

Obsah

Anotace.....	5
Prohlášení.....	7
Poděkování.....	9
1. Úvod.....	13
2. Rostlinné oleje.....	14
2.1. Použití čistého rostlinného oleje.....	14
2.2. Použití bionafty.....	17
2.2.1. Bionafta první generace.....	18
2.2.1.1. Změny v emisích při použití bionafty I. generace.....	18
2.2.2. Bionafta druhé generace.....	19
2.3. Výroba bionafty první generace.....	21
2.3.1. Výroba rostlinného oleje.....	21
2.3.2. Výroba MEŘO.....	23
2.4. Bilance.....	26
2.4.1. Energetická bilance.....	26
2.4.2. Ekologická bilance.....	26
3. Závěr.....	28
3.1. Čistý rostlinný olej.....	28
3.2. Bionafta první a druhé generace.....	28
4. Seznam použité literatury.....	30
5. Přílohy.....	32

1. Úvod

Hospodářský růst a stoupající životní úroveň vyspělých částí světa s sebou přináší velké množství nových možností, jejichž cílem je umožnit lidem stíhat rostoucí tempo chodu světa, ale také stíhat toto tempo s patřičným komfortem. Jedním z výrazných rysů viditelných na každém rohu je exponenciální nárůst počtu osobních dopravních prostředků. Až do poměrně nedávné doby (druhá polovina 20. století) nebyl důvod ke znepokojení, naopak. Obchod s ropou a jejími frakcemi hýbe úspěšně světem do současnosti, nicméně na celý problém je nahlíženo v jiném světle. Spolu s globalizací a stoupající životní úrovní se dostaly do povědomí společnosti i pojmy jako globální oteplování, skleníkové plyny, kyselá dešť, stoupání hladiny moří atd. Logickou odpovědí na tato fakta je hledání možností - alternativ - vedoucích minimálně k udržení současných standardů.

Za jednoho z „viníků“ současného stavu byl před nedávnem označen zmiňovaný nárůst počtu osobních dopravních prostředků, poháněných téměř výhradně motory spalujícími benzín nebo naftu, které při svém počtu vypouštějí do ovzduší nezdravé množství škodlivin.

Praktickým odrazem tlaku (v dnešní době především politického) na změnu situace je zavedení emisních limitů, kterým se musí výrobci automobilů (mluvíme o Evropě) přizpůsobit. Spolu s tímto se v současnosti už i do praxe dostávají skutečné alternativy ke klasickým pohonům:

- pohon na ropný plyn LPG
- pohon na zemní plyn CNG a LNG
- pohon na biopaliva (rostlinný olej, alkoholy, bioplyn)
- pohon na elektřinu
- hybridní pohony (kombinace spalovacího motoru a elektromotoru)
- pohon na vodík

V této práci se autor zaměřil na jednu z existujících alternativ - **pohon na rostlinný olej.**

Cílem práce je komplexní představení alternativy použití rostlinných olejů a všech pojmů s tímto spojených. Autor věnuje pozornost především technické stránce praktického použití. Závěrem se pokusí zhodnotit získaná fakta a odhadnout reálnou možnost masového rozšíření této alternativy.

Stěžejním zdrojem informací k této problematice je práce Prof. Ing. Františka Vlka, DrSc.: *Alternativní pohony motorových vozidel* z roku 2004.

2. Rostlinné oleje

O rostlinných olejích jako alternativním palivu pro vznětové motory se začalo uvažovat po vypuknutí ropné krize v roce 1973. Možností použití tohoto paliva se zabýval již konstruktér vznětového motoru Rudolf Diesel na přelomu 19. a 20. století. Olej je možné získat z více než 300 druhů různých rostlin, mezi něž patří např. řepka olejná, slunečnice, olivy, sója, kokosový ořech aj.

Nejproduktivnější plodinou v podmínkách zemědělství ve středoevropském pásu je řepka olejná. Energetická bilance pěstování této plodiny vyznívá velmi příznivě, poměr vstupu ku výstupu je 17,6 GJ/ha ku 46,6 GJ/ha. Energetický zisk tedy tvoří 2,65 násobek vkladu na jeden hektar. Je však nutné uvážit, že množství získané energie ve vztahu ke spotřebě je poměrně malé.



Obr. 1 - Řepka olejná [1]

Pohon vznětových motorů na neupravený (čistý) řepkový olej není možné. Řešením je buď přestavba klasického vznětového motoru na použití řepkového oleje, nebo chemické přepracování řepkového oleje na metylester (MEŘO - metylester řepkového oleje). V následujících kapitolách bude rozvedena problematika obou variant řešení. [2]

2.1. Použití čistého rostlinného oleje

	Nafta s nízkým obsahem síry	Čistý řepkový olej
Cetanové číslo	46	42,6
Bod varu [°C]	191	311
Viskozita při 20 °C [mm ² /s]	5,1	77,8
při 50 °C [mm ² /s]	2,6	25,7
Obsah síry [% hmot.]	0,036	0,022
Obsah dusíku [ppm]	0	-
Zbytkový obsah uhlíku [%]	0,15	0,25
Výhřevnost [MJ.kg ⁻¹]	44,5	40,4
Hustota [kg.m ³]	845,9	906,6

Tab. 1 Porovnání vlastností čistého řepkového oleje a nafty [2]

Pro plnohodnotné využití čistého rostlinného (řepkového) oleje jako paliva vznětového motoru je nutné v konstrukci takového automobilu provést několik úprav, které se vypořádají s hlavními rozdílnostmi mezi motorovou naftou a řepkovým olejem (viz. Tab. 1). Nejmarkantnějším rozdílem je řádově vyšší viskóznost oproti naftě. Tento problém se v praxi řeší ohřevem oleje a tím snížením jeho viskóznosti.

Konverze automobilu na spalování rostlinného oleje se v praxi provádí dvěma způsoby popsanými jako **jednonádržový** a **dvounádržový systém**.

Jednonádržový systém představuje jednodušší variantu přestavby na rostlinný olej. Ohřívání paliva lze rozdělit do třech fází:

- když je motor studený, tj. po nastartování, je olej ohříván elektrickým výměníkem
- v okamžiku, kdy dosáhne teplota chladicí kapaliny 45 °C, je olej ohříván současně vodou z chladicího systému a současně elektricky
- po dosažení 75 °C je olej ohříván výhradně horkou vodou z chladicího systému

Jednonádržový systém klade při studeném motoru mírně zvýšené nároky na vstříkovací čerpadlo, proto pro něj nejsou vhodné všechny motory. Lze ho bez problémů instalovat do motorů s robustnějším typem čerpadel, zejména do motorů s řadovými čerpadly a do většiny motorů s čerpadly Bosch (mimo VP44).

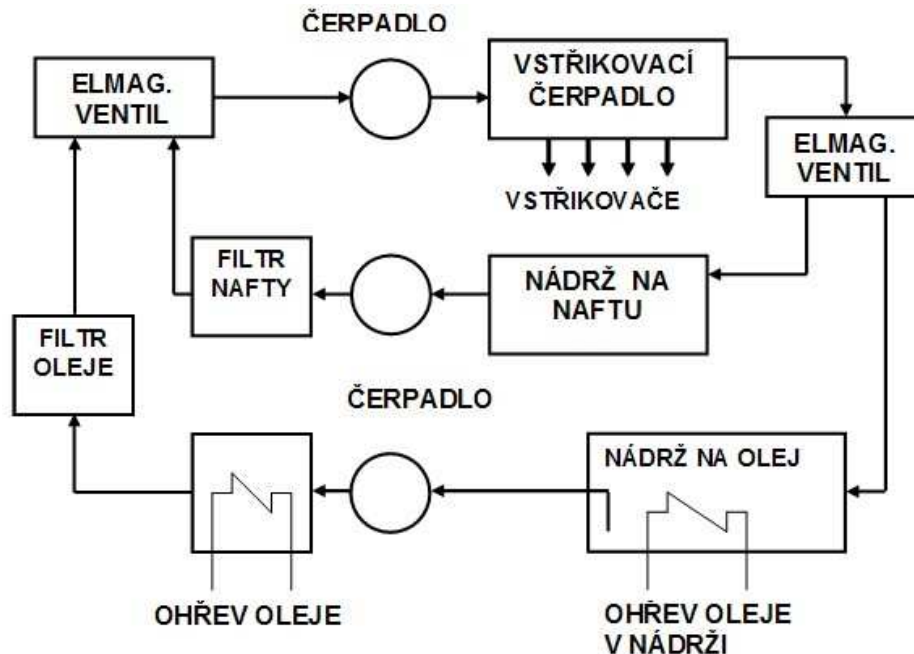
Tento systém se nedoporučuje instalovat do modernějších motorů (PD: čerpadlo-tryska, CR: Common Rail), či do motorů s čerpadly Lucas.

Dvounádržový systém představuje propracovanější variantu vhodnou do modernějších motorů. Systém je vybaven dvěma nádržemi, v jedné (hlavní) je rostlinný olej, ve druhé (záložní) je nafta. Cyklus přepínání lze rozdělit do následujících fází:

- když je motor studený, tj. po nastartování, běží motor na naftu
- v okamžiku, kdy dosáhne teplota chladicí kapaliny 75 °C, systém automaticky přepne na rostlinný olej
- v případě, že by v průběhu jízdy došlo k poklesu teploty pod 75 °C, dojde k opětovnému přepnutí na naftu
- několik minut před plánovaným koncem cesty dojde k manuálnímu přepnutí zpět na naftu. Motor je tedy pro příští startování připraven v naftě. Pokud by obsluha vozu zapoměla zpět na naftu přepnout, dojde k automatickému přepnutí ihned po opětovném nastartování vozu (v případě, že motor je studený)

Dvounádržový systém zaručuje svojí konstrukcí vždy ideální podmínky pro spalování rostlinného oleje, který má při teplotách nad 75 °C velmi podobné vlastnosti jako nafta. Jednoduché schéma jeho zapojení viz. Obr. 2.

U nejmodernějších motorů, se systémem vstřikování paliva PD, nebo obzvláště CR, je používání rostlinného oleje náročnější a to z důvodu citlivosti na kvalitu oleje. Možnost poškození motoru s těmito vstřikovacími systémy se dá výrazně omezit přimícháváním motorové nafty do oleje, a to v objemu minimálně 40%. [3]



Obr. 2 - Palivové příslušenství vozidlového motoru na rostlinný olej a naftu [4]

Při pohonu na rostlinný olej může docházet při nedostatečné kontrole k poškození motoru. Je třeba věnovat zvláštní péči tuhnutí motorového oleje tzv. polymerizaci. Ztuhlý motorový olej většinou způsobí výpadek mazání motoru a tím jeho vážné poškození, jako např. zadřené písty a ložiska.

Praxe ukazuje že k zhoustnutí motorového oleje dojde především tehdy, když se do něj dostane větší množství nespáleného rostlinného oleje (paliva).

Důvody pro toto znečištění jsou především následující:

- horší příprava směsi ve vznětovém prostoru
- zatuhnutí pístních kroužků
- netěsné vstřikovací trysky nebo netěsná vstřikovací čerpadla mazaná motorovým olejem
- studené starty a provoz v částečném zatížení (na volnoběh)

Dle neověřené informace, německá renomovaná laboratoř ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH tvrdí, že může během standardního intervalu výměny oleje dojít až k nárůstu podílu rostlinného oleje na více než 10%, což již značně přesahuje kritickou hranici.

Některé seriózní firmy, zabývající se delší dobu přestavbami, proto doporučují zkrácení intervalu výměny oleje na dvacet až třicet procent původní délky.

Řešením tohoto problému je instalace přídavného obtokového mikrofiltru motorového oleje, tzv. bypassový mikrofiltr. [3]

Bypassový mikrofiltr motorového oleje (Obr. 3):

- odstraňuje veškeré abrazivní znečištění od velikosti 0,1 mikronu
- odstraňuje kondenzovanou vlhkost
- zabraňuje tvoření kalů a vzniku kyselosti oleje
- zabraňuje korozi
- mikrofiltr neodstraňuje účinná aditiva [5]



Obr. Obr. 3 - Bypassový mikrofiltr motorového oleje [6]

Rozhodujícím faktorem pro to, zda je vozidlo vhodné na přestavbu a pro volbu systému přestavby, je typ vstřikovacího čerpadla. Obecně platí pravidlo, že čím je technologie motoru vyspělejší, tím je přestavba obtížnější, tzn. zvyšuje se cena a podstoupené riziko.

Nejvhodnější na přestavbu jsou vozy s řadovými čerpadly, starší dieselové, nebo turbodieselové motory se vstřikovacím čerpadlem Bosch.

Nejnáročnější na přestavbu jsou motory vybavené technologií PD a zejména CR. Zde je nezbytnou podmínkou použití dvounádržového systému. I tak je používání rostlinného oleje u motoru CR poměrně riskantní. Náklady na přestavbu takovýchto motorů jsou v tomto případě výrazně vyšší než u jiných motorů - pohybují se od 70 000,- Kč výše.

Když bereme v úvahu absenci sítě „čerpacích stanic“, cenovou náročnost přestavby nového automobilu (dnes již z 90% vybaveného systémem CR) a riziko poškození motoru, využívání rostlinného oleje se ekonomicky vyplatí jen u nákladních vozů nebo větších zemědělských strojů. [3]

2.2. Použití bionafty

Druhým, a v praxi běžnějším, řešením problému spalování rostlinného oleje ve vznětových motorech je chemická úprava (esterifikace) čistého rostlinného oleje za účelem přiblížení jeho fyzikálně chemických vlastností motorové naftě (viz Tab. 2).

Jak už bylo řečeno, vhodným rostlinným olejem je v případě České Republiky i Evropy převážně řepkový olej. V ostatních případech se používá slunečnicový olej, v USA i sojový olej atp.

2.2.1. Bionafta první generace

Produktem esterifikace (reakce mezi olejem a methanolem) je tzv. **Bionafta první generace**. Podle použitého oleje je označována následujícími zkratkami:

- RME Raps-Methyl-Ester metylester řepkového oleje MEŘO
- SME Sunflower-Methyl-Ester metylester slunečnicového oleje
- SOME Soya-Methyl-Ester metylester ze sóji
- FAME Falty-acid-Methyl-Ester methyl ester z živočišných tuků
- VUOME Vaste Used Oil-Methyl-Ester metylester z použitých fritovacích olejů [2]

	Nafta s nízkým obsahem síry	MEŘO
Cetanové číslo	46	61,2
Bod varu [°C]	191	347
Viskozita při 20 °C [mm ² /s]	5,1	7,5
při 50 °C [mm ² /s]	2,6	3,8
Obsah síry [% hmot.]	0,036	0,012
Obsah dusíku [ppm]	0	6
Zbytkový obsah uhlíku [%]	0,15	0,025
Výhřevnost [MJ.kg ⁻¹]	44,5	40,4
Hustota [kg.m ³]	845,9	906,6

Tab. 2 Porovnání vlastností MEŘO a nafty [2]

Bionaftou první generace se pro účely zákona rozumí palivo dle ČSN EN 14214 (viz. Příloha 1), kde biologická odbouratelnost je upravena mezinárodním předpisem CEC-L 33-T 82 a je větší než 98 % v průběhu 21 dnů.

Esterifikace snižuje viskozitu rostlinného oleje a přináší další výhody. Výroba paliva, jeho skladování, doprava i klidný běh motoru nejsou po esterifikaci nijak problematické. Takto upravený olej je možné bez problémů přimíchávat do nafty, což se na běhu motoru nijak negativně neprojevuje. Příměs naopak vykazuje pozitivní vliv na snížení emisí při spalování. Na rozdíl od rostlinných olejů obsahuje MEŘO některé karcinogenní látky a je stejně toxický jako nafta.

2.2.1.1. Změny v emisích při použití bionafty I. generace

Zkoušky ukázaly, že cytotoxicita částic obsažených ve výfukových plynech motoru při provozu na MEŘO je větší než při provozu na motorovou naftu. Naopak však kancerogenita částic emitovaných při provozu na naftu je vyšší než při provozu na MEŘO.

Ve srovnání s motorovou naftou dochází při použití MEŘO k významnému snížení emisí nespálených uhlovodíků, částic a na nich navázaných polycyklických aromatických uhlovodíků. Oproti motorové naftě neobsahují rostlinné oleje žádnou síru a proto při jejich spalování nedochází ke vzniku oxidů síry SO_x, které ve styku se vzdušnou vlhkostí vytvářejí kyseliny a jsou příčinou tzv. kyselých dešťů.

Při použití *oxidačního katalyzátoru* dochází k dalšímu snížení emisí částic v důsledku oxidace uhlovodíku na částice navázaných. Taktéž dochází ke snížení obsahu aldehydů a ketonů, které se vyznačují značným zápachem.

Byly provedeny srovnávací zkoušky emisí při provozu různých vznětových motorů při provozu na motorovou naftu a MEŘO. Sledovány byly limitované škodliviny tj. emise oxidu uhelnatého, spálených uhlovodíků, oxidů dusíku a částic. Dále pak nelimitované emise aldehydů a ketonů a na částice navázaných polycyklických aromatických uhlovodíků:

Použití MEŘO vedlo v případě motoru Mercedes k nepatrnému zvýšení exhalací CO, u motoru Deutz pak k poklesu. Tento rozdílný charakter změny je zřejmě vyvolán rozdílnou kvalitou přípravy směsi paliva se vzduchem a použitím mezichladiče plnicího vzduchu u motoru Mercedes. Emise zbytkových uhlovodíků HC jsou u obou motorů přechodem na MEŘO výrazně nižší. Použití *oxidačního katalyzátoru* výrazně snižuje obsah CO a HS ve výfukových plynech. Produkce NO_x je u obou motorů velmi vysoká a u motoru Deutz překračuje limitní hodnoty. Vliv použití *oxidačního katalyzátoru* je zanedbatelný. Změna paliva z motorové nafty na MEŘO přináší nepatrné zvýšení NO_x vyvolané dřívějším vznícením paliva ve válci motoru. Přechod z motorové nafty na MEŘO vede u obou motorů k výraznému nárůstu emisí částic ve výfukových plynech. Použití *oxidačního katalyzátoru* však obsah částic výrazně snižuje a umožňuje dosažení poloviční úrovně těchto emisí v porovnání s provozem na motorovou naftu. Je to dáno tím, že při užití MEŘO obsahují částice velký podíl organických látek. Zajímavý je nárůst obsahu částic ve výfukových plynech při použití *oxidačního katalyzátoru* a provozu obou motorů na naftu. Je to způsobeno tvorbou sulfátů ze síry obsažené v palivu. Při teplotě výfukových plynů vyšší jak 350 °C dochází k tvorbě SO₃, který v katalyzátoru reaguje s vodní párou obsaženou ve spalinách a tvoří sulfát.

Přechodem z motorové nafty na MEŘO dochází k výraznému snížení emisí polycyklických aromatických uhlovodíků. Oxidační katalyzátor u obou paliv dále tyto látky s vysokou účinností likviduje. Emise aldehydů a ketonů s přechodem na MEŘO nepatrně vzrůstají. Snížení v obou případech zabezpečuje *oxidační katalyzátor*. [2]

Nejpodstatnější skutečností spojenou s využitím *bionafty první generace* jako paliva vznětových motorů je **absence konstrukčních úprav**. Nicméně použití této bionafty s sebou i tak nese řadu problémů (vyšší spotřeba, degradace motorového oleje, agresivita vůči pryžím a plastům), k jejichž řešení, respektive k jejich výraznému potlačení vede tzv. ***bionafta druhé generace***.

2.2.2. Bionafta druhé generace

Bionafta druhé generace je palivo, které je biologicky odbouratelné z 90% v průběhu 21 dní. Tato skutečnost se ověřuje pomocí testu CEC L-33-A-93. Jedná se o směs motorové nafty pro mírné klima podle ČSN EN 590 a MEŘO podle ČSN EN

14 214. Současně musí být u bionafty podíl methylesterů větší než 31 objemových procent.

MEŘO tvoří jednu ze tří složek.

Druhá složka - lehké nebo těžké alkany, nesnižují biologickou odbouratelnost a mají vynikající fyzikálně-chemické a palivové vlastnosti. Problémem je nízká mazivost. Vzrůst objemové spotřeby paliva v důsledku jeho nižší měrné hmotnosti je kompenzován snížením exhalací.

Třetí složka - jedná se o tzv. střední bezsirný destilát. Vzhledem k velké výhřevnosti má za úkol zvýšit výkon motoru a snížit spotřebu. Nedostatkem této složky je nízká biologická odbouratelnost a vysoké emise vznikající při jeho spalování. Zvýšení obsahu aromatických uhlovodíků v této složce bionafty nad 30 % vede k snížení odbouratelnosti podle CEC-testu pod požadovaných 90% [2]

Nevýhody bionafty druhé generace:

- poškozuje pryžové součástky palivového systému, které při použití směsné bionafty musí být nahrazeny díly z plastických hmot
- u směsných bionaft s větším než 10% podílem MEŘO dochází často ke kontaminaci paliva bakteriemi
- značná tvorba úsad na stěnách spalovacího motoru a v mezikroužkových mezerách, jakož i v drážkách pro písní kroužky
- zvýšení spotřeby paliva vyvolané nižší výhřevností směsných bionaft v porovnání s motorovou naftou
- zanášení a nárůst karbonu na špičce vstřikovací trysky
- nízkoteplotní vlastnosti nejsou do obsahu 10 % MEŘO ovlivněny, při větším obsahu však dochází k výrazným problémům se startovatelností za nízkých teplot
- zvýšení korosivních účinků vyvolaných značnou náchylností MEŘO k oxidaci a tedy i k nárůstu kyselosti paliva
- mění se složení emisí, což může způsobovat problémy při úpravě výfukových plynů katalyzátory
- v důsledku ředění motorového oleje dochází ke zhoršení jakostních parametrů oleje, což vede ke snížení intervalu jeho výměny a používání cenově nákladnějších olejů
- po přechodu z používání nafty na MEŘO se rozpouští úsady v palivovém systému a nepříznivě ovlivňují funkci např. palivových filtrů a vstřikovacích trysek [2]

Při dodržení normou daného minima 31 % obsahu MEŘO v bionaftě *druhé generace* se nevyhneme aditivaci, ovšem ne částečné či nahodilé, ale systematické vzhledem k použitým komponentům:

- detergenty s označením FIC (Fuel Injector Cleanliness) výrazně ovlivňují čistotu trysek a tím dokonalost úhlu rozstřiku paliva a tím i emise
- stabilizátory paliva - antioxidační aditiva - působí proti tvorbě pryskyřice a úsad na stěnách vstřikovacího čerpadla
- protikorozi aditiva působí proti korozi jak nádrží, tak přívodních cest, ale zvláště vstřikovacího čerpadla
- zlepšovače maznosti (lubricity improvers) ovlivňují opotřebení zejména vibrační u stále častěji užívaných rotačních čerpadel, zejména u rychloběžných dieselů s počtem otáček až 5300 min⁻¹
- zlepšovače tekutosti paliva (MDFI - Modele Destilate Flow Improvers) zlepšují zejména nízkoteplotní vlastnosti a bod tuhnutí
- protipěnicí aditiva (antifoam additives) zabraňují pění paliva při plnění nádrže či cisterny. Urychlují plnění bez čekací doby na opad pěny [2]

2.3. Výroba bionafty první generace

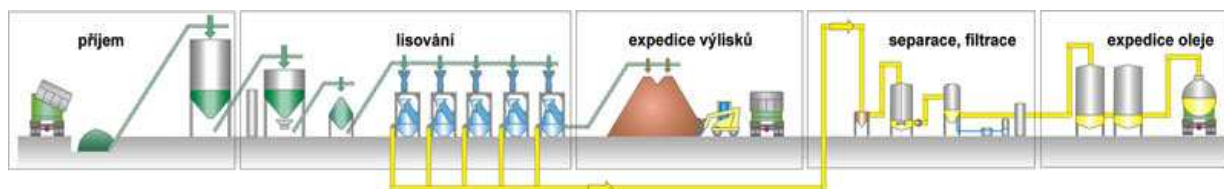
Ekologický význam alternativních paliv není posuzován pouze z hlediska kvantity emisí při finálním použití v dopravě, ale kromě jiného také podle energetické náročnosti na jeho výrobu, ekologické odbouratelnosti, obnovitelnosti zdroje atd. Proces výroby rostlinného oleje a MEŘO je nutnou součástí uceleného obrazu o tomto alternativním palivu.

2.3.1. Výroba rostlinného oleje

Celý proces výroby MEŘO začíná u získání základní suroviny - rostlinného oleje. Na začátku výroby jsou semena řepky olejky. Na jejím konci čistý rostlinný olej připravený ke konzumaci, použití jako paliva (viz. kapitola 2.1.), nebo jako surovina pro výrobu MEŘO.

Základním technologickým postupem je vylisování semen:

- *lisování za studena (Obr. 4)*
Hlavními charakteristikami lisování za studena jsou nízká energetická náročnost, jednoduchost technologického zařízení, malé nároky na plochu a nízký obsah fosforu v oleji. [7]



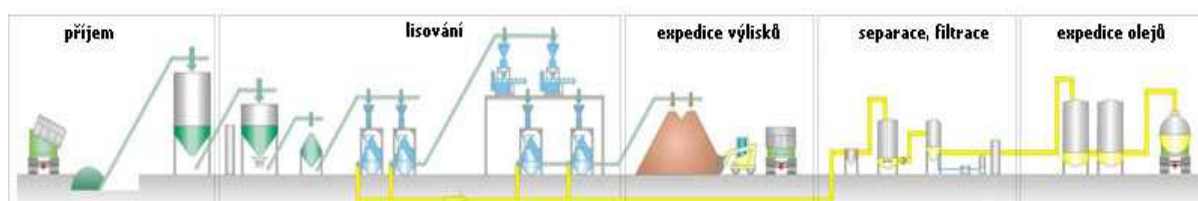
Obr. 4 - Lisování za studena [8]

- *lisování za tepla (Obr.5)*
 Základní charakteristikou lisování za tepla je přehřev semen před vlastním lisováním. Dalšími znaky jsou větší výtěžnost oleje, vyšší obsah fosforu v oleji a větší energetická náročnost. [7]



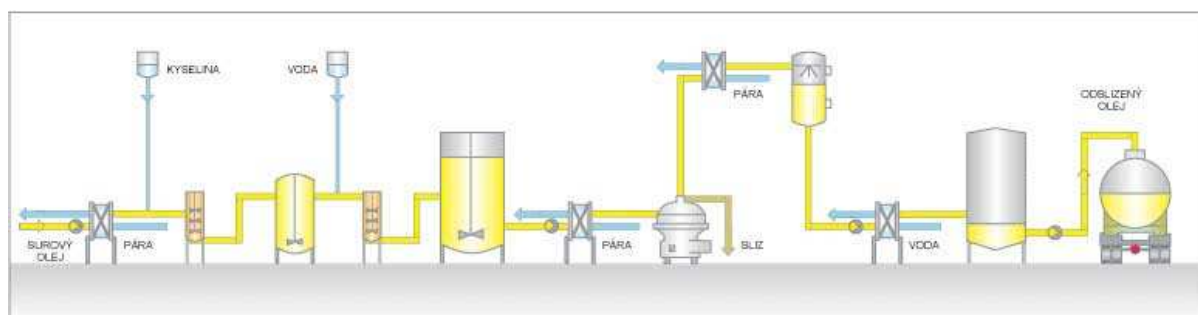
Obr. 5 - Lisování z tepla [9]

- *lisování s extrudéry (Obr.6)*
 Lisování s extrudéry je proces lisování doplněný o extruzi před konečným lisováním olejin (vysoký tlak a teplota). Hlavními znaky jsou větší výtěžnost oleje, vysoký podíl oleje s nízkým obsahem fosforu, náročnější technologie zařízení, energeticky náročnější technologie, výlisky vysoké kvality. [7]



Obr. 6 - Lisování s extrudéry [10]

Takto vylisovaný olej je nutné dále upravit *filtrací a odslizováním - degumming* (Obr. 7). Technologie odslizování využívá vlastností kyseliny, vody a louhu za účelem separace a následného odstranění fosfolipidů z oleje. [7]



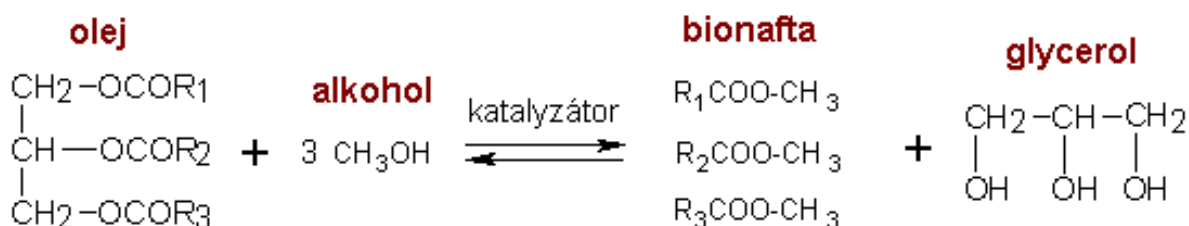
Obr. 7 - Odslizování - degumming [11]

Při výrobě vznikají i vylisky (šrot), které jsou cennou krmnou směsí tím, že obsahují velké množství bílkovin a jiných živin.

2.3.2. Výroba MEŘO

Nejčastějším způsobem výroby *bionafty první generace* je transesterifikace olejů nízkomolekulárním alkoholem za homogenní katalýzy. Jako alkohol je nejvíce používán methanol (uveden v reakci na Obr. 8), eventuálně ethanol. Použití ostatních alkoholů (propanol, butanol ...) je také možné, ale problematické. Hlavní výhodou použití methanolu jsou příznivé vlastnosti získaného MEŘO (hustota, viskozita, palivářské vlastnosti). Transesterifikace se provádí za homogenní bazické katalýzy (KOH, NaOH), ale jako katalyzátor je možno použít i kyselinu. Výhodou tohoto způsobu výroby je nenáročnost na výrobní zařízení a snadné provedení. Nevýhodou je nemožnost získání katalyzátoru zpět z reakce (ztráta katalyzátoru při boční reakci - zmydelnění oleje).

Na výrobu bionafty lze použít téměř všechny druhy rostlinných 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). [12]



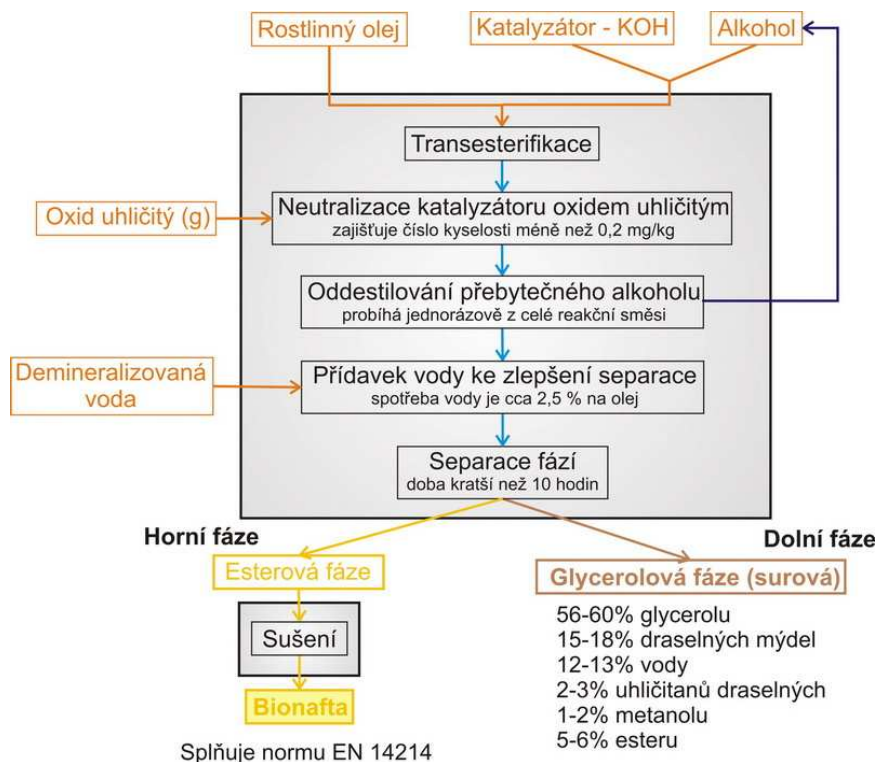
$R_{1,2,3}$ jsou hydrofóbní zbytky mastných kyselin

Obr. 8 - Reakce transesterifikace rostlinného oleje [13]

Esterifikaci (viz. Obr.9) je možné provádět ve velkých průmyslových zařízeních nebo v malých zařízeních se vsázkami 1500 l a méně. Malá esterifikační zařízení se od velkých odlišují tím, že esterifikace probíhá při běžném tlaku a teplotě. Rostlinný olej, uskladněný v cisterně, se čerpadly dopraví do nádoby reaktoru. Po proběhnutí esterifikace, asi za 6 až 8 hodin, se na základě různých hustot směs rozdělí na dvě fáze:

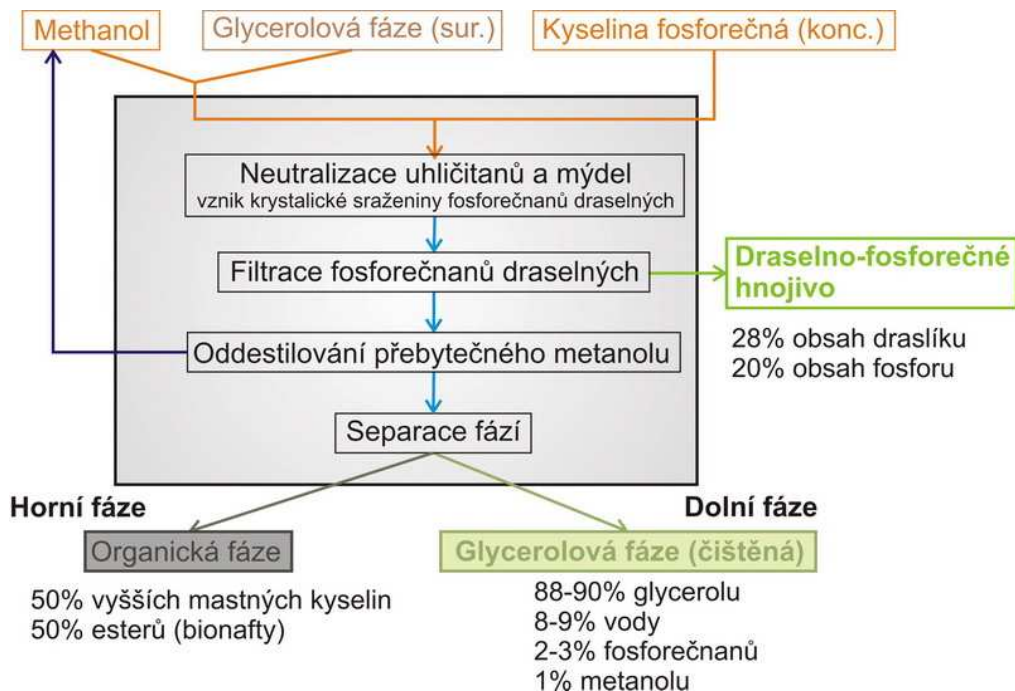
- Metylester odteče do tepelného ohříváče kde se oddělí zbylý methanol, který nevstoupil do reakce. Separace probíhá kontinuálně v koloně kde se odstraní i případný zbytek glycerinu. MEŘO je vedeno do zásobníku s puřem (kyselina fosforečná), kde je prováděna zkouška kvality.

Obr. 9 - Schéma esterifikace [14]

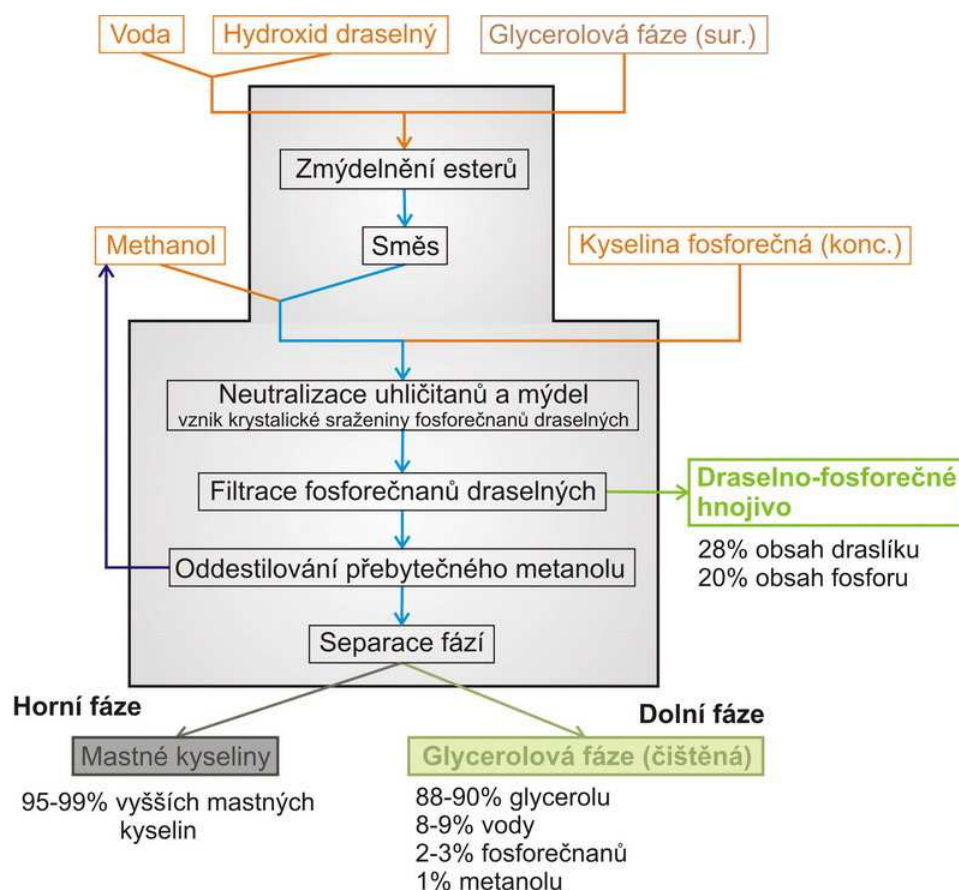


- Vedlejší produkt - směs glycerinu s olejem se neutralizuje kyselinou fosforečnou. Poté se odstředivkou oddělují pevné příměsi. Tyto vstupují do sušárny, odkud vychází jako konečný produkt hodnotné fosforečné hnojivo. Ze zbylé tekutiny se v diskovém separátoru oddělí olej od glycerolu. [2]

Kompletní schéma úprav a zpracování glycerolové fáze viz. Obr. 10 a Obr. 11.



Obr. 10 - Schéma čištění glycerolové fáze I. [15]



Obr. 11 - Schéma čištění glycerolové fáze II. [16]

Existují další tři metody výroby, ale ty jsou zatím spíše ve vývojové sféře:

- **Heterogenní katalýza:** jedná se o speciální katalyzátory na bázi organokovových komplexů nebo pevných kyselých katalyzátorů (zeolity) či oxidů kovů (MgO). Výhodou je opětovné použití katalyzátoru po reakci, což u klasické homogenní katalýzy není možné. Nevýhodou je náročnost a cena přípravy katalyzátoru.
- **Enzymatická katalýza:** používají se různé druhy enzymů (*Rizhomucor miehei*, *Pseudomonas cepacia*, *Caida antarctica*) jež jsou izolovány z příslušných mikroorganismů. Výhodou je že reakce probíhá při relativně nízkých teplotách (25-35 °C) ale dlouho (desítky hodin). Hlavními překážkami používání lipáz v průmyslovém měřítku je jejich cena, částečná ztráta aktivity v methanolu a dlouhé reakční časy.
- **Bez katalyzátoru:** další vyvíjenou metodou je příprava bionafty pomocí methanolu v superkritickém stavu, která probíhá bez katalyzátoru. Tento postup však vyžaduje vysokou teplotu (cca. 350 °C) a tlak (45-65 MPa), kterou je možné snížit přidávkem pomocného rozpouštědla. Výhodou je získání relativně čistého glycerolu. [12]

2.4. Bilance

2.4.1. Energetická bilance

Z hlediska možného širšího využití bionafty v dopravě je velmi důležitá **energetická bilance** při její výrobě (Tab. 3). Ta vyjadřuje poměr množství vložené energie na setí, sklizeň, dopravu a zpracování surovin k získané energii. Údaje o energetické bilanci získaného z 1 ha se velmi liší. Uvádí se, že uvedený poměr je pro MEŘO jen 1:1,4 (jeden litr vloženého paliva přinese zisk 1,4 litru MEŘO). Když se do bilance započítá i energetické zhodnocení odpadů z výroby, pak je tento poměr podstatně lepší. Až 1:4. Zbytky z výroby oleje se dají totiž využít na další výrobu energie, a to jak tepla, tak i elektřiny. Energetický obsah zbytků je relativně vysoký (sláma 43 GJ/ha, výlisky 21GJ/ha). [2]

Pro optimalizaci celkového procesu by se lisování semen mělo uskutečňovat blízko produkční oblasti, aby se snížily náklady na dopravu. Další možností zvýšení efektivity je výroba elektřiny spalováním suchých odpadů a výlisků, které obsahují ještě 5-10 % oleje. [17]

	GJ.ha ⁻¹
Pěstování a doprava	17,5
Energie na výrobu rostlinného oleje	5,4
Energie na výrobu MEŘO	7,6
Vstupy celkem	30,5
MEŘO	44,9
Výlisky	31
Glycerol	1,9
Zisk celkem	77,8

Tab. 3 Energetická bilance výroby MEŘO [2]

Průměrná úroda řepky v EU v posledních letech byla mezi 2,7-3,5 t/ha. Vzhledem k tomu, že řepka pro nepotravinářské účely se pěstuje hlavně na méněcenných půdách, za možný standard se dá považovat průměrná hodnota 2,75 t/ha. Odpovídající hmotnostní bilance je následující:

Z 1000 kg řepkového semene se v zpracovatelském podniku získá:

- 340 kg oleje
- 660 kg výlisků s obsahem zbytkového oleje a vody

Z 1000 kg oleje (po přidání 110 kg metanolátu sodného) se získá:

- 1000 kg MEŘO - bionafty
- 110 kg surového glycerinu [17]

2.4.2. Ekologická bilance

Hlavním ekologickým přínosem MEŘO je zmnožení zdrojů paliv a redukce vzniku nových emisí CO₂. Ve výfukových plynech je snížená koncentrace oxidů síry, částic a oxidu uhelnatého. Při použití MEŘO se méně zvyšuje tvorba oxidů dusíku. Kvantifikace těchto environmentálních přínosů se většinou provádí přístupem označovaným jako „Well to Wheel, WTW“ tj. vyhodnocováním emisí v celém řetězci

výroba-spotřeba. Hodnocení není jednoduché, protože hodnota celkových přínosů závisí na typu a směsi nafta/MEŘO, výkonu motoru a také jeho typu. Všeobecné závěry pro jednotlivé druhy emisí jsou následující:

- *Oxid uhličitý CO₂*
Při použití hodnocení WTW, spotřebou jedné tuny fosilní nafty se uvolní 2,8 tuny CO₂ do atmosféry. Specifický obsah uhlíku v bionaftě je o něco nižší, při spálení se uvolní 2,4 tuny CO₂. Když předpokládáme, takto vzniklý oxid uhličitý se v následující sezóně asimiluje v nové úrodě olejnin a také jiné vedlejší produkty a odpady se spotřebují prostřednictvím uhlíkového cyklu, tak čisté emise CO₂ z MEŘO můžeme považovat za nulové.
- *Oxidy síry SO_x*
MEŘO obsahuje zanedbatelné množství sirných sloučenin, které by se spálením dostaly do atmosféry. Současná motorová nafta obsahuje méně než 50 mg S/kg a do roku a do roku 2010 se musí začít dodávat nafta s obsahem síry nižším než 10 mg/kg. Je velmi pravděpodobné, že ve vyspělých evropských zemích to bude trvat o mnoho déle.
- *Oxidy dusíku NO_x*
Emise oxidů dusíku při použití mohou být vyšší nebo nižší v porovnání s klasickou naftou v závislosti na typu motoru a testovacích podmínkách. Všeobecně se uvažuje, že obsah NO_x ve výfukových plynech je o 6 % vyšší.
- *Oxid uhelnatý CO*
Emise CO se výrazně sníží. O 20 %.
- *Pevné částice*
Tvorba pevných částic se sníží o 40% a víc. [18]

3. Závěr

Závěr je nutné rozdělit na dvě samostatné části. Možné využití, výhody i nevýhody jsou u čistého rostlinného oleje a bionafty první a druhé generace příliš odlišné.

3.1. Čistý rostlinný olej

Silná stránka této alternativy je ve výrazné ekologické efektivitě. Používání tohoto paliva vede k téměř úplné eliminaci emisí CO₂ a jeho zdroj je teoreticky neomezeně obnovitelný. Dalším významným pozitivem je kladná energetická bilance získávání tohoto paliva, která je díky regulaci energetických požadavků na esterifikaci ještě výhodnější než při výrobě MEŘO.

Na druhé straně v neprospěch čistého rostlinného oleje hovoří fakt, že na pokrytí více než marginálního podílu poptávky po palivech osobních automobilů by bylo zapotřebí osít monokulturou např. řepky olejky obrovské zemědělské plochy. Další, a dle autorova názoru významnou, překážkou masového rozšíření rostlinného oleje je stále finálně nevyřešená technologie spalování ve všech režimech chodu motoru (startování, chod za studena).

Technologie vznětových motorů urazila za posledních deset let obrovskou vzdálenost. Soudobé vznětové motory a jejich vstřikovací systémy (Common Rail) jsou na vysoké úrovni a kladou velice konkrétními požadavky na parametry paliva (motorové nafty). I přes existenci dodatečně montovaných systémů, které mají za úkol rozdíly mezi naftou a olejem vyrovnat, není takřka možné zabezpečit bezproblémovou funkci pohonné jednotky.

Oblastí, ve kterých by se dalo využít předností tohoto paliva není mnoho. Největšího uplatnění se může dočkat v nesériové produkci v kombinaci využití vlastních zdrojů pro získání tohoto paliva. Např. zemědělský podnik s možností výroby vlastního rostlinného oleje, který použije pro provoz svých zemědělských strojů.

3.2. Bionafta první a druhé generace

Pro úplné pochopení by zde autor rád zopakoval dva klíčové pojmy.

Bionafta první generace - čistý metylester řepkového oleje, MEŘO

Bionafta druhé generace - směsné palivo s minimálním obsahem MEŘO 31 %

Nevýhod na straně bionafty je v porovnání s čistým rostlinným olejem mnohem méně, avšak představa kompletní náhrady klasických paliv je stejně tak utopická, jako v případě čistého rostlinného oleje. Ten je totiž surovinou pro její výrobu, a jeho masová produkce není možná (viz. kapitola 3.1.). Masovému rozšíření používání bionafty brání i vysoká cena výroby MEŘO. Stejně jako většina alternativ musí i tato být dotována státními penězi, aby její cena u čerpacích stanic byla konkurenceschopná.

Podstatným faktem, který z bionafty činí zajímavou alternativu, je možnost použití tohoto paliva ve vznětových motorech bez konstrukčních úprav. Dá se také

konstatovat, že přimíchávání menšího množství MEŘO do nafty má na motor pozitivní vliv.

Budoucnost tohoto paliva se dá demonstrovat na zákonem daném minimu 4,5 % MEŘO z celkového objemu nafty dostupné na každé čerpací stanici. I toto malé množství vyvolává u prodejců osobních automobilů určitý negativní ohlas, situace je ale podstatně horší u provozu automobilu na *bionaftu první generace*. V tomto případě musí být užívání tohoto paliva posvěceno výrobcem daného automobilu.

Těžiště významu rostlinných olejů leží velmi pravděpodobně v *bionaftě druhé generace*, která by se po odstranění právních překážek mohla stát dostupnou alternativou klasické motorové nafty.

4. Seznam použité literatury

Tištěné zdroje:

[2] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vyd. Brno : Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5.

Internetové zdroje:

[3] EUROPECON, S. R. O.. *Rostlinný olej jako obnovitelný zdroj energie* [online]. 2006 [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <http://www.timur.cz/olej/energeticky_seminar.pdf>.

[5] *Europecon, s. r. o.* [online]. 2006 [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.rostlinnyolej.cz/cs/bypassove-filtry-oleju/bypassove-filtry-motoroveho-oleje.html>>.

[7] Farmet a.s.. *Olejoprogram* [online]. 2006 [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.farmet.cz/cz/olejoprogram.html>>.

[12] SKOPAL, František, et al. *BIONAFTA* [online]. [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <http://kfch.upce.cz/htmls/vedecka_cinnost_bionafta.htm>.

[17] CVENGROŠ, Tomáš: Motorové biopaliva – ich súčasný stav a perspektívy. *Biom.cz* [online]. 2008-09-15 [cit. 2009-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz-kapalna-biopaliva/odborne-clanky/motorove-biopaliva-ich-sucasny-stav-a-perspektivy>>. ISSN: 1801-2655.

[18] LAURIN, Josef: Rostlinné oleje jako motorová paliva. *Biom.cz* [online]. 2008-10-29 [cit. 2009-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz-kapalna-biopaliva/odborne-clanky/rostlinne-oleje-jako-motorova-paliva>>. ISSN: 1801-2655.

[19] ČSN EN 14214 OPRAVA 1 [online]. 2008 [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://import.technickenormy.cz/opravy/80952.pdf>>.

Obrazové přílohy:

[1] *Řepka olejná* [online]. [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.sagittaria.cz/images/upload/co-kvete/repka-olejka.jpg>>.

[4] LAURIN, Josef: Rostlinné oleje jako motorová paliva. *Biom.cz* [online]. 2008-10-29 [cit. 2009-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rostlinne-oleje-jako-motorova-paliva>>. ISSN: 1801-2655.

[6] EUROPECON, S. R. O.. *Bypassový mikrofiltr motorového oleje* [online]. 2006 [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <http://www.rostlinnyolej.cz/components/com_virtuemart/shop_image/product/0eb86444822e00afba3309afdf7c019a.jpg>.

- [8] Farnet a.s.. *Schéma lisování za studena* [online]. 2006 [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.farnet.cz/cz/olejoprogram/gfx/big/lisovani.za-studena-schema.jpg>>.
- [9] Farnet a.s.. *Schéma lisování za tepla* [online]. 2006 [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.farnet.cz/cz/olejoprogram/gfx/big/lisovani-za-tepla-schema.jpg>>.
- [10] Farnet a.s.. *Schéma lisování za tepla* [online]. 2006 [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.farnet.cz/cz/olejoprogram/gfx/big/lisovani-s-extrudery-schema.jpg>>.
- [11] Farnet a.s.. *Schéma lisování za tepla* [online]. 2006 [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.farnet.cz/cz/olejoprogram/gfx/big/basic-degumming-cz.jpg>>.
- [13] SKOPAL, František, et al. *Reakce transesterifikace* [online]. [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <http://kfch.upce.cz/images/Ved_cin/bionafta_reakce1.gif>.
- [14] SKOPAL, František, et al. *Schéma transesterifikace* [online]. [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <http://kfch.upce.cz/images/Ved_cin/Schema_transester.jpg>.
- [15] SKOPAL, František, et al. *Čištění glycerolové fáze I.* [online]. [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <http://kfch.upce.cz/images/Ved_cin/Schema_cisteni_GVS_I.jpg>.
- [16] SKOPAL, František, et al. *Čištění glycerolové fáze II.* [online]. [cit. 2009-05-25]. Dostupný z WWW: <http://kfch.upce.cz/images/Ved_cin/Schema_cisteni_GVS_II.jpg>.

5. Přílohy

Příloha 1 - ČSN EN 14214 [19]

Vlastnosti	Jednotka	Mezní hodnoty		Metoda zkoušení ^a
		min.	max.	
Obsah esterů ^a	% (m/m)	96,5 ^b	–	EN 14103
Hustota při 15 °C ^c	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozita při 40 °C ^d	mm ² /s	3,50	5,00	EN ISO 3104
Bod vzplanutí	°C	120	–	EN ISO 3679 ^e
Obsah síry	mg/kg	–	10,0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbonizační zbytek (vztaženo na 10% destilační zbytek) ^f	% (m/m)	–	0,30	EN ISO 10370
Cetanové číslo ^g		51,0	–	EN ISO 5165
Obsah sulfátového popela	% (m/m)	–	0,02	ISO 3987
Obsah vody	mg/kg	–	500	EN ISO 12937
Celkový obsah nečistot ^h	mg/kg	–	24	EN 12662
Koroze na mědi (3 h při 50 °C)	korozní stupeň	třída 1		EN ISO 2160
Oxidační stabilita, 110 °C	h	6,0	–	EN 14112
Číslo kyselosti	mg KOH/g	–	0,50	EN 14104
Jodové číslo	g I ₂ /100 g	–	120	EN 14111
Methylester kyseliny linolenové	% (m/m)	–	12,0	EN 14103
Methylestery s více nenasycenými vazbami (≥ 4 dvojně vazby) ⁱ	% (m/m)	–	1	
Obsah methanolu	% (m/m)	–	0,20	EN 14110
Obsah monoglyceridů	% (m/m)	–	0,80	EN 14105
Obsah diglyceridů	% (m/m)	–	0,20	EN 14105
Obsah triglyceridů ^j	% (m/m)	–	0,20	EN 14105
Volný glycerol ^j	% (m/m)	–	0,02	EN 14105 EN 14106
Celkový glycerol	% (m/m)	–	0,25	EN 14105
Kovy I. skupiny (Na + K) ^k	mg/kg	–	5,0	EN 14108 EN 14109
Vlastnosti	Jednotka	Mezní hodnoty		Metoda zkoušení ^a
		min.	max.	
Kovy II. Skupiny (Ca + Mg)	mg/kg	–	5,0	EN 14538
Obsah fosforu	mg/kg	–	10,0	EN 14107