Alternativni pogonski sustavi zrakoplova

Bekavac, Andrej

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:619288

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Andrej Bekavac

ALTERNATIVNI POGONSKI SUSTAVI ZRAKOPLOVA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, kolovoz 2021.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

ALTERNATIVNI POGONSKI SUSTAVI ZRAKOPLOVA

ALTERNATIVE AIRCRAFT PROPULSION SYSTEMS

Mentor: prof. dr. sc. Ernest Bazijanac

Student: Andrej Bekavac

JMBAG:0135235979

Zagreb, kolovoz 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 20. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za zračni promet**
Predmet: **Eksploatacija i održavanje zrakoplova**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6402

Pristupnik: **Andrej Bekavac (0135235979)**
Studij: Promet
Smjer: Zračni promet

Zadatak: **Alternativni pogonski sustavi zrakoplova**

Opis zadatka:

U uvodnom dijelu rada je potrebno opisati moguće alternativne pogone zrakoplova.
Analizirati utjecaj alternativnih pogonskih sustava na performanse zrakoplova, te tehničke, ekološke i ekonomske čimbenike uporabe novih pogonskih sustava.
Istražiti utjecaj novih pogonskih sustava na tehnologiju zračnog prometa.

Mentor:

prof. dr. sc. Ernest Bazijanac

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

Sažetak

Alternativni pogonski sustavi su sustavi koji za pogon ne koriste isključivo fosilna goriva. Razvoj alternativnih pogonskih sustava je ključan faktor ka ispunjenju cilja zračnog prometa, smanjenje štetnih emisija. Alternativni pogonski sustavi kao ideja postoje duži niz godina dok je značajniji napredak u razvoju tehnologija zabilježen posljednje desetljeće. Alternativni pogonski sustavi se još uvijek razvijaju i nemaju masovnu primjenu i proizvodnju. Šira implementacija se očekuje kroz idućih 10-15 godina. U diplomskom radu napravit će se osvrt na dosadašnji razvoj alternativnih pogonskih sustava, njihov princip rada i utjecaj na zračni promet, te daljnji napredak i predviđanja.

Ključne riječi: alternativni pogonski sustavi, utjecaj, razvoj

Summary

Alternative propulsion systems are systems that do not use only fossil fuels for propulsion. The development of alternative propulsion systems is a key factor towards meeting the goal of air transport, reducing emissions. Alternative propulsion systems as an idea have existed for many years while significant progress in technology development has been noticed in the last decade. Alternative propulsion systems are still being developed and do not have mass application and production. Wider implementation is expected over the next 10-15 years. In this final thesis, a review will be made of the current development of alternative propulsion systems, their working tenet and impact on air traffic, as well as further progress and predictions.

Key words: alternative propulsion systems, impact, development

Sadržaj

1. Uvod ... 1
2. Vrste alternativnih goriva ... 3
2.1. Vodik ... 5
2.1.1. Vodik kao pokretač plinske turbine ... 9
2.1.2. Vodik kao goriva ćelija ... 13
2.2. Električna energija kao pogonsko sredstvo ... 15
2.2.1. Solarni paneli ... 17
2.2.2. Baterije ... 20
2.3. Biogoriva ... 22
3. Utjecaj alternativnih pogonskih sustava na performanse zrakoplova ... 27
4. Tehnički, ekološki i ekonomski čimbenici ... 29
4.1. Tehnički čimbenici ... 29
4.2. Ekološki čimbenici ... 30
4.3. Ekonomski čimbenici ... 33
5. Razlike između tradicionalnih i alternativnih pogonskih sustava ... 38
6. Zaključak ... 41
Popis literature ... 43
Popis slika ... 46
Popis grafikona ... 47
Popis tablica ... 48

1. Uvod

U današnjim vremenima sve je veća naglašenost oko ekološkog zagađenja pa se s toga nastoji riješiti pitanje smanjenja štetnih plinova u okolini. Nafta, čiji derivati pogone motore današnjih zrakoplova, nije neograničen resurs također s toga je bitno tražiti neke nove načine pogona. Alternativni načini pogona u zrakoplovstvu pojavljuju se još prije 50 godina, sredinom 70-ih godina 20. stoljeća. Rapidni rast zračnog prometa posljednjih desetljeća dodano naglašava njegov utjecaj na zagađivanje okoliša. Postojeći zrakoplovi, koji se pogone na kerozin, koji svojim izgaranjem stvara mnoge štetne plinove kao što su: ugljikov dioksid (CO2), ugljikov monoksid (CO), dušikove okside (NOx), ugljikovodik (HC), SOx (sumporovi oksidi) i čestice, koji su štetni za zdravlje i zagađuju okoliš. ICAO (engl. *International Civil Aviation Organization)* propisuje gornje granice za navedene plinove osim za CO2 jer je taj plin obavezan produkt izgaranja. Dok ostali plinovi se mogu regulirati tehnološkim zahvatima na komori izgaranja ili kontrolom kvalitete goriva, količina emisija CO2 se može regulirati jedino manjom potrošnjom goriva ili alternativnim gorivima koji emitiraju manje ili ništa CO2. S toga već se razvijaju nove tehnologije koje će zamijeniti konvencionalna goriva, od kojih se već koriste neke u većim ili manjim obujmima kao što su biogoriva, pogon na električnu energiju, pogon na vodik i slični. Krajnji cilj same zrakoplovne industrije je proizvodnja potpuno održivih goriva koji bi proizvodili ništa ili jako malo štetnih emisija i potpuno izbacili iz uporabe fosilna goriva. Da je napredak zagarantiran pokazuje i činjenica da je zrakoplovna industrija postavila da do 2050. godine znatno smanji emisije CO2.

U ovom diplomskom radu obrađena su alternativna goriva s najviše potencijala, kao i njihov utjecaj na određene faktore u zrakoplovstvu.

Svrha diplomskog rada je objasniti postojeće alternativne pogone, te potencijalne koje su još u fazi razvijanja, objasniti njihov utjecaj, način proizvodnje, prednosti i nedostatke, te implementaciju u zrakoplove. Cilj istraživanja je doći do spoznaje koji alternativni pogoni će najviše utjecati na zračni prijevoz i kakvu će svrhu imati.

Diplomski rad se sastoji od 6 poglavlja:

1. Uvod

2. Vrste alternativnih goriva

3. Utjecaj alternativnih pogonskih sustava na performanse zrakoplova

4. Tehnički, ekološki i ekonomski čimbenici

5. Razlike između tradicionalnih i alternativnih pogonskih sustava

6. Zaključak

U uvodu je definiran predmet istraživanja diplomskog rada. Prikazani su svrha i cilj, te podjela rada po poglavljima.

U drugom poglavlju, nabrojane su vrste alternativnih goriva koje imaju najviše potencijala da u potpunosti zamjene konvencionalna goriva, objašnjen je njihov način dobivanja, načini implementacije u zrakoplove i njihovo djelovanje na konstrukciju zrakoplova.

U idućem poglavlju naziva "Utjecaj alternativnih pogonskih sustava na performanse zrakoplova" analiziraju se performanse regionalnog zrakoplova na konvencionalni pogon i zrakoplova na alternativne pogone.

Četvrto poglavlje objašnjava tehnički, ekološki i ekonomski utjecaj implementacije alternativnih goriva u zračnom prometu.

U petom poglavlju prikazane su glavne razlike između tradicionalnih i alternativnih pogonskih sustava.

U posljednjem poglavlju, sumiraju se i donose zaključci o analiziranim tvrdnja ovog rada.

2. Vrste alternativnih goriva

Održivo zrakoplovno gorivo (engl. *Sustainable aviation fuel - SAF*) glavni je izraz koji zrakoplovna industrija koristi za opisivanje nekonvencionalnog zrakoplovnog goriva. IATA preferira taj izraz, ali prihvaća i ostale izraze koji se koriste za takva goriva kao što su: alternativna goriva, održiva alternativna mlazna goriva, obnovljiva mlazna goriva, zbog toga što se goriva također mogu proizvoditi i ostalih nebioloških i kemijskih izvora [1].

Termin koji se također koristi je biogorivo, ali on se odnosi na goriva koja su proizvedena iz bioloških resursa, najčešće biljnih materijala. ICAO definira alternativno gorivo:"svako gorivo koje ima potencijal stvaranja nižih emisija ugljika od konvencionalnog kerozina na temelju životnog ciklusa". ICAO koristi izraz alternativno gorivo svako gorivo koje nije na bazi nafte, što uključuje tekuće gorivo iz ugljena, te gorivo proizvedeno iz prirodnog plina, ali njihova sama proizvodnja emitira jednako ili više štetnih tvari nego što se emitira u proizvodnji goriva iz nafte [2].

Cilj zračnog prometa je da se u budućnosti potpuno koriste goriva koja ne emitiraju štetne tvari.

Trenutno najznačajnije točke u korištenju ovakvog tipa goriva su:

- 2008. odrađen prvi probni let na biogorivo, let je obavljen od strane Virgin Atlantica,

- Početkom 2016. godine u Oslu na zračnoj luci započinje redovna opskrba biogorivom kroz zajednički sustav napajanja,

- Također 2016. godine United Airlines postaje prvi zrakoplovni prijevoznik koji uvodi biogorivo u redovno poslovanje,

- Do sada je obavljeno više od 300 000 komercijalnih letova na ovaj vid pogona [1].

Održiva biogoriva koja imaju iste kemijske i fizičke karakteristike kao i tradicionalna mlazna goriva, te mogu se sigurno miješati u različitim omjerima s mlaznim gorivom, a nije nužna prilagodba zrakoplova i motora, zovu se „*drop-in*" goriva. To znači da se takva goriva mogu ugraditi u postojeće sustave za opskrbnju gorivom na zračnim lukama bez ikakvih preinaka. Da bi

termin " održiv " se mogao koristiti potrebno je zadovoljiti određene kriterije održljivosti kao što su smanjenje emisije ugljika u životnom ciklusu, ograničenih zahtjeva za slatkom vodom, nema konkurencije s potrebnom proizvodnjom hrane (poput biogoriva prve generacije) i nema krčenja šuma [1].

Smatra se da su održiva zrakoplovna goriva ključni faktor u smanjenju emisija ugljika vezanih za zračni promet, ovisno o vrsti goriva trenutno moguće je smanjenje do 80% CO2 u usporedbi s mlaznim gorivom. Postotak smanjenja ovisi o sirovini od koje se dobiva održivo gorivo te načinu proizvodnje. IATA je u svibnju 2019. godine objavila svoj strateški plan za razvoj održivih goriva i čine ga industrijske radnje i uloge vlada [1].

Industrijske radnje podrazumijevaju:

- Plan rada industrije koji je izdan 2015. godine i ističe praksu za usvajanje i razvoj tehnologije, pravila i propise, ekonomske faktore, održivost.

- Omogućiti materijale sa smjernicama o najboljoj praksi koji se odnosi na:

  -standard održivosti,

  -računovodstvene postupke,

  -logistiku,

  -komunikaciju,

  -učinkovitu politiku,

  -razvoj poslovanja.

- Imati utjecaja na političke pregovore da se zrakoplovstvo može uključiti u postojeće politike zemaljskog prometa.

Uloge vlade po IATA-i bi trebale biti sljedeće:

- Usvajanje globalno priznatih standarda održivosti i njihovom usklađivanju,

- Osiguranje većih poticaja za zračni promet,

- Pružanje podrške razvojnim proizvođačima, te istraživačkom sektoru za zrakoplovna održiva goriva,

- Uvođenje politika koje umanjuju rizike ulaganja u proizvodnju alternativnog zrakoplovnog goriva,

-Poticati javno-privatna partnerstva proizvođača alternativnog zrakoplovnog goriva [1].

Također gore navedene radnje su izložene i određenim izazovima i mogućnostima:

- Optimizacija procesa proizvodnje biogoriva, čija je proizvodnja još uvijek skuplja od fosilnih Jet A/A1 goriva,

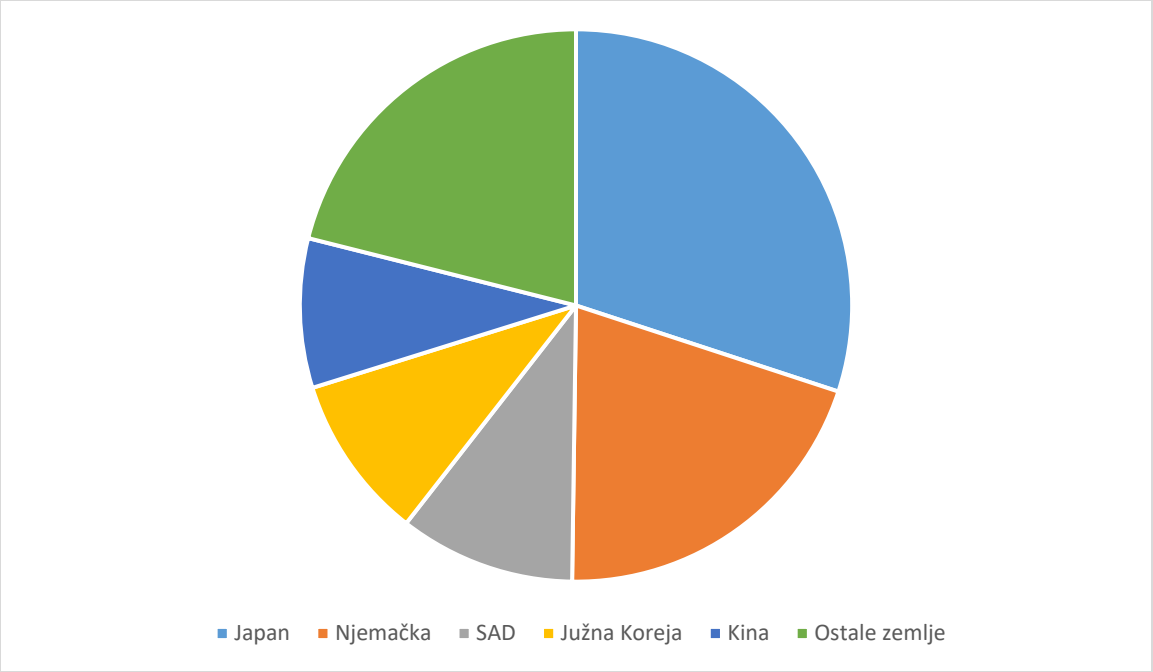
- Planiranje nekih zemalja da potpuno ukinu korištenje fosilnih goriva, što bi zahtijevalo strateški plan ulaganja za razvoj alternativnih goriva,

- U SAD-u kombinacijom poticaja, kao što je Standard za obnovljiva goriva, potpora za izgradnju novih tehnologija proizvodnje te poticaja za poljoprivredu može održivo zrakoplovno gorivo približiti konvencionalnom gorivu po cijeni [1].

2.1. Vodik

Vodik je najrasprostranjeniji element u svemiru, nalazimo ga u plinovitom stanju zbog svoje temperature ključanja od -253 ° C. Kao gorivo se koristi u tekućem stanju, te je takav već zastupljen u cestovnom i željezničkom prometu. Tako je 2018. godine bilo 381 benzinska postaja za punjenje vodika za automobile [4].

Najveći broj postaja se nalazi u Japanu, dok su ostale države sa većim brojem postaja Njemačka, Francuska, SAD, Južna Koreja i Kina [5]. Grafikon 1. prikazuje broj lokacija opskrbnih stanica.

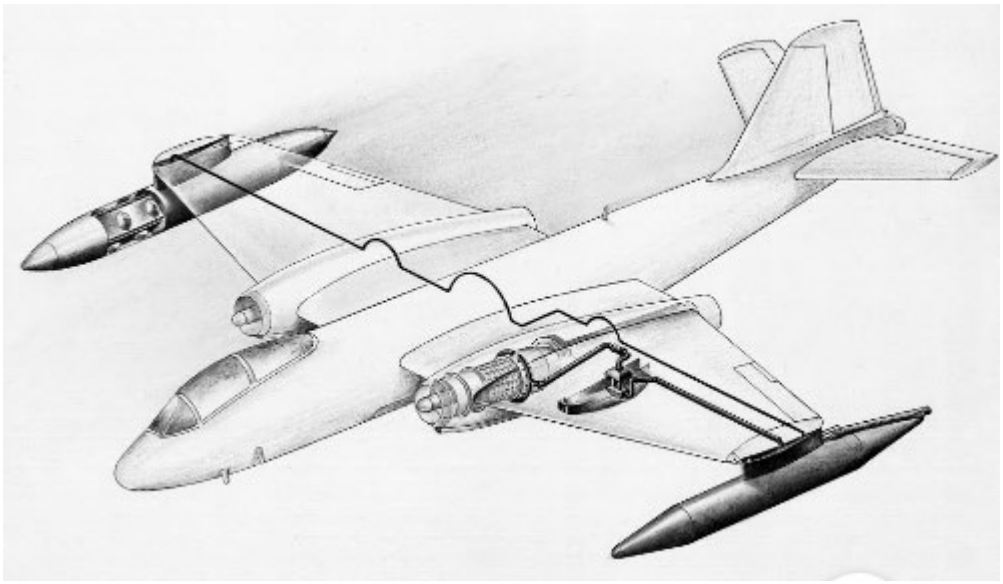


Grafikon 1. Broj opskrbnih stanica vodikovim gorivom

Izvor:[5]

Više od 11 000 automobila opskrbljuju postaje. Također trenutno postoji oko 500 putničkih autobusa, 400 kamiona, 100 kombija i više od 25 000 viličara. Prognoza je da do 2030. godine tržište ovakvih vozila poraste između 600 000 i 2,5 milijuna [4].

Ideja kao vodika kao pogonskog sredstva u zračnom prometu je počela još 60-ih godina 20. stoljeća kada je zrakoplov Martin-B57B letio 20 minuta sa dva Wright J65 motora, od kojih je jedan bio pogonjen na vodik [6]. Slika 1. prikazuje skicu Martin-B57B.



Slika 1. Skica Martin-B57B

Izvor: [6]

Tupolev je krajem 20. stoljeća poletio sa Tu-155, koji je zapravo bio prerađeni Tu-154, i to je bio prvi eksperimentalni zrakoplov na vodik [7]. Na slici 2. je prikazan Tu-155.



Slika 2. Tupolev Tu-155

Izvor: [6]

Početkom 21. stoljeća počinje konkretniji razvoj zrakoplova koji koriste vodik kao pogonsko sredstvo. Tako su u Airbusu prošle godine objavili da planiraju do 2035. proizvesti komercijalni zrakoplov sa nultom emisijom štetnih plinova, program se zove ZEROe i planiraju proizvesti tri različita koncepta zrakoplova na vodikov pogon:

- *Turbofan* zrakoplov - dva hibridno-vodikova ventilatorsko-mlazna motora koji osiguravaju potisak. Iza stražnje pregrade bi se nalazio sustav za skladištenje i distribuciju vodika. Ovaj dizajn bi imao kapacitet između 120 i 200 putnika, te planiranim doletom više od 2000 milja trebao bi pogodan za međukontinentalna putovanja.

- *Turboprop* zrakoplov – dva hibridno-vodikova elisno-mlazna motora koja bi pokretala propelere sa osam lopatica, također kao i kod turbofan sustav za skladištenje i distribuciju bi se nalazio iza stražnje pregrade. Planirani kapacitet kabine je 100 putnika, te bi imao dolet oko 1000 milja.

- *Blended-wing body* (BWB) - Spremnici tekućeg vodika bi se nalazili ispod krila, a potisak bi se dobivao iz dva hibridno-vodikova ventilatorsko-mlazna motora. Pokretali bi se izgaranjem vodika putem modificiranih motora s plinskim turbinama. Tekući vodik koristi se kao gorivo za izgaranje s kisikom. Ovaj tip zrakoplova bi imao kapacitet do 200 ljudi te zbog širokog trupa bi imali više mjesta za spremnike sa vodikom [8].

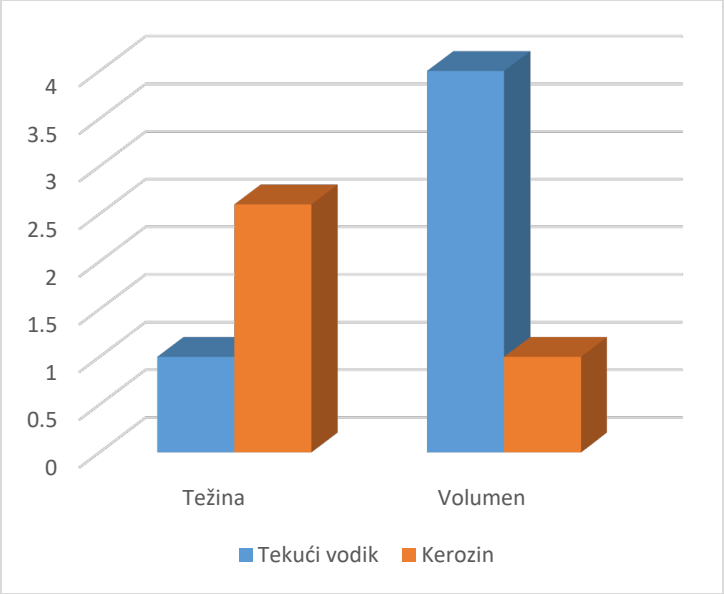


Slika 3. Prikaz tri potnecijalna izgleda Airbusovih zrakoplova

Izvor: [8].

2.1.1. Vodik kao pokretač plinske turbine

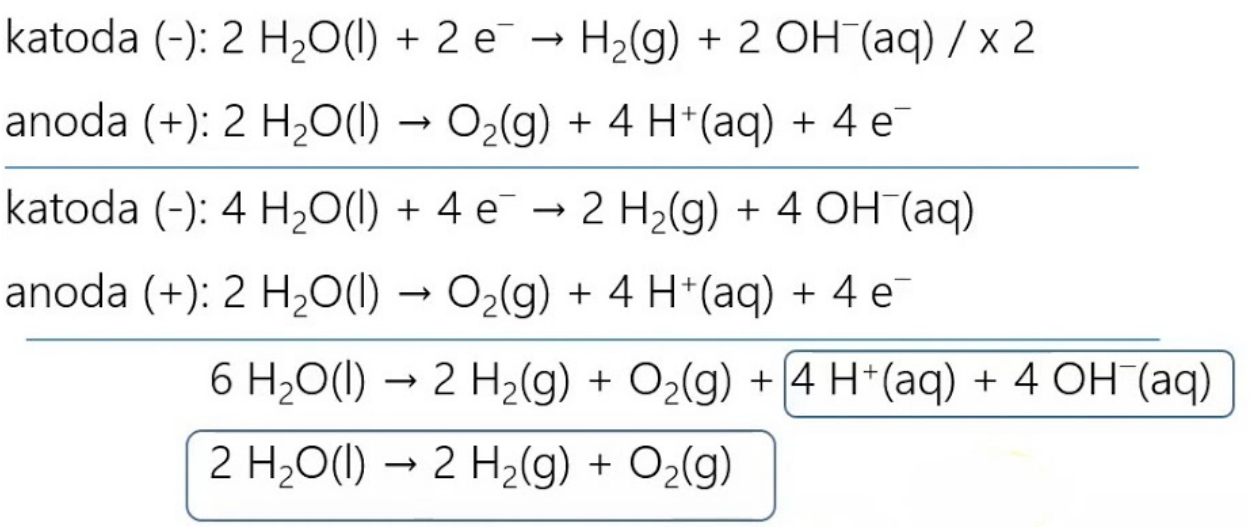
Vodik u tekućem obliku posjeduje oko 2,6 puta više energije po kilogramu od kerozina, ali također volumenski zauzima oko 4 puta više prostora od kerozina, što zahtjeva veće spremnike za gorivo te prilagođavanje izgleda zrakoplova [4]. Prikaz odnosa između volumena i težine je prikazan na Grafikonu 2.



Grafikon 2. Odnos tekućeg vodika i kerozina u težini i volumenu

Izvor: [4]

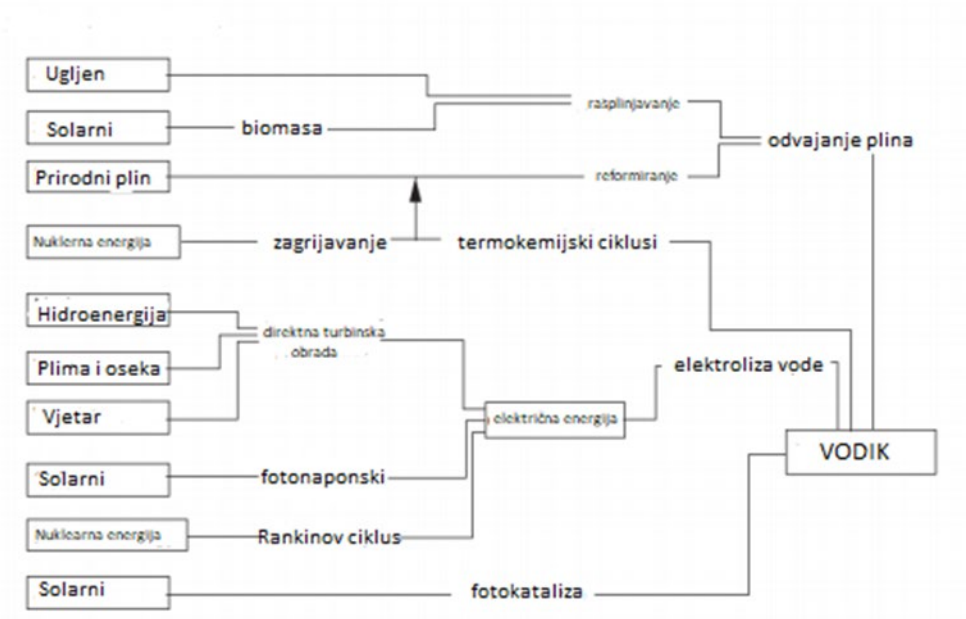
Vodik je teško naći kao samostalan kemijski element jer je lagan i pluta, pa ga najčešće nalazimo vezanog kemijskim spojevima sa drugim elementima. Za izdvajanje iskoristivog atoma vodika najčešće se koriste procesi elektrolize vode (Slika 4.) [4, 9].



Slika 4. Elektroliza vode

Izvor:[9]

Ako koristimo električnu energiju iz alternativnih izvora, kao što su solarni paneli, vjetar, za proizvodnju vodika tada postoji mogućnost potpuno zatvoren i ekološki prihvatljiv ciklus. Na slici 5. su prikazani neke od mogućnosti izdvajanja vodika [4].



Slika 5. Određene sirovine i procesi za proizvodnju vodika

Izvor: [4]

Vodik pri svom sagorijevanju kao nusprodukt proizvodi samo vodenu paru, što vodiku daje veliki potencijal sa ekološke strane. Korištenje vodike kao pokretača plinske turbine umjesto goriva bi bilo praktičnije za dulje relacije dok pogon na električnu energiju koja se dobije iz vodika, za kratke i srednje relacije. Temperatura pri kojoj se vodik samozapaljuje je 550 °C, što je više od kerozina kojem je temperature samozapaljenja 220 °C. Vodik, koji je lakši od zraka oko 14 puta što mu omogućuje da se pare, dižu i raspršuju, umjesto da se zadržavaju na zemlji. Problem nastaje kada vodik krene gorjeti jer je vodik plin bez mirisa te ima nevidljiv plamen, što otežava otkrivanje curenja plina. Molekula vodika je relativno mala što stvara također problem curenja kroz male pukotine koje se teško otkrivaju [4].

Glavne opasnosti od vodika su:

- opasnost od izgaranja,
- opasnost od tlaka,
- ozljede vezane sa rukovanjem vodika.

Opasnost od izgaranja: Vodik je jako zapaljiv plin, tako da postoji opasnost od požara, kada se pomiješa sa oksidantom te dolazi do kontakta sa izvorom paljenja, također se može dogoditi da je njegov sustav nepravilan te se pomiješa sa oksidantom te tvori zapaljivu smjesu, dolazi do curenja ili miješanja u jednom ili drugom sustavu sa oksidansom te se također stvara zapaljiva smjesa [10].

Opasnost od tlaka: Vodik kao element se jako brzo, pri normalnoj temperaturi i tlaku pretvara iz tekućeg u plinovito stanje što može izazvati: značajnu deformaciju i oslobađanje vodika, pucanje spremnika pod tlakom. Vodik u plinovitom stanju posjeduje mogućnost tlačenja, a stlačeni plin može imati veliku potencijalnu energiju [10].

Ozljede vezane s vodikom: mnogobrojne su moguće ozljede kojima može biti uzrok nepravilno rukovanje sa vodikom. Najčešće moguće su:

- gušenje,
- detonacije vodika pod tlakom,
- ozebline,
- hipotermija,
- opekline,
- ozljede od fragmenata [10].

Do gušenja dolazi kada vodik ili plinovi koji se koriste za čišćenje spremnik istisnu kisik.

Ozebline nastaju kada se dođe u kontakt sa hladnim tekućim vodikom.

Hipotermija dolazi kao posljedica izlaganju hladnom okruženju (izlijevanje tekućeg vodika) te se tjelesna temperatura značajno snizi.

Opekline nastaju ako se dođe u izravan kontakt sa vodikovim plamenom, bilo direktno, toplinskim zračenjem ili dodirom sa površinom koja je ugrijana vodikovim plamenom.

Ozljede nastale od fragmenata najčešće se događaju kada dođe do eksplozije smjese koja prouzrokuje pucanje i raspršavanje spremnika u kojem se vodik nalazio.

Potrebno je naglasiti da korištenjem zaštitne, izolirane opreme opasnost od ozljeda povezanih sa vodikom se značajno smanjuje. Također velika većina današnjih sustava povezanih sa vodikom maksimalno isključuje izravnu izloženost osoblja vodiku [10].

Izmjene u motorima koje planiraju biti na vodikov pogon će biti potrebne. Promjene uključuju pumpe za gorivo, nove cijevi, posebni sustavi za punjenje goriva, te ventili za regulaciju. Spremnici u kojima se planira skladištiti vodik, zbog njegove niske temperature skladištenja , će morati biti kvalitetno izolirane. Prostor na kojem će se nalaziti ti spremnici nije još jasno definiran, mogućnost skladištenja u krilima nije opcija zbog nedovoljne mogućnosti dobre izolacije, također će se morati i paziti na aerodinamičke karakteristike pri pozicioniranju skladišnog prostora. Također kao nusprodukt vodikovi motori proizvode vodenu paru, koja je stakleнički plin pa bi velike količine mogle predstavljati određeni problem. Taj problem se može riješiti ograničavanjem visine leta, jer vodena para djeluje kao stakleнički plin samo na visinama višim od 10 kilometara [10].

Tekući vodik kao jedna od ideja alternativnog goriva, kao i svaka dolazi sa određenim prednostima i nedostatcima.

Najznačajnije prednosti tekućeg vodika kao pogonskog goriva su: mogućnost izdvajanja iz obnovljivih vidova energije, mogućnost stvaranja potpuno zatvorenog ciklusa jer njegov nusprodukt je voda, a može se proizvesti putem elektrolize, također sa obzirom na masu daje visoku energiju koja bi dala zrakoplovima veći dolet ili veću nosivost [10].

Njegovi najveći nedostatci su:

- potrebno ga ohladiti u tekućinu što stvara problem oko volumena jer u tekućem stanju mu je potreban 4 puta veći spremnik od mlaznog goriva za istu količinu energije,

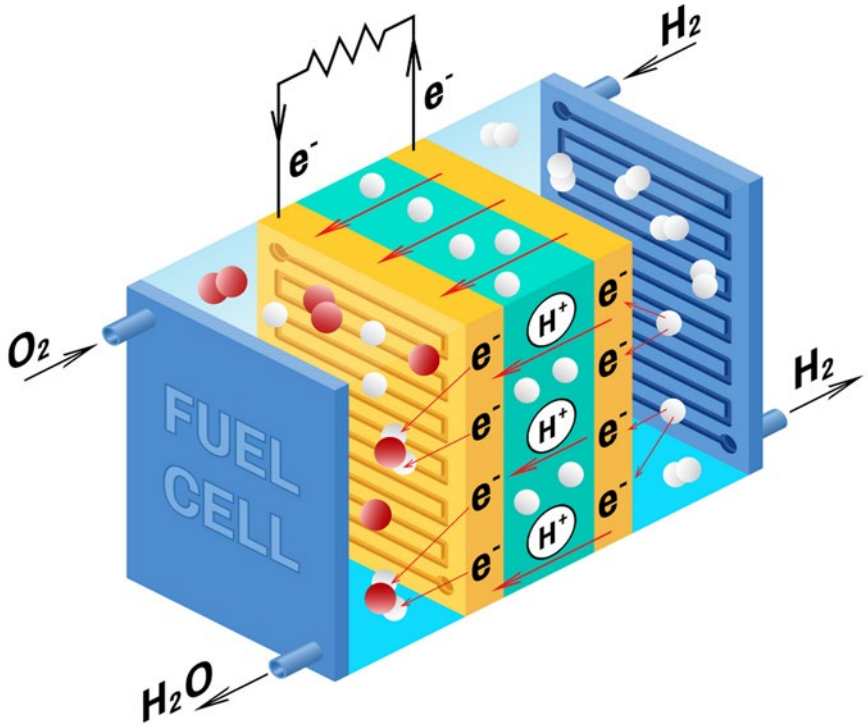
- potrebna je jako dobra i kvalitetna izolacija samih spremnika te cijevi,

- samo rukovanjem vodikom predstavlja potencijalnu opasnost od ozljeda; te bit će potrebna nova konfiguracija zrakoplova [10].

2.1.2. Vodik kao gorivna ćelija

Također vodik može imati svoju primjenu kao alternativno pogonsko sredstvo za gorivnu ćeliju iz koje električna energija pokreće elektromotor. Elektrokemijskom reakcijom gorivna ćelija pretvara energiju, koja je u molekulama, u električnu energiju. Princip rada vodikove gorivne ćelije je sljedeći: Preko anode vodik dolazi u gorivu ćeliju, tu reakcijom s katalizatorom se dijele na protone i elektrone. Dok preko katode iz okolnog zraka dolazi kisik. Negativno nabijeni elektroni

istječu iz gorivne ćelije te stvaraju električnu struju pomoću koje se može vršiti napajanje hibridnog pogonskog sustava ili isključivo električnog. Dok pozitivno nabijeni protoni dolaze do katode preko membrane gdje se miješaju sa kisikom i stvaraju kao nusprodukt vodenu paru [11]. Taj proces je prikazan na Slici 6.



Slika 6. Izgled i princip rada gorive vodikove ćelije

Izvor:[11]

Gorivne ćelije imaju svojih prednosti, među njima se ističu:

- nije im potrebno puniti,
- posjeduju mogućnost proizvodnje električne energije sve dok postoji izvor vodika kao goriva,
- tihe su jer nemaju pokretnih dijelova,
- nusprodukt proizvoda je voda,

- pogodne su za zrakoplove kratkih i srednjih relacija, te za bespilotne letjelice za međugradsku i gradsku vožnju (u vidu letjelica koje bi obavljale dostavu paketa),imaju
- mogućnost obavljanja i obratnog procesa, pretvaranje iz vode u vodik i kisik, tada rade kao elektrolizator, provjerene su i testirane kao pomoćne jedinice pogona [11].

Kao njihovi najveći nedostaci uzimaju se problemi i opasnosti jer je potrebno rukovanje vodikom i još uvijek ne mogu osigurati dovoljno energije koja bi pogonila zrakoplove na dulje relacije.

Treba naglasiti da se ovaj način dobivanja energije se testira u zrakoplovstvu ali za napajanje svih nepogonskih jedinica, takav pristup bi olakšao opterećenje motora, čime bi zrakoplovi postali učinkovitiji u potrošnji goriva [12].

2.2. Električna energija kao pogonsko sredstvo

Osim iz vodika električna energija se može dobiti iz drugih izvora, od kojih se ističu solarni paneli i baterije. Program Airbusa E-Fan X 2017. godine pokreće demonstrator u kojem je jedan od četiri mlazna motora zamijenjen električnim motorom od 2MW. Do 2020. godine program je ispunio tri glavna cilja:

- Lansiranje i testiranje mogućnosti i ograničenja serijskog hibridno-električnog pogonskog sustava.
- Stjecanje korisnih uvida za daljnji razvoj ovog tipa pogona i ekološko poboljšanje,
- Postavljeni su temelji za napredak implementacije ovog tipa pogona u komercijalne zrakoplove [13].

Slika 7. Prikazuje potencijalni izgled E-Fan X.



Slika 7. E Fan X

Izvor: [13]

U travnju 2020. godine, zajedno sa Rolls-Royce-om, Airbus donosi odluku da okončaju program [13]. Airbus zajedno sa najpoznatijim svjetskim promotorom zračnih utrka, razvija program Air Race E, koja bi trebala biti prvo svjetsko natjecanje potpuno električnih zrakoplova [14]. Izgled letjelice za zračne utrke prikazan je na Slici 8.



Slika 8. Letjelica namjenjena Air Race E utrkama

Izvor: [15]

Propozicije natjecanja će se ugledati na Air Race 1, jednog od poznatijih natjecanja zrakoplova. Natjecanje će predstavljati revoluciju u zračnim utrkama i samom razvoju električnog pogona u zračnom prometu. Cilj ovog programa je razvoj bržih, čišćih tehnološki naprednijih električnih zrakoplova, čemu je krajnji cilj implementacija u komercijalne zrakoplove [15].

Prošle godine slovenski proizvođač Pipistrel, za svoju letjelicu Velis Electro postaje prvi proizvođač koji je dobio certifikat od EASA-e (engl. *European Union Aviation Safety Agency*) za potpuno električnu letjelicu. Velis Electro je dvosjed, ima propisano maksimalno vrijeme leta od 50 minuta, dužine 6,47 metara, te raspon krila od 10,7 metara [16]. Švedski tvrtka Heart Aerospace pokrenula je projekt ES-19, potpuno električni zrakoplov sa kapacitetom od 19 mjesta i doletom od 400 kilometara. Prvi let je planiran 2024. godine [17].

2.2.1. Solarni paneli

Solarni paneli, tj. uređaji koji služe za prikupljanje sunčeve svjetlosti koja bi se pretvorila u električnu energiju, je potpuno obnovljivi izvor energije. Ovaj vid alternativnog goriva već se koristi. Airbus radi na razvijanju bespilotnih letjelica koja bi isključivo uz sunčevu energiju imala

mogućnost dugog ostanka u stratosferi [18]**.** Tako imaju svoj program Zephyr (Slika 9), koji predstavlja bespilotnu letjelicu, raspona krila 25 metara koja se pokreće na solarnu energiju, ali i sa sekundarnim baterijama koje se pune preko dana da bi se mogao kretati i po noći [19].



Slika 9. Letjelica Zephyr

Izvor: [19]

Također jako bitan projekt za razvoj ovog vida alternativnog goriva je Solar Impulse, privatni projekt koji je za cilj imao kreirati prvi zrakoplov koji će koristiti isključivo sunčevu energiju za putovanje oko Zemlje. Urađena su dva projekta zrakoplova, Solar Impulse 1 i Solar Impulse 2. Upravo je Solar Impulse 2 u razdoblju od nešto manje od godinu i pol obišao Zemlju, sa pilotima i pokretačima projekta Andreom Borschbergom i Bertrandom Piccardom. Solar Impulse 2 je jednosjed, tako da su Borschberg i Piccard naizmjenice odrađivali dionice leta kojih je na kraju bilo 17. Ukupno vrijeme leta je iznosilo 558 sati i 6 minuta. Solar Impulse 2 je dugačak 22 metra, ima raspon krila od 71 metra te je postizao maksimalnu brzinu od 140 km/h. Solarni paneli su pokrivali ukupno 269m2 nalazeći se na krilima, trupu i repu zrakoplova [20]. Na slici 10. je prikazan Solar Impulse 2 na svojoj misiji.

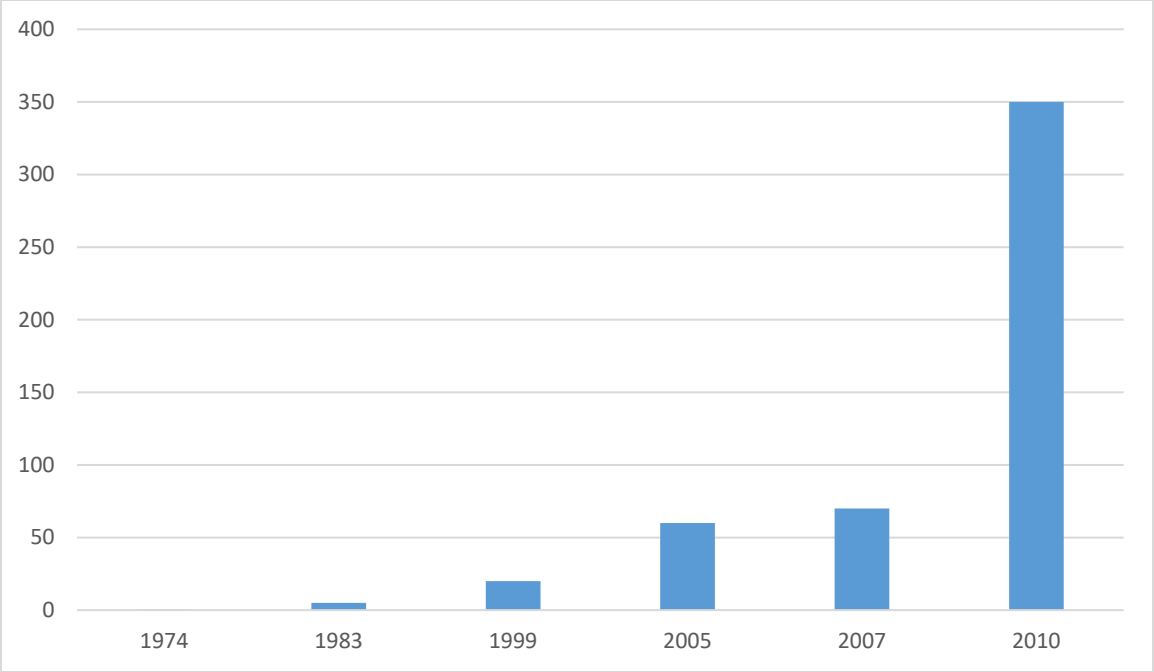


Slika 10. Solar Impulse 2

Izvor: [20]

Trenutno najveći problem solarnih panela je taj što njihova učinkovitost još uvijek nije dovoljna da bi se koristila u zrakoplovima velike nosivosti, stoga je ova tehnologija pogodna za komercijalne zrakoplove male nosivosti na velikim visinama. Airbus radi na razvijanju novih tipova solarnih panela koji po m2 bi apsorbirali više sunčeve energije što smanjuje ovisnost u uvjetima sunčevih zraka te bi let po noći se produžio [19].

Na grafikonu 3. je izražena izdržljivost panela koje koriste letjelice na solarni pogon do 2010. godine, vidljivo je da izdržljivost izražena u satima leta od 2007 do 2010. godine povećala više od 4 puta [21].



Grafikon 3 Izdržljivost solarnih ltjelica u satima leta

Izvor: [21]

2.2.2. Baterije

Baterije se koriste za skladištenje električne energije. Današnje baterije se uglavnom temelje na litijevim tehnologijama te su punjive. Dok su se u prošlosti, prije njihovog pojavljivanja, uglavnom koristile olovne baterije koje su posjedovale ogromnu težinu i nisu bile praktične. Za opće zrakoplovstvo korištenje baterija je vrlo ograničeno zbog energije skladištenja električne energije koja je 2018. godine iznosila 2% skladišne energije zrakoplovnog goriva. Također je procijenjeno da litij-ionske baterije daju u prosjeku 160 Wh/kg dok zrakoplovno gorivo daje 12 500 Wh/kg. Litij-ionske baterije se razvijaju, tako da su 2019. godine najkvalitetnije baterije ostvarivale do 300 Wh/kg što je dovoljno za male zrakoplove, čime bi se smanjili operativni troškovi na kratkim letovima. Sa razvojem tehnologije pojavljuju se nove baterije od kojih se ističu: litij-zrak baterije, litij-sulfat baterije, cink-zrak baterije, aluminij-zrak, litij-sumpor, magnezijevi ioni, grafen. U tablici 1. su prikazani trenutne specifične gustoće energije akumulatora, maksimum koji teoretski može ostvariti, te očekivano povećanje do 2025. godine [21].

	Teorijski maksimum specifične gustoće energije (Wh/kg)	Trenutačni maksimum specifične gustoće energije (Wh/kg)	Očekivanja do 2025. godine (Wh/kg)
Litij-ion	390	300	350
Cink-zrak	1090	442	500
Litij-sumopr	2570	375	1250
Litij-zrak	3500	362	1750

Tablica 1

Izvor: [21]

Pogon isključivo na baterije je pogodan i često korišten za male letjelice na daljinsko upravljanje, te se u njima koriste litij-ionske baterije zbog toga što su se pokazale najpouzdanije i imaju najrazvijeniju tehnologiju. U usporedbi sa motorima sa unutarnjim izgaranjem električni pogon ima povoljniju mehaničku učinkovitost zbog manjeg broja pokretnih dijelova i pojednostavljene mehanike. Sustavi se sastoje od sljedećih komponenata: propeler, električni motor, baterije, utikača, priključaka, opcijskog sustava hlađenja. Ovi sustavi se dijele na aktivne i pasivne, koji ovise o vrsti veze između baterije i električnog stroja. Baterije imaju nisku gustoću energije što povećava udio ukupne gustoće pogonskog sustava u ukupnoj gustoći, što je prikazano na tablici 1. Zrakoplov sa isključivim pogonom na baterije može ostvariti učinkovitost od 73% računajući učinkovitost svake komponente pojedinačno. Tablica 2. prikazuje osnovne karakteristike najzastupljenijih baterija [22].

	Pb-kiselina	Ni-Cd	Li-ion	Li-S	Li-Zrak	Zn-zrak
Masa jedne baterije (kg)	35	39,39	29,5	2,95	4,73	4,22
Broj baterija po životnom ciklusu	2,86	2,86	1	1,43	40	40
Ukupna težina baterija po životnom ciklusu	100,02	112,53	29,5	4,22	189,04	168,79
Iskorištenost baterije (%)	43,49	31,79	47,49	68,06	16,14	18,32

Tablica 2

Izvor: [22]

Za uspješno proširenje električnih zrakoplova ključni faktori poboljšanje gustoće energije i tehnologije, bez obzira na povećanje učinkovitosti komponenti sustava. Trenutno je glavni cilj masovna implementacija pogona na baterije u bespilotne zrakoplove.

2.3. Biogoriva

Još jedna zamjena održivog zrakoplovnog goriva za fosilna goriva koja je jako rasprostranjena i u uporabi su biogoriva. Širok je spektar materijala iz kojih se može dobiti biogorivo: iskorišteno ulje za kuhanje, poljoprivredni, šumski te komunalni otpad koji se može reciklirati, nejestivo bilje, otpad iz plinova koji se industrijski obrađuju. Korištenje takvih biogoriva emisije CO2 se mogu smanjiti do 80% u komparaciji sa tradicionalnim, fosilnim gorivima. Zbog toga što prethodno navedena potencijalna alternativna goriva nisu još masovno dostupna ili su u fazi razvoja, biogorivo predstavlja trenutno rješenje u vidu smanjenja štetnih plinova. Da bi biogorivo se moglo smatrati održivim i koristiti potrebno je da ispunjava tri bitna elementa:

- da ispunjava ekonomske, društvene i ekološke ciljeve u vidu isplativosti konstante proizvodnje i ne narušavajući prirodnu ekološku ravnotežu,
- da se proizvodi od tvari i materijala koja ne koriste tradicionalne fosilne izvore (nafta, prirodni plin i ugljen), i da je sam način prerade u mlazno gorivo alternativno,
- da za korištenje u komercijalnom zrakoplovstvu ispunjava certifikacijske i tehničke zahtjeve ispunjava tehničke i certifikacijske [3].

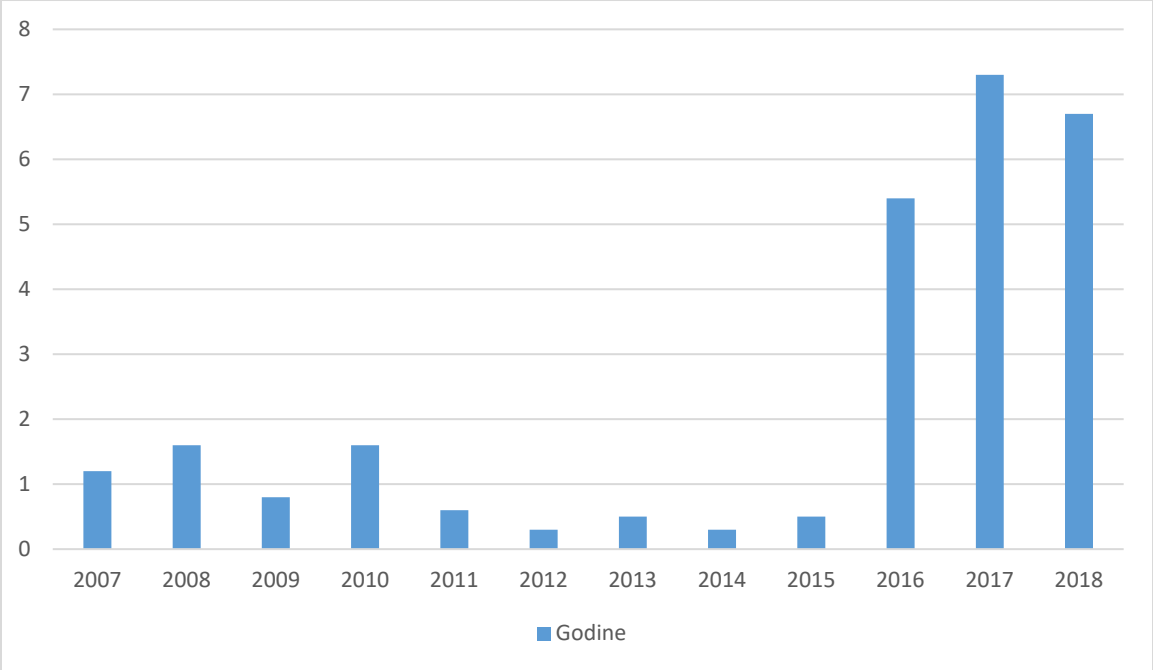
Karakteristike nekih od najznačajnijih sirovina za proizvodnju biogoriva uključuju:

- Alge se smatraju jednom najperspektivnijih sirovima za proizvodnju većih količina biogoriva. Alge su mikroskopske biljke koje uspijevaju uz CO2, te u zagađenim vodama, rubovima pustinja, na terenima koji nisu pogodni za uzgajanje hrane. Prednost za njihovu proizvodnju ulja je brzina rasta, smatra se da po četvornom kilometru može proizvesti do 15 puta više ulja od ostalih usjeva za proizvodnju biogoriva. Dosadašnji razvoj algi kao biogoriva ostaje samo na njenom potencijalu zbog toga što nisu zahvatile globalnu primjenu.,
- Komunalni čvrsti otpad uključuje otpad koji nastaje u domaćinstvima u što možemo ubrojiti: pokošenu travu, namještaj, ostatke hrane, plastične boce, papirni otpad, odjeću.

Zbog velike količine otpada koji stvaraju ljudi pojavljuje se i veliki potencijal u komunalnom čvrstom otpadu za proizvodnju biogoriva. Također celulozni otpad kao se može preraditi u sintetičko gorivo. Korišteno ulje za kuhanje: obično dolazi iz biljne ili životinjske masti koja se koristila za kuhanje i više se ne može koristiti za daljnje kuhanje.,

- Kamelina je biljka koja proizvode značajne količine ulja koje se može iskoristiti za proizvodnju biogoriva. Također nakon procesa izdvajanja ulja ostatak se može koristiti kao hrana za životinje. Kamelina je jednogodišnja biljka, brzorastuća koja se često uzgaja unutar iste godine zajedno sa određenim žitaricama jer kamelina ima takvo djelovanje na tlo za smanjuje izlaganje tla korovom i štetočinama [23].

Biogoriva nude raznolike načine proizvodnje iz neprehrambenih izvora što im omogućuje da se nude kao alternativa tradicionalnim gorivima. Proizvodnja biogoriva je u naglom rastu kao što je vidljivo iz Grafikona 4.

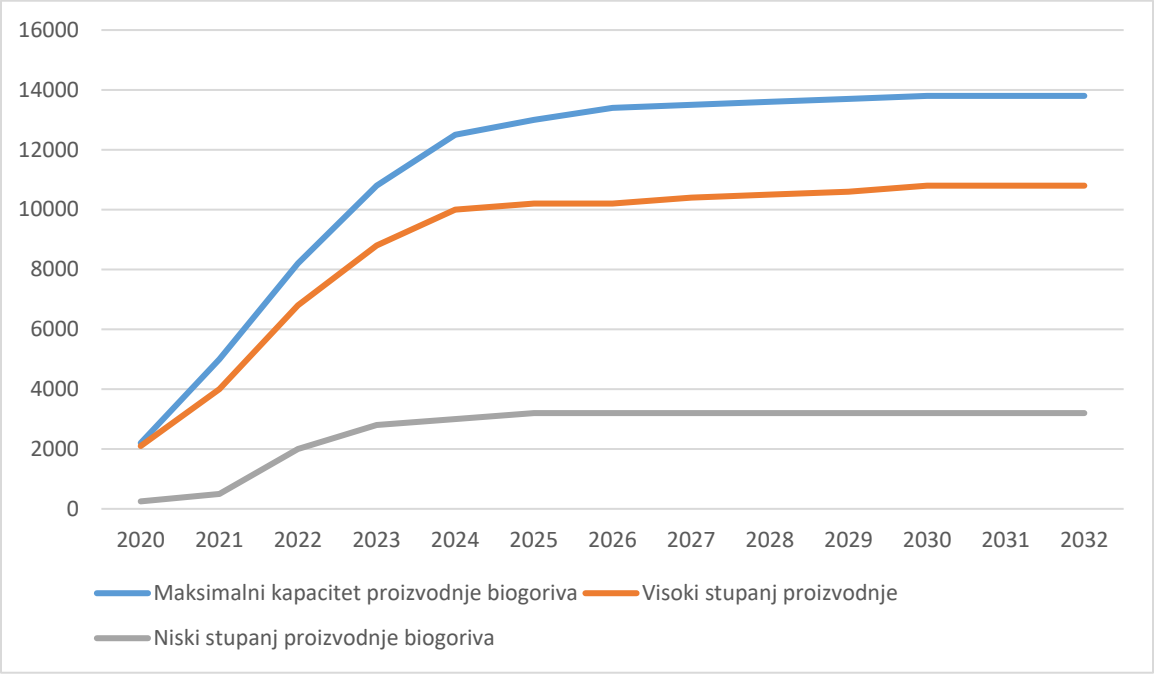


Grafikon 4 Proizvodnja biogoriva u milijunima litara

Izvor: [24]

Iz Grafikona 4. je vidljivo da je od 2007. do 2015. godine prosječna količina proizvedenog biogoriva iznosila 0,29 milijuna litara, dok je u tri godine, od 2016. do 2018. proizvodnja skočila na prosječno 6,45 milijuna litara godišnje [24].

Grafikon 5. prikazuje predivđanja maksimalnog kapaciteta proizvodnje biogoriva do 2032. godine.



Grafikon 5. Predviđanje poizvodnje biogoriva

Izvor: [21]

Na Grafikonu 5. je prikazano predviđanje maksimalnog kapaciteta do 2023. godine u iznosu od 13,6 milijardi litara, ali zbog razvoja ostalih alternativnih goriva moguće je smanjeno ulaganje u biogoriva pa su prikazani mogući visoki i niski stupanj proizvodnje [24].

Prvi proizvođač koji krenuo u realizaciju održivih alternativnih goriva je bio Boeing. Još od 2008. godine surađujući sa zračnim prijevoznicima, proizvođačima motora, vladama, institucijama koje se bave istraživanjima biogoriva, Boeing radi na provođenju probnih letova zrakoplova na biogorivo. Taj program Boeing naziva ecoDemonstrator te dobiva odobrenje 2011. godine i iste godine Boeing 747 u vlasništvu Virgina obavlja prvi komercijalni let na relaciji London – Amsterdam koji je koristio mješavinu biogoriva, dobivenog iz ulja babasua i kokosovog ulja, i konvencionalnog goriva. 2012. godine Airbus, Boeing i Embraer potpisuju memorandum o zajedničkom radu na razvijanju i implementaciji prihvatljivih biogoriva [25]. Kroz program ecoDemonstrator ove godine Boeing svom partneru Alaska Airlinesu isporučuje Boeing 737- 9 (Slika 11) da ga kroz različite projekte testira [26].



Slika 11. Boeing 737-9

Izvor: [21]

Trenutno samo određena biogoriva su prikladna za miješanje sa kerozinom jer su odobrena od strane Američkog društva za ispitivanje i testiranje (ASTM) i ona su prikazana u Tablici 3 [3].

Proces	**Maksimalni udio (%)**
Fischer-Tropshc u sintetički parafinski kerozin/aromati	50
Hidroprerađeni esteri i masne kiseline u sintetički parafinski kerozin	50
Izravni šećer u ugljikovodike ili hiroprerađivanje fermentiranjih šećera u sintetički izo-parafinski kerozin	10
Alkohol u mlazni sintetički parafinski kerozin	50

Tablica 3

Izvor: [3]

Biogorivo, što je potrebno istaknuti, ne zahtijeva nikakve infrastrukturalne preinake u zrakoplovima u usporedbi sa tradicionalnim gorivom. Njegovi fizičke i kemijske karakteristike se skoro poklapaju sa tradicionalnim gorivom s toga se mogu sigurno miješati te ga se naziva "*drop in*" gorivom i kao takvo ne zahtijeva dodatnu opremu za rukovanje niti specifične radne uvjete. Te karakteristike su omoguće da se od 2011. do danas već obavilo više od 300 000 letova koji se koristili biogorivo [1]. Neki od prijevoznika koji su već obavljali letove sa udjelom biogoriva su: American Airlines, Lufthansa, United Airlines, Air France, Virgin, KLM, Qatar Airways, Etihad.

Japan Airlines je ove godine u lipnju izveo prvi let između Tokia i Sapporoa miješajući dva biogoriva sa mlaznim gorivom, sa ukupnim postotkom biogoriva od 9,31%. Koristeći biogorivo od domaćih proizvođača, Japan želi potaknuti razvoj biogoriva. Let je obavljen Airbusom A350 (Slika 12), a za proizvodnju biogoriva kao sirovine su korišteni alge i drvo [27].



Slika 12. A350 u vlasništvu JAL

Izvor: [28]

Norveška je jedina do sada država koja je propisala, 2020. godine, kvotu od 0,5% ukupnog korištenja biogoriva s ciljem povećanja, do 2030. godine, od 30%. I ostale države, uglavnom europske razmatraju slične propise [29].

3. Utjecaj alternativnih pogonskih sustava na performanse zrakoplova

Performanse zrakoplova su pojam koji se koristi za opisivanje sposobnosti zrakoplova da postigne određene karakteristike koje ga čine korisnim u određene svrhe. Trenutno najviše u upotrebi od alternativnih goriva je biogorivo. Ono zbog svojih karakteristika, tj. mogućnosti miješanja sa mlaznim gorivom ne utječe na performanse zrakoplova, osim što smanjuje emisije štetnih plinova. Dok ostali vidovi alternativnih pogona će zahtijevati određene preinake i imati će utjecaj na performanse zrakoplova. Težnja cijele industrije je postići jednake ili čak bolje performanse na zrakoplovima sa alternativnim pogonom. Baterije koje se planiraju koristiti kao pogonsko sredstvo iskorištavaju oko 90% moguće energije, dok je kod motora sa unutarnjim izgaranjem to negdje oko 40% što vodi ka tome da bi zrakoplov pogonjen na baterije mogao dulje letjeti, ali zbog svoje znatne težine baterija to je trenutno neostvarivo, te su trenutno takvi zrakoplovi ograničeni na kratke relacije i malu nosivost [30].

Razvoj alternativnih pogonskih sustava poput turbo-električnih i hibridno-električnih motora implicira povećanje složenosti u usporedbi s konvencionalnim ciklusom sa plinskom turbinom. S povećanjem broja komponenata, ukupna težina, a time i zahtjevi za potiskom, rastu. Postoji mnogo parametara koji utječu na izvedbu misije zrakoplova. Sve komponente moraju biti međusobno usklađene kako bi cijeli sustav radio učinkovito. Dizajn pogonskih sustava temelji se na tehnologiji pojedinih komponenti [30].

S obzirom da implementacija električnih komponenti u pogonske sustave većih zrakoplova nije još rasprostranjena, analiza koju je 2018. godine objavio ICAS usporedila je regionalni zrakoplov, ATR 72 pogonjen sa dva PW127 turbopropelerska motora sa turboelektričnim (mehanička energija iz plinske turbine se pomoću generatora pretvara u električnu), hibridno električnim (koriste energiju iz dva izvora – plinska turbina i baterija), te čistim električnim konceptom. Cilj analize je bio usporediti različite alternativne pogone sa tradicionalnim zrakoplovom na turbopropelerski pogon. Razmatrali su utjecaj na potrošnju goriva, emisiju CO2 i same performanse zrakoplova. Analiza je pokazala da različiti pogoni imaju različit utjecaj na potrošnju goriva, zbog različitih performansi motora. Rezultati su prikazali da turbo-električni pogoni ne rade dovoljno učinkovito. Dok hibridno-električni sustav je pokazao najmanje razlika u odnosu na ATR 72. Zajedno, izravne i neizravne emisije CO2, za konvencionalno gorivo su iznosile oko 5 puta više u odnosu na alternativne pogone [30].

Krajnji rezultati analize zaključuju da trenutni električni zrakoplovi nisu pogodni za dulje relacije, nego su ograničen na kraće udaljenosti. Glavni razlog tome je neriješeni problem skladištenja energije. Analiza težina pogonskih sustava je pokazala da bi se u komercijalnim zrakoplovima trenutno isplatila varijanta najnovijih tehnologija sa turbo-električnim ili hibridno-električnim pogonima. Razvoj ovakvih tipova goriva će ekspandirati kada se pojavi supervodljiva tehnologija. Najveći problem isključivog električnog pogonskog sustava predstavlja gustoća snage baterije. Hibridno-električni sustavi mogu posjedovati mogućnost smanjenja potrošnje goriva. Povećanjem veličine električnog sustava otvara se mogućnost uštede u potrošnji goriva do 21%. Ovakvi pogoni, osim problema težine također će zahtijevati promjenu izgradnje zrakoplova. Problem doleta bi se trebao riješiti daljnjim razvojem i implementacijom novih baterija [30].

4. Tehnički, ekološki i ekonomski čimbenici

4.1. Tehnički čimbenici

Da bi biogorivo ispunilo tehničke uvjete mora sadržavati sljedeće: da bude gorivo visokih performansi, da je sposobno zamijeniti tradicionalno zrakoplovno gorivo bez potreba za promjenom motora ili infrastrukture, i da gorivo premašuje ili bar izjednačuje trenutne karakteristike mlaznog avionskog goriva [23].

Iste kvalitete i karakteristike održivog goriva naspram tradicionalnog su bitne zbog toga da proizvođači ne moraju mijenjati dizajn motora ili samog zrakoplova, te da zračne luke ne moraju mijenjati sustave za napajanje gorivom. Industrija trenutno, uz razvoj drugih alternativnih goriva, ulaže i u razvoj masovne proizvodnje biogoriva [23].

Da bi biogorivo se uspješno koristilo kao gorivo potrebno je proći određena ispitivanja te zadovoljiti međunarodne standarde.

Ispitivanja koja se vrše su:

- testiranje u laboratoriju,
- na tlu,
- u zraku.

Ako se ispitivanja pokažu uspješna slijede odobrenje i izdavanje certifikata [23].

Testiranje je u zračnoj industriji jedan od glavnih faktora, jer i korištenje tradicionalnog goriva za zrakoplove zahtjeva posebna ispitivanja i odobrenja. U laboratoriju se testiraju svojstva samog biogoriva da bi se postigla ista kao i kod tradicionalnog mlaznog goriva zbog njihovog eventualnog miješanja. Testiranja na tlu obuhvaćaju mjerenje potrošnje potencijalnog biogoriva kroz nekoliko režima rada motora kao što su: prazan hod, polijetanje, kako se gorivo ponaša pri ubrzanju i usporavanju, koliko je vremena potrebno da se motor pokrene, kakav utjecaj imaju na dijelove zrakoplova, te na kraju gledaju se emisije štetnih plinova. Nakon toga rezultati se uspoređuju sa rezultatima zrakoplova na konvencionalni pogon, ako su rezultati zadovoljavajući nastavlja se testiranje u zraku. Testiranje u zraku dolazi nakon laboratorijskih i zemaljskih ispitivanja te se testira na zrakoplovu u normalnim radnim uvjetima. Tijekom testiranja vrše se

ispitivanja da se dokaže da gorivo može se koristiti u svim mogućim radnim uvjetima, što je prikazano na Slici 13 [23].



Slika 13. Faze testiranja zrakoplova u letu

Izvor: [23]

Odobrenje slijedi nakon testiranja i sastoji se od tri dijela:

- program ispitivanja,
- interni pregled proizvođača originalne opreme,
- utvrđivanje tijela za potvrdu ispravnih specifikacija za gorivo.

Da bi se prošlo postupak odobrenja potrebno je zadovoljiti najmanje 11 ključnih svojstava, neki od njih su gustoća, točka smrzavanja, ogrjevna vrijednost, sastav. Bez valjane ovjere alternativno gorivo ne može se koristiti za komercijalne letove, zbog visokih standarda u zrakoplovnoj industriji. Da bi se održivo gorivo odobrilo ono prvo mora zadovoljiti određeni standard ASTM-a (engl. *American Society for Testing and Materials*). Ako je gorivo usklađeno, prema trenutnim standardima može se miješati sa najviše 50% volumena tradicionalnog goriva, te kao takvo opet ide na ispitivanje.

Nakon što gorivo dobije potpunu certifikaciju, vodi se kao mlazno gorivo i može se koristiti kao i svako certificirano zrakoplovno gorivo [23].

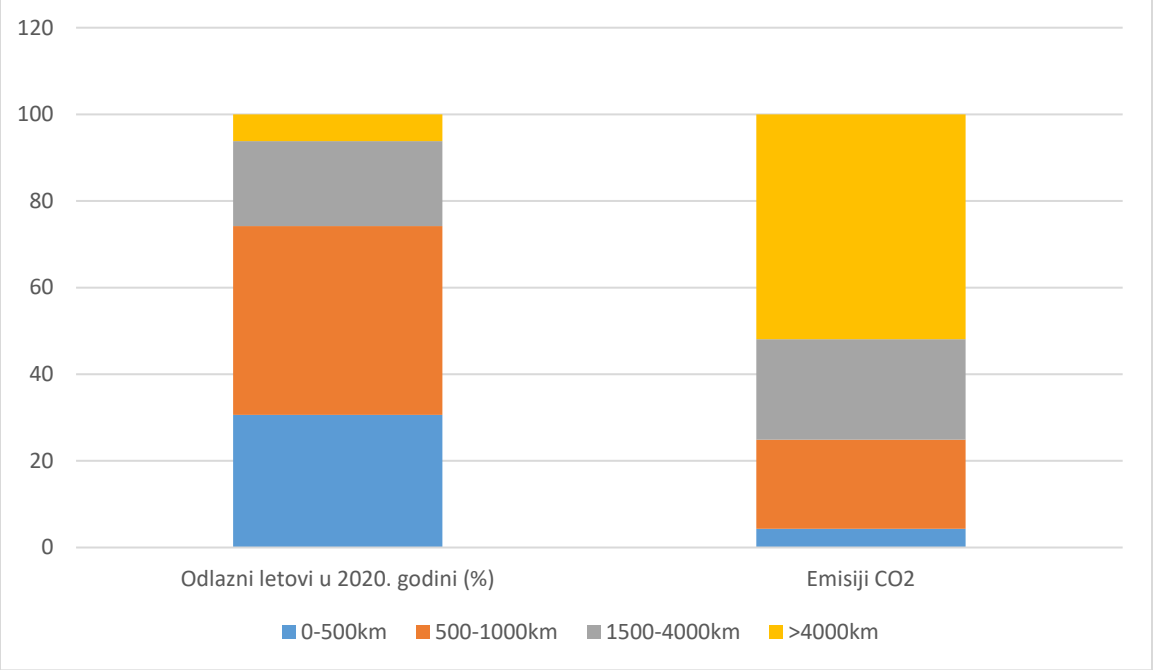
4.2. Ekološki čimbenici

Od ukupnih emisija CO2 na svijetu koje proizvede čovjek, čak 2% otpada na zračni promet, što iznosi oko 915 milijuna tona godišnje. Ako promatramo isključivo prometnu industriju tada

zračni promet proizvodi 12% emisija CO2. U prometnom sektoru prednjači cestovni promet sa ukupnim udio emisija CO2 od 74% [31].

Zračni promet većinu svojih emisija štetnih tvari proizvodi na visinama krstarenja, koje se kreću od 8 do 12 kilometara. Pri tim visinama štetne emisije imaju povećano djelovanje koje značajno utječe na klimatske promjene [32].

Također najveće emisije CO2 proizvode dugolinijski letovi sa duljinom većom od 4000km. Njihov odnos je prikazan na grafikonu 6 [33].



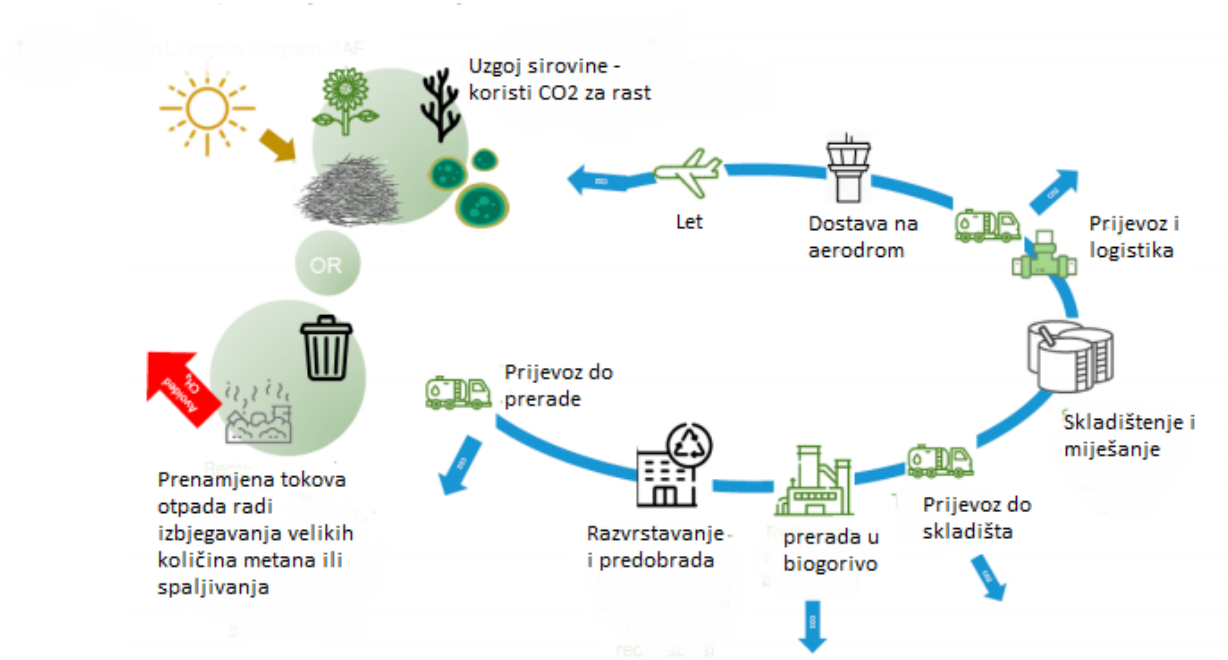
Grafikon 6. Utjecaj duljine leta na količinu emisija CO2 (%)

Izvor: [33]

Iz grafikona je vidljivo iako da na letove dulje od 4000km otpada samo 6,2% od svih odlaznih letova u 2020. godini, oni proizvode 51,9% emisija CO2. Dok letovi do 500km i 500-1000km, na koje otpada preko 70% ukupnog broja letova emitiraju oko 25% CO2.

Zračni promet je bitan sektor za ekološki napredak zbog velike snage zrakoplova i njihovih emisija štetnih plinova. Najbitniji segment same implementacije novih, alternativnih goriva je njihov utjecaj na okoliš, točnije smanjenje količine ispušnih plinova koje proizvode konvencionalna zrakoplovna goriva. Postizanje cilja, a to je nula emisija štetnih plinova, planira

se ostvariti kroz biogorivo, kao trenutačno rješenje, te ostalim alternativnim gorivima, u budućnosti. Biogorivo u svom životnom ciklusu rezultira smanjenjem od 80% emisija ugljikovog dioksida [3]. Slika 14. prikazuje životni ciklus biogoriva.



Slika 14. Ciklus biogoriva

Izvor: [3]

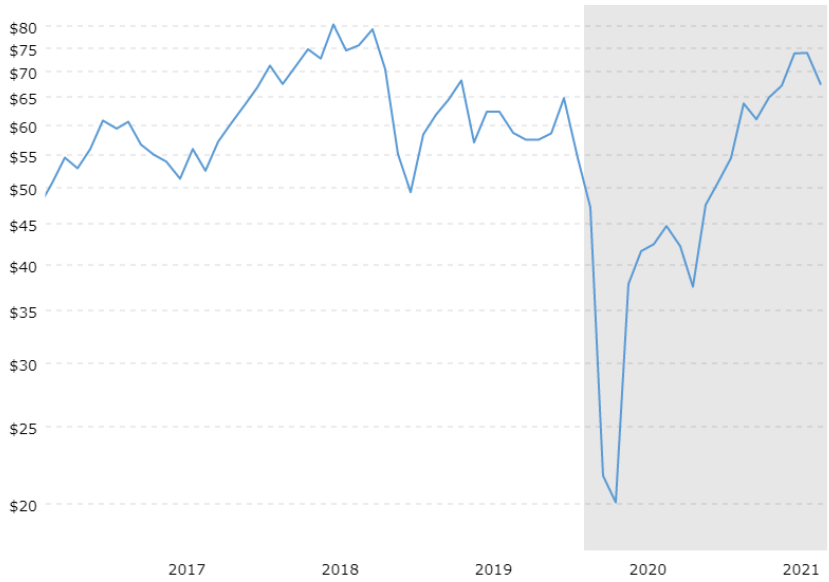
Taj postotak bi mogao biti još viši da se u samoj proizvodnji biogoriva ne ispušta i dalje poprilična količina štetnih plinova. To uključuje emisije iz opreme koja se koristi pri uzgajanju biljaka za proizvodnju biogoriva, sam njegov transport i dorade goriva. Također u sastavu biogoriva je manje sumpora i sličnih nečistoća što može uzrokovati još veće smanjenje emisija sumpor dioksida [3].

Vodik kao ideja goriva je još uvijek udaljena od komercijalnog zrakoplovstva ali već sada se otprilike zna kakav će njegov utjecaj biti na ekologiju u zrakoplovstvu kada se implementira. Vodik kao plin se prirodno nalazi u atmosferi, te njegovo potencijalno izlijevanje ne bi imalo utjecaj na okoliš kao što ima izlijevanje konvencionalnog goriva. Implementacija vodika kao goriva, potencijalno bi eliminiralo sve štetne plinove i spojeve koji uključuju ugljik, sumpor i dušik. Proizvodnja vodika rapidno raste, a zbog razvoja obnovljive energija povećava se mogućnost da smanje troškovi proizvodnje vodika, a poveća učinkovitost [1].

Još jedan staklenički plin koji nastaje izgaranjem goriva je vodena para, koja ima znatno manji utjecaj na globalno zatopljenje od ugljikovog dioksida, ali nije utjecaj vodene pare zanemariv. Vodik kao nusprodukt izgaranja stvara vodenu paru, te bi se korištenjem njega kao pogonskog sredstva proizvelo oko 2,6 puta više vodene pare nego što ih proizvodi konvencionalno gorivo. U atmosferi vodena para se zadržava do jedne godine dok ugljikov dioksid može se zadržati i do 100 godina. Pri sagorijevanju vodika nema krutih čestica na ispuhu pa kondenzacijski tragovi, u vidu kristala bi se manje pojavljivali [1].

4.3. Ekonomski čimbenici

Najveći pojedinačni operativni trošak u zračnom prometu je gorivo. Korištenjem dosadašnjih goriva, koji se proizvode od derivata nafte, sama cijena nafte nije stabilna i podložna je promjenama što je prikazano na Slici 15, te ponudom i potražnjom što otežava zračnim prijevoznicima dugoročno planiranje i proračun operativnih troškova [34].

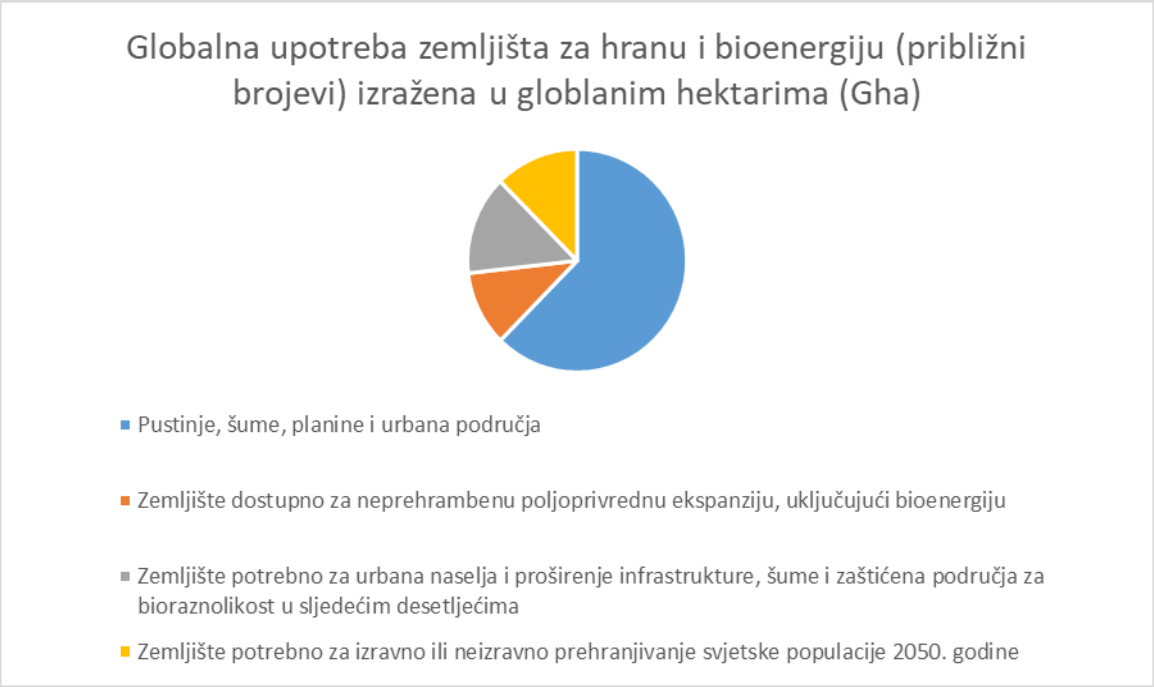


Slika 15. Kretanje cijene nafte

Izvor: [34]

Alternativna goriva, konkretno biogoriva sa pogleda ekonomije pružaju novi dijapazon mogućnosti, i zračnim prijevoznicima te potencijalnim proizvođačima goriva, zbog toga što nije geografski vezano isključivo za mjesta gdje se buši nafta. Biogorivo se može dobiti iz biljaka kojima je za rast dovoljno neodrživo zemljište ili neki rubni dijelovi, iz komunalnog otpada, i iz drugih sirovina. Ovim načinom proizvodnje biogoriva mnoge zemlje, pogotovo one koje se još u

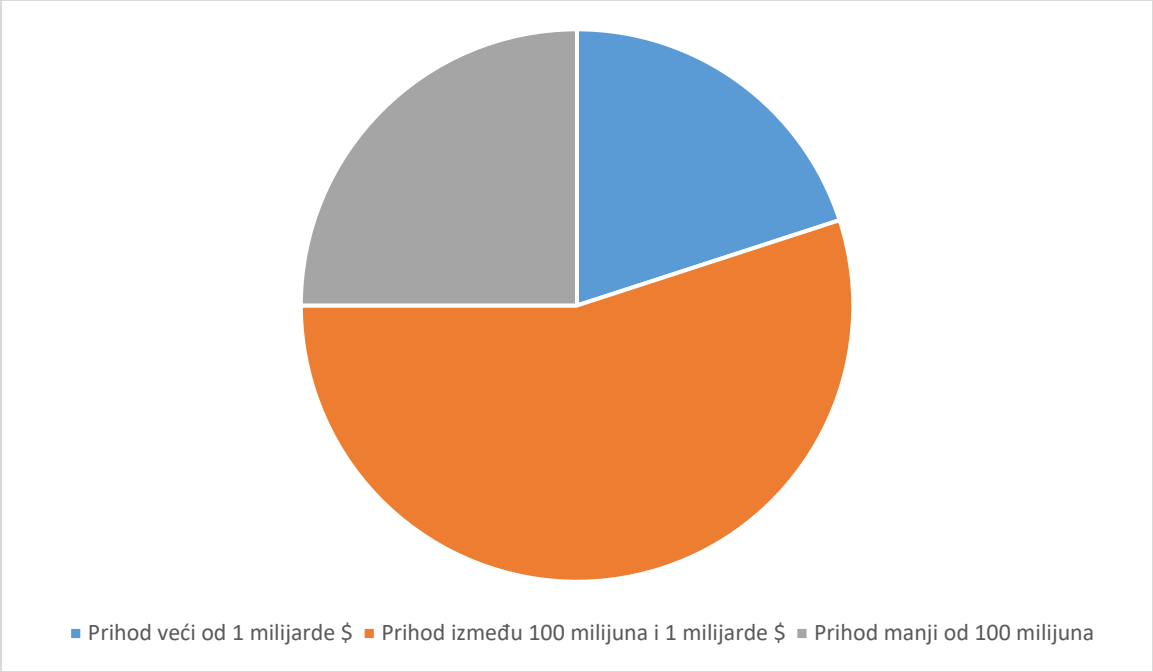
razvoju bi mogle imati koristi. Sam razvoj ovakve industrije koja nije rasprostranjena automatski i nudi više radnih mjesta zbog toga što je najčešće mjesto gdje se proizvodi sirovina industrijalizirano za preradu sirovine, što pomaže cjelokupnoj ekonomiji. Pogotovo to vrijedi za slabije razvijene zemlje, jer proizvodnja biogoriva ne bi smanjivala proizvodnju hrane, također slabije razvijene zemlje imaju problema sa otpadom pa bi se poboljšala i ekološka slika. Na Grafikonu 7 se može vidjeti koliki dio potencijalno iskoristivog zemljišta za uzgoj sirovine [35].



Grafikon 7. Globalna uporteba zemljišta za hranu i bioenergiju

Izvor: [35]

Ovo je industrija koja još nije dovoljno razvijena tako da za sada još uvijek nema nekog istaknutog velikog proizvođača, što stavlja u prednost srednje i male proizvođače. Na grafikonu 8 je prikazan odnos ukupnih proizvođača biogoriva, na kojem je vidljivo da više od 50% trenutnih proizvođača ima prihode između 100 milijuna i 1 milijarde američkih dolara, dok je 20% proizvođača ostvarilo prihode veće od 1 milijarde dolara [36].



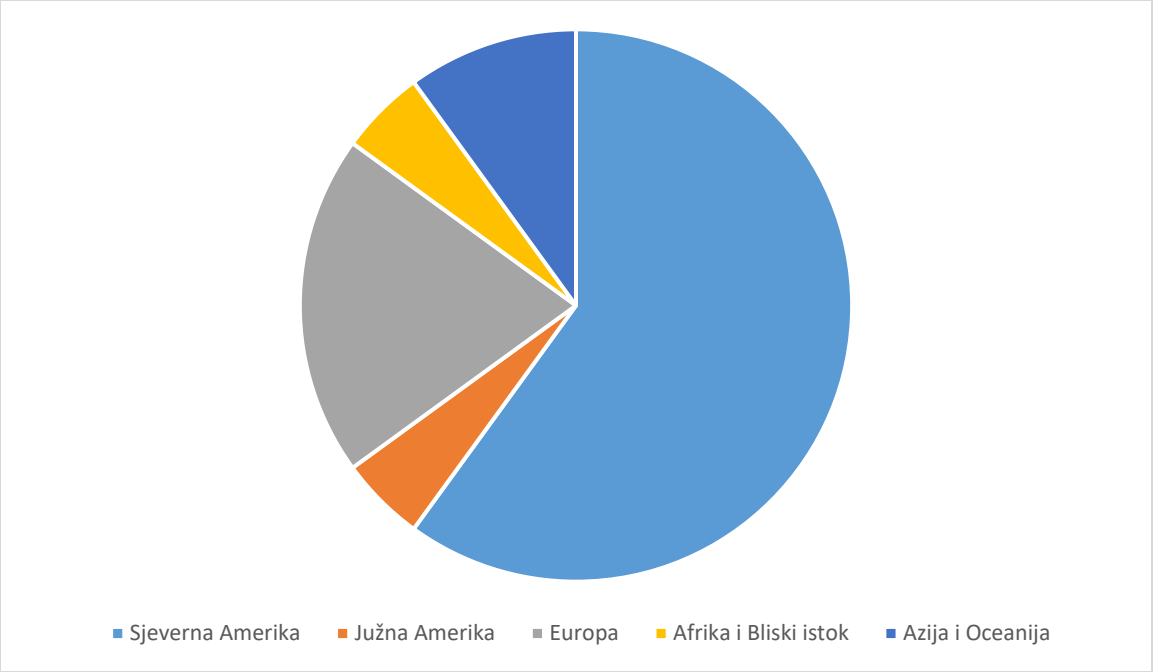
Grafikon 8. Podjela proizvođača na tržištu prema ukupnim prihodima (%)

Izvor: [36]

Trenutno najznačajniji proizvođači bio goriva su:

- Neste (Finska),
- Gevo (SAD),
- SkyNRG (Nizozemska),
- Fulcrum (SAD),
- World Energy (SAD),
- Velocys (Ujedinjeno Kraljevstvo).

Na Grafikonu 9 je prikazan geografska zastupljenost proizvođača održivog zrakoplovnog goriva, gdje uvjerljivo prednjači Sjeverna Amerika sa ukupno 60% svjetskog tržišta [36].



Grafikon 9. Globalna zastupljenost proizvođača (%)

Izvor: [36]

S obzirom na to da industrija proizvodnje tradicionalnog goriva je ispred proizvodnje biogoriva, pa je i sama tehnologija u prednosti, ali s obzirom na ciljeve koji teže ka smanjenju štetnih plinova, očekivane su potpore vlada i institucija za razvoj tehnologija i proizvodnje. Trenutne prognoze se takve da se očekuje do 2030. godine porast tržišta održivog zrakoplovnog goriva porasti 15,3 milijardi američkih dolara, sa trenutnih 66 milijuna dolara [36]

Od 2008. godine, kada je obavljen prvi probni let tehnologija se značajno razvija, ali potražnja za takvim gorivima je još uvijek skromna. Glavni razlog tome je što ne proizvodi se u većim količinama pa to utječe i na samu cijenu biogoriva, kao i kod svih ostalim tržištima. Najveća prepreka za sada su troškovi proizvodnog pogona, kada oni prijeđu u komercijalnu fazu tada će i cijena goriva pasti. Za prelazak na komercijalnu fazu potrebna su velika ulaganja i u infrastrukturu, ali i u razvoj kapaciteta proizvodnje i prerade sirovina. Također izazov osiguranje niskih troškova pri procesu pretvaranja iz sirovina u alternativna goriva, jer trenutno su troškovi proizvodnje previsoki, a proizvodni kapaciteti preniski da se alternativno gorivo mogul uspoređivati sa konvencionalnim gorivom. Biogorivo će biti ekonomski održivo i moći će se uspoređivati sa konvencionalnim gorivom jer povećanjem opsega u proizvodnji i tehnologijama troškovi će se smanjivati. Alternativna goriva imaju veliki potencijal potrebno je samo privući određene ulagače.

Vlade će davati potpore za razvoj ovih tehnologija, ali već sada neke tvrtke koje se bave proizvodnjom tradicionalnih goriva počinju ulagati u tvrtke za proizvodnju održivog zrakoplovnog goriva. Tako je Air British Petrol, 2016. godine uložio 30 milijuna dolara u Fulcrum, proizvođača održivog zrakoplovnog goriva [37].

5. Razlike između tradicionalnih i alternativnih pogonskih sustava

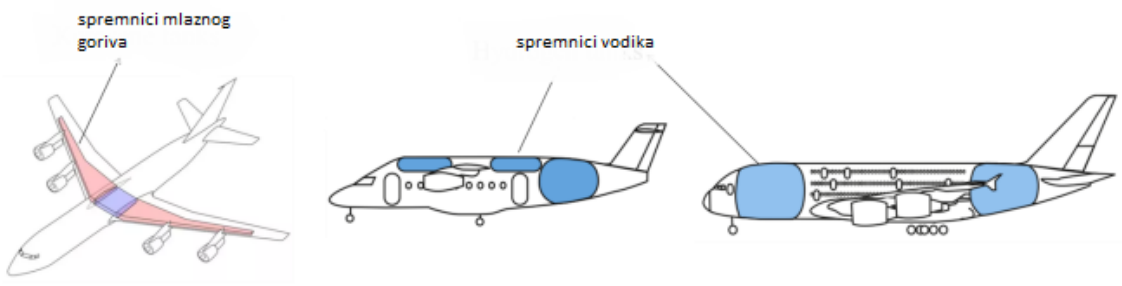
Alternativni i tradicionalni pogonski sustavi imaju svojih zajedničkih karakteristika, ali i značajnih razlika. Razlike se ogledaju kroz:

- pogon,
- okolišne čimbenike,
- razlikama u dizajnu,
- strukturi i težini,
- sigurnosti,
- financijskim pogledima.

Razlika u pogonima, uz okolišne čimbenike, predstavlja najznačajniju razliku između tradicionalnih i alternativnih sustava. Kod oba sustava karakteristike pogona se ogledaju istim faktorima: maksimalan potisak motora, potrošnja, masa motora. Konvencionalni pogonski sustavi koriste goriva dobivena iz neobnovljivih izvora energije kao što su nafta, ugljen, zemni plin; dok se kod alternativnih kao izvori koriste biogorivo, a najviše se radi na razvoju baterija i vodika kao alternativnih goriva. Kako postoji razlika između pogonskih sustava, također i unutar samih sustava prisutne su razlike ovisno o namjeni zrakoplova i potrebnim performansama.

Okolišni čimbenici, s obzirom na cilj zračnog prometa za smanjenjem emisija štetnih plinova do 80% do 2050. godine, a sve većim brojem novih zrakoplova, predstavljaju ključnu razliku između dva sustava. Zračni promet je značajan zagađivač okoliša zbog svoje emisije štetnih plinova i proizvodnje buke [31]. To se uvođenjem i razvojem novih, ekološki prihvatljivih alternativnih goriva, pokušava promijeniti. Također i novi zrakoplovi na konvencionalne pogone su smanjili količinu buke naspram prethodnih generacija zrakoplova, dok bi se količina buke sa novim zrakoplovima na alternativni pogon dodatno smanjila [31]. Razlika u dizajnu se ogleda kroz ograničenja i optimizaciji dizajna.

Ograničenja koja će se pojaviti kod zrakoplova na alternativne pogonske sustave nisu još jasno definirana ali će ih sigurno biti. Kod zrakoplova na tekući vodik bit će potrebno pozicionirati novi spremnik za gorivo koji će vjerojatno biti iznad trupa zrakoplova, što u dosadašnjim zrakoplovima to nije bio slučaj (Slika 16) [38].



Slika 16. Moguće pozicije spremnika vodika

Izvor: [38]

Također kod zrakoplova koje pogone baterije, treba naći idealno mjesto za postaviti baterije zbog svoje veličine, koje će se vremenom volumenski smanjiti. Također kao što postoje različiti dizajni zrakoplova radi li se o putničkom ili teretnom zrakoplovu, tako će se morati dizajnirati posebni za zrakoplove na alternativni pogon [38]. Pri dizajnu se mora uzeti u obzir i to da zrakoplov bude funkcionalan i da maksimalno se iskoriste njegove performanse. Kod zrakoplova koji kao izvor energije koriste sunčevu energiju, pri dizajnu se mora misliti na vrstu i veličinu solarnih panela koji se postavljaju po krilima i trupu zrakoplova, moraju se dizajnirati posebna krila kojima instaliranje panela neće umanjiti performanse. Kod dizajna novih tipova zrakoplova bitan je faktor sigurnost putnika, zbog položaja spremnika i u slučaju nesreće izloženost putnika istim.

Težina zrakoplova je bitna zbog izračunavanja središta mase zrakoplova, što će se u novim zrakoplovima promijeniti, zbog drukčijeg pozicioniranja pogonskih sustava i spremnika. Uvođenjem novih pogonskih sustava ispitivanje struktura materijala zrakoplova dobiva na važnosti zbog toga što se alternativna goriva, osim biogoriva, ne ponašaju isto kao konvencionalna goriva, to se odnosi na temperature smrzavanja, isparavanja i zapaljenja. Struktura materijala se također odnosi na trajnost, stabilnost, otpornost na koroziju, lakoću održavanja i proizvodnje [38].

ICAO propisuje međunarodne standarde i preporučene prakse za sigurnost. Nacionalna tijela izdaju potvrde proizvođačima i operaterima [38]. Također za nove zrakoplove koji će se pogoniti na alternativna goriva biti će potrebni certifikati za dizajn zrakoplova. Oni će uključivati potvrde o sigurnosti pri velikim brzinama, o valjanosti spremnika za gorivo koji će morati imati kompletno novi dizajn i nove materijale od kojih se rade u odnosu na trenutne [38]. Zračni prijevoznici moraju ispunjavati propisane standarde, te poštovati ograničenja koje propisuje

proizvođač zrakoplova. Zračne luke će se također morati prilagoditi novim pogonskim sustavima, pa će morati ispunjavati sigurnosne propise u vidu načina rukovanja alternativnim gorivima.

Financijski gledano trenutno je i dalje isplativije proizvoditi zrakoplove na konvencionalni pogon, ali s obzirom na najave na prelazak na alternativna goriva i tržište se prilagođava. A i sami proizvođači gledaju da iduća generacija zrakoplova na konvencionalni pogon ne košta više nego prethodna. S obzirom da još uvijek ne postoji masovna proizvodnja zrakoplova na alternativni pogon, njegova cijena proizvodnje je relativno i dalje velika, što će se promijeniti s vremenom i povećanjem proizvodnje. Potpore koje su obećane proizvođačima proračunski olakšavaju planiranje i upuštanje u ovaj vid proizvodnje. Sama proizvodnja biogoriva koje se najviše koristi od alternativnih goriva je i dalje vrlo skupa, dok je proces proizvodnje vodika još u povojima te nema jasne slike koliko bi iznosila masovna proizvodnja.

6. Zaključak

Cilj zračnog prometa, glede emisija štetnih plinova, je svođenje na minimum. Napretkom tehnologije koja je značajno smanjila emisije proteklih desetljeća došlo je do faze razvoja i implementacije novih pogonskih sustava koji bi zadržavali trenutne performanse zrakoplova ili ih čak poboljšavali. Današnje pogonsko sredstvo zrakoplova je avionsko gorivo na bazi fosilnih goriva koji nisu neograničen resurs. Osim goriva, također razvoj novih pogonskih tehnologija je važno.

Da bi zračni promet ispunio zadane ciljeve do 2050. godine potrebna je implementacija novi alternativnih pogonskih sustava. Obrađeni alternativni pogonski sustavi u ovom radu su, osim biogoriva još uvijek u fazi razvijanja tehnologija, te je većina podataka bazirana na predviđanjima.

Biogorivo koje je u upotrebi već desetljeće pokazalo se kao dobra trenutna alternativa konvencionalnom gorivu, ali za postizanje smanjenja emisija bit će potreban razvoj i drugih goriva, kao na primjer vodika, te pogona elektromotorima koji se napajaju električnom energijom iz baterija. Biogorivo se već uveliko upotrebljava, miješa se sa konvencionalnim gorivom u određenim uvjetima. Prednost mu je što se može proizvoditi od otpadnih materijala, i ima širok dijapazon potencijalnih sirovina za proizvodnju. Sama njegova proizvodnja nije iskoristila puni kapacitet proizvodnje zbog još uvijek relativno visoke cijene proizvodnje, ali ima veliki potencijal za proizvodnju usprkos velikim početnim troškovima proizvodnje.

Vodik kao pogonsko gorivo ima najveći potencijal. Zbog njegove rasprostranjenosti i raznih mogućnosti dobivanja. Postoje dvije mogućnosti korištenja vodika kao pokretača pogonskih sustava, u svom tekućem stanju kao izvor energije kao pokretač plinske turbine i te kao gorivna ćelija iz koje se koristi električna energija za pogon elektromotora. Tekući vodik posjeduje izuzetan potencijal zbog svoje količine energije koju može ispoljiti, projekt je još u fazi razvoja te ne očekuje se skora implementacija. Implementacija će zahtijevati određene promjene na zrakoplovu ponajviše zbog skladištenja vodika koji može biti izuzetno opasan.

Razvoj baterija kao pokretača pogonskog sustava za velike komercijalne zrakoplove najviše ovisi o razvoju njihove gustoće, koja trenutno ograničava korištenje većinom na malim zrakoplovima kratkog doleta. Opskrbljivanje baterije se može obaviti na potpuno obnovljive

izvore energije koji dodatno smanjuju emisije CO2 u životnom ciklusu. Također za razvoj ovakvog vida pogona kao i vodikovih, ponajviše ovisi u količini ulaganja u razvojne tehnologije.

Novi vidovi alternativnih pogonskih sustava moraju proći određena i testiranja da bi se uopće mogli implementirati. Uvođenja novih pogonskih sustava se neće dogoditi sve dok potencijalno gorivo ne pokaže da može imati iste ili bolje performanse od konvencionalnog goriva, uz najbitniji faktor, da emitira manje štetnih emisija. Već sama primjena biogoriva, te izdavanje prve dozvole za male električne zrakoplove pokazuju da industrija zračnog prometa intenzivno radi na razvijanju alternativnih goriva.

Popis literature

1. https://www.iata.org/contentassets/ed476ad1a80f4ec7949204e0d9e34a7f/fact-sheet-alternative-fuels.pdf, pristupljeno: kolovoz, 2021.
2. https://www.icao.int/environmental-protection/pages/SAF.aspx, pristupljeno: kolovoz, 2021.
3. https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-what-is-saf.pdf, pristupljeno: kolovoz, 2021.
4. https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/fact_sheet7-hydrogen-fact-sheet_072020.pdf, pristupljeno: kolovoz, 2021.
5. https://www.statista.com/statistics/1026719/number-of-hydrogen-fuel-stations-by-country/ , pristupljeno: kolovoz, 2021.
6. https://history.nasa.gov/SP-4404/ch6-4.htm, pristupljeno: kolovoz, 2021.
7. http://www.tupolev.ru/en/press/news/2020/tupolev-celebrates-the-98th-anniversary-of-its-foundation/?sphrase_id=50396 , pristupljeno: kolovoz, 2021.
8. https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe.html, pristupljeno: kolovoz, 2021.
9. https://www.waterpoint.pl/hr/vijesti/elektroliza-vode/, pristupljeno: kolovoz, 2021.
10. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5326/memoria.pdf?sequence=1 , pristupljeno: kolovoz, 2021.
11. https://www.airbus.com/newsroom/news/en/2020/10/hydrogen-fuel-cell-cross-industry-collaboration-potential-for-aviation.html, pristupljeno: kolovoz, 2021.
12. Baroutaji1, Wilberforce T., Ramadan M., Ghani Olabi A. Comprehensive Investigation on Hydrogen and Fuel Cell Technology in the Aviation and Aerospace Sectors, 2019. Pristupljeno sa: https://wlv.openrepository.com/bitstream/handle/2436/622311/Baroutaji_Comprehensive_investigation_2019.pdf?sequence=1 , kolovoz, 2021.
13. https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/electric-flight/e-fan-x.html, pristupljeno: kolovoz, 2021.
14. https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/electric-flight/air-race-e.html, pristupljeno: kolovoz, 2021.

15. https://www.inceptivemind.com/air-race-e-launches-all-electric-racing-aircraft/10298/, pristupljeno: kolovoz, 2021.
16. https://www.aerotelegraph.com/en/the-first-purely-electric-aircraft-has-been-approved, pristupljeno: kolovoz, 2021.
17. https://www.aerotelegraph.com/en/new-electric-aircraft-from-sweden-to-take-off-in-2024, pristupljeno: kolovoz, 2021.
18. https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/solar-flight.html, pristupljeno: kolovoz, 2021.
19. https://www.airbus.com/defence/uav/zephyr.html, pristupljeno: kolovoz, 2021.
20. https://aroundtheworld.solarimpulse.com/, pristupljeno: kolovoz, 2021.
21. file:///C:/Users/Lenovo%20User/Downloads/aerospace-05-00034.pdf, pristupljeno: kolovoz, 2021.
22. https://www.boeing.com/features/innovation-quarterly/aug2018/btj-batteries.page, pristupljeno: kolovoz, 2021.
23. https://aviationbenefits.org/media/166152/beginners-guide-to-saf_web.pdf, pristupljeno: kolovoz, 2021.
24. https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/06/IEA-Bioenergy-Task-39-Progress-in-the-commercialisation-of-biojet-fuels-May-2021-1.pdf, pristupljeno: kolovoz, 2021.
25. https://boeing.mediaroom.com/2008-02-24-Boeing-Virgin-Atlantic-and-GE-Aviation-to-Fly-First-Commercial-Jet-on-Biofuel, pristupljeno: kolovoz, 2021.
26. https://www.boeing.com/principles/environment/ecodemonstrator, pristupljeno: kolovoz, 2021.
27. https://www.flightglobal.com/airlines/jal-conducts-flight-with-two-types-of-japan-made-saf/144231.article, pristupljeno: kolovoz, 2021.
28. https://bioenergyinternational.com/app/uploads/sites/3/2021/06/JAL_A350.jpg, pristupljeno: kolovoz, 2021.
29. http://www.advancefuel.eu/contents/reports/d51-marketanalysis.pdf, pristupljeno: kolovoz, 2021.

30. https://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2018/data/papers/ICAS2018_0831_paper.pdf, pristupljeno: kolovoz, 2021.
31. https://www.atag.org/facts-figures.html, pristupljeno: kolovoz, 2021.
32. Lee D., Fahey D., Forster P., Newton P., Wit R., Lim L., Owen B., Sausen R. Aviation and global climate change in the 21st century. Atmospheric Environment. 2009
33. https://www.europarl.europa.eu/cmsdata/232175/Presentation_Thorsten-Lange_2021-04-14_Neste-SAF.pdf, pristupljeno: kolovoz, 2021.
34. https://www.macrotrends.net/1369/crude-oil-price-history-chart, pristupljeno: kolovoz, 2021.
35. https://www.icao.int/environmental-protection/knowledge-sharing/Docs/Sustainable%20Aviation%20Fuels%20Guide_vf.pdf, pristupljeno: kolovoz, 2021.
36. https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/sustainable-aviation-fuel-market-70301163.html, pristupljeno: kolovoz, 2021.
37. https://www.bp.com/en/global/air-bp/news-and-views/views/what-is-sustainable-aviation-fuel-saf-and-why-is-it-important.html, pristupljeno: kolovoz, 2021.
38. https://wlv.openrepository.com/bitstream/handle/2436/622311/Baroutaji_Comprehensive_investigation_2019.pdf?sequence=1, pristupljeno: kolovoz, 2021.

Popis slika

Slika 1. Skica Martin-B57B 7
Slika 2. Tupolev Tu-155 8
Slika 3. Prikaz tri potnecijalna izgleda Airbusovih zrakoplova 9
Slika 4. Elektroliza vode 10
Slika 5. Određene sirovine i procesi za proizvodnju vodika 11
Slika 6. Izgled i princip rada gorive vodikove ćelije 14
Slika 7. E Fan X 16
Slika 8. Letjelica namjenjena Air Race E utrkama 17
Slika 9. Letjelica Zephyr 18
Slika 10. Solar Impulse 2 19
Slika 11. Boeing 737-9 25
Slika 12. A350 u vlasništvu JAL 26
Slika 13. Faze testiranja zrakoplova u letu 30
Slika 14. Ciklus biogoriva 32
Slika 15. Kretanje cijene nafte 33
Slika 16. Moguće pozicije spremnika vodika 39

Popis grafikona

Grafikon 1. Broj opskrbnih stanica vodikovim gorivom 6
Grafikon 2. Odnos tekućeg vodika i kerozina u težini i volumenu 10
Grafikon 3 Izdržljivost solarnih ltjelica u satima leta 20
Grafikon 4 Proizvodnja biogoriva u milijunima litara 23
Grafikon 5. Predviđanje poizvodnje biogoriva 24
Grafikon 6. Utjecaj duljine leta na količinu emisija CO2 (%) 31
Grafikon 7. Globalna uporteba zemljišta za hranu i bioenergiju 34
Grafikon 8. Podjela proizvođača na tržištu prema ukupnim prihodima (%) 35
Grafikon 9. Globalna zastupljenost proizvođača (%) 36

Popis tablica

Tablica 1..... 21
Tablica 2..... 21
Tablica 3..... 25

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

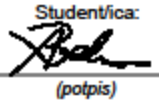
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu diplomskog rada pod naslovom **Alternativni pogonski sustavi zrakoplova**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 9/9/2021

Student/ica:



(potpis)