

**T A**  
**Č R**

Tento projekt je financován se státní podporou  
Technologické agentury ČR  
v rámci programu BETA2

[www.tacr.cz](http://www.tacr.cz)  
Výzkum užitečný pro společnost



## Souhrnná zpráva

---

Konečný uživatel výsledků: **Správa státních hmotných rezerv ČR**  
**Odbor ropy a ropných produktů, Šeříková 616/1, Praha, 150 85**

**Název projektu:** Vliv složení leteckého petroleje a způsob skladování na jeho užitné vlastnosti

**Číslo projektu:** TITVSSHR109

**Řešitel projektu:** ORLEN UniCRE a.s., Revoluční 1521/84, Ústí nad Labem, 400 01

**Doba řešení:** 1. 2. 2022 – 31. 1. 2024

**Důvěrnost a dostupnost:** zveřejněno na webových stránkách SSHR

**Informace o autorském týmu:**

Ing. Aleš Vráblík, Ph.D.

Mgr. Karolína Dlasková Jaklová

Ing. Dominik Schlehöfer

Ing. Jakub Frątczak

Ing. Jarmila Pešáková

**Další informace o projektu:**

Tato souhrnná zpráva byla zpracována jako jeden z výsledků projektu s označením „Výsledek č. 2 kód Vsouhrn“, finalizace výsledku proběhla dle harmonogramu projektu v průběhu osmého kvartálu (Q8).

## Obsah

1. Úvod .....	5
2. Analytické metody pro hodnocení fyzikálně-chemických vlastností.....	7
2.1. Principy klíčových analytických metod .....	7
2.1.1. Stanovení bodu krystalizace – ASTM D5972 [9] .....	8
2.1.2. Stanovení bodu vzplanutí dle Taga – ASTM D56 [10].....	8
2.1.3. Stanovení elektrické vodivosti – ASTM D2624 [11] .....	10
2.1.4. Mazivost leteckého petroleje – BOCLE – ASTM D5001 [7] .....	10
2.1.5. Vodní separační index – MSEP – ASTM D3948 [12].....	10
2.1.6. Dvoudimenzionální plynové chromatografie (GCxGC-MS/FID).....	11
3. Soubor hodnocených vzorků .....	13
3.1. Laboratorní aditivace vzorků.....	13
4. Simulace skladovacích podmínek.....	14
5. Výsledky .....	15
6. Závěr .....	16
7. Použité literární zdroje .....	17
8. Seznam příloh .....	18

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Seznam dostupných analytických metod .....	7
Tabulka 2: Podmínky analýzy GC x GC-MS/FID – LECO .....	12

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Cela pro stanovení bodu krystalizace.....	8
Obrázek 2: Manuální přístroj pro stanovení bodu vzplanutí dle Taga.....	9
Obrázek 3: Dvoudimenzionální plynový chromatograf GCxGC-MS/FID.....	11

## 1. Úvod

Nároky na kvalitu leteckého turbínového paliva jsou mnohem vyšší, než je tomu u běžných typů paliv, jakými jsou např. motorová nafta či automobilový benzín. Jeho kvalita úzce souvisí s charakterem zpracovávané ropy, destilačním rozmezím a následnými rafinačními procesy. V závislosti na technologii výroby může letecké turbínové palivo obsahovat rovněž hydrogenované, případně hluboce hydrogenované složky. S ohledem na přítomnost hluboce hydrogenovaných složek je nezbytné dále řešit vybrané kvalitativní parametry, jak je uvedeno níže.

Nejrozšířenějším leteckým turbínovým palivem je palivo s označením JET A-1, které je primárně určené pro civilní letecký sektor. Kvalita tohoto paliva je předepsána soupisem požadavků, který vydává uskupení ropných společností Joint Inspection Group (JIG), a který je uváděn pod označením AFQRJOS (Aviation Fuel Quality Requirements for Jointly Operated Systems). Soupis těchto kvalitativních požadavků byl aktualizován v dubnu 2022 [1]. Soupis požadavků vychází z normy DEF STAN 91-091/Issue 16 ze dne 14. 12. 2023 [2].

Nejběžněji používané palivo pro vojenské účely nese označení JP-8 (Jet Propellant 8), případně je toto palivo rovněž známo pod označením F-34 (NATO Code). Jedná se o majoritní typ vojenského paliva, které je využíváno Severoatlantickou aliancí [3]. F-34 se od JET A-1 liší především přítomností multifunkčního balíčku aditiv, který může obsahovat inhibitory koroze, antistatická aditiva (SDA = Static Dissipater Additive), mazivostní přísady (LIA = Lubricity Improver Additive), přísady zamezující tvorbu ledu (FSII = Fuel System Icing Inhibitor) či antioxidanty. V některých případech je možné setkat se rovněž s označením JET A-1+FSII+LIA. Za jakost plně aditivovaného finálního výrobku odpovídá jeho výrobce nebo dodavatel.

Kvalitativní specifikace paliva F-34 je definována prostřednictvím vojenských norem jednotlivých států. Mezi nejčastěji citované patří MIL-DTL-83133 (USA) [4] a DEF-STAN 91-87 (GB) [5]. V prostředí ČR se jedná o vojenskou jakostní specifikaci pohonných hmot (VJSPHM) Ministerstva obrany z roku 2017 [6], která odpovídá britskému standardu.

VJSPHM umožňuje výrobu F-34 z výchozího paliva JET A-1 jeho dodatečnou úpravou schválenými druhy přísad. Pro výrobu F-34 je rovněž možné použití hluboce hydrogenovaných složek (produkovaných za parciálního tlaku vodíku > 7 MPa) [4,5,6]. Jediná podmínka při použití těchto složek spočívá v povinnosti sledování vybraných kvalitativních parametrů. Pokud je k výrobě použito více než 95 % materiálu z hydrogenačních procesů, a tento materiál obsahuje více než 20 % hluboce hydrogenovaných složek, potom je nezbytné provádět test mazivosti. Mazivostní vlastnosti základového materiálu nesmí vykazovat větší otěrovou stopu než 0,85 mm při zkoušce mazivostních vlastností podle ASTM D5001 (tzv. BOCLE = Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator) [7]. Je také nutné upravit relativně nízkou přirozenou elektrickou vodivost pomocí adekvátních přísad v souladu s příslušnou normou.

Dalším důležitým parametrem leteckého turbínového paliva F-34 je bod krystalizace. Výše citované kvalitativní normy [4,5,6] udávají shodně požadovanou maximální hodnotu bodu krystalizace -47 °C.

Jako rozhodčí metoda pro stanovení tohoto parametru je ve všech výše citovaných normách uváděna ASTM D2386 (Standard Test Method for Freezing Point of Aviation Fuels) [8].

Prostředí SSHR je v tomto ohledu velmi specifické, jelikož letecký petrolej je dlouhodobě skladován a po jeho skladování navíc může být dále upraven aditivací tak, aby kvalitativně splňoval požadavky na palivo typu F-34.

Hlavním cílem tohoto výzkumného projektu bylo stanovení vlivu frakčního složení petroleje, jeho skladovacích podmínek a vybraných aditiv na jeho vodivost. Nedílnou součástí bylo rovněž stanovení změny užitečných vlastností (mikroseparometrický index, mazivost, vodivost) leteckého petroleje v závislosti na jeho skladovacích podmínkách a použitých aditivech. Cílem bylo rovněž vytvoření pravidel a postupů (vytvoření jednotlivých metodik) pro výběr vhodných zdrojů, způsob aditivace a způsobu skladování v podmínkách SSHR.

## 2. Analytické metody pro hodnocení fyzikálně-chemických vlastností

Skladované letecké petroleje mohou být analyzovány pomocí standardních i pokročilých analytických metod (Tabulka 1). Šedě jsou zde zvýrazněny analytické metody, na které byl během skladování brán zvýšený zřetel, analýza probíhala každé dva měsíce. Ostatní analytické metody byly hodnoceny každých šest měsíců.

Tabulka 1: Seznam dostupných analytických metod

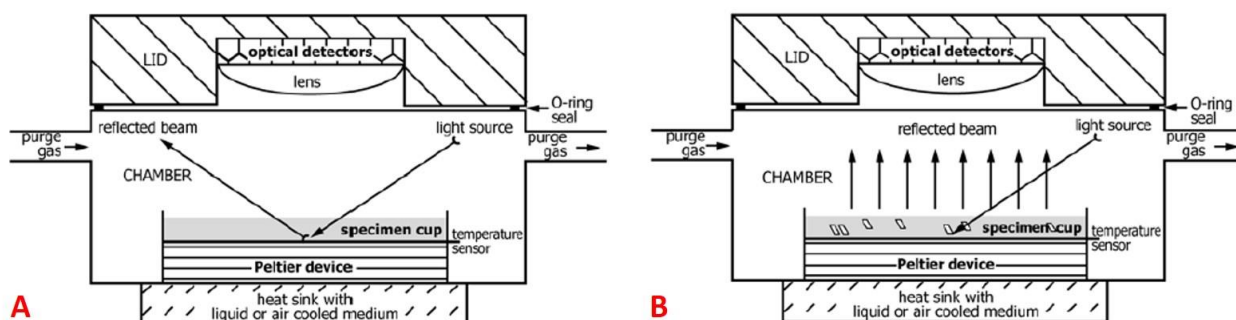
Název metody	Norma
Antioxidant BHT	Interní procedura
Hustota při 15 °C	ASTM D5002
Bod krystalizace (A)K	ASTM D5972
Bod vzplanutí dle Taga (A)K	ASTM D56
Elektrická vodivost v palivech / při teplotě	ASTM D2624
Mazivost leteckého petroleje - BOCLE	ASTM D5001
Naftaleny v JET A-1	ASTM D1840
Obsah aromatických uhlovodíků (FIA)	ASTM D1319
Obsah merkaptanické síry a sirovodíku potenciometrickou titrací	ČSN 656127
Stanovení kyselosti v leteckém petroleji	ASTM D3242
Stanovení obsahu pryskyřic	ČSN EN ISO 6246
Vodní separometrický index - MSEP	ASTM D3948
JFTOT teplota	ASTM D 3241
JFTOT ztráta tlaku	ASTM D 3241
JFTOT trubice/změna	ASTM D 3241
Výhřevnost výpočtem	ASTM D3338
Výška nečadivého plamene	ASTM D1322
Zkouška na korozivní síru na mědi	EN ISO 2160
Zkouška na sirné sloučeniny (Doctor test)	ASTM D4952
Mikrobiologie v JET A-1	Interní procedura
Částice v JET A-1 (nad 4; 6; 14; 21; 25 a 30 μm)	IP 565
GC x GC – FID	Interní procedura
GC x GC – MS	Interní procedura

### 2.1. Principy klíčových analytických metod

V této kapitole je stručně uveden princip vybraných analytických metod. Jako zdrojový materiál byla v případech standardně používaných metod použita příslušná norma ASTM (viz kapitola „Použité literární zdroje“). V případě metod dvoudimenzionální plynové chromatografie se jedná o interní laboratorní postup, v souladu s doporučením výrobce daného přístroje.

### 2.1.1. Stanovení bodu krystalizace – ASTM D5972 [9]

Tato metoda je určena pro stanovení teploty, při které vznikají pevné krystalky uhlovodíků v leteckém palivu. Měření je možno provádět v teplotním rozsahu  $-80\text{ °C}$  až  $+20\text{ °C}$ . Stanovení probíhá v testovací cele, která je vybavena optickou detekcí přítomnosti uhlovodíkového krystalu (Obrázek 1).



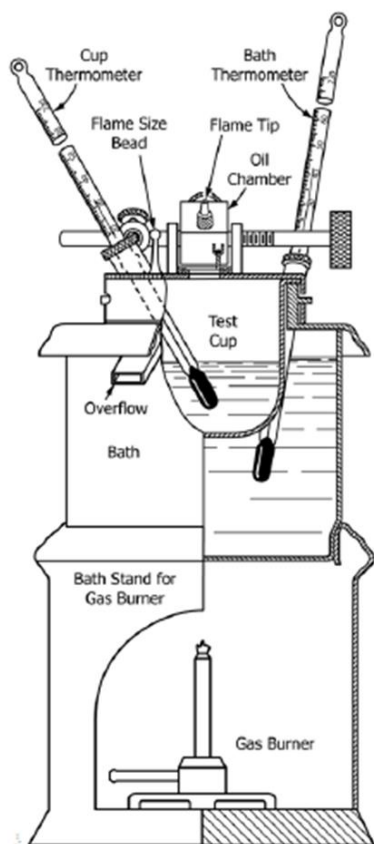
Obrázek 1: Cela pro stanovení bodu krystalizace – schematické uspořádání (A) a detekce vzniku krystalu (B)

Cela je dále vybavena Peltierovým článkem pro regulaci teploty s přesností  $0,1\text{ °C}$ . Stanovení probíhá na  $0,15 \pm 0,01\text{ ml}$  vzorku, který je ochlazován teplotním gradientem  $15\text{ °C} / \text{min} \pm 5\text{ °C}$ . Prostor cely je permanentně monitorován optickou detekcí, která zaznamená vznik krystalu. Při jeho detekci se teplota začne opětovně zvyšovat gradientem  $10\text{ °C} / \text{min} \pm 5\text{ °C}$  do doby, kdy dojde k úplnému rozpuštění vzniklých krystalů. Při rozpuštění posledního krystalu je zaznamenána aktuální teplota a měření je ukončeno. Opakovatelnost stanovení je  $0,50\text{ °C}$  a reprodukovatelnost  $0,80\text{ °C}$ . Stanovení probíhá na automatickém analyzátoru FPA – 70Xi (Phase Technology).

### 2.1.2. Stanovení bodu vzplanutí dle Taga – ASTM D56 [10]

Analyzátor bodu vzplanutí umožňuje stanovení bodu vzplanutí v zavřeném kelímku dle Taga. Tato metoda je určena pro hořlavé kapaliny s viskozitou při teplotě  $40\text{ °C}$  nižší než  $5,5\text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , nebo při  $25\text{ °C}$  nižší než  $9,5\text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Schematické znázornění manuálního přístroje je znázorněno na následujícím obrázku (Obrázek 2).





Obrázek 2: Manuální přístroj pro stanovení bodu vzplanutí dle Taga

Testovací procedura rozlišuje dvě testovací podmínky, a to nízkoteplotní (v případě, že očekávaný bod vzplanutí je  $< 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a vysokoteplotní (očekávaný bod vzplanutí je  $\geq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Analýza spočívá v zahřívání uzavřeného kelímku se zkušebním vzorkem ve vodní lázni přístroje předepsanou rychlostí, která činí  $1\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{min}$ , bez míchání vzorku a ve zjišťování zápalnosti par v přesně stanovených teplotních intervalech. Vzorek musí mít teplotu alespoň o  $11\text{ }^{\circ}\text{C}$  nižší, než je očekávaný bod vzplanutí. Testování začne každých  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  od teploty o  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  nižší než je očekávaný bod vzplanutí. Nad teplotou  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  je vzorek ohříván rychlostí  $3\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{min}$  a je zkoušen každých  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Test je automaticky přerušen  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  nad očekávaným bodem vzplanutí. Dojde-li ke vzplanutí již při prvním zkoušení, je testování automaticky přerušeno a je nutno předpokládanou hodnotu vzplanutí snížit. V případě překročení normovaného počtu pokusů zkoušení nebo při dosažení mezní bezpečné teploty u některé z metod, dojde rovněž k přerušení analýzy a je třeba předpokládanou teplotu vzplanutí zvýšit. Přesnost výsledků závisí na vlastní teplotě vzorku, počáteční teplotě, při které začíná zkouška a správném otevírání a zavírání otvoru kelímku. Přístroj musí být chlazen vnějším zdrojem (voda) na teplotu o  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  nižší než je bod vzplanutí (EFP). Reprodukovatelnost metody pro bod varu  $< 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  charakterizuje rovnice (1).

$$R = 0,0318 \cdot (x + 60) \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

kde  $x$  představuje aritmetický průměr ze dvou měření

Pro bod varu  $\geq 60$  °C činí reprodukovatelnost uvedené metody 5,8 °C.

### 2.1.3. Stanovení elektrické vodivosti – ASTM D2624 [11]

Schopnost paliva vybíjet svůj náboj, který se vytvořil během čerpání je dána jeho elektrickou vodivostí, která závisí na obsahu iontů. Je-li vodivost dostatečně vysoká, tak se náboj vybije dostatečně rychle, aby se zabránilo jeho akumulaci a velmi vysokému napětí v nádrži, do které se čerpá. Vodivost je závislá na teplotě, proto se musí vzorek vytemperovat na teplotu místnosti. Pikosiemens na metr ( $\text{pS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), n-tá jednotka elektrické vodivosti je také nazývána jednotkou vodivosti (CU). Siemens je podle definice Mezinárodních jednotek (SI) převrácenou hodnotou odporu (Ohm). Konduktometr zobrazuje elektrickou vodivost v pikosiemens na metr ( $\text{pS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) nebo v pikosiemens na centimetr ( $\text{pS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Konduktometr používá sondu, skládající se ze dvou koncentrických ocelových elektrod. Po ponoření sondy do paliva dojde ke dvojnásobnému stisknutí tlakově citlivého spínače a na elektrody je vloženo napětí. Výsledkem je elektrický proud, který je následně zesílen a zobrazen na displeji konduktometru. Elektrická vodivost vykazuje semilogaritmickou závislost na teplotě s některými omezeními, které zachycuje následující rovnice (2).

$$\text{Log}K_{t_1} = n(t_1 - t_2) + \text{Log}K_{t_2} \quad (2)$$

kde  $K_{t_1}$  a  $K_{t_2}$  představují elektrickou vodivost, stanovenou při teplotách  $t_1$  a  $t_2$ ,  $n$  je teplotně-vodivostní koeficient, který je udáván v jednotkách  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

### 2.1.4. Mazivost leteckého petroleje – BOCLE (Ball On Cylinder Lubricity Evaluator) – ASTM D5001 [7]

Obecně je v této zkušební metodě mazivost chápána jako velikost stopy v milimetrech, kterou vytvoří na pevné kuličce otáčející se zkušební kroužek, smáčený zkoušeným palivem za definovaných podmínek. Přístroj pracuje s kuličkou, která je v kontaktu s částečně zaplaveným rotujícím válcem. Ocelový kroužek je instalován s osou ve vodorovné rovině a je částečně ponořen do testovaného paliva. Kroužek se otáčí rychlostí 240 otáček za minutu a unáší testované palivo až do kontaktu s vertikálně pevně uchycenou kuličkou o průměru 12,7 mm. Kulička je zatížena závažím o váze 1 kg po dobu 30 minut. Změřené plocha opotřebení kuličky je indikátorem mazivosti paliva. Výsledek měření je velmi citlivý na obsah vlhkosti v palivu, proto musí být obsah vlhkosti upraven na požadovanou úroveň. Toho se dosáhne průchodem pečlivě kontrolovaného a upravovaného vzduchu.

### 2.1.5. Vodní separimetrický index – MSEP – ASTM D3948 [12]

Uvedená metoda je měřítkem přítomnosti povrchově aktivních látek v palivu. Tyto látky ovlivňují schopnost tryskových paliv uvolnit obsaženou nebo emulgovanou vodu při průchodu koalescenčním materiálem ze skleněných vláken. Mikro-separimetrická hodnota (MSEP) je číselná hodnota udávající snadnost odloučení emulgované vody koalescencí. Používají se testovací metody A a B, které se navzájem liší časem trvání koalescence. Pro letecký petrolej JET A-1 je předepsána metoda A. Hodnota MSEP se měří na Mikro-separimetru MARK V Deluxe. Pomocí vysokorychlostního mixéru, který je programován pro práci ve stanovené časové periodě, se v injekční stříkačce vytvoří emulze paliva s vodou. Po emulgaci je naprogramována čekací doba, která umožňuje vložení pístu, přidání koalescenční cely a vložení celé sestavy do pohonného mechanismu přístroje. Vzorek je vytlačován ze stříkačky naprogramovanou rychlostí řídicím mechanismem přes standardní koalescenční celu ze

skleněných vláken a posledních 15 ml vzorku paliva se jímá zvlášť do zkušební květy. U tohoto vzorku paliva se po periodě odstátí, indikované zvukovým signálem, měří velikost zákalu turbidimetricky pomocí procházejícího světla. Stupnice měřidla přístroje ukazuje výsledek MSEP. Výsledky se uvádějí v celých číslech od 0 do 100. Vysoké hodnoty (nízký zákal) znamenají nízký obsah povrchových aktivních látek.

### 2.1.6. Dvoudimenzionální plynové chromatografie (GCxGC-MS/FID)

Analyzovaný vzorek je díky této metodě rozdělen na jednotlivé složky pomocí dvou kapilárních kolon (1 dimenze – polární kolona, druhá dimenze – nepolární kolona). K samotné separaci dochází nepřetržitě se opakující reinjekcí eluentu z první kolony na druhou kolonu pomocí dvoustupňového termálního modulátoru. Jednotlivé složky jsou poté detekovány hmotnostním detektorem a zároveň plamenově-ionizačním detektorem. Použitý analytický přístroj je zobrazen na následujícím obrázku (Obrázek 3).



Obrázek 3: Dvoudimenzionální plynový chromatograf GCxGC-MS/FID

#### Hmotnostní detektor (MS)

V této konfiguraci je využit hmotnostní detektor - analyzátor doby letu (TOFMS), kde dochází k dělení iontů, v plynné fázi za vakua, podle délky doby letu od iontového zdroje k detektoru. Identifikace

jednotlivých látek se provádí porovnáním naměřeného spektra s knihovnou NIST a na základě tohoto je vytvořena klasifikační metoda rozdělující vzorek na následující skupiny látek:

- Alkany
- Monocyklické uhlovodíky
- Dicyklické uhlovodíky
- Tricyklické uhlovodíky
- Monoaromatické uhlovodíky
- Diaromatické uhlovodíky
- Polyaromatické uhlovodíky

Jednotlivé skupiny jsou dále děleny podle uhlovodíkového čísla. Výslednou hodnotou je skupinové složení v % plochy TIC, což je hodnota nevypovídající o složení dané směsi.

### Plamenově-ionizační detektor (FID)

Plamenově-ionizační detektor je univerzální detektor pro uhlovodíkové směsi. Skupinové složení je vytvořeno na základě identifikace jednotlivých látek MS detektorem. Výsledkem je složení jednotlivých skupin (viz. výše) v % hmotnostních.

Tato metoda nedokáže mezi sebou rozlišit cyklické uhlovodíky od nenasycených, nachází se ve stejné oblasti. Tudíž všechny tři skupiny cyklických uhlovodíků obsahují i uhlovodíky nenasycené s dvojnými i trojnými vazbami.

Podmínky GC x GC analýzy jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 2).

Tabulka 2: Podmínky analýzy GC x GC-MS/FID – LECO

Primární kolona	Rxi-17SilMS, 30 m x 0,25 mm, d=0,25 µm
Sekundární kolona	Rxi-1MS, 1 m x 0,18 mm, d=0,18 µm
Nosný plyn	He, 2 ml/min
Teplovní program	40°C 1,5 min 40 – 300 °C 4°C/min 300 °C 0,5 min
Injektor	20 °C-320 °C, 720 °C/min, Split 200:1
Objem vzorku	0,2 µl
Iontový zdroj	250 °C
Modulační perioda	10 s
Offset – sekundární pec	5 °C
Offset – modulátor	15 °C
FID detektor	280 °C

### 3. Soubor hodnocených vzorků

V rámci řešení tohoto projektu bylo ve spolupráce se zástupci SSHR vytipováno celkem 16 vzorků leteckého petroleje.

Část analytických vzorků byla připravena tak, aby reprezentovala různý obsah hluboce hydrogenovaných komponent. Příprava těchto vzorků probíhala v laboratorních podmínkách v prostorách ORLEN UniCRE. Jako vstupní materiál budou použity komerční letecké petroleje, které splňují minimální kvalitativní požadavky pro JET A-1 dle AFQRJOS [1], odebrané standardním způsobem do nerezových 20 l kanystrů. Jako vstupní materiály byly použity letecké petroleje z rafinérie Kralupy (0 % obsah HHK) a z rafinérie Litvínov (100 % obsah HHK).

Mísení bylo realizováno ve spočteném hmotnostním poměru tak, aby výsledný vzorek splňoval požadavky na minimální objem 40 litrů. Vážení probíhalo na přesných laboratorních vahách, s přesností 0,1 g. Po smísení byl vzorek důkladně homogenizován a následně analyzován.

#### 3.1. Laboratorní aditivace vzorků

Po 12 měsíčním skladování byly vybrané výzkumné vzorky aditivovány tak, aby jejich kritické vlastnosti odpovídaly kvalitativním požadavkům na palivo typu F-34. Aditivační přísady ve formě multifunkčních balíčků byly pro tyto účely získány prostřednictvím SSHR včetně souvisejících informací.

Během samotné aditivace byla respektována aplikační teplota a rovněž další specifické požadavky stanovené výrobcem příslušné aditivační přísady, které by mohly negativně ovlivnit finální účinnost.

Samotná aditivace probíhala v laboratorních podmínkách v prostorách ORLEN UniCRE za použití analytických vah s přesností 0,1 mg.

Aditivum bylo důkladně homogenizováno a následně bylo naváženo požadované množství do skleněné kádinky. Kádinka byla temperována na požadovanou teplotu (např. umístěním do sušárny po dobu 15 – 20 min.). Aditivum bylo ze skleněné kádinky vypláchnuto minimálně 20x příslušným vzorkem leteckého petroleje. Dno a stěny kádinky byly vizuálně zkontrolovány, zda bylo veškeré aditivum kvantitativně převedeno do předem zvažované skleněné vzorkovnice. Množství vzorku leteckého petroleje bylo následně doplněno do požadované hmotnosti tak, aby výsledná koncentrace aditiva odpovídala požadované hodnotě, uváděné v mg·kg<sup>-1</sup>. Aditivovaný vzorek leteckého petroleje byl následně důkladně homogenizován, případně temperován na požadovanou teplotu reflektující běžnou provozní praxi.

Aditivované vzorky leteckého petroleje byly podrobeny kritickým analytickým zkouškám a následně byla vyhodnocena účinnost aditivačního kroku.



## 4. Simulace skladovacích podmínek

Výzkumné vzorky byly po celou dobu simulovaného dlouhodobého skladování uchovávány v nerezových 20 l kanystrech, do kterých byly jednotlivé vzorky přímo vzorkovány. Vzorkování bylo provedeno pomocí standardního vzorkovacího místa, v souladu s příslušným předpisem (příslušné rafinérie, případně skladů SSHR).

Nerezový materiál byl zvolen proto, aby byl minimalizován vliv obalového materiálu na změnu kvality leteckého petroleje během jeho skladování. Kanystry jsou vyrobeny z nerezové oceli AISI 304 s tloušťkou stěny 0,9 mm.

Jelikož bylo minimální množství jednoho vzorku stanoveno na 40 l (2x 20 l kanystr), bylo nezbytné ověřit kvalitativní shodu obou kanystrů. Ta byla ověřena standardním způsobem, stanovením hustoty dle ASTM D5002 u vzorků odebraných z obou kanystrů, po jejich důkladném protřepání. V případě shody byly oba kanystry dále považovány za rovnocenné.

Bezprostředně po provedené detailní analýze, byly jednotlivé vzorky v nerezových kanystrech umístěny do skladovacích prostor. Skladovací prostory představovaly standardní sklady referenčních vzorků s odsáváním par, bez přístupu světla a bez zdroje tepla pro vytápění. Budova nese označení 2825a. Výzkumné vzorky zde byly skladovány po dobu 12 měsíců.

Pro potřeby průběžné či detailní analytické kontroly, bylo příslušné množství vzorku převedeno do skleněné vzorkovnice. V tomto případě se jednalo o reagenční láhev s modrým uzávěrem hnědé barvy SIMAX, která je vyrobena z borosilikátového skla Boro 3.3 s nízkou teplotní roztažností a splňuje požadavky normy ISO 4796-1. Chemická odolnost skla SIMAX je rovněž definována mezinárodní normou ČSN ISO 3585.

Odběr vzorku pro potřeby průběžné analytické kontroly byl vždy proveden odlitím z nerezového kanystru, po jeho důkladném protřepání. Příslušné množství vzorku bylo odlito pomocí skleněné nálevky do reagenční lahve SIMAX.

Odběr jednotlivých vzorků leteckého petroleje a jejich následné dlouhodobé skladování, bylo realizováno postupně, s ohledem na časovou náročnost detailní analytiky.

Vždy se postupovalo v souladu s jednotlivými metodickými kroky, které jsou detailně uvedeny v Metodice provedení výzkumu (Příloha 1).

## 5. Výsledky

Jak již bylo v úvodu nastíněno, u vzorků byly každé dva měsíce zjišťovány hodnoty kritických vlastností (elektrická vodivost, mazivost a vodní separační index), které jsou v tabulce zvýrazněny šedivě. K těmto analýzám bylo ještě přidáno každých 6 měsíců hodnocení dalších vlastností z nichž mezi ty klíčové patří bod krystalizace a bod vzplanutí. Dále byla na začátku a konci experimentu (po roce) provedena analýza dvoudimenzionální plynové chromatografie s hmotnostním a plamenově-ionizačním detektorem.

Souhrn veškerých dosažených výsledků je uveden v Příloze 2, zpracování jednotlivých závislostí je uvedeno v Příloze 6 (Vsouhrn – zpracované závislosti).

## 6. Závěr

Ve spolupráci se Správou státních hmotných rezerv (SSHR) byly vytipovány a zajištěny vzorky leteckého petroleje. Na základě požadavků SSHR byl s těmito vzorky simulován skladovací test leteckého petroleje. Jednotlivé vzorky byly testovány každé dva měsíce po dobu jednoho roku. Každého půl roku byly vzorky podrobeny detailnějšímu testování. Výsledky byly následně porovnávány s Technickou specifikací SSHR, s normou DEF-STAN 91-87 a s předepsaným soupisem požadavků pro letecké turbínové palivo JET A-1 (AFQRJOS). Zejména byl kladen důraz na vyhodnocení výsledků z klíčových analytických metod. Mezi ně patří bod krystalizace (ASTM D5972), bod vzplanutí dle Taga (ASTM D56), elektrická vodivost (ASTM D2624), mazivost leteckého petroleje-BOCLE (ASTM D5001), vodní separační index-MSEP (ASTM D3948) a dvoudimenzionální plynová chromatografie (GCxGC-MS/FID).

Zvláště byly vyhodnoceny vzorky, které neobsahovaly hluboko hydrogenované komponenty (HHK) a vzorky je obsahující. Na konci doby testování byly vybrané vzorky aditivovány multifunkčními balíčky získanými prostřednictvím SSHR. Následně u aditivovaných vzorků byl měřen bod krystalizace, elektrická vodivost a mazivost leteckého petroleje BOCLE.

Z pohledu hodnocení dlouhodobé skladovatelnosti leteckého petroleje byla na základě výsledků, získaných během řešení výzkumného projektu, potvrzena nutnost monitoringu vybraných kritických parametrů. Jedním z těchto parametrů, kterému je potřeba věnovat zvýšenou pozornost, je elektrická vodivost. V případě dlouhodobého skladování materiálu, obsahujícího HHK, je potřeba kontrolovat na pravidelné bázi mazivost BOCLE.

Zjištěné závěry, vyplývající z řešeného výzkumného projektu, by po odsouhlasení specialistů SSHR, měly být implementovány do procesu hodnocení dlouhodobé skladovatelnosti, procesu správy dlouhodobého skladování i procesu nákupu leteckého petroleje pro účely dlouhodobého skladování v prostorách SSHR (Příloha 3 – 5).



## 7. Použité literární zdroje

- [1] Product Specification Bulletin, Bulletin 141, AFQRJOS, Issue 33, January 2024.
- [2] DEF-STAN 91-091, Turbine Fuel, Kerosene Type, JET A-1, NATO Code: F-35, Joint Service Designation: AVTUR, Issue 16, 14 December 2023.
- [3] Military User's Guide for the Certification of Aviation Platforms on Synthetic Jet Fuels, North Atlantic Treaty Organization, SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANIZATION, 2018.
- [4] MIL-DTL-83133K, Turbine Fuel, Aviation, Kerosene Type, JP-8 (NATO F-34), NATO F-35, and JP-8+100 (NATO F-37), Department of Defense, USA, July 18, 2018.
- [5] DEF-STAN 91-87, Turbine Fuel, Aviation Kerosene Type, Containing Fuel System Icing Inhibitor NATO Code: F-34 JSD: AVTUR/FSII, Ministry of Defence, GB, March 20, 2009.
- [6] Vojenská jakostní specifikace pohonných hmot, maziv a provozních hmot, Ministerstvo obrany České republiky, 3. listopadu, 2017.
- [7] ASTM D5001-19e1, Standard Test Method for Measurement of Lubricity of Aviation Turbine Fuels by the Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator (BOCLE), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [8] ASTM D2386-19, Standard Test Method for Freezing Point of Aviation Fuels, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [9] ASTM D5972-16, Standard Test Method for Freezing Point of Aviation Fuels (Automatic Phase Transition Method, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.
- [10] ASTM D56-21a, Flash Point by Tag Closed Cup Tester, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021.
- [11] ASTM D2624-21a, Standard Test Methods for Electrical Conductivity of Aviation and Distillate Fuels, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021.
- [12] ASTM D3948-20, Determining Water Separation Characteristics of Aviation Turbine Fuels by Portable Separometer, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020.

## 8. Seznam příloh

Příloha 1	Metodika provedení výzkumu
Příloha 2	Souhrn analytických dat
Příloha 3	Metodika hodnocení dlouhodobé skladovatelnosti leteckého petroleje
Příloha 4	Metodika správy dlouhodobého skladování leteckého petroleje v systému SSHR
Příloha 5	Metodika pro nákup leteckého petroleje dle požadovaných vlastností
Příloha 6	Vsouhrn – zpracované závislosti

**T A**  
**Č R**

Tento projekt je financován se státní podporou  
Technologické agentury ČR  
v rámci programu BETA2

[www.tacr.cz](http://www.tacr.cz)  
Výzkum užitečný pro společnost

**SSHR**  
**ČESKÉ REZERVY**

 **ORLEN UniCRE**

 **ORLEN Unipetrol**

[poslední strana]