



FUELS FOR CARBON NEUTRALITY IN AVIATION

Denis Valášek
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

Aviation is one of the fastest-growing industries, but its contribution to greenhouse gas emissions cannot be ignored. In recent years, the development of alternative fuels for aviation has gained increasing attention to reduce carbon emissions and achieve carbon neutrality. This thesis provides an overview of the current situation in aviation, focusing on the use of conventional jet fuels and the need for alternatives. Various types of alternative fuels for aviation are presented, including biofuels, synthetic fuels, and hydrogen. The advantages and disadvantages of each type of fuel are analysed, as well as the current production methods and their potential for commercial use. With a greater focus on biobutanol as an alternative fuel.

Keywords

aviation, alternative fuels, biofuels, synthetic fuels, hydrogen, carbon neutrality, biobutanol

1. ÚVOD

Rastúca závislosť na leteckej doprave a s ňou spojený nárast emisií skleníkových plynov je jedným z najväčších výziev, ktorým musíme čeliť, ak chceme dosiahnuť uhlíkovú neutralitu. Preto je dôležité hľadať riešenia, ktoré by umožnili letectvu redukovat' jeho emisie CO₂.

Jedným z možných riešení je palivo pre uhlíkovú neutralitu. Tento typ paliva je vyrábaný z obnoviteľných zdrojov, ako sú biomasa, odpad alebo dokonca vzduch a voda. Palivá pre uhlíkovú neutralitu majú potenciál znížiť emisie CO₂ o 80-100% v porovnaní s tradičnými fosílnymi palivami.

Okrem toho sú palivá pre uhlíkovú neutralitu kompatibilné s existujúcimi lietadlovými motormi a sú schopné poskytnúť rovnakú výkonnosť ako tradičné fosílna palivá. To znamená, že letectvo by mohlo pokračovať v plnení svojich funkcií, ale s výrazne nižším dopadom na životné prostredie.

Okrem toho, hľadanie alternatívnych palív môže tiež pomôcť zmierniť závislosť na fosílnych palivách a zabezpečiť stabilitu dodávok palív v prípade krízy na trhu s ropou alebo inými fosílnymi palivami.

Ďalším dôvodom, prečo sa hľadajú alternatívne palivá v letectve, je zlepšenie energetickej účinnosti a zníženie nákladov na palivo. Alternatívne palivá môžu byť účinnejšie a ekonomickejšie ako tradičné fosílna palivá.

Alternatívne palivá sa stávajú čoraz dôležitejšími v letectve z dôvodu potreby zníženia emisií oxidu uhličitého a iných škodlivých látok. Hlavnými alternatívnymi palivami sú momentálne biopalivá a vodík.

Biopalivá sú vyrobené z rastlinných olejov, tukov, rastlinnej biomasy a dokonca aj odpadových materiálov. Biopalivá môžu byť vyrobené aj z rastlín, ktoré nie sú určené na výrobu potravín, čím sa minimalizuje konkurencia medzi výrobou potravín a

palív. Biopalivá majú v porovnaní s fosílnymi palivami nižšiu emisiu oxidu uhličitého, ale tiež produkujú iné škodlivé látky, ako napríklad oxid dusný.

Vodíkové palivové články sa tiež stávajú stále populárnejšími v letectve. Vodík sa môže získavať z rôznych zdrojov, ako sú napríklad obnoviteľné zdroje energie alebo vodná elektrolýza. Palivové články využívajú vodu a kyslík na výrobu elektrickej energie, pričom jedinou emisiou je voda.

V súčasnosti sa však používanie alternatívnych palív v letectve stretáva s niekoľkými výzvami, vrátane nákladov na výrobu a zabezpečenie dostatočnej zásoby paliva pre lety na dlhé vzdialenosti. V každom prípade, alternatívne palivá predstavujú dôležitý krok smerom k udržateľnému letectvu a ich vývoj sa bude pravdepodobne rozvíjať v budúcnosti.

S tým sú spojené otázky ako:

- potenciálna certifikácia,
- kompatibilita s konvenčným leteckým palivom,
- manipulácia s palivom v infraštruktúre.

Alternatívne zdroje palív pre leteckú dopravu musia spĺňať základné požiadavky:

- zabezpečená dostatočná zásoba,
- zabezpečená dostatočná dodávka,
- nesmú byť riadené faktorom fosílného paliva,
- zabezpečená dostupnosť paliva.

2. UHLÍKOVÝ CYKLUS

Uhlíkový cyklus pre letectvo predstavuje proces, v ktorom sektor leteckej dopravy vypúšťa skleníkové plyny v podobe oxidu uhličitého a vody do atmosféry, ktoré prispievajú k

globálnemu otepľovaniu ak sa hromadia v atmosfére. No to je iba časť cyklu, druhú časť predstavuje spätné odoberanie skleníkových plynov pomocou rastlín z atmosféry. Väčšina týchto emisií pochádza zo spaľovania fosílnych palív, ktoré sa používajú na pohon lietadiel, no ak vyrobíme palivá z odpadových produktov rastlín, uzatvoríme tento cyklus.

Uhlíkový cyklus leteckej dopravy môže byť zjednodušene popísaný ako nasledujúci proces:

Fáza 1 - Emisie CO₂: Lietadlá vypúšťajú oxid uhličitý (CO₂) a iné skleníkové plyny pri spaľovaní fosílnych palív.

Fáza 2 - Vstrebávanie CO₂: Rastliny a iné organizmy absorbujú CO₂ z atmosféry cez fotosyntézu. Táto fáza je kľúčová pre zníženie množstva CO₂ v atmosfére.

Fáza 3 - Výroba biopalív: Z biomasy sa dajú vyrobiť biopalivá, ktoré môžu byť použité ako alternatíva k fosílnym palivám. Pri spaľovaní biopalív sa uvoľňuje CO₂, ale táto emisia je vyvážená vstrebávaním CO₂ rastlinami počas ich rastu.

Celkovým cieľom v rámci uhlíkového cyklu pre letectvo je dosiahnutie uhlíkovej neutrality, čo znamená, že emisie CO₂ produkované letectvom by mali byť vyvážené množstvom CO₂, ktoré sa vstrebáva z atmosféry.

Biobutanol môže byť alternatívnym palivom pre letectvo s potenciálom znížiť emisie skleníkových plynov v porovnaní s tradičným leteckým palivom na báze ropy. Jeho uhlíkový cyklus je pomerne komplexný a zahŕňa viacero krokov.

Rastliny: Biobutanol sa vyrába z biomasy, najčastejšie z obilnín ako je jačmeň alebo kukurica. Tieto plodiny rastú a absorbujú oxid uhličitý z atmosféry cez proces fotosyntézy.

Zber a spracovanie biomasy: Po zbere biomasy sa táto biomasa spracuje, aby sa získala celulóza, ktorá sa potom pretaví na cukry, ktoré sa môžu ďalej použiť na výrobu biobutanolu.

Fermentácia: Cukry sa potom fermentujú pomocou mikroorganizmov na biobutanol.

Istenie a separácia: Po fermentácii sa biobutanol oddelí od zvyšku fermentu a iných nečistôt.

Distribúcia a skladovanie: Biobutanol sa potom distribuuje do letísk a uloží sa v nádržiach na palivo, podobne ako tradičné letiskové palivá.

3. HISTÓRIA

Biopalivá pre letectvo majú relatívne krátku históriu v porovnaní s biopalivami pre iné sektory, pretože letectvo má špecifické požiadavky na palivá, ktoré súvisia s vysokými požiadavkami na výkon, bezpečnosť a kvalitu. Prvé testy s biopalivami v letectve sa uskutočnili v 90. rokoch 20. storočia, keď boli v USA testované rôzne druhy biopalív na báze rastlinných olejov a tukov. Od tej doby sa uskutočnili rôzne skúšky a testy biopalív v letectve, ktoré ukázali, že je možné ich použiť ako alternatívu k tradičným fosílnym palivám.

V roku 2008 sa uskutočnil prvý komerčný let s biopalivami v USA, keď bol do palivového systému lietadla zmiešaný biopalivo vyrobené z rastlinného oleja. V nasledujúcich rokoch sa

uskutočnili ďalšie skúšky a testy, ktoré ukázali, že biopalivá pre letectvo sú schopné splniť požiadavky na bezpečnosť a kvalitu a sú ekologicky prijateľné.

V roku 2011 zahájila americká spoločnosť United Airlines prevádzku pravidelných letov s biopalivami. V rovnakom roku uskutočnila spoločnosť KLM prvý komerčný let s biopalivami v Európe. V súčasnosti mnohé spoločnosti využívajú biopalivá ako súčasť svojej stratégie na zníženie emisií skleníkových plynov a zlepšenie udržateľnosti

4. FIT FOR 55

Európska únia má ambiciózný plán s názvom "Fit for 55", ktorý sa zameriava na zníženie emisií skleníkových plynov o 55 % do roku 2030 v porovnaní s úrovňou z roku 1990. Tento plán sa týka všetkých hospodárskych sektorov, vrátane leteckej dopravy.

Konkrétne sa plán zameriava na nasledujúce kroky:

1. Zavedenie systému obchodovania s emisiami pre leteckú dopravu, ktorý by mal zaisťovať, že letecké spoločnosti budú platiť za svoje emisie. Tento krok by mal podporiť investície do vývoja alternatívnych palív.
2. Zavedenie povinných cieľov pre podiel alternatívnych palív v leteckom palive. Európska únia si stanovila cieľ, aby do roku 2030 podiel alternatívnych palív dosiahol 2 % a do roku 2050 až 63 %.
3. Podpora výskumu a inovácií v oblasti alternatívnych palív pre leteckú dopravu. Európska únia investuje do projektov zameraných na výrobu syntetických palív, biopalív a iných alternatívnych palív.
4. Zlepšenie energetickej účinnosti lietadiel a modernizácia leteckej infraštruktúry, ako sú napríklad letiská.

Celkovo sa plán "Fit for 55" snaží zabezpečiť, aby letecká doprava prispievala k zníženiu emisií skleníkových plynov a aby bola trvalo udržateľná.

Európska únia vníma alternatívne palivá pre letectvo ako dôležitý prvok v boji proti zmene klímy a ochrane životného prostredia. V rámci európskej politiky na ochranu klímy a udržateľný rozvoj, bola prijatá aj tzv. "Green Deal", ktorá stanovuje ciele pre zníženie emisií skleníkových plynov a podporu výskumu a vývoja obnoviteľných zdrojov energie. V súvislosti s letectvom, Európska komisia navrhla tzv. "Flightpath 2050", ktorý stanovuje ciele a stratégie pre udržateľné letectvo do roku 2050. Jedným z hlavných cieľov je dosiahnutie nulových emisií CO₂ do roku 2050 a v tomto kontexte sa alternatívne palivá stávajú dôležitým prvkom.

Európska únia podporuje vývoj a využitie alternatívnych palív v letectve a prijala opatrenia, ktoré podporujú ich výrobu a využitie. Napríklad, Európska komisia poskytuje finančnú podporu na výskum a vývoj alternatívnych palív pre letectvo prostredníctvom programu Horizont 2020 a v roku 2020 predstavila iniciatívu "ReFuelEU Aviation", ktorá má za cieľ zvýšiť podiel alternatívnych palív v letectve na 2% do roku 2025 a na 5% do roku 2030.

Európska únia tiež spolupracuje s ostatnými krajinami a medzinárodnými organizáciami, ako napríklad Medzinárodnou organizáciou pre civilné letectvo (ICAO), na zlepšenie emisnej účinnosti letectva a na podpore udržateľného letectva vo svete.

5. VZŤAH VÝROBCOV LIETADIEL K ALTERNATÍVNYM ZDROJOM

Výrobcovia lietadiel sa stále viac snažia prispieť k udržateľnosti letectva a znižovaniu emisií skleníkových plynov. Preto sa zvyšuje ich záujem o alternatívne zdroje energie a palivá. Výrobcovia lietadiel si uvedomujú, že súčasná situácia s klimatickými zmenami a rastúca regulácia emisií v letectve si vyžaduje nové riešenia a technológie.

Niektorí výrobcovia lietadiel sa už začali angažovať v projektoch týkajúcich sa alternatívnych palív a technológií, ktoré znižujú emisie. Napríklad Boeing a Airbus sa zúčastňujú projektov na vývoj biopalív pre letectvo a využitie vodíkových palivových buniek. Výrobcovia lietadiel tiež spolupracujú s rôznymi organizáciami a inými výrobcami, aby sa zlepšila výkonnosť a udržateľnosť letectva.

Avšak, prechod na alternatívne palivá a technológie je pre výrobcov lietadiel náročný, pretože musia prekonať rôzne prekážky, ako sú vysoké náklady na vývoj a testovanie nových technológií, technické problémy, neistoty v oblasti zdrojovania palív a časové obmedzenia. Okrem toho musia výrobcovia lietadiel zohľadniť aj potreby a požiadavky leteckých prevádzkovateľov a regulatorov.

V každom prípade, výrobcovia lietadiel by mali byť motivovaní a spolupracovať na vývoji nových technológií, ktoré zlepšujú udržateľnosť a znižujú emisie, aby sa dosiahla dlhodobá udržateľnosť letectva a prispelo sa k ochrane životného prostredia.

5.1. Airbus

Spoločnosť Airbus je jedným z popredných výrobcov letectva na svete a aktívne sa angažuje v hľadaní a vývoji alternatívnych zdrojov energie a palív pre letectvo. Airbus sa zaviazal, že do roku 2035 dosiahne nulové emisie CO₂ z lietadiel v celom životnom cykle, od výroby až po ich prevádzku a likvidáciu.

Airbus už uskutočnil niekoľko projektov v oblasti alternatívnych palív, ktoré zahŕňajú využitie biopalív, syntetických palív a vodíkových palivových buniek. V roku 2016 firma Airbus uskutočnila prvý komerčný let lietadla A321 s palivom zmiešaným s biopalivom. V roku 2018 Airbus oznámil, že plánuje vyvinúť a testovať hybridné elektrické lietadlá, ktoré by mohli byť schopné prevádzky s nulovými emisiami uhlíka do roku 2030.

Okrem toho, Airbus spolupracuje s inými organizáciami a výrobcami, ako sú Rolls-Royce a Safran, na vývoji hybridných elektrických pohonných systémov pre lietadlá a na zlepšení energetického výkonu leteckých motorov. Airbus sa tiež snaží zlepšiť efektívnosť lietadiel a využívať materiály s nízkou hmotnosťou, aby sa zlepšila energetická účinnosť a znížili emisie.

5.2. Boeing

Spoločnosť Boeing, podobne ako Airbus, patrí medzi popredných výrobcov letectva na svete a aktívne sa zaoberá o alternatívne zdroje energie a palivá pre letectvo.

Boeing sa zaviazal k tomu, že do roku 2050 dosiahne nulové emisie CO₂ z lietadiel v celom životnom cykle, od výroby až po ich prevádzku a likvidáciu. Boeing sa tiež zaviazal k tomu, že do roku 2030 bude používať biopalivá na báze odpadových materiálov a mimo potravinárskej produkcie na 100 % svojich testovacích letov.

Boeing uskutočnil niekoľko projektov v oblasti alternatívnych palív, ktoré zahŕňajú využitie biopalív, syntetických palív a vodíkových palivových buniek. V roku 2018 Boeing uskutočnil spolu s Air New Zealand prvý let s biopalivom na báze odpadového oleja. V rovnakom roku Boeing predstavil projekt "Fuel Cell Demonstrator Airplane", v ktorom sa používa vodík na pohon lietadla.

Okrem toho, Boeing spolupracuje s inými organizáciami a výrobcami, ako sú Rolls-Royce, Safran a GE Aviation, na vývoji technológií zvyšujúcich efektívnosť leteckých motorov a na využívaní alternatívnych palív. Boeing tiež investuje do výskumu a vývoja nových technológií, ako sú hybridné a elektrické pohonné systémy pre lietadlá.

6. PREČO SA HLADAJÚ BIOPALIVÁ

Hľadanie alternatívnych palív v letectve je dôležité z niekoľkých dôvodov. Hlavným dôvodom je potreba znížiť emisie oxidu uhličitého a iných škodlivých látok, ktoré vznikajú pri spaľovaní tradičných fosílnych palív, ako je napríklad kerozín. Tieto emisie majú významný vplyv na zmenu klímy a zhoršujú kvalitu ovzdušia. Hľadanie alternatívnych palív sa tak stáva dôležitým krokom smerom k udržateľnému letectvu.

7. ALTERNATÍVNE PALIVÁ V LETECTVE

7.1. Syntetické palivá

Syntetické palivá v letectve sú palivá vytvorené chemickými procesmi, ktoré sa podobajú na procesy, ktoré sa používajú na výrobu petroleja alebo zemného plynu. Syntetické palivá sú vyrobené z rôznych surovín, ako sú biomasu, uhlie, plyný zemný plyn alebo zemný plyn získaný z baktérií, ako aj z iných zdrojov uhlíka.

Výhody syntetických palív v letectve sú mnohostranné. Syntetické palivá majú vysokú energetickú hodnotu, čo znamená, že majú vysoký výkon a môžu poskytnúť rovnaký výkon ako tradičné fosílné palivá. Syntetické palivá tiež obsahujú minimálne nečistoty a škodlivé látky, ktoré môžu poškodzovať motor a vytvárať znečistenie ovzdušia.

Okrem toho, syntetické palivá môžu byť vyrobené z rôznych surovín, čo znamená, že existuje veľa možností, ako vytvárať syntetické palivá v závislosti na miestnych zdrojoch uhlíka a potrebách danej krajiny. Syntetické palivá tiež môžu byť skladované a prepravované bez straty kvality, čo znamená, že ich výroba a distribúcia môže byť flexibilná.

Jednou z výziev pri výrobe syntetických palív v letectve je vysoká cena výroby a potreba vysokých investícií do infraštruktúry, aby boli k dispozícii v dostatočnom množstve. Okrem toho, procesy na výrobu syntetických palív tiež vyžadujú veľké množstvo energie, čo znamená, že je potrebné zabezpečiť dostupnosť obnoviteľných zdrojov energie pre tieto procesy.

V každom prípade, syntetické palivá predstavujú zaujímavú alternatívu k tradičným fosílnym palivám v letectve a ich vývoj sa bude pravdepodobne rozvíjať v budúcnosti. [7]

7.2. Biodiesel

Biodiesel je biopalivo, ktoré sa vyrába z rastlinných olejov alebo tukov, často z rastlín ako repka, slnečnica, sója, palmový olej a iné. Biodiesel sa často používa ako náhrada za tradičné fosílné palivá v doprave a aj v letectve.

Letectve sa biodiesel používa v niekoľkých formách, najčastejšie ako prídavné palivo do lietadiel, ktoré využívajú klasické fosílné palivá. Biodiesel môže byť zmiešaný s tradičnými palivami v rôznych pomeroch, čím sa znižujú emisie oxidov dusíka a oxidu uhličitého. Tento proces sa nazýva "splash blending". V niektorých prípadoch sa používa aj čistý biodiesel, ktorý sa nazýva B100. Toto palivo sa však používa len v špeciálnych motoroch, ktoré sú na tento typ paliva prispôbené. Pre letectvo by to znamenalo, že by bolo nutné vyrábať nové motory, ktoré by mohli byť poháňané biodieselom.

Jedným z hlavných problémov s použitím biodieselu v letectve je však jeho výrobný proces, ktorý môže vyžadovať veľké množstvo pôdy a vody. Ak by sa používali poľnohospodárske plodiny na výrobu biodieselu, mohlo by to mať negatívny vplyv na dodávky potravín a ceny potravín. Z tohto dôvodu sa výroba biodieselu často snaží využiť odpadové suroviny, ako sú zvyšky rastlinnej biomasy a odpadové rastlinné oleje, ktoré by inak končili na skládke.

7.3. Biopalivá

Biopalivá v letectve sú palivá vyrobené z obnoviteľných zdrojov ako sú rastlinné oleje, rastlinné tuky, drevo, slama a iné. Biopalivá môžu byť použité ako náhrada klasických fosílnych palív v letectve a poskytujú niekoľko výhod.

Jednou z hlavných výhod biopalív je zníženie emisií oxidu uhličitého v porovnaní s tradičnými fosílnymi palivami. Pri spaľovaní biopalív sa uvoľňuje menšie množstvo oxidu uhličitého, pretože rastliny použité na ich výrobu pohlcujú oxid uhličitý z atmosféry počas svojho rastu. Výsledkom je menšia uhlíková stopa a nižšie emisie škodlivých látok.

Jedným z hlavných problémov s biopalivami v letectve je však ich výrobný proces, ktorý vyžaduje veľké množstvo pôdy, vody a iných zdrojov. Ak by sa na výrobu biopalív používali poľnohospodárske plodiny, mohlo by to mať negatívny vplyv na dodávky potravín a ceny potravín. Z tohto dôvodu sa výroba biopalív často snaží využiť odpadové suroviny, ako sú zvyšky rastlinnej biomasy a odpadové rastlinné oleje, ktoré by inak končili na skládke

7.4. Ďalšie alternatívne palivá

7.4.1. Na báze metánu

Metán je výhodné palivo, pretože obsahuje menej uhlíka ako tradičné fosílné palivá a teda aj produkujú menej oxidu uhličitého.

Jedným z týchto palív je napríklad biometán, ktorý sa vyrába z biologického odpadu, ako sú rastlinné zvyšky alebo živočíšne trusy. Tento proces sa nazýva anaeróbna digestia, ktorá umožňuje mikroorganizmom rozložiť organický odpad a vytvoriť biometán.

Ďalším palivom na báze metánu je syntetický metán, ktorý sa vyrába prostredníctvom chemických procesov, ktoré sa nazývajú Fischer-Tropsch syntéza. Tento proces umožňuje kombinovať vodík a oxid uhličitý, aby sa vytvoril syntetický metán. Syntetický metán môže byť využitý ako náhrada pre tradičné kerozínové palivá.

Ďalšie alternatívne palivá na báze metánu zahŕňajú napríklad bio-SNG (biomasa-to-syngas) a LNG (zkapalnený zemný plyn). Bio-SNG sa vyrába pomocou termickej konverzie biomasy, ktorá sa následne pretvára na syntézny plyn, ktorý obsahuje značné množstvo metánu. LNG je zase skvapalnený zemný plyn, ktorý sa môže používať ako náhrada kerozínu.

Okrem uvedených palív na báze metánu existujú aj ďalšie alternatívne palivá, ktoré by mohli byť použité v letectve.

Amoniak

Amoniak (NH₃) je ďalšie palivo, ktoré sa môže použiť ako alternatíva pre kerozín. Amoniak je bezfarebný plyn, ktorý sa vyrába z kyseliny dusičnej a vodíka. Jeho výroba je však náročná na energiu a technologicky náročná, a preto by vyžadovala väčšie úsilie a investície v porovnaní s inými alternatívnymi palivami.

Methanol

Methanol (CH₃OH) je ďalšie palivo, ktoré sa môže vyrábať z metánu. Jeho výhodou je, že sa už vyrába vo veľkom množstve pre iné účely, ako napríklad na výrobu formaldehydu a iných chemikálií. Jeho použitie ako paliva však tiež vyžaduje upravené motory a náklady na výrobu.

Dimetyléter (DME)

Dimetyléter (DME) je bezfarebný plyn, ktorý sa vyrába z metanolu. Môže byť použitý ako palivo pre vysokotlakové plynové motory alebo ako aditívum pre kerozínové palivá. Jeho výroba je relatívne jednoduchá, pretože vyžaduje iba katalytickú reakciu metanolu so vzduchom.

Bio-metanový

Kvapalný plyn (Bio-LNG): Bio-LNG je palivo, ktoré sa vyrába z biometánu, ktorý je následne skvapalnený na LNG. Tento proces produkuje palivo s nízkou emisnou stopou, ktoré môže byť použité ako alternatíva pre tradičné kerozínové palivá. Bio-LNG je však stále v ranom štádiu vývoja a vyrába sa iba v obmedzených množstvách.

Všetky tieto alternatívne palivá majú potenciál na znížovanie emisií skleníkových plynov a zlepšenie energetickeho zabezpečenia pre letectvo. Avšak, ich výroba a využitie si vyžaduje ďalší výskum a rozvoj technológií, ako aj investície do infraštruktúry pre ich distribúciu a použitie.

7.4.2. Na báze alkoholu

Alkoholové palivá sú tiež alternatívou pre tradičné kerozínové palivá v letectve. Niektoré z týchto palív zahŕňajú:

Bio-etanol

Bio-etanol sa vyrába z obnoviteľných zdrojov ako sú rastliny obsahujúce cukor alebo škrob, ako sú kukurica, cukrová trstina, zemiaky alebo zrna. Bio-etanol môže byť použitý ako palivo v lietadlách s upravenými motorovými systémami. V súčasnosti však etanolové palivá v letectve zatiaľ nie sú priamo kompatibilné s kerozínom a preto by si vyžadovali aj investície do infraštruktúry.

Bio-butanol

Bio-butanol je palivo vyrábané z obnoviteľných zdrojov ako sú rastliny ako kukurica, cukrová trstina a iné rastliny obsahujúce cukor. Bio-butanol má vyššiu energetickú hustotu ako bio-etanol a má nižšiu hygroskopickosť. To znamená, že sa menej zmiešava s vodou, čo môže byť výhodou pre letecké palivá.

Isopropylalkohol

Isopropylalkohol, tiež známy ako izopropanol alebo IPA, sa používa ako palivo pre rakety a v rámci letectva by mohol byť použitý ako palivo pre malé drony alebo ako aditívum pre tradičné kerozínové palivá. Avšak, jeho použitie ako hlavného paliva v lietadlách zatiaľ nie je reálnou možnosťou.

Tieto alkoholové palivá môžu byť využité ako alternatíva pre tradičné kerozínové palivá, čím by sa znížili emisie skleníkových plynov. Avšak, ich použitie si vyžaduje upravené motory a náklady na výrobu, ktoré by mohli zvýšiť náklady na prevádzku a letenky. Z tohto dôvodu sa stále vyvíja a testuje nové technológie pre výrobu a použitie alternatívnych palív v letectve.

7.4.3. Na báze vodíka

Palivové bunky s vodíkom sú jedným z možných typov alternatívnych palív pre letectvo. Vodíkové palivové bunky vyrábajú elektrinu a vodu z vodíka a kyslíka. Tento proces produkuje významne menej skleníkových plynov a emisií oxidu uhličitého ako tradičné spaľovacie motory.

Niektoré z možností využitia vodíkových palivových buniek v letectve zahŕňajú:

Elektrické pohonné systémy:

Vodíkové palivové bunky môžu byť použité na výrobu elektriny, ktorá môže napájať elektromotory v lietadle. Toto riešenie by bolo vhodné pre menšie, ľahšie lietadlá a helikoptéry.

Hybridné pohonné systémy:

Hybridné pohonné systémy by mohli využívať kombináciu vodíkových palivových buniek a kerozínových spaľovacích motorov. Tento typ pohonného systému by mohol byť vhodný pre väčšie, ťažšie lietadlá.

Kombinácia s bio-plynom:

Vodíkové palivové bunky by mohli byť kombinované s bioplynom z odpadových látok, ako sú potravinové odpady alebo hnojivá. Tento proces by umožnil využiť odpad ako zdroj paliva a zároveň by znížil emisie skleníkových plynov.

Aj keď majú vodíkové palivové bunky veľký potenciál ako alternatívne palivá v letectve, stále je nutné zlepšiť ich technológie, aby boli efektívnejšie, lacnejšie a bezpečnejšie. V súčasnosti sa na vývoji týchto technológií pracuje a v budúcnosti by mohli byť vodíkové palivové bunky zaujímavou alternatívou pre letectvo. [77]

8. VÝROBNÝ PROCES PRE BIOBUTANOL

Biobutanol má podobné vlastnosti ako benzín, preto sa môže použiť ako alternatívne palivo pre spaľovacie motory v doprave a priemysle. V porovnaní s etanolom má však vyššiu energetickú hustotu, čo znamená, že môže poskytnúť viac energie na jednotku objemu paliva. Bio-butanol tiež môže byť vyrobený z rôznych uhlíkových zdrojov, vrátane zrna, travy a iných biomasy, čo z neho robí sľubný zdroj pre výrobu obnoviteľných palív.

Etanol a biobutanol sú oba alternatívne palivá s potenciálom použitia v letectve. Avšak, biobutanol sa zdá byť lepšou voľbou v porovnaní s etanolom z niekoľkých dôvodov.

Po prvé, biobutanol má vyššiu energetickú hustotu ako etanol, čo znamená, že môže poskytnúť viac energie na kg paliva a mať lepšiu výkonnosť v lietadle. Okrem toho má biobutanol nižšiu teplotu varu ako etanol, čo znamená, že je menej náchylný na vyparovanie pri vysokých teplotách v motore.

Druhým faktorom je, že biobutanol má lepšie vlastnosti pri nízkych teplotách a menej negatívny vplyv na koróziu motora ako etanol. To znamená, že biobutanol by mohol byť vhodnejší pre použitie v oblastiach s chladnejším počasím.

Napokon, výroba biobutanolu sa môže realizovať prostredníctvom rôznych procesov vrátane syntézy, fermentácie a hybridných procesov, zatiaľ čo etanol sa vyrába najčastejšie fermentáciou. To znamená, že biobutanol môže byť získaný aj z lignocelulózy, ktorá je bežnou surovinou pre výrobu biopalív a môže byť v súčasnosti hospodárne ťažká na využitie pri výrobe etanolu.

Celkovo povedané, biobutanol môže byť lepšou voľbou ako etanol pre letectvo z dôvodu jeho vyššej energetickej hustoty, lepších vlastností pri nízkych teplotách, menej negatívneho vplyvu na koróziu motora a možnosti výroby z lignocelulózy.

Existujú rôzne spôsoby výroby biobutanolu. Tu sú niektoré z nich:

1. ABE fermentácia: Táto metóda je založená na fermentácii kukuričnej múky, ktorá sa používa ako zdroj cukru. Fermentáciu vykonávajú tri druhy baktérií: Clostridium acetobutylicum, Clostridium beijerinckii a Clostridium

saccharo-perbutylaceticum. Tieto baktérie vytvárajú acetón, butanol a etanol (ABE) ako vedľajšie produkty. Tento proces sa nazýva ABE fermentácia.

2. Fermentácia lignocelulózy: Tento proces využíva rôzne druhy mikroorganizmov na rozklad ligno-celulózy, ktorá sa získava z rôznych zdrojov, ako sú napríklad slama, drevo alebo kôra. Po rozložení sa využívajú mikroorganizmy, ktoré produkujú biobutanol.
3. Syntza biobutanolu: Táto metóda využíva chemické reakcie na vytvorenie biobutanolu z rôznych zdrojov. Zvyčajne sa používajú cukry, kyselina maslová alebo glycerol ako suroviny. Syntza biobutanolu sa využíva hlavne v priemysle, ale nie je tak ekologická ako iné metódy.
4. Hybridné procesy: Táto metóda kombinuje viacero procesov, ako sú fermentácia a chemická syntéza. Tieto procesy sa používajú v rôznych kombináciách a využívajú rôzne suroviny na výrobu biobutanolu.

Všetky tieto metódy majú svoje výhody a nevýhody. Niektoré z nich sú ekologickejšie, ale menej efektívne, zatiaľ čo iné sú efektívnejšie, ale môžu byť menej ekologické. V každom prípade sa však biobutanol ukazuje ako nádejný kandidát na alternatívne palivo, ktoré by mohlo nahradiť tradičné palivá v budúcnosti.

8.1. ABE fermentácia

ABE fermentácia je proces výroby biobutanolu z rôznych cukrových surovín pomocou kvasníc a baktérií. ABE je skratka pre acetón-butanol-etylénový proces, ktorý popisuje hlavné vedľajšie produkty, ktoré sa vytvárajú počas fermentačného procesu.

V ABE fermentácii sa zvyčajne používa kukurica, ale môžu sa použiť aj iné cukrové suroviny, ako sú pšenica, jačmeň, cukrová repa a ďalšie. Proces začína tým, že sa surovina rozdrví a zmes sa vystaví tepelnému procesu, aby sa uvoľnilo škrobové alebo cukrové zloženie. Tento proces sa nazýva gelatinizácia.

Potom sa do zmesi pridajú kvasinky a baktérie, ktoré začnú rozkladať cukry na kyselinu maslovú, aceton a butanol. Tieto zlúčeniny sa potom oddelia od zvyšku zmesi a zostávajú ako vedľajšie produkty.

Biobutanol, ktorý je cieľom ABE fermentácie, má niekoľko výhod oproti iným biopalivám, ako je napríklad etanol. Biobutanol má vyššiu energetickú hodnotu a môže byť použitý v súčasných motoroch bez nutnosti upravovania motora. Navyše, biobutanol je menej náchylný k korózii a môže byť

8.2. Fermentácia lignocelulózy

Fermentácia lignocelulózy je proces výroby biopalív z lignocelulóзовých biomasy, ktorá je zložená z celulózy, hemicelulózy a lignínu. Tento druh biomasy sa často nachádza v dreve, tráve, slamení, sláme a iných rastlinných materiáloch.

Fermentácia lignocelulózy sa skladá z niekoľkých krokov. Prvým krokom je predpríprava biomasy, ktorá zahŕňa mletie a predbežné ošetrovanie. Po predpríprave sa biomasa rozkladá na cukry, ktoré môžu byť použité na produkciu biopalív.

Rozklad celulózy a hemicelulózy na cukry sa zvyčajne uskutočňuje s použitím kyseliny alebo enzymatických procesov. Potom sa cukry použijú na kvasenie, aby sa vytvorili biopalivá ako etanol, butanol alebo vodík.

V procese fermentácie lignocelulózy sa môžu použiť rôzne mikroorganizmy, kvasinky alebo baktérie, ktoré sú schopné rozkladať celulózu a hemicelulózu. Pri niektorých procesoch sa môžu použiť aj mikroorganizmy, ktoré sú schopné rozkladať lignín.

Fermentácia lignocelulózy je dôležitá technológia v oblasti výroby biopalív, pretože umožňuje používať širokú škálu biomasy ako surovinu na výrobu biopalív, vrátane takých, ktoré by inak boli nevyužiteľné. Navyše, biopalivá vyrobené z lignocelulózy majú nižšiu emisiu skleníkových plynov a môžu pomôcť znížiť závislosť na fosilných palivách. [8][9][10]

8.3. Syntza biobutanolu

V prípade syntézy biobutanolu sa obvykle používa chemický proces známy ako dehydrogenácia butanolu, ktorý sa vyrába fermentáciou cukru alebo iných uhlíkových zdrojov.

Dehydrogenácia butanolu sa vykonáva pomocou katalyzátorov, ktoré odstraňujú vodík z butanolu, čím vzniká biobutanol. Tento proces môže byť energeticky náročný a využíva sa obvykle ako doplnková metóda na zvýšenie výťažku biobutanolu v procese fermentácie.

Dehydrogenácia znamená odstránenie vodíka z molekuly a v prípade butanolu to znamená odstránenie dvoch atómov vodíka z butanových zvyškov v molekule, čím sa vytvára butenová zlúčenina.

Existujú rôzne spôsoby, ako sa dá dehydrogenácia butanolu uskutočniť. Jedným z bežných spôsobov je katalytická dehydrogenácia, ktorá sa uskutočňuje za použitia katalyzátora. Katalyzátor zvyčajne zahŕňa kovové zlúčeniny ako platina alebo palládium, ktoré katalyzujú reakciu odstraňovania vodíka z butanolu.

V procese katalytickej dehydrogenácie je butanol zahrievaný a prechádza cez katalyzátor, ktorý katalyzuje reakciu dehydrogenácie. Pri tejto reakcii sa odstránia dva atómy vodíka z molekuly butanolu a vytvorí sa dva atómy vodíka ako vedľajší produkt. Tým sa vytvára butenová zlúčenina, ktorá môže byť následne využitá na výrobu biobutanolu. [8][9][10]

8.4. Hybridné procesy

Hybridné procesy kombinujúce fermentáciu a chemickú syntézu môžu byť použité na výrobu biopalív na báze biobutanolu. Biobutanol sa môže vyrábať fermentáciou rôznych zdrojov uhlíka, ako sú cukry, celulóza alebo lignocelulóza, pomocou mikroorganizmov ako sú Clostridium spp. alebo Ruminococcus spp. Tieto mikroorganizmy vylučujú enzýmy, ktoré premieňajú zdroje uhlíka na butan-1-ol, ktorý sa potom musí oddeliť od kultivovanej tekutiny a očistiť.

V ďalšom kroku sa biobutanol z chemických dôvodov musí dehydratovať na butén alebo butadién, ktoré sa potom môžu použiť na výrobu biopalív. Táto dehydratácia by sa mohla vykonať aj hybridným procesom, ktorý kombinuje fermentáciu a chemickú syntézu. Pri takomto procese by sa biobutanol

najskôr vyrobil fermentáciou, potom by sa pomocou katalyzátorov a tepla dehydrato-val na butén alebo butadién. Následne by sa butén alebo butadién podrobil chemickému procesu k vytvoreniu biopaliva. [8] [9] [10]

8.5. Obehové biohospodárstvo

Zhodnocovanie potravinového odpadu na biobutanolu predstavuje zaujímavú alternatívu výroby biopalív, pre-tože potravinový odpad je zdrojom organických látok, ktoré môžu byť využité na výrobu biopalív. Biobutanol, ktorý sa získava z potravinového odpadu, sa nazýva aj bio-MNA (n-butanol) alebo bio-ABE (aceton-butanol-etylalkohol).

Proces výroby biobutanolu z potravinového odpadu zahŕňa niekoľko krokov. Najprv sa musí potravinový odpad spracovať na cukry pomocou hydrolyzy, čím sa získajú monosacharidy ako glukóza, fruktóza a sacharó-za. Tieto cukry sa následne fermentujú pomocou kvasi-niek alebo baktérií na aceton, butanol a etanol. V procese fermentácie sa vytvárajú vedľajšie produkty, ako sú kyselina octová a kyselina mliečna, ktoré je potrebné odstrániť.

otravinový odpad predstavuje obrovský zdroj organic-kých látok, ktoré môžu byť využité na výrobu biopalív. Využitie tohto zdroja by mohlo prispieť k znižovaniu množstva odpadu a zároveň k výrobe obnoviteľných palív. Avšak, výroba biobutanolu z potravinového od-padu ešte nie je dostatočne efektívna z hľadiska nákladov na výrobu a ekonomických aspektov, pretože potravino-vý odpad je často veľmi znečistený a jeho spracovanie môže byť nákladné. Z tohto dôvodu sa výroba biobuta-nolu z potravinového odpadu zatiaľ nevyužíva v širokej miere, ale v budúcnosti by mohla byť zaujímavou alter-natívou v oblasti biopalív.

8.6. Výroba biobutanolu z odpadu

Výroba biobutanolu z exkrementov, alebo aj nazývaná jako "poo power" alebo "brown energy", je založená na anaeróbnej fermentácii organického materiálu, ktorý obsahuje vysoký podiel uhľovodíkov. Exkrementy patria medzi tieto materiály, pretože obsahujú množstvo rôz-nych organických látok, ktoré môžu byť premenené na biopalivá.

Proces výroby biobutanolu z exkrementov je podobný procesu výroby bioplynu. Exkrementy sa zbierajú a následne sa dajú do nádrže, kde sa za pomoci anaerób-nych baktérií rozložia na základné zložky ako sú metán a oxid uhličitý. Následne sa separuje metán a zvyšné zlož-ky, ktoré sa použijú na výrobu biopaliva, v tomto prípa-de biobutanolu.

Výhodou výroby biobutanolu z exkrementov je, že táto látka je často dostupná a jej zdroj je nevyčerpatelný. Taktiež je to ekologická a udržateľná metóda, pretože využíva organický odpad, ktorý by inak skončil na skládke a znečisťoval prírodu.

V súčasnosti sa táto metóda výroby biopaliva stáva čoraz populárnejšou a niektoré spoločnosti už využívajú tento proces ako súčasť svojho výrobného procesu.

Výroba biobutanolu z exkrementov prebieha v niekoľ-kých krokoch:

5. Zber exkrementov: Exkrementy sú zhro-mažďované a transportované do výrobného zariadenia.
6. Odstránenie nečistôt: Exkrementy sú naj-skôr ošetrené, aby sa odstránili nečistoty ako napríklad papierové utierky, plastové vrecká a podobne.
7. Fermentácia: Čisté exkrementy sú potom umiestnené do nádrže, kde prebieha fermen-tácia. V tomto kroku sa exkrementy pre-mieňajú na bioplyn, ktorý obsahuje metán a oxid uhličitý. Bioplyn sa zvyčajne oddeľuje od pevných odpadov a používa sa na výro-bu energie alebo na ďalšiu výrobu biopalív.
8. Ďalšie ošetrenie bioplynu: Bioplyn sa ďalej upravuje odstránením oxidu uhličitého a iných nečistôt, aby sa získal čistý vodík a oxid uhličitý.
9. Syntéza biobutanolu: Získaný vodík a oxid uhličitý sa používajú na výrobu biobutanolu pomocou chemických procesov, ako je na-príklad dehydrogenácia butanolu.

Tento proces je stále v skúšobnej fáze a neexistuje žiadne výrobné zariadenie, ktoré by vyrábalo biobutanol z ex-krementov v komerčnom meradle. Avšak výskumníci v oblasti biopalív využívajú tento proces ako jeden z prí-kladov, ako môžu byť obnoviteľné zdroje energie využí-vané na výrobu biopalív.

8.7. Výhody biobutanolu

Biobutanol ako alternatívne palivo pre letectvo má nie-koľko výhod, ktoré by mohli viesť k jeho budúcemu využitiu v tejto oblasti. Niektoré z týchto výhod sú:

1. Udržateľnosť a ekologická zodpovednosť: Bio-butanol je vyrábaný z obnoviteľ-ných zdrojov a môže byť vyrobený z rastlinných odpadov alebo rastlín, ktoré sa pestujú na neúrodných pôdach a nepoužívajú sa na potraviny. Jeho využitie by teda nemalo viesť k potravi-novej konkurencii a zároveň by mohlo pomôcť zni-žovať emisie skleníkových plynov v letectve.
2. Vyššia energetická hodnota ako biopalivá: Bio-butanol má vyššiu energetickú hodnotu ako etanol alebo metanol a má podobné vlastnosti ako tradičné letecké palivá ako petrolej. To znamená, že by sa mohol ľahko miešať s tradičným le-teckým palivom a používať sa v existujúcich lietadlách a motoroch.
3. Kompatibilita s existujúcou infraštruktúrou: Biobutanol by sa mohol vyrábať v ra-finériách, ktoré už produkujú tradičné letecké palivá, a tak by bolo možné použiť existujúcu infraštruktúru a distribučnú sieť. To by znamenalo menšie náklady na vytvorenie novej infra-štruktúry na výrobu a distribúciu paliva.
4. Nižšie emisie skleníkových plynov: Využitie biobutanolu by mohlo prispieť k zní-ženiu emisií sklení-kových plynov v letectve. Biobutanol má nižšiu emisnú hodno-tu ako tradičné letecké palivá a jeho využitie by mohlo prispieť k dosiahnutiu cie-ľov emisnej regulácie.
5. Vylepšená výkonnosť motora: Biobutanol má vyššiu oktánovú hodnotu ako tra-dičné letecké palivá, čo môže viesť k vylepšeniu výkonnosti motora a zvýšeniu účinnosti paliva. [15],[16]

8.8. Nevýhody biobutanolu

Hoci biobutanol ponúka množstvo výhod ako alternatívne palivo pre letectvo, existujú aj niektoré nevýhody, ktoré by sa mali zväžiť:

1. Nízka výťažnosť: Výroba biobutanolu v súčasnosti nie je tak efektívna ako výroba tradičných ropných palív. Na dosiahnutie rovnakého množstva biopaliva ako tradičné ropné palivá, je potrebné získať väčšie množstvo biomasy, čo môže mať negatívny vplyv na životné prostredie.
2. Vysoké náklady na výrobu: Výroba biobutanolu je nákladnejšia ako výroba tradičných ropných palív. To je spôsobené vysokými nákladmi na získanie a spracovanie biomasy, ako aj na technológie potrebné na výrobu biopaliva.
3. Konkurencia s potravinovými plodinami: Niektoré zdroje biomasy, ktoré sa používajú na výrobu biobutanolu, môžu byť konkurenciou s potravinovými plodinami. To môže mať negatívny vplyv na potravinovú bezpečnosť a ceny potravín.
4. Nestabilita paliva: Biobutanol je nestabilnejší ako tradičné ropné palivá, čo môže mať vplyv na jeho skladovanie a použitie v letectve. Preto sú potrebné špeciálne opatrenia na skladovanie a manipuláciu s biopalivom.
5. Nízka dostupnosť: V súčasnosti nie je biobutanol dostupný vo veľkom meradle a nie je ho možné získať na každej čerpacej stanici. To môže mať obmedzený vplyv na jeho použitie ako alternatívne palivo pre letectvo.
6. Riziko vzniku korózie: Biobutanol obsahuje vodu a kyslík, čo môže spôsobiť koróziu v niektorých častiach lietadla, ako napríklad v palivovom systéme. To môže zvýšiť náklady na údržbu a opravy. [15],[16]

Riešenie nevýhod biobutanolu pre letectvo

1. Zlepšenie technológií výroby: Jednou z hlavných nevýhod biobutanolu v súčasnosti je vysoká cena jeho výroby v porovnaní s tradičnými palivami. Zlepšenie technológií výroby by mohlo pomôcť znížiť náklady na výrobu biobutanolu a zvýšiť jeho konkurencieschopnosť na trhu.
2. Využitie odpadových produktov: Ďalším spôsobom, ako sa dajú vyriešiť nevýhody biobutanolu, je využitie odpadových produktov z poľnohospodárskej, potravinárskej a odpadových vôd (exkrementov) výroby na jeho výrobu. Týmto spôsobom by sa minimalizovala konkurencia medzi biopalivami a potravinovými plodinami.
3. Podpora výskumu a vývoja: Rozvoj nových technológií a lepšieho porozumenia vlastnostiam biobutanolu by mohlo pomôcť zvýšiť jeho efektívnosť a zlepšiť jeho vlastnosti ako alternatívneho paliva pre letectvo.
4. Zavedenie regulácií: Vlády a medzinárodné organizácie by mohli zaviesť regulácie a politiky, ktoré podporia používanie biopalív v leteckej doprave. Týmto spôsobom by sa mohol minimalizovať negatívny dopad na potravinovú bezpečnosť a zároveň by sa podporilo zavádzanie alternatívnych palív.
5. Vytvorenie trhu pre biopalivá: Vytvorenie trhu pre biopalivá v leteckej doprave by mohlo pomôcť zvýšiť ich dostupnosť

a konkurencieschopnosť na trhu. Tým by sa mohla zlepšiť ich efektívnosť a zároveň by sa podporilo zavedenie alternatívnych palív do letectva.

9. ZÁVER

V tejto článku sme sa zameriavali na biobutanol ako alternatívne palivo pre letectvo a jeho potenciálne využitie v oblastiach, kde by mohol byť udržateľnou a nízkou emisnou alternatívou. Na začiatku sme sa venovali vysvetleniu problematiky environmentálnej udržateľnosti v letectve a súčasných trendov v oblasti vývoja alternatívnych palív pre letectvo. V ďalších častiach sme sa venovali charakteristike biobutanolu, jeho výrobe, vlastnostiam a potenciálnemu využitiu v letectve.

Podľa zistení má biobutanol mnoho výhod v porovnaní s tradičnými palivami používanými v letectve. Jednou z hlavných výhod je nízka emisná stopa, ktorú produkuje počas spaľovania. Biobutanol obsahuje menej uhlíka ako tradičné palivá, čo znamená, že pri jeho spaľovaní sa produkuje menšie množstvo oxidu uhličitého. Okrem toho biobutanol neobsahuje síru, ktorá je zodpovedná za tvorbu kyslých dažďov a ďalších negatívnych vplyvov na životné prostredie. Ďalšou výhodou biobutanolu je jeho vysoká energetická hustota, ktorá umožňuje vyššiu výhrevnosť v porovnaní s inými biopalivami ako napríklad etanol.

Výroba biobutanolu z biomasy je považovaná za ekonomickejšiu a environmentálne výhodnejšiu voči iným biopalivám, pretože je možné ju vyrábať z rôznych druhov biomasy. Pri správnom výbere biomasy sa dá viac znížiť environmentálna stopa napríklad odpadová biomasa alebo exkrementová biomasa. Navyše, biobutanol má podobné vlastnosti ako letecký petrolej, čo umožňuje jeho použitie v súčasných lietadlách bez potreby zásadných úprav.

Stále však existujú určité výzvy a prekážky, ktoré bránia širšiemu využitiu biopalív v letectve. Medzi najvýznamnejšie patria vysoké náklady na výrobu a distribúciu, nedostatok dostupných surovín a nedostatočné investície do výskumu a vývoja biopalív v letectve. Preto do budúcnosti musíme viac investovať do výskumu a vývoja biopalív.

Referencie

- [1] ENERGY. *energetickú efektívnosť a obnoviteľnú energiu*. [online]. [cit.26 November 2018]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/articles/historical-time-renewable-jet-fuel>
- [2] About Science Direct. *Sustainable alternative fuels in aviation*. [online]. [cit.01 December .2017]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544217312537?via%3Dihub>
- [3] BBC. *Climate change: World aviation agrees aspirational net zero plan*. [online]. [cit 7 October 2022]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544217312537?via%3Dihub>
- [4] World Economic Forum. *The aviation sector wants to reach net zero by 2050. How will it do it*. [online]. [cit 9 December 2022]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544217312537?via%3Dihub>

- [5] EASA. European Aviation Environmental Report 2019. [online]. [cit 2019]. Dostupné z: https://www.carboncare.org/fileadmin/uploads/carboncare/219473_EASA_EAER_2019_WEB_HI-RES_190311.pdf
- [6] Rada Európskej únie. *Balik Fit for 55* [online]. [cit 29 marca 2023]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/sk/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
- [7] LUBOŠ SOCHA, MONIKA KIMLIČKOVÁ. ALTERNATÍVNE PALIVÁ - VÝVOJOVÉ TRENDY LETECKEJ DOPRAVE [online]. [cit 06.2015]. Dostupné z: [http://zn.wsbip.edu.pl/sectioa/images/aktualnosci/zeszty/005-2015/224-234\(1\).pdf](http://zn.wsbip.edu.pl/sectioa/images/aktualnosci/zeszty/005-2015/224-234(1).pdf) in Journal of Clean Energy Technologies
https://www.researchgate.net/publication/296468440_A_Short_Review_on_Biobutanol_a_Second_Generation_Biofuel_Production_from_Lignocellulosic_Biomass
- [8] Front. Energy Res., 11 August 2022
- [9] Sec. Bioenergy and Biofuels. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2022.903775/full>
- [10] BMC. Butanol production from food waste: a novel process for producing sustainable energy and reducing environmental pollution, 15 September 2015 <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-015-0332-x>
- [11] IATA 2015 Report on Alternative Fuels Effective December 2015 <https://www.iata.org/contentassets/462587e388e749eeb040df4dfdf02cb1/2015-report-alternative-fuels.pdf>
- [12] Sustainable Administration Aviation Fuels (SAF) March 22, 2022 https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2022-03/508.20220322_1545_Brown_Oldani_SAF_Update_v04.pdf
- [13] ATAG, A. (2009). Beginner's guide to aviation biofuels. [online]. 2009. [cit. 2023-05-4]. Dostupné na internete: https://www.verifavia.com/bases/ressource_pdf/124/BeginnersGuide-Biofuels-WebRes.pdf
- [14] Najafi, B., Ghobadian, B., & Yusaf, T. F. (2017). Hydrogen-rich gas production from biomass gasification: A critical review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 72, 148-167.
- [15] "Bio-butanol as aviation fuel: Advantages, drawbacks and potential," Renewable and Sustainable Energy Reviews, ScienceDirect, Vol. 114, September 2019, Pages 1-11.
- [16] A comprehensive review on bio-butanol as a sustainable aviation fuel: Pro-duction, characterization, challenges and prospects," Renewable and Sustainable Energy Reviews, ScienceDirect, Vol. 94, February 2018, Pages 1143-1157.