METODY HODNOCENÍ ČISTOTY A SPALOVACÍCH CHARAKTERISTIK MOTOROVÝCH PALIV

Martin Staš, Hugo Kittel, Lukáš Matějovský, Pavel Šimáček

Ústav udržitelných paliv a zelené chemie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha, Martin.Stas@vscht.cz

Tento článek je čtvrtým ze série zaměřené na představení společných metod pro hodnocení konvenčních i alternativních motorových paliv. V předešlých článcích jsme se věnovali stanovení prvků a neuhlovodíkových sloučenin [1], dále hodnocení fyzikálních [2] a chemických vlastností [3] paliv. V tomto článku se věnujeme dalším dosud nediskutovaným vlastnostem jako je obsah pryskyřic, celkové nečistoty, obsah popela, karbonizační zbytek, oktanové číslo, cetanové číslo a cetanový index. Hlavním cílem článku je poskytnout přehled toho, u kterých paliv, proč a jakými metodami se tyto vlastnosti sledují. Důraz je kladen hlavně na normované zkoušky, ale v některých případech jsou diskutovány i doplňkové zkoušky, které nejsou vyžadované normou.

Klíčová slova: konvenční paliva, alternativní paliva, obsah pryskyřic, celkové nečistoty, obsah popela, karbonizační zbytek, oktanové číslo, cetanové číslo, cetanový index

Došlo 12. 9. 2024, přijato 9. 10. 2024

1. Úvod

Konvenční a alternativní paliva musí splňovat technické požadavky definované příslušnými produktovými normami. Splnění těchto požadavků má zajistit, že příslušné palivo bude kvalitní a při jeho používání nedojde k poškození motoru. Produktové normy kromě technických požadavků na paliva definují také zkoušky, které se používají k ověření toho, zda palivo definované požadavky splňuje. Jak již bylo zmíněno výše, tento článek je dalším ze série článků zaměřených na představení metod pro hodnocení konvenčních i alternativních paliv. V tomto článku představujeme přehled vlastností paliv, které dosud v této sérii článků nebyly diskutovány. Jedná se o vlastnosti spojené s obsahem nečistot přítomných v palivech (celkové nečistoty) nebo těch nečistot, resp. produktů, které mohou vznikat při teplotním a tlakovém namáhaní paliva v motoru, příp. v palivovém systému (obsah popela, karbonizační zbytek, obsah pryskyřic). Dále se v tomto textu budeme věnovat vlastnostem paliv, které charakterizují náchylnost paliva ke klepání (oktanové číslo) nebo tzv. tvrdému chodu motoru (cetanové číslo a cetanový index). V článku prezentujeme, pro která paliva se tyto vlastnosti sledují, jaké jsou limitní hodnoty těchto parametrů a jaké jsou důvody k jejich sledování. Prezentujeme také metody zkoušení, které se používají pro stanovení těchto vlastností.

2. Obsah pryskyřic

Obsah pryskyřic vyjadřuje sklon paliva k tvorbě pryskyřičných úsad. Z chemického hlediska se jedná o výše molekulární látky, které vznikají při reakci vzdušného či rozpuštěného kyslíku v palivu s nejreaktivnějšími složkami paliva. Těchto reakcí se nejčastěji účastní olefiny, aromatické uhlovodíky či heterocyklické sloučeniny obsahující síru. Pryskyřice pak mohou obsahovat různé kyslíkaté funkční skupiny jako jsou éterické, peroxidové, hydroperoxidové, esterové, hydroxylové, karboxylové atd. K tvorbě těchto látek napomáhá přítomnost některých kovů či jejich iontů (např. Cu, Fe), vyšší teplota či dlouhá doba skladovatelnosti. Tyto úsady se tvoří zejména v místech, kde dochází k odpařování paliva. Při větším obsahu pryskyřic může docházet k zalepení vstřikovačů a/nebo sacích ventilů. U leteckých paliv může vyšší obsah pryskyřic indikovat kontaminaci paliva vysokovroucími oleji nebo mechanickými nečistotami [4,5].

Obsah pryskyřic se obvykle sleduje v automobilových benzínech a v leteckých palivech, viz tab. 1. ASTM normy předepisují sledování obsahu pryskyřic i pro kyslíkaté složky určené na mísení do automobilových benzínů. V evropském a posléze i českém systému norem je obsah pryskyřic předepsán pouze pro automobilové benzíny odpovídající normě ČSN EN 228. Pro ethanol dle ČSN EN 15376 obsah pryskyřic limitován není.

Tab. 1 Limitní hodnoty obsahu pryskyřic pro kapalná paliva předepsané příslušnými normami
Tab. 1 Gum content limit values prescribed by the relevant standards

Palivo	Pryskyřice (mg/100 mL)	Analytická norma	Poznámka
E5, E10	<5	ČSN EN ISO 6246	po promytí toluenem
E10, E15*	<5	-	po promytí toluenem
Ethanol**	<5	ASTM D381	po promytí toluenem
Butanol***	<5	ASTM D381	po promytí toluenem
Jet A (A-1)	<7	ASTM D381	bez promývání

* Odpovídá ASTM D4814, ** odpovídá ASTM D4806, *** odpovídá ASTM D7862

Pro automobilové benzíny dle ČSN EN 228 se obsah pryskyřic stanovuje postupem dle ČSN EN ISO 6246 [5]. Tento postup je ekvivalentní postupu uvedenému v normě ASTM D381 [6]. Tyto normy popisují postup stanovení metodou odpařování tryskou. Princip stanovení spočívá v odpařování zkušebního podílu vzorku za zvýšené teploty a průtoku vzduchu nebo páry. Zbytek po odpařování (pryskyřice) se zváží a obsah pryskyřic se vyjádří v mg/100 mL. Norma rovněž popisuje promytí pryskyřic rozpouštědlem (toluenem) a jejich opětovné zvážení a stanovení obsahu promytých pryskyřic. Obsah promytých pryskyřic se sleduje u benzínových paliv nebo u jejich kyslíkatých složek. U leteckých paliv se sleduje obsah celkových pryskyřic bez promytí [5,6].

3. Celkové nečistoty

Nečistoty v palivech jsou samozřejmě nežádoucí, protože jejich přítomnost může vést k ucpání palivových filtrů, trysek nebo k poškození palivového systému. Příkladem nečistot v palivech může být prach, rez z kovových částí palivového systému nebo produkty tepelné a oxidační degradace paliva. Obsah celkových nečistot se obvykle sleduje pouze u leteckých a dieselových paliv. Pro paliva naftového typu se pro stanovení používá postup popsaný v normě ČSN EN 12662 [7]. Tato norma popisuje metodu pro stanovení celkového obsahu nečistot ve středních destilátech, motorových naftách obsahujících až 30 % (V/V) methylesterů mastných kyselin (FAME) a v čistém FAME. Metoda může být použita pro vzorky s viskozitou nepřevyšující hodnotu 8 mm^2/s při 20 °C nebo 5 mm^2/s při 40 °C. Tato metoda je určena pro stanovení obsahu nečistot v rozmezí 12–30 mg/kg [7].

Tab. 2 Limitní hodnoty pro celkové nečistoty pro kapalná paliva předepsané příslušnými normami
Tab. 2 Limit values for total impurities for liquid fuels prescribed by the relevant standards

Palivo	Celkové nečistoty (mg/kg)	Analytická norma
B7	<24	EN 12662
B10	<24	EN 12662
B20+B30	<24	EN 12662
SMN 30	<24	EN 12662
FAME	<24	EN 12662
PMN	<24	EN 12662
ŘO	<24	EN 12662
Jet A (A-1)	<1	ASTM D5452

Princip metody spočívá v přefiltrování známé hmotnosti vzorku přes předem zvážený zkušební filtr za vakua. Sleduje se nárůst hmotnosti promytého a vysušeného filtru. Obsah celkových nečistot v palivech naftového typu nesmí překročit hodnotu 24 mg/kg, viz tab. 2 [7]. Pro stanovení obsahu nečistot v leteckých palivech se používá principiálně shodná metoda (ASTM D 5452) s vyšší citlivostí.

4. Obsah popela

Popel představuje netěkavý zbytek po úplném spálení vzorku. Z obsahu popela lze získat informaci o obsahu minerálních látek a obecně kovů ve vzorku. Z množství a složení popela lze usuzovat o čistotě příp. kvalitě paliva (z množství popela lze např. usuzovat o přítomnosti aditiv nebo kontaminantů). U uhlovodíkových paliv roste obvykle obsah popela s jejich bodem varu. Pro lehké destiláty je charakteristický nízký obsah popela. Nejvyšším obsahem popela se pak vyznačují topné oleje a zbytkové ropné frakce [8].

Pro stanovení obsahu popela lze využít několika metod. Při analýze kapalných paliv se však uplatňují pouze dvě základní metody. První z metod nepředpokládá přítomnost popelovin, které mohou produkovat těkavé produkty, jejichž přítomnost by mohla vést k získání nesprávných výsledků. Tato metoda bude v tomto textu označována jako standardní. Druhá z metod se používá pro vzorky, které mohou obsahovat i popeloviny produkující těkavé produkty. Jedná se o metodu síranovou, která produkuje síranový popel s vyšším bodem tání. V tab. 3 jsou uvedena paliva, pro která je v příslušné normě uveden požadavek na maximální obsah popela.

Tab. 3 Limitní hodnoty obsahu popela pro kapalná paliva předepsané příslušnými normami
Tab. 3 Ash content limit values for liquid fuels prescribed by the relevant standards

Palivo	Obsah popela (% m/m)	Analytická norma ČSN	Typ metody
B7	<0,01	EN ISO 6245	standardní
B10	<0,01	EN ISO 6245	standardní
B20+B30	<0,01	EN ISO 6245	standardní
SMN 30	<0,01	EN ISO 6245	standardní
PMN	<0,01	EN ISO 6245	standardní
ŘO	<0,01	EN ISO 6245	standardní
FAME	<0,02	ISO 3987	síranová

4.1. Stanovení obsahu popela standardní metodou

Standardní metoda stanovení popela je popsaná v normě ČSN EN ISO 6245 [9]. Tato metoda je určena pro vzorky s obsahem popela v rozmezí 0,001-0,180 % (m/m) a není vhodná pro vzorky obsahující popelná aditiva, sloučeniny fosforu nebo vybraných kovů, příp. jiné sloučeniny, u kterých hrozí riziko částečného vytěkání složek tvořících popel. V těchto případech se používá metoda síranová [9].

Při stanovení je zvážený vzorek umístěn ve vhodné nádobě a spálen. V nádobě zůstane po spálení vzorku popel a uhlíkatý zbytek, který je následně převeden na popel žíháním v muflové peci při 775 °C, ochlazen a zvážen. Obsah popela se vypočítá z poměru hmotnosti vzorku před a po zkoušce a udává se jako hmotnostní zlomek [9].

4.2. Stanovení obsahu popela síranovou metodou

Stanovení síranového popela je popsáno v normě ČSN ISO 3987 [10]. Síranový popel má vyšší bod tání než popel získaný standardní metodou. Metoda je tedy vhodná pro vzorky obsahující sloučeniny P, S, Cl, vybrané kovy jako např. baryum, vápník, hořčík, zinek, draslík, sodík a cín, příp. jiné sloučeniny, u kterých hrozí riziko částečného vytěkání složek tvořících popel. Stanovení síranového popela se používá pro FAME, které může obsahovat sloučeniny fosforu [8,10].

Při vlastním stanovení je zvážený vzorek umístěn ve vhodné nádobě a spálen. Po spálení vzorku zůstane v nádobě popel a uhlíkatý zbytek. Po ochlazení se ke zbytku přidá kyselina sírová a směs se zahřívá na 775 °C do dosažení úplné oxidace. Po ochlazení se přidá znovu kyselina sírová a směs se opět žíhá při 775 °C do konstantní hmotnosti. Obsah popela se vypočítá z poměrů hmotnost vzorku před a po zkoušce a udává se rovněž jako hmotnostní zlomek [10]. Rozdíly mezi standardní (a) a síranovou (b) metodou lze shrnout do následujících bodů:

a) Standardní stanovení popela: spálení → žíhání → ochlazení → zvážení.
b) Stanovení popela síranovou metodou: spálení → reakce s kyselinou sírovou → žíhání → ochlazení → zvážení.

5. Karbonizační zbytek

Karbonizační zbytek vzniká při zahřívání vzorku za nepřístupu vzduchu. Tím se liší od popela, který vzniká při spálení vzorku, tedy za přístupu vzduchu. Množství karbonizačního zbytku roste s rostoucím obsahem těžších podílů ve vzorku. Kapalná paliva se tedy vyznačují nižším obsahem karbonizačního zbytku než např. paliva tuhá. Množství karbonizačního zbytku charakterizuje náchylnost paliva k tvorbě uhlíkatých úsad, jejichž přítomnost může vést k nesprávné činnosti nebo dokonce k poškození vybraných součástí palivového systému, resp. motoru. Tento parametr má velký význam zejména pro produkty, které jsou při použití vystaveny vysokým teplotám jako např. motorová nafta, mazací oleje, topné oleje atd. [8].

Tab. 4 Limitní hodnoty karbonizačního zbytku pro kapalná paliva předepsané příslušnými normami

Tab. 4 Limit values of carbonization residue for liquid fuels prescribed by the relevant standards

Palivo	K. zbytek (% m/m)	Norma ČSN	Typ metody
B7, B10, PMN	<0,30*	EN ISO 10370	mikrometoda
SMN 30	<0,30*	EN ISO 10370	mikrometoda
ŘO	<0,40	ISO 6615	standardní

* stanovení se provádí z 10 % (V/V) destilačního zbytku

Při stanovení karbonizačního zbytku se uplatňují zejména dvě metody, a to standardní metoda dle Conradsona a mikrometoda dle Conradsona. V tab. 4 jsou uvedena automobilová paliva, pro která je v příslušné normě uveden požadavek na maximální hodnotu karbonizačního zbytku. Zcela samostatnou kapitolu pak tvoří námořní paliva, u kterých je karbonizační zbytek rovněž limitován.

5.1. Stanovení karbonizačního zbytku Conradsonovou metodou

Conradsonova metoda pro stanovení karbonizačního zbytku je specifikována v normě ČSN ISO 6615 [11]. Tato metoda je vhodná pro relativně netěkavé vzorky, které se při atmosférické destilaci částečně rozkládají a mají karbonizační zbytek v rozmezí 0,01 až 30,0 % (m/m). Vzorky obsahující popelotvorné složky, které lze stanovit podle ČSN ISO 6245, vykazují obvykle vysoký karbonizační zbytek v závislosti na množství vytvořeného popela [9,11].

Při stanovení se zvážený vzorek (3–10 g) nalije do kelímku a podrobí se destruktivní destilaci. Zbytek se následně žíhá po stanovenou dobu bez přístupu vzduchu. Zbytek po žíhání se po ochlazení v exikátoru zváží. Karbonizační zbytek se vypočítá jako hmotnostní zlomek z původního vzorku [11].

5.2. Stanovení karbonizačního zbytku Conradsonovou mikrometodou

Mikrometoda dle Conradsona je specifikována v normě ČSN EN ISO 10370 [12]. Tato metoda je vhodná pro vzorky s karbonizačním zbytkem v rozmezí od 0,01 do 30 % (m/m). Lze ji použít i pro vzorky s karbonizačním zbytkem menším než 0,01 % (m/m). Pro tyto vzorky se však provádí stanovení z 10 % (V/V) destilačního zbytku, a to tak, že se předem oddestiluje 90 % (V/V) vzorku [11,12]. Z 10 % destilačního zbytku se karbonizační zbytek stanovuje pro vybraná naftová paliva, viz tab. 4. U řepkového oleje dle ČSN 65 6516 [13] se karbonizační zbytek stanovuje z původního vzorku.

Při vlastním stanovení se zvážený vzorek (0,5–1 g) ve vialce řízeně zahřívá na 500 °C v proudu dusíku, který vynáší vzniklé těkavé podíly. Po ochlazení se získaný zbytek zváží. Množství karbonizačního zbytku se uvádí jako hmotnostní zlomek z původního vzorku, resp. destilačního zbytku [11].

6. Oktanové číslo

Oktanové číslo (OČ) vyjadřuje odolnost paliva proti samovznícení směsi paliva a vzduchu při kompresi před zažehnutím svíčkou. Jedná se o jev jednoznačně nežádoucí, který se projevuje tzv. klepáním motoru. Odolnost vůči detonačnímu hoření („klepání“) je ovlivněno kvalitou paliva. OČ tedy představuje velice významnou kvalitativní charakteristiku paliv určených pro zážehové motory, viz tab. 5. K vyjádření oktanového čísla se používá referenční stupnice, která je ohraničena na jedné straně izooktanem (2,2,4-trimethylpentanem) s OČ rovným 100 a n-heptanem na druhé straně s OČ = 0. Při stanovení oktanového čísla se porovnává náchylnost paliva ke klepání

s modelovými směsmi obsahujícími izooktan a n-heptan v různých objemových poměrech. OČ pak vyjadřuje objemový podíl (% V/V) izooktanu ve směsi s n-heptanem, která má za předepsaných podmínek zkoušky stejnou náchylnost ke klepání jako zkoušené palivo. Např. palivo s OČ = 95 má stejnou náchylnost ke klepání jako směs obsahující 95 % (V/V) izooktanu a 5 % (V/V) n-heptanu [4,8].

Tab. 5 Limitní hodnoty oktanových čísel předepsané příslušnými normami

Tab. 5 Limit values of octane numbers prescribed by the relevant standards

Palivo	OČVM	Norma ČSN EN	OČMM	Norma ČSN EN	Typ metody
LPG	–	–	>89,0	589-B	výpočet
E5	>95/98	ISO 5164	>85/88	ISO 5163	experiment
E10	>95/98		>85/88		

pozn.: LPG = zkapalněné ropné plyny (z angl. liquified petroleum gases)

6.1. Experimentální stanovení oktanového čísla

Při stanovení OČ se analyzované palivo spaluje v předepsaném zkušebním motoru s proměnným kompresním poměrem za předepsaných podmínek. Postupně se zvyšuje stupeň komprese a hledá se kompresní poměr, při kterém se dosáhne určité standardní intenzity klepání. Následně se hledají referenční směsi se známým oktanovým číslem, která mají za stejných podmínek stejnou náchylnost ke klepání jako zkoušené palivo [4,8].

Ke stanovení OČ autobenzínů se používají dvě metody, a to stanovení oktanového čísla výzkumnou metodou (OČVM) a motorovou metodou (OČMM). Při stanovení OČVM se palivo spaluje ve zkušebním motoru při 600 ot./min a konstantním předstihu 13°. Minimální garantovaná hodnota OČVM se v Evropě uvádí na čerpacích stanicích. Tato hodnota charakterizuje chování motoru při nízkých otáčkách. Při stanovení OČMM se palivo spaluje ve zkušebním motoru při 900 ot./min a předstih se mění v závislosti na stupni komprese. Hodnota OČMM je nižší než OČVM a odpovídá chování motoru při vysokých otáčkách [4,8].

6.2. Stanovení oktanového čísla výpočtem

Hodnotu OČVM nebo OČMM lze stanovit výpočtem ze složení paliva stanoveného metodou plynové chromatografie.

Pro LPG určené pro pohon motorů je dle ČSN EN 589 předepsána minimální limitní hodnota OČMM 89 jednotek. Dle přílohy B výše uvedené normy se OČ vypočítá ze složení LPG stanoveného metodou plynové chromatografie podle následující rovnice:

$$O\check{C}MM = \sum M_i \cdot C_i \qquad (1)$$

V této rovnici C_i představuje podíl příslušné složky ve směsi vyjádřený molárním, objemovým nebo hmotnostním zlomkem a M_i představuje oktanový faktor příslušné složky (různý v závislosti na vyjádření složení). Podobným výpočtem lze odhadnout i oktanové číslo autobenzínů [14].

7. Cetanové číslo a cetanový index

Cetanové číslo paliv naftového typu je obdobou OČ autobenzínů. Jedná se o kvalitativní charakteristiku, která vyjadřuje odolnost paliva vůči tzv. tvrdému chodu. K vyjadřování cetanového čísla (CČ) se používá referenční stupnice, která je na jedné straně ohraničena cetanem (n-hexadekanem) s CČ rovným 100 a na druhé straně 1-methylnaftalenem s CČ=0. Z praktických důvodů se místo 1-methylnaftalenu často používá 2,2,4,4,6,8,8-heptamethylnonan (isocetan) s CČ=15. CČ vyjadřuje objemový procentuální podíl cetanu ve směsi s 1-methylnaftalenem, která má za předepsaných podmínek zkoušky stejnou náchylnost k tvrdému chodu jako zkoušené palivo [4,8].

Cetanové číslo lze do jisté míry aproximovat stanovením cetanového indexu, který se vypočítá z hustoty a destilační charakteristiky paliva. Cetanový index sice nemůže cetanové číslo zcela nahradit, nicméně k jeho stanovení není zapotřebí zdaleka tak nákladné vybavení jako na stanovení cetanového čísla. Mnoho norem na palivo dieselového typu však požaduje určitou minimální hodnotu jak cetanového čísla, tak cetanového indexu (viz tab. 6).

Tab. 6 Limitní hodnoty cetanového čísla (CČ) a cetanového indexu (CI) pro kapalná paliva předepsané příslušnými normami

Tab. 6 Limit values of cetane number (CČ) and cetane index (CI) for liquid fuels prescribed by the relevant standards

Palivo	CČ	Norma ČSN EN	CI	Norma ČSN EN
B7	>51,0	ISO 5165 15195 16144	>46,0	ISO 4264
B10	>51,0	ISO 5165 15195 16144 16715	>46,0	
B20, B30	>51,0	ISO 5165 15195 16144	–	–
SMN 30	>51,0	ISO 5165 15195	>46,0	ISO 4264
FAME	>51,0	ISO 5165 16715	–	–
PMN	>70,0,[a] >51,0[b]	15195 ISO 5165	–	–

a = třída A, b = třída B

7.1. Stanovení cetanového čísla, odvozeného cetanového čísla a cetanového indexu

Rozhodčí a historicky první metoda pro stanovení cetanového čísla motorové nafty je popsaná v ČSN EN ISO 5165 a ASTM D613. Princip stanovení je podobný jako u experimentálního stanovení OČ. Analyzované palivo se spaluje v standardizovaném jednoválcovém čtyřtaktním vznětovém motoru s proměnným kompresním poměrem a nepřímým vstřikováním paliva za předepsaných podmínek. Postupně se mění stupeň komprese dokud se při spalování nedosáhne standardní prodlevy vznícení (vyjádřeno jako 13° pootočení klikové hřídele). Následně se hledají referenční směsi se známým cetanovým číslem se stejnou prodlevou vznícení jako má zkoušené palivo [4].

Jelikož výše popsané stanovení cetanového čísla je velmi náročné na vybavení, byly vyvinuty alternativní metody pro stanovení tzv. odvozeného cetanového čísla. Tyto metody jsou popsané v normách ČSN EN 15196 a ČSN EN 16144. Odvozené cetanové číslo se stanovuje v předepsaném zařízení, které pracuje na principu vstřikování paliva do horké komory za přesného časového sledování průběhu nárůstu tlaku [4].

Nejjednodušší a nejlevnější aproximací cetanového čísla paliva je stanovení cetanového indexu. Cetanový index paliv se stanovuje výpočtem popsaným v normě ČSN EN ISO 4264. Jedná se o výpočet z hustoty a z teplot, při kterých předestilovalo 10 %, 50 % a 90 % (V/V) zkoušeného paliva. Hodnota cetanového indexu je obvykle o několik jednotek nižší než hodnota cetanového čísla [4]. Cetanový index nemůže CČ zcela nahradit, zvláště pak u paliv s vysokým obsahem zvyšovačů cetanového čísla. Proto je také u dieselových paliv sledováno jak CČ, tak CI.

8. Závěr

V článku jsou diskutovány vybrané metody pro hodnocení kapalných paliv jako obsah pryskyřic, celkové nečistoty, obsah popela, karbonizační zbytek, oktanové číslo, cetanové číslo a cetanový index. Obecně se jedná o vlastnosti spojené s obsahem nečistot přímo přítomných v palivech (celkové nečistoty) nebo nečistot, resp. produktů, které mohou vznikat při teplotním namáhaní paliva (obsah popela, karbonizační zbytek, obsah pryskyřic). Oktanové a cetanové číslo pak představují provozní vlastnosti paliv spojené s náchylností k nestandardnímu spalování, které negativně ovlivňuje výkon a životnost motoru.

Obsah pryskyřic se měří u paliv benzínového typu a u leteckých paliv. Jejich obsah souvisí s náchylností paliva k tvorbě úsad při zahřívání. U paliv dieselového typu se měří karbonizační zbytek, který vyjadřuje náchylnost paliva k tvorbě uhlíkatých úsad při termickém namáhání. Automobilová dieselová paliva se obvykle vyznačují nízkými hodnotami karbonizačního zbytku, které se proto obvykle měří z 10 % (V/V) destilačního zbytku. Dalším parametrem souvisejícím s tvorbou produktů po tepelném namáhání vzorku je obsah popela. Na rozdíl od karbonizačního zbytku se popel tvoří při spalování vzorku, tedy za přístupu kyslíku. Z množství a složení popela lze získat informace o rozsahu aditivace či kontaminace paliva.

Oktanové číslo je jedním z nejdůležitějších parametrů benzínových typů paliv a LPG. Oktanové číslo vyjadřuje odolnost těchto paliv vůči klepání, které může vést až k poškození motoru. U kapalných paliv se oktanové číslo měří experimentálně ve zkušebním motoru. Alternativně lze hodnotu oktanového čísla určit i nepřímo, a to výpočtem na základě známého složení a příslušných oktanových faktorů výzkumné nebo motorové metody. U LPG se pak oktanové číslo stanovuje výhradně tímto způsobem.

Cetanové číslo se měří u paliv pro vznětové motory. Jedná se také o významnou charakteristiku těchto paliv, která vyjadřuje odolnost vůči tvrdému chodu. Hodnota cetanového čísla se měří experimentálně v předepsaném motoru. Alternativně lze měřit experimentálně i odvozené cetanové číslo nebo výpočtem stanovit cetanový index.

Poděkování

Tento článek vznikl v rámci projektu Specifického vysokoškolského výzkumu – projekt č. A1_VSCHT_2023_005.

Seznam zkratek

B7	motorová nafta B7 dle ČSN EN 590
B10	motorová nafta B10 dle ČSN EN 16734
B20, B30	motorová nafta s vysokým obsahem FAME dle ČSN EN 16709+A1
CČ	cetanové číslo
CI	cetanový index
E5, E10	automobilový benzin dle ČSN EN 228
FAME	methylestery mastných kyselin dle ČSN EN 14214+A2
LPG	zkapalněné ropné plyny
OČ	oktanové číslo
OČMM	oktanové číslo motorovou metodou
OČVM	oktanové číslo výzkumnou metodou
PMN	parafinická motorová nafta dle ČN EN 15940
SMN 30	směsná motorová nafta dle ČSN 65 6508
ŘO	řepkový olej dle ČSN 65 6516

Literatura

1. Staš M., Baroš P., Matějovský L., Kittel H., Šimáček P.: Obecné metody hodnocení paliv I: Stanovení prvků a neuhlovodíkových sloučenin v kapalných a plynných palivech. Paliva (2023), **15** (2), doi: https://doi.org/10.35933/paliva.2023.02.01.
2. Staš M., Kittel H., Matějovský L., Kejla L., Šimáček P.: Obecné metody hodnocení fyzikálních vlastností paliv. Paliva (2023), **15** (3), 126-135, doi: https://doi.org/10.35933/paliva.2023.03.07.

3. Staš M., Kittel H., Matějovský L., Lyko Vachková E., Šimáček P.: Obecné metody hodnocení chemických vlastností paliv. Paliva (2024), **16** (2), 38-45, doi: https://doi.org/10.35933/paliva.2024.02.01.
4. Matejovsky V., Automobilová paliva. 2004, Grada Publishing, a.s.
5. ČSN EN ISO 6246: Ropné výrobky - Obsah pryskyřičných látek v palivech - Metoda odpařování tryskou, https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-6246-656198-214280.html.
6. ASTM D381-22: Standard Test Method for Gum Content in Fuels by Jet Evaporation, https://www.astm.org/d0381-22.html.
7. ČSN EN 12662: Kapalné ropné výrobky - Stanovení celkového obsahu nečistot ve středních destilátech, motorových naftách a methylesterech mastných kyselin, https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-12662-656135-214168.html.
8. Šešulka V., Analýza paliv. 1970, Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury : Alfa.
9. ČSN EN ISO 6245: Ropné výrobky - Stanovení popela, https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-6245-656063-214066.html.
10. ČSN ISO 3987: Ropné výrobky - Stanovení sulfátového popela v mazacích olejích a přísadách, https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-iso-3987-656060-214056.html#.
11. ČSN ISO 6615: Ropné výrobky - Stanovení karbonizačního zbytku - Conradsonova metoda, https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-iso-6615-656210-214301.html.
12. ČSN EN ISO 10370: Ropné výrobky - Stanovení karbonizačního zbytku - Mikrometoda, https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-10370-656090-214117.html#.
13. ČSN 65 6516: Motorová paliva - Řepkový olej pro spalovací motory na rostlinné oleje - Technické požadavky a metody zkoušení, https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-65-6516-656516-214566.html.
14. ČSN EN 589: Motorová paliva - Zkapalněné ropné plyny (LPG) - Technické požadavky a metody zkoušení, https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-589-656503-214471.html.

Summary

Methods for evaluating the purity and combustion characteristics of motor fuels

Martin Staš, Hugo Kittel, Lukáš Matějovský, and Pavel Šimáček

This article is the fourth in a series of articles aimed at introducing common methods for evaluating both conventional and alternative fuels. In previous articles, we focused on the determination of elements and non-hydrocarbon compounds [1], as well as the evaluation of physical [2] and chemical properties [3]. This article focuses on other not yet-discussed properties such as gum content, total impurities, ash content, carbonization residue, octane number, cetane number, and cetane index. The main goal of the article is to provide an overview of which fuels are used, why these properties are monitored, and what methods are used for this monitoring. Emphasis is placed mainly on standardized tests, but in some cases, additional tests not required by the standard are also discussed.

Conventional and alternative fuels must meet the technical requirements defined by the relevant product standards. The fulfillment of these requirements is to ensure that, in addition to other properties, the relevant fuel will be of good quality and that the engine will not be damaged during its use. In addition to the technical requirements for fuels, the product standards also define the tests that are used to verify that the fuel meets the defined requirements. As mentioned above, this article is another in a series of articles aimed at presenting methods for evaluating both conventional and alternative fuels. In this article, we present an overview of the properties of fuels that have not yet been discussed in this series of articles. These are properties associated with the content of impurities present in the fuel (total impurities) or those impurities, or products that may arise during thermal stress on the fuel in the combustion system (ash content, carbonization residue, gum content). Furthermore, in this text, we will focus on the properties of fuels that characterize the fuel's susceptibility to knocking (octane number) or the so-called hard running of the engine (cetane number and cetane index). In the article, we present for which fuels these properties are monitored, what are the limit values of these parameters and what are the reasons for their monitoring. We also present the testing methods that are used to determine these properties.