



VYUŽITIE PALÍV VYROBENÝCH Z ODPADOVÝCH ZDROJOV UHLĽOVODÍKOV V LETECTVE

Samuel Hruška
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Jozef Čerňan
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The aim of the article was to outline the methods of aviation fuel production and propose the production of aviation kerosene from waste hydrocarbon sources. The article contains information about currently used aviation fuels, evaluation of the advantages and disadvantages of their use, and the status of alternative propulsion utilization in aviation with an emphasis on ecology. The focus of the article is on methods of laboratory testing of the properties and quality of aviation kerosene as the most commonly used aviation fuel, where testing methods and procedures on specific laboratory instruments are described. In the practical part of this thesis, the method of producing aviation kerosene from waste hydrocarbon sources, specifically waste motor oils and industrial emulsions, is described. The detailed procedure for fuel production is subsequently concluded with laboratory testing of basic properties and their comparison with the properties of aviation kerosene.

Keywords

Oil. Aviation. Energy. Laboratory. Engine. Ecology. Design. Fuel. Alternative.

1. Úvod

Prvé fosílné palivo na svete bolo vyrobené v roku 1846 kanadským geológom a vynálezcom Abrahámom Gesnerom. Počas výskumu sa mu podarilo prísť na proces výroby tekutého paliva z uhlia, živice a ropnej bridlice. Svoj vynález nazval kerosín. Prvé použité kerosínu bolo ako palivo do pouličného osvetlenia vo viacerých mestách v Kanade. [3]

Doteraz sa hovorilo o rope ako hlavnej vstupnej surovine pri výrobe paliva. V dnešnej dobe je aktuálnou témou ekológia. Jedným zo spôsobov ekologického správania sa je recyklácia a využívanie alternatívnych druhov pohonu. Klíma Zeme sa mení, zdroje pre výrobu fosílnych palív sú limitované, čo stavia ľudstvo do situácie kedy musí začať používať alternatívne palivá s cieľom ochrany prírody. Ďalším výrazným faktorom pre vývoj alternatívnych palív je cena ropy. Cena ropy má priamy vplyv na svetovú ekonomiku. Bezprecedentné zvyšovanie ceny ropy má takisto negatívny vplyv na energetickú bezpečnosť jednotlivých krajín svetového spoločenstva. Energetická bezpečnosť znamená spoľahlivé, neprerušované a cenovo primerané dodávky paliva. Letectvo je zvlášť citlivé na spoľahlivé dodávky paliva, pretože žiaden iný sektor nemá tak obmedzené možnosti alternatívnych zdrojov energie.[2]

Článok hovorí o možnostiach alternatívnych pohonov vhodných pre použitie v leteckej doprave. Možnosť využitia alternatívnych druhov palív v dnešnej dobe už existuje, avšak z výkonnostného a ekonomického hľadiska zatiaľ nemôžu konkurovať tradičným palivám vyrobeným z ropy.

2. Metodika a metódy skúmania

Počas spracovania mojej záverečnej práce som využíval informácie z odbornej literatúry, neutajovaných vojenských a

civilných noriem a verejne dostupných zdrojov. Primárnou metódou používanou v praktickej časti mojej záverečnej práce bola metóda kvalitatívneho výskumu ktorej predchádzalo pozorovanie flotácie. Ďalšie materiály využívané pri spracovávaní tejto záverečnej práce mi boli poskytnuté z interných predpisov spoločnosti SAMAD s.r.o. a bližšie nomenovaného laboratória. Na základe informácií získaných zo spomínaných zdrojov som sa rozhodol požiadať zástupcov organizácii s ktorými som spolupracoval o pomoc pri návrhu a následnej laboratórnej výrobe paliva z odpadových uhľovodíkov. Vyrobené palivo bolo následne podrobené laboratórnym skúškam a ich výsledky boli zaznamenané do tabuliek uvedených v kapitole 8, ktoré boli následne interpretované a táto interpretácia bola odborne schválená. Počas laboratórných skúšok mi bolo k dispozícii špičkové, moderné vybavenie odborne obsluhované pracovníkom laboratória a tak isto pracovníci spoločnosti SAMAD s.r.o.. Na konci práce metódou kvalitatívneho porovnávania došlo k porovnaniu vlastností leteckého petroleja a navrhnutého paliva. Dôsledným triedením, posudzovaním a konzultáciou s odborníkmi na výrobu a kontrolu kvality palív sme pre spracovanie kvapalných odpadových uhľovodíkov na výrobu alternatívneho paliva pre letecké motory pre potreby tejto práce vybrali odpad označený ako KČO 13 08 02 (iné emulzie) v dovezenom objeme 22,5 m³. [1] [4]

2.1. Technologický postup

Technologický postup nakladania s odpadovými uhľovodíkmi v procese zhodnotenia patrí do zoznamu vykonávaných činností, zaradených podľa prílohy č.1 Zákona o odpadoch do kategórie R9 - Prečisťovanie oleja alebo jeho iné opätovné použitie.

Práve kategória R9 bola využitá pri spracovaní vybraného odpadu KČO 13 08 02, ktorý vznikol u pôvodcu odpadu nepozornosťou obsluhy kontaminovaním ľahkého vykurovacieho oleja nízkou hustotou 0,790kg/l, čím vznikla

kvapalina s veľmi nízkym bodom vzplanutia (10°C), pričom vznikol nebezpečný odpad v dôsledku dobrej miešateľnosti s vodou, ktorý nebol vhodný na použitie v technológií pôvodu odpadu. Pre zníženie rizika vzniku požiaru pri samotnom prečerpávaní u pôvodu odpadu bol uplatnený postup čerpania vzduchovým membránovým čerpadlom, kde stlačený vzduch bol nahradený dusíkom a samotný kontaminovaný olej bol čerpaný do cisternového vozidla čiastočne naplneného vodou, pričom došlo k zmiešaniu a vytvoreniu odpadového uhľovodíku KČO 13 08 02 - Iné emulzie, bezpečného na prepravu a manipuláciu, ale naopak veľmi dobre separovateľného v technológií. Odpadový uhľovodík takto kontaminovaný a upravený nebol primárne využiteľný ani na energetické využitie. Tento proces je možné využiť pri separácii látok s nižšou hustotou napríklad rôznych alkoholov, rozpúšťadiel, ktoré sa veľmi často nachádzajú v odpadových uhľovodíkoch, hlavne z dôvodu porúch, alebo aj nepozornosťou obsluhy technologických a iných zariadení, ktoré používajú oleje pri svojej činnosti. Zmiešavaním s vodou je možné vyrobiť emulziu s vyššou hustotou pri pomalom prúdení kvapaliny tak, aby nedošlo k vytvoreniu emulzie v celom objeme odpadu. [5]

2.1.1. Príprava na zhodnotenie

Princípom zhodnocovania nebezpečných odpadov na uvedených strojných zariadeniach je fyzikálno-chemická úprava nebezpečných odpadov: filtrácia, flotácia a sterilizácia, ktorou dochádza k čisteniu a separácii prevádzkových kvapalín, rezných emulzií, iných emulzií, roztokov bez obsahu halogénov, olejov a riedkych kalov.

Vyprázdňovanie nádrží a kontajnerov s odpadovým uhľovodíkom sa uskutočňuje čerpadlami alebo výpustnými ventilmi a prečerpáva sa v závislosti od triedy kinematickej viskozity zubovým - vysoká viskozita nad normu ISO VG 32, alebo odstredivým – nízka viskozita do normy ISO VG 32 čerpadlom do stroja METZGER MKR TYP SF 500 s vnútorným objemom nádrže 500 l. Následne je odpadový uhľovodík vákuovo cez posuvný filter z netkanej textilie zbavený hrubých nečistôt, ako sú oterové kovy, ktoré vznikajú pri trení pohyblivých častí rôznych zariadení mazaných olejom, triesky z obrábania, brúsne kaly, odumreté ložiská baktérií o priemere 3-10 ppm v závislosti od použitého filtra. Takto odstránené nečistoty sú odsávaním a filtrovaním vákuovo separované cez filter.



Obrázok 1. METZGER MKR TYP SF 500. Zdroj: [1]

Odpadový uhľovodík je po zbavení mechanických nečistôt vrátený do čistej zbernej nádrže alebo IBC kontajnera určeného

na prefiltrovaný odpadový olej. Odtiaľ je cez špeciálne vyvážený ponorný sací magnetický plavák vzduchovým membránovým čerpadlom cez jemný kovový filter prečerpávaný do stroja MKR-METZGER TRENBOY TB 250, v ktorom po spomalení prúdenia odpadového uhľovodíka a následnej flotácii dochádza k jeho separácii od kvapaliny s vyššou hustotou - objemovou hmotnosťou napr. vody alebo emulzie. Po odtečení do zberného zásobníka je odpadový uhľovodík vhodný ako surovina pre ďalšie spracovanie pre účely tejto práce.



Obrázok 2. MKR-METZGER TRENBOY TB 250. Zdroj: [1].

Zhodnotený odpadový uhľovodík bol na prevádzke prečerpávaný do zásobníkov vytvorených z IBC kontajnerov. Zo zásobníkov sa surovina automatizovane za pomoci systémov plavákových hladinomerov napojených na odstredivé čerpadlá dávkuje do technologického separátora ALFA Laval S 921 Flex, ktorý bol využitý pre finálne čistenie zhodnoteného uhľovodíka pred termickým delením.



Obrázok 3. ALFA Laval S 921 Flex. Zdroj: [1].

Technologické zariadenie ALFA Laval S 921 Flex systém sme použili na dočisťovanie už výsledného produktu zhodnoteného uhľovodíka, ktorý bude ďalej spracovaný v rámci zlepšovania jeho konečných parametrov, ktorých dodržanie je potrebné pre

predpokladané možné použitie ako suroviny pre výrobu konečného produktu vo výsledku mojej práce. [1] [6]

2.1.2. Zhodnocovanie termickým delením

Termické delenie kvapalných uhľovodíkov s použitím katalyzátora je tepelný rozklad založený na procese fragmentácie, čiže na rozdelení reťazcov uhľovodíkov. Vplyvom stredne vysokých teplôt a atmosférického tlaku je možné kvapalný uhľovodík ako vstupný materiál spracovať tak, že výstupnou surovinou je zmes plyných a kvapalných uhľovodíkov, ktorá je vhodná pre ďalšie spracovanie a využitie v petrochemickom priemysle, energetike alebo ako pohonná hmota. V procese spracovania dochádza vplyvom zvyšujúcej sa teploty primárne k deleniu jednotlivých frakcií uhľovodíkových reťazcov, pričom sa pôvodné skracujú, respektíve produkty ako olej s dlhým reťazcom sa menia na viaceré produkty s krátkym reťazcom. Stupeň premeny alebo účinnosť rozdelenia závisí na prevádzkovej teplote, pričom zvyšovaním teploty sa zvyšuje hĺbka delenia uhľovodíkových reťazcov oleja. Základné vlastnosti kvapalných produktov získaných zo spracovania olejov s použitím katalyzátora sú podobné konvenčným ropným produktom. Majú rovnakú destilačnú krivku, viskozitu, hustotu, spaľovacie teplo, oktánové a cetánové číslo a pod.



Obrázok 4. Technológia termického delenia. Zdroj: [1].

Vstupnú surovinu tvoria pôvodne odpadové uhľovodíky zložené zo širokej škály ako dlhých, tak aj krátkych reťazcov uhľovodíkov tzv. široká frakcia. Jej prečerpaním z cisternového návesu cez prietokové meradlo typu M606 3.1 do nádrže s označením H4 sa začína výroba jednotlivých frakcií. Následne je zubovým čerpadlom dávkovým spôsobom v objeme 1100 litrov naplnený reaktor zariadenia s označením PEC1000, ktorý pracuje na princípe termickej fragmentácie uhľovodíkových reťazcov s použitím katalyzátora. Proces spočíva v postupnom ohrievaní olejov v dvojplošťovom reaktore zariadenia bez prístupu kyslíka horákmi na zemný plyn umiestnenými v medziplášťovom priestore. [1] [7]

Jednotlivé teplotné stupne ohrevu oleja s časom dĺžky držania rovnakej teploty sú programovo nastavené v závislosti na druhu výrobku a jeho požadovaných parametrov. Táto metóda veľmi presne dokáže oddeľovať požadované frakcie pri následnom odparovaní do destilačnej kolóny, kde sú výpary schladzované

vo viacerých teplotných režimoch. Tým sa zabezpečí rozdelenie reťazcov uhľovodíkov na:

- veľmi krátke reťazce tzv. plynú frakciu,
- krátke reťazce tzv. ľahkú frakciu,
- stredne dlhé reťazce tzv. strednú frakciu,
- dlhé reťazce tzv. ťažkú frakciu.

Ľahká frakcia je zmes kvapalných ropných uhľovodíkov s vysokou tenziou pár. Je to horľavá kvapalina, trieda nebezpečnosti I, skupina výbušnosti (STN/EN 50014) IIA, teplotná trieda T3, bod tuhnutia -40 o C, je to látka škodlivá zdraviu a životnému prostrediu, dopravný tlak do 300 kPa. Táto frakcia, označovaná v kombinovanej nomenklatúre ako plynový olej, je využiteľná ako rozpúšťadlo alebo palivo.

Stredná frakcia je horľavá kvapalina, skupina výbušnosti IIA, teplotná trieda T3, trieda nebezpečnosti III, teplota vzplanutia nad 56 o C, je to látka škodlivá zdraviu človeka a životnému prostrediu, dopravný tlak do 300 kPa. Táto frakcia, označovaná v kombinovanej nomenklatúre ako plynový olej, je využiteľná ako pohonná hmota pre pohon motorov.

Ťažká frakcia je zmes ťažších kvapalných ropných uhľovodíkov s nízkou tenziou pár. Je to horľavá kvapalina, trieda nebezpečnosti II, teplota vzplanutia nad 80 o C, skupina výbušnosti (STN/EN 50014) IIA, teplotná trieda T3, je to látka škodlivá zdraviu a životnému prostrediu, dopravný tlak do 300 kPa využiteľná ako palivo.

Výroba sa zaoberá termickým spracovaním dovezeného produktu kombinovanej nomenklatúry (KN) 2710 19 29. Následne proces spočíva v ohrievaní horákmi na zemný plyn KN 2710 19 29 v reaktore zariadenia bez prístupu kyslíka s označením PEC1000 a jeho odparovaní do destilačnej kolóny, kde sú výpary schladzované v dvoch teplotných režimoch. Tým sa zabezpečí rozdelenie reťazcov uhľovodíkov na malé množstvo technologického plynu približne 0,3% objemových jednotiek a dve hlavné frakcie:

- KLF - Katalytická Ľahká Frakcia KN 2710 12 11.
- KHF - Katalytická Ťažká Frakcia KN 2710 19 43.

Tieto frakcie sú po rozdelení prečerpané do sedimentačných nádrží s označením H3 (KLF) a s označením H2 (KHF), kde v závislosti od teploty a množstva mechanických nečistôt sedimentujú. Následne dochádza k výdaju pre odberateľa. [8]

Tento systém spracovania pôvodne odpadových olejov ponúka ekologicky prijateľnú a finančne sebestačnú metódu spracovania zhodnotených odpadových uhľovodíkov a je príkladným riešením využitia druhotnej suroviny s veľkým potenciálom. To prispieva k zníženiu objemu zneškodňovania odpadových uhľovodíkov, ku skvalitneniu životného prostredia a k šetreniu prírodných zdrojov.

Pre účely tejto záverečnej práce som uviedol výrobný proces ďalšieho spracovania výsledného produktu zo zhodnoteného uhľovodíka v prípade, že by bolo k dispozícii dostatočné množstvo suroviny na termické spracovanie zhodnotených kvapalných uhľovodíkov priamo vo výrobe. Požadované množstvo pre spustenie výroby podľa materiálového toku je viac

ako 1100 litrov, ktoré som pre účely tejto práce nemal k dispozícii. Zvolil som pre ďalší postup spracovania odpadových uhľovodíkov laboratórny spôsob. [1]



Obrázok 5. Laboratórny spôsob termického delenia. Zdroj: [1].

2.1.3. Testovanie vzorky zhodnoteného uhľovodíka

Vzorku zhodnoteného uhľovodíka v objeme 1000 ml sme s pracovníkom laboratória podrobili testom bodu vzplanutia, spektrometri a destilačnej krivky pre zistenie fyzikálnych a chemických vlastností látky, ktorú sme plánovali použiť na výrobu alternatívnej pohonnej hmoty pre letecké motory s vlastnosťami leteckého petroleja JET A. [1]

2.1.4. Termické delenie vzorky zhodnoteného uhľovodíka

Pripravili sme si 300 ml na základe výpočtu testovanej vzorky zhodnoteného uhľovodíka a umiestnili sme 300 ml testovanej vzorky do varnej banky.

Na ohrevnom hniezde LTHS 250 sme nastavili teplotu ohrevu na 165°C a zahájili sme prvú destiláciu – termické delenie vzorky. Prvým výsledkom bolo, že z našej testovanej vzorky sme oddelili všetky látky, ktoré mali nižší bod varu ako 165°C. Testovaná vzorka mala oddelené látky ľahkej frakcie kvapalných uhľovodíkov s vysokou tenziou pár, ktorú môžeme zaradiť pod KN 2710 12 11 označené ako ľahké uhľovodíky a prípravky určené na špecifické spracovanie, z ktorých sa 90% objemu a viac predestiluje pri 210°C.

Následne sme zahájili druhú destiláciu - termické delenie vzorky. Na ohrevnom hniezde s označením LTHS 250 sme nastavili teplotu ohrevu do 300°C. Druhým výsledkom termického delenia vzorky bolo, že z našej testovanej vzorky sme oddelili všetky látky, ktoré mali bod varu do 300°C. Pary oddelené z testovanej vzorky sme ochladzovali v chladiacom valci a tým sme získali vzorku kvapalného uhľovodíka, ktorá spĺňa kritériá od 165°C do 300°C na ďalšie testovanie. Zvyšok oddelených látok môžeme zaradiť ako ťažkú frakciu pod KN 2710 19 99, ktorá môže byť využitá ako olej na stratové mazanie. Termické delenie a destiláciu sme zopakovali 2 krát za

účelom získania 2 testovaných vzoriek v objeme 300 ml na finálne testovanie a ich následné porovnanie. [1] [3] [8]

3. Výsledky

Vyrobená vzorka bola podrobená najdôležitejším testom vykonávaným pri testovaní bežného paliva JET A1 [1]

3.1. Testovanie vzorky alternatívneho paliva

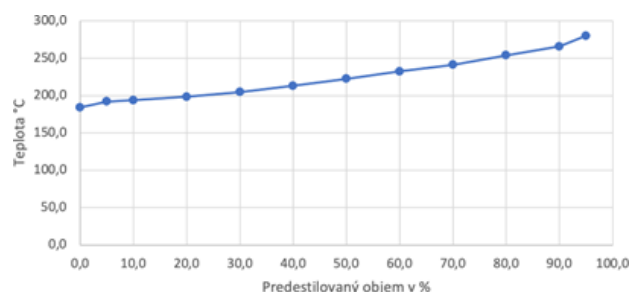
Získanú vzorku 300 ml z termického delenia sme rozdelili na 3 rovnaké diely v objeme 100 ml, z ktorých 2 diely sme použili do prístroja na určenie destilačnej krivky a 1 diel na test bodu vzplanutia. [1]

3.1.1. Destilačná krivka

testovaním v objeme 50 ml vykonali skúšku bodu vzplanutia a namerali rovnako hodnotu 44°C. Výsledné vzorky z testov destilačnej krivky alternatívnej pohonnej hmoty pre letecké motory sme v odmernom valci doplnili na 100 ml zvážili na digitálnej váhe, jej nameraná hmotnosť bola 81,9 g/100 ml, čo predstavuje hustotu alternatívnej pohonnej hmoty 819 kg/m³. [1] [4]

Do odmerného valca sme naliali prvý diel testovanej vzorky, z ktorej sme presný obsah 100 ml premiestnili do varnej banky, ktorá je súčasťou zariadenia HERZOG MP 626. Varná banka umiestnená na varnú dosku v zariadení a hermeticky napojená na prístroj s teplomerom. Po zapnutí prístroja sa teplota testovanej vzorky 100 ml začala zvyšovať na bod IBP (Začiatkový bod varu). Dosiahnutie začiatkového bodu varu bolo v trvaní od 0 do 492 sekúnd na teplotu 184,0 °C, kde bol zahájený proces destilácie. Destilácia bola ukončená koncovým bodom varu pri 295,3 °C kedy bolo odparených 98,1% objemu pôvodnej testovanej vzorky pričom 1,9% objemu je tzv. tuhý destilačný zvyšok, čo je látka ktorú už nie je možné destilovať ďalej. Je podobná asfaltu.

Do odmerného valca sme naliali druhý diel testovanej vzorky, z ktorej sme presný obsah 100 ml premiestnili do varnej banky, ktorá je súčasťou zariadenia HERZOG MP 626. Zopakovali sme postup ako pri teste prvého dielu vzorky. Po ukončení testu sme zistili, že prvý aj druhý diel vzorky vykazoval identické namerané hodnoty. [1]



Obrázok 6. Destilačná krivka. Zdroj [1].

3.1.2. Bod vzplanutia

Tretí diel vzorky sme využili na test bodu vzplanutia. 100 ml testovanej vzorky sme rozdelili na 2 vzorky po 50 ml. Prvý diel o objeme 50 ml sme naliali do uzatvorenej kovovej nádoby v

prístroji s označením HERZOG a vykonali skúšku bod vzplanutia metódou Penski – Martens. Bod vzplanutia sme namerali v prvej testovanej vzorke 44°C. Druhý diel sme rovnakým testovaním v objeme 50 ml vykonali skúšku bodu vzplanutia a namerali rovnako hodnotu 44°C. Výsledné vzorky z testov destilačnej krivky alternatívnej pohonnej hmoty pre letecké motory sme v odmernom valci doplnili na 100 ml zvážili na digitálnej váhe, jej nameraná hmotnosť bola 81,9 g/100 ml, čo predstavuje hustotu alternatívnej pohonnej hmoty 819 kg/m³. [1] [4]



Obrázok 7. Testovanie bodu vzplanutia. Zdroj: [1].

4. Záver

Navrhnutá alternatíva pohonnej hmoty z odpadových uhľovodíkov obsahuje reťazce uhľovodíkov, ktoré majú bod vzplanutia pri teplote 44 °C, čím spĺňa porovnanie s leteckým petrolejom JET A, ktorý má bod vzplanutia uvedený vyšší alebo rovný ako 40°C.

Pri hodnotení destilačnej krivky alternatívnej pohonnej hmoty z odpadových uhľovodíkov sme zistili, že uvedené namerané hodnoty spĺňajú kritériá, vyžadované pri leteckom petroleji JET A, predovšetkým body varu od 165°C do 300°C a majú aj podobné charakteristiky priebehu.

Nameraná hustota 819 kg/m³ zodpovedá parametru uvádzaného pre letecky petrolej JET A v intervale 775- 840 kg/m³.

Vykonané laboratórne skúšky vypovedajú len o najdôležitejších parametroch paliva JET A a nebolo podrobené všetkým skúškam spomínaným v teoretickej časti záverečnej práce. Pre použitie paliva v reálnej prevádzke by museli byť do paliva pridané aditíva spomenuté taktiež v teoretickej časti. [1]

Referencie

- [1] Hruška, Samuel. Využitie palív vyrobených z odpadových zdrojov uhľovodíkov v letectve. [Online-diplomová práca] 2024.
- [2] Commission, European. European Alternative Fuels Observatory. European Commission. [Online] 2022. [Dátum: 20. 1. 2024.] [https://alternative-](https://alternative-fuelsobservatory.ec.europa.eu/transport-mode/aviation/alternative-fuels-for-aviation)

[fuelsobservatory.ec.europa.eu/transport-mode/aviation/alternative-fuels-for-aviation](https://alternative-fuelsobservatory.ec.europa.eu/transport-mode/aviation/alternative-fuels-for-aviation).

- [3] Mickeviciute, Rosita. Jet fuel: all about aviation fuel, its origin, composition, and types. Aerotime hub. [Online] 22. 6. 2023. [Dátum: 3. 12. 2023.] <https://www.aerotime.aero/articles/jet-fuel-understanding-its-origins-composition-andtypes>.
- [4] Staroň, Milan. Predpisy pre zabezpečenie kvality a manipuláciu. s.l. : Regula servis, 2007. ISO 9001:2000.
- [5] MAXWELL, Timothy T. Alternative fuels: emissions, economics and performance. ResearchGate. [Online] 1. 9. 2013. [Dátum: 20. 2. 2024.] https://www.researchgate.net/publication/37402721_Alternative_fuels_emissions_economics_and_performance.
- [6] Adami, Renata. Alternative fuels for aviation: possible alternatives and practical prospects of biofuels. ResearchGate. [Online] 1. 1. 2021. [Dátum: 1. 4. 2024.] https://www.researchgate.net/publication/348891726_Alternative_fuels_for_aviation_possible_alternatives_and_practical_prospects_of_biofuels.
- [7] Forsthoffer, Julius. Aktuálna situácia výroby a využitia biopalív na Slovensku. Bratislava : Združenie výrobcov liehu, 2009.
- [8] Corporation, Chevron. Aviation Fuels Technical Review. Houston : Chevron Global Aviation, 2006. MS-9891 (10/06).