

Analiza primjene alternativnih goriva u zračnom prometu

Stupar, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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:119:967411>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-28**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

Filip Stupar

Analiza primjene alternativnih goriva u zračnom prometu

Završni rad

Zagreb, 2017.

Zagreb, 24. travnja 2017.

Zavod: **Samostalne katedre**
Predmet: **Ekologija u prometu**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 3881

Pristupnik: **Filip Stupar (0135233189)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

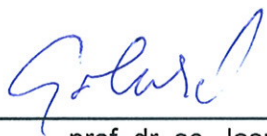
Zadatak: **Analiza primjene alternativnih goriva u zračnom prometu**

Opis zadatka:

U radu je potrebno analizirati mogućnosti primjene alternativnih goriva u zračnom prometu. Prikazati zakonsku regulativu glede emisija i utrošak energije. Odrediti kriterije za potencijanu uporabu alternativnih goriva u zračnom prometu. Objasniti ekološke prednosti i nedostatke primjene biogoriva, prirodnog plina, tekućeg vodika i solarnog pogona zrakoplovstvu.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:



prof. dr. sc. Jasna Golubić

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

Završni rad

Analiza primjene alternativnih goriva u zračnom prometu
Analysis of application of the alternative fuels in the air traffic

Mentor: Prof. Dr. Sc. Jasna Golubić

Student: Filip Stupar

JMBAG: 0135233189

Zagreb, 2017.

Sažetak:

Primjena alternativnog goriva u zračnom prometu je od iznimne važnosti. Godišnji porast putničkog i teretnog prometa uzrokuje sve veću razinu emisija stakleničkih plinova koji utječu na globalno zatopljenje, i štetnih plinova što štete kvaliteti zraka. Alternativna goriva su u stanju usporiti, a neka i ukloniti navedene probleme. Postoje više vrsta alternativnih goriva koja variraju u karakteristikama. Već se koriste alternativna goriva u komercijalnom zračnom prometu, ovisno o količini istraživanja i financiranja.

U ovome radu analizirane su vrste alternativnih goriva, točnije njihova ekonomična, ekološka i socijalna opravdanost. Ekonomična opravdanost se odnosi na njihovu dostupnost na tržištu, ekološka opravdanost se odnosi na emisije goriva, dok se socijalna opravdanost odnosi na stajalište društva prema njima.

Ključne riječi: Emisije, CO2 i alternativna goriva.

Summary:

The use of alternative fuel in air travel is of high importance. Yearly rise of passenger and cargo traffic causes more and more greenhouse gas emissions which have an effect on global warming, and harmful gases which cause harm to air quality. Alternative fuels are capable to slow, and some are able to remove mentioned problems. There are many types of alternative fuels which vary in characteristics. Alternative fuels are already in use in commercial air travel, depending on amount of research and funding.

In this study various alternative fuels are analyzed, more accurately their economic and social validity. Economic validity refers to their availability on market, ecologic validity refers to fuel emissions, while social validity refers to the attitude of society towards them.

Key words: Emissions, CO2 and alternative fuels.

Sadržaj:

1. Uvod	1
2. Zakonska regulativa glede emisija štetnih tvari	3
3. Utrošak energije u zračnom prometu	7
3.1. Avionsko gorivo	12
3.2. Jet A, Jet A-1 i Jet B.....	13
4. Kriteriji za potencijalnu uporabu alternativnih goriva u zračnom prometu.....	15
5. Mogućnost primjene biogoriva u zrakoplovstvu.....	19
5.1. Ekološke prednosti i nedostaci.....	21
5.1.1. Hidro-procesirani esteri i masne kiseline	21
5.1.2. Ukapljeni plin.....	23
5.1.3. Ukapljena biomasa	25
5.1.4. Alkohol u gorivo.....	27
5.2. Održiva alternativna goriva (SUSTAF).....	29
6. Primjena prirodnog plina, nuklearnog pogona i solarnog pogona.....	32
6.1. Primjena prirodnog plina.....	32
6.2. Nuklearni pogon	35
6.3. Solarni pogon.....	37
7. Mogućnost primjene tekućeg vodika u zrakoplovstvu.....	40
7.1. Ekološke prednosti	42
7.2. Ekološki nedostaci.....	42
8. Zaključak	44
Popis literature:.....	46
Popis knjiga:.....	46
Popis internetskih izvora:	46
Popis slika:	49
Popis grafikona:	49
Popis tablica:	50

1. Uvod

Alternativna goriva u zračnom prometu razvijana su kao odgovor na rastuću razinu emisija štetnih tvari koja je posljedica sve većeg zračnog prometa i radi smanjenja ovisnosti o fosilnom gorivu. Godišnji rast zračnog prometa konstantno povećava emisije štetnih tvari koje utječu na globalne klimatske promjene. Prevelika ovisnost o fosilnom gorivu može rezultirati krizom u slučaju povišenja cijena goriva ili nestankom resursa, pošto razne izvršene studije govore o bliskoj potrošnji zaliha fosilnih goriva. Svrha alternativnih goriva je postaviti se kao gorivo koje stvara manje emisije štetnih tvari, da je ekonomski prihvatljivije od trenutno korištenog avionskog goriva i da posjeduje adekvatnu energetska vrijednost goriva. Naslov rada je analiza primjene alternativnih goriva u zračnom prometu.

Rad je podijeljen u 8 cjelina:

- uvod,
- zakonska regulativa glede emisija štetnih tvari,
- utrošak energije u zračnom prometu,
- kriterij za potencijalnu uporabu alternativnih goriva u zračnom prometu,
- mogućnost primjene biogoriva u zračnom prometu,
- primjena prirodnog plina, nuklearnog pogona i solarnog pogona,
- mogućnost primjene tekućeg vodika u zrakoplovstvu,
- zaključak.

U drugoj cjelini se gleda zakonska regulativa glede emisija štetnih tvari. Ta regulativa, odnosno Annex 16, vezana je uz zaštitu okoliša u zračnom prometu koje moraju poštivati prijevoznici u zračnom prometu, a sastoji se od metoda i načina smanjenja emisija štetnih tvari i dr. Osim Annex-a 16, obraditi će se i neke organizacije koje aktivno sudjeluju u smanjenju emisija zračnog prometa.

U trećoj se cjelini analizira utjecaj stakleničkih plinova na atmosferu, te se objašnjava zašto je potrebno alternativno gorivo u zračnom prometu. Također se gleda kolika je energetska vrijednost u zračnom prometu sa primjenom alternativnog goriva. Naravno, da bi

samo gorivo bilo konkurentno za primjenu, potrebno je imati visoku vrijednost i gustoću energije, sličnih ili boljih vrijednosti od trenutno korištenog goriva, te su ta goriva detaljnije obrađena.

U četvrtoj se cjelini analiziraju kriteriji po kojima se određuje da li su određena alternativna goriva adekvatna za primjenu. Pet je glavnih kriterija za izbor alternativnih goriva, te alternativno gorivo prije nego što bude certificirano mora zadovoljiti sve navedene kriterije.

U petoj se cjelini gleda mogućnost primjene biogoriva u zračnom prometu, sirovine koje služe kao baza za produkciju i goriva koja nastaju iz tih sirovina. Primjena biogoriva je već prisutna u zračnom prometu, te je od 2009. godine biogorivo odobreno za primjenu u komercijalnom zračnom prometu. Analiziraju se ekološke prednosti i nedostaci primjene biogoriva u zračnom prometu, kakav je njihov odnos sa emisijama u zračnom prometu, da li njihova proizvodnja utječe na nestašicu hrane i dr. Nakon biogoriva, obrađuje se SUSTAF, organizacije koje izdaju certifikacije, procedure za certificiranje goriva i ciljevi koji moraju biti upotpunjeni za certifikaciju goriva.

U šestoj se cjelini analizira primjena prirodnog plina, nuklearnog i solarnog pogona. Gleda se trenutna primjena prirodnog plina, njegove karakteristike i načini proizvodnje goriva prilikom korištenja plina. Razmatra se primjena nuklearnog i solarnog pogona, što je trenutno veoma diskutabilna tema, pošto nije bilo zasada većeg pomaka u tome području, iako će biti spomenuti neki letovi koji uključuju ove dvije vrste goriva. Trenutno su to eksperimentalni letovi, komercijalni letovi zasada nisu mogući.

U sedmoj cjelini obraditi će se primjena tekućeg vodika u zračnom prometu. Vodik je kvalitetna alternativa fosilnom gorivu zbog eliminacije emisija CO₂ i smanjenja NO_x, ali pritom dolazi do porasta vodene pare. Obraditi će se i ekološki prednosti i nedostaci primjene tekućeg vodika u zračnom prometu, te će se spomenuti letovi koji su se odvijali uz tekući vodik.

2. Zakonska regulativa glede emisija štetnih tvari

Trenutno je oko 2% globalne emisije CO₂ od strane ljudi uzrokovano zračnim prometom, a 65% od tog postotka te emisije od međunarodnog prometa.¹ Razina emisije štetnih tvari u zračnom prometu prvo je regulirana međunarodnim sporazumom donesenim 1972. godine u Stockholm-u, koji se nalazi unutar Annex-a 16, izdanog od strane ICAO (*International Civil Aviation Organisation*), te je kasnije proširen raznim dodatcima. Naziv tog Annex-a je „Zaštita okoliša“, te se regulacija emisije štetnih tvari nalazi u „Volume II“, dok je u „Volume I“ regulacija buke.

Prvi sporazumi vezani za emisije štetnih tvari bili su orijentirani na rad na tlu, tj. emisije štetnih tvari nastalih pri zemlji. Kasnije su se sporazumi proširili na globalnu razinu. Veliki korak pri smanjenju emisija štetnih tvari je napravljen 2005. godine u Kyoto-u, pod nazivom *Kyoto Protocol*. Protokol je zahtijevao industrijalizirane zemlje, označene u Annex-u 1 da smanje njihove emisije stakleničkih plinova. 2007. godine održan je sastanak ICAO, gdje se zahtijevalo od razvijenih, ali i od zemalja u razvoju da promijene politiku o smanjenju emisije štetnih tvari i da pronađu stabilna rješenja za rastući problem emisija štetnih tvari i da što prije dostave rješenja UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*). 2016. godine postignut je Pariški sporazum o klimatskim promjenama. Glavni elementi tog sporazuma su:²

- Smanjenje razina emisija,
- transparentnost mjerenja i razina emisija,
- adaptacija zemalja prema pariškom sporazumu,
- povećana suradnja između raznih sektora vezanih uz klimatske promjene,
- veća zainteresiranost gradova, regija i vlasti i
- davanje poticaja razvijenih zemalja.

CAEP (*Committee on Aviation Environmental Protection*) je zadužen za regulaciju emisija štetnih tvari i buke u zračnom prometu. Od 1983. godine kada je formiran, organizirani su sastanci na kojima su donesene nove mjere regulacije navedenih plinova i buke. Na zadnjem sastanku CAEP-u Montreal-u, veljače 2016. godine, pod nazivom CAEP/10 donesene su nove mjere regulacije koje se odnose na emisiju štetnih tvari, buku, operacije na zračnim lukama, uvid u globalno tržište fosilnih goriva i na kraju, poticaj na korištenje alternativnih goriva, tako da budu u globalnoj primjeni do 2050

¹<http://www.atag.org/facts-and-figures.html> - 24.06.2017.

²https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en - 24.06.2017.

godine. CAEP se sastoji od 24 članica i 15 pratitelja koji se mogu vidjeti u tablici 1 i 2. U CAEP-ovom programu također sudjeluje preko 600 stručnjaka iz raznih država.

Tablica 1. Prikaz zemalja članica CAEP-a, Izvor: [1]

Argentina	Australija	Brazil
Kanada	Kina	Egipat
Francuska	Njemačka	Indija
Indonezija	Italija	Japan
Nizozemska	Poljska	Rusija
Singapur	Južnoafrička Republika	Španjolska
Švedska	Švicarska	Ukrajina
Ujedinjeni Arapski Emirati	UK	SAD

Tablica 2. Prikaz CAEP promatrača, Izvor: [2]

Grčka	Norveška	Peru
Saudijska Arabija	Turska	ACAC
ACI	CANSO	EU
IATA	IBAC	ICCAIA
ICSA	IFALPA	UNFCCC

Unutar Annex-a 16 se nalaze standardi ograničenja koksne čestice (dimnost ispušnih dimova), HC (neizgorenih ugljikovodika), CO (ugljičnog monoksida) i NO_x (dušikov oksid) koji nastaju pri radu motora zrakoplova.³ U prilogu se nalaze ispitivanja i postupci odobreni od nadležnog tijela. Standardi, ispitivanja i mjerenja odnose se na motore koje proizvođači zrakoplova moraju ispuniti, a uvjerenje da su kriteriji koji su propisani zakonom ispunjeni izdaje nadležno tijelo. Proizvođači se moraju pridržavati određenih načela, a oni glase:⁴

- dopušteno je svakom proizvođaču da pri testiranju može odlučiti koliko će motora testirati
- napraviti će se tri testiranja motora
- krajnji rezultat je aritmetička sredina rezultata testova na jednom motoru ili više njih

³<http://cockpitdata.com/Software/ICAO%20Annex%2016%20Volume%202> – 24.06.2017.

⁴Promet i okoliš, prof. dr. sc. Jasna Golubić, str. 186. - 24.06.2017.

- proizvođač je dužan podatke dobivene od testiranja predati nadležnom tijelu
- motor na kojem su izvršeni testovi će biti referentni model, te će odstupanja drugih motora u emisiji štetnih plinova u odnosu na referentni model opet zahtijevati odobrenje od nadležnih tijela

Prema EAER (*European Aviation Environmental Report*), prijašnje navedene instrukcije, procesi i ograničenja certificirani od strane ICAO, primjenjuju se samo na motore s potiskom većim od 26,7 kN. Za mjerenje količine plinovitih emisija koristi se LTO (Landing and Take Off) proces, koji se nalazi u tablici 3.⁵

Tablica 3. Prikaz LTO, Izvor: [3]

Režim leta	Potisak	Vrijeme
Uzljetanje	100%	0.7 min
Penjanje	85%	2.2 min
Prilaz	30%	4.9 min
Taxi	7%	26.0 min

Sa potrebom što veće brzine pri procesu prijevoza, potrebno je povećati korištenje goriva, što zahtjeva veći tlak i temperaturu i automatski uzrokuje veće emisije štetnih plinova, od kojih je NOx najštetniji. Cilj CAEP sastanka je smanjenje NOx, dok za ostale emisije štetnih tvari kao HC, CO i koksne čestice nisu određene nove regulacije jer se smatra da su trenutno u dozvoljenoj količini prisutni.⁶ Pri tim novim regulacijama se i projektiraju i proizvode novi motori za zrakoplove. Bazu podatka o emisijama motora štetnih tvari ICAO preuzima od EASA (*European Aviation Security Agency*).

Veliki korak prema kontroli emisija štetnih tvari je *Clean Sky* program, aspirativni program koji uz pomoć najnovije tehnologije namjerava smanjiti negativne emisije zračnog prometa, kao što su buka i emisije štetnih plinova. Cilj *Clean Sky* programa je da sa svojim radom omogućava napredak i kompetentnost europske flote na globalnoj razini. Financirana je od strane *Horizon 2020* i trenutno ima 4 milijardi eura budžet za realizaciju *Clean Sky 2* projekta.⁷ *Clean Sky* program je pokrenut 2008. godine te je cilj bio prvobitno realizirati projekt *Clean Sky 1* koji je i uspješno proveden. 2017. godine je u realizaciji projekt *Clean Sky 2*, nasljednik 1. projekta.

⁵<https://www.easa.europa.eu/eaer/topics/technology-and-design/figures-and-tables> - 24.06.2017.

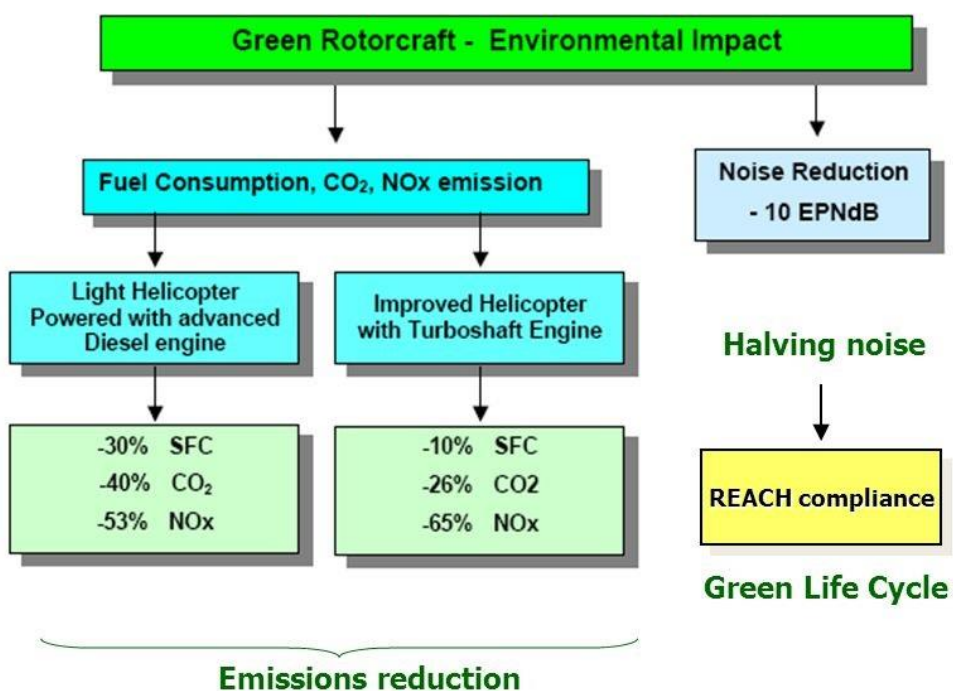
⁶<https://www.easa.europa.eu/eaer/topics/technology-and-design/aircraft-engine-emissions> - 24.06.2017.

⁷<https://www.easa.europa.eu/eaer/topics/technology-and-design/clean-sky-research-programme> - 24.06.2017.

Tehnološka dostignuća razvijana pomoću *Clean Sky 1* projekta su:⁸

- Pametno fiksirano krilo zrakoplova
- održivi i „zeleni“ motori
- „zeleni“ regionalni zrakoplovi
- „zeleni“ zrakoplovi sa rotorom
- sustavi za „zeleni“ rad operacija zrakoplova
- ekološki dizajn koji obuhvaća navedene točke *Clean Sky 1*,
- program tehnološke evaluacije.

Clean Sky 2 projekt ima isti cilj kao i *Clean Sky 1*, uz neke nove dodatke. Svi ciljevi iz *Clean Sky 1* su i dalje prioritet, ali su zato dodani i ciljevi vezani uz konstrukciju zrakoplova, manjih i velikih.⁹ Na slici 1 prikazan je plan smanjenja emisija zrakoplova sa rotorom.



Slika 1. Prikaz plana smanjenja emisija zrakoplova sa rotorom [4]

⁸<http://www.cleansky.eu/innovative-technologies> - 24.06.2017.

⁹*ibid* - 25.06.2017.

Još jedna kvalitetna inicijativa vezana uz kontrolu emisija štetnih tvari jest EU ETS (Emissions Trading System). EU ETS je najveća europska organizacija čiji je cilj smanjenje emisije štetnih tvari radi prevencije klimatskih promjena, te se sastoji od 31 države i odnosi se na tisuće instalacija i prijevoznika u zračnom prometu.¹⁰Sama funkcija EU ETS je podjela i kapiranje. Kapiranje se odnosi na ukupnu količinu emisije štetnih tvari koje emitiraju instalacije ili avioprijevoznici. Pod trgovanje se misli na razine emisija štetnih tvari, koje se ovisno o količini mogu po potrebi smanjivati i nadopunjavati međusobnom zamjenom.

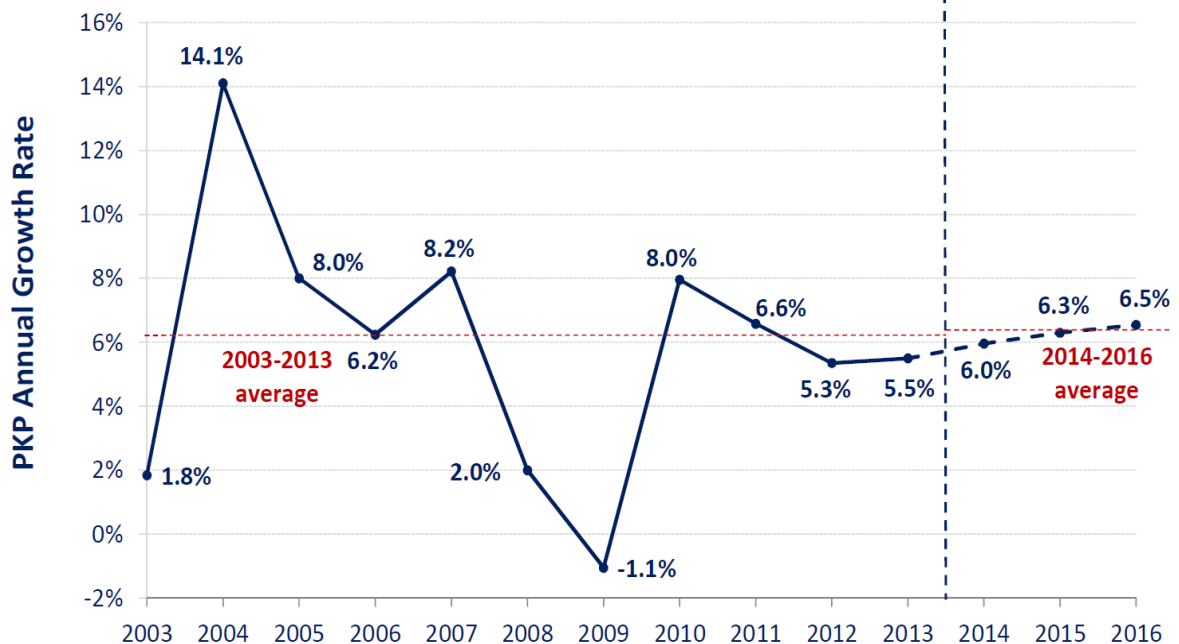
U slučaju nedovoljnog smanjenja emisija štetnih tvari, kompanije dobivaju kazne. EU ETS ima cilj smanjenja emisija štetnih tvari uz minimalne troškove, i to je veoma važan faktor pri korištenju „zelenih“ tehnologija. EU ETS je završila već dvije faze, te treća faza koja je aktivna od 2013. do 2020. ima cilj uvođenja kapiranja na razini cijele EU, a ne na nacionalnoj razini te je potrebno još više raznih plinova uključiti u ETS.

3. Utrošak energije u zračnom prometu

Cilj primjene alternativnih goriva je utrošak energije i smanjenje emisije stakleničkih plinova. Danas su mlazni zrakoplovi efikasniji za 80% u smislu efikasnosti goriva nego prvi mlazni zrakoplovi. No, iako je ta brojka impresivna, sa nezaustavljivim porastom broja putnika i tereta prevezenih godišnje, potreban je još veća efikasnost goriva. U Ženevi je IATA izdala podatke o porastu putničkog prometa između 2012. i 2017. godine porast od 31%. U 2017. godini se očekuje 3.91 milijardi ukupnog broja putnika što predstavlja porast od 930 milijuna putnika od 2012. godine. Sa sve većim porastom putnika i tereta prevezenih rastu automatski i emisije stakleničkih plinova. Prikaz porasta putnika na godišnjoj razini nalazi se na slici 2.

¹⁰https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en - 25.06.2017.

World passenger traffic - 2003 to 2016 - annual growth rate



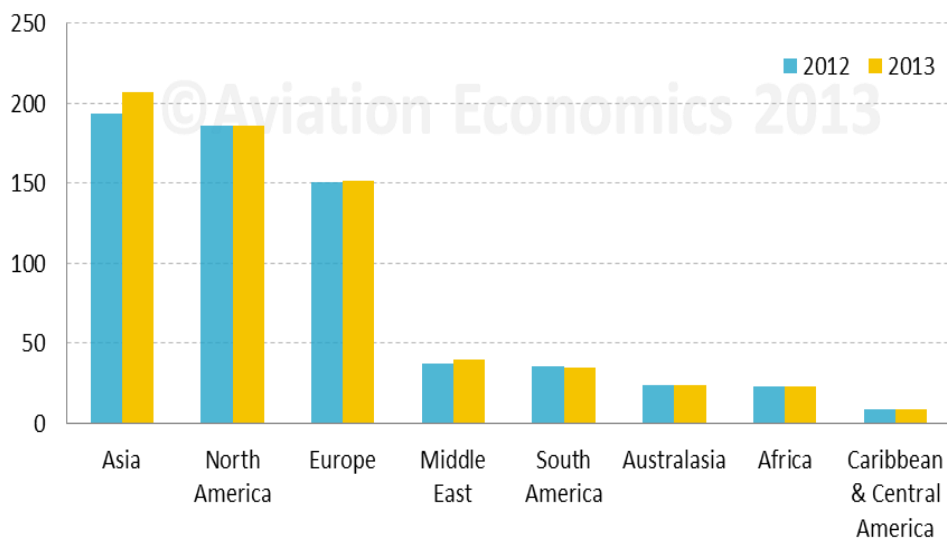
Slika 2. Prikaz porasta putnika u svijetu od 2003. do 2016. godine [5]

Alternativna goriva u zračnom prometu su od iznimne važnosti zbog ne samo kontriranja utjecaja CO₂ na atmosferu, nego i zbog korištenja samog CO₂ radi produkcije goriva i samim time dodatnim smanjenjem emisija CO₂. Postoje čak i primjeri gdje CO₂ ne izlazi u atmosferu, nego se konstantno koristi za proizvodnju goriva bez utjecaja na okoliš.

Trenutno, zračni promet generira oko 2% CO₂ na globalnoj razini.¹¹ ICAO smatra da bi do 2020 godine zračni promet emitirao 70% više stakleničkih plinova. Tokom letova, tj. eksploatacije zrakoplova dolazi do otpuštanja CO₂ u atmosferu što utječe na globalno zatopljenje i zakiseljenje oceana iznad kojeg se odvija let. Nakon CO₂, NO_x također ima štetan utjecaj na atmosferu, tj. preciznije na troposferu gdje akumulacija NO_x producira ozon (O₃). Osim navedenih CO₂ i NO_x, tragovi vodene pare zrakoplova također utječu na okoliš, ali u manjim količinama i to na određenim visinama. Kako je već spomenuto, na globalnoj razini zračni promet generira oko 2% CO₂, ali to nije jednako raspoređeno. Nije ista količina otpuštena na području Afrike i Europe. Na grafikonu 1 je prikazano koliko CO₂ generira određeni dio zemlje.

¹¹<http://www.atag.org/facts-and-figures.html> - 25.06.2017.

CO2 Emissions - Million Tonnes CO₂e



Grafikon 1. Prikaz CO₂ emisija u svijetu [6]

Primjer otpuštanja emisije tokom leta zrakoplova na kratkim i dugim udaljenostima, pri domaćem i međunarodnom prometu je¹²:

- Domaći let, mala udaljenost <463 km (288 milja): 257 g/km CO₂ ili 259 g/km (14.7 oz/milji) CO₂e
- Domaći let, velika udaljenost >463 km (288 milja): 177 g/km CO₂ ili 178 g/km (10.1 oz/milji) CO₂e
- Međunarodni let, velika udaljenost: 113 g/km CO₂ ili 114 g/km (6.5 oz/milji) CO₂e

Zračni promet emitira stakleničke plinove i prilikom kretanja zrakoplova na tlu unutar zračnih luka, gdje još i oprema za prihvat i otpremu putnika i prtljage, tereta i pošte i zrakoplova emitira stakleničke plinove tokom eksploatacije.

U cilju smanjenja emisija stakleničkih plinova, 2007. godine IATA (*International Aviation Transport Association*) je stavila u pokret sljedeću strategiju kojoj je cilj da zrakoplovi imaju 0% emisija stakleničkih plinova do 2050. godine. Ta se strategija sastoji od četiri stupa:¹³

¹²<http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/ilmaliikenne/ilmae.htm> - 25.06.2017.

¹³<http://www.iata.org/whatwedo/environment/Documents/global-approach-reducing-emissions.pdf> - 27.06.2017.

- Unaprjeđenje tehnologije i veća pozornost na goriva sa niskim udjelom ugljika,
- unaprjeđenje operacija zrakoplova,
- kvalitetnija infrastruktura unutar zračne luke,
- ekonomske mjere, radi postizanja globalnog tržišta i pokrivanja ostalih emisija.

U 2009. godini IATA je postavila još neke ciljeve:¹⁴

- Granica za CO2 razinu nakon 2020,
- unaprjeđenje efikasnosti goriva za 1.5% godišnje od 2009. – do 2020. godine,
- redukcija emisija CO2 do 2050. godine za 50%.

Radi postizanja navedenih ciljeva, ICAO je 2016. pokrenuo CORSIA (*Carbon Offset and Reduction Scheme for International Aviation*) inicijativu, koja predstavlja „shemu“ za smanjenje stakleničkih plinova na globalnoj razini. Od 2021. do 2026. godine je odobreno dobrovoljno provođenje CORSIA, no nakon toga CORSIA postaje obavezna. Već je 65 država prihvatilo CORSIA, što će utjecati na 80% CO2 od 2021. do 2035. godine.¹⁵

Na grafikonu 2 se može vidjeti plan smanjenja emisija CO2 od 2010. do 2040. godine. Iako se poboljšanjem konstrukcije zrakoplova i operacija tokom leta može iznimno smanjiti emisije CO2, problem je i dalje nezaustavljiv rast zračnog prometa na globalnoj razini. Kako se i može vidjeti, od 2020. godine se očekuje smanjenje emisije ugljika, a da bi se moglo to postići, jedina bliska solucija zasada su drop-in goriva o kojima će se kasnije puno više govoriti.¹⁶

¹⁴ *ibid* – 27.06.2017.

¹⁵ <http://www.iata.org/policy/environment/Pages/climate-change.aspx> - 27.06.2017.

¹⁶ <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/AlternativeFuels-QuestionsAnswers.aspx> 27.06.2017.

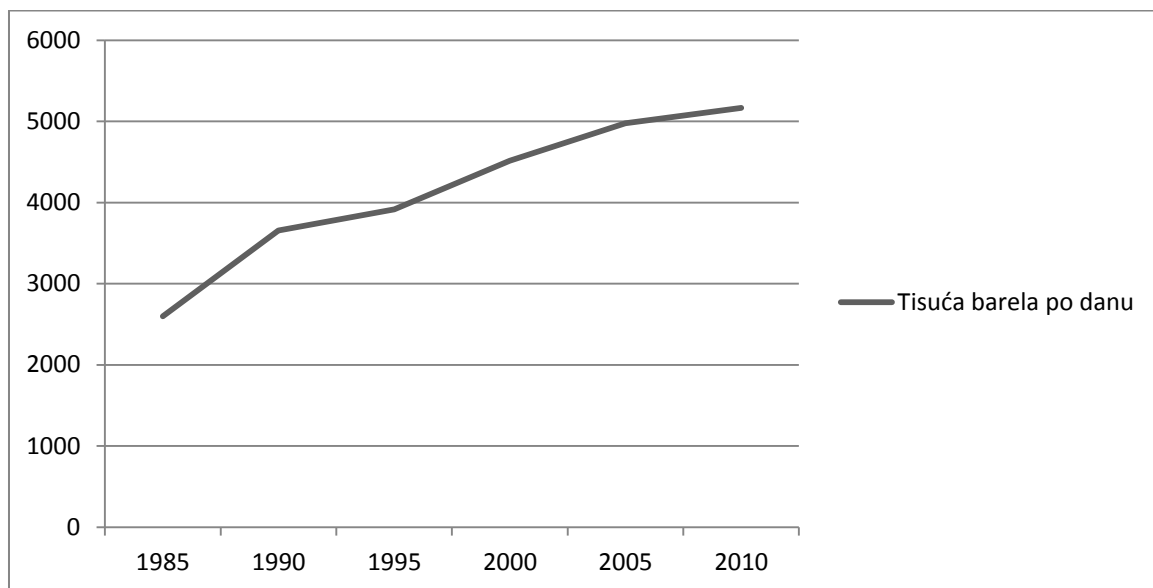


Grafikon 2. Plan smanjenja CO₂ emisija do 2040. godine u zračnom prometu [7]

3.1. Avionsko gorivo

Avionsko gorivo ima 43 MJ/kg vrijednost energije i gustoću energije 33 MJ/l prema tablici 2. Ti podatci predstavljaju „mjerilo“ po kojemu ostali oblici alternativnih goriva bi trebali težiti.

Potrošnja goriva u zračnom prometu je visoka i svaki let zahtjeva velike količine goriva za obavljanje leta, te se skoro u potpunosti u komercijalnim letovima koristi avionsko gorivo tj. kerozin, koji je trenutno glavni izvor energije u zračnom prometu. Kako se koristi u zračnom prometu skoro pa samo avionsko gorivo, potrošnja je velika i sa daljnjim godišnjim povećanjem zračnog prometa, putničkog i teretnog, potrošnja će biti sve veća. Grafikon 1 sadrži podatke vezane uz potrošnju avionskog goriva od 1985. godine do 2010. godine, gledano tisuću barela po danu. Očito je iz grafikona 3 da se potrošnja avionskog goriva ne smanjuje, nego samo raste, iako se može vidjeti usporeni rast potrošnje avionskog goriva nakon 2005. godine, zbog primjene drugih tipova goriva pri letovima.



Grafikon 3. Potrošnja avionskog goriva u svijetu, Izvor: [8]

Ako se uzme u obzir da sa povećanjem potrošnje avionskog goriva dolazi i do povećanja emisija štetnih tvari, očito je da je potrebno smanjiti emisije. U tablici 4 je prikazan porast NO_x, CO₂ i H₂O u stalnom porastu, iako se smatra da će prema 2040. godini biti prisutnija flota sa boljim karakteristikama koja će smanjiti emisije, te će se početi koristiti u komercijalne svrhe alternativna goriva.

Tablica 4. Emisije i potrošnja goriva gledano u milijunima tona [9]

Godina	1992.	2015.	2040.
Gorivo	120	302	420
NOx	1.3	3	2.4 – 4.4
CO2	380	953	1326
H2O	150	372	517

U zračnom prometu se koriste trenutno četiri vrste goriva:

- Jet A
- Jet A-1
- Jet B
- Avgas

3.2. Jet A, Jet A-1 i Jet B

Jet A je avionsko gorivo generalno korišteno samo unutar SAD-a, te nekih zračnih luka u Kanadi, kao npr. Toronto i Vancouver. U tablici 5 su prikazane karakteristike Jet A goriva.

Tablica 5. Karakteristike Jet A goriva, Izvor: [10]

	Jet A
Min. temperatura zapaljenja	38 °C
Temperatura samozapaljenja	210 °C
Temperatura zaleđivanja	-40 °C
Gustoća na 15 °C	0.820 kg/l
Specifična energija	43.02 MJ/kg
Gustoća energije	35.3 MJ/L

Jet A-1 je avionsko gorivo korišteno svugdje u svijetu. U tablici 6 su prikazane karakteristike Jet A-1 goriva.

Tablica 6. Karakteristike Jet A-1 goriva, Izvor: [11]

	Jet A
Min. temperatura zapaljenja	38 °C
Temperatura samozapaljenja	210 °C
Temperatura zaleđivanja	-47 °C
Gustoća na 15 °C	0.804 kg/l
Specifična energija	42.80 MJ/kg
Gustoća energije	34.7 MJ/L

Glavna razlika između Jet A i Jet A-1 goriva je razlika između temperature zaleđivanja, te je potrebno dodati anti-statični aditiv u Jet A-1.

Jet B je avionsko gorivo koje se koristi za letove u hladnijim područjima. Jet B ima bolje performanse u hladnijim područjima od Jet A i Jet A-1 goriva, te se zato koristi u zemljama na sjeveru, kao npr. Rusija i Kanada. Nedostatak Jet B je minimalna temperatura zapaljenja, tj. opasniji je za korištenje od Jet A goriva.

4. Kriteriji za potencijalnu uporabu alternativnih goriva u zračnom prometu

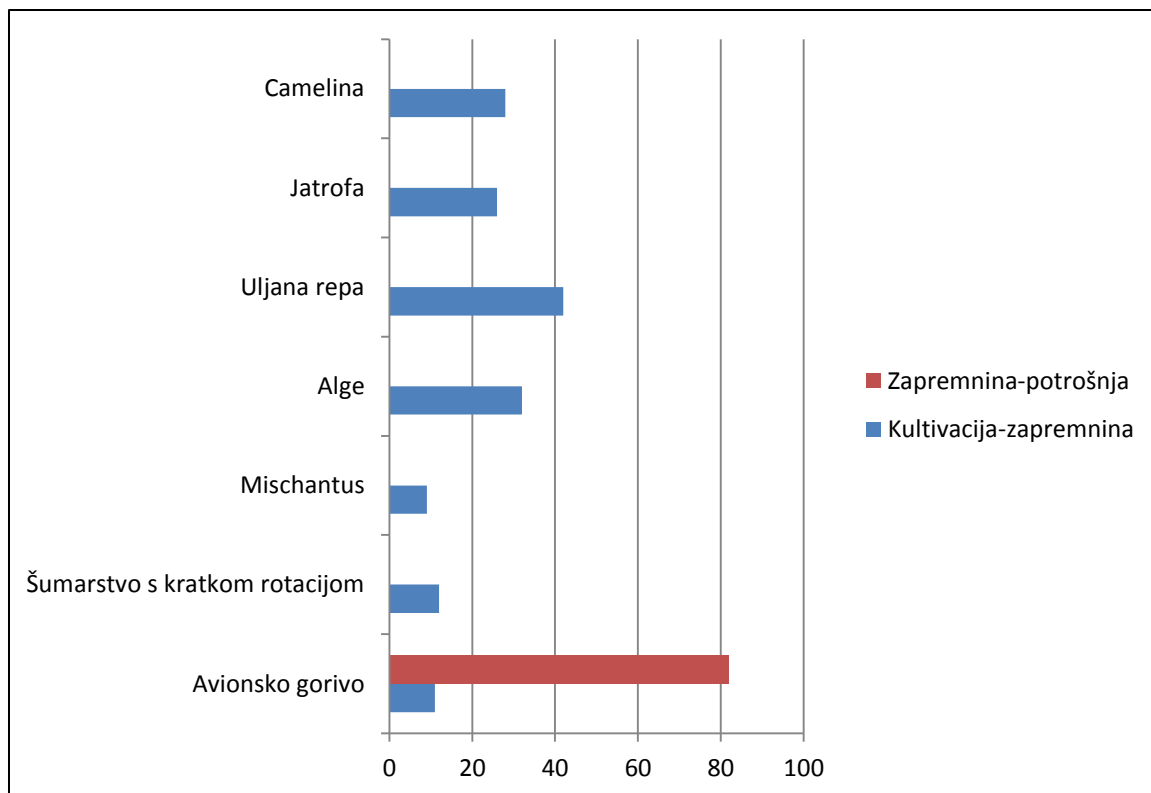
Da bi se alternativna goriva u zračnom prometu počela koristiti u komercijalnom transportu, ili u nekom drugom tipu, potrebno je ispuniti određene kriterije. Osim potrebe za jednakom ili većom energetsom vrijednošću od trenutnog avionskog goriva te naravno smanjenje stakleničkih plinova koji su u konstantom rastu zbog porasta obujma prometa, što je već navedeno nekoliko puta u ovome radu, glavni kriteriji za potencijalnu uporabu alternativnih goriva u zračnom prometu su:

- Karakteristike samog goriva,
- ekološki učinak,
- masovna proizvodnja,
- ekonomska opravdanost,
- sigurnost uporabe i kompatibilnost.

Prvi kriterij je da alternativna goriva trebaju biti jednakih ili boljih karakteristika od jet A, jet A-1 ili jet B goriva. Razlog tome je da prijevoznici u zračnom prometu ne moraju modificirati motor ili strukturu zrakoplova, te da se ne mijenja način opskrbe gorivom.¹⁷ Karakteristike jet goriva su prikazane u prošlom poglavlju, u tablici 5 i 6. Pod karakteristikama samog goriva se još i indicira na težinu goriva. Goriva koja zahtijevaju veće rezervoare i koja su puno teža od trenutno korištenih goriva nisu trenutno prihvatljiva u zračnom prometu, kao što je npr. tekući vodik, o kojemu će u kasnijim poglavljima više biti napisano.

Drugi kriterij je ekološki učinak pri uporabi alternativnih goriva. Jedan od glavnih ciljeva uporabe alternativnih goriva jest smanjenje stakleničkih plinova, te je zato zamjena trenutnih avionskih goriva za neko gorivo koje će imati izraženije emisije stakleničkih plinova neprihvatljivo. U grafikonu 4 nalazi se primjer potencijalnog smanjenja GHG (staklenički plinova) uporabom navedenih vrsta biogoriva.

¹⁷<http://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/sustainable-fuels/> - 28.06.1027.



Grafikon 4. Potencijalno smanjenje stakleničkih plinova uporabom navedenih biogoriva mjereno u GHG emisija/MJ goriva, Izvor: [12]

Treći kriterij je masovna proizvodnja. Čak i ako alternativno gorivo zadovoljava ostale kriterije, bez mogućnosti masovne proizvodnje to gorivo nije prikladno za upotrebu u komercijalnom zračnom prometu. Npr. za korištenje održivih alternativnih goriva u zračnom prometu je potrebno imati velika područja koja su namijenjena uzgoju biomase. tj. sirovine koja služi kao gorivo.

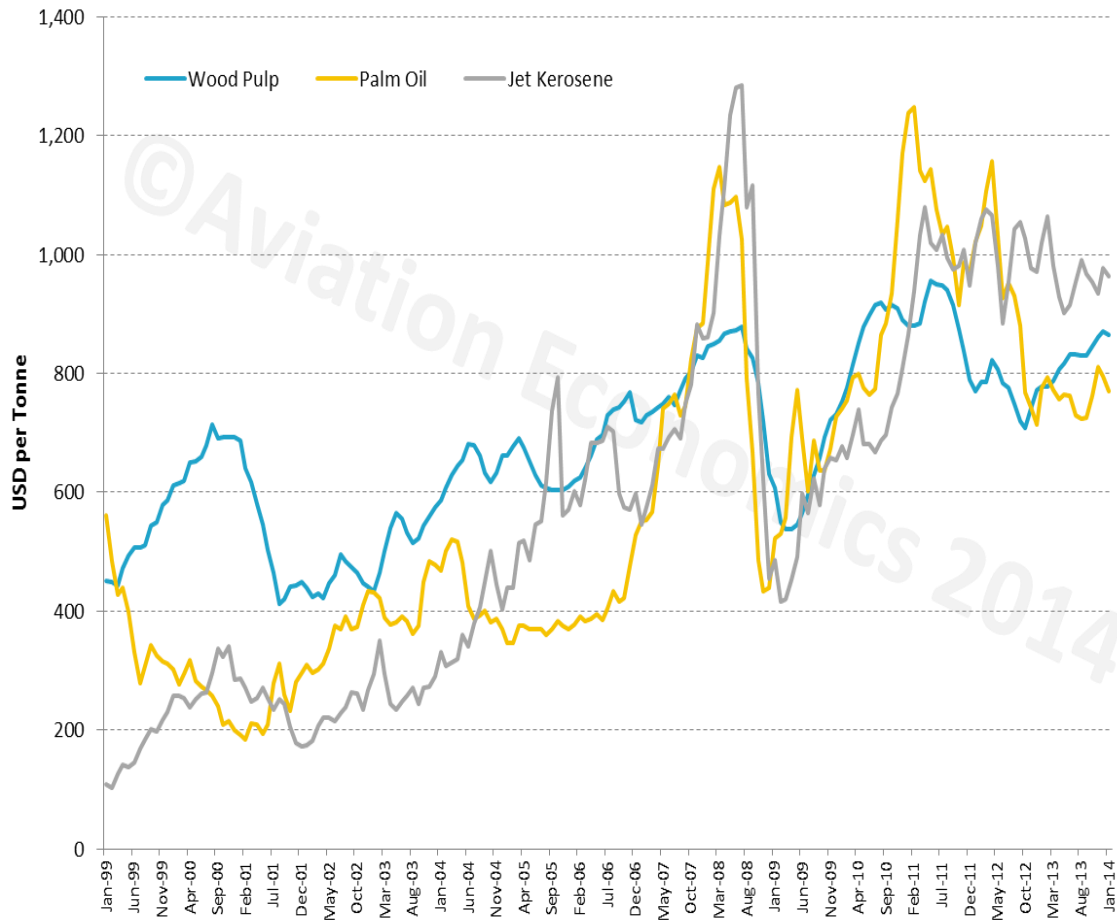
Nordic Energy je izračunao koliko bi trebalo proizvoditi sirovine za odvijanje komercijalnog prometa od 2020 do 2050 pomoću održivog alternativnog goriva u nordijskim zemljama, te se rezultati analize nalaze u tablici 7. PJ označuje količinu različitih sirovina korištenih kao gorivo, postotci predstavljaju efikasnost procesa konverzije, te se uzima 15 GJ/T kao srednja energetska vrijednost sirovina.

Tablica 7. Potrošnja sirovina pri uporabi održivog alternativnog goriva u nordijskim zemljama, Izvor: [13]

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Potrošnja (PJ)							
5%	45	285	497	723	949	1,175	1,401
15%	15	95	166	241	316	392	467
25%	9	57	99	145	190	235	280
Potrošnja (1000 T)							
5%	3,015	19,015	33,152	48,220	63,289	78,358	94,472
15%	1,005	6,338	11,051	16,073	21,096	26,119	31,142
25%	603	3,803	6,630	9,644	12,658	15,672	18,685

Način da se osigura proizvodnja biomase koja može zadovoljiti potrebe komercijalnog prometa jest da se fokusiraju zemljišta koja nisu podobna za uzgoj hrane, te biljke koje ne zahtijevaju pesticide, kompost ni navodnjavanja i što je najvažnije, da ne utječu na ekološki sustav u koji su smješteni. Primjer biljke koja nije jestiva, ne zahtjeva velika infrastrukturu ni brigu jest alga, te je postala zbog tih karakteristika prominentan kandidat. Navedene karakteristike za proizvodnju biomase je moguće ispuniti, no problem pri realizaciji proizvodnje je vezano uz ekonomsku opravdanost.

Četvrti kriterij ekonomske opravdanosti je i razlog zašto još alternativna goriva nisu u globalnoj uporabi u zračnom prometu. Pošto je trenutno avionsko gorivo jet A, jet A-1 i jet B u uporabi diljem svijeta, samo premještanje sa tih goriva na alternativno zahtjeva enormne investicije, a kako je primjena alternativnih goriva u komercijalnom letu tek nedavno započela, to investicije čini rizičnima. Trenutno nije ekonomski kompetitivno alternativno gorivo sa avionskim gorivom, no trend balansiranja cijena, tj. poskupljenje avionskog goriva i jeftinije alternativno gorivo je u tijeku. Na grafikonu 5 se može vidjeti razlika u cijeni trenutno korištenog avionskog goriva i dvije druge sirovine.



Grafikon 5. Prikaz cijene avionskog jet goriva i dvije sirovine koji se mogu koristiti kao biogorivo [14]

Peti kriterij je sigurnost uporabe i kompatibilnost. Gorivo koje se brzo zaledi pri niskim temperaturama, ima nisku temperaturu samozapaljenja ili je rezultat kompliciranog procesa proizvodnje goriva te transporta do samog rezervoara zrakoplova. Alternativna goriva smanjuju emisije štetnih tvari, ali imaju i nedostatke, kao npr. biodizel koji će nakon većeg intervala vremena oksidirati, a neka goriva sadrže bakterije i gljivice pa je potrebno konstanto vršiti dezinfekciju.

Cilj je da sigurnost pri uporabi teži prema trenutnom avionskom gorivu ili da bude još kvalitetnija. Osim sigurnosti, važno je da gorivo ne utječe drastično na strukturu motora, zrakoplova ili na samu infrastrukturu zračne luke.

5. Mogućnost primjene biogoriva u zrakoplovstvu

Biogorivo je već bilo istraživano za uporabu više puta u prošlosti. Prva ozbiljnija istraživanja su bila tokom Drugog Svjetskog rata zbog enormne potrošnje goriva, a sljedeći put od 1973. do 1979. godine te je razlog također bio nedostatak goriva. Očito je da su istraživanja nastala zbog oskudice goriva, no danas su se pojavila i nova dva razloga sve većem opsegu istraživanja biogoriva, a to su povećanje emisije stakleničkih plinova i potreba za većom količinom obradive zemlje. IATA je postavila cilj smanjenja emisije stakleničkih plinova od 50% do 2050. godine, usporedivo sa 2005. godinom.¹⁸

I ako su ovi ciljevi precizno definirani, njihova ostvarivost je upitna. Kasnije, pri analizi vrsta biogoriva detaljnije će se obraditi koji problemi „sputavaju“ primjenu biogoriva na globalnoj razini, te će svaki put problem biti gotovo identičan: Ekonomsko pitanje i često političko pitanje.

Prvi let pri kojem se koristilo biogorivo bio je 2008. godine. Zrakoplov je imao udio od 20% biogoriva u jednom motoru i eksperimentalni let je napravila kompanija Virgin Atlantic od Londona do Amsterdama, a 2011. godine je kompanija KLM izvela prvi komercijalni let od Amsterdama do Pariza. Prvi eksperimentalni let gdje je udio biogoriva bio 100% proveo je NRC 2012. godine.¹⁹

Biogoriva su danas u primjeni, ali u neznatno malim količinama, iako su već neke kompanije koje se bave proizvodnjom goriva potpisale ugovore sa zračnim kompanijama za naredne godine. Prije nego se mogu analizirati biogoriva u zračnom prometu, potrebno je ukratko spomenuti sirovine, tj. generacije iz kojih se dobivaju biogoriva. Postoje trenutno tri generacije biogoriva, a one su:

- Prva generacija
- druga generacija
- treća generacija.

Prva generacija biogoriva je već dugo korištena kao gorivo pri kuhanju, grijanju, transportu i dr. Unutar prve generacije se koriste za gorivo kukuruz, šećerna trska, soja, biljno ulje, pšenica, uljana repica i mnoge druge biljke.²⁰ Najveći problem prve generacije biogoriva jest da se biljke koje se koriste za proizvodnju goriva smatraju važnim izvorom hrane za čovječanstvo ili se koristi obradiva površina za uzgoj. Ovi nedostaci su ustvari i razlozi zašto se sve više prelazi na biogorivo druge i treće generacije, koji ne uzrokuju takve probleme. Iako se sve više koristi biogorivo druge i treće

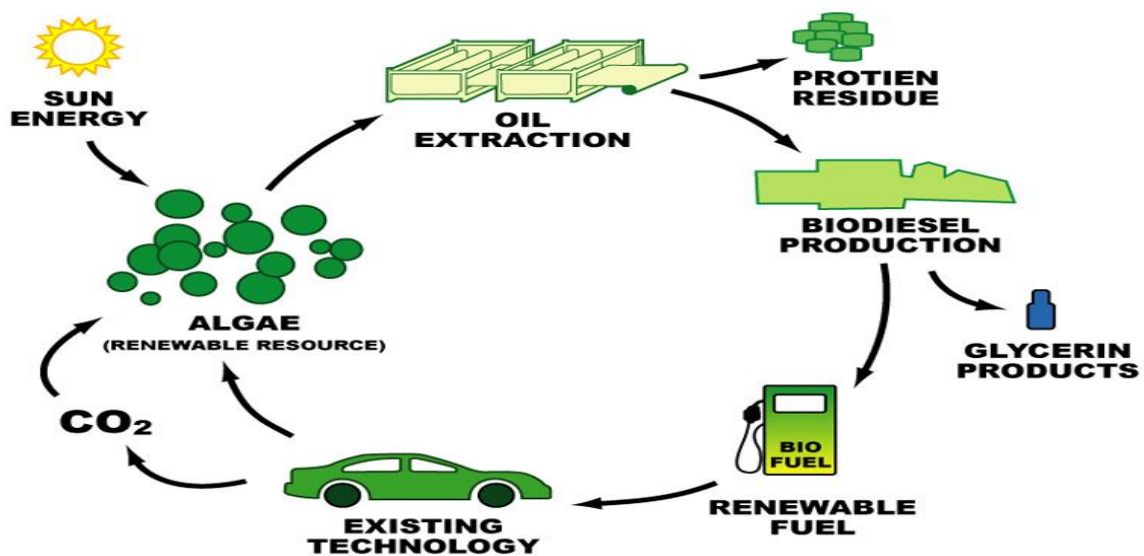
¹⁸<https://www.iata.org/whatwedo/environment/Documents/technology-roadmap-2013.pdf> - 30.06.2017.

²⁰www.atag.org/component/downloads/downloads/60.html - 30-06.2017.

generacije, biogorivo prve generacije je još uvijek u primjeni i vjerojatno će ostati u primjenu još dugo, dok se ne omogući kompletna zamjena biogoriva novije generacije.

Biogorivo druge generacije je gorivo koje se proizvodi iz sirovina koje se ne smatraju izvorom hrane, a ta prednost naspram biogoriva prve generacije je od velike važnosti. Zbog te značajke je i biogorivo druge generacije validan kandidat za gorivo u zračnom prometu. Iako se smatra da su to sirovine koje ne spadaju u izvor hrane, mogu se koristiti biljke koje se smatraju hranom, ali tek nakon što se već iskoristi dio biljke koji se smatra izvorom hrane. Pod sirovine za biogorivo druge generacije spadaju razne biljke od kojih su najpodobniji: jatropa i sjemenski usjevi, kamelina, halofita, ostatci biljnog ulja i kućanski otpad.²¹

Unutar biogoriva treće generacije spadaju alge. Alge su, prije nego što je uspostavljena treća generacija biogoriva, spadala u biogorivo druge generacije. No, zbog svojih izvanrednih karakteristika i visoke iskoristivosti energije po području prebačeni su u treću generaciju biogoriva. Alge se mogu uzgajati praktički svugdje, zahtijevaju minimalnu količinu brige i imaju visoku iskoristivost. Iz njihova ulja se proizvodi biodizel, ali i što je važnije jest da se može genetski modificirati tako da producira od butanola i etanola, do biodizela. Na slici 3 se nalazi proces proizvodnje goriva iz alga.



Slika 3. Pojednostavljeni prikaz proizvodnog ciklusa goriva od alga [15]

²¹ibid - 31.06.2017.

Postoje 4 kategorije biogoriva:

- Hidro-procesirani esteri i masne kiseline (HEFA)
- Biomasa u tekućinu (BtL)
- Plin u tekućinu (GtL)
- Alkohol u gorivo (AtJ)

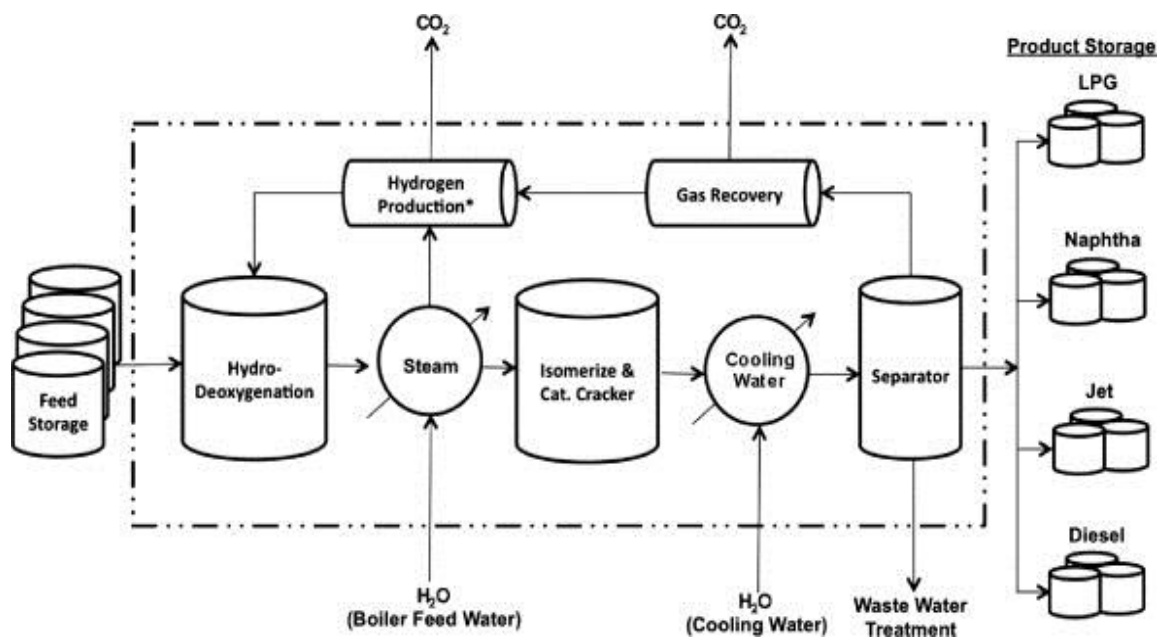
5.1. Ekološke prednosti i nedostaci

U sljedećim poglavljima će se analizirati prednosti i nedostaci goriva iz navedenih kategorija.

5.1.1. Hidro-procesirani esteri i masne kiseline

Za proizvodnju biogoriva iz HEFA (*Hydro-processed esters and fatty acids*), koristi se ulje ili mast, ali se zato ne mogu koristiti ostatci iz prehrane. Proizvodnja se sastoji od dvije faze.²² Prva faza je hidrogeniranje ulja i masti, a druga faza je rafiniranje. Proizvodni proces je standardiziran i gorivo je već korišteno na putničkim letovima, te se prikaz pojednostavljenog procesa proizvodnje HEFA goriva može vidjeti na slici 4.

²²<http://www.aireg.de/en/production/hydro-processed-esters-and-fatty-acids-hefa.html> - 02.07.2017.



Slika 4. Prikaz pojednostavljenog procesa HEFA [16]

Nažalost, veća primjena zahtjeva veći investicijski kapital, što trenutno nije prihvatljivo za zračne prijevoznike. Za sada se pomoću HEFA procesa proizvodi biogorivo iz malog broja rafinerija, no uz sve veću potrebu za alternativnim gorivom moguća je daljnja ekspanzija. Na tablici 8 se može vidjeti plan proizvodnje HEFA goriva za 2020. godinu.

Tablica 8. Prikaz plana proizvodnje biogoriva za 2020. godinu, Izvor: [17]

Kompanija	Lokacija	Sirovina	Tehnologija konverzije	Godišnji kapacitet (mil gal/god.)
Emerald Biofuels	Louisiana	Masti i ulja	HEFA	86
Natural BioReserve	South Sioux City	Masti i ulja	HEFA	53
Fulcrum Brighton Biofuels	Western United States	Kućanski otpad	FT	17
Red Rock Biofuels	Lakeview	Kućanski otpad	FT	14

Jedna od važnih karakteristika HEFA goriva jest da su to *drop-in* goriva²³, što znači da nije potrebna modifikacija motora zrakoplova za uporabu goriva. HEFA može biti korišten u 50% udjelu sa avionskim gorivom. Karakteristike HEFA goriva su:

- Specifična energija: 44 MJ/kg,
- specifična gustoća: 775-785 kg/m³,
- cetanski broj: >70.

U 2014. godini je globalni kapacitet proizvodnje iznosio 3.8 milijardi litara HEFA goriva, gdje je Neste Oil najveći proizvođač. HEFA se proizvodi u Europi, Singapuru i SAD-u. U Švedskoj je kompanija Preem jedina kompanija koja proizvodi HEFA gorivo, te se HEFA koristi u kombinaciji sa avionskim gorivom 50%-50%. Istraživanja su pokazala da je nastalo smanjenje emisija CO₂ za 46%.²⁴Razne kompanije pokušavaju naći još prikladniju sirovinu za proizvodnju HEFA u većim količinama.

5.1.2. Ukapljeni plin

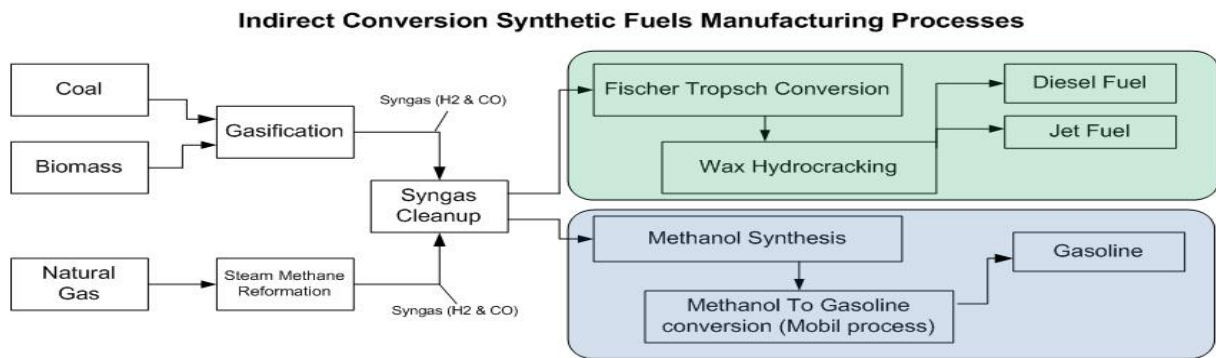
GtL (*Gas to Liquid*) za razliku od HEFA procesa koristi biomasu koja varira... od ostataka biljaka i životinja do kućanskog otpada. Prva faza je pretvaranje biomase u plin, i to pomoću raznih kemijskih procesa. Druga faza je dobivanje metana iz plina, te se u procesu pretvorbe u tekućinu pretvara u ugljični monoksid (CO) i vodik (H₂). Treća i zadnja faza je pretvaranje u ugljikovodike pomoću FT (*Fischer-Tropsch*) procesa i nakon toga se dobiva biogorivo.

Trenutna ocjena GtL na FRL skali iznosi 7. ²⁵Produkcijski kapacitet je u svijetu bio 2009. godine kada je GtL certificiran od strane ASTM 240,000 barela po danu. Kao i sva alternativna goriva, problem prije masovne proizvodnje je potreba za visokim kapitalom, ali i potreba za većom FRL (*Fuel Readiness Level*) ocjenom, iako GtL predstavlja kvalitetno rješenje za ispušne plinove tokom raznih industrijskih procesa. Pojednostavljeni prikaz FT proces se nalazi na slici 5.

²³<http://www.f3centre.se/fact-sheet/HVO> - 02.07.2017.

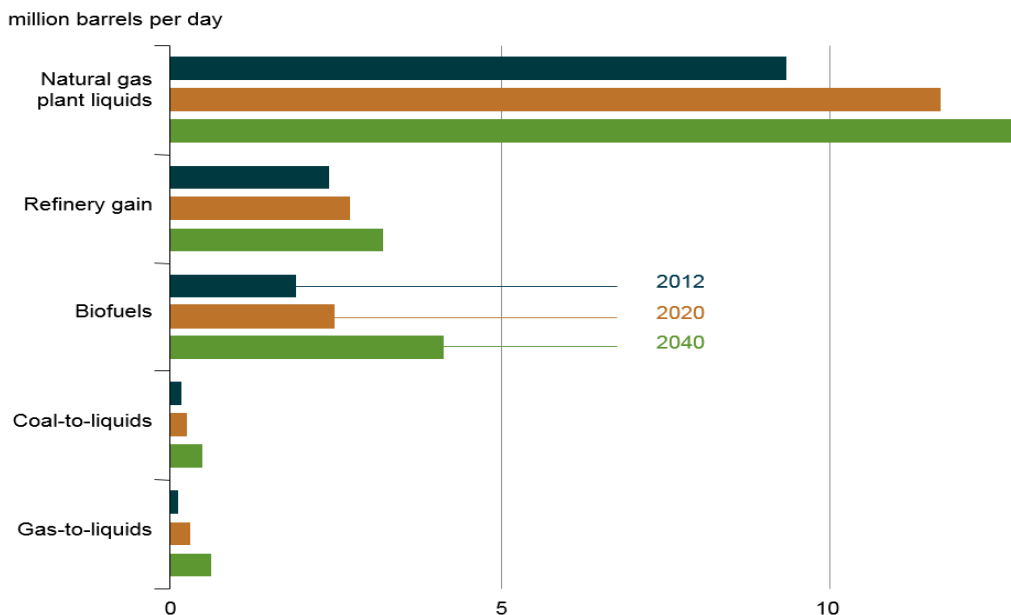
²⁴http://www.f3centre.se/sites/default/files/fuels_fact_sheet_5_hefa_hvo_160810_final_0.pdf - 02.07.2017.

²⁵<http://www.aireg.de/en/production/gas-to-liquid-gtl.html> - 02.07.2017.



Slika 5. Pojednostavljeni prikaz Fischer-Tropsch procesa [18]

Prvi komercijalni let sa mješavinom avionskog goriva i GTL goriva proveden je 2009. godine. Za primjenu GTL goriva nije potreban modifikacija motora. Zbog sve veće potrebe za alternativnim gorivom, mnoge su kompanije odlučile istraživati GTL goriva. Najveća kompanija za GTL goriva, Infra Technology LLC je napravila prvu komercijalnu rafineriju u Teksasu koja će proizvoditi sintetički plin iz prirodnog plina. Prema EIA (*U.S. Energy Information Administration*), GTL će naspram ostalih vrsta alternativnih goriva biti u sporijem porastu, što je prikazano na grafikonu 6.

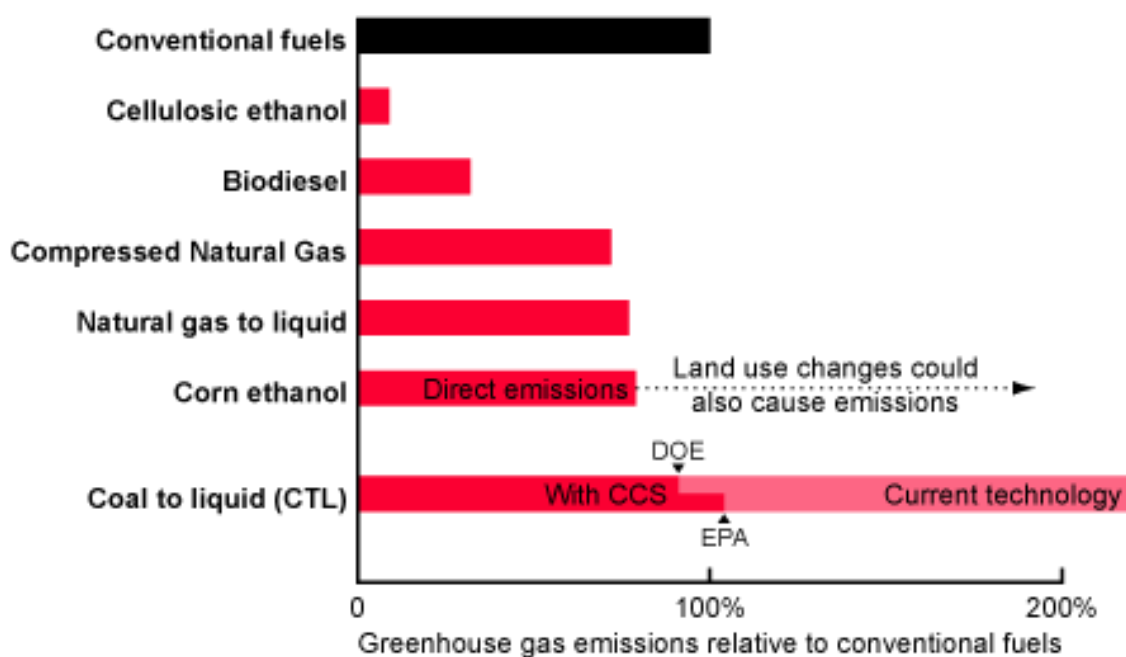


Grafikon 6. Prikaz porasta proizvodnje navedenih alternativnih goriva prema EIA [19]

5.1.3. Ukapljena biomasa

BtL (*Biomass to Liquid*) gorivo ima slične karakteristike kao i avionsko gorivo, te se zato može koristiti *drop-in* gorivo, što je od velike važnosti prijevoznicima u zračnom prometu. BtL se proizvodi iz biomase, te je prva faza pretvaranje biomase pomoću kemijskih procesa, te se time dobije ugljični dioksid i vodik. Druga faza je Fischer-Tropsch proces u kojem se producira ugljikovodik i nakon toga u trećoj fazi dolazi do rafiniranja, tj. proizvodnje goriva. BtL je izvodiv i prakticiran već prije nekoliko desetljeća, kada je napravljen proces CtL (Coal to Liquid).²⁶No, danas CtL nije prihvatljiva metoda, jer se njome ustvari još i povećava emisija stakleničkih plinova i povećava globalno zatopljenje, što je prikazano na grafikonu 7.

Studije su pokazale, ako se koristi 4-5 milijuna hektara samo za uzgoj sirovina za BtL, 20-25% goriva koje se trenutno koristi bilo bi pokriveno.²⁷



Grafikon 7. Usporedba emisija stakleničkih plinova alternativnih goriva i trenutnog avionskog goriva [20]

Izvediv je i proces na drvu, ali to predstavlja onda korištenje sirovina prve generacije, što je već neprihvatljivo za današnji zračni promet, jer se prihvaćaju samo druga i treća generacija goriva. Kao i kod ostalih metoda, nedostatak investicija i minimalna potpora od vlasti usporavaju napredak ove tehnologije, a i niska FRL ocjena od 3 ne omogućavaju proizvodnju i primjenu na globalnoj razini.

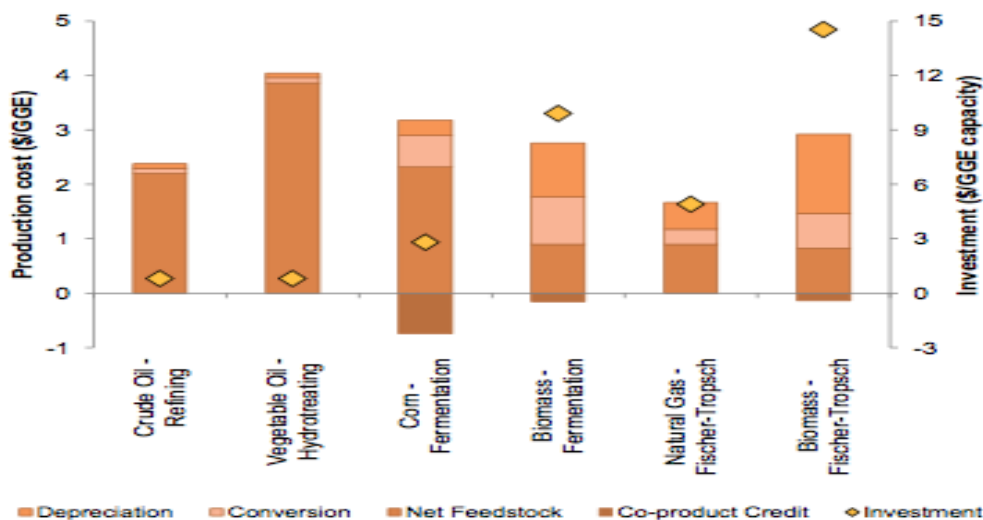
²⁶<http://www.aireg.de/en/production/biomass-to-liquid-btl.html> - 02.07.2017.

²⁷http://www.etipbioenergy.eu/?option=com_content&view=article&id=277 - 02.07.2017.

Primjena je već počela u 2013. kada je Qatar Airways izveo let sa avionskim gorivom i udjelom BtL goriva.²⁸

GreenSky projekt je bio financiran od strane British Airways-a radi istraživanja primjene BtL goriva u zračnom prometu. Cilj je bio stvaranje goriva iz otpada, preciznije 16 milijuna galona avionskog goriva svake godine. British Airways je izračunao da bi na 600,000 tona otpada iz Londona dobili 50,000 tona biogoriva i 50,000 tona biodizela. Tehnologiju koju bi primijenili za proizvodnju goriva bila bi 20%-50% efikasnija, obrađujući pritom više goriva. Nažalost, ovaj projekt je napušten, i to zbog nedostatka investicija i potpore vlasti.

BioTfuel je projekt čiji je cilj standardizirati proces BtL i uspješno ga plasirati na tržište. Financiran je od strane nekoliko francuskih investitora i kompanije Uhde. Projekt koristi tehnologiju koju je razvio Uhde, kompanije koja se specijalizira u tehnologijama vezanim uz visoki tlak te je karakteristika ove tehnologije iznimno širok raspon sirovina što omogućuje visok izbor pri rafiniranju goriva. Projekt uključuje nekoliko postrojenja te cijena iznosi oko 112.7 milijuna eura.²⁹ Kao i svaka nova vrsta alternativnih goriva, potrebna je visoka investicija za primjenu u zračnom prometu, te je ekonomska isplativost primjene BtL goriva prikazana na grafikonu 8.



Grafikon 8. Prikaz ekonomske isplativost BtL i drugih goriva [21]

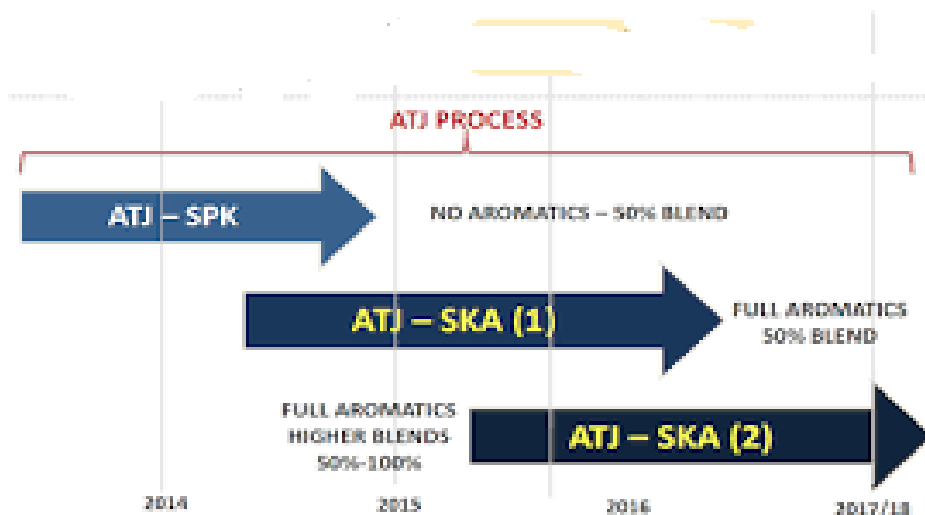
²⁸<http://www.greenaironline.com/news.php?viewStory=1639> – 03.07.2017.

²⁹http://www.etipbioenergy.eu/?option=com_content&view=article&id=277 – 03.07.2017.

5.1.4. Alkohol u gorivo

AtJ (*Alcohol to Jet*) predstavlja proizvodnju goriva iz alkohola. U prvoj se fazi proizvode ugljikovodici pomoću kemijskih procesa, a zatim počinje druga faza. Prije nego li se krene na drugu fazu, potrebno je osigurati alkohol, koji se može proizvoditi na dva načina. AtJ je certificiran od strane *ASTM International (American Section of the International Association for Testing Materials)* 2011. godine, no do danas je većina kompanija izvodila istraživanja i proizvodnja AtJ na minimumu. Razlog tome je, naravno nedostatak investicija u istraživanje AtJ goriva.

Da bi se mogao lakše adaptirati tržištu i da bi zrakoplovni prijevoznici uopće razmatrali primjenu AtJ, gorivo je *drop-in* karakteristika, kao i sva druga biogoriva prije navedena. Pošto je AtJ tek u ranim fazama razvoja, ocjena od strane FRL iznosi 2. ASTM ima određeni plan pri kojem će se odobriti korištenje AtJ u komercijalnom zračnom prometu, te se nalazi na slici 6.



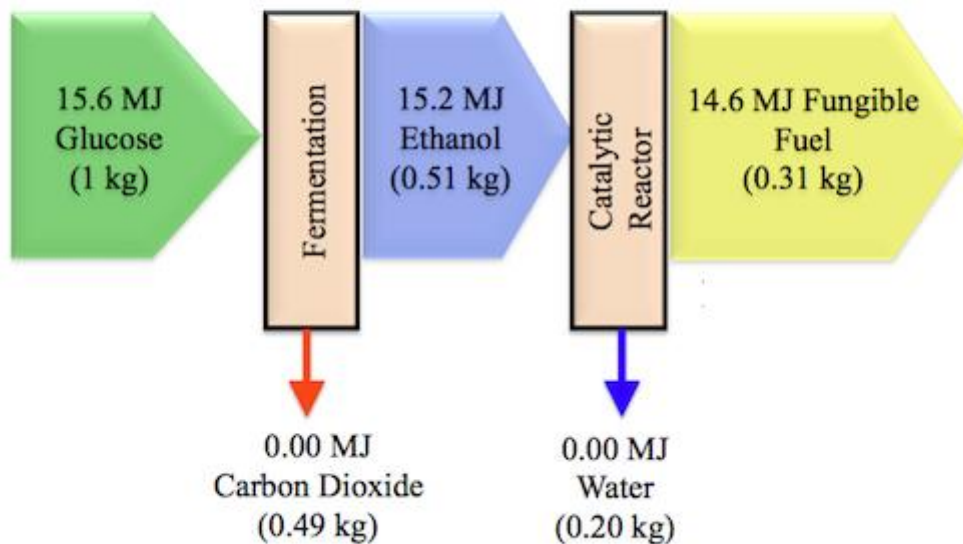
Slika 6. Prikaz plana razvoja AtJ procesa do 2018. godine [22]

U 2016. godini je Gevo kompanija dobila potvrdu za proizvodnju AtJ goriva za komercijalnu uporabu. Dopušten je udio od 30% sa trenutnim avionskim gorivom. Alaska Airlines je već potpisala kupovinu Gevo biogoriva, te su u Gevi izračunali da bi korištenjem AtJ goriva smanjili emisiju

stakleničkih plinova za 85%.³⁰Lufthansa je potpisala ugovor također sa Gevo. te trenutno provode testiranja biogoriva iz Gevo.³¹Gevo trenutno i radi sa IATA (*International Air Transport Association*), radi testiranja AtJ u komercijalnom prijevozu, dok su već rađeni eksperimentalni letovi za SAD, no samo za vojni dio zračnog prometa.³²

Na slici 7 je prikazano koliko se dobije AtJ goriva od 1kg šećera nakon obavljanja procesa fermentacije i rafiniranja.

Energy Flows for Transformation of 1 kg of Sugar into Fungible Fuel



Slika 7. Prikaz proizvodnje AtJ iz 1kg šećera [23]

³⁰<http://www.greenaironline.com/news.php?viewStory=2225> – 03.07.2017.

³¹<http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2015/12/16/high-confidence-level-as-alcohol-to-jet-fuel-closes-in-on-historic-astm-approval/> - 03.07.2017.

³²<http://www.gevo.com/our-markets/jet-fuel/> - 03.07.2017.

5.2. Održiva alternativna goriva (SUSTAF)

Održiva alternativna goriva (SUSTAF) dobivaju biogoriva koja su potvrđena kao certificirana od strane treće stranke, iako je ovaj certifikat samo dodatak potvrdi koju izdaje ASTM *International*. Kada biogorivo zadovolji uvjete koje ovi navedeni certifikati zahtijevaju, tada može dobiti odobrenje za korištenje u komercijalnom prometu.³³

Biogorivo mora zadovoljiti određene kriterije, a oni su već bili nabrojani obrađeni u četvrtom poglavlju „Kriteriji za potencijalnu uporabu alternativnih goriva u zračnom prometu“. Ako se koristi shema trgovanja emisijom, što je spomenuto u drugom poglavlju „Zakonska regulativa glede emisija štetnih tvari“, biogorivo se može odobriti. Od trećih stranka koje odobravaju korištenje biogoriva, prvi i najvažniji je RSB (*European Round Table on Sustainable Biomaterials*) koji je postavio standard za uporabu biogoriva u komercijalnom prometu. Primjer certifikata izdanog od strane RSB nalazi se na slici 8.

SUSTAF goriva su ustvari biogoriva druge generacije, koja ne predstavljaju prijetnju nestašice hrane, vode ili oduzimanje obradivih površina. Osim što su to biogoriva druge generacije, to su još i *drop-in* goriva, te im ta karakteristika omogućava direktnu uporabu pri odobrenju komercijalizacije, pošto nije potrebna nikakva, ili iznimno minimalna modifikacija zrakoplovu. Kako je sa vremenom velik broj kriterija za korištenje biogoriva u komercijalnom prometu ispunjeno, što se može i vidjeti sa sve većim brojem letova uz biogoriva, sada je jedino pitanje kada će se na globalnoj razini početi koristiti neko biogorivo. No, najveći problem je sada ekonomsko i političko pitanje.³⁴

³⁴<https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/sustainable-fuels/> - 03.07.2017.

SCS Global Services does hereby certify that an independent assessment has been conducted on behalf of:

SkyNRG B.V.

Stadhouderskade 140, Amsterdam, 1074 BA, Netherlands

Has demonstrated the operation of a management system that is compliant with the requirements of:

Roundtable on Sustainable Biomaterials

Standard: RSB-STD-11-001-20-001; RSB-STD-11-001-20-004

The scope of this certificate shall be limited to:

Trader and Blender
Chemical Tolling Manufacturer
Chain of Custody Compliance with the EU Renewable Energy Directive (RED)

This RSB certificate was issued under accreditation by a RSB recognized certification body for compliance with the RSB standards and the RSB certification systems.

Certificate Code: SCS/RSB-C-0014

RSB Participant Code: 573

Valid from 26 March 2015 to 25 March 2017

This RSB certificate is only valid if duly registered in the RSB database(s) of registered RSB certificates and that the validity of this RSB certificate shall be verified in the RSB database(s) of registered RSB certificates. Please see www.rsb.org. This certificate does not constitute evidence that a particular product supplied by the certificate holder is certified to RSB standards. This certificate shall remain the property of SCS, and all copies and reproductions shall be restricted to SCS immediately upon request. Products offered, shipped or sold by the certificate holder can only be considered covered by the scope of this certificate when the required RSB claim is clearly stated on product delivery notes.

SCS global
SERVICES


Robert J. Hrubes, Ph.D., Executive Vice President
SCS Global Services
2000 Powell Street, Ste. 600, Emeryville, CA 94608 USA



CB Registration No.592



Slika 8. Primjer RSB certifikata [24]

IATA trenutno smatra da su SUSTAF goriva jedina zamjena za trenutna goriva, pošto električna energija još nije dovoljna za pokretanje zrakoplova, iako se na tom području intenzivno radi, ali puno manje nego na alternativnim biogorivima, pošto su zrakoplovi na bazi električne energije u veoma rudimentarnim fazama razvoja. IATA je član RSB-a, koji određuje standarde za biogoriva te podupire daljnja istraživanja, eksperimentalne letove i proizvodnju na globalnoj razini u skladu sa već navedenim kriterijima za odobravanje alternativnih goriva.³⁵

Da bi omogućili certificiranje i primjenu alternativnih goriva, IATA je definirala ciljeve, a oni su ukratko:³⁶

- Poticanje komunikacije a svim zainteresiranima za SUSTAF i omogućavanje kooperacije među strankama,
- pružanje potpore u svim segmentima da bi se uspješno kreiralo tržište za alternativna goriva,
- vršiti daljnja istraživanja radi dokazivanja ekonomske vrijednosti alternativnih goriva na tržištu,
- definirati točnu mapu sa definiranjem kratkoročnih i dugoročnih ciljeva,
- vršiti promociju alternativnih goriva,

³⁵https://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/Documents/fact-sheet-alternative-fuels.pdf - 04.07.2017.

³⁶<http://www.iata.org/whatwedo/environment/Pages/sustainable-alternative-jet-fuels.aspx> - 04.07.2017.

- ukazati javnosti na štetno djelovanje stakleničkih plinova, na njihov utjecaj na okoliš te na mogućnost alternativnih goriva da negiraju taj utjecaj,
- vršiti edukaciju i certifikaciju proizvođača,
- Održavati forume u kojima se diskutiraju primjena, proizvodnja i ekonomske prilike između proizvođača i zainteresiranih stranka.

Prema IATA-i, veće je velik broj zračnih prijevoznika potpisao ugovore sa proizvođačima biogoriva o opskrbi biogorivom. U tablici 9 su navedene kompanije i proizvođači koji su već potpisali ugovore.

Tablica 9. Prikaz zainteresiranih prijevoznika u zračnom prometu i proizvođača biogoriva, Izvor: [25]

Prijevoznik	Proizvođač	Volumen [t/god.]	Sirovina	Vrem. rok ugovora	Početak isporuke	Datum ugovora
United	AltAir	17,000	HEFA	3 godina	2016	2013
Cathay	Fulcrum	100,000	Otpad	10 godina	2019	2014
FedEx i Southwest	Red Rock	10,000	Ostatci šuma	8 godina	2017	2014
United	Fulcrum	>270,000	Otpad	10 godina	2019	2015
JetBlue	SG Preston	100,000	HEFA	10 godina	2019	2016
Lufthansa	Gevo	<30,000,000 mil. litara	~	5 godina	~	2016
Alaska Airlines	Hawaii Bioenergy	38,000,000 mil. litara	~	~	2018	2013
KLM	AltAir	~	HEFA	3 godina	~	2016

6. Primjena prirodnog plina, nuklearnog pogona i solarnog pogona

U sljedećim poglavljima biti će analizirana primjena prirodnog plina, nuklearnog pogona i solarnog pogona u zračnom prometu, tj. njihovih prednosti i nedostatka, kompanija koje vrše istraživanja za navedene tehnologije i proizvođača koji su zainteresirani za proces proizvodnje.

6.1. Primjena prirodnog plina

Najvažnije značajke primjene prirodnog plina za proizvodnu goriva su:

- Gorivo je lakše od trenutnog avionskog goriva, gdje je za istu energetska iskoristivost plin 20% lakši,³⁷
- plin ispada i 70-80% jeftiniji od avionskog goriva zbog enormnih trenutnih zaliha,
- procjenjuje se smanjenje emisije CO₂ za 25% i emisija NO_x i čestica za 60%.³⁸

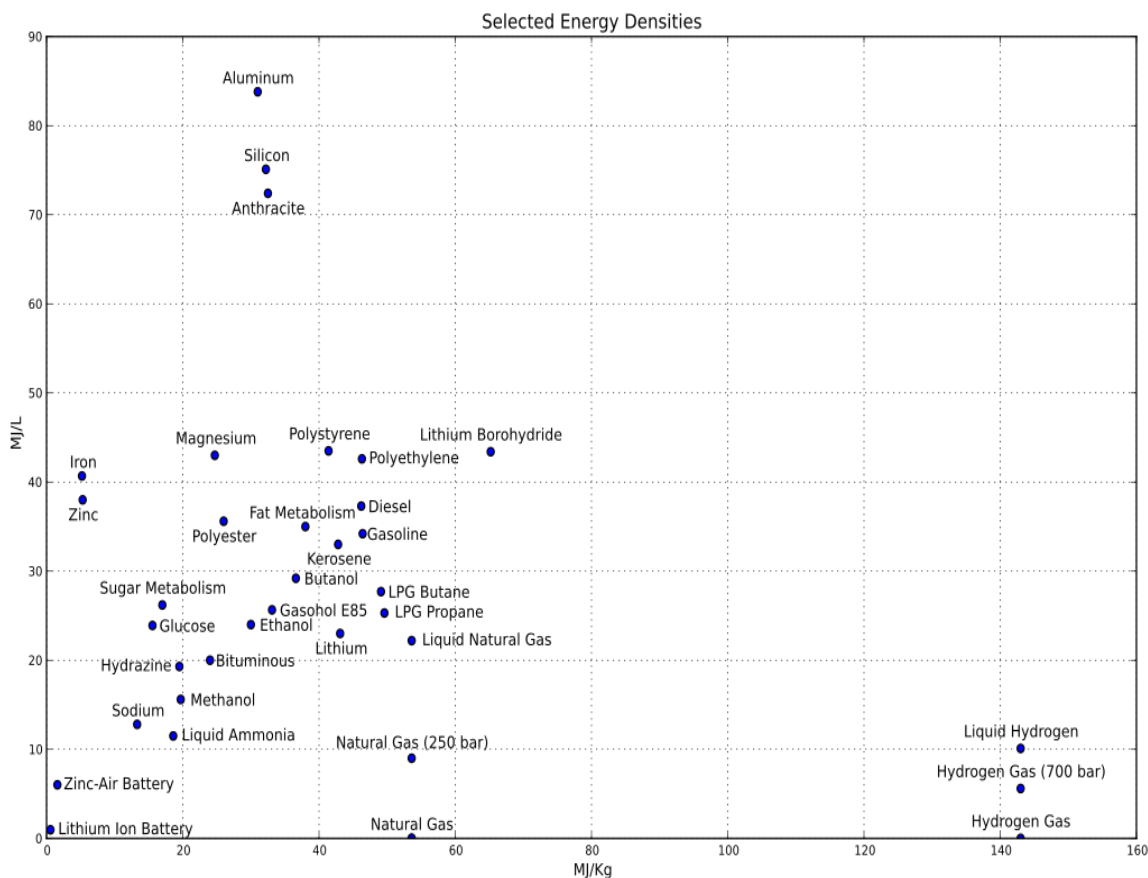
Pomoću prirodnog plina se mogu napraviti dvije vrste goriva na bazi prirodnog plina za zračni promet:³⁹

- LNG (Liquified natural gas)
- CNG (Compressed natural gas)

Za razliku od biogoriva, navedenih u prošlom poglavlju, LNG i CNG zahtijevaju modifikaciju konstrukcije i motora zrakoplova, što automatski zahtjeva puno veće investicije nego kod primjene biogoriva, gdje većina njih posjeduje *drop-in* karakteristiku. Problem još i predstavlja niska gustoća i stabilnost goriva pri standardnim atmosferskim uvjetima, te je zato potreban poseban rezervoar koji će održavati potrebnu temperaturu i pritisak goriva. Manje težine goriva u usporedbi s kerozinom. Na slici 9 prikazana je energetska vrijednost LNG u usporedbi sa ostalim gorivima, najvažnije kerozinom.

³⁷<https://wellsaidcabot.com/cng-vehicles-airplanes/> - 05.07.2017.

³⁸<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376042113000900?via%3Dihub> -05.07.2017.



Slika 9. Prikaz energetske vrijednosti LNG [26]

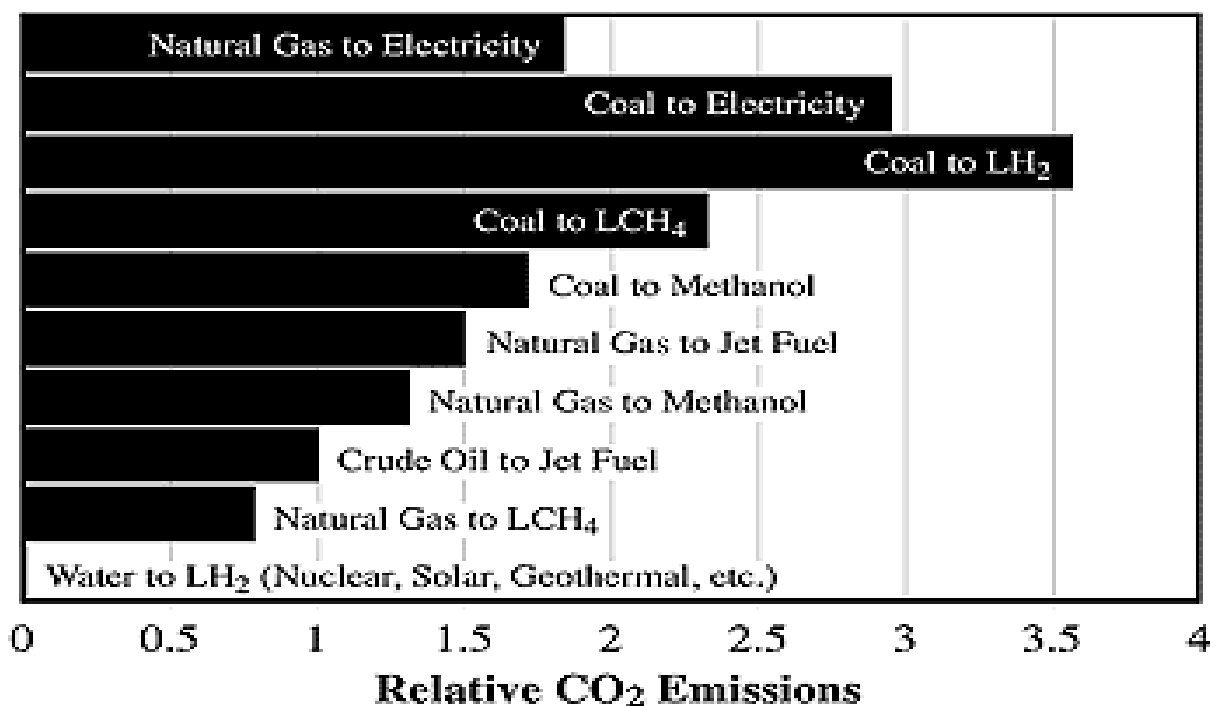
Prvi zrakoplov koji je napravio let sa LNG gorivom je bio Tupolev Tu-155 1988. godine, što je i logično da ih je tada Sovjetski Savez i radio pošto se na tom području nalazi većina svjetskih zaliha prirodnog plina. Imao je preko stotinu letova koji su se izveli bez komplikacija. Nažalost, zbog političke situacije raspada Sovjetskog Saveza, došlo je do napuštanja projekta i daljnje proizvodnje zrakoplova. Testiranja u vezi LNG provodi i MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), odjel za avijaciju i okoliš. U trenutnim istraživanjima se gleda na tehničke, ekonomske i ekološke probleme koji su pred LNG i CNG primjenom⁴⁰. Cilj je dizajnirati zrakoplove koji su u stanju koristiti trenutno avionsko gorivo u kombinaciji sa LNG ili CNG gorivom. Aviat Aircraft je riješio problem letenja sa kombiniranjem goriva, što će biti i spomenuto kasnije.

Zrakoplovi na prirodni plin su već istraživani i projektirani od strane Qatar Airways Aviat Aircraft i Chromarat, dok neki zrakoplovi sa Rolls Royce i General Electric motorima mogu koristiti prirodni plin. Boeing je počeo 2010. godine istraživati primjenu LNG i CNG goriva na sljedećim generacijama zrakoplova. Nažalost, prema istraživanjima i studijima poduzetim, Boeing ne očekuje ne

⁴⁰<http://lae.mit.edu/aircraft-design/> - 05.07.2017.

značajnije rezultate do 2040. godine i kasnije.⁴¹ Iako je Boeing usporio istraživanje, Airbus A380 je izveo eksperimentalni let pritom koristeći prirodni plin, te je let trajao 3 sata.

Primjer velikog napretka za daljnju ekspanziju primjene prirodnog plina predstavlja proizvod Aviat Aircraft-a, Husky CNG 200HP (*Husky Compressed natural gas 200 Horse Power*). Zanimljiva karakteristika Husky CNG 200HP jest da je to zrakoplova sa dva goriva, tj. posjeduje i rezervoar sa CNG gorivom.⁴² Trenutno, veliki komercijalni letovi sa CNG i LNG nisu mogući, iako se smatra da će sa smanjenjem zaliha i povišenjem cijena fosilnih goriva doći do potražnje za alternativnim gorivima i tada će više pozornosti biti na LNG i CNG gorivu. Na grafikonu 9 je prikazana količina emisija CO₂ prilikom korištenja prirodnog plina kao goriva.



Grafikon 9. Prikaz emisija CO₂ prilikom korištenja više sirovina [27]

⁴¹<https://www.wired.com/2012/03/boeing-freezes-design-with-liquid-natural-gas-powered-airliner/> 05.07.2017.

⁴²<http://www.flyingmag.com/aircraft/pistons/aviat-introduces-dual-fuel-husky-cng> - 05.07.2017.

6.2. Nuklearni pogon

Zrakoplovi na nuklearni pogon su bili ideja koju su istraživali i SAD i Sovjetski Savez, ali nikada nisu proizveli operativni model. ⁴³Iako su letjeli zrakoplovi sa nuklearnim reaktorima, kao što je američki B-36, ili ruski Tupolev Tu-119, oni nisu bili povezani sa motorima. Primjena je bila designirana samo za vojno zrakoplovstvo. Razlog tome je potreba za enormno visokim kapitalom, pošto bi se trebao napraviti novi zrakoplov pri korištenju nuklearnog pogona, a modificiranje trenutne flote ne dolazi u obzir zbog djelovanja radijacije i drugih karakteristika. Problem je i društveno stajalište, gdje su ljudi prilično skeptični prema nuklearnoj energiji. Prvi testovi i kod SAD-a i Sovjetskog saveza su bili sa ugašenim reaktorom, gdje je cilj bio uspješna izolacija od radijacije. Nakon izoliranja posade od štetnog djelovanja reaktora, SAD je krenuo sa dizajniranjem motora koji će biti posebno dizajnirani. Odustalo se od istraživanja kada se pojavio ICBM (*Intercontinental Ballistic Missile*) i pri kraju utrke sa Sovjetskim Savezom, nakon njegovog raspada.

Prednosti primjene nuklearnog pogona su:

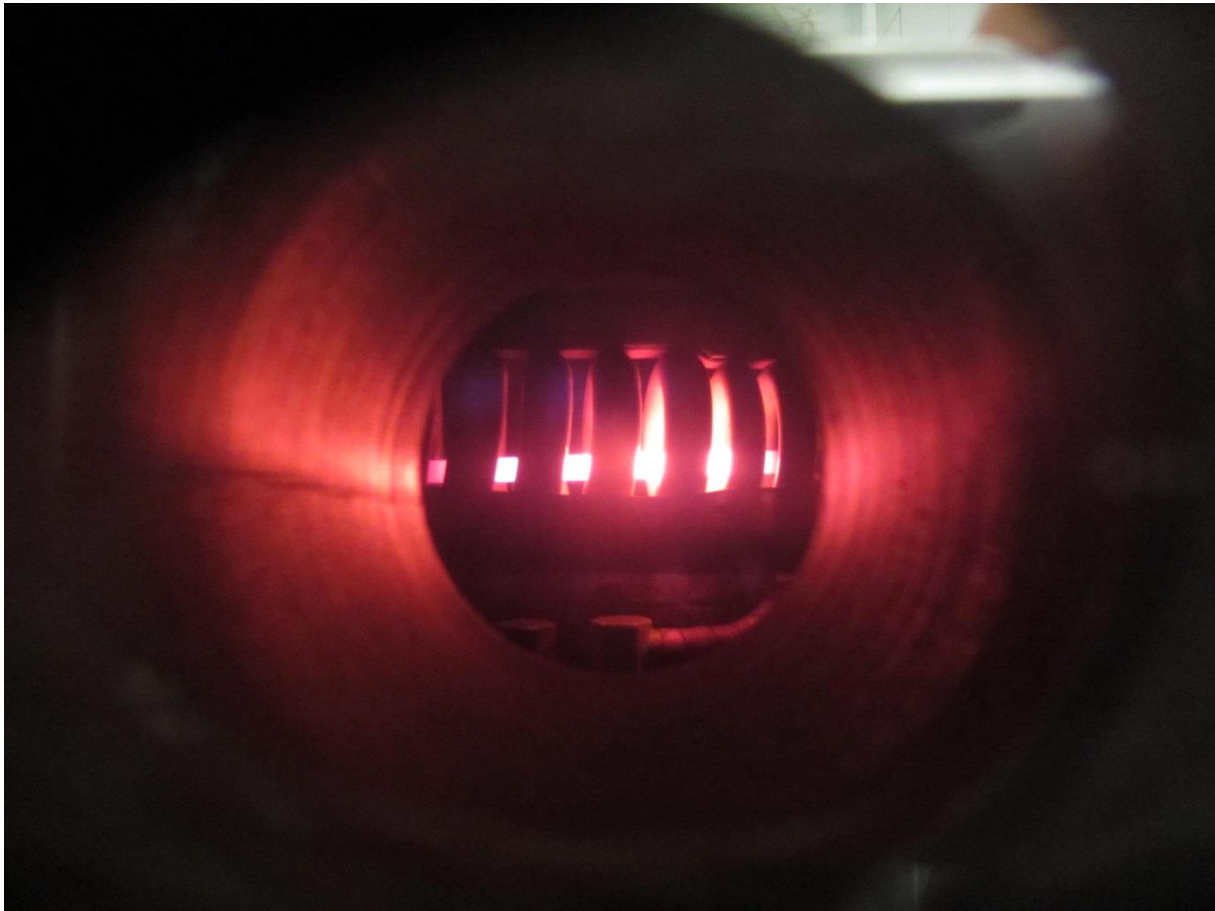
- Duže vrijeme leta zrakoplova bez potrebe objavljivanja goriva,
- energija se proizvodi bez kisika,
- niski maseni utrošak goriva,
- velika količina proizveden energije.

Nedostatci primjene nuklearnog pogona su:

- Zaštita posade, putnika i okoliša od zračenja,
- opasnost pri padu zrakoplova,
- povećanje težine zrakoplova,
- meta nezakonitog ometanja.

NASA je također zainteresirana za korištenje nuklearnog pogona. Koriste materijale koji nisu nuklearni, ali pomoću njih mogu simulirati propulziju na temelju nuklearne energije. Cilj je smanjenje putovanja istraživačkim skupinama u svemiru i omogućavanje daljnjeg i bržeg putovanja Solarnim sustavom. Osim toga, motori na nuklearni pogon bi dozvolili veći plaćeni teret (u ovome slučaju znanstvene opreme za putovanje). Za sada, komercijalna uporaba nije planirana. unutar reaktora se zagrijava vodik do ekstremnih temperatura i mlaznica producira potisak. Za eksperimente koriste NTREES (*Nuclear Thermal Rocket Element Environmental Simulator*), koji se nalazi na slici 10, gdje

nema uranija, što nije realan slučaj pošto bi pri stvarnoj eksploataciji nuklearnog motora došlo do radijacije zbog uranija u gorivu.



Slika 10. Prikaz NTREES u fazi testiranja [28]

Lockheed-Martin je prva kompanija koja aktivno istražuje mogućnost primjene nuklearnog pogona za komercijalni prijevoz. Cilj im je dizajnirati maleni fuzijski reaktor koji će po dimenzijama biti veličine zrakoplovnog motora. Iz kompanije tvrde da bi zrakoplov sa reaktorom mogao letjeti cijelu godinu na nekoliko bočica hidrogena⁴⁴.

Trenutno je većina pozornosti koncentrirana na *drop-in* gorivu, zbog jednostavne primjene i proizvodnje, dok je kod nuklearnih pogona potrebna kompletna nova infrastruktura i veći kapital nego kod ostalih alternativnih goriva. Problem kod primjene nuklearnog pogona jest da je svaki nedostatak kritičan. Ako bi i samo jedan reaktor bio u opasnosti, dogodila bi se katastrofa, bilo zbog nezakonitog ometanja, ili jednostavno neke druge nesreće zbog koje bi se zrakoplov srušio.

⁴⁴<http://www.lockheedmartin.com/us/products/compact-fusion.html> - 08.07.2017.

6.3. Solarni pogon

Za pogon zrakoplova na solarni pogon zahtijevalo bi masivnu količinu energije, što trenutno nije komercijalno moguće. No, solarna energija predstavlja tip energije koji ima mogućnost eliminiranja svih vrsta emisija štetnih plinova i potrebe za enormnim količinama goriva potrebnim za obavljanje leta. Ova tehnologija je tek u ranim fazama istraživanja, ali rezultati koje su polučili neki eksperimentalni letovi kasnije navedeni su ohrabrujući.

NASA je već dulje vrijeme zainteresirana za korištenje zrakoplova na solarni pogon, te je prvi let zrakoplova na solarnu energiju bio 1974. godine, sa *Sunrise II* na da daljinsko upravljanje. Već 1981. godine u kolaboraciji sa AeroVironment-om NASA napravila eksperimentalni zrakoplov *Solar Challenger* koji je uspješno napravio let od 163 milja.

1981. godine je NASA postavila novi cilj; napraviti let do visine 65,000 ft. Zrakoplov je nazvan *HALSOL (High-Altitude Solar Energy)*, te je bio podvrgnut raznim rigoroznim testovima. Cilj je bio proizvodnja zrakoplova za duge letove, te je tu i nastao problem. Problemi sa skladištenjem energije su zaustavili projekt te je tek nakon 10 godina ponovno pokrenut projekt nakon dugog mirovanja, a novi projekt se zvao *Pathfinder*. *Pathfinder* je bio ustvari bolja verzija *HALSOL-a* u svim aspektima, no što je najvažnije, imao je dodatna solarna polja, što je i bio glavni problem sa prijašnjom verzijom. *Pathfinder* je 1995. godine izvršio let do visine 50,500 ft. Kasnije je zrakoplov prebačen u američku vojnu bazu na Havajima, gdje je zbog kvalitetnijih atmosferskih uvjeta mogao postići veću visinu. 1997. godine je u jednom od letova postigao visinu od 71,530 ft.⁴⁵Iako je ovu visinu postigao *Pathfinder*, ustvari su zaslužne nove modifikacije zrakoplovu što su omogućile takav let, kao što je produženje krila. Ova nova verzija *Pathfinder-a* nazvana je *Pathfinder-Plus*, te predstavlja prijelazni model između *Pathfinder-a* i *Centurion-a*. Osim povećanja krila, nove silicijske ćelije sa većim kapacitetom su korištene, te su još bila montirana dva elektromotora, tako da je *Pathfinder-Plus* imao ukupno 8 elektromotora.

Nakon eksperimentalnih letova sa *Pathfinder-om*, 1997. godine NASA je započela projekt *Centurion*, gdje je cilj projekta bio let do 100,000 ft sa zrakoplovom na daljinsko upravljanje, ali je cilj još i bio kreirati zrakoplov koji će ostati iznimno dugo u zraku, čak i tjednima, te kada sleti da može odmah i krenuti, bez potreba punjenja. Najveće modifikacije su napravljene na krilu. Krilo je opet prošireno, veća je površina opremljena sa solarnim ćelijama, te je promijenjen oblik krila. Radi veće površine, potrebna je veća snaga motora, te je *Centurion* imao montiranih 12 elektromotora.

⁴⁵ <https://www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-034-DFRC.html> - 08.07.2017.

Nasljednik *Centurion-a* je *Helios*, te se nalazi na slici 11. Kod ovog novog zrakoplova, postizanje većih visina više nije glavni cilj projekta, cilj je sada omogućiti zrakoplovu konstantne letove bez punjenja i minimalnih zaustavljanja. Zrakoplov je proširen, skoro za polovicu širi od *Centurion-a*, povećani je kapacitet energije, ali i najvažnije, dodani su sustavi za pohranu energije pri noćnom letenju. Tokom dana će zrakoplov prikupiti veliku količinu energije, te će se sa tom uskladištenom energijom pokretati zrakoplov tokom noći. Ovaj projekt je dio ERAST-a (Environmental Research Aircraft and Sensor Technology) te je njihov cilj daljnje istraživanje solarnog pogon u svrhu unaprjeđenja američkog zrakoplovstva.



Slika 11. Prototip Helios [29]

Iako ovaj projekt nije pokrenut od strane NASA, 2003. godine pokrenut je projekt *Solar Impulse*, nakon raznih studija i istraživanja. Projekt je financiran od raznih kompanija, ali i same Švicarske vlade, koja je dokazala svoju otvorenost novim oblicima alternativnih goriva, i ujedno predstavlja primjer ostalim državama. Neke od privatnih kompanija koje su financirale projekt su Omega SA, Solvay, Schindler i dr. Cijena ovog projekta je do 2015. godine iznosila 150 milijuna eura, te se za eksperimentalni let uložilo još 20 milijuna eura u 2015. godini.⁴⁶ Ovaj pokret je postigao svoj

cilj, tj. dokazao je da je moguće letenje na solarnu energiju, iako trenutno ne na komercijalnim zrakoplovima, te je postavio rekord od pet dana i pet noći leta bez potrošnje goriva i bez emisija stakleničkih plinova.⁴⁷

Prvi solarni zrakoplov unutar projekta *Solar Impulse* bio je *Solar Impulse 1*, zrakoplov sa jednim sjedištem te mogućnošću samostalnog polijetanja. Prvi eksperimentalni let bio je 2009. godine, a 2010. godine je letio kompletnih 26 sati leta. Drugi solarni zrakoplov bio je *Solar Impulse 2*, koji je završen 2014. godine, te je imao više solarnih ćelija i snažniji motor. 2015. godine zrakoplov je napravio uspješan let od Japana do Havaja. 2016. godine je *Solar Impulse 2* postao prvi zrakoplov na solarnu energiju koji je obišao svijet.

⁴⁷<http://www.solarimpulse.com/our-story> - 09.07.2017.

7. Mogućnost primjene tekućeg vodika u zrakoplovstvu

Tekući vodik je već duže vrijeme kandidat za alternativno gorivo u zračnom prometu. Tekući vodik zahtjeva posebni rezervoar i održavanje vodika na određenoj temperaturi. Nije moguće držati gorivo u krilima zbog nestabilnosti goriva, nego je potrebno držati goriva unutar trupa zrakoplova, što automatski znači veći i dulji trup, tj. razne modifikacije.

Prednosti tekućeg vodika naspram avionskog goriva su sljedeće:⁴⁸

- Veća energetska vrijednost prema težini, 3 puta veća,
- nema emisije CO₂,
- potencijal za redukciju emisija NO_x i do 1/3,
- visoka reaktivnost,
- niža temperatura paljenja,
- koristan kao sredstvo za hlađenje.

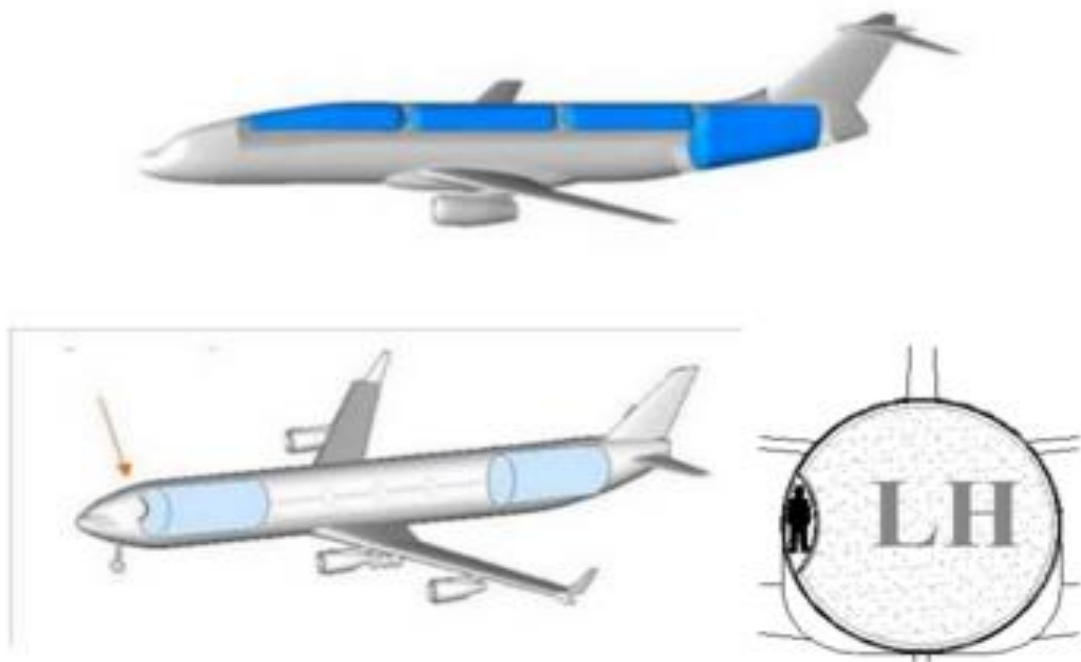
Nedostatci tekućeg vodika su:⁴⁹

- Manja energetska vrijednost prema volumenu, 1/4 manja,
- komplikacije pri skladištenju,
- karakteristike materijala,
- viša operativna masa zrakoplova,
- visoka cijena primjene tj. cijena infrastrukture,
- volatilitnost veća nego kod trenutnog avionskog goriva.

Primjer Cryoplane-a, tj. zrakoplova koji koristi spremnike sa tekućim vodikom, nalazi se na slici 12 gdje se vidi povećani obujam zrakoplova radi skladištenja tekućeg vodika.

⁴⁸https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalColloquium/Documents/2010-Colloquium/7_Okai.pdf 09.07.2017.

⁴⁹*ibid* – 09.07.2017.



Slika 12. Cryoplane [30]

U tablici 10 se nalazi usporedba fizičkih značajki kerozina i alternativnih goriva. Prvi let je već održan 1989. godine sa Tupolevom Tu-155. Boeing je također istraživao primjenu tekućeg vodika u zračnom prometu, te je proizveo DA 20 zrakoplov u koordinaciji sa *Diamond Aircraft industries*. 2010. je godine Boeing proizveo novi zrakoplov na tekući vodik, *Phantom Eye*.

No, danas je trenutno važan primjer HY4, zrakoplov sa četiri sjedišta na tekući vodik, koji je 2016. godine uspješno izveo let, prilikom kojeg je napravljen velik korak prema letovima sa 0% emisija. Let je trajao 15 minuta na zračnoj luci Stuttgart, te se razni zračni prijevoznici, koji su u kolaboraciji i proizveli HY4 nadaju da će uspjeti dizajnirati komercijalni zrakoplov na tekući vodik sa do 19 putnika.⁵⁰

⁵⁰<http://hy4.org/> - 09.07.2017.

Tablica 10. Usporedba fizičkih značajki kerozina i alternativnih goriva [31]

	Jedinice mjere	Kerozin (J-A1)	Tekući vodik (LH2)	Tekući metan (LCH4)
Masa (energetski ekvivalent)	kg	1	0.357	0.856
Volumen (energetski ekvivalent)	1	1	4	1.6
Odnos energija/mase	kJ/g	42.8	120	50
Temperatura ukapljivanja	°C	-	-253	~160

7.1. Ekološke prednosti

Prva i glavna ekološka prednost tekućeg vodika je količina resursa. Vodik je prisutan svugdje, te ne postoji šansa za gubitkom sirovine, što znači da je vodik obnovljiv resurs. Sljedeća prednost je čistoća goriva.

Tekući vodik je iznimno čisto gorivo, kao što je i na početku poglavlja spomenuto da nema emisije CO₂, te postoji potencijal za daljnje smanjenje NO_x, što drastično utječe na globalnu priliku zbog koje se i uvodi alternativno gorivo. Prednost je i pri ispadanju tekućeg vodika pri nesreći, gdje će radijus opasne zone prolijevanog goriva biti manje nego kod drugih goriva, kao što je metan npr.⁵¹

7.2. Ekološki nedostaci

Glavni ekološki nedostatak je veća količina vodene pare, tj. više od 2 puta nego kod avionskog goriva. Potrebna su daljnja istraživanja da bi se utvrdilo kako će se razvijati atmosfera pri povećanim utjecajima vodene pare. Razlog tome je što vodena para ima izraženi učinak na atmosferu, ali tek

⁵¹http://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/dglr/hh/text_2001_12_06_Cryoplane.pdf - 09.07.2017.

nakon 12 km od zemljine površine. Pri komercijalnom prometu su česti letovi na višim visinama, i zato je vodena para problem, iako bi rješenje bilo smanjiti visinu putovanja, no onda opet dolazi do daljnjih diskusija.

Problem je još uvijek CO₂, no ne prilikom eksploatacije, nego prilikom same proizvodnje tekućeg vodika i same infrastruktura i suprastrukture same zračne luke. Iako će se riješiti problem kod zrakoplova sa CO₂, okolina na zemlji će i dalje predstavljati emisiju plinova. Osim CO₂, NO_x je još uvijek prisutan, iako smanjen. Sa daljnjim poboljšanjem motora i konstrukcije zrakoplova, emisije NO_x bi se mogao još dalje smanjiti.

8. Zaključak

Alternativna goriva u zračnom prometu predstavljaju novu generaciju goriva. Trenutno je oko 2% CO₂ u svijetu producirano od strane zračnog prometa. Sa svakom godinom porast putničkog i teretnog prometa je sve veći, te se modifikacije u malim količinama u cilju smanjenja emisija stakleničkih plinova i štetnih tvari ne mogu nositi sa takvim rastom. Osim na kvalitetu zraka, staklenički plinovi utječu na globalno zatopljenje, što je od visoke važnosti u današnje vrijeme. Da bi se spriječio takav rast, potrebna je promjena. Trenutna avionska goriva nisu u stanju napraviti nijedan veći korak u cilju smanjenja emisija CO₂ ili NO_x, te su zato potrebna alternativna goriva.

Sva alternativna goriva imaju određene kriterije koje moraju zadovoljiti. Od ekološke opravdanosti do sigurnosti primjene, i što je najvažnije, smanjenje emisija te mogućnost održivih izvora sirovina. Biogoriva predstavljaju najbližu opciju danas, a pritom se više ne smatra prva generacija biogoriva validna, nego samo druga i treća. Prva generacija biogoriva ima prevelik raspon problema koji nastaje njihovom proizvodnjom i primjenom, te se zato danas u zrakoplovstvu prihvaćaju samo generacija druge i treće generacije. Radi lakšeg pristupa tržištu, visok broj ih je proizvedeno kao *drop-in* goriva, gdje će njihova primjena biti praćena minimalnim ili nikakvim modifikacijama konstrukciji zrakoplova i motora. U zadnjih nekoliko godina je sve veća primjena biogoriva u zračnom prometu, te su zračni prijevoznici počeli sve više naručivati od proizvođača biogorivo.

Nakon biogoriva, prirodni plin polagano napreduje na tržištu, no istraživanja su još u ranoj fazi. Boeing i Airbus su zainteresirani za primjenu prirodnog plina, kao i Qatar Airways, ali su zasada komercijalni letovi vođeni samo uz udio prirodnog plina, iako se ide sve više prema letu sa samo prirodnim plinom. Nuklearni pogon je još uvijek samo ideja, koja je započela tokom tehnološke utrke SAD-a i Rusije, no postoje ambiciozni projekti koji osim važnosti za zračni promet, kao što je reaktor veličine avionskog motora, mogu imati primjenu svugdje u svijetu, a najvažnije od svega pri kretanju svemirom. Solarni pogon je ideja koja se u zadnjih nekoliko godina eksponencijalno razvila. NASA je već duže vrijeme radila na solarnom pogonu, te su uspjeli napraviti znatan pomak u tome području. *Solar Eclipse* je također važan korak prema komercijalnom prijevozu pomoću solarne energije, pri kojem su napravili nove rekorde za zrakoplove sa solarnim pogonom. Tekući vodik predstavlja prirodnog kandidata za novo avionsko gorivo, no pred njim postoje prepreke kao što je skladištenje i transport, te prije nego se ne napravi neko definitivno rješenje, napredak će biti usporen.

Generalno gledano, danas su alternativna goriva potrebna u zračnom prometu, kao i u svakom drugom. Globalno zatopljenje predstavlja opasnost, te lokalna kvaliteta zraka usred mnogih štetnih čestica zahtjeva pozornost, što nažalost i nije previše razmatrana. Iako je dokazana vrijednost alternativnih goriva naspram avionskog goriva, glavni problem još uvijek je tržište, koje ne želi poduzeti drastične mjere potrebne za promjene koje zahtjeva alternativno gorivo, te su također problem i države. Manjak potpore od vlasti je kritičan problem, koji bi trebao biti riješen što prije. Ukoliko bi država više poticala na promjenu vrsta goriva, te iskazivala podršku zračnim prijevoznicima i proizvođačima alternativnih goriva, razvoj i primjena tih alternativnih goriva bio bi brži. Dok se ne riješe ova dva problema, teško je da će biti realiziran cilj smanjenja emisija za 50% do 2050. godine, dok je neutralni rast do 2020. godine neizvodiv. (pristupljeno: srpanj 2017)

Popis literature:

Popis knjiga:

1) Promet i okoliš, prof. dr. sc. Jasna Golubić, str. 186

Popis internetskih izvora:

1) URL: <http://www.atag.org/facts-and-figures.html>, (pristupljeno: lipanj 2017.)

2) URL: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en, (pristupljeno: lipanj 2017)

3) URL: <http://cockpitdata.com/Software/ICAO%20Annex%2016%20Volume%202>, (pristupljeno: lipanj 2017)

4) URL: <https://www.easa.europa.eu/eaer/topics/technology-and-design/figures-and-tables>, (pristupljeno: lipanj 2017)

5) URL: <https://www.easa.europa.eu/eaer/topics/technology-and-design/aircraft-engine-emissions>, (pristupljeno: lipanj 2017)

6) URL: <https://www.easa.europa.eu/eaer/topics/technology-and-design/clean-sky-research-programme>, (pristupljeno: lipanj 2017)

7) URL: <http://www.cleansky.eu/innovative-technologies>, (pristupljeno: lipanj 2017)

8) URL: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en, (pristupljeno: lipanj 2017)

9) URL: <http://www.atag.org/facts-and-figures.html>, (pristupljeno: lipanj 2017)

10) URL: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/ilmaliikenne/ilmae.html>, (pristupljeno: lipanj 2017)

11) URL: <http://www.iata.org/whatwedo/environment/Documents/global-approach-reducing-emissions.pdf>, (pristupljeno: lipanj 2017)

12) URL: <http://www.iata.org/policy/environment/Pages/climate-change.aspx>, (pristupljeno: lipanj 2017)

13) URL: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/AlternativeFuels-QuestionsAnswers.aspx>, (pristupljeno: lipanj 2017)

14) URL: <http://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/sustainable-fuels/>, (pristupljeno: lipanj 2017)

15) URL: <https://www.iata.org/whatwedo/environment/Documents/technology-roadmap-2013.pdf>, (pristupljeno: lipanj 2017)

16) URL: www.atag.org/component/downloads/downloads/60.html, (pristupljeno: lipanj 2017)

17) URL: <http://www.aireg.de/en/production/hydro-processed-esters-and-fatty-acids-hefa.html>, (pristupljeno: lipanj 2017)

18) URL: <http://www.f3centre.se/fact-sheet/HVO>, (pristupljeno: srpanj 2017)

- 19) URL: http://www.f3centre.se/sites/default/files/fuels_fact_sheet_5_hefa_hvo_160810_final_0.pdf, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 20) URL: <http://www.aireg.de/en/production/gas-to-liquid-gtl.html>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 21) URL: <http://www.aireg.de/en/production/biomass-to-liquid-btl.html>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 22) URL: http://www.etipbioenergy.eu/?option=com_content&view=article&id=277, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 23) URL: <http://www.greenaironline.com/news.php?viewStory=1639>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 24) URL: <http://www.greenaironline.com/news.php?viewStory=2225>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 25) URL: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2015/12/16/high-confidence-level-as-alcohol-to-jet-fuel-closes-in-on-historic-astm-approval/>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 26) URL: <http://www.gevo.com/our-markets/jet-fuel/>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 27) URL: <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/sustainable-fuels/>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 28) URL: https://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/Documents/fact-sheet-alternative-fuels.pdf, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 29) URL: <http://www.iata.org/whatwedo/environment/Pages/sustainable-alternative-jet-fuels.aspx>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 30) URL: <https://wellsaidcabot.com/cng-vehicles-airplanes/>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 31) URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376042113000900?via%3Dihub>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 32) URL: <http://lae.mit.edu/aircraft-design/>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 33) URL: <https://www.wired.com/2012/03/boeing-freezes-design-with-liquid-natural-gas-powerd-airliner/>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 34) URL: <http://www.flyingmag.com/aircraft/pistons/aviat-introduces-dual-fuel-husky-cng>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 35) URL: <http://www.lockheedmartin.com/us/products/compact-fusion.html>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 36) URL: <https://www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-034-DFRC.html>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 37) URL: <http://www.solarimpulse.com/our-story>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 38) URL: https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalColloquium/Documents/2010-Colloquium/7_Okai.pdf, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 39) URL: <http://hy4.org/>, (pristupljeno: srpanj 2017)
- 40) URL: http://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/dgIrr/hh/text_2001_12_06_Cryoplane.pdf, (pristupljeno: srpanj 2017)

Popis izvora slika, grafikona i tablica:

- 1) URL: <https://www.icao.int/ENVIRONMENTAL-PROTECTION/Pages/CAEP.aspx>
- 2) URL: <https://www.icao.int/ENVIRONMENTAL-PROTECTION/Pages/CAEP.aspx>
- 3) URL: <https://www.easa.europa.eu/eaer/topics/technology-and-design/figures-and-tables>
- 4) URL: <http://slideplayer.com/slide/3264854/>
- 5) URL: https://www.icao.int/sustainability/pages/eap_fp_forecastmed.aspx
- 6) URL: <http://www.aef.org.uk/2016/02/03/first-eu-wide-report-on-aviations-environmental-impacts-shows-growing-challenges/>
- 7) URL: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/AlternativeFuels-QuestionsAnswers.aspx>
- 8) URL: <http://www.indexmundi.com/energy/?product=jet-fuel&graph=consumption>
- 9) Promet i okoliš, prof. dr. sc. Jasna Golubić, str. 193
- 10) URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Jet_fuel
- 11) URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Jet_fuel
- 12) URL: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/AltFuels-Q3-1.aspx>
- 13) URL: <http://www.nordicenergy.org/programme/sustainable-energy-systems-2050/>
- 14) URL: <http://www.aviationeconomics.com/NewsItem.aspx?title=The-Commercial-Use-of-Biofuels-in-Aviation>
- 15) URL: reich-chemistry - Wikispaces
- 16) URL: https://www.researchgate.net/publication/262872597_A_techno-economic_review_of_hydroprocessed_renewable_esters_and_fatty_acids_for_jet_fuel_production
- 17) URL: <http://www.emerging-markets.com/dropinfuels/>
- 18) URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic_fuel#/media/File:Indirect_conversion_synthetic_fuels_processes.jpg
- 19) URL: https://www.eia.gov/outlooks/ieo/liquid_fuels.php
- 20) URL: <http://www.groundtruthtrekking.org/Graphics/ClimateFootprintCTL.html>
- 21) URL: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2014/04/21/biofuels-in-aviation-to-fly-or-not-to-fly/>
- 22) URL: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2014/04/24/the-11-hottest-slides-on-advancing-aviation-biofuels-from-ablc/>

23) URL: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2016/06/14/why-is-atj-renewable-jet-fuel-rockin-it/>

24) URL: <http://skynrg.com/>

25) URL: http://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/Documents/fact-sheet-alternative-fuels.pdf

26) URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density#/media/File:Energy_density.svg

27) URL: <https://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/110.htm>

28) URL: https://www.nasa.gov/sites/default/files/ntrees_test_111222_img_0725.jpg

29) URL: https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/370876main_ED01-0209-5_full.jpg

30) URL: https://www.ika.rwth-aachen.de/r2h/index.php/Case_Study:_Aircraft.html

31) [E-Student](#)

Popis slika:

- 1) Prikaz plana smanjenja emisija zrakoplova sa rotorom
- 2) Prikaz porasta putnika u svijetu
- 3) Pojednostavljeni prikaz proizvodnog ciklusa goriva od alga
- 4) Prikaz pojednostavljenog procesa HEFA
- 5) Pojednostavljeni prikaz Fischer-Tropsch procesa
- 6) Prikaz plana razvoja AtJ procesa do 2018. godine
- 7) Prikaz proizvodnje AtJ iz 1kg šećera
- 8) Primjer *RSB* certifikata
- 9) Prikaz energetske vrijednosti LNG
- 10) Prikaz NTREES u fazi testiranja
- 11) Prototip Helios
- 12) Cryoplane

Popis grafikona:

- 1) Prikaz CO₂ emisija u svijetu
- 2) Plan smanjenja CO₂ emisija do 2040. godine u zračnom prometu
- 3) Potrošnja avionskog goriva u svijetu

- 4) Potencijalno smanjenje stakleničkih plinova uporabom navedenih biogoriva mjereno u GHG emisija/MJ goriva
- 5) Prikaz cijene avionskog jet goriva i dvije sirovine koji se mogu koristiti kao biogorivo
- 6) Prikaz plana proizvodnje biogoriva za 2020. godinu
- 7) Usporedba emisija stakleničkih plinova alternativnih goriva i trenutnog avionskog goriva
- 8) Prikaz ekonomske isplativost BtL i drugih goriva
- 9) Prikaz emisija CO₂ prilikom korištenja više sirovina

Popis tablica:

- 1) Prikaz zemalja članica CAEP-a
- 2) Prikaz CAEP promatrača
- 3) Prikaz LTO
- 4) Emisije i potrošnja goriva gledano u milijunima tona
- 5) Karakteristike Jet A goriva
- 6) Karakteristike Jet A-1 goriva
- 7) Potrošnja sirovina pri uporabi održivog alternativnog goriva u nordijskim zemljama
- 8) Prikaz plana proizvodnje biogoriva za 2020. godinu
- 9) Prikaz zainteresiranih prijevoznika u zračnom prometu i proizvođača biogoriva
- 10) Usporedba fizičkih značajki kerozina i alternativnih goriva



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni 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 _____ završnog rada
pod naslovom **Analiza primjene alternativnih goriva u zračnom prometu**

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

U Zagrebu, _____ 25.8.2017 _____

Student/ica:

(potpis)