

MOTOROVÁ PALIVA VYRÁBĚNÁ HYDROGENACÍ ROSTLINNÝCH OLEJŮ A ŽIVOČIŠNÝCH TUKŮ

PAVEL ŠIMÁČEK, DAN VRTIŠKA, ZLATA MUŽÍKOVÁ a MILAN POSPÍŠIL

*Ústav technologie ropy a alternativních paliv, Fakulta technologie ochrany prostředí, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6
Pavel.Simacek@vscht.cz*

Došlo 15.2.16, přepracováno 21.6.16, přijato 1.9.16.

Klíčová slova: biopaliva, motorová paliva, pokročilá biopaliva, hydrogenovaný rostlinný olej

Obsah

1. Úvod
2. Mechanismus hydrogenace rostlinných olejů
3. Složení a vlastnosti primárních produktů
4. Komerční výroba
5. Paliva pro vznětové motory
6. Letecká turbínová paliva
7. Závěr

1. Úvod

Rostlinné oleje představují hlavní surovinu pro výrobu biopaliv používaných jako alternativní palivo k motorové naftě. Pro lepší představu o reálných možnostech náhrady ropných paliv lze uvést, že zatímco celosvětová roční těžba ropy představuje více než 4000 Mt, globální produkce rostlinných olejů dosahuje přibližně 200 Mt, z čehož na výrobu bionafty (viz dále) připadá pouze necelých 30 Mt. Zatímco v čisté podobě nalezy rostlinné oleje jako palivo pro vznětové motory jen okrajové uplatnění, ve formě bionafty jsou v současné době dominantním biopalivem využívaným pro pohon vznětových motorů. Jako bionafta (biodiesel, FAME nebo též B100) se přitom označuje směs methylesterů mastných kyselin (fatty acid methyl esters – FAME) vyráběných transesterifikací rostlinných olejů, příp. i živočišných tuků, methanolem. Chemickou podstatu bionafty tedy tvoří methylestery mastných kyselin, zatímco fosilní motorová nafta vyrobená z ropy představuje směs uhlovodíků. V České republice se jako synonymum pro termín bionafta někdy používá ne zcela správně rovněž zkratka MEŘO (methylestery řepkového oleje).

Oproti běžné motorové naftě vyráběné z ropy má bionafta řadu nevýhod vyplývajících z její chemické pova-

hy. Mírně nižší výhřevnost tohoto paliva je přitom nedostatek pouze minoritní. Vedle agresivního působení bionafty na některé elastomery lze jmenovat riziko hydrolyzy v přítomnosti vody. Při hydrolyze pak vznikají volné mastné kyseliny způsobující korozi kovových materiálů. Vedle korozivních účinků zvyšuje voda rovněž riziko mikrobiálního napadení, vůči kterému je bionafta méně rezistentní než ropné palivo. Nejproblematičtější vlastností bionafty je jednoznačně její nízká oxidační stabilita způsobená přítomností dvojných vazeb v řetězcích nenasyčených mastných kyselin vázaných v molekulách FAME. Výslednými produkty oxidace bionafty jsou, kromě látek s nižší molekulovou hmotností než měly původní molekuly bionafty (aldehydy, alkoholy a karboxylové kyseliny), i látky s vyšší molekulovou hmotností. Nerozpustné vysokomolekulární látky vytvářejí pryskyřičnaté úsady, které mohou částečně nebo zcela upcat části palivového systému (např. palivový filtr, vstřikovače, přívod paliva do čerpadla apod.) a vytvářet nerozpustné úsady na horkých površích motoru. Oxidační produkty bionafty, která v menší či větší míře vždy proniká do klikové skříně motoru, mohou navíc způsobit rychlé znehodnocení motorového oleje.

Přes výše uvedené nedostatky je bionafta v současné době nejpoužívanějším alternativním diesellovým palivem, jehož kvalita je v EU předepsána normovanou specifikací EN 14214 (cit.¹). Čistou bionaftu (B100) lze spalovat v běžných vznětových motorech, avšak výrobci automobilů toto palivo většinou oficiálně neschvalují. Vedle čisté bionafty se lze setkat i s prodejem směsného paliva obsahujícího ropnou motorovou naftu a FAME. Konkrétně v České republice se lze setkat s palivem obsahujícím 30 obj.% bionafty (B30) označovaným též jako směsná motorová nafta (SMN30)². Co do objemu spotřeby bionafty má zřejmě největší význam její plošný přídavek do standardní motorové nafty. Motorová nafta evropské kvality (EN 590)³ může obsahovat až 7 obj.% FAME (B7) a kvůli plnění celoevropského plánu využití biopaliv v dopravě se této možnosti plně využívá. V České republice je v současné době podle zákona č. 180/2007 Sb., o ochraně ovzduší, stanoven minimální podíl biopaliva v motorové naftě 6 obj.% z celkového objemu prodané motorové nafty. V praxi to znamená, že většina motorové nafty na českém trhu bionaftu přibližně v tomto množství skutečně obsahuje. Rizika spojená s použitím bionafty jsou minimalizovaná na přijatelnou úroveň jejím nízkým obsahem v motorové naftě. Přesto je však třeba k takovému palivu přistupovat odlišně než k čisté ropné naftě. Například dlouhodobě skladované zásoby motorové nafty nesmí obsahovat FAME a ze stejného důvodu musí mít ve svých palivových nádržích motorovou naftu bez FAME i všechny záložní dieselelektrické generátory.

Mnohem kvalitnější dieselové palivo než je klasická bionafta je možné z rostlinných olejů vyrobit jejich hydrogenací. Produkt získaný z tohoto procesu představuje skutečně perspektivní dieselové biopalivo, jehož vlastnosti jsou v mnoha ohledech naprosto srovnatelné nebo dokonce mnohem lepší než vlastnosti čistě ropné motorové nafty.

2. Mechanismus hydrogenace rostlinných olejů

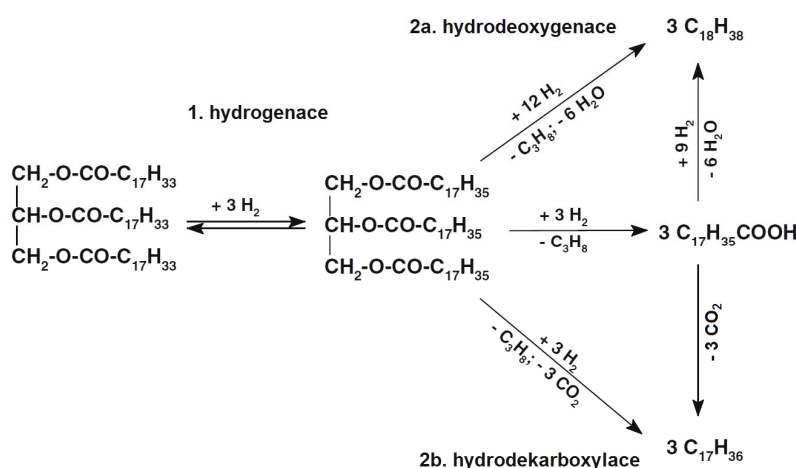
V potravinářském průmyslu je katalytická hydrogenace rostlinných olejů známá jako technologie používaná pro ztužování tuků. Cílem tohoto procesu je částečná nebo úplná hydrogenace uhlovodíkových řetězců nenasycených mastných kyselin vázaných v molekulách triacylglycerolů. Chemická podstata esterových skupin však zůstává zachována, takže v případě úplné hydrogenace rostlinných olejů je produktem směs triacylglycerolů nasycených mastných kyselin. Při hydrogenaci rostlinných olejů za účelem výroby dieselových paliv nejsou žádaným produktem triglyceridy mastných kyselin, nýbrž uhlovodíky. Při hydrogenační přeměně rostlinných olejů na uhlovodíky tedy dochází k daleko významnějším chemickým změnám, které vyžadují vyšší reakční teplotu a tlak.

Pro označení procesu hydrogenační přeměny rostlinných olejů na uhlovodíky se používají různé termíny. Nejčastěji se pro tento proces používá termín hydrogenace, lze se ale setkat i s pojmem hydrokrakování, nebo též hydrodeoxygenace. Přestože se lze s podobnou variabilitou v označení procesu setkat i v cizojazyčné literatuře, pro finální uhlovodíkové produkty hydrogenace rostlinných olejů se v anglické literatuře ustálila zkratka HVO (hydrotreated vegetable oil). Jako HVO se přitom často označují i produkty vyráběné částečně nebo zcela z upotřebených kuchyňských olejů a odpadních tuků, přestože odpadní původ biomasy u tohoto produktu poněkud

lépe vystihuje označení HEFA (hydrotreated esters and fatty acids).

Pro hydrogenaci rostlinných olejů lze využít podobné typy katalyzátorů, jaké nacházejí uplatnění při hydrogenační rafinaci ropných produktů, tedy kombinace kovů jako jsou Ni, Mo, Co a W nanesených na vhodném nosiči, kterým bývá nejčastěji alumina nebo zeolity. Popsáno však bylo i použití katalyzátorů založených na bázi drahých kovů (Pd a Pt). Proces hydrogenace probíhá ve vodíkové atmosféře (celkový tlak do 20 MPa) při teplotách přibližně v rozmezí 300–420 °C (cit.⁴⁻⁷). Za těchto podmínek dochází k mnoha dílčím chemickým reakcím, jejichž výsledkem je přeměna rostlinných olejů (triglyceridy mastných kyselin) na poměrně jednoduchou směs uhlovodíků⁸.

Zjednodušené reakční schéma hydrogenace rostlinných olejů je uvedeno na obr. 1 (cit.⁹). Rostlinný olej je zde pro zjednodušení reprezentován molekulou trioleinu. Při hydrogenaci rostlinného oleje dochází nejprve k nasycení dvojných vazeb uhlovodíkových řetězců mastných kyselin vázaných v molekulách triglyceridů. Teprve poté následuje vlastní štěpení nasycených triglyceridů, a to dvěma možnými způsoby. Jednou reakční cestou je hydrodeoxygenace, při které dojde k rozpadu molekul triglyceridu za tvorby propanu, 6 molekul vody a 3 molekul *n*-alkanů, které mají stejný počet uhlíkových atomů, jako mastné kyseliny vázané v původních molekulách triglyceridu. Jelikož v triglyceridech rostlinných olejů jsou nejvíce zastoupeny kyseliny s osmnácti uhlíkovými atomy, produktem hydrodeoxygenace je *n*-oktadekan (C₁₈H₃₈). Druhou možností rozkladu triglyceridu je hydrodekarboxylace, při které vzniká propan, 3 molekuly oxidu uhličitého a 3 molekuly *n*-alkanů s počtem atomů uhlíku o jedničku nižším než měly původní mastné kyseliny vázané v triglyceridu. Hlavním produktem hydrodekarboxylace je tedy *n*-heptadekan (C₁₇H₃₆). Za předpokladu, že k přeměně rostlinného oleje dochází pouze touto hydrodekarbo-



Obr. 1. Zjednodušené reakční schéma hydrogenace rostlinného oleje reprezentovaného molekulou trioleinu⁹

xylační cestou, snižuje se výtěžek uhlovodíků asi o 5 % ve srovnání s hydrodeoxygenací. Důvodem je ztráta uhlíku v podobě CO₂. Na druhou stranu však hydrodeoxygenační cesta vzniku uhlovodíků celkově vyžaduje až 4× větší množství vodíku oproti hydrodekarboxylaci. Jako alternativní cesta k hydrodekarboxylaci vedoucí ke tvorbě *n*-heptadekanu se někdy uvádí hydrodekarboxylace¹⁰, avšak tento reakční mechanismus nebyl jednoznačně potvrzen⁹.

Při hydrogenaci rostlinných olejů se uplatňují oba výše popsané reakční mechanismy, přičemž konkrétní rozsah obou reakcí závisí na použitém katalyzátoru a reakčních podmínkách. Na obr. 1 nejsou uvedeny další následné reakce *n*-alkanů, které vedou ke vzniku dalších uhlovodíků. Při vyšších reakčních teplotách probíhá s dostatečnou rychlostí izomerace *n*-alkanů na isoalkany^{8,10,11}, v mnohem menší míře pak dochází i k cyklizaci a dehydrocyklizaci *n*-alkanů na cykloalkany a aromáty¹². Rozsah dvou posledně zmíněných reakcí je však velice malý. Při vyšších reakčních teplotách se může výrazněji uplatňovat i štěpení primárních uhlovodíkových produktů, takže konečný produkt pak může obsahovat i větší množství níževroucích uhlovodíků < C₁₅ (cit.¹³).

Surovinou pro výše popsaný hydrogenační proces můžou být jak surové a odpadní rostlinné oleje (jedlé i nejedlé), tak živočišné tuky. Kromě těchto materiálů složených z triglyceridů mastných kyselin lze využít i volné mastné kyseliny. V takovém případě však při hydrogenaci nevzniká propan.

3. Složení a vlastnosti primárních produktů

Primární produkty hydrogenace rostlinných olejů představují čistě uhlovodíkové směsi s dominantním zastoupením *n*-heptadekanu a *n*-oktadekanu (obvykle více než 50 %). V závislosti na původním složení rostlinných olejů obsahují HVO menší množství vyšších (do C₂₄) a nižších (především C₁₅ a C₁₆) *n*-alkanů. Z ostatních uhlovodíků převládají především isoalkany C₁₇ a C₁₈ (cit.^{8–13}). Podstatné je, že všechny jmenované uhlovodíky jsou nasycené a jsou přirozenou součástí běžné motorové nafty vyrobené z ropy. Na rozdíl od ní však HVO neobsahují v podstatě žádné aromatické uhlovodíky. Díky specifickému uhlovodíkovému složení mají HVO ve srovnání s ropnou motorovou naftou poměrně nízkou hustotu a mírně vyšší viskozitu. Absence dvojných vazeb v molekulách HVO vylučuje problémy s oxidační stabilitou známé u tradiční bionafty. Primární HVO mají vynikající vlastnosti při spalování ve vznětovém motoru charakterizované cetanovým číslem. Zatímco u běžné motorové nafty a bionafty tento parametr zpravidla nepřekračuje hodnoty 55 až 57 jednotek, primární HVO mají cetanové číslo zcela běžně vyšší než 70 jednotek¹⁴. Jediným, avšak z provozního hlediska poměrně důležitým nedostatkem primárních HVO jsou jejich naprosto nevyhovující vlastnosti za nízkých teplot. Tato skutečnost je dána vysokým obsahem *n*-heptadekanu a *n*-oktadekanu, jenž mají sice vysoké ceta-

nové číslo (105, resp. 110 jednotek), ale rovněž vysoký bod tání (+19, resp. +28 °C). Hodnoty obou klíčových nízkoteplotních vlastností sledovaných u motorových naft (teplota vylučování parafinů a filtrovatelnost – CFPP) tak většinou přesahují +20 °C (cit.^{14,15}).

Nepříznivé nízkoteplotní vlastnosti primárních HVO značně limitují jejich využití v čisté podobě jako náhrady za ropnou motorovou naftu. V omezeném množství je lze použít jako složku motorové nafty, která sice zvyšuje její cetanové číslo, avšak za cenu zhoršení nízkoteplotních vlastností. Z těchto důvodů se v komerčním měřítku uplatnila dvoustupňová výroba HVO zahrnující v prvním stupni výše diskutovanou hydrogenaci, na niž navazuje izomerace¹⁶. Při izomeraci se přeměňují *n*-alkany na isoalkany, takže obsah *n*-heptadekanu a *n*-oktadekanu ve finálním produktu dramaticky klesne. Tímto způsobem se nízkoteplotní vlastnosti zlepšit natolik, že jsou pak HVO v tomto směru plně srovnatelné s běžným typem zimní motorové nafty (motorová nafta třídy F) nebo dokonce lepší. Všechny výhody HVO, včetně extrémně vysokého cetanového čísla, přitom zůstanou zachovány. Pod jednoduchým označením HVO se tedy běžně rozumí finální komerční produkt hydrogenace rostlinných olejů, resp. živočišných tuků, bez ohledu na to, kolik dílčích operací celá technologie zahrnuje.

4. Komerční výroba HVO

Z detailního popisu mechanismu hydrogenace rostlinných olejů vyplývá, že hlavním produktem tohoto procesu je uhlovodíková směs, která svým destilačním rozmezím odpovídá motorové naftě (cca 200–360 °C), přičemž kvalita tohoto biopaliva je mnohem vyšší než kvalita bionafty (FAME) a dokonce i vyšší než kvalita standardní motorové nafty vyrobené z ropy (viz dále). Při průmyslové výrobě HVO vzniká rovněž menší množství lehčích uhlovodíků, jejichž podíl lze do jisté míry ovlivnit nastavením provozních podmínek celé technologie. Vedle HVO vhodných jako palivo pro vznětové motory tedy vzniká i specifická obdoba benzínu a petrolejové frakce, přičemž posledně zmíněný produkt je možné využít jako alternativní palivo pro letecké turbínové motory. Nezanedbatelná je i skutečnost, že při hydrogenaci vzniká z 1 tuny zpracovávaných rostlinných olejů a/nebo živočišných tuků rovněž přibližně 50 kg biopropanu.

V Evropě je zřejmě nejnámějším a současně největším výrobcem HVO finská společnost Neste Oil vyrábějící HVO v rafineriích ve Finsku, v Singapuru a v Nizozemí¹⁷. V roce 2015 činila celková kapacita těchto jednotek 2,4 Mt HVO, což představuje více než polovinu roční spotřeby motorové nafty v ČR. Pro výrobu HVO se přitom využívají z více než 60 % suroviny odpadního charakteru (zvířecí a rybí tuk a odpadní produkty z rafinace olejů), takže tento podíl vyrobeného HVO lze označit za biopalivo 2. generace, resp. za pokročilé biopalivo. Zbylých necelých 40 % surovinové základny pak tvoří palmový olej, příp. menší množství jiných rostlinných olejů. Do budouc-

na Neste Oil očekává, že bude touto technologií zpracovávat i oleje vyráběné z řas. Všechny finální produkty hydrogenace nesou komerční označení „NExBTL renewable“¹⁷. Kromě hlavního produktu NExBTL renewable diesel určeného pro pohon vznětových motorů poskytuje technologie i níže vroucí biopaliva, resp. uhlovodíkové frakce: letecký petrolej (NExBTL renewable aviation fuel), benzin a propan. Kromě společnosti Neste Oil (technologie NExBTL) vyrábějí palivo typu HVO podobnými technologiemi a pod různými obchodními označeními i další firmy. Jako příklad lze uvést technologii Ecofining vyvinutou společnostmi Honeywell UOP a ENI (produkt Green Diesel)¹⁸ či společnost UPM vyrábějící produkt BioVerno¹⁹.

5. Paliva pro vznětové motory

Oproti bionaftě má HVO jako diesellové palivo jednoznačně výhodu spočívající v jeho uhlovodíkové povaze. HVO je materiálově kompatibilní s palivovým systémem a vyznačuje se dobrou oxidační stabilitou. Na rozdíl od bionafty se tedy na produkty HVO nevztahují žádná omezení související s dopravou a skladováním, tudíž lze libovolně využívat distribuční a skladovací systémy určené pro ropná paliva. V mnoha ohledech jsou vlastnosti HVO dokonce lepší než vlastnosti ropné motorové nafty. Vedle nižšího obsahu síry je to především vysoké cetanové číslo a s ním související extrémně nízký obsah aromatických uhlovodíků. Dva posledně jmenované parametry přitom příznivě ovlivňují nejen provozní vlastnosti motoru, ale

i emise polutantů. V tab. I jsou pro dokreslení situace uvedeny vybrané vlastnosti produktu NExBTL, bionafty vyrobené z řepkového oleje a standardní motorové nafty vyrobené z ropy^{20,21}.

HVO může být do ropné motorové nafty přidán principiálně v jakémkoliv množství, nicméně z hlediska splnění normy EN 590 (cit.³) je limitujícím parametrem hustota. Relativně nízká hustota HVO totiž snižuje hustotu směsného paliva, takže při obsahu HVO v motorové naftě přibližně 30 obj.% se již hustota blíží k dolnímu limitu 820 kg m⁻³ (limit pro motorové nafty pro mírné klima)²⁰. Je také třeba počítat s tím, že pokud takové směsné palivo neobsahuje FAME, bude ho nutné aditivovat mazivostními přísadami podobně jako standardní motorovou naftu neobsahující FAME. Co se týče ostatních parametrů směsného paliva, vyšší obsah HVO zvyšuje jeho kvalitu. Za nejvýznamnější přínos HVO lze zřejmě považovat zvýšení cetanového indexu, resp. cetanového čísla. Při obsahu HVO v palivu 30 obj.% lze přitom očekávat nárůst až o 10 jednotek²⁰. Ve Finsku je například na trhu motorová nafta Neste Pro Diesel, která obsahuje minimálně 15 obj.% produktu NExBTL¹⁷. S motorovou naftou obsahující HVO se lze setkat i v České republice. Pod obchodním označením Maxxmotion Diesel nabízí toto palivo na svých čerpacích stanicích společnost OMV²². Zmínit je třeba i možnost používat 100% produkt HVO jako úplnou náhradu motorové nafty, podobně jako čistou bionaftu (evropská specifikace EN 14214, cit.¹). Pro tyto účely již byla vydána evropská technická specifikace definující obecně požadavky na tzv. „parafinická diesellová paliva“

Tabulka I

Vybrané vlastnosti motorové nafty, bionafty a diesellového paliva vyrobeného hydrogenací rostlinných olejů oleje (NExBTL)^{20,21}

Parametr	Motorová nafta	Bionafta z řepkového oleje	NExBTL
Složení	uhlovodíky	FAME ^a	uhlovodíky
Hustota při 15 °C, kg m ⁻³	833,5	882,5	778,6
Kin. viskozita při 40 °C, mm ² s ⁻¹	2,66	4,63	2,89
Destilace:			
při 250 °C predestiluje, obj.%	40	0	7
při 350 °C predestiluje, obj.%	95	92	98 ^b
95 obj.% predestiluje při, °C	351	354	295
Cetanový index	52,2	58,5	93,1
Bod vzplanutí, °C	60	> 120	83
Filtrovatelnost – CFPP, °C	–24	–26	–38
Oxidační stabilita, h ^c	196,1	9,8	30,8
Celkový obsah aromátů, hm.%	25,0	< 0,1	0,2
Obsah polycyklických ^d aromatických uhlovodíků, hm.%	2,88	< 0,01	< 0,01
Obsah síry, mg kg ⁻¹	8	4	< 2

^a Methylstery mastných kyselin; ^b konec destilace při 304 °C; ^c hodnoty vypočítané z hodnot naměřených dle ASTM D7545; ^d obsah dvou- a vícejaderných aromatických uhlovodíků

zahrnující i HVO. Čisté palivo NExBTL renewable diesel bylo a je v rámci různých projektů úspěšně používáno pro pohon vznětových motorů uzavřených flotil motorových vozidel.

Vysoké hodnoty cetanového indexu, resp. cetanového čísla souvisí především s téměř totální absencí aromatických uhlovodíků v HVO. Vzhledem k tomu, že aromatické uhlovodíky mají při spalování obecně větší sklon k tvorbě pevných částic, HVO a směsná paliva obsahující HVO mají předpoklad k menší tvorbě částic. Tento předpoklad byl již i potvrzen různými studiemi, při kterých byly ve vznětových motorech spalovány jak čisté HVO a ropná motorová nafta, tak různé směsi těchto paliv. Přitom byl jednoznačně prokázán nejen příznivý vliv na snížení emisí částic, ale i na snížení ostatních regulovaných složek výfukových emisí (uhlovodíky, CO a NO_x). V porovnání s ropnou motorovou naftou se u čistého HVO jedná o snížení emisí částic přibližně o 25–46 %, snížení emisí uhlovodíků a CO až o 50, resp. 80 % a snížení emisí NO_x o 6–16 % (cit.^{23,24}).

Nezanedbatelný environmentální přínos HVO spočívá rovněž v nižších emisích skleníkových plynů. Neste Oil například uvádí¹⁷, že v závislosti na skladbě surovin použitých pro výrobu jejich produktů NExBTL dosahuje při jejich používání úspora emisí skleníkových plynů 40–90 % ve srovnání s používáním motorové nafty vyráběné z ropy. Připočteme-li k tomu skutečnost, že produkty HVO lze přidávat do ropné motorové nafty v množství až 30 obj.%, mají pak motorové nafty obsahující HVO mnohem větší potenciál ve snižování emisí skleníkových plynů než motorové nafty obsahující tradiční bionaftu (FAME), jejíž obsah v motorové naftě je současnou legislativou omezen na 7 obj.%.

Oddělená výroba HVO v samostatné výrobní jednotce sice poskytuje široký prostor pro optimalizaci celého výrobního procesu, avšak vyžaduje výstavbu nových technologických zařízení pro zpracování příslušného množství rostlinných olejů. Další možností přeměny rostlinných olejů na uhlovodíky je využití vhodných rafinérských technologií a kapacit pro společné zpracování rostlinných olejů

a ropné suroviny. Ze zavedených rafinérských technologií přichází v úvahu především hydrogenační rafinace plynového oleje, tedy hlavní komponenty používané při výrobě motorové nafty^{25–27}.

Jako příklad lze uvést brazilskou společnost Petrobras, která v některých svých rafinériích provedla v minulosti úpravu hydrogenačních jednotek pro společnou rafinaci středního ropného destilátu a rostlinných olejů (technologie H-Bio)²⁸. Přestože technologie společné hydrogenační rafinace rostlinných olejů a motorové nafty je principiálně i technicky možná, úprava stávajících hydrogenačních jednotek v rámci ropné rafinérie je spojena s mnoha problémy a riziky jak čistě administrativního rázu (např. způsob vykazování množství vyrobené biosložky), tak rázu technického (nutnost pokrytí vyšší spotřeby vodíku, nižší životnost katalyzátoru, odlišné složení cirkulačního plynu apod.).

6. Letecká turbínová paliva

O vysoké kvalitě motorových paliv typu HVO svědčí i skutečnost, že z vhodných destilačních řezů HVO se vyrábějí i letecká turbínová paliva obecně označovaná jako biojet, biokerosene, HRJ (hydroprocessed renewable jet) nebo HEFA (hydrotreated esters and fatty acids). V závislosti na výrobci pak tato paliva nesou konkrétní komerční označení, jako např. výše zmíněné palivo NExBTL renewable aviation fuel vyráběné společností Neste Oil. Z hlediska uhlovodíkového složení jsou na tom letecká turbínová paliva založená na bázi HVO podobně jako paliva diesellová. Jedná se o směsi výhradně nasycených uhlovodíků neobsahující aromatické uhlovodíky. Podobně jako u diesellových paliv tato skutečnost snižuje sklon paliva k tvorbě částic, který má u leteckých turbínových paliv navíc význam nejen environmentální, ale je i důležitým kvalitativním ukazatelem ovlivňujícím provoz, resp. životnost leteckých motorů. Letecká paliva typu HVO mají rovněž vynikající nízkoteplotní vlastnosti reprezentované nízkým bodem krystalizace, což je jeden z klíčových para-

Tabulka II

Vybrané vlastnosti standardního leteckého paliva JET A1 spolu s vlastnostmi vybraných turbínových paliv vyráběných technologií hydrogenace rostlinných olejů²⁹

Parametr	JET A1	Biopaliva – hydrogenované rostlinné oleje		
		Syntroleum R-8	UOP camelina	UOP tallow
Hustota při 15 °C, kg m ⁻³	806	762	751	758
Viskozita při -20 °C, mm ² s ⁻¹	4,1	5,5	3,3	5,3
Výhřevnost, MJ kg ⁻¹	43,1	44,1	44,3	44,1
Bod vzplanutí, °C	50	48	43	55
Bod krystalizace, °C	-50	-49	< -77	-62
Střední bod varu, °C	211	215	182	210
Obsah aromatů, obj.%	20	< 1	< 1	< 1
Atomární poměr H/C	1,91	2,15	2,17	2,15

metrů sledovaných u leteckých paliv. Vybrané vlastnosti některých leteckých paliv jsou uvedeny v tab. II (cit.²⁹).

Jako složky leteckých paliv byla diskutována biopaliva testována v řadě vojenských i civilních letadel, přičemž v oblasti civilního letectví proběhlo i dlouhodobé testování na pravidelných linkách³⁰. Po následných schvalovacích procedurách byly již některé typy biopaliv oficiálně schváleny jako komponenty standardního leteckého paliva typu JET A1 (cit.^{31–33}). Tato skutečnost je bezesporu velkým úspěchem, neboť z důvodu bezpečnosti jsou požadavky na letecká paliva velice přísné a civilní letectví je v oblasti zavádění nových typů paliv spíše konzervativní. Letecká biopaliva typu HVO jsou tedy v současné době jediným biopalivem, kterým lze docílit snížení emisí skleníkových plynů v letecké dopravě.

7. Závěr

Zvýšení podílu biopaliv v motorových naftách nad 7 obj.% lze v současné době dosáhnout pouze s využitím jiných typů biopaliv, než jsou methylestery mastných kyselin. Jako velice perspektivní biopalivo se jeví hydrogenované rostlinné oleje (HVO), jejichž uhlovodíkový charakter lze přirovnat k hluboce hydrorafinované a totálně dearomatizované minerální motorové naftě s extrémně vysokým cetanovým číslem. HVO netrpí nedostatky typickými pro FAME, a lze je přidávat do ropné motorové nafty téměř v libovolném množství. Přítomnost HVO v motorové naftě přitom nejen zlepšuje její užité vlastnosti, ale snižuje i emise polutantů (CH, CO a NO_x) vznikajících při jejím spalování.

Paliva typu HVO jsou natolik kvalitní, že vhodné destilační řezy lze využít jako palivo pro letecké turbínové motory. V současné době se jedná o jedinou schválenou biosložku, která může být součástí standardního leteckého paliva typu JET A1, a která tak umožňuje snížení emisí skleníkových plynů z letecké dopravy.

Tato práce byla financována MŠMT ČR z institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace IČ 60461373.

LITERATURA

1. ČSN EN 14214+A1: *Motorová paliva - Methylestery mastných kyselin (FAME) pro vznětové motory – Technické požadavky a metody zkoušení* (červenec 2014).
2. ČSN 65 6508: *Motorová paliva – Směsné motorové nafty obsahující methylestery mastných kyselin (FAME) – Technické požadavky a metody zkoušení* (únor 2013).
3. ČSN EN 590: *Motorová paliva – Motorové nafty – Technické požadavky a metody zkoušení* (duben 2014).
4. Satyarthi J. K., Chiranjeevi T., Gokak D. T., Viswanathan P. S.: *Catal. Sci. Technol.* 3, 70 (2013).
5. Veriansyah B., Han J. Y., Kim S. K., Hong S., Kim Y. J., Lim J. S., Shu Y., Oh S., Kim J.: *Fuel* 94, 578 (2012).
6. Triantafyllidis K., Lappas A., Stöcker M. (ed.): *The Role of Catalysis for the Sustainable Production of Bio-fuels and Bio-chemicals*. Elsevier, Boston 2013.
7. Toba M., Abe Y., Kuramochi H., Osako M., Mochizuki T., Yoshimura Y.: *Catal. Today* 164, 533 (2011).
8. Šimáček P., Kubička D., Šebor G., Pospíšil M.: *Fuel* 88, 456 (2009).
9. Kubička D., Šimáček P., Žilková N.: *Top. Catal.* 52, 161 (2009).
10. Kochetkova D., Blažek J., Šimáček P., Staš M., Beňo Z.: *Fuel Process. Technol.* 142, 319 (2016).
11. Bezergianni S., Dimitriadis A., Sfetsas T., Kalogianni A.: *Bioresource Technol.* 101, 7658 (2010).
12. da Rocha Filho G. N., Brodzki D., Djéga-Mariadassou G.: *Fuel* 72, 543 (1993).
13. Šimáček P., Kubička D., Kubičková I., Homola F., Pospíšil M., Chudoba J.: *Fuel* 90, 2473 (2011).
14. Šimáček P., Kubička D., Šebor G., Pospíšil M.: *Fuel* 89, 611 (2010).
15. Stumborg M., Wong A., Hogan E.: *Bioresource Technol.* 56, 13 (1996).
16. Hancsók J., Krár M., Magyar S., Boda L., Holló A., Kalló D.: *Microporous Mesoporous Mater.* 101, 148 (2007).
17. <http://www.nesteoil.com>, staženo 9. 2. 2016.
18. <http://www.uop.com/processing-solutions/renewables/>, staženo 10. 2. 2016.
19. <http://www.upmbiofuels.com/renewable-diesel-upm-bioverno/Pages/Default.aspx>, staženo 10. 2. 2016.
20. Syblíková K.: *Diplomová práce*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2014.
21. Vysocká A.: *Bakalářská práce*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2015.
22. http://www.omv.cz/portal/01/cz/omv_cz/Produkty/Informace_o_vyrobcich/Pohonne_hmoty/MaxxMotion_Diesel, staženo 10. 2. 2016.
23. Aatola H., Larmi M., Sarjoavaara T., Mikkonen S.: *SAE technical paper 2008-01-2500* (2008).
24. Kuronen M., Mikkonen S., Aakko P., Murtonen T.: *SAE technical paper 2007-01-4031* (2007).
25. Huber G. W., O'Connor P., Corma A.: *Appl. Catal., A* 329, 120 (2007).
26. Sebos I., Matsoukas A., Apostolopoulos V., Papayanakos N.: *Fuel* 88, 145 (2009).
27. Šimáček P., Kubička D., Pospíšil M., Šebor G.: *Paliva* 4, 28 (2012).
28. <http://www.investidorpetrobras.com.br/download/1473>, staženo 27. 1. 2017.
29. Hui X., Kumar K., Sung C. J., Edwards T., Dylan Gardner D.: *Fuel* 98, 176 (2012).
30. Chiaramonti D., Prussil M., Buffi M., Tacconi D.: *Appl. Energ.* 136, 767 (2014).
31. Joint Inspection Group Bulletin, No. 60, Issue 27 (únor 2013).
32. ASTM D4054-14: *Standard Practice for Qualification*

and Approval of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives (2014).

33. ASTM D7566-15c: *Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons* (2015).

P. Šimáček, D. Vrtilška, Z. Mužíková, and M. Pospíšil (*Department of Petroleum Technology and Alternative Fuels, University of Chemistry and Technology, Prague*): **Motor Fuels Produced by Hydrotreating of Vegetable Oils and Animal Fats**

The review deals with hydrotreated vegetable oils (HVO) used to produce hydrocarbon-based biofuels including diesel fuel and aviation fuel. The mechanism of transformation of vegetable oils into hydrocarbons is shown and the properties of the primary products are discussed. Also, chapters are devoted to commercial HVO products, their properties and their utilization as biocomponents for diesel and aviation fuel. The potential to reduce all regulated emissions (HC, CO, PM and NO_x), as well as the greenhouse gases is mentioned.



Oznámení o vyhlášení výběrového řízení na obsazení funkce ředitele Ústavu organické chemie a biochemie AV ČR, v. v. i.

Rada Ústavu organické chemie a biochemie AV ČR, v. v. i. vyhláší veřejné výběrové řízení na obsazení funkce ředitele/ředitelky pracoviště s nástupem 1. 6. 2017 na dobu 5 let.

Požadavky:

- splnění zákonných podmínek podle ustanovení § 17, odstavec (4) – (6) zákona č. 341/2005 Sb., o veřejných výzkumných institucích, v platném znění
- vysokoškolské vzdělání a vědecká hodnost
- kvalifikace v oboru souvisejícím s vědeckým zaměřením ústavu
- organizační schopnosti a zkušenosti
- znalost anglického jazyka
- morální bezúhonnost

Příhlášky spolu s:

- podrobným životopisem
- doklady o splnění zákonných podmínek podle ustanovení § 17, odst. (4) – (6) zákona č. 341/2005 Sb.
- doklady o dosažené kvalifikaci
- přehledem dosavadní praxe
- stručným písemným vyjádřením ke koncepci a řízení Ústavu organické chemie a biochemie AV ČR, v. v. i.
- kontaktními údaji

zasílejte jak písemně na adresu:

Ústav organické chemie a biochemie AV ČR, v. v. i.
k rukám Doc. RNDr. I. Valterové, CSc.
Flemingovo nám. 2
166 10 Praha 6

tak elektronicky na e-mailovou adresu: irena.valterova@uochb.cas.cz
nejpozději do 17. března 2017 do 16.00 hod. Obálku označte zřetelně náním „VŘ“.
Další informace (převážně v anglickém jazyce) lze nalézt na www.uochb.cz