

Analiza i utjecaj zračnog prometa na klimatske promjene i mjere zaštite

Osredečki, Leon

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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:119:990486>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-04**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Leon Osredečki

**ANALIZA I UTJECAJ ZRAČNOG PROMETA NA
KLIMATSKE PROMJENE I MJERE ZAŠTITE**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

**ANALIZA I UTJECAJ ZRAČNOG PROMETA NA KLIMATSKE PROMJENE
I MJERE ZAŠTITE**

**ANALYSIS AND IMPACT OF AIR TRAFFIC ON THE CLIMATE CHANGES
AND PROTECTION MEASURES**

Mentor: prof. dr. sc. Jasna Golubić

Student: Leon Osredečki

JMBAG: 0119020398

Zagreb, rujan, 2019.

Zagreb, 10. travnja 2019.

Zavod: **Zavod za prometno planiranje**
Predmet: **Ekologija u prometu**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5073

Pristupnik: **Leon Osredečki (0119020398)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Analiza i utjecaj zračnog prometa na klimatske promjene i mjere zaštite**

Opis zadatka:

U radu je potrebno navesti prognozu rasta i utrošak energije u zračnom prometu. Objasniti emisije iz zrakoplovnog motora na regionalnom i globalnom planu. Analizirati najvažnije stakleničke plinove i njihov utjecaj na klimatske promjene. Prikazati međunarodnu regulativu glede emisija štetnih i staklenički plinova iz zrakoplovnog motora. Objasniti najvažnije mjere smanjenja staklenički plinova u zračnom prometu kao i procijeniti dosadašnje mjere.

Mentor:



prof. dr. sc. Jasna Golubić

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

SAŽETAK

Nagli porast letova u zračnom prometu dovodi do značajnog povećanja štetnih emisija zrakoplovnih motora. Prema istraživanjima međunarodnih agencija očekuje se kontinuirani, ali usporeni rast zračnog prometa kroz idućih 30-ak godina. Štetni utjecaji emisija pokušavaju se smanjiti razvojem novih tehnologija, operativnim i ekonomskim mjerama kao i primjenama alternativnim izvorima energije. Zračni promet je i dalje ovisan o fosilnim gorivima, ali se novim tehnologijama radi na primjeni alternativnih goriva i drop-in goriva kako bi se smanjile emisije štetnih plinova. Kroz rad je objašnjen štetan utjecaj pojedinih stakleničkih plinova na globalnoj razini. Metodama mjerenja emisija zrakoplovnih motora koje su prepisale međunarodne agencije utvrđuju se podaci prema kojima se propisuju međunarodne regulative vezane uz zrakoplovne emisije. ICAO prema Annexu II, III, IV propisuje metode mjerenja te načine smanjenja, regulacije i redukcije štetnih emisija.

KLJUČNE RIJEČI: staklenički plinovi; alternativna goriva; klimatske promjene

SUMMARY

Sudden increase of flights in air traffic has led to a significant raise of harmful emissions from airplane motors. According to an international surveys, continual, but slower growth of air traffic is expected during the next 30 years. The harmful influence from emissions are trying to be reduced by developing new technologies, inventing better operational and economical measures, but also through applying alternatives sources of energy. Air traffic is still depending on fossil fuels, but with new technologies coming, people are trying to apply alternative fuels and drop-in fuels in order to reduce emissions from harmful gases. Throughout this work, harmful influence of each and every one of greenhouse gases is explained on a global scale. Methods of measuring emissions that have been signed by international agencies are determining different data in which, according to them, prescribing international regulations related to airplane emissions. ICAO according to Annex II; III, IV provides not only methods of measuring, but also different ways of decreasing regulations and reduction of harmful emissions.

KEYWORDS: greenhouse gasses; alternative fuels; climate changes

Sadržaj

| | |
|--|----|
| 1. Uvod | 1 |
| 2. Utrošak energije u zračnom prometu i prognoze rasta zračnog prometa | 3 |
| 3. Emisije iz zrakoplovnog motora kao antropogene emisije..... | 9 |
| 4. Zakonska regulativa glede emisija | 12 |
| 5. Emisije iz zrakoplovnog motora na regionalnom planu | 19 |
| 6. Emisije iz zrakoplovnog motora na globalnom planu | 24 |
| 6.1. Ugljik (IV) oksid (CO ₂)..... | 24 |
| 6.2. Vodena para (H ₂ O)..... | 25 |
| 6.3. Dušikovi oksidi (NO _x) | 27 |
| 6.4. Sumporovi oksidi (SO ₂) | 28 |
| 7. Mjere smanjenja stakleničkih plinova u zračnom prometu | 29 |
| 7.1. Tehnologijske mjere | 29 |
| 7.2. Operativne mjere..... | 36 |
| 7.3. Ekonomske mjere | 39 |
| 7.4. Primjena alternativnih goriva | 40 |
| 8. Zaključak..... | 48 |
| Literatura..... | 49 |
| Popis tablica | 52 |

1. Uvod

Komercijalno zrakoplovstvo sa svojim radom je započelo prvim komercijalnim letom 1949. godine. Uporaba komercijalnog zrakoplovstva do danas se povećala za više od 70 puta te se očekuje kontinuirani rast do 2050. godine. Samim povećanjem brojem letova u zračnom prometu dolazi do povećanja štetnih emisija u cjelokupnom pogledu.

U ovom završnom radu na temu „Analiza i utjecaj zračnog prometa na klimatske promjene i zaštite“ biti će obrađen utjecaj emisija plinova iz zrakoplovnih motora na klimatske promjene. Također će biti prikazan rast zračnog prometa na globalnoj i regionalnoj razini te koliki je utrošak energije u zračnom prometu. Zbog utjecaja na klimatske promjene, države članice ICAO predlažu norme kojih bi se trebalo pridržavati kako bi se što više smanjilo korištenje goriva koja utječu na klimatske promjene. Trenutno zračni promet ovisi o fosilnim gorivima, ali se radi na primjeni i inovacijama s alternativnim gorivima, kao i na primjeni drop-in goriva koja će smanjiti štetne emisije.

Biti će obrađena tematika utroška energije u zračnom prometu i prognoza rasta zračnog prometa. Bazira se na radu međunarodne agencije EUROCONTROL, njihovim proračunima i predviđanjima za rast zračnog prometa. Utrošak energije i učinkovitost zračnog prometa po putničkom kilometru objašnjena je od strane Međunarodne agencije za energiju.

Treća cjelina se bazira na utjecaju čovjeka i njegovih aktivnosti u zračnom prometu na klimatske promjene. Povećanje emisije stakleničkih plinova dolazi isključivo od strane zračnog prometa u gornjem dijelu troposfere i donjem dijelu stratosfere, odnosno od ljudske aktivnosti i povećanja zračnog prometa.

Cjelina četiri se odnosi na zakonske regulative koje su na snazi i prema kojima se zrakoplovne kompanije i zrakoplovni prijevoznici prilagođavaju i koje moraju prihvatiti. Na taj način dolazi do utjecanja na smanjenje štetnih emisija u zračnom prometu. Glavne smjernice su Annexi 16 ICAO II,III,IV od kojih se svaki od njih odnosi na poseban dio štetnih emisija u zračnom prometu.

Cjelina pet se odnosi na emisije iz zrakoplovnih motora na regionalnom planu. Također od strane međunarodne agencije EUROCONTROL dolazimo do podataka o predviđanju porasta emisija na regionalnoj razini.

U cjelini šest je objašnjen utjecaj emisija pojedinih stakleničkih plinova. Način na koji svaki od njih utječe na klimatske promjene i koji su njihovi štetni utjecaji na globalnoj razini. To se odnosi na emisije ugljikovih oksida, vodene pare, dušikovih oksida i sumpornih oksida.

Cjelina sedam govori o smanjenju štetnog utjecaja zračnog prometa na četiri različita načina. To su: operativne procedure na zračnoj luci prilikom slijetanja i polijetanja zrakoplova, tehnologijske mjere koje se odnose na uporabu kompozitnih materijala, novih tipova zrakoplova, kao i unaprjeđenja zrakoplovnih motora, ekonomske mjere i uporaba alternativnih goriva. Posebnu važnost u zrakoplovstvu se pridaje alternativnim gorivima, koja se razvijaju od samog početka leta zrakoplovima. Ona pretežito ovise o razvoju tehnologije i količini potrebne investicije za ostvarenje njihove uporabe.

Rad je podijeljen na sljedeće cjeline:

- Utrošak energije u zračnom prometu i prognoze rasta zračnog prometa,
- Emisije iz zrakoplovnih motora kao antropogene emisije,
- Zakonska regulativa glede emisija,
- Emisije iz zrakoplovnih motora na regionalnom planu,
- Emisije iz zrakoplovnih motora na globalnom planu,
- Mjere smanjenja stakleničkih plinova u zračnom prometu.

2. Utrošak energije u zračnom prometu i prognoze rasta zračnog prometa

Prognoza rasta i statistike izrađuje se u sklopu usluge STATFOR (eng. Statistic and Forecast Service), koja je dio organizacije EUROCONTROL-a (paneuropska civilno-vojna organizacija posvećena potpori europskog zrakoplovstva).¹ Međunarodna organizacija obuhvaća 41 državu Europe i dvije države ugovornice, s ciljem stalnog upravljanja europskim zračnim prometom.² Cilj STATFOR-a je pružiti statistiku i prognozu razvoja zračnog prometa u Europi te nadzirati i analizirati razvoj industrije zračnog prometa.

Statistika omogućuje mjerenje i razumijevanje trenutnih događanja unutar industrije zračnog prometa, s time da kvantitativne prognoze omogućuju planiranje rješenja za buduće probleme zračnog prometa.

STATFOROV-e prognoze se dijele na kratkoročne, srednjoročne i dugoročne. Kratkoročne prognoze se objavljuju svake dvije godine, a pokrivaju letove rutne i terminalne uslužne jedinice.

Srednjoročne prognoze daju sveobuhvatnu sliku očekivanja razvoja zračnog prometa u Europi za narednih 7 godina. Oni kombiniraju statistiku letova s gospodarskim rastom i modelima drugih čimbenika u industriji uključujući troškove, kapacitet aerodroma, putnike, faktor tereta i veličine zrakoplova. Načinom obrade podataka i korištenjem prikaza visokog i niskog rasta prometa predstavljen je vjerojatni opseg rasta kako bi si planeri pomogli u upravljanju s rizicima.³

Posljednja srednjoročna prognoza od strane STATFOR-a je objavljena u veljači 2019. godine. Izlazak Ujedinjenog Kraljevstva iz Europske unije je uzet u obzir prilikom izrade prognoze, kao i slabija ekonomska revizija Italije, Njemačke te Francuske. Njihove varijacije su uzete kao parametri za izradu prognoza te ih postavili u H (visoke), B (očekivane) te L (niske) kategorije, kako je prikazano u tablici 1. Tablica nam prikazuje porast IFR (Instrument Flight Rules) letova uz pomoć instrumenata od 2015. do 2025. godine. U gornjem dijelu tablice su prognozirani ukupni brojevi letova za navedene godine u tisućama te su podijeljeni za kategorije H, B i L.

¹<https://www.eurocontrol.int/forecasting>

²<https://www.eurocontrol.int/about-us>

³<https://www.eurocontrol.int/forecasting>

Drugi dio tablice nam govori koliki će biti porast ili pad broja letova u postocima s obzirom na prethodnu godinu te također su podijeljeni na kategorije H,B i L.⁴

Tablica 1. Srednjoročni sažetak prognoze letova za Europu

| | 2015 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | Prosjek 2019/ 2025 | Prosjek 2015/ 2019 | Prosjek 2020/ 2024 |
|---------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| IFR letovi | | | | | | | | | | | |
| H | | 11,448 | 11,922 | 12,317 | 12,656 | 12,894 | 13,335 | 13,635 | 3,1% | 3,2% | 3,1% |
| B | 9,923 | 11,308 | 11,646 | 11,865 | 12,094 | 12,293 | 12,501 | 12,672 | 2,0% | 3,0% | 2,0% |
| L | | 11,132 | 11,329 | 11,324 | 11,398 | 11,451 | 11,521 | 11,527 | 0,7% | 2,6% | 0,7% |
| Godišnji rast | | | | | | | | | | | |
| H | | 4,1% | 4,1% | 3,3% | 2,8% | 2,6% | 2,7% | 2,2% | 3,1% | 3,2% | 3,1% |
| B | 1,6% | 2,8% | 3,0% | 1,9% | 1,9% | 1,6% | 1,7% | 1,4% | 2,0% | 3,0% | 2,0% |
| L | | 1,2% | 1,8% | -0,0% | 0,7% | 0,5% | 0,6% | 0,0% | 0,7% | 2,6% | 0,7% |

Izvor: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-03/eurocontrol-7-year-forecast-february-2019-main-report.pdf>, (4. Kolovoz, 2019.)

Dugoročna prognoza je prvi puta objavljena 2010. godine, ali 2013. godine je revidirana te uspoređuje 2012. i 2035. godinu. Tijekom planiranja 20 godina u budućnost nije moguće predvidjeti sve pojedine varijable kao što su događanja, postupke, čimbenike i odluke koje ju mogu oblikovati. Razumijevanje globalnog sistema nikada nije savršeno, ograničeno je današnjim znanjem i tehnologijom. Kako bi se savladao manjak informacija razradili su više različitih prikaza koji ovise o raznim varijablama kao što su ekonomsko stanje, cijena goriva itd.

⁴<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-03/eurocontrol-7-year-forecast-february-2019-main-report.pdf>

Razvili su četiri različita prikaza dugoročnog tehnološkog razvoja koji određuje rast prometa:

- Prikaz A: Global Growth(TechnologicalGrowth) – snažan ekonomski rast u sve više globaliziranom svijetu, prilikom uspješnog korištenja tehnologije koja ublažava učinke izazova održivosti kao što su okoliš ili dostupnost resursa.
- Prikaz C: RegulatedGrowth–umjeren ekonomski rast, s regulacijom usklađivanja okolišnih, socijalnih i ekonomskih potražnji za rješavanje rastućih globalnih pitanja održivosti. Ovaj scenarij se koristi kao najvjerojatniji od četiri scenarija te najbliže prati aktualne trendove.
- Prikaz C': HappyLocalism - ovaj prikaz je uveden kako bi se istražio mogući put alternativne budućnosti. S povećanom nestabilnošću europske ekonomije i porastom pritiska i troškova ekoloških ograničenja zračni promet u Europi bi se prilagodio novom globalnom, ali bi se okrenuli prema sebi. Globalizacija bi se smanjila, povećana trgovina unutar Europske Unije (važan događaj u ovom prikazu je ulazak Turske u Europsku Uniju). Također predviđa se usporeni rast turističkog putovanja izvan Europe, a pritom povećanje unutar EU (Europska Unija). Povećan je put od točke do točke unutar Europe. Europa se i dalje razvija i prilagođava novim tehnologijama i prati trendove, samo je usmjerena više prema samoj sebi odnosno lokalno, što joj je glavni cilj. Ovaj prikaz poprima i neke aspekte iz drugih prikaza kao što je povećanje cijene goriva i mali promet poslovnih putnika iz prikaza D.
- Prikaz D: Fragmenting World – Svijet u kojemu nastaju sve veće napetosti između regija, s povećanim brojem sigurnosnih provjera i prijatnji, povećanom cijenom goriva, smanjenom trgovinom, integracijom prometa i učincima slabijih gospodarstva.⁵

Nakon uzimanja u obzir svih varijabli kao što su događaji, čimbenici i postupci dolazi se do zaključka da će i dalje biti rast zračnog prometa u Europi te da bez obzira na prikaze A,C,C' i D može doći do odstupanja od idealnog prikaza za određeni postotak.

⁵<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/article/content/documents/official-documents/reports/201306-challenges-of-growth-2013-task-4.pdf>

U svim prikazima dolazi se također do zaključka da će u jednom trenutku doći do usporenog rastazračnog prometa, maksimalni rast se procjenjuje na 2.6%, a minimalni 0.7% u razdoblju od 2012. godine do 2035. godine kao što je prikazano u tablici 3. Smanjenje porasta počinje između 2020. godine i 2025. godine, najznačajnije smanjenje dolazi u prikazu D, dok prikaz A ima najveći kontinuirani rast prometa. IFR letovi su u tablici 2. prikazani u tisućama te se u prikazu A može očekivati 17 338 000 letova, a dok se u D prikazu očekuje 11 249 000 letova za 2035. godinu.

Tablica 2: Dugoročni sažetak prognoze broja letova za Europu

| godina | IFR letovi | | | | | | | | | Množenje prometa 2035/2012 |
|--------|------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------------------|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2019 | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | |
| A | 9,413 | 9,493 | 9,784 | 9,548 | 12,045 | 12,485 | 14,139 | 15,749 | 17,338 | 1.8 |
| C | | | | | 11,169 | 11,411 | 12,561 | 13,520 | 14,356 | 1.5 |
| C' | | | | | 11,169 | 11,338 | 12,236 | 13,015 | 13,769 | 1.4 |
| D | | | | | 10,132 | 10,194 | 10,612 | 10,840 | 11,249 | 1.2 |

Izvor: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/article/content/documents/official-documents/reports/201306-challenges-of-growth-2013-task-4.pdf>, (4. Kolovoz 2019.)

Tablica 3: Dugoročni sažetak prognoze postotka broja letova za Europu

| Godina | Prosječan godišnji rast | | | | | | | | | Ukupni Postotak 2035/2012 |
|--------|-------------------------|------|------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2019/2012 | 2020/2019 | 2025/2021 | 2030/2026 | 2035/2031 | |
| A | -6.6% | 0.8% | 3.1% | -2.4% | 3.4% | 3.7% | 2.5% | 2.2% | 1.9% | 2.6% |
| C | | | | | 2.3% | 2.2% | 1.9% | 1.5% | 1.2% | 1.8% |
| C' | | | | | 2.3% | 1.5% | 1.5% | 1.2% | 1.1% | 1.6% |
| D | | | | | 0.9% | 0.6% | 0.8% | 0.4% | 0.7% | 0.7% |

Izvor: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/article/content/documents/official-documents/reports/201306-challenges-of-growth-2013-task-4.pdf>

Prema Izvješćima međunarodne agencije za energiju IEA (International Energy Agency), čak i ako vlade poduzmu mjere kako bi ispunile preuzete obveze da se pozabavi problemima klimatskih promjena i energetske nesigurnosti, globalna energetska potrošnja je još uvijek u predviđenom rastu za 36% od 2008 godine do 2035 godine, koja se povećava od 12,300 metričkih tona Mtoe (Metrictons) do 16.750 Mtoe. Bez obzira na to, očekuje se usporeni postepeni godišnji rast, od 1.4% godišnje u razdoblju od 2008 - 2020. godine te od perioda 2020 - 2035. godine 0.9%. Prvobitna potražnja će doći od razvijajućih i država gdje dolazi do povećanog porasta u populaciji i ekonomskoj moći. Tijekom vremenskog perioda od 2008. godine do 2035. godine IEA smatra da će fosilna goriva još uvijek biti glavni izvor energetske potražnje. Nafta će i dalje ostati dominantno gorivo, a potražnja će se povećati s 85 milijuna barela dnevno u 2008. godini na 99 milijuna barela dnevno u 2035. godini. Radi povećane potrošnje goriva, njezine povećane cijene, međunarodnih politika te troška vezanog uz emisije štetnih plinova postotak korištenja energije fosilnih goriva će pasti sa 33% u 2008. godini na 28% u 2035. godini. Zrakoplovna industrija je napravila značajne korake prema efikasnijoj potrošnji potrebne energije za let, pomoću unaprjeđivanja različitih

aspekata kao što su poboljšana kontrola letenja, unaprjeđivanje dizajna motora i njegova efikasnost, unaprjeđivanje trupa zrakoplova, usklađivanje operacije na stajanci i tako dalje.⁶

Putnička aktivnost se povećala za 6.1% na 8.2 bilijuna putničkih kilometara u 2018. godini te se broj ukupnih zračnih putnika popeo na rekordnih 4.3 milijarde. Rast ove aktivnosti usporava s povećanja od 7.9% u 2017. godini, s time da se regionalna stopa rasta u 2018. godini kreće između 4.7% i 7.3%. Godišnji rast potražnje za teretnim prijevozom je usporio, pao je između 2017. godine i 2018. Godine za pola na 4.6%.

Nakon 2000. godine, zrakoplovni podsektor postigao je značajna poboljšanja energetske učinkovitosti. S obzirom da mlazno gorivo predstavlja oko 20% operativnih troškova zrakoplovstva u 2018. godini na zrakoplovne kompanije u Americi, dugoročno se nastoji povećati energetska učinkovitost kao način poboljšanja profitabilnosti.

Gledano globalno, zrakoplovna učinkovitost poboljšala se za 2.9% godišnje tijekom 2000-2016. godine, dok je poboljšanje učinkovitosti u međunarodnom zrakoplovstvu samo 2.2% godišnje, što je više od jedne trećine od zrakoplovstva u cjelini.

Bolja iskoristivost zrakoplova jedan je od razloga poboljšanja energetske učinkovitosti. Rast lowcost aviokompanija povećala je prosječni broj putnika po letu, smanjujući potrošnju energije po putniku. Prosječna razina popunjenosti putnika povećala se za 0.6% na rekordnih 82% u 2018. godini, a kombinirani faktor tereta i tereta povećao se za 10%, na 68% tijekom 2008-2017. godine.

Bez napretka u energetske učinkovitosti tijekom razdoblja od 2000. godine do 2016. godine, energetska potražnja bi rezultirala s 70% većom ukupnom potrošnjom energije u 2016. godini, što je ekvivalentno ukupnoj potrošnji energije za međunarodne dostave.⁷

⁶<http://siteresources.worldbank.org/INTAIRTRANSPORT/Resources/TP38.pdf>

⁷<https://www.iea.org/tcep/transport/aviation/>

3. Emisije iz zrakoplovnog motora kao antropogene emisije

Antropogene emisije su emisije izazvane od strane čovjeka i njegove aktivnosti, kao što je antropogeni ugljični dioksid koji nastaje izgaranjem fosilnih goriva.

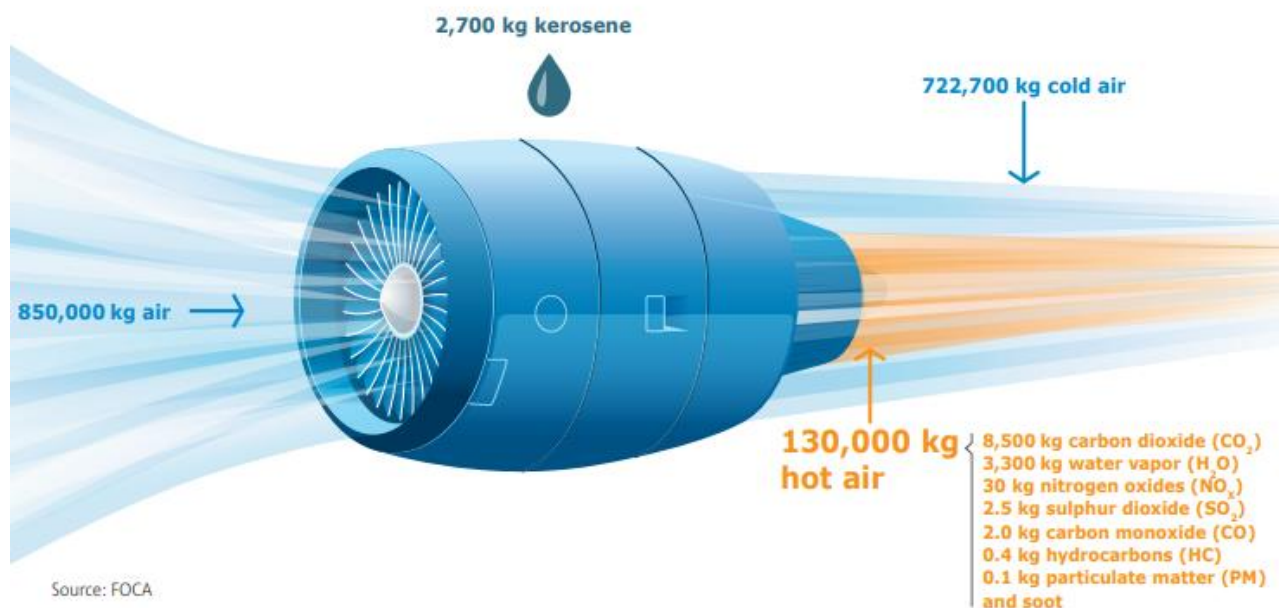
Visoka razina znanstvenog proučavanja klimatskog učinka iz zračnih CO₂ emisija pokušava pronaći jasna i dugoročna rješenja. Klimatski utjecaj emisija koje nisu samo od CO₂ nego i od NO_x, čestica i drugo, ne mogu se zanemariti jer predstavljaju učinke zagrijavanja koji su važni u kratkom roku, ali njihov utjecaj i razmjor učinaka je slabo, ako ne i jako slabo, znanstveno objašnjiv. Sve više država i organizacija poduzimaju mjere kako bi se prilagodile i kako bi izgradile otpornost na utjecaje koje će klimatske promjene imati na zrakoplovni sektor kao što su npr. veće temperature, porast razine mora.⁸

Glavni zagađivači emitirani radom zrakoplovnih motora su ugljični dioksid (CO₂), dušikovi oksidi (NO_x), sumporovi oksidi (SO_x), neizgoreni ugljikovodici (HC), ugljični monoksid (CO), čestica (PM) i čađa.⁹

Na slici 1. je prikazana količina zrakoplovnog goriva koja se iskoristi za prijevoz 150 putnika prilikom jednosatnog krstarenja korištenjem dvomotornog zrakoplova te količina štetnog produkta izgaranja goriva pojedinog štetnog elementa.

⁸https://www.easa.europa.eu/eaer/climate-change?fbclid=IwAR3KTEQheYPMbG4FuIDw8ESf02d5OYVgEk_Cmu_LoPgQ06-CMFX94oaJvQg

⁹https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/eaer-2019_0.pdf?fbclid=IwAR0jW_fux6I9mJrl3Sm_jGPVVVuNyqeQGmOyLA7TmHSJ94bK73ABuD6Gawg



Slika 1. Prikaz emisija štetnih plinova tipičnog dvomotornog zrakoplova tijekom jednosatnog leta sa 150 putnika
Izvor[5]

Na lokalnu kvalitetu zraka najviše utjecaja imaju emisije NO_x, HC, CO, SO_x i čađa. Njihove emisije očituju se u direktnom utjecaju na ljudsko zdravlje i okoliš, na povećanje kiselih kiša, na smanjenje ozona te na smanjenje vidljivosti. Proces koji utječu na smanjenje kvalitete lokalnog zraka su dio procesa koji se odvijaju u atmosferi. Promjena klime uzrokuje smanjenje razine ozona u atmosferi što za posljedicu ima povećanje propusnosti atmosfere prema ultraljubičastom zračenju.

Za atmosferske procese nisu bitne samo emisije CO₂, već i mješavina elemenata koje zrakoplovi ispuštaju te narušavaju utjecaj zračenja (radioactive forcing). Mješavina elemenata ima dva do četiri puta veći utjecaj nego da se radi o ispuštanju samog CO₂. Također, ukupno zračenje uzrokovano ljudskim aktivnostima je 1.5 veće u usporedbi s ukupnim zračenjem CO₂. Posljedica izgaranja goriva na apsolutnoj visini leta zrakoplova dvostruko je veća od posljedica izgaranja goriva na tlu.

Povećan utjecaj zrakoplovnih emisija u usporedbi na emisije na tlu se sastoji u različitim fizičkim i kemijskim efektima koji proizlaze iz drugačijih atmosferskih uvjeta i dugoročnog kemijskog sustava zraka.

Procjenom iz 1992. godine ukupna podzvučna flota je sudjelovala s 3.5% utjecajem zračenja zrakoplovnih emisija od svih ljudskih djelatnosti, također se procjenjuje da će njezin udio do 2050. godine biti 5%. Zrakoplovstvo će biti odgovorno za porast temperature na Zemlji za 0.05K u odnosu na ukupan rast temperature na Zemlji za 0.9K koja se očekuje do 2050. godine. Iz tog razloga neki proizvođači zrakoplovnih motora i zrakoplovni prijevoznici smatraju da bi smanjenje emisije iz zrakoplovnih motora bile puno skuplje u odnosu na druge sektore s obzirom na malu razinu štetnog učinka zrakoplovnih emisija radi efikasnije mogućnosti smanjenja emisija na tlu.¹⁰

¹⁰<https://www.fpz.unizg.hr/zan/wp-content/uploads/2013/02/Bazijanac-Domitrovic-Emisije-zrakoplovnih-motora-autorizirana-predavanja-i-dodaci.pdf>

4. Zakonska regulativa glede emisija

Međunarodna agencija civilnog zrakoplovstva ICAO (International Civil Aviation Organization) specijalizirana je ustanova Ujedinjenih naroda UN (United Nations). Osnovana je u SAD-u 1944. godine u Chicagu kada se održala prva konferencija na kojoj su prisustvovala 52 države. Zadužena je za stalan nadzor, vođenje i provođenje Konvencije o međunarodnom civilnom zrakoplovstvu. Trenutno ICAO surađuje sa 192 zemlje članice i industrijske grupe kako bi se postiglo poboljšanje vezano uz međunarodne civilne standarde i preporučene prakse SARP (Standards and Recommended Practices) i zakone koji podupiru siguran, efikasan, zaštićen, ekonomski održiv i ekološki odgovoran civilni zrakoplovni sektor. SARP-ve politike koriste države članice ICAO-a kako bi osigurale da njihove lokalne operacije i propisi civilnog zrakoplovstva budu u skladu s globalnim normama, što zauzvrat omogućava više od 100 tisuća letova u globalnoj mreži zračnog prometa da djeluju sigurno i pouzdano u svim regijama svijeta.¹¹

Prilikom usuglašanja svih članica ICAO-a da treba sve aspekte utjecaja zrakoplova na okoliš, odnosno buke i produkata izgaranja sastaviti u jedan annex, dolazi do osnivanja Annexa I (Volume I – Aircraft Noise) i novi svezak II (Volume II – Aircraft Engine Emissions) te je 1981. godine izašao konačni dokument.

Sadržaj Sveska II Annex-a 16 složen je na sljedeći način:

- U dijelu I donose se opisi simbola i definicije,
- U dijelu II Vanted FUEL (ispušteno gorivo),
- U dijelu III ograničenja emisije mlaznih motora podzvučnih i nadzvučnih zrakoplova,
- Sadrži šest dodataka (Appendieces) u kojima se detaljno opisuje procedure i mjerenja i mjerne opreme, specifikacije goriva koje se koriste za ispitivanje te opis računskih metoda.

¹¹

<https://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx?fbclid=IwAR33etGCrj8MPYwrw8O7gXr6X1sRf8UQyoA93VFwrlTWgLMZ0Q2L0I2UXdg>

Annex 16 ICAO Volume 2 ograničenja koja se odnose na emisije zrakoplovnih motora:

Poglavlje 2 Odnosi se samo na zrakoplovne turbojet i turbofan motore koji su namijenjeni letu samo podzvučnim brzinama. Certifikacija za motore će biti provedena za sve zrakoplovne motore kojima je prvi prototip bio proizveden prije ili na datum 1. siječnja 1965. godine i za nekoliko motora koji su izravno navedeni u odlomcima 2.2 i 2.3. U certifikaciju zrakoplovnih motora se uzimaju jedinice koje se mjere za emisiju dima, emisiju plinova kao što su HC, CO, NO_x.

Procedura za obavljanje certifikacije je opisana u odlomcima 2.1.4.1-2.1.4.5 u kojima je opisano polijetanje i slijetanje LTO (Landing and take-off) koliko traje pojedina stavka i koliki je utrošak energije odnosno snage motora F_{∞} (Rated Thrust) te uvjeti provođenja certifikacije.

U odlomku 2.2 se govori o regulaciji količine dima iz zrakoplovnih motora koji se odnose na zrakoplovne motore koji su svoj prvi prototip nakon 1. siječnja 1983. godine. Sve izmjerene emisije tijekom pojedinih stadija LOT-a mora biti manja od $83.6 (F_{\infty})^{-0.274}$ ili manje od 50, koja god suma je manja.

Odlomak 2.3 govori o regulaciji emisija HC, CO i NO_x, za zrakoplove koji imaju propisani potisak manji od 26.7 kN, te koji su proizvedeni nakon 1. siječnja 1896. godine.

Zrakoplovi ne smiju prijeći količine emisije:

- Neizgoreni ugljikovodici $HC D_p/F_{\infty} = 19.6$,
- Ugljik monoksid $CO D_p/F_{\infty} = 118$,
- Odnos za dušikove okside $NO_x D_p/F_{\infty} =$ ovisi o godini proizvodnje zrakoplova čija je podjela opisana u ostatku poglavlja 2.3.

D_p je masa bilo štetnog plina emitiranog prilikom proučavanja emitiranja emisija tijekom ciklusa polijetanja i slijetanja. F_{∞} je snaga motora, a F^*_{∞} je snaga motora s sagorijevanjem.

Poglavlje 3 govori o turbojet i turbofan zrakoplovnim motorima nadzvučne brzine čiji je datum proizvodnje bio nakon 18. veljače 1982. godine. Kako i za podzvučne zrakoplove certifikacija se odnosi na iste emisije iz zrakoplovnih motora te se mjerne jedinice iste. Jedino gdje se testovi razlikuju je u LOT-u kod kojega su vremena i odnosi snage prilikom obavljanja testa za certifikaciju drugačiji.

Odlomak 3.2 govori o emisijama dima koje moraju biti manje od $83.6(F_{\infty})^{-0.274}$ ili manji od 50 ovisi koji je broj manji. Dok emisije ostalih plinova moraju biti manje od:

- $HC Dp/F^*_{\infty} = 140(0.92)^{\pi_{\infty}}$,
- $CODp/F^*_{\infty} = 4550(\pi_{\infty})^{-1.03}$,
- $NO_x Dp/F^*_{\infty} = 36 + 2.42 \pi_{\infty}$.¹²

ICAO Annex 16, Volume III je prihvatilo vijeće od strane 32 članice ICAO-a 03.06. 2017. godine. Odnosi se na zrakoplovne emisije CO₂ i njihovu certifikaciju prema odgovarajućim standardima.

Sadržaj Annexa 16, Volume III je:

- poglavlje 1 se odnosi na definicije i simbole,
- poglavlje 2 se odnosi na standarde certifikacije zrakoplovnih emisija CO₂ na osnovi sastava zrakoplovnog goriva
 - podzvučni zrakoplovi mase iznad 5700 kg
 - zrakoplovi propellerskog pogona mase iznad 8618 kg

U poglavlju jedan su objašnjeni pojmovi:

- necertificirani zrakoplovi su zrakoplovi koji još uvijek nisu prošli certifikaciju prema Annexu 16 Volume III ili koji su prošli preinake prije nego što su dobile prvi certifikat prema plovidbenosti koja povećava iznos matematičke procjene količine CO₂ za više od 1.5%.
- certificirani zrakoplov je zrakoplov koji uključuje promjene u dizajnu koji povećavaju maksimalnu masu poljetanja ili koji povećavaju svoj iznos matematičke procjene količine CO₂ emisije za:
 - 1.35% za maksimalnu masu pri polijetanju veću od 5.7 tisuća kg
 - 0.75% za maksimalnu masu pri polijetanju veću od 60 tisuća kg
 - 0.70% za maksimalnu masu pri polijetanju veću od 600 tisuća kg
 - konstantan od 0.70% pri maksimalnoj masi pri polijetanju većoj od 600 tisuća kg

¹²https://www.theairlinepilots.com/forumarchive/quickref/icao/annex16.2.pdf?fbclid=IwAR0GS0xllHWjt7WPCoCOLryfOOi03myD_A7dy_O-nDS9Vh2GcVkyWe8PhwA

Iznos matematičke procjene količine CO₂ emisija se računa pomoću:

- SAR (specific air range) udaljenost koju zrakoplov prijeđe za vrijeme krstarenja prema potrošenom gorivu
- RGF (reference geometric factor) referentnog geometrijskog faktora koji se promatra kao podešeni faktor zrakoplova prema veličini njegovoga trupa koji je izveden iz dvodimenzionalne slike trupa.

Poglavlje 2 govori o načinu certifikacije i njezinom procesu. Zrakoplovi će se certificirati na temelju dokaza koje će pridonijeti proizvođači zrakoplova koji moraju biti u skladu s Annexom. Ako se primjeti da neki od certificiranih zrakoplova nisu u skladu s Annexom 16, Volume III., zrakoplov mora proći odgovarajuće izmjene i ne smije biti u funkciji 90 dana.

Standardi koji se primjenjuju na zrakoplove tipa:

- podzvučne zrakoplove i njihove inačice maksimalne poletne mase između 5.7 tisuća kg i 60 tisuća kg, s 19 ili manje putničkih mjesta koji će početi s primjenom certifikacije nakon 1. siječnja 2020. godine i nakon 1. siječnja 2023. godine,
- propelerske zrakoplove i njihove inačice veće maksimalne mase prilikom polijetanja od 8.618 kg čija će certifikacija započeti nakon 1. siječnja 2020. godine,
- verzije podzvučnih zrakoplova koje nemaju certifikat veće maksimalne mase prilikom polijetanja od 5.7 tisuća kg čija će certifikacija promjene dizajna zrakoplova započeti nakon 1. siječnja 2023. godine i nakon 1. siječnja 2028. godine,
- verzije propelerskih zrakoplova koje nemaju certifikat veće maksimalne mase prilikom polijetanja od 8.618 kg čija će certifikacija promjene započeti nakon 1. siječnja 2023. godine i nakon 1. siječnja 2028. godine.

Maksimalna dopuštena količina emisija CO₂ za zrakoplove prema matematičkoj procjeni količine CO₂:

MTOM (Maksimal take-off Mass) maksimalna masa prilikom polijetanja

- za podzvučne i propelerske zrakoplove maksimalne dopuštene mase prilikom polijetanja ispod 60 tisuća kg ovisi o toj maksimalnoj dopuštenoj masi prema formuli,
 $10^{-2.73780 + [0.681310 * \log_{10}(\text{MTOM})] + [-0.0277861 * (\log_{10}(\text{MTOM}))^2]}$

- za podzvučne i propelerske zrakoplove maksimalne dopuštene mase prilikom polijetanja iznad 60 tisuća kg, a ispod 70.395 kg iznosi 0.764
- za podzvučne i propelerske zrakoplove maksimalne dopuštene mase prilikom polijetanja ispod 70.395 kg ovisi o toj maksimalnoj dopuštenoj masi prema formuli,

$$10^{-1.412742 + [-0.020517 * \log_{10}(\text{MTOM})] + [0.0593831 * (\log_{10}(\text{MTOM}))^2]}$$
- za zrakoplove koji nemaju potrebnu certifikaciju maksimalne dopuštene mase prilikom polijetanja manjoj od 60 tisuća kg ovisi o toj maksimalnoj dopuštenoj masi prilikom polijetanja prema formuli,

$$10^{-2.57535 + [0.609766 * \log_{10}(\text{MTOM})] + [-0.0191302 * (\log_{10}(\text{MTOM}))^2]}$$
- za zrakoplove koje nemaju potrebnu certifikaciju maksimalne dopuštene mase prilikom polijetanja iznad od 60 tisuća kg i manjoj od 70.107 iznosi 0.797,
- za zrakoplove koje nemaju potrebnu certifikaciju maksimalne dopuštene mase prilikom polijetanja iznad 70.107 kg ovisi o toj maksimalnoj dopuštenoj masi prilikom polijetanja prema formuli.¹³

$$10^{-1.39353 + [-0.020517 * \log_{10}(\text{MTOM})] + [0.0593831 * (\log_{10}(\text{MTOM}))^2]}$$

Prvo izdanje Annexa 16, volumena IV, je prihvaćeno od strane vijeća ICAO-a 27. lipnja 2018. godine te je stupio na snagu 1. siječnja 2019. godine. Odnosi se na projekte za smanjenje i neutraliziranje ugljika za međunarodne letove CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation).

Sadržaj Annexa 16, Volume IV je:

- Poglavlje I odnosi se na definicije i objašnjavanje simbola,
- Poglavlje II odnosi se na CORSIA koja je podijeljena u nekoliko poglavlja:
 - Administracija,
 - Praćenje, izvještavanje i verificiranje MRV (Monitoring, Reporting and Verification) zrakoplovnih emisija CO₂,
 - Zahtjevi za nadoknađivanjem CO₂ od međunarodnih letova i smanjenje emisija uslijed usporedbe CORSIA goriva koja ispunjavaju uvjete,
 - Emisijske jedinice.

¹³

https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/materialFM1/ICAO-2017_Annex16_Volume3_CO2CertificationRequirement.pdf

- 6 dodataka koji govore o načinu mjerenja i administraciji te korištenom gorivu i verifikaciji navedenog.

Glavni dio odlomka 1.1 govori o identifikaciji međunarodnih letova kao letovi koji se odvijaju između dvije različite države podrijetla. Zrakoplov polijeće sa zračne luke u jednoj državi, a slijeće na zračnu luku u drugoj državi. Odlomci 1.2 i 1.3 govore o odgovornosti i potrebnoj certifikaciji, koje zračni operater ispunjava, koje je pridobio od strane ICAO.

Odlomak 2.2 govori o praćenju razine emisija CO₂ ovisno o maksimalnoj masi zrakoplova s kojom smije poletjeti. Ovisno o razini emisija odnosno o prekoračenju dozvoljenih zračnim operaterima dopušta korištenje ICAO CORSIA sustava. U ovisnosti o razinama emisija regulirati će se mogućnosti međunarodnih letova zračnim operaterima. Razdoblje praćenja je podijeljeno u stadije do 2020. godine, od 2021. do 2035. godine.¹⁴

ICAO je i u suradnji sa drugim međunarodnim organizacijama. Jedna od njih je i međunarodna organizacija Ujedinjenih naroda UN, koja je 12. prosinca 2015. godine održala konvenciju u Parizu. Na toj konferenciji donesen je Pariški sporazum koji utvrđuje sve dugoročne ciljeve o održavanju porasta globalne temperature odnosno zadržavanje temperature na razini koja je znatno niža od 2°C iznad razine u predindustrijskom razdoblju te se ulažu napor da se održi na 1.5°C iznad razine u predindustrijskom razdoblju.

Na razini Unije usvojeno je nekoliko mjera koje za cilj imaju unaprjeđenje protoka zračnog prometa i nadzor nad upotrebom zračnog prostora kako bi se spriječile raspodjelu europskog zračnog prostora i tako smanjile emisije. S time su se države članice obvezale na plovību pod jedinstvenim europskim nebom. Za upravljanje zračnom plovidbom uvedeno je Zajedničko poduzeće za istraživanje u upravljanju zračnim prometom jedinstvenog europskog neba SESAR (Single European Sky ATM Research).

Od 1. siječnja 2013. godine prema direktivi EU (u članku 3.d stavku 2.) 15% emisijskih jedinica nudi se na dražbi. Komisija provodi istraživanje o sposobnosti sektora zrakoplovstva da obavijesti kupce o troškovima CO₂, u odnosu na EU ustav trgovanja emisijama, kao i globalnu tržišno utemeljenu mjeru od strane ICAO-a. U članku 3.d stavke 4. primjenjuje se da svi prihodi dobiveni prilikom prodaje emisijskih jedinica na dražbi trebalo bi upotrijebiti za borbu protiv klimatskih promjena u Europskoj uniji i trećim zemljama. Treba smanjiti između

¹⁴https://www.verifavia.com/bases/ressource_pdf/380/SARPs-Annex-16-Volume-IV.pdf?fbclid=IwAR1bgWf-oMMcAXZTzZxexpGZlth69g4c_w-QI31da_ZRXPq6Qsv1o0W00

ostalog emisije stakleničkih plinova, za prilagođavanje učincima klimatskih promjena u Uniji i trećim zemljama. Sa skupljenim novcem bi također trebalo financirati zajedničke međunarodne projekte poput SESAR-a, CleanSky te drugih inovacija.¹⁵

¹⁵https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32017R2392&from=EN&fbclid=IwAR2cNqV08_W1EwUaXLG_gI_HCOAbUalDp4I2SiBbA0L5OtHJ7nOwLD_ow4M

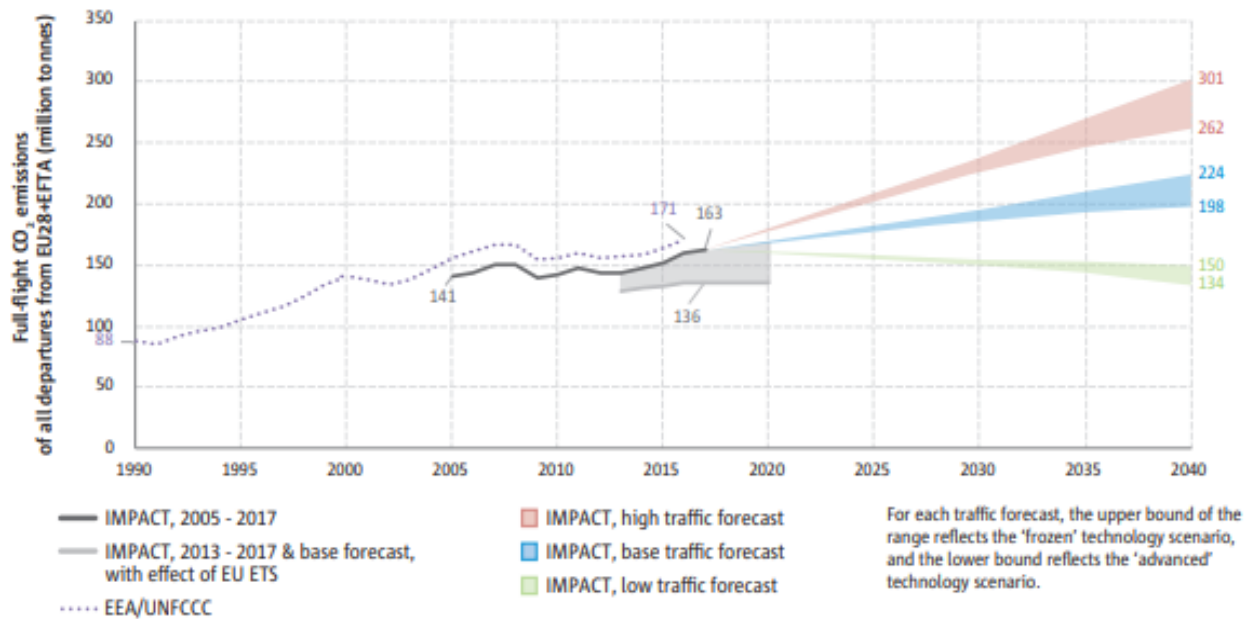
5. Emisije iz zrakoplovnog motora na regionalnom planu

Iz godine u godinu dolazi do povećavanja emisije CO₂ te se povećao od 88 do 171 milijuna tona između 1990. i 2016. godine što je porast od 95%. Ti podaci su izneseni na UNFCCC (United Nations Framework Convention on ClimateChange) konferenciji koristeći podatke od strane svih letova koji su bili u sklopu EU28 (zemlje članice Europe, koje koriste euro i imaju Schengen bez granica omogućen promet) i EFTA (European Free TradeAssociation, europsko udruženje za slobodnu trgovinu).

Za usporedbu, IMPACT web baziranu aplikaciju koja služi za modeliranje procjena utjecaja zrakoplova na okoliš čiji razvoj provodi EUROCONTROL, omogućena je dosljedna procjena emisija tijekom leta. Emisije CO₂ dosežu 163 milijuna tona u 2017. godini što predstavlja porast od 16% u odnosu na 2005. godinu i 10% u odnosu na 2014. godinu. Kroz isti period, prosječna potrošnja goriva po putničkom kilometru pala je za 24%. To je smanjilo prosječan rast za 2.8% između 2014. i 2017. godine. Međutim, povećan broj letova, veličina zrakoplova te udaljenost leta zrakoplova povećala je emisije CO₂. Prognoze prikazuju da će daljnje povećanje prometa povećati emisije CO₂ za 21% te će dostignuti 198 milijuna tona do 2040. godine.¹⁶

Na prikazu 2 je prikazana emisija CO₂ od strane svih letova članica EU28 i EFTA u razdoblju do 2017. godine, te predviđanje za daljnji rast emisija do 2040. godine, koji je podijeljen u tri predviđanja: visokog, srednjeg i malog porasta zračnog prometa.

¹⁶https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/eaer-2019_0.pdf?fbclid=IwAR0jW_fux6I9mJrl3Sm_jGPVVVuNyyeQGmOyLA7TmHSJ94bK73ABuD6Gawg

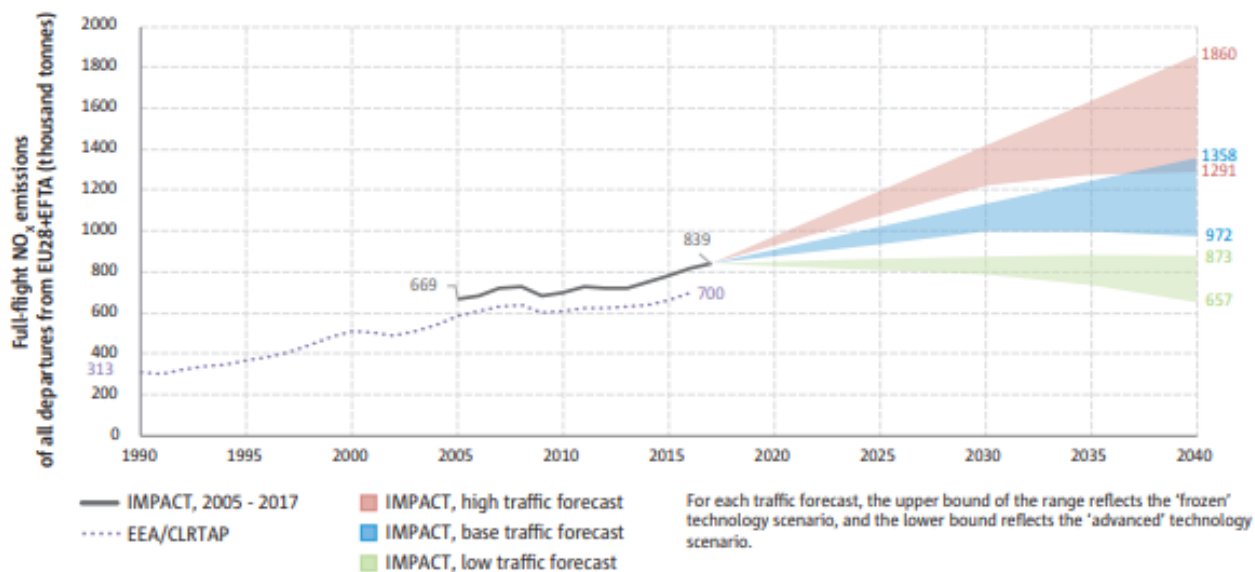


Slika 2: Prikaz predviđanja emisije CO₂ do 2040. godine

Izvor[5]

Emisije NO_x su imale strmiji rast nego emisije CO₂ posljednjih nekoliko godina. Došlo je do porasta s 313 tisuća na 700 tisuća tona između 1990. godine i 2016. godine te porast od 25% prema IMPACT modelu između 2005. i 2017. godine. Za razliku od CO₂, trenutno se prognozira da će doći do smanjenja porasta emisije NO_x zbog napredne tehnologije zrakoplovnih motora, ali tek nakon 2030. godine. Bez obzira na to predviđa se porast iznad milijun tona u 2040. godini zbog porasta prometa kao što je prikazano na slici 3. prikaz predstavlja porast emisije NO_x nakon 2017. godine u tri predviđanja: visokog, srednjeg i niskog porasta zračnog prometa, uz malu promjenu u porastu 2030. godine zbog tehnologije zrakoplovnih motora.¹⁷

¹⁷https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/eaer-2019_0.pdf?fbclid=IwAR0jW_fux6I9mJrl3Sm_jGPVVVuNyyeQGmOyLA7TmHSJ94bK73ABuD6Gawg



Slika 3: Prikaz predviđanja emisije NO_x do 2040. godine

Izvor[5]

Istraživanje je pokazalo da je 2016. godine, zrakoplovstvo bilo odgovorno za udio od 3,6% od ukupnih stakleničkih plinova i za 13,4% emisija od cjelokupnog prometa u sklopu EU28. S time je zrakoplovstvo na drugom mjestu izvora emisija stakleničkih plinova u prometu ispred kojega je samo cestovni promet. Emisije stakleničkih plinova u Europi su se više nego udvostručile od 1990. godine, tada su zabilježene emisije bile samo 1,4% od cjelokupnih emisija. Kako su emisije od zagađivača koji nisu vezani uz promet sve manji i manji, emisije u zrakoplovstvu postaju značajnije.

Zrakoplovstvo značajno doprinosi zagađenju zraka, pogotovo emisijama dušikovih oksida NO_x te sa česticama PM. U 2015. godini zabilježeno je da zračni promet emitira 14% emisija NO_x od ukupnog prometa i 7% od ukupnih emisija NO_x od svih izvora emisija. Emisije NO_x su se udvostručile od 1990. godine te se njihov relativni dio učetverostručio kako su se emisije u drugim sektorima značajno smanjile. Emisije ugljičnog monoksida CO i sumporovog oksida SO_x su se također povećale od 1990. godine, dok su se emisije u ostalim prometnim oblicima smanjile.¹⁸

¹⁸https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/eaer-2019_0.pdf?fbclid=IwAR0jW_fux6I9mJrl3Sm_jGPVVuNyyeQGmOyLA7TmHSJ94bK73ABuD6Gawg

IMPACT model napravio je prognozu emisija ispušnih plinova zrakoplovnog motora u odnosu na 2005. godinu. Prognoza rasta i pada emisija je prikazana u tablici 4. Zbog porasta zračnog prometa u Europi dolazi do porasta emisija štetnih plinova bez obzira na razvoj tehnologija. Osim porasta emisija dušikovog oksida NO_x i ugljikovog dioksida CO_2 dolazi i do porasta ostalih štetnih ispušnih plinova kao što su ugljikovodik HC, ugljični monoksid CO i čestica PM. U tablici su prikazane dvije prognoze, prva za uvijete napredne tehnologije, a druga uz uvijete osnovne tehnologije odnosno bez njezinoga razvoja. Najznačajnija razlika u napretku razvoja tehnologije se vidi kod emisija dušikovog oksida NO_x kod kojega dolazi do porasta od 40% prilikom uporabe novih tehnologija, a prilikom uporabe današnje tehnologije dolazi do porasta od 103% što je značajna razlika. To je razlika od 386 tisuća tona dušikovog oksida do 2040. godine. Napredak se vidi i u potrošnji goriva po putničkom kilometru kod kojega dolazi do smanjenja od 33% do 41%, s obzirom na primjenu tehnologije.

Tablica 4: Prognoza emisija plinova cijeloga leta prema IMPACT modelu

| | Mjerne jedinice | 2005 | 2014 | 2017 | 2040 osnovna prognoza | |
|--|----------------------------------|--------|-------------|-------------|----------------------------|---------------------|
| | | | | | Napredna tehnologija | Osnovna tehnologija |
| | | | | | % u odnosu na 2005. godinu | |
| Prosječna potrošnja goriva za komercijalni zrakoplov | Kg po putničkom kilometru | 0.0355 | 0.0294 | 0.0270 | 0.0210 | 0.0238 |
| | Litre po 100 putničkom kilometru | 4.4 | 3.7 -17% | 3.4 -24% | 2.6 -41% | 3.0 -33% |
| CO ₂ | Milijuni T | 141 | 148 | 163 | 198 | 224 |
| | | | 5% | 16% | 40% | 59% |
| NO _x | Tisuću T | 669 | 749 | 839 | 972 | 1358 |
| | | | 12% | 25% | 45% | 103% |
| HC | Tisuću T | 55 | 53 | 57 | 58 | |
| | | | -4% | +3% | +6% | |
| CO | Tisuću T | 110 | 102 | 108 | 99 | |
| | | | -7% | -2% | -9% | |
| Štetne PM | Tisuću T | 126 | 123 | 136 | 157 | |
| | | | -3% | +8% | 25% | |
| Ne štetne PM | Tisuću T | 76 | 55 | 53 | 71 | |
| | | | -27% | -30% | -5% | |

Izvor: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/eaer->

2019_0.pdf?fbclid=IwAR0jW_fux6l9mJrI3Sm_jGPVVuNyeeQGmOyLA7TmHSJ94bK73ABuD6Gawg

6. Emisije iz zrakoplovnog motora na globalnom planu

Utjecaj sunčevog zračenja RF (Radiative forcing) predstavlja mjeru kojom se izražava promjena globalne srednje vrijednosti bilance zračenja na stratopauzi i time predstavlja mjeru kojom se izražava poremećaj ravnoteže između ulaznog sunčevog zračenja i dugovalnog zračenja Zemlje koje se emitiraju u svemir. Pozitivan RF dovodi do zagrijavanja, a negativan do hlađenja.

Glavni staklenički plinovi GHG (greenhouse gases) koji se emitiraju su ugljični dioksid CO₂ i vodena para H₂O. Emisije dušikovih oksida NO_x utječu na koncentracije drugih stakleničkih plinova, uglavnom ozona (O₃) i metana (CH₄). Crni ugljik (čada) je izravno emitiran aerosol, a sumporovi oksidi SO_x, NO_x i ugljikovodici HC dovode do proizvodnje aerosola nakon emisije. Emisija vodene pare u kombinaciji s ispuštenim ili pozadinskim aerosolom dovodi do stvaranja trajnih koncentracijskih tragova. Trajni koncentracijski tragovi (contrails), koji nastaju pri visokoj vlažnosti okoline i niskim temperaturama, povećavaju oblačnost. Dodatno, zrakoplovni aerosol može izmijeniti prirodne oblake ili potaknuti stvaranje oblaka. Smatra se da su ovo primarni načini s kojima zrakoplovi utječu na klimu.¹⁹

6.1. Ugljik (IV) oksid (CO₂)

Ugljični dioksid ima izravan utjecaj na klimatske promjene i ovisi o njegovoj koncentraciji u atmosferi. Njegov štetni utjecaj je uzrokovan njegovim molekulama koje apsorbiraju vanjsko infracrveno zračenje koje emitira zemljina površina i donji dio atmosfere. Procesom izgaranja goriva u zrakoplovnom motoru dolazi do njegove nezaobilazne proizvodnje, a njegova količina je uvjetovana ukupnim iznosom ugljika u gorivu. Cjelokupno prometno povećanje u proteklih 200 godina uzrokuje povećanje koncentracije CO₂ od 25% do 30% te je za posljedicu imalo zagrijavanje troposfere i hlađenje stratosfere.²⁰

Količina emitiranog CO₂ prilikom leta je fiksirana na količinu potrošenog goriva, s odnosom 3.16 kg CO₂ za svaki kilogram potrošenoga goriva. Za razliku od mnogih drugih

¹⁹<https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>

²⁰<https://www.fpz.unizg.hr/zan/wp-content/uploads/2013/02/Bazijanac-Domitrovic-Emisije-zrakoplovnih-motora-autorizirana-predavanja-i-dodaci.pdf>

plinova, CO₂ se ne razgrađuje u atmosferi i pada na površinu Zemlje. Uglavnom ne reagira s drugim elementima te se radi toga nakuplja u atmosferi i postepeno cirkulira kroz Zemljine rezervare ugljika.²¹

Emisije CO₂ su povećane prilikom rada motora pri malim snagama, dok pri radu s povećanom snagom dolazi do smanjenja emisije CO₂. Za razliku od emisija NO_x koje se rastu prilikom povećavanja snage rada motora.²²

Jedna od posljedica koja nastaje ispuštanjem većih emisija CO₂ u atmosferu je i promjena pH vrijednosti oceana. Voda iz oceana je blago lužnata (pH > 7). Pretpostavlja se da je otprilike 30% do 40% ugljikovog dioksida nastalo ljudskim utjecajem poput odlaganja otpada u oceanima, rijekama i jezerima. Dio reagira s vodom tvoreći ugljičnu kiselinu, koja se razdvaja u bikarbonatni ion i vodikov ion, povećavajući kiselost oceana.²³

6.2. Vodena para (H₂O)

Vodena para ima izravan utjecaj na efekt staklenika, koji je na granici tropopauze deset puta veći nego u donjim slojevima. Sekundarni utjecaj na klimatsko djelovanje proizlazi tvorbom kondenzacijskih pruga koje pospješuju stvaranju visokih ledenih cirrus oblaka. Prilikom krstarenja zrakoplova na polovima gdje je granica troposfere osam do devet kilometara, onečišćenje vodenom parom je dvostruko štetno:

- utječe na razgradnju ozona manifestacijom u obliku polarnih stratosferskih oblaka
- pojačava efekt staklenika manifestacijom u kumulacijicirrus oblak

Količina vodene pare uzrokovana emisijom zrakoplova zanemariva je u usporedbi s vodenom parom prenesenom isparivanjem sa zemlje. Premda u usporedbi s ostalim stakleničkim plinovima ima iznimno štetno djelovanje u slojevima stratosfere i gornjoj granici tropopauze koje proizlazi isključivo emisijama iz zrakoplovnih motora.

²¹<https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>
<https://pdfs.semanticscholar.org/77da/e0b9ecb719b0426483af08e95c6c737f3b38.pdf?fbclid=IwAR3VKKcIEGgYZtPgpXmR6TyJ0uncauk9Qnii3Mh3zilc672a5CxKmJnxjCA>

²²https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/jok.2015.36.issue-1/jok-2015-0058/jok-2015-0058.pdf?fbclid=IwAR1_Z-rGnPS9bXEdYtozApPf-wXagYJgu9c-3svpDg6-ysZxNsXmzJb08Vo

²³https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/jok.2015.36.issue-1/jok-2015-0058/jok-2015-0058.pdf?fbclid=IwAR1_Z-rGnPS9bXEdYtozApPf-wXagYJgu9c-3svpDg6-ysZxNsXmzJb08Vo

Pretežiti dio emisije vodene pare kod podzvučnih zrakoplova emitira se u troposferi gdje se uz pomoć oborina uklanja unutar jednog do dva tjedna. U području niže stratosfere se emitira manji dio vodene pare koja se može nakupljati u većim količinama. Iz razloga što je vodena para staklenički plin njezino nakupljanje može utjecati na zagrijavanje zemljine površine.²⁴

Vodena para također je jedan od produkta izgaranja. Tako nastala para na velikim visinama i niskim temperaturama, kondenzira se u kapljice koje tvore kondenzacijske tragove (contrails). Kondenzacijski tragovi su vidljive linije oblaka koje nastaju u hladnoj, vlažnoj atmosferi i smatra se da imaju utjecaj na globalno zatopljenje, sličan ili nešto niži od utjecaja ugljikovog dioksida. Za razliku od ugljikovog dioksida koji se u atmosferi može zadržati stotinama godina, vodena para neprestano kruži. Većina nastaje isparavanjem oceana, a povećanom količinom pare u zraku, povećava se i temperatura jer se manje propušta prema svemiru. Povećanom temperaturom, povećava se i isparavanje. Takva količina vodene pare znatno povećava osjetljivost atmosfere na ugljikov dioksid i ostale stakleničke plinove koji doprinose zagrijavanju. Može se vidjeti zatvorena petlja, ugljikov dioksid doprinosi povećanju temperature, povećana temperatura doprinosi povećanom isparavanju, povećane količine pare dalje zagrijavaju zemljinu površinu, a sve to uzrokuje sve obilnije kiše i poplave.²⁵

Za konstantno formiranje kondenzacijskih tragova te stvaranja cirrus oblaka potrebno je imati atmosferske uvjete koji su prezasićeni s ledom. Takvi uvjeti se obično nalaze u uskim okomitim slojevima. Načini smanjenja mogu biti smanjenje razine leta ili promjene kursa leta zrakoplova, koji ga udaljava od uobičajene rute. U oba slučaja dolazi do povećane potrošnje goriva, a s time povećanje emisije CO₂. Za smanjenje cirrus oblaka bilo bi potrebno implementirati opsežne pristupe koji uključuju izbor odgovarajuće politike za smanjenje sa znanstvenim, operativnim i troškovnim razmatranjima.²⁶

²⁴<https://www.fpz.unizg.hr/zan/wp-content/uploads/2013/02/Bazijanac-Domitrovic-Emisije-zrakoplovnih-motora-autorizirana-predavanja-i-dodaci.pdf>

²⁵<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/joc.4303>

²⁶<https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>

6.3. Dušikovi oksidi (NO_x)

Dušikovi oksidi (NO i NO₂) su prisutni u atmosferi, vrlo su utjecajni u sastavu troposfere i stratosfere te su važni u procesu izgaranja i uništavanja ozona. Zrakoplovne emisije NO_x podzvučnih zrakoplova uzrokuju povećanu količinu ozona koji je staklenički plin u višoj troposferi i nižoj stratosferi, što predstavlja glavni problem emisije NO_x. Primjećuje se i utjecaj na ostale elemente atmosfere, glavni od njih je utjecaj NO_x na atmosferu povećanjem koncentracije metana, koji je isto staklenički plin.

U području gornje troposfere, zrakoplovne emisije NO_x su efikasnije prilikom stvaranja ozona s obzirom na stvaranje istog. Povećanje količine ozona u gornjoj troposferi učinkovitije djeluje na RF nego što djeluje na nižim razinama. Pretpostavlja se da se najveće povećanje koncentracije ozona događa u blizini tropopauze, gdje je prirodna promjenjivost visoka.

Veliki naponi da bi se smanjilo ispuštanje CO, HC i C iz zrakoplovnih motora uzrokovalo je porast ispuštanja NO_x, koji je među njima najopasniji i najštetniji. NO_x nastaje kao rezultat izgaranja goriva na vrlo visokim temperaturama.

U nižim atmosferskim slojevima zbog utjecaja NO_x dolazi do stvaranja fotosmoga i ozona u atmosferi, gdje inače lete nadzvučni zrakoplovi. Na tim visinama dolazi do onečišćenja prirodnog ozonskog sloja, što doprinosi i pojavama kiselih kiša.²⁷

Emisije NO_x iz zrakoplova djeluju kao katalizator za proizvodnju O₃ pri oksidaciji CO, CH₄ i razne ugljikovodične spojeve. Dok NO_x nije izravni staklenički plin, on mijenja značajke od dva glavna GHG-a, O₃ i CH₄, putem fotokemijskih procesa. Povećani O₃ na visinama krstarenja dovodi do pozitivnog RF (zagrijavanja). NO_x također povećava količinu kemijskih reakcija s OH, koji reagira s CH₄, smanjujući tako njegovu količinu i izazivajući negativni RF (hlađenje). Ovakvo dugoročno smanjivanje CH₄ također dovodi do relativno mala dugoročna smanjenja proizvodnje O₃ i pridružene male negativne RF. Pored toga, smanjenje CH₄ rezultira malim smanjenjem vodene pare u stratosferi, rezultirajući još jednim malim negativnim RF.²⁸

²⁷<https://www.fpz.unizg.hr/zan/wp-content/uploads/2013/02/Bazijanac-Domitrovic-Emisije-zrakoplovnih-motora-autorizirana-predavanja-i-dodaci.pdf>

²⁸<https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>

6.4. Sumporovi oksidi (SO₂)

Emisije motora zrakoplova SO₂ imaju štetno djelovanje na klimatske promjene posrednim djelovanjem jer pridonosi razgradnji ozona, a bilježi se njegov lagan porast od 5% u stratosferskoj koncentraciji.²⁹

Sumpor je jedan od elemenata koji se nalazi u sirovoj nafti, nastao od ostataka morskih organizama, algi, bakterija itd. Postoji nafta s malom količinom sumpora koja se naziva „slatka“ sirovina i nafta s povećanom količinom sumpora, „kisela“ sirovina. Sumpor je nepoželjan u gorivu, stoga se različitim metodama rafinira iz sirovine. Najučestalija metoda je hidrodesulfurizacija (HDS – hydrodesulfurization) koja koristi vodik u prisutnosti topline i katalizatora kako bi sumpor pretvorio u vodikov sulfid (H₂S). Određena količina sumpora ostaje u rafiniranim produktima nafte za široku primjenu pa tako i u gorivu za mlazne motore. Strogo je kontrolirana njegova količina, a gorivo može sadržavati od 15 do 3000mg sumpora po litri goriva. Najčešće taj broj iznosi 600mg sumpora po litri goriva budući da bi daljnje smanjenje sumpora u gorivu povećalo cijene proizvodnje i prodaje. Sumpor reagira s vodom i tvori sumpornu kiselinu (H₂SO₄), snažnu korozivnu kiselinu. Ta kiselina prolazi i može oštetiti turbinu i zidove komore za izgaranje. Jedan je od razloga zašto u zemljama sa zagađenijim zrakom zrakoplovni motori imaju nešto kraći vijek upotrebe. Sumpor iz zraka prolazi kroz kompresor, pretvara se u kiselinu u komori za izgaranje i nagriza dijelove motora.³⁰

²⁹<https://www.fpz.unizg.hr/zan/wp-content/uploads/2013/02/Bazijanac-Domitrovic-Emisije-zrakoplovnih-motora-autorizirana-predavanja-i-dodaci.pdf>

³⁰<https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/2478.pdf>

7. Mjere smanjenja stakleničkih plinova u zračnom prometu

Onečišćivači se mogu podijeliti na primarne i sekundarne. Onečišćenje primarnim zagađivačima ovisi o:

- režimu rada pogonskog sustava zrakoplova,
- kemijskog sastava goriva i visine leta,

dok sekundarni onečišćivači ovise o:

- kemijskom sastavu goriva,
- sastavu zraka i visini leta,
- izvoru emisije i slično.

Ispušni plinovi koji najviše utječu na onečišćenje atmosfere su:

- Ugljični dioksid (CO_2),
- Vodena para (H_2O),
- Dušikovi oksidi ($\text{NO}_x = \text{NO}$ i NO_2),
- Sumporovi oksidi (SO_x).

Vrijeme zadržavanja pojedinih emisija u zraku nije jednako. Sumporov dioksid (SO_2) se zadržava od jednog do šest dana, čestice vodene pare (H_2O) od tri do sedam dana, dušikovi oksidi (NO_x) od jednog do tri dana, ugljikovodici (HC) od jednog do dva dana, dok se CO_2 zadržava oko 0,3 godine.

Od zrakoplova uvjetovanih zagađivača, sveukupno je jedna petina emisija emitirana u donjim stratosferskim slojevima, dok se ostale četiri petine emitiraju unutar troposfere.³¹

7.1. Tehnologijske mjere

Sve više se pridaje pozornost na uporabu novih materijala prilikom izrade konstrukcije zrakoplova. Ti materijali se nazivaju kompozitnim materijalima, njihove prednosti su smanjivanje težine zrakoplova, povećanje nosivosti zrakoplova, dugotrajnija izdržljivost te veća otpornost na opterećenja.

³¹<https://www.fpz.unizg.hr/zan/wp-content/uploads/2013/02/Bazijanac-Domitrovic-Emisije-zrakoplovnih-motora-autorizirana-predavanja-i-dodaci.pdf>

Najčešće upotrebljavani materijali su:

- vlaknima ojačana plastika,
- staklena vuna,
- ojačan karbon kompozit,
- super legure bazirane na niklu, kobaltu ili željezu.

Primjer postojećih inovacija kompozitnih materijala možemo vidjeti kod Airbus zrakoplova A 350 XWB, koji ima većinski dio svoje konstrukcije odnosno 70% konstrukcije. Izrađen je od novih materijala, kombinacija legure titana i aluminija s kompozitnim materijalima. Time je postignuto smanjenje emisija NO_x za 30% ispod trenutne granice. Druga prednost korištenja aluminij-litijskih legura treće generacije je mogućnost smanjenja težine zrakoplova za oko osam tona.

Glavni nedostaci primjene kompozitnih materijala u zrakoplovstvu su:

- njihova električna vodljivost i manjak otpornosti od udaraca munja u zrakoplov,
- iznimno visoke cijene potrebnih materijala,
- smanjena jednostavnost reciklaže zrakoplova,
- reakcija na udarce i oštećenja.

Prethodno navedene nedostatke već mogu smanjiti novi materijali od laminata odnosno aluminijjskih laminata koji su pojačani sa staklom. Prednosti aluminijjskih laminata su:

- povećana otpornost na udarce,
- otpornost na plamen i koroziju,
- dobra izolacija i prigušna svojstva,
- visoke statičke karakteristike,
- lakoća proizvodnje i pripravlak.

Uporabom pravilnih tehnoloških usavršavanja zrakoplovnih motora proteklih 40-ak godina smanjila se potrošnje goriva do 70%.³²

³²Golubić, J.: Prezentacija za nastavu "Ekološka tehnologija gradnje zrakoplova", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2019.

ICAO CAEP (Report of the Committee on Aviation Environmental Protection) izvještaj odbora za zaštitu zračnog okoliša provodi ažuriranje podataka svake tri godine počevši od 2001. godini CAEP/5 te sa zadnje objavljenim izvještajima u 2016. godini CAEP/10.³³

CAEP/6 je uz pomoć nezavisnih stručnjaka postavio srednjoročne i dugoročne ciljeve za smanjenjem emisija NO_x tehnološkim razvojem za 45% do 2016. godine i za 60% do 2026. godine. Nakon provedenih recenzija o emisijama NO_x došli su do zaključka da dosadašnja tehnologija nije uspjela smanjiti emisije NO_x do 2016. godine do odgovarajuće mjere te da niti jedan postojeći zrakoplovni motor neće postići zahtjeve koji su postavljeni za 2026. godinu.³⁴

CAEP/10 se bazira na standardnim i preporučenim postupcima koji se baziraju na ICAO Annexu 16 volumenu 2. Oni obuhvaćaju tehničke probleme koji proizlaze iz povezanih uputa za certificiranje zrakoplovnih motora i uključuju različite promjene i ispravke:

- Dodana je definicija „certifikacije tipa zrakoplovnog motora“ i dodan je izraz „zrakoplovni motor s certifikatom“ koristi se u definiciji „verzija derivata“ motora koji se koristi u tehničkom priručniku za okoliš ETM (Environmental Technical Manual)
- Promijenjena je granica stabilnosti temperature sadržane u Volume II. dodatku 3, stavka 5.1 održavanje temperature vodova na $160 \pm 15^{\circ}\text{C}$ (sa stabilnošću od $\pm 10^{\circ}\text{C}$). Ovo bi se moglo tumačiti da je dopušten raspon temperatura od 135 do 185°C , budući da je namjera prijedloga osigurati održavanje temperature vodova $160 \pm 15^{\circ}\text{C}$ (tj. 145 do 175°C). Da bi se pojašnjalo ovo pitanje, dopunom se predlaže brisanje „sa stabilnošću od $\pm 10^{\circ}\text{C}$ “.³⁵
- Podešavanjem instrumenata i korištenje analize emisija NO_x, trenutni dodatak D u dodatku 3 zahtjeva ispitivanje plinova NO i NO_x kako bi se potpuno smanjio postotak dušika. SAE preporuča NO_x za ispitni i regulatorni plin, jer se do sada testiralo sa NO, NO₂ i NO_x, pa su rezultati bili različiti prilikom njihovog korištenja.
- Prilikom izgaranja goriva dolazi do izbacivanja ne štetnih čestica nvPM (non-volatile PM) iz zrakoplovnog motora radi procesa izgaranja, a one predstavljaju ultra male čestice čađe ili crnog ugljika. One su pretežito male veličine, njihov raspon promjera je od 15 do 60 nm, te su tako nevidljive ljudskom oku. Predložen je novi standard za

³³<https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/environment-publications.aspx>

³⁴https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalWorkshops/Documents/2014-Kenya/4-1_LAQ-Technology_notes.pdf

³⁵<https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Opinion%20No%2009-2017.pdf>

njihovo mjerenje i njihovu regulaciju za sve nove zrakoplovne motore koji će biti izrađeni nakon 1. siječnja 2020. godine i namijenjena je svim zrakoplovnim motorima s razinom potiska manjom od 26.7 kN.³⁶³⁷

Clean sky je najveći europski istraživački program koji razvija inovativnu, najsvremeniju tehnologiju usmjerenu na smanjenje CO₂, emisije plinova i razine buke koju proizvode zrakoplovi. Clean sky doprinosi jačanju europske suradnje između zrakoplovnih industrija sa suradnjom, globalnim vodstvom i konkurentnosti. Clean sky je financiran iz programa EU Horizon 2020.

Jedna od inovacija u programu je smanjenje težine zrakoplova i reduciranje troškova izrade konstrukcije zrakoplova korištenjem nove tehnologije kompozitne konstrukcije zrakoplova. Projekt se fokusira na jednostavnost sastavljanja, lakoću izrade dijelova i sastavljanje zrakoplova te nisku cijenu izrade zrakoplova. Radi se na implementaciji novih materijala s novim vratima, prozorima, konstrukcije i novom podnom mrežom. Prilikom uporabe senzora kod manjih dijelova koji se spajaju i fiksiraju jedni na druge dodaje se i mogućnost praćenja stanja sigurnosti zrakoplova i njegovu kakvoću te se s time omogućuje lakši pregled mogućih oštećenja trupa zrakoplova prilikom slijetanja ili udara ptica prilikom leta ili drugih neprilika. Trenutno su dva modela zrakoplova u procesu testiranja tijekom 2019. godine. Jedan se testira na komfor putnika odnosno putničke kabine, vibracije, akustičke provjere i testiranje na temperaturne promjene. Drugi model se testira na strukturalnoj razini, na otpornost od oštećenja i statičke testove.

Clean sky Hybrid Laminar Flow Control (HLFC) je hibridna kontrola laminarnog protoka je kontrola protoka zraka oko trupa zrakoplova pomoću stvaranja protoka laminarnog tipa. S njime dolazi do smanjenja potrošnje goriva zrakoplova i automatskim smanjenjem emisija za 10%. Kontrola protoka zraka oko zrakoplova vrši se korištenjem paralelnih slojeva strukture materijala koji se postavljaju na prednji brid repa zrakoplova i krila zrakoplova. Ovim pristupom se pokušava smanjiti otpor turbulentnog protoka zraka oko zrakoplova, jer veći otpor predstavlja povećanu potrošnju goriva prilikom leta. Cilj HLFC sustava je osigurati održivi laminarni protok na krilima i/ili na vertikalnim i horizontalnim

³⁶<https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Opinion%20No%2009-2017.pdf>

³⁷http://dgca.gov.in/intradgca/intra/icao%20annexes/an16_v2_cons.pdf

repnim površinama što je duže moguće odnosno da zrak struji u paralelnim strujnicama. Početci rada na ovom projektu su započeti u 2018. godini, a testovi prilikom letova bi se trebali vršiti tijekom 2019/2020. godine.³⁸

Inovacije ne prestaju samo kod pojedinih dijelova konstrukcije zrakoplova već se mijenja cjelokupni oblik zrakoplova inovativnim dizajnima. Dok nove tehnologije donose nove izazove, one također predstavljaju nove mogućnosti za proširenje stručnosti i inovativnog pristupa. Biti će potrebno procijeniti utjecaj na okoliš tih novih koncepata u odnosu na konvencionalne zrakoplove. EASA blisko surađuje s podnositeljima zahtjeva za procjenu okolišnih značajki tih proizvoda.³⁹

Jedan od njih je NASI-n Double bubble tip zrakoplova koji je započeo sa svojim razvojem sredinom 2017. godine. Trup takvog zrakoplova je znatno širi od uobičajenog, a motori mu se nalaze na kraju trupa ispod repne površine koja se izdiže iznad turbofan motora kao što je prikazano na slici 4.



Slika 4. Prikaz Double Bubble zrakoplova

Izvor [14]

³⁸https://www.cleansky.eu/sites/default/files/inline-files/CLEAN_SKY_BROCHURE_SKYLINE-27.pdf

³⁹https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/eaer-2019_0.pdf?fbclid=IwAR0jW_fux6I9mJrl3Sm_jGPVVVuNyyeQGmOyLA7TmHSJ94bK73ABuD6Gawg

Double bubble zrakoplov zbog svojeg inovativnog dizajna i konstrukcije ima mogućnost smanjenja emisija ispušnih plinova za čak 87%, smanjenje buke zrakoplova, te smanjenje potrošnje goriva za 71%.⁴⁰

NASA (National Aeronautics and Space Administration) međunarodna agencija uz pomoć MIT (Massachusetts institut oftehnology) instituta za tehnologiju je razvila ovaj tip zrakoplova koji bi trebao biti isporučen od 2030. do 2035. godine. Zrakoplov će biti dizajniran sa specifikacijama: brzinom leta od 906.5 Km/h, dolet 5.550 kilometara, broj putnika 180.⁴¹

Drugi inovativni dizajn zrakoplova je BWB (Blended Wing-Body) koji ima hibridni oblik s proširenim krilima zrakoplova koja su spojena s trupom zrakoplova u V obliku, te s dva turbojet motora na kraju trupa zrakoplova kao što je prikazano na slici 5. Takav oblik stvara povećani uzgon, a smanjuje otpor zrakoplova. Prilikom konstrukcije se koriste kompozitni materijali koji su čvršći i lakši nego kod konvencionalnog zrakoplova. Zbog cjelokupne konstrukcije i dizajna zrakoplova potrošnja goriva se smanjila za 20-25%. Do toga dolazi jer kod uobičajenog tipa zrakoplova trup ne sudjeluje do te mjere u stvaranju uzgona u tolikoj mjeri u kojoj sudjeluje trup BWB zrakoplova. Također radi smanjenja otpora dolazi i do smanjenja potrošnje goriva te sa samim time je moguće povećanje količine plaćenog tereta u zrakoplovu za 15-20% te samim time zrakoplov postaje efikasniji sa mogućnošću prijevoza 800 putnika.

Neke od dodatnih prednosti ovog zrakoplova su:

- smanjena cijena operativnih procedura,
- smanjena cijena izrade,
- smanjena gustoća prometa na aerodromima i u zraku,
- smanjen utjecaj na okoliš,
- povećana sigurnost,
- mogućnost rada na već postojećim terminalima.⁴²

⁴⁰<https://wordlesstech.com/nasas-double-bubble/>

⁴¹<https://www.aerotime.aero/aerotime.team/14241-double-bubble-the-future-of-civil-aircraft>

⁴²<https://ysjournal.com/beyond-the-dreamliner-blended-wing-body-aircraft/>



Slika 5. Prikaz BWB zrakoplova

Izvor [16]

7.2. Operativne mjere

Izraz operativne mjere u kontekstu zrakoplovstva može se upotrijebiti za opisivanje širokog spektra aktivnosti. Kao što je sam let zrakoplova, kontrola i/ili nadgledanje zrakoplova u sustavu upravljanja zračnim prometom i provođenje raznih aktivnosti na stajanci. Operacije započinju planiranjem aktivnosti i prije ulaska putnika u zrakoplov i prije utovara tereta, prilikom cijeloga leta, sve dok se putnici ne iskrcaju i sve dok se teret ne iskrca iz zrakoplova. Jedina konstanta prilikom definiranja operativnih postupaka jest to što sigurnost mora uvijek biti na prvome mjestu.

Operativne mogućnosti smanjenja emisija predstavljaju dvostruko učinkovito rješenje. Prvo, na temelju pretpostavke da je najučinkovitiji način minimiziranja emisije štetnog zračenja jeste smanjenje količine potrebnog goriva koje se koriste za servisiranje i potrebe svakog leta. Beneficije prema okolišu koje se postižu smanjenom količinom uporabe goriva također smanjuju ukupni trošak koji je potreban izdati za gorivo. Drugo, operativne mjere nužno ne zahtijevaju uvođenje nove opreme ili uvođenje skupih tehnologija. Umjesto toga temelje se na različitim načinima rada zrakoplova koji je već u uporabi.

ICAO je objavio materijale za uporabu s uputama u obliku ICAO-ovog kruga 303-AN/176 objavljenog u veljači 2004. godine o operativnim mogućnostima za smanjenje potrošnje goriva i smanjenje emisija. Materijali sadrže informacije o razini leta zrakoplova, operacijama tijekom leta, kao i opremi zemaljske službe i pomoćnih agregata.⁴³

Tijekom 2017. godine u kombinaciji EU28 i EFTA bilo je 9.6 milijuna letova te se predviđa porast za 42% do 2040. godine. Uvedena je inicijativa Jedinostveno europsko nebo SES (Single European Sky) koji je regulatorni instrument na razini EU koji će pomoći rješavanju problema zaštite okoliša povezanih s ovim očekivanim rastom. SES definira ključne indikatore u performansi i postavlja obavezne lokalne i europske ciljeve u područjima okoliša, sigurnosti, efikasnosti i kapacitetu, sve dok uzima u obzir njihovu međuzavisnost. Inicijativa uzima u obzir odnos između ruta leta i ekološkog utjecaja kroz dva ključna indikatora izvođenja. U njih ulaze mjerenje efikasnosti prilikom horizontalnog leta usporedbom najkraće udaljenosti između dvije točke i stvarne putanje leta prema planu leta.

⁴³<https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/operational-measures.aspx>

S obzirom na složenost strukture rute, postupaka sučelja i operacija kontrole zračnog prometa, horizontalna učinkovitost letova na ruti ne smatra se prikladnim pokazateljem učinka za zračnu luku i manevriranje terminalnim područjem. Umjesto toga, dodatno vrijeme taksi-out-a i dodatno tranzitno vrijeme u području sekvenciranja i mjerenja dolaska ASMA (Arrival Sequencing and Metering Area) prati se u nesmetanom vremenu na temelju razdoblja male potražnje u prometu. Isto tako, za mjerenje obavljanja operacija servisa na zrakoplovima na zračnim lukama, stvarno vrijeme taksiranja, uspoređuje se s neometanim vremenom taksiranja tijekom razdoblja male potražnje.

U sklopu SES-a postoji nekolicina operativnih inovacija u koje spadaju neke od značajnijih kao što su slobodni put zračnog prostora FRA (Free Route Airspace), operacije kontinuiranog polijetanja/operacije kontinuiranog spuštanja CCO/CDO (Continuous Climb Operations/Continuous Descent Operations), donošenje odluka u suradnji sa zračnom lukom A-CDM (Airport Collaborative Decision Making).

FRA se definira kao zračni prostor koji korisnici mogu slobodno koristiti prema svojem planu između bilo koje definirane ulazne i izlazne točke, prema dostupnosti zračnog prostora. Potiče ploidbu kraćih ruta i učinkovitiju uporabu europskog zračnog prostora. Udio vremena leta tijekom leta 2017. godine u zračnom prostoru FRA je bio 20% u usporedbi s 2014. godini s 8.5%. Od 2016. godine također treba napomenuti da su provedene prekogranične slobodne rute u Estoniji, Malti, Latviji, Italiji, Sloveniji, Hrvatskoj. Mrežni upravitelj procjenjuje 2.6 milijuna tona smanjenja emisija CO₂ od provedbe FRA od 2014. godine.

CCO/CDO se bazira na usklađivanju, definiciji, matricama i parametrima prilikom operacija penjanja i operacija spuštanja zrakoplova te se definira utjecaj buke, potrošnje goriva, štetne emisije. Unutar pregleda CCO i CDO potrošnje goriva, prosječni iznos trajanja leta na svim europskim letovima je 44 sekunde za polijetanje CCO i 165 sekundi za slijetanje CDO. Postoji relativno velika količina letova unutar područja europske jezgre, što pokazuje vezu između složenosti CCO i CDO i zračnog prostora. Rezultati istraživanja pokazuju da postoji veći potencijal u smanjenju emisija tijekom slijetanja zrakoplova CDO nego prilikom uzlijetanja CCO te sveukupno veće poboljšanje za smanjenje buke nego za smanjenje potrošnje goriva. Mogućnost izvedbe CCO/CDO također se pokazala da je više utjecala kompleksnošću zračnog prostora nego kapacitetom aerodroma. Cjelokupna mogućnost

uštede goriva u Europi je 350 tisuća tona što rezultira smanjenjem emisije CO₂ za 1.1 milijun tona po godini. No treba se uzeti u obzir da 100%-tna mogućnost plovidbe CCO i CDO nije moguća zbog brojnih razloga kao što su neke od njih sigurnost, vrijeme i kapacitet.

Implementacija zajedničkog donošenja odluka u zračnim lukama A-CDM (Airport Collaborative Decision Making) cilja poboljšati sveukupnu efikasnost na aerodromima, pogotovo turn-round vrijeme zrakoplova i postupke prije polijetanja. Povećana predvidljivost može biti od velike koristi za sve glavne aerodromske i mrežne operacije poboljšanjem protoka upravljanja i sektorsko planiranje. To postiže mrežni upravitelj koji prima preciznija ciljana vremena polijetanja zrakoplova s aerodroma. U prosjeku implementacija A-CDM omogućava skraćeno vrijeme taksiranja od jedne do tri minute po polasku zrakoplova. Od 2016. godine 16 aerodroma je primijenilo A-CDM način rada, što je rezultiralo sa 40.9% poleta iz Europe koji su funkcionirali na A-CDM način. Izvješće o procjeni utjecaja za 2016. godinu identificiralo je uštede na 13 od 17 aerodroma koji su koristili A-CDM tehniku, na kojima se primijetila opipljiva razlika u performansi u vremenu taksiranja i smanjenjem emisija CO₂ za 108 tisuća tone.

Daljnje solucije od kojih se očekuju značajne ekološke uštede koje smanjuju potrošnju goriva, smanjeno vrijeme čekanja za slijetanje na aerodromu, smanjene emisije štetnih plinova:

- Upravljanje prilazima produženo na rutni zračni prostor AMAN (Arrival Management extended to enroute Airspace), omogućuje lakše upravljanje prometom ranijim razdvajanjem dolaznog prometa u točki puno prije zračne luke (manje sagorijevanje goriva na nižim razinama, smanjeno zadržavanje i održavanje daje učinkovitiji let na dulje vrijeme),
- Unaprijeđenje završne kontrolirane oblasti koristeći operacije temeljene na radionavigacijskim procedurama-na taj način zrakoplovi mogu pratiti precizne putanje leta kako bi se smanjila udaljenost i izbjegla područja osjetljiva na buku,
- Upravljanje odlascima usklađeno s razdvajanjem prije odlaska- upravljanje prije odlaska pruža optimalan protok prometa na pisti (smanjeno vrijeme čekanja na mjestu zadržavanja na pisti, čime se štedi gorivo i omogućuje učinkovitost usluge zračne navigacije)

- Upravljanje odlascima uključujući ograničenja upravljanja površinama-rješenje povezuje funkcije planiranja i usmjeravanja na površini zbog izrade vrlo točnog slijeda odlaska, uzimajući u obzir taktičke promjene (smanjena potrošnja goriva i razine buke)
- Vremensko razdvajanje u završnom prilazu–trenutna razdvajanja koristeći udaljenost se zamjenjuju vremenskim razdvajanjem kako bi se prilagodili vremenskim uvjetima i održali kapacitet prilaza uzletno sletnoj stazi.
- Automatizirana pomoć kontroloru za planiranje i usmjeravanje kretanja na površini-funkcije planiranja i usmjeravanja omogućuju da kontrolor grafički uređuje rute te se automatski izračunavaju procijenjena vremena taksiranja, što doprinosi boljem predviđanju operacija na površini.⁴⁴
- prema izvješću IPCC, poboljšanjem ATM efikasnosti (kontrola zračnog prometa) može se reducirati potrošnja goriva za 6-12%.

7.3. Ekonomske mjere

Izvještaj međunarodne komisije za klimatske promjene IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) te druge organizacije su zaprimili regulative i ekonomske mogućnosti za smanjenje emisija iz zrakoplova i njihovih učinaka. Ove opcije uključuju politiku pod mandatom, trgovanje emisijama, međunarodne troškove i dobrovoljne sporazume. ICAO-ov odbor za zrakoplovstvo i zaštitu okoliša trenutno proučava mnoge od tih opcija. Međutim, zbog nedostatka dogovora između zemalja i potencijalnih opcija ekonomskog utjecaja na industriju, ovakve vrste mjera će zahtijevati daljnja istraživanja i rasprave prije nego što se provedu.

Međunarodne pristojbe za pružatelje usluga u zračnom prometu, poput naknade za slijetanje bazirana na količinama proizvedenih emisija i drugih čimbenika također može poslužiti kao poticaj za poboljšanje operativne učinkovitosti i upravljanje ovim tipovima zrakoplova s nižim emisijama. Praktičnost implementacije osnivanja takvih naplata je da

⁴⁴https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/eaer-2019_0.pdf?fbclid=IwAR0jW_fux6I9mJrl3Sm_jGPVVVuNyyeQGmOyLA7TmH5J94bK73ABuD6Gawg

zagađivač plati više za rad s većim emisijama zrakoplova nego za upravljanje novim zrakoplovima s nižim emisijama.

Trgovanje emisijama bi zrakoplovnim tvrtkama moglo pružiti fleksibilnost da smanje svoje vlastite emisije ili kupe jednaka smanjenja od drugih ako bi to bilo jeftinije. Trgovanje emisijama stvara ekonomski poticaj za korištenjem inovativnih tehnologija i smanjenja emisija ispod razine od bilo kojeg specifičnog standarda koji to može zahtijevati.⁴⁵

7.4. Primjena alternativnih goriva

Primjena održivih alternativnih goriva u zračnom prometu trenutno je minimalna te će tako najvjerojatnije ostati u bliskoj budućnosti. Održiva zrakoplovna goriva imaju potencijal dati važan doprinos smanjenju trenutnih i očekivanih budućih utjecaja zrakoplovstva na okoliš. Postoji interes za elektrogoriva koji potencijalno predstavlja alternativna goriva s nultom emisijom. Međutim, malo demonstracijskih projekata predstavljeno je radi visokih troškova proizvodnje. Certificirano je šest mogućih puteva za proizvodnju biogoriva za zrakoplovstvo te je još nekoliko njih u postupku odobravanja. EU ima potencijal povećati svoje kapacitete za proizvodnju biogoriva za zrakoplovstvo, ali zrakoplovna potrošnja ostaje minimalna zbog raznih čimbenika, uključujući troškove u odnosu na konvencionalno zrakoplovno gorivo. Nedavni razvoj politika i industrijske inicijative imaju za cilj pozitivan utjecaj na korištenje održivih zrakoplovnih goriva u Europi.⁴⁶

Prvi komercijalni let zrakoplova s održivim zrakoplovnim gorivima SAF (Sustainable Aviation Fuels) se dogodio u 2011. godini. SAF dobiveni iz održivih uljanih usjeva kao što su jatrofina, kamelija, alge ili iz drveta i otpadne biomase mogu smanjiti ukupni otisak ugljika za oko 80% tijekom njegovog životnog ciklusa. Ispitne letove pomoću održivih alternativnih mlaznih goriva izvelo je više od dvadeset zrakoplovnih tvrtki i pokazalo tehničku usklađenost s uobičajenim mlaznim gorivom.⁴⁷

Zrakoplovno gorivo predstavlja trećinu operativnih troškova zrakoplova, tako da industrija ima jasnu ekonomsku inicijativu da nastavi s unaprjeđivanjem efikasnosti.

⁴⁵<https://www.gao.gov/new.items/rc00057.pdf>

⁴⁶https://www.easa.europa.eu/eaer/climate-change?fbclid=IwAR3KTEQheYPMbG4FuIDw8ESf02d5OYVgEk_Cmu_LoPgQ06-CMFX94oaJvQg

⁴⁷<https://www.iata.org/whatwedo/environment/Pages/sustainable-alternative-jet-fuels.aspx>

Međutim, za razliku od cestovnog i željezničkog prometa, civilno zrakoplovstvo nema mogućnost uporabe električnog motora. Najbolji dokazi ukazuju da će zrakoplovstvo biti primorano koristiti tekuća goriva, naročito za civilno zrakoplovstvo još barem 50-ak godina.⁴⁸

Neka od alternativnih goriva su sljedeća:

- Hidro-procesirani esteri i masne kiseline HEFA (Hydro-processed and fatty acids) za njihovu proizvodnju koriste se ulja ili masti, ali se ne mogu koristiti ostaci iz prehrane. Proizvodnja se sastoji od dvije faze, prva faza je hidrogeniranje ulja i masti, a druga faza je rafiniranje. Za njegovu primjenu potreban je veći kapital za koji aviokompanije nisu spremne izdvojiti. U 2014. godini proizvedeno je 3.8 milijuna litara ovoga goriva. Ono služi kao drop-in gorivo, za što nije potreba modifikacija na zrakoplovnim motorima za njegovu uporabu.
- Ukapljeni plin GTL (Gas to Liquid) koristi biomasu koja varira od ostataka biljaka i životinja od kućanskog otpada. Prva faza je pretvaranje biomase u plin pomoću raznih kemijskih procesa. Druga faza je dodavanje metana u plin te proces pretvorbe mase u tekućinu. Treća i konačna faza je pretvaranje u ugljikovodike pomoću FT (Fischer-Tropsch) procesa i nakon toga se dobiva biogorivo. Također prilikom proizvodnje je potreban kapital koji se mora izdvojiti za njegovu izvedbu. Također kao i HEFA je drop-in gorivo koje se miješa sa standardnim zrakoplovnim gorivom te za njegovu uporabu nije potreba modifikacija zrakoplovnih motora. Prvi let s GLP se dogodio u 2009. godini.
- Ukapljena biomasa BtL (Biomass to Liquid) je gorivo koje ima slične karakteristike kao i zrakoplovno gorivo te se također može koristiti kao drop-in gorivo. Proces dobivanja goriva iz biomase je isti kao i kod GTL biomase. Ovaj proces je izvediv i na drvu, ali to predstavlja korištenje goriva prve generacije što je neprihvatljivo za zračni promet, jer se prihvaća samo druga i treća generacija. Također kao i prethodna goriva potreba za rafinerijama je izrazito skupa investicija s više od 100 milijuna eura te je upitna ekonomska isplativost.

⁴⁸<https://www.iata.org/whatwedo/environment/Documents/redll-iata-letter-sustainable-fuels.pdf>

- Alkohol u gorivu Atl (Alcohol to Jet) predstavlja proizvodnju zrakoplovnog goriva iz alkohola. U prvoj fazi izrade goriva potrebno je proizvesti ugljikovodike iz kemijskih procesa te nakon toga u drugoj fazi nakon stabilizacije alkohola i njegove sigurnosti. Također je drop-in vrsta goriva. Dopušteno mu je miješanje sa samo 30% u udjelu zrakoplovnog goriva, ali prilikom toga već znatno smanjuju emisije stakleničkih plinova.⁴⁹⁵⁰
- FT-SPK (Fischer-Troposch Synthetic Paraffinic Kerosene) je gorivo na bazi biomase koja je prerađena u sintetički plin i nakon toga u bio gorivo, također služi kao drop-in gorivo te se može miješati u omjeru 50%-50% s kerozinom.
- FT-SPK/A je varijacija na FT-SPK gorivo, kod kojega alkilacija lakih aromatika stvara ugljikovodičnu mješavinu koja uključuje aromatski spoj. Kao i FT-SPK koristi se u postotku 50%-50%.
- HFS-SIP (Hydroprocessing of Fermented Sugars - Synthetic Iso-Paraffinic kerosene) korištenjem modificiranih kvasaca, šećeri se pretvaraju u ugljikovodike. Maksimalni mogući omjer miješanja je 10%.⁵¹

Tekući vodik je lakši oblik goriva nego kerozin 2.8 puta, ali njegov volumen je do četiri puta veći. Uporabom tekućeg vodika dolazi do smanjenja NO_x tri puta u odnosu na kerozin, ali pritom je emisija vodene pare do tri puta veća. Moguće rješenje za taj problem je regulacija visine leta zrakoplova. Također kao i prethodno navedena goriva potreba za rekonstrukcijom i investicijom u svu potrebnu opremu za ukapljivanje i skladištenje i rekonstrukciju zrakoplova se pokazala iznimno visokom.⁵²

Uporaba alternativnih goriva nailazi na probleme prije same uporabe u ekonomskom obliku. Neki od tih troškova su visoki početni troškovi, operativni troškovi, troškovi vezani uz

⁴⁹Stupar, F.: Analiza primjene alternativnih goriva u zrakoplovnom prometu, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet Prometnih znanosti, 2017

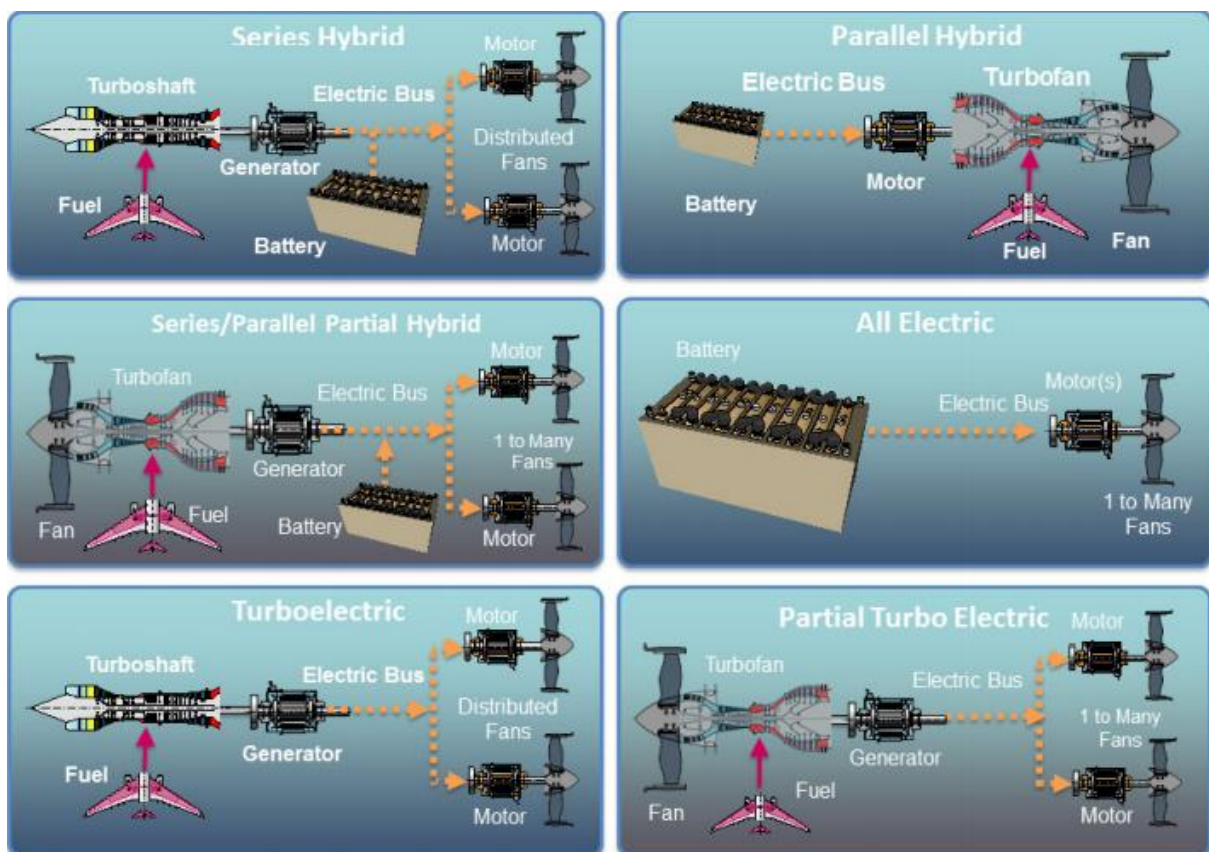
⁵⁰https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/eaer-2019_0.pdf?fbclid=IwAR0jW_fux6I9mJrl3Sm_jGPVVVuNyyeQGmOyLA7TmHSJ94bK73ABuD6Gawg

⁵¹https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/eaer-2019_0.pdf?fbclid=IwAR0jW_fux6I9mJrl3Sm_jGPVVVuNyyeQGmOyLA7TmHSJ94bK73ABuD6Gawg

⁵²Golubić, J.: Prezentacija za nastavu "Alternativna goriva u zračnom prometu", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2019

potrebne sirovine, relativna nezrelost sustava, troškovi koji moraju biti izdvojeni za nova postrojenja te procese potrebne za omogućavanje snažnih lanaca opskrbe. Napredak također usporava već postojeća zrakoplovna flota od koje se očekuje dugotrajnost od 15-25 godina za koju bi se na određenim zrakoplovima trebale raditi razne preinake za uporabu različitih goriva. Također cijene samog alternativnog goriva su veće nego kod uporabe standardnog goriva.

Postoji mogućnost primjene alternativnih goriva koja nemaju drop-in svrhu, već su novi sustav pogodna za zrakoplovne motore, jedan od njih je električna energija. Električni pogon u komercijalnom zrakoplovstvu može smanjiti emisije ugljika, ali samo ako nove tehnologije postignu specifičnu snagu, potrebnu težinu i pouzdanost uporabe za uspješnu komercionalnu flotu. Razmatra se o šest različitih arhitektura električnog pogona, kao što je prikazano na slici 6. jedan od motora je cjelokupno električni, tri su hibridni električni, a dva su turboelektrična motora.



Slika 6. Arhitektura različitih izvedbi električnih motora

Izvor [35]

Podjela arhitektura zrakoplovnih motora je sljedeća:

- Cjelokupno električni
- Hibridi električni
 - Paralelni hibrid
 - Serijski hibrid
 - Paralelno/serijski hibrid
- Turbo električni
 - Potpuno turboelektrični
 - Parcijalno turboelektrični

U svih šest arhitektura, koje su prikazane na slici 6. prilikom izrade oslanjalo se na različite električne tehnologije kao što su baterije, motori, generatori i drugo. Razine smanjenja CO₂ povezane s različitim arhitekturama su funkcija konfiguracije, izvedbe komponenata i misije.

Potpuno električni motor ovisi samo o baterijama za proizvodnju potrebne energije za pogon zrakoplova.

Hibridni sistemi koriste turbinske motore za pogon i punjenje baterija. Prilikom kojega baterije daju dodatnu energiju prilikom jedne ili više faze leta. Tako kod paralelnog hibrida motori su montirani na istu osovinu koja pokreće ventilator tako da jedan ili oba mogu osigurati potisak.

Kod serijskog hibrida samo su električni motori spojeni na ventilatore dok se turbinski motori koriste za pogon električnog generatora čiji izlaz pokreće motore i/ili puni baterije.

Potpune ili djelomične turboelektrične konfiguracije ne oslanjaju se na baterije kao na pogonsku energiju tijekom bilo koje faze leta. Umjesto toga turbinski motori se koriste za pogon električnog generatora koji konvertiraju snagu i napajaju motore istosmjerne struje koji pokreću pojedinačne električne ventilatore.

Potencijal korištenja električnih motora u civilnoj avijaciji ovisi pretežito o mogućnosti spremanja energije potrebne za let. Zrakoplovno gorivo ima iznimno visoku energetska vrijednost 13.000 kW/kg, dok baterije mogu proizvesti samo 800 kW/h za paralelni hibrid ili 1.600 kW/h za cjelokupni električni motor. Najveća mana baterija koje se upotrebljavaju jest

količina moguće pohranjive energije ovisno o prostoru i masi koju zauzimaju. Trenutna mogućnost uporabe je usmjerena na zrakoplove kratkog dometa, a za daljnje razvijanje ove vrste pogona čeka se napredak u razvoju tehnologije kroz idućih 20-ak godine.⁵³

Uz sve napredne vrste energije u uporabi je jedna vrsta energije koja nas oduvijek okružuje, a to je sunčeva energija, odnosno solarna energija. Solarna energija upotrebljava se kod malih zrakoplova većinom jednosjedni ili dvosjedni, radi vrlo male količine energije koja se može pohraniti u baterije i radi male snage koju može generirati pomoću solarnih panela. Povećanjem tereta u zrakoplovu pod koju i ulaze i putnici povećava se ukupna masa zrakoplova, a potreba za potrebnom energijom se znatno povećava. Bez obzira na velike napretke u iskoristivosti solarne energije u zrakoplovstvu još uvijek nije moguća njezina uporaba u komercijalnom zrakoplovstvu već se upotrebljava u rekreativnom i istraživačkom pogledu.⁵⁴

Solar Flight agencija je specijalizirana za dizajn, proizvodnju i testiranje zrakoplova sa specifičnom stručnošću u naprednim i inovativnim materijalima, laganim strukturama i integraciji solarnih energetske sustava u zrakoplove. Jedan od novih projekata na kojemu rade je zrakoplov sa šest sjedala na solarni pogon koji je prikazan na slici 7. Zrakoplov pomoću brojnih solarnih panela prima solarnu energiju koja se pohranjuje u litijskoj bateriji koja pokreće električni motor.⁵⁵

⁵³Commercial Aircraft Propulsion and Energy Systems Research: Reducing Global Carbon Emissions, 2016

⁵⁴<https://www.scienceabc.com/innovation/solar-powered-plane-future-aviation-industry.html>

⁵⁵<https://www.solar-flight.com/solar-6-seat-transporter/>



Slika 7. Prikaz solarno-električnog šes zrakoplova sa šest sjedala

Izvor [36]

Zrakoplovi na solarni pogon se mogu koristiti kao bespilotne letjelice, kao lagalni sateliti koji mogu letjeti danima ako ne i tjednima bez potrebe za slijetanjem. Solar Impulse 2 zrakoplov je prvi zrakoplov koji je preletio ocean na isključivo solarnu energiju te je u 2016. godini napravio krug oko Zemlje u 17 etapa bez potrošnje goriva.⁵⁶

Solar Impuls 2 uz korištenje solarnih panela na krovu i krilima zrakoplova koristi dodatne fotonaponske stanice koje su male solarne ćelije koje su napravljene od silikona te su vrlo tanke koje upijaju sunčevo zračenje. U zrakoplov je ugrađeno preko 17 tisuća solarnih stanica, na njemu se nalaze litij-porninalne baterije koje pokreću četiri električna motora te svaki od njih proizvodi 17.5 konjskih snaga. Baterije obuhvaćaju 25% ukupne mase zrakoplova, ali je zato izgrađen od lakih materijala.⁵⁷

Istraživanje o zrakoplovima na nuklearni pogon je započelo 1950-ih kao ideja u SAD-u i Sovjetskom Savezu. Obje države su imale zrakoplove na kojima su provodili testove, a to su američki B-36 i ruski Tupolov Tu-119. Zrakoplovi su letjeli s nuklearnim reaktorima, ali oni nisu bili spojeni na zrakoplovne motore, samo su testirali zaštite od radijacije i njihovu

⁵⁶<https://www.cnbc.com/2018/08/09/airbus-solar-powered-aircraft-just-flew-for-26-days-straight.html>

⁵⁷<https://www.scienceabc.com/innovation/solar-powered-plane-future-aviation-industry.html>

moću uporabu. Obje primjene su bile u vojnom zrakoplovstvu. Velika mana tadašnjih zrakoplova je bilo skladištenje i potrebna snaga zrakoplova radi velike težine reaktora te količina radijacije za koju je također bila potreba određena količina oplata i tako se opet povećavala masa zrakoplova. Dodatni nedostaci zrakoplova koji primjenjuje nuklearni pogon je opasnost od pada zrakoplova i širenja radijacije čija bi razina onečišćenja bila velikih razmjera za to područje koji bi uništilo sve oblike života. Sam let zrakoplovom bi bio opasan za zdravlje putnika i posade te bi bila potrebna iznimno visoka regulacija koja bi spriječila takve opasnosti, koja bi regulirala uporabu potrebnog izolacijskog materijala i opate zrakoplova i reaktora posebno.⁵⁸

Najveće prednosti zrakoplova koji primjenjuje nuklearni pogon je dužina vremena leta zrakoplova bez potrebe obnavljanja goriva. Prilikom uporabe novog dizajna reaktora koji je izgrađen od lakšeg, ali čvršćeg materijala mase od 1.5 tona do 40 tona koji može proizvesti raspon snage od 40 do 200 mega watt sata te mogućnost kontinuiranog leta bez potrebe izmjene goriva je od 10 do 84 mjeseca. Također, energija se proizvodi bez uporabe kisika, niski je masni utrošak goriva, velika količina proizvedene energije te ne proizvodi štetne plinove.⁵⁹

⁵⁸Stupar, F.: Analiza primjene alternativnih goriva u zrakoplovnom prometu, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet Prometnih znanosti, 2017,

⁵⁹<https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a539595.pdf>

8. Zaključak

Zračni promet je jedini oblik prometa i izravan onečišćivač okoliša u višim slojevima troposfere i u donjem dijelu stratosfere. Njegovi štetni utjecaji imaju dvostruki štetni utjecaj, na zemlji, na zračnim lukama te u zraku gdje do izražaja prvobitno dolazi utjecaj zračnog prometa na klimatske promjene. Zadnjih 20-30 godina pokušavaju se smanjiti štetne emisije te su postignuti znatni rezultati. Premda nisu još uvijek na željenoj razini međunarodne agencije u međusobnoj suradnji, žele smanjiti emisije stakleničkih plinova na minimum. To planiraju postići operativnim mjerama na samoj zračnoj luci prilikom taksiranja zrakoplova, polijetanja i slijetanja zrakoplova povećavanja učinkovitosti cjelokupnog procesa ponovnog polijetanja zrakoplova. Napredak u tehnologijskom smjeru se zamjećuje u uporabi kompozitnih materijala i smanjenjem ukupne mase zrakoplova, poboljšavanjem i unaprjeđenjem rada zrakoplovnih motora, kao i inovativnim izgledima zrakoplova kao double bubble i BWB zrakoplov. Ekonomske mjere koje su u uporabi se odnose na trgovanjem štetnih emisija.

Pažnja se usmjerava prema alternativnim izvorima energije, premda ih većina ne može zamijeniti kerozin. Najbolji izbor zamjenskog goriva predstavljaju drop-in goriva koje smanjuju emisije štetnih plinova, koja se koriste uz kerozin kao dodatak smjesi u određenom postotku ovisno o tipu goriva.

Razina potrebnog ulaganja i investicija na zrakoplovima i zračnim lukama u neke vrste zrakoplovnih goriva čine neisplativima kao što je tekući vodik. Za uporabu ostalih alternativnih izvora goriva u komercijalnom zrakoplovstvu kao što su solarna energija, nuklearna energija i električna energija mora doći do znatnog tehnološkog razvoja u pogledu svake pojedine grane.

Literatura

1. <https://www.eurocontrol.int/forecasting>, (4. Kolovoz, 2019.)
2. <https://www.eurocontrol.int/about-us>, (4. Kolovoz, 2019.)
3. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-03/eurocontrol-7-year-forecast-february-2019-main-report.pdf>, (4. Kolovoz, 2019)
4. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/article/content/documents/official-documents/reports/201306-challenges-of-growth-2013-task-4.pdf>, (6. Kolovoz, 2019)
5. https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/eaer-2019_0.pdf?fbclid=IwAR0jW_fux6I9mJrI3Sm_jGPVVVuNyqeQGmOyLA7TmHSJ94bK73ABuD6Gawg, (9. Kolovoz, 2019)
6. <https://www.fpz.unizg.hr/zan/wp-content/uploads/2013/02/Bazijanac-Domitrovic-Emisije-zrakoplovnih-motora-autorizirana-predavanja-i-dodaci.pdf>, (9. kolovoz, 2019.)
7. <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/operational-measures.aspx>, (10. kolovoz, 2019.)
8. <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/environment-publications.aspx>, (10. kolovoz, 2019.)
9. https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalWorkshops/Documents/2014-Kenya/4-1_LAQ-Technology_notes.pdf, (20. kolovoz, 2019.)
10. <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Opinion%20No%2009-2017.pdf>, (21. kolovoz, 2019.)
11. http://dgca.gov.in/intradgca/intra/icao%20annexes/an16_v2_cons.pdf, (21. kolovoz, 2019.)
12. Golubić, J.: Prezentacija za nastavu "Ekološka tehnologija gradnje zrakoplova", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2019. (22. kolovoz, 2019.)
13. https://www.cleansky.eu/sites/default/files/inline-files/CLEAN_SKY_BROCHURE_SKYLINE-27.pdf, (22. kolovoz, 2019.)
14. <https://www.aerotime.aero/aerotime.team/14241-double-bubble-the-future-of-civil-aircraft>, (22. kolovoz, 2019.)
15. <https://wordlesstech.com/nasas-double-bubble/>, (22. kolovoz, 2019.)
16. <https://ysjournal.com/beyond-the-dreamliner-blended-wing-body-aircraft/>, (22. kolovoz, 2019.)

17. https://www.easa.europa.eu/eaer/climate-change?fbclid=IwAR3KTEQheYPMbG4FuIDw8ESf02d5OYVgEk_Cmu_LoPgQ06-CMFX94oaJvQg, (23. kolovoz, 2019.)
18. https://en.wikipedia.org/wiki/Jet_fuel#Jet_A, (24. kolovoz, 2019.)
19. <https://www.gao.gov/new.items/rc00057.pdf>, (25. Kolovoz, 2019.)
20. <https://www.iata.org/whatwedo/environment/Pages/sustainable-alternative-jet-fuels.aspx>, (26. kolovoz, 2019.)
21. <https://www.iata.org/whatwedo/environment/Documents/redII-iata-letter-sustainable-fuels.pdf>, (27. Kolovoz, 2019.)
22. <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>, (28. kolovoz, 2019.)
23. <https://pdfs.semanticscholar.org/77da/e0b9ecb719b0426483af08e95c6c737f3b38.pdf?fbclid=IwAR3VKKclEGgYZtPgpXmR6TyJ0uncauk9Qnii3Mh3zilc672a5CxKmJnxjCA>, (29. kolovoz, 2019.)
24. https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/jok.2015.36.issue-1/jok-2015-0058/jok-2015-0058.pdf?fbclid=IwAR1_Z-rGnPS9bXEdYtozApPf-wXagYJgu9c-3svpDg6-ysZxNsXmzJb08Vo, (30. kolovoz, 2019.)
25. <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/joc.4303>, (30. kolovoz, 2019.)
26. <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/2478.pdf>, (30. kolovoz, 2019.)
27. <http://siteresources.worldbank.org/INTAIRTRANSPORT/Resources/TP38.pdf>, (31. kolovoz, 2019.)
28. <https://www.iea.org/tcep/transport/aviation/>, (31. kolovoz, 2019.)
29. Stupar, F.: Analiza primjene alternativnih goriva u zrakoplovnom prometu, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet Prometnih znanosti, 2017, (31. kolovoz, 2019.)
30. Golubić, J.: Presentacija za nastavu "Alternativna goriva u zračnom prometu", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2019. (31. kolovoz, 2019.)
31. <https://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx?fbclid=IwAR33etGCrj8MPYwrw8O7gXr6X1sRf8UQyoA93VFWrITWgLMZ0Q2L0I2UXdg>, (1. rujan, 2019.)

32. https://www.theairlinepilots.com/forumarchive/quickref/icao/annex16.2.pdf?fbclid=IwAR0GS0xllHWjt7WPCoCOLryfOOi03myD_A7dy_O-nDS9Vh2GcVkyWe8PhwA, (2. rujan, 2019.)
33. https://www.verifavia.com/bases/ressource_pdf/380/SARPs-Annex-16-Volume-IV.pdf?fbclid=IwAR1bgWf-oMMcAXZXTZzxexpgZlth69g4c_w-QI31da_ZRXPq6Qsv1o0W00, (2. rujan, 2019.)
34. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32017R2392&from=EN&fbclid=IwAR2cNqV08_W1EwUaXLG_gl_HCOAbUalDp4I2SiBbA0L5OtHJ7nOwLD_ow4M, (2. rujan. 2019.)
35. Commercial Aircraft Propulsion and Energy Systems Research: Reducing Global Carbon Emissions, 2016, (2. rujan, 2019.)
36. <https://www.scienceabc.com/innovation/solar-powered-plane-future-aviation-industry.html>, (4. rujan, 2019.)
37. <https://www.solar-flight.com/solar-6-seat-transporter/>, (4. rujan, 2019.)
38. <https://www.cnn.com/2018/08/09/airbus-solar-powered-aircraft-just-flew-for-26-days-straight.html>, (4. rujan, 2019.)
39. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a539595.pdf>, (4. rujan, 2019.)
40. https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/materialFM1/ICAO-2017_Annex16_Volume3_CO2CertificationRequirement.pdf, (5. rujan, 2019.)

Popis tablica

Tablica 1. Srednjoročni sažetak prognoze letova za europu

Tablica 2: Dugoročni sažetak prognoze broja letova za Europu

Tablica 3: Dugoročni sažetak prognoze postotka broja letova za europu

Tablica 4: : Prognoza emisija plinova cijeloga leta prema IMPACT modelu



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 i utjecaj zračnog prometa na klimatske promjene i mjere zaštite**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 6.9.2019

Leon Credechi
(potpis)