



IDENTIFIKÁCIA MOŽNOSTÍ VYUŽÍVANIA ALTERNATÍVNYCH PALÍV V LETECTVE

IDENTIFICATION OF OPPORTUNITIES FOR THE USE OF ALTERNATIVE FUELS IN AVIATION

Paulína Lehocká

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
lehocka4@stud.uniza.sk

Ján Rostáš

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
jan.rostas@fpedas.uniza.sk

Abstract

The article focuses on the possibilities of using alternative fuels in the field of air transport with the aim to show the process of production and use of various alternative fuels from both economic and ecological point of view. One of the main themes of my work is the comparison of different types of alternative fuels according to different criteria. In the technical paper, I have also discussed the projects already existing or planned in the future by leading aircraft manufacturers, which aim to implement alternative fuels in the aviation sector. The aim of the paper is to analyze and evaluate the prospect of the full use of these concepts and the fuels used by them in the future in terms of economic use of resources, sustainability, but also efficiency, and their subsequent comparison and inclusion in practice.

Keywords

Sustainability, hydrogen, biofuel, emission, solar power

1. Úvod

Obsahom článku je preskúmať možnosti využitia leteckých palív, ktoré majú potenciál znížiť uhlíkovú stopu a zároveň spĺňajú požiadavky na bezpečnosť a kvalitu palív. Účelom článku nie je len identifikácia možných alternatívnych palív, ktoré sú v budúcnosti využiteľné, ale aj ich vzájomná komparácia. V článku sú zanalyzované už existujúce koncepty, ktoré sa zameriavajú na implementáciu alternatívnych palív do sektoru leteckej dopravy. Cieľom článku je prostredníctvom súčasného stavu problematiky identifikovať potenciál alternatívnych palív ako efektívne riešenie problému klimatických zmien.

2. Súčasný stav riešenej problematiky

V letectve možno uvažovať o viacerých alternatívnych palivách. Na základe časového obdobia, ktoré je potrebné na úplné začlenenie paliva do praxe ich identifikujeme ako krátkodobé a dlhodobé palivá. Krátkodobé palivá, akými sú biopalivá, predstavujú úplne zameniteľnú náhradu fosílnych palív. Naopak, dlhodobé palivá ako vodík alebo solárna energia si vyžadujú rozsiahly a časovo náročnejší proces prispôsobenia technológií k danému typu paliva (NESTE, 2023).

2.1. Biopalivá

Biopalivo je identifikované ako tuhé, kvapalné alebo plynné palivo získané zo živého alebo neživého biologického materiálu. V oblasti leteckej dopravy sú biopalivá produkované prevažne z rastlinných olejov, zvyškov z poľnohospodárstva, ale aj nejedlej biomasy. Práve tento typ biologického odpadu je pre výrobu paliva veľmi významný. Pri produkcii sa využívajú riasy alebo nepotravinárske rastliny ako jatrofa alebo kamélia, ktoré

nekonkurujú poľnohospodárskemu priemyslu. Biopalivá je zatiaľ možné využívať len po zmiešaní s konvenčnými palivami. Percentuálny podiel zložky biopaliva v zmesi sa pohybuje od 10 do 50% a to v závislosti od druhu paliva (Demirbas, 2009). V súčasnosti je certifikovaných päť rôznych biopalív, ktorými sú:

- HEFA – vyrába sa hydroprocesovaním rastlinných olejov a živočíšnych tukov. Podľa normy sa môže miešať s konvenčným leteckým palivom až do pomeru 50%. Jeho výhodou je výrazný pokles produkcie škodlivých látok pri spaľovaní paliva (Sidibe et al., 2010).
- FISCHER TROPSCH – vyrába sa z fosílnych zdrojov alebo biomasy. Pre zachovanie udržateľnosti je výhodná výroba z ligocelulózového materiálu, ako sú drevené zvyšky z lesného hospodárstva alebo drevospracujúceho priemyslu. Táto alternatíva sa môže používať len v zmesiach do 50%. Má veľký potenciál na to, aby bolo v budúcnosti certifikované na 100% náhradu fosílného paliva (Zschocke et al., 2012).
- FARNEZÁN – výrobnou surovinou tohto paliva je cukor. Fernezán je schválený na miešanie s konvenčným palivom až do 10% (Neuling & Kaltschmitt, 2015).
- ALKOHOL-TO-JET – vyrába sa z alkoholu, ktorý môže byť produkovaný konvenčnými procesmi alebo fermentáciou plodín na to vhodných. Použitie tohto paliva je výhodné hlavne z dôvodu širokého spektra zdrojov. Palivo bolo certifikované na maximálny povolený podiel 50% v zmesi s fosílnym palivom (Neuling & Kaltschmitt, 2015).

2.2. Vodíkový pohon

Vodík ako palivo pre prúdové lietadlá poskytuje v porovnaní s leteckým petrolejom mnohé výhody. Vodík má tiež potenciál znížiť hlukové zaťaženie a rovnako znížiť emisie skleníkových plynov v leteckom sektore. Vodík sa dá získať z viacerých surovín vrátane fosílnych palív ale aj obnoviteľných zdrojov. V súčasnosti sa z fosílnych palív vyrobí približne 90% celosvetovej zásoby vodíka (Baharozu et al., 2017). Existuje niekoľko spôsobov, ktoré sa zameriavajú na výrobu vodíka, či už z fosílnych palív alebo ekologickou formou:

- Parné reformovanie zemného plynu - pri tomto procese sa zemný plyn a vodná para transformujú na oxid uhoľnatý a vodík. Oxid uhoľnatý vzniká ako vedľajší produkt, ktorý sa dá ďalej transformovať na oxid uhličitý a vodík. Veľkým nedostatkom tejto výrobnéj metódy je práve produkcia oxidu uhličitého. Z tohto dôvodu vznikla myšlienka sekvestrácie CO₂, ktorá predstavuje zachytávanie a ukladanie obrovských množstiev CO₂ v dlhodobो aktivných rezervároch, akými sú moria a oceány, vyčerpané vrty zemného plynu a ropy alebo geologické útvary. Cieľom je spomaliť zvyšovanie obsahu CO₂ v atmosfére jeho uskladnením na desiatky až stovky rokov (Arat, 2018).
- Splyňovanie uhlia - proces premeny akejkoľvek suroviny na báze uhlíka na syntézny plyn pomocou vzduchu, pary alebo kyslíka. Tento spôsob sa považuje za najmenej ekologický, pretože pri ňom vzniká veľké množstvo oxidu uhličitého. Využívanie výrobného procesu tohoto typu podnietil fakt, že uhlie je fosílny zdroj s najväčšími celosvetovými zásobami (Riis et al., 2006).
- Elektrolýza vody - využitie vody je jednou z najekologickejších foriem výroby vodíka. Elektrolýza vody je proces, pri ktorom sa voda štiepi na vodík a kyslík použitím elektrickej energie. Základným prvkom elektrolytického systému výroby vodíka je elektrolytický článok. Vodík a kyslík získaný týmto procesom sa chladí, čistí, stláča a až následne skladuje. Aby bola elektrolýza skutočne ekologickým zdrojom vodíka, elektrická energia využitá v tomto procese musí byť vyrobená z obnoviteľných zdrojov. To znamená, že pri výrobe takejto elektrickej energie by mali byť produkované nulové alebo nízke emisie. Existuje niekoľko typov elektrolýzy, pomocou ktorej je možné extrahovať vodík z vody. Ide o alkalickú elektrolýzu, PEM elektrolýzu a parnú elektrolýzu (Arat, 2018).
- Štiepenie vody - vodík možno z vody vyrábať aj pomocou jej štiepenia na vodík a kyslík. Tento proces prebieha vďaka využitiu tepla zo slnečnej energie alebo odpadového tepla reakcií jadrovej energie. Táto forma výroby vodíka je výhodná najmä vďaka tomu, že jedinou spotrebovanou látkou v tomto cykle je voda ako zdroj vodíka (Funk, 2001).
- Splyňovanie biomasy - tento proces zahŕňa získavanie vodíka z organických materiálov pri využití tepla, pary a kyslíka bez spaľovania. Hoci je biologická konverzia energeticky nenáročná a považuje sa za najekologickejšiu formu produkcie vodíka, je veľmi citlivá na ideálne podmienky reakcie ako je teplo a svetlo. Rovnako aj množstvo vodíka vyprodukovaného touto metódou je značne nižšie v porovnaní s ostatnými procesmi výroby (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy a), 2022).

2.2.1. Vodíkové spektrum

Na základe spôsobu výroby vodíka bolo zhotovené vodíkové spektrum, ktoré rozdeľuje vodík podľa ekologickej záťaže vznikajúcej pri jednotlivých procesoch výroby. Podľa priradenia farebného kódu poznáme zelený, modrý, šedý, hnedý, ale aj ružový vodík. Tieto názvy používané v energetickom priemysle však nepredstavujú univerzálne názvoslovie a definície sa môžu postupom času meniť (National Grid, 2023).

- Zelený vodík je vyrábaný elektrolýzou vody, ktorá musí prebiehať za prítomnosti elektrickej energie vyprodukovanej z obnoviteľných zdrojov, ako je veterná alebo solárna energia. Ak sú pri výrobe dodržané dané podmienky, pri tomto procese nevznikajú žiadne emisie oxidu uhličitého (National Grid, 2023).
- Modrý vodík sa vyrába predovšetkým parným reformovaním zemného plynu. Pri tejto forme výroby vzniká okrem vodíka aj oxid uhličitý ako vedľajší produkt. Myšlienkou modrého vodíka je zachytávanie a ukladanie tzv. sekvestrácia skleníkových plynov (National Grid, 2023).
- Sivý vodík sa rovnako vyrába parným reformovaním zemného plynu, avšak bez uplatnenia sekvestrácie skleníkových plynov, ktoré pri precese výroby vznikajú. V súčasnosti je to najbežnejšia forma výroby vodíka (National Grid, 2023).
- Hnedý/čierny vodík je absolútnym opakom zeleného vodíka. Pri jeho výrobe sa využíva čierne a hnedé uhlie, pričom sa do atmosféry uvoľňuje veľké množstvo oxidu uhoľnatého, čo vo veľkej miere prispieva k zvyšovaniu uhlíkovej stopy produkovanej leteckou dopravou (National Grid, 2023).
- Ružový vodík sa vyrába elektrolýzou vody, na ktorú sa využíva jadrová energia. V inom prípade by sa dali na výrobu vodíka využiť aj vysoké teploty jadrových reaktorov a to v podobe odberu pary ďalej využitej na účinnejšiu elektrolýzu (National Grid, 2023).

2.2.2. Vodíkový palivový článok

Vodík sa okrem priameho spaľovania v letectve využíva aj ako palivo pre palivový článok. Palivový článok je zariadenie podobné neustále sa dobíjajúcej batérii a vyrába elektrickú energiu reakciou vodíka a kyslíka zo vzduchu. Vodíkové palivové články sú veľmi výhodnou alternatívou pohonu, pretože dokážu vyrábať elektrickú energiu nepretržite. V rôznych typoch palivových článkov sa môže používať akékoľvek palivo bohaté na vodík. Palivové články poháňané vodíkom emitujú len vodu a neprodukujú prakticky žiadne emisie znečisťujúcich látok (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy b) 2022).

Vodíkové palivové články majú potenciál nahradiť elektrické batérie v hybridných alebo plne elektrických malých lietadlách. Predtým, ako budú tieto systémy komerčne dostupné, je však potrebné prekonať mnohé technologické výzvy. Vodíkové palivové články budú pravdepodobne obmedzené na aplikácie v kratších letoch. Vzhľadom na objemové obmedzenia spojené so skladovaním vodíka zostanú pre dlhý dolet najpravdepodobnejším riešením plynové turbíny s udržateľným leteckým palivom (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy b) 2022).

2.2.3. Skladovanie vodíka

Napriek potenciálnym výhodám využívania vodíka ako paliva v leteckom priemysle, veľkou nevýhodou je jeho nízka hustota pri štandardnej teplote a tlaku. Tieto vlastnosti so sebou prinášajú problémy so skladovaním. Vzhľadom na hmotnostné a objemové obmedzenia lietadla je v leteckom priemysle náročné vodík efektívne skladovať. Vodík sa môže skladovať ako plyn pod tlakom, kvapalina alebo v pevnom stave v kombinácii s inými prvkami.

Skladovanie vodíka v plynnom stave je najjednoduchšie a najefektívnejšie riešenie. Aby sa zvýšila hustota vodíka, plynný vodík sa stláča a skladuje pri vhodnom tlaku. Na skladovanie plynného vodíka sa používajú kovové nádrže. V súčasnosti sa na skladovanie vodíka čoraz častejšie používajú nádrže vyrobené z kompozitných materiálov. Takéto nádrže majú nízku hmotnosť, dobre odolávajú vysokým tlakom, a preto sú veľmi atraktívne pre letecký priemysel (Riis et al., 2006).

Ďalším riešením skladovania vodíka v letectve je jeho uchovávanie v kryogénnych nádržiach v kvapalnom skupenstve. Vodík sa najprv musí skvapalniť pri veľmi nízkej teplote. Kryogénna nádrž využíva izolačnú techniku, ktorá udržiava vodík v kvapalnom skupenstve. Materiály, ktoré možno použiť na konštrukciu steny kryogénnej nádrže, by mali mať vysokú pevnosť, vysokú lomovú húževnatosť, nízku hustotu a nízku priepustnosť pre kvapalný aj plynný vodík. Skvapalnený vodík sa ťažko skladuje na dlhé obdobie, pretože až 3 % vodíka sa denne stráca v dôsledku odparovania spôsobeného vplyvom tepla získaného z okolia. Vysoká hustota skvapalneného vodíka je kľúčovou vlastnosťou, ktorá umožňuje použitie tejto techniky skladovania pre rôzne letecké aplikácie (Verstraete, 2010).

Poslednou metódou skladovania vodíka je jeho chemické skladovanie v pevnom stave ako v hydridoch kovov alebo v chemických hydridoch. Pri tejto technike sa vodík najprv reverzibilne absorbuje pevnými zlúčeninami, ako sú Li, Na, Mg, Ti, za určitých teplotných a tlakových podmienok a potom sa môže v prípade potreby uvoľniť zvýšením teploty alebo znížením prevádzkového tlaku. Hlavnou nevýhodou chemického hydridu je potreba premeny vedľajších produktov chemickej reakcie mimo paluby na vhodnom mieste (Verstraete, 2010).

2.2.4. Zmena konštrukcie lietadla pri použití vodíkoveho pohonu

Vzhľadom na obrovské požiadavky na objem vodíkových palivových nádrží je potrebné upraviť konštrukciu lietadla s väčším objemom a ťažším trupom, ktorý je najlepším miestom na umiestnenie palivových nádrží na skvapalnený vodík. Konfigurácia vodíkových nádrží má významný vplyv na energetickú účinnosť lietadla na vodíkový pohon. Keďže krídla v lietadle na vodíkový pohon sa už nepoužívajú na uskladnenie paliva, krídla by mohli byť navrhnuté tak, aby boli menšie z hľadiska plochy a rozpätia. Hmotnosť krídel by sa však pri použití vodíka mala zvýšiť, aby sa zvýšila ich štruktúrna integrita proti ohybu a vibráciám generovaným aerodynamickými silami (de Klerk, 2008).

2.2.5. Zvýšenie efektivity výroby a distribúcie vodíka

Splnenie ekonomických a environmentálnych požiadaviek na prijatie vodíka pre letecký sektor si vyžaduje, aby sa väčšina vodíka vyrábala z čistého zdroja energie bez potreby budovania

dlhjej siete potrubí na jeho prenos z miest výroby do centier spotreby. To sa dá dosiahnuť výrobou vodíka v lokalitách v blízkosti letísk s využitím obnoviteľných zdrojov energie ako je veterná, geotermálna, slnečná a oceánska energia. Vysoko efektívny spôsob výroby vodíka v lokalitách v blízkosti morí a oceánov je využitie oceánskej energie. Oceánska energia zahŕňa zužitkovanie vln, vetra a prílivového prúdu na výrobu elektrickej energie, ktorá sa potom môže použiť v elektrolyzéroch na výrobu vodíka z morskej vody. Letiská nachádzajúce sa v blízkosti pobrežnej oblasti by mohli využívať energiu vln a vetra, zatiaľ čo letiská vo vnútrozemí by sa pri výrobe vodíka mohli viac spoliehať na slnečnú energiu a bioenergiu. Obnoviteľné zdroje energie (napr. vietor, príliv a odliv, biomasa) by mohli zabezpečiť výrobu množstva vodíka postačujúceho na pokrytie lokálneho odberu, ale nedokážu pokryť dopyt po obrovských objemoch vodíka, ktoré by boli celosvetovo potrebné. Okrem toho lokálne vyrábaný vodík poskytuje veľké hospodárske výhody, výhody energetickej bezpečnosti a výhody infraštruktúry (Andrews & Shabani, 2012).

2.3. Solárny pohon

Základným princípom solárneho pohonu lietadiel sú solárne články. Keď sú články vystavené slnečnému žiareniu, dochádza v nich k premene slnečného žiarenia na elektrickú energiu. Množstvo vyrobenej energie priamoúmerne závisí od meteorologických faktorov, ako je množstvo oblačnosti, ale aj od sklonu článkov vzhľadom na slnko, dňa v roku a dennej doby. Získaná energia sa využíva nielen na pohon, ale aj na napájanie palubnej elektroniky. Prebytočná energia sa potom využíva na nabíjanie batérie, ktorá slúži ako zásobáreň energie v prípade nepriaznivých podmienok na produkciu elektrickej energie fotovoltickými článkami. Keď nie je k dispozícii žiadna alebo len malé množstvo solárnej energie, jej zdrojom sa stáva práve batéria (Abbe & Smith, 2016).

2.3.1. Fotovoltické články

Fotovoltická technológia je všeobecne známa ako metóda výroby elektrickej energie pomocou solárnych panelov zložených z viacerých solárnych článkov, ktoré premieňajú energiu zo slnka na tok elektrónov. Fotovoltické články obsahujú fotovoltický materiál, ktorý vyrába zo slnečného svetla jednosmerný prúd. Princíp činnosti fotovoltických článkov spočíva v dopade fotónu svetla príslušnej vlnovej dĺžky na článok, pričom je vďaka fotoelektrickému javu vygenerovaný ľubovoľný elektrón-dierový pár separovaný vnútorným elektrickým poľom pn-priechodu a jeho pohybom k elektródam sa vytvára elektrický prúd (Xisn-Zhong et al., 2023).

V súčasnosti sa používajú tri druhy anorganických fotovoltických článkov: tenkovrstvové, jednoprechodové a viacprechodové. Princíp výroby energie v jednotlivých druhoch fotovoltických článkov je teoreticky rovnaký, líšia sa iba princípom výroby a materiálom. Medzi materiály, ktoré sa v súčasnosti používajú na fotovoltiku, patria monokryštalický kremík, polykryštalický kremík, amorfný kremík, telurid kadmia a selenid alebo sulfid medi a gália. Pri aplikáciách solárnych lietadiel sú dôležité náklady aj životnosť modulov solárnych článkov. Aj keď jednoprechodové a viacprechodové solárne články majú najvyšší výkon, ich použitie v lietadlách poháňaných slnečnou energiou má nevýhody. Na druhej strane sú najsľubnejšie tenkovrstvové solárne články. Majú potenciál byť použité ako

aerodynamický povrch lietadla a prispôbiť sa jeho krivkám (Abbe & Smith, 2016).

Väčšina organických fotovoltaických článkov sú polymérové solárne články. Majú veľmi dobrú schopnosť absorpcie svetla čo znamená, že dokážu absorbovať veľké množstvo svetla malým množstvom materiálu. Organické materiály sú kompatibilné s plastovými a inými flexibilnými materiálmi, a preto sa zariadenia môžu vyrábať pomocou lacných, vysoko výkonných tlačových techník, ktoré spotrebujú menej energie a vyžadujú si menšie kapitálové investície ako fotovoltaické články na báze kremíka (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy a, 2022).

2.3.2. Batéria

Batéria je zariadenie, ktoré ukladá chemickú energiu a premieňa ju na elektrickú. Batérie sa klasifikujú buď ako primárny, alebo sekundárny typ na základe ich elektrochemie. Primárnu batériu po jej úplnom vybití nie je možné znovu nabiť. Sekundárna batéria je dobíjateľná a poskytuje energiu počas noci, keď nie je k dispozícii primárny zdroj energie. V solárnych lietadlách patria medzi hlavné typy sekundárnych batérií nikel-kadmiové (NiCd), nikel-zinkové (NiZn), lítium-iónové (Li), nikel-metal-hydridové (NiMH) a sodno-sírové (NaS). Pohonná sústava lietadla poháňaného slnečnou energiou je nakonfigurovaná tak, aby optimálne fungovala aj pri absencii slnečného žiarenia, a spolieha sa tak na akumulovanú energiu. Pre lietadlo poháňané slnečnou energiou je výber optimálneho akumulátora najkritickejšou otázkou, pretože predstavuje najdôležitejšiu časť celkovej hmotnosti lietadla (Xisn-Zhong et al., 2023).

2.3.3. Rekupačné palivové články

Palivový článok je dôležitá technológia, ktorá umožňuje získať energiu reakciou paliva a kyslíka bez spaľovania. Palivový článok má oproti iným dobíjateľným batériám mnoho výhod, napríklad vyššiu účinnosť a menšie znečistenie. Pri solárnom pohone by boli potenciálne využiteľné hlavne rekupačné palivové články. Pomocou slnečnej energie sa vo fotovoltaických článkoch vyrobí elektrická energia, ktorá je využitá na priebeh elektrolyzy pričom sa uskladnená voda štiepi na vodík a kyslík. Plyny vyprodukované pri elektrolyze sa uskladňujú a využívajú palivovým článkom v čase, keď nie je dostupné slnečné žiarenie. Palivový článok vyrába z vodíka a kyslíka späť vodu pričom produkuje elektrickú energiu, ktorá je využitá na pohon lietadla práve v čase nedostupnosti slnečného žiarenia (Xisn-Zhong et al., 2023).

3. **Analýza možností využitia alternatívnych palív v letectve**

V súčasnosti je viacero projektov a konceptov, v ktorých sa poprední výrobcovia lietadiel snažia aplikovať a vyvíjať nové technológie za účelom zabezpečiť udržateľné letectvo, prevádzkovú efektívnosť a šetrenie prírodných zdrojov. Zámerom výrobcov je nie len redukcia produkcie emisií, ale ich úplná eliminácia, teda pohon s nulovými emisiami. Tejto problematike sa venujú programy viacerých veľkých spoločností ako napríklad Airbus ZEROe, Boeing ecoDemonstrator alebo Embraer Commercial Aviation Sustainability.

Koncept ZEROe založený spoločnosťou Airbus je postavený na využití vodíkoveho pohonu. Ich hlavným cieľom je vyvinúť do

roku 2035 prvé komerčné lietadlo s nulovými emisiami na svete. V projekte boli predstavené tri odlišné typy lietadiel a to z dôvodu zabezpečenia účelnosti a pokrytia čo najväčšieho počtu potenciálnych odvetví, v ktorých by mohli byť využívané. Všetky tri koncepty ZEROe sú hybridné vodíkové lietadlá poháňané spaľovaním kvapalného vodíka prostredníctvom špeciálne upravených turbínových motorov. Súčasne sa využívajú aj vodíkové palivové články, ktoré zabezpečujú nepretržitú výrobu elektrickej energie za prítomnosti paliva a vzduchu. Takýmto spôsobom vzniká veľmi účinný hybridno-elektrický pohonný systém. Veľkou výhodou tohto konceptu je, že sa jednotlivé technológie navzájom dopĺňajú, čím sa ich výhody ešte znásobujú (Airbus, 2021).

Program ecoDemonstrator je testovací a výskumný program, ktorý sa zameriava na vývoj technológií určených na zníženie hluku, inováciu leteckého sektoru a zníženie ekologickej stopy lietadiel. Projekty programu ecoDemonstrator zahŕňajú technológie, ktoré zlepšujú udržateľnosť a bezpečnosť leteckého priemyslu. Prebiehajú aj projekty zmeriavajúce sa na efektívnosť, udržateľné letecké palivo a zdokonalený vizuálny systém pre pilotov. Spoločnosť Boeing sa zaviazala, že všetky komerčné lietadlá, ktoré dodáva, budú schopné využívať 100 % udržateľné letecké palivo do roku 2030. Tento krok podporuje civilné letectvo so záväzkom dosiahnuť nulové uhlíkové emisie do roku 2050. Program ecoDemonstrator výrazne prospieva aj vývoju udržateľných palív, keďže spoločnosť Boeing testuje a ďalej rozvíja možnosti jeho využívania. Otázka udržateľného leteckého paliva je riešená v spolupráci s NASA, s cieľom zhromaždiť a analyzovať údaje o emisiách tohto paliva (Boeing, 2022).

Koncept spoločnosti Embraer sa zameriava predovšetkým na rôzne možnosti využitia alternatívnych palív v kombinácii s vhodným typom konštrukcie na dosiahnutie nulových emisií uhlíka do roku 2050. Pre dosiahnutie tohto cieľa je však kľúčové zabezpečiť zníženie emisií uhlíka o 50% do roku 2030. Projekt skúma celý rad udržateľných koncepcií pričom sa zameriavajú na lietadlá s prepravnou kapacitou do 50 cestujúcich. V rámci tohto projektu sa uvažuje o viacerých zdrojoch energie, typoch pohonu a usporiadaní draku lietadla. Súčasťou konceptu je niekoľko modelov lietadiel s odlišným pohonom (Embraer, 2022).

3.1. **Komparácia vybraných výrobných konceptov a nimi využívaných alternatívnych palív**

Porovnanie vybraných výrobných konceptov bude vykonané na základe výsledkov získaných z analýzy SWOT, ktorá referuje ako o pozitívnych tak aj o negatívnych stránkach samotných projektov. Pri komparácii konceptov využívajúcich alternatívne palivá sa budú brať do úvahy aj výsledky porovnávania jednotlivých typov alternatívnych palív na základe nami určeným kritérií.

SWOT analýza predstavuje nástroj na posúdenie súčasnej situácie a prostredia konceptu. Charakterizácia SWOT analýzy zahŕňa body ako silné a slabé stránky, príležitosti a hrozby. V tejto práci bude využitá na podrobné zanalyzovanie konceptov zameriavajúcich sa na využitie alternatívnych palív.

Na objektívnu analýzu vybraných konceptov využívajúcich alternatívne palivá je kľúčové porovnať jednotlivé alternatívne palivá na základe nami určených kritérií. V Tabuľke 1 sú každému

palivu pridelené číselné hodnoty 0-zanedbateľná, 1-nízka, 2-mierna, 3-vysoká, ktoré vyjadrujú v akej miere jednotlivé palivá spĺňajú dané kritériá. Na základe pridelených hodnôt a ich sumarizácie je možné určiť, ktoré z alternatívnych palív je najefektívnejšie z ekologického ale aj hospodárneho hľadiska.

Tabuľka 1: Komparácia alternatívnych palív na základe vybraných kritérií. Zdroj: Autori

	Biopalivo	Vodík	Elektrická energia
Dostupnosť výrobných surovín	3	3	3
Výrobné náklady	2	3	3
Skladovacia náročnosť	0	3	2
Miera produkcie emisií pri využívaní	1	0	1
Miera produkcie emisií pri procese výroby	najmenej ekologickom*	3	1
	najekologickejšom*	1	1
Nutnosť technologických úprav	0	3	3

Najefektívnejším alternatívnym palivom z rôznych ohľadov je biopalivo. Dostupnosť výrobných surovín je vysoká, keďže sa jedná o bioodpad alebo neúžitkové rastliny. Biopalivo je typovo podobné fosílnym palivám, a teda sú ním priamo nahraditeľné. Skladovacia náročnosť ako aj nutnosť technologických úprav lietadiel alebo infraštruktúry je zanedbateľná. Výsledkom spracovania biologického odpadu je palivo produkujúce výrazne menšie množstvo emisií počas výrobného procesu a spaľovania.

3.2. Zhodnotenie

Na základe SWOT analýzy vybraných výrobných konceptov sme vytvorili Tabuľku 2, v ktorej sme zhrnuli hlavné prínosy, negatíva a predovšetkým potenciál týchto projektov s ohľadom na nimi využívané alternatívne palivá. Po podrobnej analýze sme zistili, že projekt ZEROe od spoločnosti Airbus zameriavajúci sa na uplatnenie vodíka má veľký potenciál pri využití na stredné a dlhé trate pre svoj vysoký výkon. Výraznou prekážkou pri začlenení vodíka do leteckého priemyslu je nie len jeho náročnosť na skladovanie a nutnosť zmien konštrukcie a infraštruktúry, ale aj výrobný proces. Nato, aby bol tento projekt skutočne ekologicky prínosný, vodík, ktorý sa v ňom použije musí byť tzv. zelený. Projekt ecoDemonstrator od spoločnosti Boeing je v rámci vývoja alternatívnych palív známy svojím zameraním na udržateľné letecké palivá. Prínosom tohto typu paliva je využitie biologického odpadu a neúžitkových rastlín, ktoré majú vysoký obsah olejov a preto nekonkurujú poľnohospodárskym plodínám. Fosílna palivá sú priamo nahraditeľné biopalivami a prispôsobiteľné rôznym vzdialenostiam a letovým trasám.

Tabuľka 2: Komparácia vybraných výrobných konceptov na základe SWOT analýzy. Zdroj: Autori

	Airbus ZEROe	Boeing ecoDemonstrator	Embraer Commercial Aviation Sustainability
Palivo	<ul style="list-style-type: none"> vodík elektrická energia 	<ul style="list-style-type: none"> udržateľné letecké palivo 	<ul style="list-style-type: none"> elektrická energia hybridný pohon
Prínosy	<ul style="list-style-type: none"> využitie na stredné a dlhé trate vysoký výkon nulové emisie 	<ul style="list-style-type: none"> redukcia emisií využitie na rôzne trasy a podmienky 	<ul style="list-style-type: none"> využitie na krátke trasy nulové emisie
Negatívne aspekty	<ul style="list-style-type: none"> vyššie výrobné prevádzkové náklady 	<ul style="list-style-type: none"> náklady na vývoj 	<ul style="list-style-type: none"> obmedzený dolet a výkon
Implementačný potenciál	<ul style="list-style-type: none"> nutnosť konštrukčných a technických zmien 	<ul style="list-style-type: none"> okamžitá náhrada fosílnych palív 	<ul style="list-style-type: none"> nutnosť inštalácie solárnych jednotiek

Napriek tomu, že sa používaním udržateľných leteckých palív redukuje emisie CO₂, nevýhodou naďalej zostávajú vyššie náklady na vývoj. Projekt od spoločnosti Embraer sa zaoberá využitím takmer každého spomenutého alternatívneho paliva. Dôraz kladie na menšie lietadlá, v ktorých je najviac uplatniteľný elektrický a hybridný pohon. Elektrická energia je ako palivo produkuje nulové emisie, ale z dôvodu obmedzeného doletu a výkonu je vhodná len na kratšie vzdialenosti. Negatívnym aspektom tohto projektu je, že je potrebná inštalácia solárnych článkov a batérií, ktoré spôsobujú nadmernú záťaž čím sa skracuje dolet a zhoršujú letové vlastnosti lietadla.

4. Záver

Hlavnou náplňou tohto článku bolo identifikovať možnosti využívania alternatívnych palív v letectve, ktoré majú vhodné predpoklady na redukciiu emisií a skleníkových plynov, čím prispievajú k dosiahnutiu udržateľného letectva. V úvode článku boli objasnené a charakterizované teoretické poznatky vzťahujúce sa na výrobu a skladovanie daných palív. V rámci analýzy boli priblížené koncepty založené na využití alternatívneho pohonu. Zvolili sme si tri známe projekty, ktorými sú Airbus ZEROe, Boeing ecoDemonstrator a Embraer Commercial Aviation Sustainability, pri ktorých sme vykonali SWOT analýzu. Na základe poznatkov zistených komparáciou jednotlivých alternatívnych palív a porovnaním výsledkov osobitných SWOT analýz sme určili perspektívu daných projektov a nimi využívaných palív.

Po vykonaní komparatívnej analýzy môžeme koncept ecoDemonstrator od spoločnosti Boeing zhodnotiť ako najperspektívnejší nielen z hľadiska udržateľnosti, ale aj z hľadiska efektívnej implementácie do odvetvia a rozmanitého využitia. Faktom je, že pri spaľovaní biopalív nevznikajú nulové emisie ako pri ostatných udržateľných palivách, avšak je dôležité uvedomiť si ostatné prínosy, ktoré toto palivo ponúka. Okrem radikálneho zníženia produkcie skleníkových plynov je benefitom aj spracovanie odpadu, nepotrebných poľnohospodárskych zvyškov a neúžitkových plodín, ktoré nekonkurujú pestovaniu úžitkových olejnatých rastlín. Vďaka využívaniu biopalív sa dá najrýchlejšie a najefektívnejšie doceliť

uhlíková neutralita, ktorej podstata spočíva v dosiahnutí rovnováhy medzi produkciou a zužitkovaním emisií uhlíka. Plnohodnotným využívaním alternatívnych palív v leteckom sektore by sa mala znížiť uhlíková stopa a zmierniť problém klimateckej zmeny.

Pod'akovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu **313011ATR9** "Výskum a vývoj využiteľnosti autonómnych lietajúcich prostriedkov v boji proti pandémie COVID-19".

Referencie

- Abbe, G.; Smith, H.; 2016. Technological development trends in Solar-powered Aircraft Systems, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116000836?casa_token=qk_A2Rz2If4AAAAA:mWhs5Mxs3S7x3_iKfmI2pRhJm6I0lpRgLTzSkiB2iRuo79sAyOmoAuk1tcf61rlzU6rcQROQ#f0035>.
- Airbus; 2021. ZEROe, <<https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission-journey/hydrogen/zeroe>>.
- Andrews, J.; Shabani, B.; 2012. Where does hydrogen fit in a sustainable energy economy? <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812047649>>.
- Arat, H.; 2018. State of art of hydrogen usage as a fuel in aviation. In Ískenderun Technical University, <https://www.researchgate.net/publication/322056332_State_of_art_of_hydrogen_usage_as_a_fuel_on_aviation>.
- Baharozu, E.; Soykan, G.; Ozerdem, M.; 2017. Future aircraft concept in case of energy efficiency and environmental factors, <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S036054421731513X?token=64F237C973806151B5F8A7CE0AFAB1325A40FDCD2C22AE6375073BA7FF8DD35F5894214202A232CFEFDDC38156C8E162&originRegion=eu-west1&originCreation=20230301013014>>.
- Boeing; 2022. The Boeing ecoDemonstrator Program, <https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/principles/environment/pdf/BKGecoDemonstrator_2022.pdf>.
- de Klerk, A.; 2008. Fischer-Tropsch Refining, <<https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/26754/Complete.pdf?sequence=10>>.
- Demirbas, A.; 2009. Green energy and technology biofuels, <<https://www.isaaa.org/resources/publications/pocketk/24/default.asp>>.

- Embraer; 2022. Future Aircraft Concepts, <<https://embraercommercialaviationsustainability.com/concepts/>>.
- Funk, J. E.; 2001. Thermochemical hydrogen production: past and present, <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319900000628?pes=vor>>.
- National Grid; 2023. The hydrogen colour spectrum, <<https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/hydrogen-colour-spectrum>>.
- NESTE, 2023. SAF reduces emission in aviation by up to 80%, <<http://www.nesteoil.com/default.asp?path=1,41,11991,22708,22709,22711>>.
- Neuling, U.; Kaltschmitt, M.; 2015. Conversion routes for production of biokerosene – status and assessment, <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-014-0154-2>>.
- Office of Energy Efficiency and Renewable Energy a); 2022. Hydrogen Production: Biomass Gasification, <<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-biomass-gasification>>.
- Office of Energy Efficiency and Renewable Energy b); 2022. Fuel Cells, <<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells>>.
- Riis, T. et al.; 2006. Hydrogen Production and Storage. In Hydrogen co-ordination group, <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/e19e0c2a-0cef-4de6-a559-59d0342974c3/hydrogen.pdf>>.
- Sidibe, S. S.; Blin, J.; Vaitilingom, G.; Azoumah, Y.; 2010. Use of crude filtered vegetable oil as a fuel in diesel engines state of the art, <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110001656>>.
- Verstraete, D.; 2010. Hydrogen fuel tanks for subsonic transport aircraft, <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036031991001236X>>.
- Xisn-Zhong, G. et al.; 2023. Reviews of methods to extract and store energy for solar-powered aircraft, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114009563?casa_token=mZJuh7mtrY0AAA:AA:ybV1st4xfy4x4DqA8JlMEMyY8Vh7XQsyAw75GOEuL4alSalJzEVV58jBnafmnFJwN6v9sRRbA>.
- Zschocke, A.; Scheuermann, S.; Ortner, J.; 2012. High biofuel blends in Aviation (HBBA), <https://aireg.de/wp-content/uploads/2015/03/20150327_studie.pdf>.