

VLASTNOSTI A ANALÝZA KAPALNÝCH ALTERNATIVNÍCH PALIV III: ROSTLINNÉ OLEJE A HYDROGENOVANÉ ROSTLINNÉ OLEJE

Martin Staš, Dan Vrtiška, Hugo Kittel, Pavel Šimáček

Ústav technologie ropy a alternativních paliv, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, Praha 6, Martin.Stas@vscht.cz

Význam alternativních paliv a biopaliv neustále roste, a to z důvodů zajištění energetické bezpečnosti, udržitelnosti a sociální odpovědnosti. Tento článek je dalším ze série přehledových článků vypracovaných s cílem rekapitulovat informace o požadovaných vlastnostech jednotlivých alternativních paliv, metodách jejich zkoušení a významu jednotlivých analýz a je zaměřen na paliva na bázi rostlinných olejů a hydrogenovaných rostlinných olejů.

Klíčová slova: alternativní paliva, kapalná paliva, rostlinné oleje, řepkový olej, parafinická motorová nafta, HVO

Došlo 09. 05. 2023, přijato 30. 06. 2023

1. Úvod

Majoritními složkami rostlinných olejů jsou triglyceridy, tedy estery vyšších mastných kyselin a glycerolu. Rostlinné oleje se vyrábí lisováním nebo rozpouštědlovou extrakcí semen olejnatých plodin, příp. kombinací těchto postupů. Rostlinný olej je využitelný jako biopalivo v surové, hydrogenované nebo transesterifikované (např. methyl ester řepkového oleje, MEŘO) podobě.

V soustavě českých norem se nachází norma ČSN 65 6516 [1], která specifikuje technické požadavky a metody zkoušení pro řepkový olej pro spalovací motory na rostlinné oleje. Pro další rostlinné oleje podobná ČSN norma neexistuje.

Hydrogenovaný rostlinný olej (*Hydrotreated Vegetable Oil, HVO*) je uhlovodíkové palivo, které destilačně odpovídá palivům naftového typu. Toto palivo je využitelné ve standardních vznětových motorech [2,3]. HVO se vyrábí katalytickou hydrogenací rostlinných olejů (nejen řepkového) a živočišných tuků různého původu. V počátcích využití technologie výroby HVO sloužily jako jediná surovina rostlinné oleje. Postupem času došlo k rozšíření portfolia surovin o tuky živočišné (včetně rybího) a různé zbytky a odpady, např. použité fritovací oleje a odpadní tuky. Zkratka HVO i její význam, byť nyní již trochu zavádějící, však zůstaly ponechány, což přináší výhodu spočívající v tom, že v sobě obsahují odkaz jak na proces výroby daného paliva, tak do jisté míry i na použitou surovinu. Pro paliva na bázi HVO se používají i jiná označení, např. zelená nafta (*Green Diesel*) či s ohledem na chemické složení obnovitelná parafinická nafta (*Renewable Paraffinic Diesel*). V případě, že takováto parafinická paliva destilačně odpovídají leteckým petrolejům, označují se jako HEFA (*Hydrotreated Esters and Fatty Acids*) [2,3].

Technické požadavky a metody zkoušení pro HVO specifikuje norma ČSN EN 15940+A1+AC [4], která používá pro toto palivo označení parafinické motorové nafty získané syntézou nebo hydrogenací [4]. Do parafinických motorových naft specifikovaných touto normou tedy mohou kromě HVO spadat i produkty z jiných procesů, např. parafinické motorové nafty z Fischer-

Tropschovy syntézy. V tomto článku budeme pracovat pouze s názvy HVO nebo HEFA, a to ve výše uvedených významech. Alternativně budeme používat i obecný název parafinické motorové nafty (PMN), a to pro paliva specifikovaná normou ČSN EN 15940+A1+AC.

V článku představujeme přehled technických požadavků a analytických zkoušek předepsaných pro výše uvedená paliva na bázi rostlinných olejů a hydrogenovaných rostlinných olejů a živočišných tuků. Důraz je kladen na parametry a zkoušky předepsané příslušnými normami. V menší míře jsou však diskutovány i parametry a alternativní metody, které nejsou pro příslušné palivo předepsány žádnou normou. U analytických metod jsou komentovány principy stanovení a význam stanovení. Některé rutinní palivářské metody jako stanovení hustoty, viskozity, bodu vzplanutí, nízkoteplotních vlastností nebo destilační křivky a jiné budou diskutovány v samostatných článcích, a proto zde nebudou komentovány.

2. Technické požadavky a metody zkoušení řepkového oleje a HVO

Tato kapitola představuje technické požadavky na složení a vlastnosti paliv na bázi rostlinných olejů a HVO, které jsou předepsané příslušnými normami citovanými v úvodu. U rostlinných olejů budou vlastnosti diskutovány obecně pro různé druhy rostlinných olejů a zároveň bude speciální pozornost věnována řepkovému oleji.

2.1. Vlastnosti rostlinných olejů a hydrogenovaných rostlinných olejů

2.1.1 Porovnání vlastností rostlinných olejů, hydrogenovaných rostlinných olejů a motorové nafty

Rostlinné oleje se vyznačují obsahem kyslíku v rozmezí 10–12 hm. % [5]. V porovnání s motorovou naftou je jejich energetický obsah přibližně o 10–13 % menší, mají vyšší hustotu, nižší cetanové číslo, výrazně vyšší bod vzplanutí a viskozitu. Díky přítomnosti násobných vazeb v kyselinových řetězcích se rostlinné oleje vyznačují nízkou oxidační stabilitou, která je ještě nižší než u

FAME. Z dalších vlastností lze zmínit vyšší Conradsonův karbonizační zbytek [5].

Rostlinné oleje lze spalovat v upravených motorech, v nichž je z důvodu vysoké viskozity tohoto paliva zařazen předehřev, případně může být upraven vstříkací systém. Jedná se hlavně o stacionární motory nebo dvojpalivové motory (start na naftu, poté provoz na ohřátý olej a posléze závěr na naftu) využitelné např. v některých traktorech nebo zemědělských strojích, kde použití tohoto paliva je schváleno výrobcem motoru [6-8]. Pro spalování v běžných motorech není toto palivo vhodné, musí se reesterifikovat na methyl- nebo ethylestery mastných kyselin.

Paliva na bázi HVO se vyznačují velmi vysokým cetanovým číslem (až nad 70), velmi dobrými nízkoteplotními vlastnostmi (po hydroizomeraci), optimální viskozitou, vysokým bodem vzplanutí, výbornou oxidační stabilitou, velmi nízkým obsahem aromátů, síry, dusíku a kyslíku, a nízkou hustotou. Paliva na bázi HVO lze díky jejich uhlovodíkovému charakteru spalovat ve standardních vznětových motorech bez požadavku na úpravu motoru.

2.1.2 Řepkový olej

Technické požadavky na řepkový olej pro spalovací motory jsou uvedeny v normě ČSN 65 6516. Řepkový olej lze dle této normy spalovat ve spalovacích motorech

v upravené nebo rafinované podobě, nesmí se však jednat o chemickou změnu [1]. Rafinace oleje zahrnuje úpravu, které vede k odstranění zbytků nežádoucích příměsí, např. fosfolipidů nebo volných mastných kyselin [1].

2.2. Hlavní složky a kontaminanty řepkového oleje a hydrogenovaných rostlinných olejů

2.2.1 Řepkový olej

Hlavními složkami řepkového oleje a obecně rostlinných olejů jsou triglyceridy, což jsou estery vyšších mastných kyselin a glycerolu. Triglyceridy představují přibližně 98 hm. % rostlinných olejů. Z kyselinových zbytků jsou přítomny zejména zbytky kyselin C₁₆–C₁₈. Kromě toho mohou být přítomna i malá množství volných kyselin, vosků, fosfolipidů, vody, sloučenin síry, příp. některé kovy [1].

2.2.2 Hydrogenované rostlinné oleje

HVO je čisté uhlovodíkové palivo s dominantním zastoupením C₁₅–C₁₈ n-alkanů a isoalkanů, v menší míře jsou zastoupeny také uhlovodíky nižší než C₁₅ a vyšší než C₁₈. Majoritními složkami jsou n-heptadekan a n-oktadekan, které obvykle představují více než 70 hm. % HVO. Ve velmi malých množstvích mohou být přítomny aromatické uhlovodíky, voda, sloučeniny síry a kovy [9,10].

Tab. 1: Porovnání vlastností rostlinných olejů, hydrogenovaných rostlinných olejů a motorové nafty B7 [5]

Tab. 1: A comparison of properties of vegetable oils, hydrotreated vegetable oils, and conventional diesel B7 [5]

Vlastnost/parametr	Jednotka	Řepkový olej	Slunečnicový olej	Sójový olej	HVO třída A	HVO třída B	B7
Norma ČSN	–	65 6516	–	–	EN 15940+A1+AC	–	EN 590
Hlavní složka	–	triglyceridy			uhlovodíky		
Hustota při 15 °C	kg/m ³	~912	~916	~914	765–800	780–810	820–845
Viskozita při 40 °C	mm ² /s	~37	~34	~33	2,0–4,5	–	2,0–4,5
Bod vzplanutí	°C	246	274	254	>55	–	>55
Výhřevnost	MJ/kg	~36	~36	~36	~44	–	~43
Cetanové číslo	–	38	37	38	>70	>51	>51
Destilační rozmezí	°C	–	–	–	200–360	–	200–360
Obsah síry	mg/kg	<10	–	–	<5	–	<10
Jódové číslo	g I ₂ /100 g	100	125	130	–	–	–
Bod tekutosti	°C	-10	-16	-17	-20 (mírné klima, třída F)		
Oxidační stabilita	g/m ³	–	–	–	<20	–	<20
	h	>6	–	–	>25	–	>25
Karbonizační zbytek (z 10 % dest. zbytku)	hm. %	<0,40	–	–	<0,30	–	<0,30

Tab. 2: Technické požadavky a metody zkoušení předepsané normou ČSN 65 6516 pro řepkový olej

Tab. 2: Technical requirements and testing methods prescribed by the ČSN 65 6516 standard for rapeseed oil

Vlastnost/parametr	Jednotka	Limity		Metoda zkoušení	
		min.	max.	Metoda	Norma ČSN
Vzhled	–	bez zjevného znečištění		vizuální posouzení	
Hustota při 15 °C	kg/m ³	910	925	hustoměr U-trubice	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozita při 40 °C	mm ² /s	–	36,0	–	EN ISO 3104
Bod vzplanutí	°C	101	–	uzavřený kelímek	EN ISO 2719
Výhřevnost	MJ/kg	36,0	–	–	EN 65 6169
Schopnost vznícení	–	39	–	–	–
Jódové číslo	g I ₂ /100 g	95	125	Wijsova	EN 14111
Karbonizační zbytek	% hm.	–	0,40	–	EN ISO 10370 ISO 6615
Celkový obsah nečistot	mg/kg	–	24	–	EN 12662
Obsah popela	% hm.	–	0,01	–	EN ISO 6245
Číslo kyselosti	mg KOH/g	–	2,0	TAN	EN 14104
Obsah síry	mg/kg	–	10	UV-FLU XRF-WD	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Obsah fosforu	mg/kg	–	12	ICP-OES	EN 14107
Obsah vápníku + hořčíku	mg/kg	–	20	ICP-OES	EN 14538
Obsah vody	mg/kg	–	750	coul. KF	EN ISO 12937
Oxidační stabilita při 110 °C	h	6,0	–	Rancimat	EN 14112

Tab. 3: Technické požadavky a metody zkoušení předepsané normou ČSN EN 15940+A1+AC pro PMN

Tab. 3: Technical requirements and testing methods prescribed by the ČSN EN 15940+A1+AC standard for paraffinic diesel fuels

Vlastnost	Jedn.	Limity – třída A		Limity – třída B		Metoda zkoušení	
		min.	max.	min.	max.	Metoda	Norma ČSN
Hustota při 15 °C	kg/m ³	765	800	780	810	hustoměr U-trubice	ISO 3675 ISO 12185
Viskozita při 40 °C	mm ² /s	2,00	4,50	2,00	4,50	kapilární	ISO 3104
Bod vzplanutí	°C	55	–	55	–	uzavřený kelímek	ISO 2719
Cetanové číslo	–	70,0	–	51,0	–	–	ISO 5165 15195
95 % obj. predestiluje při	°C	–	360	–	360	atmosférická destilace	ISO 3405
Koroze na mědi (3 h, 50 °C)	stupeň koroze	třída A		třída A		Cu destička	ISO 2160
Obsah popela	hm. %	–	0,01	–	0,01	–	6245
Celkový obsah nečistot	mg/kg	–	24	–	24	–	12662
Mazivost	µm	–	460	–	460	–	ISO 12156
Oxidační stabilita	g/m ³	–	25	–	25	úsady na filtru	ISO 12205
	h	20	–	20	–	Rancimat	15751

2.3. Analýza řepkového oleje a hydrogenovaných olejů plynovou chromatografií

2.3.1 Řepkový olej

Řepkový olej představuje palivo obsahující složky s vysokými body varu, které jsou vyšší než body varu složek motorové nafty. GC analýza řepkového oleje se proto provádí vysokoteplotní GC-FID analýzou s přímým nástřikem na kolonu nebo s děličem toku s teplotou na nástřiku přibližně 360 °C. K analýze se používají speciální vysokoteplotní kolony. Nepochopitelné vysokoteplotní kolony umožňují dělení triglyceridů podle počtu uhlíkových atomů. Lepší výsledky poskytují polární kolony vyvinuté speciálně pro analýzu triglyceridů (např. Rtx-65TG) [11] s teplotní stabilitou do přibližně 370 °C, které umožňují rozdělení triglyceridů podle počtu uhlíkových atomů i stupně nenasycenosti [12,13].

V některých případech je zapotřebí stanovit kmenový původ řepkového oleje. Kmenový původ lze stanovit pomocí charakteristického profilu mastných kyselin nebo sterolovou analýzou. Profil mastných kyselin je charakteristický pro každý rostlinný olej. Jedná se především o obsah nenasycených vazeb a délky molekulového řetězce. Stanovení profilu mastných kyselin lze provést výše zmíněnou GC analýzou [12].

Kmenový původ oleje lze dále stanovit sterolovou analýzou, která je popsána v normě ČSN EN ISO 12228 [14] nebo taky v práci Aluyor a kol. [12]. Podstata stanovení spočívá v zmydelnění vzorku oleje za varu ethanolickeým roztokem hydroxidu draselného. Nezmýdelněný podíl se oddělí extrakcí na tuhé fázi na kolonce s oxidem hlinitým, kde se zachytí anionty mastných kyselin a steroly projdou kolonou. Sterolový podíl se dále rozdělí tenkovrstvou chromatografií a stanoví se plynovou chromatografií s cholestanolem nebo betulinem jako vnitřním standardem [12,14].

2.3.2 Hydrogenované rostlinné oleje

GC instrumentace je podobná jako pro konvenční motorové nafty. Jedná se tedy o standardní GC-FID analýzu na nepolární koloně s nástřikem s děličem toku. Hlavním účelem analýzy je obvykle stanovení charakteristických n-alkanů a identifikace a stanovení přítomných isoalkanů, případně dalších složek.

2.4. Obsah polycyklických aromatických uhlovdíků

Polycyklické aromatické uhlovdíky (PAU) jsou silně nežádoucí složkou paliv, protože při spalování produkují zdravotně závadné pevné částice a zároveň některé PAU přítomné v emisích ze spalování mají karcinogenní účinky [15]. Stanovení PAU je předepsáno pro parafinickou motorovou naftu (tedy taky HVO), pro řepkový olej toto stanovení předepsáno není.

Obsah PAU se stanovuje modifikovaným postupem dle ČSN EN 12916 [16] vyvinutým pro konvenční motorové nafty. Modifikace při stanovení v HVO souvisí s tím, že HVO má výrazně nižší obsah aromátů než motorová nafta. Vzorek se tedy na rozdíl od motorové nafty neředí [4]. U stanovení aromátů dle ČSN EN 12916 [16]

se jedná o HPLC na normálních fázích s kolonou se silikagelem modifikovaným amino- nebo kyano-skupinami s refraktometrickým detektorem. Kvantitativní analýza se provádí metodou externí kalibrace pomocí standardů obsahujících *o*-xylen, fluoren a fenantren na čtyřech koncentračních úrovních. Obsah mono- a polycyklických (dva a více kruhů) aromatických uhlovdíků se stanovuje přímo pomocí kalibrace, obsah nasyčených uhlovdíků se vypočítá dopočtem do 100 % [16].

2.5. Obsah nekovových a kovových prvků

Z prvků se u řepkového oleje i HVO sleduje obsah síry [1,4]. U HVO je, na rozdíl od jiných kapalných paliv, maximální povolený obsah síry pouze 5 mg/kg [4]. V řepkovém oleji se dále stanovují fosfor, vápník a hořčík, které se v něm přirozeně vyskytují. Tyto prvky jsou popelotvorné a proto se jejich obsah musí monitorovat [1]. U HVO se kromě síry ještě stanovuje mangan [4]. Příslušné limity pro tyto prvky a příslušné metody zkoušení jsou specifikované v tab. 4. Podrobnosti k těmto metodám jsou uvedeny v předešlém článku Staš a kol. [17].

Tab. 4: Sledované prvky a jejich limitní obsahy v řepkovém oleji a HVO a přehled zkoušek používaných k tomuto sledování

Tab. 4: Monitored Elements and Their Limit Contents in Rapeseed Oil and HVO, and Overview of Used Analytical Methods

Prvek	Norma ČSN EN		Metoda	Limity (mg/kg)	
	ŘO	HVO		ŘO	HVO
S	ISO 20846	ISO 20846	UV-FLU	<10	<5
	ISO 20884	ISO 20884	XRF-WD		
P	14107	–	ICP-OES	<3	–
Mn	–	16576	ICP-OES	–	<2*
Ca	–	–	ICP-OES	<1	–
Mgk	14538	–	ICP-OES	<1	–

* mg/L

2.6. Oxidační stabilita

Oxidační stabilita je problematickým parametrem pro rostlinné oleje, přičemž dosahované hodnoty jsou ještě horší než u FAME [9]. Naopak HVO se vyznačuje velmi dobrou oxidační stabilitou, která je porovnatelná se stabilitou fosilních paliv bez biosložek [9]. Předepsané metody pro stanovení oxidační stability řepkového oleje a HVO zahrnují metodu Rancimat a stanovení úsad na filtru, viz tab. 5. Rozdílné metody stanovení pro řepkový olej a HVO souvisí s rozdílnou oxidační stabilitou těchto paliv [9].

2.7. Porovnání stanovovaných vlastností u řepkového oleje, HVO a motorové nafty

Sledované vlastnosti a metody zkoušení jsou u řepkového oleje, HVO a konvenční motorové nafty až na pár výjimek podobné.

Tab. 5: Předepsané metody pro stanovení oxidační stability řepkového oleje a HVO

Tab. 5: Prescribed Methods for the Determination of Oxidation Stability of Rapeseed Oil and HVO

Palivo	Norma ČN EN	Typ metody
Řepkový olej	14112	Rancimat
HVO	ISO 12205 15751	úsady na filtru Rancimat

Tab. 6: Porovnání stanovovaných vlastností řepkového oleje (ŘO), HVO a motorové nafty B7

Tab. 6: Comparison of Monitored Properties of Rapeseed Oil, HVO, and Conventional Diesel B7

Vlastnost/parametr	ŘO	HVO	B7
Hustota při 15 °C	✓	✓	✓
Viskozita při 40 °C	✓	✓	✓
Bod vzplanutí	✓	✓	✓
Výhřevnost	✓	–	–
Cetanové číslo	✓ ^a	✓	✓
Cetanový index	–	–	✓
Destilační zkouška	–	✓	✓
Koroze na mědi	–	✓	✓
Obsah popela	✓	✓	✓
Obsah nečistot	✓	✓	✓
Mazivost	–	✓	✓
Karbonizační zbytek	✓	✓	✓
Oxidační stabilita	✓	✓	✓
Jódové číslo	✓	–	–
Číslo kyselosti	✓	–	–
Obsah FAME	–	✓	✓
Obsah aromátů	–	✓	✓
Obsah vody	✓	✓	✓
Obsah fosforu	✓	–	–
Obsah síry	✓	✓	✓
Obsah manganu	–	✓	✓
Kovy II.A skupina	✓	–	–
CFPP	–	✓	✓
Bod zákalu	–	✓	✓

^a U řepkového oleje je definován parametr schopnost vznícení

Podobnost ve sledovaných vlastnostech mezi HVO a motorovou naftou je ještě vyšší, což souvisí s tím, že v obou případech se jedná o uhlovodíková paliva. Rozdíl spočívá pouze ve stanovení aromátů, což již bylo popsáno v kap. 2.4. U HVO je na rozdíl od nafty povoleno pouze maximálně 5 mg/kg síry, viz kap. 2.5.

U řepkového oleje se na rozdíl od HVO a motorové nafty sleduje jódové číslo, číslo kyselosti, obsah fosforu, vápníku a hořčíku. Hodnota jódového čísla udává celkový obsah nenasycených sloučenin, který je u řepkového oleje daleko vyšší než u zmíněných uhlovodíkových paliv. Číslo kyselosti udává celkový obsah volných kyselin. Toto stanovení se u HVO ani motorové nafty neprovádí, jelikož volné kyseliny zde prakticky nejsou přítomny. Sledované prvky již byly diskutovány v kap. 2.5. Na rozdíl od HVO a motorové nafty se u řepkového oleje neprovádí standardní atmosférická destilační zkouška dle ČSN EN ISO 3405, což souvisí s velmi vysokými body varu triglyceridů. U řepkového oleje není předepsaná ani metoda simulovaná destilace, kterou však pro toto palivo lze bez problémů provést. U řepkového oleje je předepsaná hodnota výhřevnosti, pro HVO ani motorovou naftu tento parametr předepsaný není. Karbonizační zbytek se u řepkového oleje stanovuje z celkového vzorku, kdežto u HVO a nafty se provádí stanovení z 10 % destilačního zbytku. U řepkového oleje je dále předepsán parametr schopnost vznícení, který odpovídá cetanovému číslu stanovovanému u HVO a motorové nafty. Schopnost vznícení se stanovuje ve zkušebním motoru. Oblast aplikace metod stanovení cetanového čísla (schopnosti vznícení) nejsou však pro palivo řepkový olej určeny a získané hodnoty jsou pouze orientační.

2.8. Stanovení obsahu HVO a HEFA v motorových naftách a leteckých petrolejích

Výhodou paliv HVO a HEFA je jejich uhlovodíkový charakter. Tato alternativní paliva proto lze potenciálně použít jako uhlovodíkové biosložky konvenčních paliv jako jsou motorové nafty a/nebo letecké petroleje, které mají rovněž uhlovodíkový základ. Zejména u leteckých paliv představuje použití uhlovodíkové biosložky prakticky jedinou možností, jak snížit emise skleníkových plynů. Tato aplikace však s sebou přináší potíže se stanovením obsahu těchto uhlovodíkových biosložek v uhlovodíkových konvenčních palivech. Jednou ze slibných možností pro tuto aplikaci představuje použití infračervené spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR) s chemometrickým zpracováním dat nebo ¹⁴C radiouhlíkové metody [9].

3. Závěr

Tento článek poskytuje přehled technických požadavků a metod zkoušení předepsaných příslušnými normami pro řepkový olej a HVO.

Řepkový olej je palivo na bázi triglyceridů, které lze spalovat v upravených vznětových motorech. Úprava motoru spočívá v zařazení předehřevu paliva nebo úpravy vstřikovacího systému, a to z důvodu vysoké viskozity tohoto paliva. Řepkový olej a obecně rostlinné oleje se vyznačují vyšším obsahem kyslíku než konvenční motorové nafty, s čímž je spojený menší energetický obsah než u naft. V porovnání s motorovou naftou mají rostlinné oleje vyšší hustotu, nižší cetanové číslo a výrazně vyšší bod vzplanutí a viskozitu. Rostlinné oleje se

také vyznačují nízkou oxidační stabilitou. Z fyzikálních vlastností se u řepkového oleje sledují hustota, viskozita, bod vzplanutí a výhřevnost. Z chemických vlastností se sleduje jódové číslo, číslo kyselosti, obsah vody, vápníku, hořčíku, síry a fosforu. Z dalších vlastností se sleduje oxidační stabilita, schopnost vznícení, obsah popela, karbonizační zbytek, obsah nečistot a vzhled.

HVO představuje velmi kvalitní palivo pro standardní vznětové motory. Díky uhlovodíkovému charakteru HVO se u motorů nevyžaduje žádná úprava. HVO má velmi vysoké cetanové číslo, velmi dobré nízkoteplotní vlastnosti, optimální viskozitu, vysoký bod vzplanutí, výbornou oxidační stabilitu a velmi nízký obsah nežádoucích kontaminantů jako jsou aromatické uhlovodíky, sloučeniny síry, dusíku a kyslíku. V porovnání s motorovou naftou má HVO nižší hustotu. Sledované kvalitativní parametry a metody zkoušení jsou velmi podobné jako u konvenční motorové nafty B7. Hlavní rozdíl spočívá v modifikovaném stanovení aromatických uhlovodíků.

Poděkování

Tento výstup vznikl v rámci projektu Specifického výsokoškolského výzkumu – projekt č. A1_FTOP_2023_005.

Seznam zkratk

B7	Motorová nafta s max. 7 % obj. FAME
CFPP	filtrovatelnost
FAME	methylestery mastných kyselin
FID	plamenově-ionizační detektor
FTIR	infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
GC	plynová chromatografie
HEFA	hydrogenované estery a mastné kyseliny
HPLC	vysokoúčinná kapalinová chromatografie
HVO	hydrogenovaný rostlinný olej
ICP-OES	optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
KF	Karl Fischer
MEŘO	methylester řepkového oleje
PAU	polycyklické aromatické uhlovodíky
PMN	parafinické motorové nafty
ŘO	řepkový olej
TAN	číslo kyselosti
UV-FLU	fluorescence v ultrafialové oblasti
XRF-WD	vlnově-disperzní rentgenová fluorescenční analýza

Literatura

1. ČSN 65 6516: Motorová paliva - Řepkový olej pro spalovací motory na rostlinné oleje - Technické požadavky a metody zkoušení.
2. Vrtiška D., Vozka P., Váchová V., Šimáček P., Kilaz G.: Prediction of HEFA content in jet fuel using FTIR and chemometric methods. *Fuel* (2019), **236** 1458-1464, doi: 10.1016/j.fuel.2018.09.102.
3. Laurentino Alves J.C.: *Vibrational Spectroscopy for the Quantification of Hydrotreated Vegetable Oil*

- (HVO) *Advanced Biofuels in Petroleum-Derived Fuel Blends: A Minireview*. *Analytical Letters* (2022), **55** (6), 933-950, doi: 10.1080/00032719.2021.1975731.
4. ČSN EN 15940+A1+AC: Motorová paliva - Parafinické motorové nafty získané syntézou nebo hydrogenací - Technické požadavky a metody zkoušení.
 5. *Handbook of Fuels*. 2022, Weinheim, Germany: Wiley-VCH.
 6. Knothe G.: *Biodiesel and renewable diesel: a comparison*. *Progress in Energy and Combustion Science* (2010), **36** (3), 364-373, doi: 10.1016/j.pecc.2009.11.004.
 7. Knothe G., Dunn R.O., Bagby M.O. *Biodiesel: the use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels*. in *ACS Symposium Series*. 1997. American Chemical Society.
 8. Laurin J. *Rostlinné oleje jako motorová paliva*. *Biom.cz [online]*. 2008-10-29., dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/roslinne-oleje-jako-motorova-paliva>, (staženo 19. dubna 2023).
 9. Schütze A., *Alternative Biofuel Options - Diesel*, in *Handbook of Fuels*, B. Elvers and A. Schütze, Editors. 2022, Wiley-VCH GmbH: Weinheim, Germany.
 10. No S.-Y.: *Application of hydrotreated vegetable oil from triglyceride based biomass to CI engines—A review*. *Fuel* (2014), **115** 88-96, doi: 10.1016/j.fuel.2013.07.001.
 11. *Rtx®-65TG Columns (Fused Silica)*, dostupné z: <https://us.vwr.com/store/product/17955066/rx-65tg-columns-fused-silica-restek> (staženo 19. dubna 2023).
 12. Aluyor E., Ozigagu C., Oboh O., Aluyor P.: *Chromatographic Analysis of Vegetable Oils: A review*. *Scientific Research and Essay* (2009), **4** (4), 191-197.
 13. Ruiz-Samblás C., González-Casado A., Cuadros-Rodríguez L.: *Triacylglycerols determination by high-temperature gas chromatography in the analysis of vegetable oils and foods: a review of the past 10 years*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (2015), **55** (11), 1618-1631, doi: 10.1080/10408398.2012.713045.
 14. ČSN EN ISO 12228-1: Stanovení obsahu jednotlivých a celkových sterolů - Metoda plynové chromatografie - Část 1: Živočišné a rostlinné tuky a oleje.
 15. Kim K.-H., Jahan S.A., Kabir E., Brown R.J.: *A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects*. *Environment International* (2013), **60** 71-80, doi: 10.1016/j.envint.2013.07.019.
 16. ČSN EN 12916: Ropné výrobky - Stanovení skupin aromatických uhlovodíků ve středních destilátech - Vysokoúčinná kapalinová chromatografie s refraktometrickou detekcí.
 17. Staš M., Baroš P., Matějovský L., Kittel H., Šimáček P.: *Stanovení prvků a neuhlovodíkových sloučenin v kapalných a plynných palivech*. *Paliva* (2023), **15** (2).

Summary

Properties and Analysis of Liquid Alternative Fuels III: Vegetable Oils and Hydrotreated Vegetable Oils

Martin Staš, Dan Vrtiška, Hugo Kittel, and Pavel Šimáček

The importance of alternative fuels and biofuels is constantly growing due to energy security, sustainability, and social responsibility. This article is another in a series of review articles designed to recapitulate information on the required properties of individual alternative fuels, their testing methods, and the significance of individual analyses. This article is focused on fuels based on vegetable oils and hydrotreated vegetable oils.

Rapeseed oil is a triglyceride-based fuel that can be burned in modified diesel engines. Modification of the engine consists in the inclusion of preheating of the fuel or modification of the injection system, due to the high viscosity of this fuel. Rapeseed oil and vegetable oils in general have a higher oxygen content than conventional diesel fuels, which is associated with a lower energy content than that of diesel fuels. Compared to diesel, vegetable oils have a higher density, a lower cetane number, and a significantly higher flash point and viscosity. Vegetable oils also have low oxidative stability. Physical properties monitored in rapeseed oils include density, viscosity, flash point, and calorific value. From the chemical properties, the iodine number, acidity number, water content, calcium, magnesium, sulfur, and phosphorus are monitored. From the other properties, oxidative stability, ignitability, ash content, carbonation residue, content of impurities, and appearance are monitored for rapeseed oils.

HVO is a high-quality fuel for standard diesel engines. Due to the hydrocarbon character of HVO, no engine modification is required. HVO has a very high cetane number, very good low-temperature properties, optimal viscosity, high flash point, excellent oxidative stability, and a very low content of undesirable contaminants such as aromatic hydrocarbons, sulfur, nitrogen, and oxygen-containing compounds. Compared to diesel fuels, HVO has a lower density. The observed qualitative parameters and testing methods are very similar to those of conventional diesel fuel B7. The main difference lies in the modified determination of aromatic hydrocarbons.