyrobený tímto způsobem se nazývá „bioethanol třetí generace“. [6]

„Konkrétní postup výroby bioethanolu z řas je závislý na druhu energetické látky, která se z řas získává. Zaměří-li se na škrob, je výroba bioethanolu velmi podobná procesu výroby bioethanolu ze škrobu. Bude-li výstup z pěstování řas představován celulosovou biomasou, je postup výroby bioethanolu podobný výrobě bioethanolu z lignocelulózové biomasy.“ [6, str. 325]

2.2.2. Spalovací motory využívající bioethanol

Ve spalovacích motorech se bioethanol používá hlavně jako náhrada nebo příměs do automobilového benzínu v několika koncentracích:

- Vysokoprocentní směs E85 (85 % ethanolu a 15 % benzínu) pro speciálně přizpůsobené zážehové motory,
- směs bioethanolu a benzínu až do 85 % pro FFV (Flexible Fuel Vehicles),
- bioethanol přidáný do benzínu (max. do 20 %) jako kyslíkatá složka současně zvyšující octanové číslo,
- přimíchávání 5 - 7 % ethanolu do bezolovnatých benzínů,
- směs E95 (95 % bioethanolu, 5 % aditiv podporujících vznětlivost) pro upravené vznětové motory. [5,7,21]

2.2.2.1. Konstrukční změny v zážehových motorech

U zážehových motorů použití bioethanolu nepředstavuje tak velký problém, úprava spočívá ve větší dávce paliva (až 1,5 x vyšší) z důvodu nízké výhřevnosti (o 40% nižší než benzín). Je třeba zvýšit kompresní poměr motoru a úpravy vstřikovacího palivového systému. U paliva s nízkým obsahem bioethanolu do 20 % může být problémem vysoká citlivost etanolu vůči vodě a vysoký tlak nenasycených par. Vyšší skupenské výparné teplo, které způsobuje ochlazování palivové směsi při přivádění paliva do motoru, může být za nižších teplot problémem, hlavně při startování motoru.

Konstrukční rozdíly oproti konvenčnímu zážehovému motoru je možné stručně shrnout do těchto bodů:

- palivová čerpadla odolná vůči korozi,
- vyšší kompresní poměr,
- palivové nádrže pocínované nebo z odolných plastů,
- baterie o vyšší kapacitě,
- vhodné materiály pro ventily,
- zapalovací svíčky se správnou termickou odolností,
- karburátor odolný proti korozi,
- čerpadla etylalkoholu potažená chromem,
- nylonová potrubí a rozvody spalovacího potrubí z materiálu odolávajícímu ethanolu.

Konstrukce motorů pro FFV je již přizpůsobena k používání **jak benzínu, tak bioethanolového paliva** s podílem až do 85 % (E85). Motory FFV dodává již většina výrobců automobilů, např. Renault, Saab, Volvo, Škoda. Palivový systém motoru je dimenzován pro pohon na ethanol v souvislosti s nižší výhřevností, je nutno dodat větší množství paliva. Řídící jednotka motoru přizpůsobuje parametry vstřikování paliva, jeho složení, předstih zážehu, apod. podle koncentrace kyslíku ve výfukových plynech. [6,5,21,7]

2.2.2.2. Konstrukční změny ve vznětových motorech

Použití bioethanolu ve vznětových motorech je komplikovanější vzhledem k odlišným parametrům motorové nafty a ethanolu. Problémem je nízká vznětlivost ethanolu (cetanové číslo pouze 8), která se musí zvýšit speciálními aditivami. Ani po aditivaci nelze ethanol v běžných vznětových motorech spalovat, je třeba provést úpravu motoru. Vzhledem k nízké výhřevnosti je třeba provést změnu dimenzování vstřikovacího systému. Zvýšit kompresní poměr na hodnotu 23 a více. Pro pohon dieselových motorů se používá směs E95 (95 % bioethanolu, 5 % aditiv podporujících vznětlivost). V motoru upraveném na E95 již nelze spalovat naftu. V současné době využívá bioethanol ve vznětových motorech švédská firma Scania (městské autobusy).

Konstrukční úprava vznětového motoru spočívá v těchto krocích:

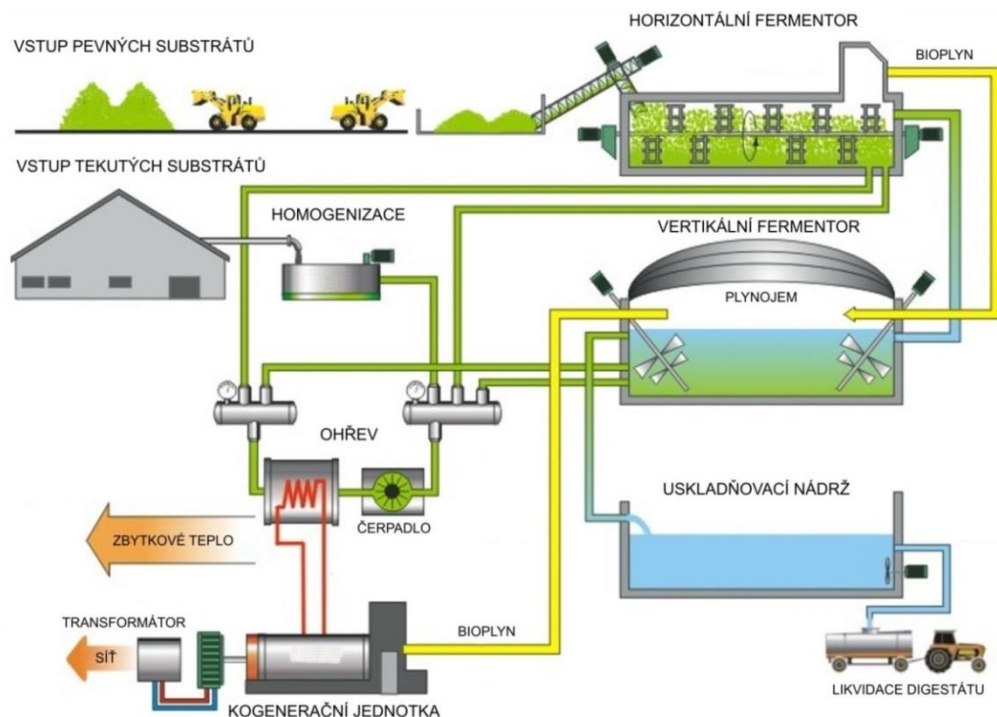
- dimenzování vstřikovacího systému,
- upravení počátku vstřiku paliva,
- oxidační katalyzátor ke snížení obsahu CO a HC. [6,5,21,7]

2.3. Bioplyn

Bioplyn je bezbarvý plyn, vznikající mikrobiálním rozkladem organické hmoty za nepřítomnosti kyslíku. Je tvořen směsí plynů, z nichž hlavní jsou metan CH_4 a oxid uhličitý CO_2 , dále potom v malém množství vodík H_2 , dusík N_2 a sirovodík H_2S . [9,5]

2.3.1. Výroba, skladování bioplynu

Bioplyn se získává metanogenním kvašením (biologickým rozkladem) organických látek jako jsou například chlévská mrva, prasečí kejda, trus, siláže, rostlinné zbytky, komunální odpady, odpady potravinářského průmyslu nebo odpady v městských čistírnách. Schéma výroby bioplynu je na Obr. 24.



Obr. 24 Schéma výroby bioplynu [5]

Na skladování bioplynu se používají **bioplynové zásobníky**. Nejvíce rozšířenými druhy jsou nízkotlaké zásobníky, ocelové s vodním uzávěrem, které udržují relativně stálý tlak. Nyní se začínají prosazovat levnější foliové plynojemy. Středotlaké a vysokotlaké zásobníky (s tlakem 5-10 barů) pojmu až desetinásobné množství bioplynu oproti nízkotlakým, ale toto řešení vyžaduje již regulaci tlaku. [5,9]

2.3.2. Použití ve spalovacích motorech

Většinou se bioplyn používá pro pohon stabilních motorů, využívaných pro výrobu elektrické energie s plným využitím odpadního tepla. Velkou nevýhodou je nestabilní produkce plynu, protože anaerobní fermentační procesy nejlépe probíhají při teplotě 40°C, proto se musí v zimě část vyrobeného plynu použít na vyhřívání fermentoru. V zimě, kdy se spotřebuje hodně elektrické a tepelné energie, je bioplynu nedostatek a naopak v létě přebytek.

Po vyčištění bioplynu se jeho parametry shodují se zemním plynem a lze ho použít k pohonu vozidel se spalovacím motorem na zemní plyn. Bioplyn musí být stlačen na 20 MPa

a tlak v nádrži může být maximálně 25 MPa. Pro přímé použití biomethanu jako CNG (Compressed Natural Gas – stlačený zemní plyn) lze vycházet z platných norem pro CNG ČSN ISO 15403-1 a ČSN 65 6514, která je obdobou švédského standardu SS 15 54 38. Norma udává dvě označení pro bioplyn typ LH, bioplyn s obsahem metanu 96 - 98 % a typ H s obsahem metanu 95 - 99 %.

Čistota bioplynu má podstatný vliv na životnost motoru. Pro nákladné čištění bioplynu je snahou využít Stirlingův motor a tím nahradit konvenční spalovací motor pohánějící kogenerační jednotky. Výhodou Stirlingova motoru je vnější spalování, při kterém produkty nepřicházejí do kontaktu s prostředím válce (válec je poháněn pracovním plynem – héliem), takže příliš nezáleží na čistotě bioplynu. [5,9]

V zahraničí se bioplyn využívá ve většině evropských zemí pro přímé spalování nebo v kogeneračních jednotkách. Využití v dopravě je hlavně ve Švédsku, kde má bioplyn dlouhou tradici a prodává se pod názvem komogas. Dalšími zeměmi využívající bioplyn jsou například Německo, Švýcarsko, Francie a Island. [1]

U bioplynu nedochází k nárůstu CO₂, naopak je zde největší úspora jak při výrobě tak při distribuci oproti ostatním biopalivům. Nevýhodou je omezené množství, lokální výroba a nákladné čištění (na kvalitu zemního plynu). [5,10]

2.4. Rostlinné oleje a jejich estery

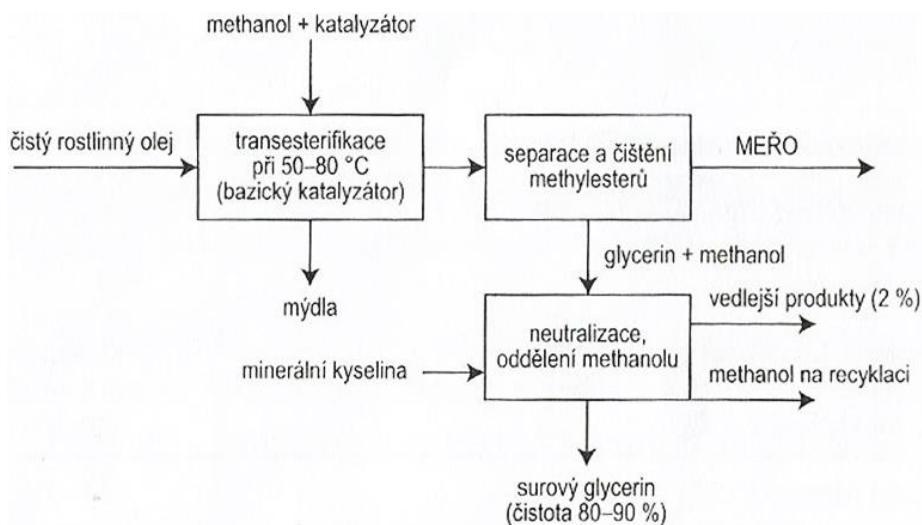
Rostlinné oleje se získávají lisováním semen olejnin a následnou filtrací. Lisování probíhá převážně technologií lisování „zastudena“ a zbytky lze poté zkrmovat. Dalším krokem po lisování může být extrakce oleje ze semen pomocí organických rozpouštědel, která umožňuje větší výtěžnost, ale už nelze použít zbytky ke zkrmování. V ČR se jedná především o řepkový olej, v tropickém pásmu např. o palmový olej a další. Porovnání parametrů některých olejů s naftou je znázorněn v Tab. 1. Čistý rostlinný olej se v dopravě používá jen minimálně. [5,10]

Parametr		Olej					Motorová nafta
		řepkový	slunečnicový	lněný	sójový	podzemnicový	
měrná hmotnost	g.cm ⁻¹	0,920	0,927	0,935	0,934	0,925	0,855
bod vzplanutí	°C	317	316	-	330	333	> 55
bod tuhnutí (zákalu)	°C	0 + -2	-16 + -18	-18 + -27	-8 + -18	-2 + -3	0 + -2
kinematická visk. (20°C)	mm ² .s ⁻¹	97,7	65,8	51	63,5	84,3	3 + 8
spalné teplo	MJ.kg ⁻¹	40,56	39,81	39,81	39,73	39,99	45,02

Tab. 1 Porovnání rostlinných olejů s motorovou naftou [5]

2.4.1. Výroba methylesterů mastných kyselin

Pro běžné naftové motory se upravuje vylisovaný a vyčištěný olej esterifikací (následné reakce oleje s methanolem a katalyzátorem za vzniku methylesteru a glycerinu), při níž se pomocí alkoholu štěpí velké molekuly oleje na menší, tím dochází ke snížení viskozity a lepší tvorbě směsi paliva se vzduchem, což odpovídá použití motorové nafty. Postup výroby methylesteru řepkového oleje je znázorněn na Obr. 25.



Obr. 25 Schéma výroby methylesteru řepkového oleje [10]

Řepkový olej je v České republice a Evropě nejvíce používaným rostlinným olejem pro výrobu bionafty (MEŘO - methylester řepkového oleje), díky vysoké výhřevnosti a obsahu oleje v semenech (40-50 %). V zahraničí se MEŘO značí RME. Esterifikací různých olejů (zkratka udává druh použitého oleje) jsou vyráběny methylestery:

- RME (Rapes-Methyl-Ester) methylester řepkového oleje MEŘO,
- SME (Sunflower-Methyl-Ester) methylester slunečnicového oleje,
- SOME (Soya-Methyl-Ester) methylester ze sojových bobů,
- FAME (Falty-acid-Methyl-Ester) methylester mastných kyselin,
- VUOME (Vaste Used Oil-Methyl-Ester) methylester z použitých fritovacích olejů.

Z RME byla vyvinuta směsná motorová nafta, která je směsným palivem methylesteru s ropnými uhlovodíky. Skládá se ze tří složek, jednu tvoří methylester, druhou tvoří lehké nebo těžké alkyly (nesnižují biologickou odbouratelnost, dobré fyzikálně – chemické a palivové vlastnosti, problém je nízká mazivost) a třetí střední bezsirný destilát (vzhledem k výhřevnosti zvyšuje výkon a snižuje spotřebu, nedostatkem je nízká biologická odbouratelnost a vysoké emise). [5,9,10]

V některých zemích se prodává palivo, obsahující 100 % RME (MEŘO) nazývané biodiesel [bionafta] (SRN, Rakousko, Švýcarsko).

Nyní se na trh v ČR dodává **100 % MEŘO** také pod názvem biodiesel, ale není to pravidlem, často je tento název používán i pro **směsnou motorovou naftu** (motorová nafta a methylester řepkového oleje) s obsahem methylesteru minimálně 30 %, u které se lze setkat také s názvem ekodiesel. Dále je na trhu směs motorové nafty s přídavkem MEŘO do 7 % objemových, která je běžně označována jako **nafta motorová**. [5,13]

2.4.2. Spalovací motory využívající FAME - RME (MEŘO)

Podle normy ČSN EN 14214 by neměl existovat rozdíl mezi FAME a RME (MEŘO), ale v praxi jsou rozdíly značné (u FAME se mohou používat méně vhodné oleje), hlavně po stránce působení na motor a olejovou náplň.

Konstrukční změny ve vznětových motorech

Přímé použití FAME je možné jen ve speciálně upravených motorech z důvodu zanášení vstřikovacích trysek (snížení výkonu až o 5 % oproti motorové naftě, zvýšení spotřeby paliva), agresivnosti vůči těsněním a rozvodům palivových systémů, tvorbě usazenin v motoru, snížení viskozity a následné tvorbě kalů v motorovém oleji. Je nutno provést tyto úpravy:

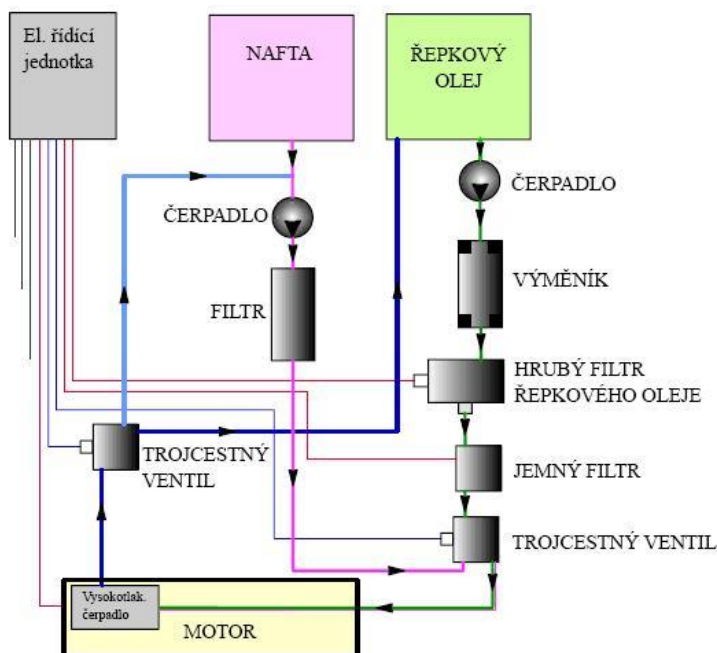
- dekarbonizace motoru (vadnutí výkonu motoru, u motorů s přímým vstřikem paliva by mohlo dojít k znehybnění prvního případně i druhého pístního kroužku s následným zadřením motoru), výhodnější je velkoobjemový motor se stálým teplotním zatížením,
- dimenzace vstřikovacího systému (úprava průtokových průměrů, vzhledem k snížení výkonu v celém rozsahu otáček - roste spotřeba paliva),
- antikoroziční nádrž,
- aditivace (vysoká viskozita, povrchové napětí),
- vhodné materiály na těsnění a rozvody paliva (agresivnost),
- nutnost zkrácení intervalů na výměnu oleje (želatinizace), použití kvalitnějších olejů,
- nutnost do-aditivace (depresanty - hlavně v zimních měsících, DD aditiva-detergenty, disperganty, AA aditiva – antioxidanty, antikoroziční),
- doporučená je stálost teplotního režimu a výkonového zatížení motoru (režim střídání akcelerace a decelerace s následným stáním je nejhorší pro všechny typy motorů i s tím nejkvalitnějším olejem),
- lze doporučit upřednostnění MEŘO před FAME (na výrobu se používají méně kvalitní oleje).

2.4.3. Spalovací motory využívající rostlinné oleje

Přímé použití rostlinných olejů v běžném vznětovém motoru není možné, vzhledem k viskozitě a bodu vzplanutí. Viskozitu je možné snížit zahříváním oleje a úpravou vstřikovacích trysek. Problém je též v tvorbě poměrně velkých kapek oleje a jeho nízké

odpařitelnosti, což vede k tvorbě karbonu, znehybnění prvního případně i druhého pístního kroužku a následnému zadření motoru. Je nutné použít aditiva, která snižují povrchové napětí paliva. Proto přímé použití je možné jen ve speciálních motorech. Existují již možnosti přestavby motorů na řepkový olej, většinou se jedná o **dvoupalivové systémy** (Obr. 26), které používají na rozběh a doběh klasickou motorovou naftu. Neupravené rostlinné oleje lze použít v **Elsbettově duotermickém motoru**, který díky originálnímu vstřikování a spalování umožňuje spalování rafinovaného oleje získávaného studeným lisováním jak v čisté formě tak ve směsi s motorovou naftou v libovolném poměru (viz. kapitola 1.6.). [9,10]

Vozidlo s dvoupalivovým systémem má dvě nádrže, v jedné je motorová nafta a v druhé rostlinný olej. Pokud se uvede přepínačem provoz motoru na rostlinný olej, tak výměník tepla (chladicí kapalina - rostlinný olej) ohřívá olej přiváděný z nádrže. U některých systémů je olej při startu motoru ohříván elektrickým topným tělesem. Při dosažení teploty 60 °C elektronická jednotka přepne trojcestné ventily tak, aby byl olej přiveden do vysokotlakého čerpadla. Druhý ventil propojí přepad z čerpadla s příslušnou nádrží. Řidič vozidla musí přibližně jednu minutu před zastavením motoru přepnout přepínač na naftu, aby se nízko- i vysokotlaká část palivového systému stihla naplnit naftou. [8]



Obr. 26 Dvoupalivový systém [5]

3. Porovnání konstrukčních požadavků motorů na biopaliva

Pro využití biopaliv ve spalovacích motorech je nutné provést ve většině případů konstrukční změny spalovacích motorů. Nejvíce využívanými biopalivy v dopravním sektoru ČR jsou bioethanol a methylester z mastných kyselin FAME (MEŘO).

3.1. Porovnání konstrukčních požadavků motorů na bioethanol

Bioethanol patří k perspektivním biopalivům. V porovnání s benzínem má bioethanol menší výhřevnost (o 40 %) a to má za následek **vyšší spotřebu paliva**. Při vyšším obsahu bioethanolu v palivu se musí **palivový systém předimenzovat**. Vyšší skupenské výparné teplo působí problémy za nízkých teplot – **potíže se studeným startem**. Někdy se používá pomocné zařízení pro spouštění motoru za nízkých teplot nebo se motor spouští na benzín. Problémy vyvolává i malé množství vody v palivu (absorpce vody z ovzduší). Bioethanol způsobuje **korozí** některých součástí, hlavně palivového systému motoru. Tuto vlastnost lze zmírnit přidáním inhibitorů koroze. Na plasty a pryže působí agresivně. [5,7]

U zážehových motorů se bioethanol používá do 7 % jako **nízkoprocentní příměs** do automobilového benzínu. Tato koncentrace mění parametry benzínu jen minimálně a není potřeba motor upravovat. **Vysokoprocentní směsi** do 85 % objemu bioethanolu lze spalovat ve vozech označených FFV. Řídící jednotka z hodnot koncentrace kyslíku změřených sondou ve výfukových plynech dostane informaci o množství bioethanolu v palivu a přizpůsobí dávkování paliva, předstihu zážehu a další parametry. **Palivo E85** lze spalovat i v běžných motorech, ale musí se provést úprava řídicí jednotky motoru. Tato úprava se pohybuje kolem 5 až 15 tisíc Kč. [5,7]

Běžný zážehový motor s upravenou řídicí jednotkou s využitím paliva E85 byl testován na Katedře vozidel a pozemní dopravy Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze. K vyhodnocení spotřeby paliva a produkce emisí přepočtených na jeden ujetý

kilometr pro palivo Natural 95 a E85 bylo využito simulace evropského jízdního cyklu. Vyhodnocení testu ukázalo na vyšší spotřebu paliva E85. **Při kombinovaném způsobu provozu byla spotřeba E85 až o 46,4 % vyšší oproti spotřebě Natural 95. Přínos byl v poklesu produkce škodlivých emisí (viz. Tab. 2), produkce oxidu uhelnatého při spalování poklesne o 30 %, nespálených uhlovodíků o 21 % a produkce oxidů dusíku poklesne o 31 %. Relativně nízký pokles byl zaznamenán v produkci oxidu uhličitého, vyšší pokles je třeba hledat ve způsobu výroby ethanolu. [7]**

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

Tab. 2 Spotřeba paliva a produkce škodlivých emisí na ujetý kilometr pro N95 a E85 [7]

Vzhledem k odlišným parametrům **bioethanolu a motorové nafty** (nízká vznětlivost ethanolu, atd.) nelze bioethanol spalovat v běžných vznětových motorech ani po použití aditiv. U vznětových motorů je nutné provést úpravy. Úprava spočívá ve **zvýšení kompresního poměru** a změně **dimenzace vstřikovacího systému** vzhledem k nízké výhřevnosti ethanolu. V tomto motoru už nelze spalovat běžnou motorovou naftu. Používá se **palivo E95**.

Porovnání vlivu paliva na výkon motoru, spotřebu paliva a produkci škodlivých emisí byl testován v Ústavu pro výzkum motorových vozidel TUV ÚVMV na traktorovém motoru. Byly zkoušeny dvě varianty paliva, **první s obsahem 95 % ethanolu a 5 % přísad** pro vznícení A VOCD a **druhá s obsahem 85 % ethanolu a 15 % přísad** pro vznícení LC3027. Měřené parametry byly stanoveny v souladu s homologačními předpisy. V porovnání s provozem na motorovou naftu došlo k **poklesu maximálního výkonu i točivého momentu**. To lze odstranit zvýšením vstřikovací dávky paliva, nebo je nutné vyměnit vstřikovací systém.

Měrná **spotřeba paliva vzroste** díky nízké výhřevnosti ethanolu stejně jako u paliva E85. **Produkce emisí oxidu uhličitého a nespálených uhlovodíků výrazně vzroste a je nutné použít oxidační katalyzátor. Dochází k mírnému nárůstu produkce oxidů dusíku, ta může být snížena recirkulací spalin. Přínos je v poklesu kouřivosti motoru.** Hlavním přínosem je opět snížení oxidu uhličitého při způsobu výroby ethanolu. Procentuální změna provozních parametrů v porovnání s provozem na motorovou naftu je zobrazena v Tab. 3. [7]

Palivo	P_e^a	M_t^b	m_{pe}^c	Kouřivost ^d	CO ^e	HC ^f	NO _x ^g	PT ^h
E95 -AVOCET	-35,9 %	-37 %	+69,6 %	-3,8 %	+199 %	+562 %	+5 %	-34 %
E85 -LC3027	-33,3 %	-34,5 %	+63,7 %	-97 %	+126 %	+287 %	+33 %	-51 %

^a P_e – výkon motoru v kW, ^b M_t – točivý moment motoru v Nm, ^c m_{pe} – měrná spotřeba paliva g/kWh, ^dkouřivost – kouřivost motoru měřená opacimetrem v 1/m, ^eCO – měrná produkce oxidu uhelnatého v g/kWh, ^fHC – měrná produkce nespálených uhlovodíků g/kWh, ^gNO_x – měrná produkce oxidů dusíku v g/kWh, ^hPT – měrná produkce pevných částic v g/kWh

Tab. 3 Procentuální změna parametrů v porovnání s provozem na motorovou naftu [7]

Možnost přimíchávání bioethanolu do motorové nafty byla zkoušena na Katedře vozidel a pozemní dopravy Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze na motoru Zetor 7701, kde byly naměřeny charakteristiky motoru pro motorovou naftu a směsné palivo složené z **80 % motorové nafty a 20 % ethanolu**. Test byl vyhodnocen pomocí simulace NRTC (Non Road Transient Cycle), simulace probíhala pomocí speciálního programu vyvinutého na Katedře vozidel a pozemní dopravy. **Výsledkem testu (Tab. 4) je pokles škodlivých emisí hlavně v produkci nespálených uhlovodíků 18,75 %, oxidu dusíku 17,1 % a oxidu uhelnatého 12,07 %. Hodnoty oxidu uhličitého zůstávají stejné. Podstatně se zvýšila měrná spotřeba paliva vzhledem k nízké výhřevnosti ethanolu.** [7]

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

Tab. 4 Průměrné měrné emise a spotřeba paliva při simulaci NRTC cyklu pro motorovou naftu a motorovou naftu s 20 % bioethanolu [7]

Další možností je vstřikování bioethanolu a nafty samostatnými vstřikovači do spalovacího prostoru, anebo nasátí směsi bioethanolu se vzduchem a vstříknutí dávky nafty. [7,15]

Rozšíření využití bioethanolu u zážehových motorů nepřináší větší problémy. Řešením je zvyšování podílu vozidel FFV, cenové zvýhodnění paliva E85, dotace na vozidla FFV a povinné přimíchávání bioethanolu do benzínu. U vznětových motorů zůstává bioethanol okrajovou záležitostí, vzhledem k nákladné přestavbě motorů na palivo E95. Přimíchávání bioethanolu do motorové nafty sebou nese velké problémy s udržení homogenity směsi, a proto konkurovat MEŘO nemůže. Nyní je rozšíření ethanolu omezeno výrobou z potravinářských plodin technologií biopaliv první generace, čímž by mohl nastat problém s působením na cenu potravin obecně. Budoucnost rozšíření bioethanolu lze očekávat od výroby z lignocelulózy technologií biopaliv druhé generace, která je sice složitější, ale přináší větší snížení skleníkových plynů a z ekonomického hlediska bude celkově také výhodnější. [7]

3.2. Porovnání konstrukčních požadavků motorů na estery rostlinných olejů a čisté rostlinné oleje

K výrobě bionafty se v ČR používá řepkový olej. Výroba methylesterů rostlinných olejů je ošetřena normou ČSN EN 14214. Fyzikální vlastnosti methylesteru řepkového oleje jsou velmi podobné parametrům motorové nafty, proto je jeho využití ve vznětových motorech nasnadě. Porovnání parametrů paliv na bázi rostlinných olejů s naftou je v Tab. 5.

Parametr		Motorová nafta	Methylester	Řepkový olej
kinematická viskozita [mm ² ·s ⁻¹]	-25 °C	5-30		300
	0 °C	3-14	10	180-220
	20 °C	2-8	6,3-8,1	65-100
	100 °C	0,7-2	1,7	6-8
výhřevnost hmotnostní [MJ·kg ⁻¹]		42,5	37,1-40,7	37,4
Výhřevnost objemová [MJ·l ⁻¹]		35,2	32,7	34,4
cetanové číslo		45	54-55	35-50
měrná hmotnost [g·cm ⁻³]		0,8-0,86	0,87-0,88	0,91-0,94
bod vzplanutí [°C]		min. 55	130	300-330
bod tuhnutí [°C]		-12-0	-7	-18-0
molekulová hmotnost		200	850-900	300

Tab. 5 Porovnání parametrů paliv na bázi rostlinných olejů s naftou [9]

Methylester má dobrou vznětlivost, mazací schopnost a dobrou biologickou odbouratelnost. Při použití methylesteru řepkového oleje v naftovém motoru s přímým vstřikem paliva dochází k těmto změnám oproti běžné motorové naftě. Změna paliva způsobuje **pokles výkonu asi o 5 %**, vzhledem k nižší výhřevnosti MEŘO a tím dochází ke **zvýšení spotřeby paliva asi o 4 %**. Podmínky dlouhodobého provozu způsobují v důsledku průniku paliva do motorového oleje při použití methylesteru zhoršení vlastností oleje, proto je nutné lhůty výměny oleje zkrátit na polovinu a používat oleje jen vysoce kvalitní. Startovatelnost motoru za nízkých teplot do -3°C je srovnatelná se startovatelností motoru s naftou NM -22 (zimní), pod touto teplotou je špatná. Změnou v emisích výfukových plynů je nepříjemný zápach, výfukové plyny se obtížně rozptylují, **obsah CO a HC je prakticky stejný, ale dochází k nárůstu NO_x , snížení kouřivosti je asi o 50 %** (palivo lépe shoří). **Produkce CO_2 je nižší na výstupu než na vstupu**, nevzniká skleníkový efekt. U MEŘO je výhodou, že využívá k výrobě biopaliva tuzemský zdroj a vzhledem k biologické odbouratelnosti ho lze použít k provozu v chráněných oblastech a centrech měst. [5,9,10]

Rostlinný olej v čistém stavu je v současné době používán jen zřídka, hlavně **ve speciálních motorech**. V České republice se jedná převážně o **řepkový olej**. Řada firem již nabízí možnost **přestavby** vozidel na spalování čistého rostlinného oleje. Jedná se především o dvoupalivové systémy, které používají na rozběh a doběh motoru klasickou motorovou naftu. Čistý rostlinný olej lze spalovat také přímo v Elsbettově duotermickém motoru. Fyzikální vlastnosti rostlinných olejů jsou značně rozdílné a mluví ve prospěch motorové nafty. Pokud se zohlední hledisko ekologické, vychází rostlinný olej oproti motorové naftě lépe a to i z energetického hlediska výroby rostlinných olejů. [5]

Výzkum prováděný na Katedře vozidel a pozemní dopravy na motoru Zetor 7701 s cílem posoudit změnu spotřeby a produkce škodlivých emisí při provozu na **rostlinný olej a motorovou naftu** ukazuje následující výsledky. K měření byla použita simulace motorového cyklu NRTC. Výsledky spotřeby paliva a produkce jednotlivých složek emisí při provozu na motorovou naftu a rostlinný olej jsou zobrazeny v Tab. 6. **Většina sledovaných parametrů u vznětového motoru se změnila k horšímu, výkon poklesl o 5 %, měrná spotřeba paliva vzrostla o 16,3 %, produkce měrných emisí CO_2 vzrostla o 8,9 %, produkce měrných emisí HC vzrostly o 19,7 %, emise NO_x o 24 %**. U některých parametrů motoru došlo naopak ke

zlepšení. Produkce měrných emisí CO klesla o 22,9 % a kouřivost klesla o 20 %. Změny těchto parametrů nijak nevylučují použití rostlinného oleje ve vznětových motorech. **U běžných vznětových motorů** jsou pro použití rostlinného oleje **nutné konstrukční úpravy** (viz. kapitola 2.4.3.). I přes tyto zmíněné problémy s použitím řepkového oleje ve vznětových motorech, je možné brát tento olej jako alternativu paliva do specializovaného provozu. Celkové náklady na výrobu řepkového oleje jsou nižší než u methylesteru řepkového oleje, proto má toto palivo větší potenciál ke snížení skleníkových plynů. Pěstování řepky olejné má význam i pro rozvoj zemědělské výroby. [8]

	nafta	řepkový olej
Spotřeba paliva na cyklus [kg]	1,779	2,007
Průměrná měrná spotřeba paliva [g·kWh ⁻¹]	275,755	320,691
Produkce emisí CO ₂ na cyklus [kg]	5,411	5,369
Průměrné měrné emise CO ₂ [g·kWh ⁻¹]	829,322	903,14
Produkce emisí CO na cyklus [g]	165,373	116,14
Průměrné měrné emise CO [g·kWh ⁻¹]	25,347	19,537
Produkce emisí HC na cyklus [g]	1,025	1,12
Průměrné měrné emise HC [g·kWh ⁻¹]	0,157	0,188
Produkce emisí NOx na cyklus [g]	42,71	48,258
Průměrné měrné emise NOx [g·kWh ⁻¹]	6,547	8,118
Průměrná kouřivost na cyklus [m ⁻¹]	0,04	0,032

Tab. 6 Spotřeba a emise při simulaci NRTC cyklu při použití motorové nafty a řepkového oleje [8]

Závěr

Bakalářská práce posuzuje konstrukční požadavky spalovacích motorů pro použití biopaliv. V první části je zmíněna historie a vývoj konstrukce spalovacích motorů, rozdělení spalovacích motorů a některé konstrukce speciální motorů. Další část je zaměřena na nejběžněji používaná biopaliva, jejich výrobu z hlediska energetického a ekologického. Dále jsou popsány konstrukční změny konvenčních spalovacích motorů pro využití biopaliv. Poslední část se zabývá porovnáním konstrukčních požadavků spalovacích motorů na vybraná biopaliva používaná v České republice - bioethanol, MEŘO a čistý řepkový olej. Porovnáním biopaliv na základě literárních zdrojů a výzkumu prováděném na TÜV ÚVMV a TF ČZU v Praze, publikovaném v odborném tisku, byly zjištěny tyto výsledky.

Bioethanol je jedno z perspektivních biopaliv, což ukazují i zkušenosti ze zahraničí. Rozšíření využití bioethanolu u zážehových motorů nepřináší větší problémy. Řešením je zvyšování podílu vozidel FFV, cenové zvýhodnění paliva E85, dotace na vozidla FFV a povinné přimíchávání bioethanolu do benzínu. U vznětových motorů zůstává bioethanol okrajovou záležitostí, vzhledem k nákladné přestavbě motorů. Přimíchávání bioethanolu do motorové nafty sebou nese velké problémy s udržením homogenity směsi. Nyní je rozšíření bioethanolu omezeno výrobou z potravinářských plodin technologií biopaliv první generace. Budoucnost rozšíření bioethanolu lze očekávat od výroby z lignocelulózy technologií biopaliv druhé generace.

Při srovnání MEŘO s motorovou naftou se dospělo k tomuto závěru. MEŘO má podobné parametry jako motorová nafta, a proto ho lze použít ve vznětových motorech po provedení konstrukčních úprav. Konstrukční úpravy spočívají v dimenzaci vstřikovacího systému, přizpůsobení palivové soustavy agresivitě paliva atd. Proti běžné motorové naftě způsobuje MEŘO pokles výkonu, zvýšení spotřeby a degradaci olejové náplně. CO₂ je nižší na výstupu než na vstupu, nevzniká skleníkový efekt. U MEŘO je výhodou, že využívá k výrobě tuzemský zdroj a vzhledem k biologické odbouratelnosti ho lze použít v chráněných oblastech a městských centrech.

Řepkový olej v čistém stavu se používá ve speciálních motorech, u běžných vznětových motorů jsou nutné konstrukční úpravy. Výsledky ukázaly, že použitím řepkového

oleje ve vznětovém motoru v porovnání s klasickou naftou, se většina parametrů změnila k horšímu. I přes tyto zmíněné problémy lze řepkový olej brát jako alternativu do specializovaného provozu. Vzhledem k nižším nákladům na výrobu má řepkový olej oproti MEŘO větší potenciál ke snížení skleníkových plynů.

Z technického hlediska lze biopaliva použít jako paliva ve speciálních spalovacích motorech nebo v konvenčních spalovacích motorech, u kterých je nutné provést konstrukční změny. V dnešní době většina automobilek nabízí motory upravené k používání některých biopaliv a případně konstrukční změny k používání biopaliv řeší speciální servisy.

Výzkumy při použití biopaliv poukazují na úsporu emisí skleníkových plynů, ovšem toto hledisko není tak jednoznačné. Některé studie se značně liší, hlavně při zohlednění analýzy celého životního cyklu výroby biopaliv a jejich udržitelnosti. V současné době u biopaliv druhé generace jsou náklady na výrobu vyšší než u biopaliv první generace, vzhledem k jejich energeticky náročné výrobě. Proto se hledají další technologie ke snížení nákladů. Z hlediska ekologického mají biopaliva druhé generace větší potenciál ke snížení emisí skleníkových plynů.

Aby biopaliva mohla konkurovat palivům fosilním, musí být kvalitní, dostupná a konkurenceschopná. K tomu by měla přispět i legislativa zohledňující místní specifika jednotlivých států EU. S tím souvisí také vybudování distribučních sítí nových biopaliv. Jednoznačným kladem biopaliv je snížení závislosti na dovozu fosilních paliv, využívání domácích zdrojů a zároveň podpora zemědělské výroby.

Do budoucna lze očekávat, že nové technologie a výzkumy postupně dořeší ekonomický problém biopaliv, zatím se nebude jednat o úplné nahrazení fosilních paliv, ale v horizontu několika let se biopaliva budou používat převážně jako jejich příměsi.

Seznam literatury

- [1] Alternativní pohonné hmoty: Bioplyn. CNG [online]. 2009 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://www.cng.cz/cs/alternativni-pohonne-hmoty-125/>
- [2] BURIANOVÁ, KYNČL. 1000 Automobilů. Praha: Knižní klub, 2006. ISBN 80-242-1733-3.
- [3] ELSBETT, Denis. *ELSBETT-MUSEUM* [online]. 2005 [cit. 2015-03-1]. Dostupné z: <http://www.elsbett-museum.de/index.html>
- [4] HEGELE, Daniel. Stirlingův motor a biomasa - přesvědčivá kombinace. *Biom: biomasa, biopaliva, bioplyn, pelety, kompostování a jejich využití* [online]. 2009-09-14 [cit. 2015-02-24]. ISSN: 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/stirlinguv-motor-a-biomasa-presvedciva-kombinace>
- [5] HÖNIG, Vladimír. *Paliva a maziva* [CD-ROM]. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013. ISBN 978-80-213-2432-9.
- [6] HROMÁDKO, J. Advanced knowledge in the use of bioethanol [Moderní poznatky v oblasti využití bioetanolu]. *Listy cukrovarnické a řepářské*. Praha: VUC Praha, a.s., 2009, roč. 130, 9-10, s. 323-327. ISSN: 12103306. Dostupné z: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84908115892&partnerID=40&md5=7059bbcfa1a080e07eda963b7e36504f>
- [7] HROMÁDKO, J., Hromádka, J., Miler, P., Hönig, V., Štěrba, P. Use of bioethanol in combustion engines [Využití bioethanolu jako paliva ve spalovacích motorech]. *Chemické listy*. Praha: Česká společnost chemická, 2011, roč. 105, č. 2, s. 122-128. ISSN 12103306. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_02_122-128.pdf
- [8] HROMÁDKO, Jan, V HÖNIG, J HROMÁDKO, P MILER a J KRUPÍČKA. ANALÝZA ŠKODLIVÝCH EMISÍ VZNĚTOVÉHO MOTORU PŘI PROVOZU NA ROSTLINNÝ OLEJ. *CHEMagazín: časopis pro chemicko-technologickou a laboratorní praxi* [online]. Pardubice: Ing. Miloslav Rotrekl, 2010, roč. 20, č. 1 [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/chxx_1_cl5.pdf

- [9] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [10] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 158 s. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [11] HRUŠKA, Miroslav. *Parní stroj* [online]. [2013] [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://www.parnistroj.czweb.org/>
- [12] KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohon automobilů*. 1. vyd. Praha: BEN, 2004, 231 s. ISBN 80-7300-127-6.
- [13] Kde načepuji bionaftu. *Biopalivafrčí* [online]. 2015 [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: <http://biopalivafrci.cz/mapy/kde-nacepuji-bionaftu/>
- [14] *Kogenerační jednotky Tedom - kogenerace, trigenerace, plynová tepelná čerpadla* [online]. [2015] [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/>
- [15] LAURIN, Josef. Uplatnění biopaliv k pohonu vozidlových motorů. [online]. Liberec: Technická univerzita, 2007 [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2007/2007_015_01.pdf
- [16] Mazda vrátí Wankel. *Autosalon na TV Prima* [online]. 2014 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://autosalon.iprima.cz/clanky/mazda-vrati-wankel>
- [17] MOTEJL, Vladimír. *Učebnice pro řidiče a opraváře automobilů*. 3. vyd. Brno: Littera, 2004, 610 s. ISBN 80-85763-24-9.
- [18] *Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2013 [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument120572.html>
- [19] Parní stroj. In: *Wikipedia: otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 26. 1. 2015 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Parn%C3%AD_stroj

- [20] PAVLÍČEK, Martin. *Parní pístový motor* [online]. Brno, 2010 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=26656.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [21] POSKOČIL, Milan. *Paliva získávaná z biomasy* [online]. Brno, 2008 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5249.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [22] REMEK, Branko. *Automobil a spalovací motor: historický vývoj*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3538-2.
- [23] ROULE, Jaroslav. *Využití biomasy pro získávání elektřiny v ostrovních provozech* [online]. Brno, 2013 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=63741.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [24] SCHERFLING, Saskia. *Zero Emission Engine: An Economic and Environmental Benefit*. Berlin, 2007. Dostupné z: https://projekt.beuth-hochschule.de/fileadmin/projekt/sprachen/sprachenpreis/erfolgreiche_beitraege_2007/2._Preis_07_-_Zero_Emission_Engine_-_Saskia_Scherfling.pdf
- [25] *Stirlingův motor* [online]. 2010-2014 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://stirlingmotor.cz/>
- [26] ŠTETINA, Josef. Pracovní cykly spalovacích motorů. Brno, 2009. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/vyuka/sat/SeminatAT2009-04.pdf>. Seminář aplikované termomechaniky. VUT Brno.
- [27] ŠVANDOVÁ, Kateřina. Druhy motorů. Auta ve škole [online]. 2010 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: http://autaveskole.jaknahmyz.cz/druhy_motoru
- [28] VAŠÍČEK, Jiří. Wankelův motor. *Mazda RX-7* [online]. 2006 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://rx-7.wz.cz/motor.html>
- [29] VOKÁČ, Luděk. Wankelův rotační motor. Jak to vlastně funguje?. *IDnes* [online]. 2008 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/wankeluv-rotacni-motor-jak-to-vlastne-funguje-f47-/ak_aktual.aspx?c=A080401_015114_ak_aktual_vok

[30] Wankelův motor. In: *Wikipedie: otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Wankel%C5%AFv_motor

[31] ZIKMUND, Martin. Motory. *Auta ve škole* [online]. 2010 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://www.fyzika.webz.cz/index.php?clanek=5&title=Motory>

Seznam obrázků

Obr. 1	Znázornění přeměny energie ve spalovacím motoru [26]	3
Obr. 2	Princip rohatkového pohonu [10]	7
Obr. 3	Cugnotův „Fardier“ [10].....	7
Obr. 4	Škoda Sentinel [9].....	8
Obr. 5	Schéma parního stroje [11].....	9
Obr. 6	Schéma parního motoru ZEE02 [10].....	10
Obr. 7	Řez parním motorem ZEE03 [24]	11
Obr. 8	Stroj Gottlieba Daimlera dřevěné konstrukce [2].....	13
Obr. 9	Karburátor – Maybach [9].....	13
Obr. 10	Oběh čtyřdobého motoru [27].....	14
Obr. 11	Oběh dvoudobého motoru [9].....	15
Obr. 12	Oběh vznětového motoru [27].....	18
Obr. 13	Víření paliva a vzduchu [3].....	19
Obr. 14	Princip činnosti Wankelova motoru [28].....	20
Obr. 15	Princip činnosti Stirlingova motoru modifikace beta [9]	22
Obr. 16	Modifikace alfa [25].....	22
Obr. 17	Modifikace gama [25].....	22
Obr. 18	Výrobní procesy při výrobě biopaliv z biomasy [5].....	24
Obr. 19	Úspora v produkci CO ₂ pro biopaliva 1. a 2. generace [9].....	25
Obr. 20	Způsoby technologie výroby biopaliv [9]	26
Obr. 21	Výroba z lignocelulózy biomasy [21]	27
Obr. 22	Výroba z biomasy obsahující škrob [21].....	27
Obr. 23	Výroba z biomasy obsahující jednoduché cukry [21].....	27
Obr. 24	Schéma výroby bioplynu [5]	31
Obr. 25	Schéma výroby methylesteru řepkového oleje [10].....	33
Obr. 26	Dvoupalivový systém [5]	36

Seznam tabulek

Tab. 1	Porovnání rostlinných olejů s motorovou naftou [5]	33
Tab. 2	Spotřeba paliva a produkce škodlivých emisí na ujetý kilometr pro N95 a E85 [7]	38
Tab. 3	Procentuální změna parametrů v porovnání s provozem na motorovou naftu [7].....	39
Tab. 4	Průměrné měrné emise a spotřeba paliva při simulaci NRTC cyklu pro motorovou naftu a motorovou naftu s 20 % bioethanolu [7]	39
Tab. 5	Porovnání parametrů paliv na bázi rostlinných olejů s naftou [9]	40
Tab. 6	Spotřeba a emise při simulaci NRTC cyklu při použití motorové nafty a řepkového oleje [8]	42

Seznam zkratk

MEŘO	methylester řepkového oleje
RME	Methylester řepkového oleje (Rapes-Methyl-Ester)
FAME	Methylester mastných kyselin (Falty-acid-Methyl-Ester)
VUOME	Methylester z použitých fritovacích olejů (Vaste Used Oil-Methyl-Ester)
FFV	Vozy schopné spalovat benzín nebo ethanol (Flexible Fuel Vehicles)
ZEE	Motor s nulovými emisemi (Zero Emission Engine)
E85	Směs 85 % ethanolu a 15 % benzínu
E95	Směs 95 % ethanolu a 5 % aditiv podporujících vznětlivost
N95	Benzin 95 Natural
bioETBE	Bioethyltercbuthylether
LPG	Propan-butan ve zkapalněné formě (Liquefied Petroleum Gas)
CNG	Stlačený zemní plyn (Compressed Natural Gas)
LNG	Zkapalněný zemní plyn (Liquefied Natural Gas)
NM	Nafta motorová

TF ČZU	Technická fakulta České zemědělské univerzity v Praze
TÜV ÚVMV	Ústav pro výzkum motorových vozidel společnosti TÜV
NRTC	Dynamická zkouška nesilničních strojů (Non Road Transient Cycle)
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
NO _x	Oxidy dusíku
HC	Uhlovodíky
H ₂ S	Sirovodík
CH ₄	Methan
N ₂	Dusík
EC	Evropská směrnice (European Commission)
SS	Švédská norma (Svensk Standard)
ČSN	Česká technická norma
ISO	Mezinárodní norma (International Organization for Standardization)