

# STANOVENÍ UHLOVODÍKŮ V PLYNNÝCH A KAPALNÝCH PALIVECH

*Martin Staš, Hugo Kittel, 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 se zabývá stanovením obsahu uhlovodíků v tradičních fosilních i alternativních plynných a kapalných palivech. Hlavním cílem je nabídnout souhrnný přehled o tom, u kterých typů paliv se sleduje obsah jednotlivých uhlovodíků nebo jejich skupin, jaké konkrétní uhlovodíky či skupiny jsou předmětem sledování, z jakých důvodů se monitoring provádí a jaké analytické metody se k tomuto účelu využívají. Článek klade důraz především na metody a parametry definované technickými normami, avšak v některých případech se věnuje také doplňkovým zkouškám, které nejsou přímo vyžadovány normativními předpisy.*

*Klíčová slova: kapalná paliva, plynná paliva, konvenční paliva, alternativní paliva, analýza uhlovodíků, nasycené uhlovodíky, olefiny, aromatické uhlovodíky*

Došlo 18. 8. 2025, přijato 18. 9. 2025

## 1. Úvod

Technické požadavky a metody zkoušení pro konvenční fosilní i některá alternativní paliva jsou definovány v příslušných technických normách, které sledují řadu kvalitativních parametrů. Mnohé z těchto sledovaných parametrů byly rozebrány v předchozích článcích zaměřených na společné metody hodnocení konvenčních i alternativních paliv. První čtyři články této série byly věnovány stanovení prvků a neuhlovodíkových sloučenin v palivech [1], hodnocení fyzikálních [2] a chemických [3] vlastností paliv a metodám pro hodnocení čistoty a spalovacích charakteristik paliv [4].

V aktuálním článku představujeme parametry spojené s obsahem vybraných uhlovodíků nebo uhlovodíkových skupin v plynných i kapalných palivech a dále analytické metody používané pro jejich stanovení. Pozornost je věnována také důvodům, proč je sledování příslušných uhlovodíků v palivech důležité a jaký mají vliv na kvalitu paliva, bezpečnost nebo životní prostředí. Ze zkušebních metod se zaměřujeme na ty, které jsou definovány technickými normami a tvoří standardizovaný rámec pro hodnocení jednotlivých druhů paliv. V některých případech jsou rovněž uvedeny doplňkové nebo alternativní postupy, které nejsou standardizovány, ale mohou sloužit k rozšíření znalostí o složení a vlastnostech paliv.

## 2. Obsah uhlovodíků

Uhlovodíky jsou majoritními složkami konvenčních paliv pocházejících z ropy a zemního plynu. Uhlovodíkovou povahu mají také některá alternativní paliva, jako například hydrogenované rostlinné oleje, syntetická paliva vyrobená Fischer-Tropschovou syntézou, paliva z procesů methanol-to-gasoline (MTG), ethanol-to-gasoline (ETG) a další. V následujících kapitolách budou představeny parametry spojené s obsahem uhlovodíků, které se sledují u jednotlivých plynných a kapalných konvenčních a alternativních paliv. Dále jsou představeny příslušné metody zkoušení.

Seznam paliv, u kterých se sleduje obsah vybraných uhlovodíků nebo uhlovodíkových skupin je uveden v tab. 1. U paliv, která v této tabulce nejsou uvedena, nejsou příslušnými normami stanovené žádné limity pro obsah uhlovodíků. Práce dále uvádí platné české, resp. americké normy pro stanovení obsahu uhlovodíků v plynných a kapalných palivech.

### 2.1. Stanovení uhlovodíků v plynných palivech

#### 2.1.1 Vodík

Kvalitativní charakteristiky vodíkového paliva, které se využívá v dopravních a stacionárních aplikacích, specifikují normy ČSN ISO 14687 [5] a ČSN EN 17124 [6]. Tyto normy předepisují kromě minimálního požadovaného obsahu vodíku také maximální povolené hodnoty pro řadu nečistot, mezi které patří i uhlovodíky. Pro uhlovodíky ve vodíku jsou definovány dva limitní parametry. Prvním parametrem je celkový obsah uhlovodíků bez methanu a druhým je obsah methanu [6], viz tab. 1. Výskyt těchto uhlovodíků ve vodíku souvisí především s průmyslovými technologiemi jeho výroby parním reformováním nebo parciální oxidací. Pro stanovení obou těchto parametrů lze použít metody plynové chromatografie (GC) s plamenově-ionizačním (FID) nebo tepelně-vodivostním (TCD) detektorem. Jako alternativní metodu lze použít infračervenou spektroskopii s Fourierovou transformací (FTIR). Tyto metody jsou detailně popsány v článku Staš a kol. [7]. Stanovení obsahu uhlovodíků ve vodíku je důležité, protože uhlovodíky mají ve srovnání s vodíkem výrazně odlišnou výhřevnost a v palivových článcích bez předřazeného reformování nejsou jako palivo použitelné.

#### 2.1.2 Zemní plyn a biomethan

Z uhlovodíků se v palivech na bázi zemního plynu a biomethanu sleduje pouze obsah methanu. Norma ČSN 65 6517 [8], která specifikuje technické požadavky a metody zkoušení pro CNG a bio-CNG, stanovuje minimální obsah methanu na 85 % (n/n). Ke stanovení tohoto parametru se používají metody GC-TCD popsané v souboru norem ČSN EN ISO 6974, část 4–6 [9–11]. Tato stanovení jsou blíže popsána v článku Staš a kol. [12].

**Tab. 1:** Přehled sledovaných uhlovodíků a uhlovodíkových skupin v plynných a kapalných palivech**Tab. 1:** Overview of monitored hydrocarbons and hydrocarbon groups in gaseous and liquid fuels

| Palivo            | Produktová norma<br>ČSN (ASTM) | Parametr                                                                                                                                                                                                                                                 | Limit                                                                                                                        | Analytická<br>norma ČSN<br>(ASTM)                                     | Typ metody                                          |
|-------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Vodík             | ISO 14687<br>EN 17124          | Obsah uhlovodíků (kromě<br>methanu)<br>Obsah methanu                                                                                                                                                                                                     | $\leq 2 \mu\text{mol/mol}$<br>$\leq 100 \mu\text{mol/mol}$                                                                   | –                                                                     | GC-FID<br>(GC-TCD)                                  |
| CNG<br>Bio-CNG    | 65 6517<br><br>65 6514         | Obsah methanu<br><br>Obsah methanu                                                                                                                                                                                                                       | $\geq 85 \text{ \% (n/n)}$<br><br>$96\text{--}98 \text{ \% (V/V)}$ (typ LH)<br>$95\text{--}99 \text{ \% (V/V)}$ (typ H)      | ISO 6974-4<br>ISO 6974-5<br><br>EN ISO 15403                          | GC-FID                                              |
| LPG               | EN 589<br><br>65 6481          | Obsah propanu<br>Obsah dienu<br>Obsah buta-1,3-dienů<br><br>Obsah C <sub>2</sub> <sup>-</sup> uhlovodíků,<br>Obsah C <sub>3</sub> uhlovodíků<br>Obsah C <sub>4</sub> uhlovodíků<br>Obsah C <sub>5</sub> <sup>+</sup> uhlovodíků<br>Nenasycené uhlovodíky | $\geq 20 \text{ \% (m/m)}$<br>$\leq 0,5 \text{ \% (m/m)}$<br>$\leq 0,1 \text{ \% (m/m)}$<br><br>viz ČSN 65 6481 <sup>b</sup> | EN 27941<br><br><br><br>EN 27941                                      | GC-FID<br>(GC-TCD)<br><br><br>GC-FID<br>(GC-TCD)    |
| E5, E10           | EN 228+A1                      | Obsah olefinů<br>Obsah aromátů<br><br>Obsah benzenu                                                                                                                                                                                                      | $\leq 18 \text{ \% (V/V)}$<br>$\leq 35 \text{ \% (V/V)}$<br><br>$\leq 1 \text{ \% (V/V)}$                                    | EN 15553+A1<br>EN ISO 22854<br><br>EN 238<br>EN 12177<br>EN ISO 22854 | FIA<br>MD-GC-FID<br><br>FTIR<br>GC-FID<br>MD-GC-FID |
| Jet A,<br>Jet A-1 | (ASTM D1655)                   | Obsah aromátů<br><br><br>Obsah naftalenů <sup>a</sup>                                                                                                                                                                                                    | $\leq 25 \text{ \% (V/V)}$<br><br>$\leq 26,5 \text{ \% (V/V)}$<br>$\leq 3,0 \text{ \% (V/V)}$                                | D 1319<br>D 8267<br><br>D 6379<br>D 1840                              | FIA<br>GC-VUV<br><br>HPLC-RID<br>UV                 |
| B7                | EN 590                         | Obsah PAU                                                                                                                                                                                                                                                | $\leq 8 \text{ \% (m/m)}$                                                                                                    | EN 12916                                                              | HPLC-RID                                            |
| B10               | EN 16734+A1                    | Obsah PAU                                                                                                                                                                                                                                                | $\leq 8 \text{ \% (m/m)}$                                                                                                    | EN 12916                                                              | HPLC-RID                                            |
| B20, B30          | EN 16709                       | Obsah PAU                                                                                                                                                                                                                                                | $\leq 8 \text{ \% (m/m)}$                                                                                                    | EN 12916                                                              | HPLC-RID                                            |
| SMN 30            | 65 6508                        | Obsah PAU                                                                                                                                                                                                                                                | $\leq 5,6 \text{ \% (m/m)}$                                                                                                  | EN 12916                                                              | HPLC-RID                                            |
| PMN               | EN 15940                       | Obsah aromátů                                                                                                                                                                                                                                            | $\leq 1,1 \text{ \% (m/m)}$                                                                                                  | EN 12916                                                              | HPLC-RID                                            |

<sup>a</sup> pouze v případě, že je výška nečadivého plamene nižší než 25 mm

<sup>b</sup> jednotlivé limitní hodnoty se liší v závislosti na typu topného plynu (propan, propan-butan, butan a průmyslová topná směs)

Česká národní norma ČSN 65 6514 [13] předepisuje kvalitu bioplynu pro zážehové motory, nicméně fakticky se jedná o kvalitu bio-CNG. Pro splnění příslušných požadavků musí být totiž bioplyn vyčištěn na kvalitu bio-CNG, o čemž svědčí i minimální limity pro obsah methanu dosahující 95, resp. 96 % (V/V). Norma ČSN 65

6514 se zdá být v tomto ohledu překonaná, neboť poněkud zbytečně definuje dva typy bioplynu a zavádí i horní limit pro obsah methanu. Konkrétně se jedná o předepsaná rozmezí obsahu methanu 96–98 % (V/V) pro typ LH a 95–99 % (V/V) pro typ H [13].

Norma ČSN EN 16723-2 [14], která pokrývá formálně kvalitu CNG a bio-CNG paradoxně žádný minimální limit pro obsah methanu nepředepisuje. Předepisuje však jiné parametry, které s obsahem methanu, resp. vyšších uhlovodíků přímo souvisí. Těmito parametry jsou především teplota rosného bodu uhlovodíků a methanové číslo. Podle stejné normy se posuzuje kvalita LNG, resp. bio-LNG [14].

### 2.1.3 Zkapalněný ropný plyn (LPG)

Technické požadavky a metody zkoušení pro LPG určené pro spalovací motory jsou definované v normě ČSN EN 589 [15]. Tato norma definuje tři parametry spojené s obsahem uhlovodíků, a to (i) obsah propanu, (ii) celkový obsah dienu a (iii) obsah buta-1,3-dienů. Minimální obsah propanu, 20 % (m/m), je požadován především z důvodu zajištění dostatečného tlaku v palivovém systému při nízkých teplotách a usnadnění startu studeného motoru. Dieny a zejména 1,3-butadien, které jsou obsaženy v plynných produktech parního krakování, jsou nežádoucími složkami LPG, jelikož se jedná o látky, které mají sklon k polymeraci a tvorbě pryskyřic, které mohou negativně ovlivnit palivový systém nebo ho dokonce zcela vyřadit z provozu [16]. Proto je obsah dienu omezen na 0,5 % (m/m) (dieny celkově). Konkrétně pro buta-1,3-dien pak platí ještě maximální limit 0,10 % (m/m), což je nejen z důvodu jeho vysoké reaktivity, ale proto, že se jedná o karcinogenní látku.

Pro LPG určené pro topné účely jsou normou ČSN 65 6481 [17] předepsané limity pro celkový obsah C<sub>2</sub>-, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> a C<sub>5</sub>+ uhlovodíků. Pro obsah dienu není limit zaveden, limit je stanoven pouze pro celkový obsah nenasycených uhlovodíků [17]. Podle typu topného plynu (propan, propan-butan, butan a průmyslová topná směs) jsou zavedeny konkrétní limity pro výše uvedené skupiny uhlovodíků. Ty pak obecně souvisí s reaktivitou a s tím spojenou potenciální tvorbou úsad (obsah nenasycených uhlovodíků), dostatečným tlakem plynu při nízkých teplotách, omezením maximálního tlaku plynu z bezpečnostních důvodů s obecnými konstrukčními požadavky zařízení, ve kterých se tato paliva spalují.

Ke stanovení všech výše zmíněných parametrů se používají především GC metody, které jsou blíže popsány v článku Staš a kol. [7].

## 2.2. Automobilové benzíny

Technické požadavky a metody zkoušení pro automobilové benzíny E5 a E10 specifikuje norma ČSN EN 228+A1 [18]. V této normě jsou definovány tři parametry přímo související s obsahem skupin nebo individuálního uhlovodíku, a to obsah olefinů, aromatických uhlovodíků a obsah benzenu. Tyto parametry určují maximální povolené hodnoty těchto uhlovodíků v benzínech, viz tab. 1. Je důležité zmínit, že limity pro obsah olefinů, aromatů obecně a benzenu speciálně se během posledních několika dekád významně měnily. Protože automobilový benzin představuje základní produkt většiny ropných rafinérií, vyžádaly si tyto změny významné investice do tech-

nologické konfigurace rafinérií (izomerace, alkylace, polymerace, výroba etherů) i formulace automobilového benzínu. Dostupnost spolehlivých analytických metod pro stanovení limitovaných uhlovodíků má tedy kromě metodologického hlediska i významný ekonomický aspekt.

Olefiny, které pocházejí především z benzínu z fluidního katalytického krakování (FCC), mají obvykle poměrně vysoká oktanová čísla, ale jsou méně stabilní a vyznačují se sklonem k tvorbě tuhých pryskyřic [19]. Při úniku do atmosféry, ať již odparem z palivového systému nebo jako součást nespáleného paliva ve výfukových plynech, pak mají jako reaktivní látky vyšší potenciál k tvorbě přízemního ozonu [19]. Obsah olefinů je tedy v benzínech E5 a E10 omezen na 18 % (V/V) [18].

Aromatické uhlovodíky přítomné v benzínech, které pocházejí především z technologií katalytického reformování a FCC, se na jedné straně vyznačují vysokými oktanovými čísly, ale na druhé straně mají při spalování velký sklon k tvorbě uhlíkatých částic a nežádoucích polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU), z nichž některé jsou prokázanými karcinogeny [20]. Aromatické uhlovodíky přítomné v benzínu jsou navíc toxické a mají poměrně vysoký sklon k tvorbě přízemního ozonu v atmosféře. Konkrétně benzen je pak navíc karcinogenní (viz níže). Obsah aromatických uhlovodíků v automobilových benzínech je proto omezen na maximálně 35 % (V/V) [18].

Pro stanovení olefinů a aromatických uhlovodíků v benzínech E5 a E10 jsou normou ČSN EN 228+A1 předepsané dvě metody. První je popsána v normě ČSN EN 15553+A1 [21] a je založena na kapalinové chromatografii, při které se na sloupec sorbentu přidává fluorescenční indikátor (metoda FIA). Druhá metoda je popsána v normě ČSN EN ISO 22854 [22] a jedná se o vícerozměrnou plynovou chromatografii s plamenově-ionizačním detektorem (MD-GC-FID). Tato metoda umožňuje stanovit v benzínech kromě olefinů a aromatů i další složky, včetně benzenu a kyslíkatých látek. Podrobnosti k této metodě jsou uvedené v článku Staš a kol. [23].

Metoda FIA se používá ke stanovení skupinového složení uhlovodíkových paliv s destilačním rozmezím benzinů a petrolejů. Princip spočívá v úplném vytěsnění vzorku mobilní fází. Jedná se tedy o tzv. vytěšňovací kapalinovou chromatografii. Na kolonu se přidává fluorescenční indikátor, díky kterému je možné pod UV lampou rozlišit různobarevné zóny příslušející příslušným uhlovodíkovým skupinám. Jako stacionární fáze se používá silikagel, jako mobilní fáze se používá isopropylalkohol. Při chromatografické separaci postupují v čele nasycené uhlovodíky (bezbarvá zóna), na které navazuje zóna olefinů (žlutá zóna) a aromatických uhlovodíků (modrá zóna). Zastoupení jednotlivých uhlovodíkových skupin v objemových zlomcích se získá proměřením délek jednotlivých zón a výpočtem podle rovnice 1 [21].

$$x = \frac{L_x}{L_n + L_o + L_a} \quad (1)$$

V této rovnici  $x$  představuje zastoupení příslušné uhlovodíkové skupiny (nasycené uhlovodíky, olefiny nebo aromáty) v % (V/V),  $L_n$  je délka zóny nasycených uhlovodíků (v cm),  $L_o$  je délka zóny olefinů a  $L_a$  je délka zóny aromatických uhlovodíků.

Benzen je v automobilových benzínech složkou, která je jednoznačně nežádoucí. Je příkladem uhlovodíku, jehož limit v automobilovém benzínu se zásadně měnil. Vyskytuje se především v reformátu ze semiregenerativního reformingu, kde vzniká dealkylací alkylováných aromátů. K jeho odstranění se v rafinériích využívá izomerace benzínu, na které se zpracovává  $C_5$  a  $C_6$  frakce z redestilace reformátu. Přestože má benzen příznivé oktanové číslo, má při spalování rovněž značný sklon k tvorbě uhlíkatých částic a PAU. Zároveň se jedná o látku s karcinogenními účinky [24,25]. Jeho obsah v benzínech E5 a E10 je proto omezen na 1 % (V/V) [18]. Obsah benzenu v automobilových benzínech lze stanovit třemi metodami. První je již zmíněná metoda multidimenzionální plynové chromatografie (ČSN EN ISO 22854). Druhá metoda, ČSN EN 12177 [26], je principiálně založena rovněž na multidimenzionální plynové chromatografii, avšak s mnohem jednodušší instrumentací, která umožňuje stanovit pouze obsah benzenu v benzínech v rozsahu od 0,05 do 6 % (V/V). Benzen lze rovněž stanovit spektrometricky, a to např. postupem popsaným v ČSN EN 238 [27]. Tato norma specifikuje metodu pro stanovení obsahu benzenu v automobilových benzínech pomocí infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací.

### 2.3. Letecká paliva

Pro letecká paliva nejsou k dispozici adekvátní české, resp. evropské normy, které by definovaly požadavky na jejich kvalitu. Technické požadavky a metody zkoušení pro letecká paliva Jet A a Jet A-1 jsou definovány v normě ASTM D1655 [28]. Z hlediska obsahu uhlovodíků specifikuje tato norma pouze maximální limit pro celkový obsah aromatických uhlovodíků zahrnující jak monocyklické, tak polycyklické aromatické uhlovodíky, a také limit speciálně pro polycyklické aromatické uhlovodíky [28,29]. Hlavním důvodem omezení obsahu aromatických uhlovodíků je jejich sklon k tvorbě uhlíkatých částic, které snižují životnost leteckých turbín a dalších částí leteckých motorů. Celkový obsah aromatických uhlovodíků je příslušnými specifikacemi stále limitován, a to přesto, že současně je sledována i tzv. výška nečadivého plamene, která na obsahu aromatických uhlovodíků rozhodující míře závisí [30,31].

Pro stanovení obsahu aromatických uhlovodíků umožňuje norma ASTM D1655 využití tří analytických metod, které jsou popsány v normách ASTM D1319 [32], ASTM D6379 [33] a ASTM D8267 [34].

Norma ASTM D1319 popisuje stanovení aromatických uhlovodíků metodou FIA a jedná se v podstatě o stejnou metodu, která se používá pro stanovení obsahu aromátů v benzínech (ČSN EN 15553+A1), a která byla popsána v kap. 2.2. Norma ASTM D6379 popisuje sta-

novení aromatických uhlovodíků metodou HPLC a používá se i pro stanovení celkového obsahu aromatických uhlovodíků a obsahu PAU v palivech naftového typu. Její princip je proto popsán v kap. 2.4.

Nejnovější metodou pro stanovení obsahu aromátů je metoda ASTM D8267, která využívá pro stanovení plynovou chromatografii s vakuovým ultrafialovým detektorem (GC-VUV). Tato metoda umožňuje stanovit celkový obsah monocyklických aromatických uhlovodíků i obsah PAU. Z těchto dvou parametrů pak lze získat celkový obsah aromatických uhlovodíků [34]. Vakuový UV detektor detekuje sloučeniny na základě jejich absorpce ve vakuovém ultrafialové oblasti spektra, tedy v oblasti vlnových délek přibližně od 120 do 240 nm [35].

Je zde nutno zmínit, že norma ASTM D1655 definuje dvě různé maximální limitní hodnoty pro celkový obsah aromatických uhlovodíků v závislosti na použité analytické metodě, viz tab. 1. Pro metody ASTM D1319 a ASTM D8267 je stanoven maximální limit 25 % (V/V), zatímco pro metodu ASTM D6379 je povolen vyšší limit, 26,5 % (V/V). V případě, že obsah polycyklických aromatických uhlovodíků nepřekročí 3 % (V/V), je akceptována výška nečadivého plamene 18 mm místo standardních 25 mm, což představuje pro výrobce leteckého petroleje významný bonus.

Z alternativních metod pro stanovení uhlovodíkových skupin v leteckých palivech lze zmínit například metody popsané v normách ASTM D8396 [36] a ASTM 7974 [37].

Norma ASTM D8396 popisuje stanovení obsahu alkanů, cykloalkanů, monocyklických aromatických uhlovodíků a PAU metodou tzv. komprehenzivní multidimenzionální plynové chromatografie (GC×GC-FID) v palivech s destilačním rozmezím 36–343 °C. Toto destilační rozmezí pokrývá jak letecká turbínová paliva, tak značnou část motorových naft a paliv a dalších diesellových paliv. Metoda není vhodná pro stanovení olefinů [36].

Norma ASTM D7974 popisuje GC stanovení obsahu farnesanu, nasycených uhlovodíků a hexahydrofarnesolu v alternativním syntetickém leteckém palivu SIP (Synthesized Iso-Paraffins). Toto palivo je standardizováno normou ASTM D7566 [38] a je určeno na mísení do standardních leteckých paliv typu Jet A a Jet A-1.

### 2.4. Paliva naftového typu

Z uhlovodíků se v motorových naftách B7 (ČSN EN 590), B10 (ČSN EN 16734), B20, B30 (ČSN EN 16709), a SMN 30 (ČSN 65 6508) sleduje pouze obsah PAU, přičemž v nich jsou zahrnuty všechny uhlovodíky se dvěma a více aromatickými kruhy v molekule. PAU pocházejí především ze středních destilátů (cyklových olejů) z FCC a termického krakování. Paliva B7, B10, B20 a B30 mohou obsahovat maximálně 8 % (m/m) PAU. Pro palivo SMN 30 je obsah PAU omezen na 5,6 % (m/m). Parafinická motorová nafta (PMN) podle normy ČSN EN 15940 [39], kam patří také hydrogenované rostlinné oleje (HVO) a syntetická paliva typu X-to-liquid (XTL), musí

splňovat požadavek, aby celkový obsah aromatických uhlovodíků nepřekročil 1,1 % (m/m).

Obecně lze konstatovat, že aromatické uhlovodíky a zejména PAU jsou nežádoucími složkami motorových naft, jelikož se vyznačují nízkým cetanovým číslem a při spalování mají velký sklon k tvorbě uhlíkatých částic a vícejaderných polycyklických aromatických uhlovodíků, zahrnujících i karcinogenní typy.

Aromatické uhlovodíky se v motorových naftách stanovují metodou HPLC s refraktometrickým detektorem dle normy ČSN EN 12916 [40]. Jedná se o HPLC stanovení na normálních fázích s kolonou plněnou silikagelem modifikovaným amino- nebo kyano-skupinami. K detekci se používá univerzální refraktometrický detektor. Kvantitativní analýza se provádí metodou externí kalibrace pomocí standardů obsahujících *o*-xylen, fluoren a fenantren. Metoda zahrnuje ředění  $1 \pm 0,1$  g vzorku *n*-heptanem do 10 mL odměrné baňky [40]. V parafrinické motorové naftě se celkový obsah aromatických uhlovodíků stanovuje mírně modifikovaným postupem. Modifikace souvisí s nižším obsahem aromátů v parafrinické motorové naftě než v naftě konvenční a spočívá pouze v absenci ředění vzorku před vlastní analýzou [39].

### 3. Závěr

Tento článek se zaměřuje na charakteristiku a možnosti stanovení uhlovodíků v různých typech plynných a kapalných paliv, která hrají klíčovou roli v současné energetice a dopravě.

K analýze uhlovodíků v motorových palivech se především využívá jednorozměrná plynová chromatografie s různými typy detektorů, jako např. FID, TCD nebo VUV, případně vícerozměrná plynová chromatografie. Dále se používá kapalinová chromatografie v různém provedení, např. FIA nebo HPLC s refraktometrickým detektorem. Pro stanovení obsahu benzenu se též používá infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací a stanovení PAU ultrafialová spektroskopie. Jedná se tedy o relativně širokou paletu analytických metod.

V případě vodíku se uhlovodíky považují za nečistoty, jejichž přítomnost v palivu může negativně ovlivnit jak čistotu spalování, tak životnost zařízení, například palivových článků. Proto je nutné jejich obsah přesně monitorovat a kontrolovat. U paliv na bázi zemního plynu (CNG, LNG) a biomethanu (bio-CNG, bio-LNG) jsou pak do jisté míry považovány za kontaminanty všechny nemetanové uhlovodíky, které se stanovují podobnými analytickými metodami.

V kapalných palivech, jako jsou LPG, automobilové benzíny, letecká paliva a motorové nafty, tvoří nemetanové uhlovodíky hlavní složky. Zastoupení jednotlivých uhlovodíků, resp. jejich skupin však výrazně ovlivňuje fyzikálně-chemické vlastnosti paliv, jejich spalovací charakteristiky, životnost motorů a emise škodlivin vznikajících při jejich spalování. Z tohoto důvodu jsou v příslušných technických normách definovány limity pro obsah konkrétních uhlovodíků nebo specifických skupin uhlovodíků. Existující limity pro obsah uhlovodíků nebo

jejich skupin a jejich vývoj mají vliv na využití technologických kapacit v rafinériích, jejich konfiguraci i formulaci paliv, a proto vývoj spolehlivých analytických metod je velmi důležitý.

### Seznam zkratk

|       |                                                       |
|-------|-------------------------------------------------------|
| CNG   | stlačený zemní plyn                                   |
| ETG   | ethanol-to-gasoline                                   |
| FCC   | fluidní katalytické krakování                         |
| FIA   | fluorescenční indikátorová absorpce                   |
| FID   | plamenově ionizační detektor                          |
| FTIR  | infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací |
| GC    | plynová chromatografie                                |
| HPLC  | vysokoúčinná kapalinová chromatografie                |
| HVO   | hydrogenovaný rostlinný olej                          |
| LPG   | zkapalněné ropné plyny                                |
| LNG   | zkapalněný zemní plyn                                 |
| MD-GC | vícerozměrná plynová chromatografie                   |
| MS    | hmotnostní spektrometrie                              |
| MTG   | methanol-to-gasoline                                  |
| PAU   | polycyklické aromatické uhlovodíky                    |
| PMN   | parafrinická motorová nafta                           |
| RID   | refraktometrický detektor                             |
| SIP   | Synthesized Iso-Paraffins                             |
| SMN   | 30 směsná motorová nafta                              |
| TCD   | tepelně-vodivostní detektor                           |
| UV    | ultrafialová spektroskopie                            |
| VUV   | vakuový ultrafialový detektor                         |
| XTL   | X-to-Liquid                                           |

### 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), 37-49, 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. Staš M., Kittel H., Matějovský L., Šimáček P.: *Metody hodnocení čistoty a spalovacích charakteristik motorových paliv*. Paliva (2024), **16** (4), 119-124, doi: <https://doi.org/10.35933/paliva.2024.04.02>.
5. ČSN EN 17124: Vodíkové palivo - Specifikace produktu a zabezpečení kvality - Aplikace palivových článků s protonověměnnou membránou (PEM) pro silniční vozidla, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-17124-697281-217404.html#>.
6. ČSN ISO 14687: Kvalita vodíkového paliva - specifikace produktu, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-iso-14687-656520-214575.html#>.

7. Staš M., Kroufek J., Hlinčík T., Šimáček P.: *Vlastnosti a analýza plynných alternativních paliv I: Vodík a zkapalněné ropné plyny*. Paliva (2022), **14** (2), 79-89, doi: <https://doi.org/10.35933/paliva.2022.02.03>.
8. ČSN 65 6517: *Motorová paliva - Stlačený zemní plyn - Technické požadavky a metody zkoušení*, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-65-6517-656517-214568.html>.
9. ČSN EN ISO 6974-4: *Zemní plyn - Stanovení složení s definovanou nejistotou pomocí plynové chromatografie - Část 4: Stanovení dusíku, oxidu uhličitého a uhlovodíků C1 až C5 a C6+ pro laboratoře a měřicí systém on-line za použití dvou kolon*, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-6974-4-385506-200684.html>.
10. ČSN EN ISO 6974-6: *Zemní plyn - Stanovení složení s definovanou nejistotou pomocí plynové chromatografie - Část 6: Stanovení vodíku, hélia, kyslíku, dusíku, oxidu uhličitého a uhlovodíků C1 až C8 pomocí tří kapilárních kolon*, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-6974-6-385506-200687.html>.
11. ČSN EN ISO 6974-5: *Zemní plyn - Stanovení složení a přidružené nejistoty pomocí plynové chromatografie - Část 5: Izotermická metoda pro dusík, oxid uhličitý, uhlovodíky C1 až C5 a uhlovodíky C6+*, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-6974-5-385506-200686.html>.
12. Staš M., Kroufek J., Hlinčík T., Šimáček P.: *Vlastnosti a analýza plynných alternativních paliv II: Paliva na bázi zemního plynu a biomethanu*. Paliva (2022), **14** (3), 145-153, doi: <https://doi.org/10.35933/paliva.2022.03.04>.
13. ČSN 65 6514: *Motorová paliva - Bioplyn pro zážehové motory - Technické požadavky a metody zkoušení*, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-65-6514-656514-214563.html>.
14. ČSN EN 16723-2: *Zemní plyn a biometan pro využití v dopravě a biometan pro vtláčení do plynovodů na zemní plyn - Část 2: Specifikace pohonných hmot*, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-16723-2-385585-200773.html>.
15. 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>.
16. Matějovský V., *Automobilová paliva*. 2004: Grada Publishing, a.s., 978-80-247-6240-1.
17. ČSN 65 6481: *Zkapalněné ropné plyny - Topné plyny - Propan, butan a jejich směsi - Technické požadavky a metody zkoušení*, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-65-6481-656481-214438.html#>.
18. ČSN EN 228+A1: *Motorová paliva - Bezolovnaté automobilové benziny - Technické požadavky a metody zkoušení*, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-228-a1-656505-214476.html>.
19. Pradelle F., Braga S.L., Martins A.R.F., Turkovics F., Pradelle R.N.: *Gum formation in gasoline and its blends: A review*. Energy & Fuels (2015), **29** (12), 7753-7770, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.energy-fuels.5b01894>.
20. Altarawneh M., Ali L.: *Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in thermal systems: a comprehensive mechanistic review*. Energy & Fuels (2024), **38** (22), 21735-21792, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.4c03513>.
21. ČSN EN 15553+A1: *Ropné výrobky a příbuzné materiály - Stanovení skupin uhlovodíků - Metoda adsorpce s fluorescenčním indikátorem*, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-15553-a1-656152-253566.html#>.
22. ČSN EN ISO 22854: *Kapalné ropné výrobky - Stanovení skupin uhlovodíků a kyslíkatých látek v automobilových benzinech a automobilovém palivu ethanol E85 - Metoda multidimenzionální plynové chromatografie*, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-22854-656190-253752.html>.
23. Staš M., Matějovský L., Mužíková Z., Kroufek J., Šimáček P.: *Vlastnosti a analýza kapalných alternativních paliv II: Paliva obsahující ethanol*. Paliva (2023), **15** (1), 1-12, doi: <https://doi.org/10.35933/paliva.2023.01.01>.
24. Benzene carcinogenicity, M. Aksoy, Editor. 1988, CRC Press Boca Raton, FL.
25. Weisel C.P.: *Benzene exposure: an overview of monitoring methods and their findings*. Chemico-Biological Interactions (2010), **184** (1-2), 58-66, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2009.12.030>.
26. ČSN EN 12177: *Kapalné ropné výrobky - Bezolovnatý benzin - Stanovení obsahu benzenu plynovou chromatografií*, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-12177-656149-249216.html>.
27. ČSN EN 238: *Kapalné ropné výrobky - Benzin - Stanovení benzenu infračervenou spektrometrií*, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-238-656188-214263.html>.
28. ASTM D1655-24b: *Standard Specification for Aviation Turbine Fuels*, <https://doi.org/10.1520/D1655-24B>.
29. Staš M., Hlinčík T.: *Polycyklické aromatické uhlovodíky v kapalných palivech*. (odesláno do časopisu Chemické listy) (2025).
30. Kittel H., Kadleček D., Šimáček P.: *Factors influencing production of JET fuel by hydrocracking*. Petroleum Science and Technology (2022), **40** (1), 73-91, doi: <https://doi.org/10.1080/10916466.2021.1987459>.
31. Kittel H., Horský J., Šimáček P.: *Properties of selected alternative petroleum fractions and sustainable aviation fuels*. Processes (2023), **11** (3), 935, doi: <https://doi.org/10.3390/pr11030935>.
32. ASTM D1319-20a: *Standard Test Method for Hydrocarbon Types in Liquid Petroleum Products by Fluorescent Indicator Adsorption*, <https://doi.org/10.1520/D1319-20A>.
33. ASTM D6379-21e1: *Standard Test Method for Determination of Aromatic Hydrocarbon Types in Avi-*

ation Fuels and Petroleum Distillates—High Performance Liquid Chromatography Method with Refractive Index Detection, <https://doi.org/10.1520/D6379-21E01>.

34. ASTM D8267-19a: Standard Test Method for Determination of Total Aromatic, Monoaromatic and Diaromatic Content of Aviation Turbine Fuels Using Gas Chromatography with Vacuum Ultraviolet Absorption Spectroscopy Detection (GC-VUV), <https://doi.org/10.1520/D8267-19A>.
35. Analytics V. VUV Spectroscopy: Science in a new light. [staženo August 7 2025]; dostupné z: <https://vuvanalytics.com/discover-vuv/>.
36. ASTM D8396-22: Standard Test Method for Group Types Quantification of Hydrocarbons in Hydrocarbon Liquids with a Boiling Point between 36 °C and 343 °C by Flow Modulated GCxGC-FID, <https://doi.org/10.1520/D8396-22>.
37. ASTM D7974-21: Standard Test Method for Determination of Farnesane, Saturated Hydrocarbons, and Hexahydrofarnesol Content of Synthesized Iso-Paraffins (SIP) Fuel for Blending with Jet Fuel by Gas Chromatography, <https://doi.org/10.1520/D7974-21>.
38. ASTM D7566-22: Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons, <https://doi.org/10.1520/D7566-22>.
39. ČSN EN 15940: Motorová paliva - Parafinické motorové nafty získané syntézou nebo hydrogenací - Technické požadavky a metody zkoušení, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-15940-656584-250294.html>.
40. ČSN EN 12916: Ropné výrobky - Stanovení skupin aromatických uhlovodíků ve středních destilátech - Vysokoúčinná kapalinová chromatografie s refraktometrickou detekcí, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-12916-656115-214142.html>.

## Summary

### *Determination of Hydrocarbons in Gaseous and Liquid Fuels*

*Martin Staš, Hugo Kittel, and Pavel Šimáček*

This article focuses on the analysis of hydrocarbon compounds in both conventional fossil fuels and alternative gaseous and liquid fuels. The main objective is to provide a comprehensive overview of the types of fuels that are monitored for total hydrocarbon content or for the presence of individual hydrocarbon compounds, the reasons for such monitoring, and the analytical methods used for this purpose.

The text places particular emphasis on methods and parameters defined by technical standards, although in some cases it also addresses supplementary tests that are not directly required by normative regulations. The technical requirements and test methods for conventional fossil fuels and certain alternative fuels are defined in relevant technical standards, which establish a range of parameters essential for assessing fuel quality.

Many of these monitored parameters have been discussed in detail in previous parts of this series of publications, which are dedicated to presenting common methods for evaluating both conventional and alternative fuels. The first four articles in this series focused on the determination of elements and non-hydrocarbon compounds in fuels [1], the evaluation of physical [2] and chemical [3] properties of fuels, and methods to assess the purity of fuels and combustion characteristics [4].

This current article presents the monitored parameters related to hydrocarbon content in both gaseous and liquid conventional and alternative fuels, as well as the analytical tests used for this purpose. It also addresses the reasons why monitoring hydrocarbon compounds in the respective fuels is important; specifically, the role that individual hydrocarbons play in terms of fuel quality, safety, or environmental impact.

Among the test methods, the article focuses on those defined by technical standards, which form the standardized framework for evaluating various types of fuels. In some cases, additional or alternative procedures are also mentioned, which, although not standardized, can help expand knowledge about the composition and properties of fuels.