

# Metode izračuna emisija zrakoplovnih motora sukladno regulatornim zahtjevima

---

**Briški, Bruno**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*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:119:121660>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-11**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**DIPLOMSKI RAD**

**METODE IZRAČUNA EMISIJA ZRAKOPLOVNIH MOTORA  
SUKLADNO REGULATORNIM ZAHTJEVIMA**

**CALCULATION METHODS OF AIRCRAFT ENGINE  
EMISSIONS IN ACCORDANCE WITH REGULATORY  
REQUIREMENTS**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Anita Domitrović

Student: Bruno Briški

JMBAG: 01355248568

Zagreb, 2022.

Zagreb, 29. kolovoza 2022.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Zrakoplovne emisije**

## **DIPLOMSKI ZADATAK br. 6682**

Pristupnik: **Bruno Briški (0135248568)**  
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Metode izračuna emisija zrakoplovnih motora sukladno regulatornim zahtjevima**

### Opis zadatka:

Ispušni plinovi zrakoplovnih mlaznih motora rezultat su izgaranja fosilnih goriva, a sadrže štetne plinove za okoliš: ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), vodenu paru (H<sub>2</sub>O), dušikove okside (NO<sub>x</sub>), sumporove okside (SO<sub>x</sub>), ugljikov monoksid (CO), čestice čađe i druge štetne spojeve. Obzirom na negativan utjecaj na okoliš, potrebno je odrediti količinu štetnih plinova u atmosferi kao izravno djelovanje leta zrakoplova. U ovom radu potrebno je prikazati metode za izračun emisija zrakoplovnih motora. U uvodnom dijelu rada potrebno je prezentirati zrakoplovnu regulativu nadležnu za sustav trgovanja emisijama stakleničkih plinova. U nastavku je potrebno izračunati emisije na primjeru letova zrakoplovima iz flote odabranog zračnog prijevoznika, za određeni vremenski period. Na kraju je potrebno analizirati dobivene rezultate i dati zaključna razmatranja.

Mentor:



---

izv. prof. dr. sc. Anita Domitrović

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**DIPLOMSKI RAD**

**METODE IZRAČUNA EMISIJA ZRAKOPLOVNIH MOTORA  
SUKLADNO REGULATORNIM ZAHTJEVIMA**

**CALCULATION METHODS OF AIRCRAFT ENGINE  
EMISSIONS IN ACCORDANCE WITH REGULATORY  
REQUIREMENTS**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Anita Domitrović

Student: Bruno Briški

JMBAG: 01355248568

Zagreb, 2022.

## Zahvala

*Ovim putem se zahvaljujem svojoj mentorici, izv. prof. dr. sc. Aniti Domitrović što me svojim predavanjima zaintrigirala zrakoplovnim motorima i emisijama, na prenošenju znanja, korisnim savjetima i pomoći u tom području. Cijenim njezin izuzetan angažman za vrijeme čitavog trajanja studija, kako kroz preddiplomsku, tako i kroz razinu diplomskog studija i izrade ovog rada.*

*Posebnu zahvalu upućujem i gospodinu Dinu Kučiću, specijalistu za održivi razvoj te menadžeru zaštite okoliša i energetske učinkovitosti nacionalnog zračnog prijevoznika Croatia Airlines. Hvala na izuzetnom angažmanu, nesebičnoj pomoći, korisnim savjetima i konzultacijama za cijelo vrijeme trajanja izrade ovog rada.*

*Zahvaljujem se i obitelji i prijateljima na podršci i razumijevanju tijekom čitavog studiranja.*

## Sažetak

Emisije zrakoplovnog motora vrlo su važan čimbenik kod proizvođača zrakoplova i zrakoplovnih motora. Za zračne prijevoznike u Europskoj uniji zbrinjavanje emisija predstavlja značajan trošak pri odvijanju redovitih letačkih operacija. U ovom diplomskom radu obrađen je proces izgaranja mlaznog goriva te je prezentiran sastav ispušnih plinova. Prezentirana je i razrađena regulativa, njen razvoj kroz povijest, aktualne smjernice i smjernice za razvoj regulative kroz budućnost, posebice na teritoriju Europske unije. Objašnjena je i CORSIA, kao prvi sustav smanjenja emisija na međunarodnoj razini. Europskom sustavu trgovanja emisijama stakleničkih plinova pridana je posebna važnost, s obzirom na to da su javno dostupni podaci i izračuni o emisijama odabranog zračnog prijevoznika izračunati u skladu s metodama ETS-a. Nadalje, izračunate su emisije za jedan domaći te za jedan međunarodni let za sve tipove zrakoplova u floti odabranog prijevoznika. Zaključno su rezultati izračuna uspoređeni na razini pretpandemijske 2019. godine s podacima iz 2020. i 2021. godine.

**KLJUČNE RIJEČI:** zrakoplovne emisije; staklenički plinovi; Europski sustav trgovanja emisijama; ugljikov dioksid; CORSIA

## Summary

Aircraft engine emissions are an important factor for both the aircraft and aircraft engine manufacturers. For EU based air carriers, emission trading and emission-related obligations represent a significant financial stake in their flight operations. In this thesis, the process of jet fuel combustion and the products of this process are explained. The regulations are presented and elaborated, both in their historical development and as guidelines for future regulation development, especially on the territory of the European Union. CORSIA, the first international emission reduction scheme is also explained. The European trading system is of vital importance for this thesis, as all the publicly available data and calculations of the emissions of the selected airline were made in accordance with its methods. Calculation of emissions has been made for one domestic and one international flight for all aircraft types in the chosen carrier's fleet. The calculation results were obtained comparing prepandemic 2019 data with data from 2020 and 2021.

**KEY WORDS:** aviation emissions; greenhouse gasses; European Union Emissions Trading System; carbon dioxide; CORSIA

# Sadržaj

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | Uvod.....  | 1  |
| 2.    | Zrakoplovne emisije stakleničkih plinova i njihov utjecaj na okoliš.....                 | 3  |
| 2.1   | Zrakoplovno gorivo.....  | 3  |
| 2.2   | Izgaranje goriva i nastajanje ispušnih plinova.....                                      | 5  |
| 2.2.1 | Ugljikov dioksid (CO <sub>2</sub> ).....   | 7  |
| 2.2.2 | Vodena para (H <sub>2</sub> O).....  | 8  |
| 2.2.3 | Dušikovi oksidi (NO <sub>x</sub> ).....  | 9  |
| 2.2.4 | Sumporov dioksid (SO <sub>2</sub> ).....   | 10 |
| 2.2.5 | Ugljikov monoksid (CO).....  | 11 |
| 2.2.6 | Ugljikovodici (HC).....  | 11 |
| 2.2.7 | Dim i čađa.....  | 12 |
| 3.    | Razvoj regulative vezane uz emisije od strane međunarodnih i zrakoplovnih organizacija.. | 13 |
| 3.1   | ICAO Aneks 16.....   | 13 |
| 3.1.1 | ICAO Aneks 16, Svezak II.....  | 13 |
| 3.1.2 | Odbor za zaštitu okoliša od zrakoplovnih djelovanja.....                                 | 15 |
| 3.2   | ICAO Aneks 16, Svezak III.....   | 15 |
| 3.3   | Direktiva 2003/87/EZ.....  | 16 |
| 3.4   | Hrvatska regulativa.....   | 17 |
| 3.4.1 | Zakon o zračnom prometu.....   | 17 |
| 3.4.2 | Zakon o klimatskim promjenama i zaštiti ozonskog sloja.....                              | 17 |
| 3.5   | Program učinkovitog trošenja goriva.....   | 18 |
| 4.    | Aktualna regulativa za praćenje i trgovanje emisijama te smjernice za budućnost.....     | 22 |
| 4.1   | Razvoj međunarodnih sporazuma o klimatskim politikama.....                               | 22 |
| 4.1.1 | Program Ujedinjenih naroda za okoliš.....  | 23 |
| 4.1.2 | Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime.....                              | 23 |
| 4.1.3 | Kyotski protokol.....  | 24 |
| 4.1.4 | Pariški sporazum.....  | 27 |
| 4.1.5 | Međuvladin panel o klimatskim promjenama.....  | 28 |
| 4.2   | Europski sustav trgovanja emisijama stakleničkih plinova.....                            | 29 |
| 4.2.1 | Prva faza (2005. – 2007.).....   | 31 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.2.2 | Druga faza (2008. – 2012.).....  | 32 |
| 4.2.3 | Treća faza (2013. – 2020.).....  | 32 |
| 4.2.4 | Četvrta faza (2021. – 2030.).....  | 33 |
| 4.2.5 | Zrakoplovstvo i ETS .....  | 34 |
| 4.2.6 | Geografski opseg ETS-a.....  | 35 |
| 4.2.7 | Kvota emisijskih jedinica .....  | 36 |
| 4.2.8 | Dodjela emisijskih jedinica zrakoplovnom sektoru.....                                  | 37 |
| 4.2.9 | Obveza sudjelovanja u ETS-u .....  | 39 |
| 4.3   | CORSIA .....   | 40 |
| 4.3.1 | Razvoj i implementacija CORSIA-e.....  | 41 |
| 4.3.2 | MRV sustav CORSIA-e .....  | 42 |
| 4.3.3 | Kompenzacija emisija .....   | 43 |
| 4.3.4 | Zadovoljavanje usklađenosti s CORSIA-om .....  | 44 |
| 4.4   | Usporedba ETS-a i CORSIA-e.....  | 45 |
| 4.5   | Smjernice za smanjenje emisija kroz budućnost .....                                    | 46 |
| 4.5.1 | Paket „Spremni za 55“ .....  | 47 |
| 4.5.2 | Mjere paketa „Spremni za 55“.....  | 47 |
| 4.5.3 | Mjere paketa „Spremni za 55“ za zrakoplovni sektor .....                               | 48 |
| 5.    | Metodologija proračuna emisija sukladno regulatornim zahtjevima.....                   | 49 |
| 5.1   | O sustavu praćenja, izvješćivanja i verifikacije.....                                  | 49 |
| 5.1.1 | Godišnji ciklus praćenja i izvješćivanja emisija .....                                 | 50 |
| 5.1.2 | Verifikacija izvješća o emisijama .....  | 51 |
| 5.1.3 | Plan praćenja emisija .....  | 52 |
| 5.2   | Trgovanje emisijama – Registar Unije.....  | 53 |
| 5.3   | Metodologija izračuna ostvarenih tonskih kilometara i emisija ugljikova dioksida ..... | 55 |
| 5.3.1 | Metodologija izračuna ostvarenih tonskih kilometara .....                              | 55 |
| 5.3.2 | Metodologija izračuna emisija ugljikova dioksida .....                                 | 56 |
| 5.4   | Niski emiteri .....  | 58 |
| 6.    | Izračun i analiza dobivenih rezultata emisija .....                                    | 60 |
| 6.1   | Specifikacije odabranih zrakoplova .....   | 60 |
| 6.1.1 | Dash 8 – Q400 .....  | 60 |
| 6.1.2 | Airbus A319/A320.....  | 61 |



|       |   |    |
|-------|---|----|
| 6.2   | Izračun emisija ugljikova dioksida .....  | 61 |
| 6.2.1 | Podaci o emisijama CO <sub>2</sub> i prometni pokazatelji odabranog prijevoznika..... | 62 |
| 6.2.2 | Metodologija izračuna količina emisija po RPK.....                                    | 64 |
| 6.3   | Izračun emisija CO <sub>2</sub> za let Zagreb – Split .....                           | 64 |
| 6.3.1 | Analiza emisija CO <sub>2</sub> za 2019. godinu .....                                 | 65 |
| 6.3.2 | Analiza emisija CO <sub>2</sub> za 2020. godinu .....                                 | 66 |
| 6.3.3 | Analiza emisija CO <sub>2</sub> za 2021. godinu .....                                 | 67 |
| 6.4   | Izračun emisija CO <sub>2</sub> za let Zagreb – Frankfurt.....                        | 69 |
| 6.4.1 | Analiza emisija CO <sub>2</sub> za 2019. godinu .....                                 | 69 |
| 6.4.2 | Analiza emisija CO <sub>2</sub> za 2020. godinu .....                                 | 70 |
| 6.4.3 | Analiza emisija CO <sub>2</sub> za 2021. godinu .....                                 | 72 |
| 7.    | Zaključak .....   | 73 |
|       | Literatura .....  | 75 |
|       | Popis slika.....  | 83 |
|       | Popis grafova .....   | 84 |
|       | Popis tablica.....  | 85 |

# 1. Uvod

Opće je poznato da se komercijalni zračni promet posljednjih pedesetak godina eksponencijalno razvija. Razvojem zrakoplovstva, a paralelno i globalnim zatopljenjem, tematika emisija zrakoplova zauzima sve više prostora, kako u znanstvenoj produkciji, tako i u široj publicistici, te u ostalim javnim raspravama. Globalnim zagrijavanjem atmosfera se pretvara u svojevrsni veliki staklenik, zbog čega i je taj efekt dobio naziv efekt staklenika. Efekt staklenika onemogućuje Zemlji održavanje ravnoteže između absorbirane i reflektirane sunčeve energije. U slučaju refleksije energije nazad u svemir, molekule štetnih plinova onemogućuju potpunu refleksiju čime se dio te energije zadržava u zemljinoj atmosferi i podiže temperaturu unutar atmosfere. Staklenički plin s preko 80 postotnom zastupljenošću je CO<sub>2</sub> (ugljikov dioksid). Zagrijavanje atmosfere uzrokuje brojne klimatske nedaće, kojima se sve više svjedoči: od velikih suša do poplava, pa čak razvoja i širenja novih bolesti. Uz sve nabrojane nedaće, dolazi i do nepovratnog razaranja flore i faune u pojedinim regijama, odnosno narušavanja brojnih eko-sustava.

Utjecaj zrakoplovstva na okoliš može se analizirati s nekoliko različitih aspekata, a to su: ispušni plinovi zrakoplovnog motora, zrakoplovna buka, zbrinjavanje zrakoplovnog otpada te onečišćenje zemlje i vode u okolici zračnih luka. Ispušni plinovi zrakoplovnog motora rezultat su izgaranja fosilnih goriva koja su u uporabi. Zrakoplovni mlazni motor proizvodi: ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), vodenu paru (H<sub>2</sub>O), dušikove okside (NO<sub>x</sub>), sumporove okside (SO<sub>x</sub>), ugljikov monoksid (CO), čestice čađe i druge štetne spojeve. Važno je napomenuti da su emisije zrakoplovnog motora specifične utoliko što se njihov najveći udjel emitira na velikim visinama. Zanimljivo je za dodati da se u zrakoplovne emisije, osim samih ispušnih plinova zrakoplovnih motora, ubrajaju i drugi izvori emisija kao što su, primjerice, zemaljska vozila za prihvat i otpremu zrakoplova, zemaljski agregati kao izvor napajanja zrakoplova i slično. Prema podacima Europske Unije iz 2017 godine, 3.8% ukupnih emisija CO<sub>2</sub> dolazi direktno iz zrakoplovne industrije (na globalnoj razini oko 2%), dok udjel emisija zrakoplovne industrije iznosi 13.9% ukupnih emisija stakleničkih plinova svih prometnih sustava u Europskoj Uniji, što zrakoplovni sektor svrstava na drugo mjesto po količini emisija (prvi je cestovni promet). Kada bi se globalne emisije zrakoplovstva promatrale kao emisije zasebne države, u tom bi slučaju, zrakoplovstvo bilo među prvih deset najvećih zagađivača na svijetu. Prema prognozama ICAO-a, do 2050. godine bi se količina zrakoplovnih emisija mogla utrostručiti u odnosu na 2015. godinu. Osim emisijama ugljikova dioksida, zrakoplovna industrija utječe na klimatske promjene i emisijama drugih produkata izgaranja poput: vodene pare, dušičnih i sumporovih oksida i čađe, zajedno čine skupinu ostalih „ne-CO<sub>2</sub>“ plinova, za koje se ispostavilo da su jednako štetni za okoliš kao i ugljikov dioksid.

Europska Unija teži postići klimatsku neutralnost te smanjiti emisije prometa općenito za 90% u odnosu na 1990. godinu, u čijem je smanjenju i zrakoplovna industrija dužna sudjelovati. S ciljem smanjenja utjecaja zrakoplovnih emisija na okoliš, u uporabi su metode koje uključuju sve dionike

zračnog prometa: proizvođače zrakoplova i zrakoplovnih motora, zračne prijevoznike te pružatelje usluga u zračnoj plovidbi.

Važan čimbenik u današnjem praćenju emisija ugljikova dioksida je europski sustav trgovanja emisijama (engl. *European Union Emission Trading System*, EU-ETS) u kojem se zračne prijevoznike usmjerava na smanjenje emisija stakleničkih plinova, te CORSIA koja se projicira na globalnu razinu (engl. *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*, CORSIA).

Ovim diplomskim radom obrađene su metodame izračuna emisija zrakoplovnih motora sukladno regulatornim zahtjevima važećim na teritoriju Republike Hrvatske i Europske unije. Rad je podijeljen u slijedećih sedam poglavlja:

1. Uvod
2. Zrakoplovne emisije stakleničkih plinova te njihov utjecaj na okoliš
3. Razvoj regulative vezane uz emisije od strane međunarodnih i zrakoplovnih organizacija
4. Aktualna regulativa za praćenje i trgovanje emisijama te smjernice za budućnost
5. Metodologija proračuna emisija sukladno regulatornim zahtjevima
6. Izračun i analiza dobivenih rezultata emisija
7. Zaključak

Nakon uvoda, u drugom je poglavlju objašnjeno mlazno gorivo koje je u uporabi i proces izgaranja mlaznog motora. Pojašnjene su i podijeljene zrakoplovne emisije stakleničkih plinova i način njihova utjecaja na klimu i čovječanstvo. Pojašnjeno je i poslovanje zračnih prijevoznika te nastojanja umanjavanja utjecaja ispuha štetnih plinova mlaznih motora na okoliš s ciljem smanjenja operativnih troškova. Nadalje, u trećem poglavlju pojašnjen je razvoj regulative za praćenje emisija kroz povijest, kako od strane europskih, tako i međunarodnih zrakoplovnih i zakonodavnih organizacija te organizacija za zaštitu okoliša. Kroz četvrto poglavlje, objašnjena je aktualna regulativa koja se koristi za praćenje emisija, ali i naznake budućeg razvoja regulative. U petom poglavlju pojašnjene su metode proračuna emisija sukladno važećoj regulativi, a pojašnjeni su i svi dionici te njihove uloge u tom sustavu. Potom je u šestom poglavlju izvršen izračun emisija stakleničkih plinova prema metodologiji europskog sustava za trgovanje emisijama u skladu s javno objavljenim podacima o emisijama, pri čemu je dana i analiza dobivenih rezultata. U zaključku rada prokomentirani su ključni djelovi ovog rada te naznačen razvoj industrije s ciljem smanjenja štetnih emisija i potencijalno smanjenje primjene fosilnih goriva u komercijalnom zrakoplovstvu.

## 2. Zrakoplovne emisije stakleničkih plinova i njihov utjecaj na okoliš

Kako bi se zornije prikazao broj putnika koji za potrebe prijevoza koriste zračni promet, aproksimira se da je 1960. godine oko 100 milijuna putnika koristilo zračni promet, koji je tada bio relativno skup i, shodno tome, dostupan svega malom udjelu čovječanstva. Podaci Međunarodne organizacije civilnog zrakoplovstva (engl. *International Civil Aviation Organization*, ICAO) iz 2019. godine pokazuju da je te godine gotovo 4.5 milijardi putnika letjelo zrakoplovom [1]. Ova hipermobilnost putnika današnjice čini vrlo važnu ulogu, jer se sigurnim i brzim prijevozom ljudi povećava i osigurava ekonomska stabilnost participirajućih gospodarstava. Unatoč relativno malom udjelu u teretnom prijevozu, zrakoplovi prevoze čak 40% vrijednosti globalne trgovine. Prema podacima ICAO-a, trenutno u svijetu posluju 1478 zračna prijevoznika koji djelatnost prijevoza obavljaju s flotom od preko 33 tisuće zrakoplova, povezujući 3780 zračnih luka i služeći se zračnim prostorima kojima upravlja 162 pružatelja usluga kontrole zračne plovidbe [2].

Upravo taj ogroman prijevoznički sustav čini letenje zrakoplovom najbrže rastućim proizvođačem štetnih emisija pojedinca. Kao što je spomenuto u uvodu, glavnina emisija zrakoplovnog motora vrlo je slična emisijama automobilskog motora. Oko 70% su emisije ugljikova dioksida (CO<sub>2</sub>), oko 29% je vodena para (H<sub>2</sub>O), a nešto manje od 1% čine ostale štetne komponente.

Emisije zrakoplovnog motora ovise o nekoliko čimbenika među kojima su najvažniji vrsta i broj operacija zrakoplova, a ostali su: vrsta zrakoplovnog motora, duljina leta, postavke potiska ili snage motora, vrijeme provedeno u pojedinoj fazi leta. Za određivanje količine emisija zrakoplova operacije se dijele prema režimu rada zrakoplovnog motora na: fazu ciklusa polijetanja i slijetanja (engl. *Landing and Take-off cycle*), LTO) i na fazu krstarenja zrakoplova na zadanoj visini u kojoj se pojavljuje najveći dio emisija zrakoplova, gotovo 90%.

### 2.1 Zrakoplovno gorivo

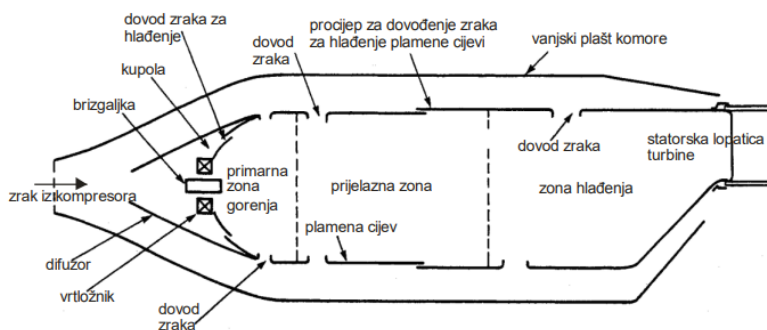
Prvi zrakoplovni motori bili su vrlo slični motorima koji se koriste u automobilima, riječ je o klipnim motorima s četverotaktnim Otto ciklusom. S potrebom povećanja dostupne snage zrakoplovnog motora došlo je do razvoja zrakoplovnog benzina, odnosno *Avgas-a* prilagođenog potrebama tih modernijih zrakoplovnih klipnih motora. Uslijed razvoja *Avgas-a*, s razvojem prvih motora s turbinom, u doba drugog svjetskog rata razvijen je kerozin. Nakon Drugog svjetskog rata, s ubrzanim razvojem komercijalnog zrakoplovstva 1950-ih godina, kerozin je zamijenjen posebnim mlaznim turbinskim gorivima tipa, Jet A1 i Jet A, Jet B te TS-1. Ova goriva koriste se za pogon turbomlaznih i turboelisnih zrakoplova današnjice. Gorivo tipa Jet B u uporabi je najvećim dijelom u Kanadi i na Aljasci s obzirom na bolja svojstva na nižim temperaturama. Gorivo tipa Jet A u uporabi je u Sjedinjenim Američkim Državama, dok je u ostalim dijelovima

svijeta u uporabi mlazno gorivo tipa Jet A1. Razlika između goriva Jet A i A1 je u točki smrzavanja koja za Jet A iznosi  $-40^{\circ}\text{C}$ , a za Jet A1  $-47^{\circ}\text{C}$  čime je Jet A1, s obzirom na nižu točku smrzavanja, prikladnije gorivo za duge međunarodne letove, posebice iznad polarnih područja [3]. U mlazno gorivo Jet A1 dodani su aditivi za poboljšanje stabilnosti i vodljivosti goriva, aditivi protiv smrzavanja te deaktivatori metala i poboljšivači mazivosti [4]. Gorivo TS-1 je glavni tip mlaznog goriva koje je dostupno u Rusiji i ZND-u (Zajednici neovisnih država). Ovaj tip kerozina ima nešto veću hlapljivost i nižu točku smrzavanja u odnosu na Jet A1, ispod  $-50^{\circ}\text{C}$  [5].

Svojstva izgaranja i energetska učinkovitost ključna su svojstva koja se promatraju prilikom analiziranja performansi goriva. Nadalje, važna svojstva koja je također potrebno promotriti su: stabilnost, mazivost, električna vodljivost, čistoća i drugo. S obzirom na to da je zrakoplovno mlazno gorivo složena mješavina sastavljena pretežno od ugljikovodika, a njegova struktura varira ovisno o izvoru sirove nafte i procesima korištenim u stvaranju goriva, nemoguće je definirati točan sastav goriva. Većina ugljikovodika u mlaznom turbinskom gorivu su parafin, cikloalkani (nafteni) i aromatski ugljikovodici.

Prema definiciji, primarni razredi mlaznog goriva zadovoljavaju specifikacije britanskog *DEF STAN 91-091* i međunarodnog standarda *ASTM D1655* [6]. Minimalna točka zapaljenja Jet A1 goriva iznosi  $38^{\circ}\text{C}$ , dok mu je temperatura samozapaljenja  $210^{\circ}\text{C}$ . Točka zapaljenja definira se kao najniža temperatura na kojoj će se pare iznad zapaljive tekućine zapaliti uslijed iskrenja i ona ovisi o specifičnim uvjetima pri kojima je ispitana [3].

Izgaranje goriva u mlaznim motorima odvija se u komori izgaranja prilikom čega se smjesa goriva i zraka pali svjećicom prilikom pokretanja motora, a uslijed paljenja gorivo se dalje kontinuirano ubrizgava u plamen koji je u komori. Konvencionalna komora izgaranja prikazana je na Slici 1.



Slika 1. Konvencionalna komora izgaranja, [7]

Kod mlaznih motora prilikom procesa izgaranja u plamenu nastaju čestice ugljika, odnosno čađa koja može prekomjerno zagrijati zidove komore izgaranja i dovesti do oštećenja komore. Čestice čađe u zrakoplovnom motoru mogu uzrokovati i oštećenja na turbini koja dovode do erozije. Neizgorene čestice su uzrok pojave dima u nekim mlaznim motorima, što se sprječava boljim miješanjem smjese goriva i zraka kako bi se postiglo temeljitije izgaranje, zbog čega većina suvremenih motora gotovo da uopće ne emitira dim.

## 2.2 Izgaranje goriva i nastajanje ispušnih plinova

Izgaranje smjese goriva i zraka u komori izgaranja mlaznog motora podrazumijeva niz koraka i procesa u nizu kemijskih reakcija. Kao što je već objašnjeno, mlazno zrakoplovno gorivo smjesa je ugljikovodika, tj. osnovni gorivni elementi goriva su ugljik i vodik. Kako bi došlo do oksidacije, kisik se uzima iz okolnog zraka, a kemijske reakcije procesa izgaranja možemo prikazati sljedećim kemijskim jednadžbama (1) i (2) [7].



Primjenom navedenih kemijskih jednadžbi, ukoliko je poznat odnos ugljika i vodika u gorivu, moguće je izračunati potrebnu količinu goriva kako bi se dobilo potpuno izgaranje oba spoja i vodika i ugljika. S obzirom da je maseni udio kisika u atmosferi 0.23, moguće je izračunati koliko je zraka potrebno dovesti u svrhu izgaranja jednog kilograma goriva.

Kako bi došlo do izgaranja jednog kilograma mlaznog goriva potrebno je osigurati 15 kilograma zraka, što znači da ukoliko na količinu goriva od jednog kilograma dopremimo 15 kilograma zraka ta smjesa će biti stehiometrijska. Sastav smjese opisuje se faktorom bogatstva smjese i on je definiran formulom (3).

$$\lambda = \frac{A/F}{A_0} \quad (3)$$

$\lambda$  – faktor bogatstva smjese

$A/F$  – stvarna količina zraka dovedena na 1 kg goriva

$A_0$  – stehiometrijska količina zraka potrebna za izgaranje 1 kg goriva

Ukoliko se smjesa sastoji od 1 kilograma goriva, a zraka manje od 15 kilograma, traženi  $\lambda$  manji od 1 te se takva smjesa naziva bogatom smjesom. U slučaju da se smjesa sastoji od preko 15 kilograma zraka, takvu smjesu naziva se siromašnom smjesom, odnosno  $\lambda$  je veći od 1. Kada je smjesa stehiometrijska,  $\lambda = 1$ .

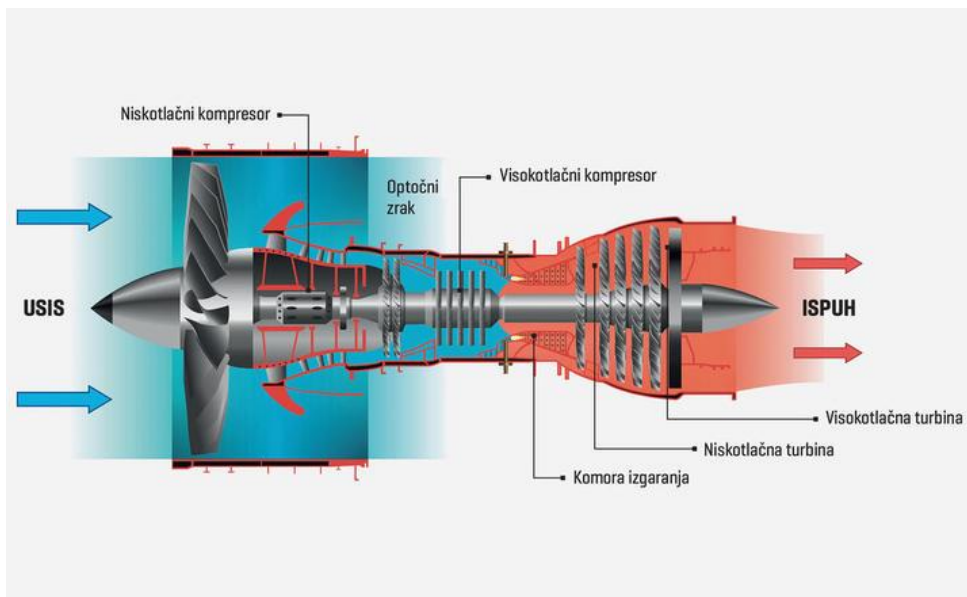
Sastav smjese opisuje se masenim odnosom goriva i zraka (engl. *fuel to air ratio*) ili katkad odnosom zraka i goriva (engl. *air to fuel ratio*).

U masenom odnosu goriva i zraka, stehiometrijska smjesa iznosi, prema izrazima (4) i (5) [7].

$$F/A(s) = \frac{1}{15} = 0,067 \quad (4)$$

$$A/F(s) = \frac{15}{1} = 15 \quad (5)$$

Kako bi se opisalo nastajanje emisija zrakoplova objasniti će se princip rada zrakoplovnog optočnog mlaznog motora (engl. *turbofan*), koji je danas u širokoj primjeni te se pokazao izuzetno pouzdanim. Osnovni princip rada optočnog mlaznog motora, kao i svakog drugog mlaznog motora, je stvaranje potisne sile koja nastaje kao reakcija uslijed velike brzine ispuštanja mlaza plinova nastalih izgaranjem. Shematski prikaz presjeka optočnog motora prikazan je na Slici 2. u nastavku.



Slika 2. Shematski prikaz zrakoplovnog optočnog mlaznog motora, [8]

Ukupni zrak motora dovodi se do uvodnika, odnosno dijela motora koji usmjerava struju zraka u željenom smjeru kroz zrakoplovni motor, uvodnik je oblika difuzora uslijed čega dolazi do smanjenja brzine te povećanja temperature zraka, ali i povećanja tlaka zraka. Zrak se potom dovodi do ventilatora, a nakon prolaska kroz ventilator, smjesa zraka dijeli se na dva dijela: hladni, odnosno optočni zrak (engl. *bypass air*), te topli zrak koji prolazi kroz proces izgaranja u zrakoplovnom motoru. Omjer tople i hladne struje zraka definira se stupnjem optočnosti (engl. *Bypass Ratio*, BPR) koji prema izrazu (6) iznosi.

$$BPR = \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_h} \quad (6)$$

$BPR$  – stupanj optočnosti

$\dot{m}_c$  – hladna struja zraka

$\dot{m}_h$  – topla struja zraka

Zrak se potom dovodi do kompresora. Uobičajeno se koriste niskotlačni i visokotlačni kompresori, koji su pogonjeni istoimenim turbinama, a njihova svrha je povećanje tlaka uslijed čega dolazi i do povećanja temperature. Nakon što je postignuto željeno povišenje tlaka dovedenog zraka, on

se dovodi do komore izgaranja. U komori izgaranja se dovedeni zrak miješa s gorivom te uključivanjem svjećica dolazi do zapaljenja smjese i izgaranja. Produkti izgaranja potom pokreću turbine koje pokreću kompresore. Produkti izgaranja, tj ispušni plinovi zatim prolaze kroz mlaznik gdje joj se povećava brzina te se miješa s hladnim optočnim, odnosno *bypass* zrakom i stvara se potisna sila zrakoplova koja je rezultat promjene količine gibanja radne tvari kroz motor, odnosno razlika brzina ulaza i izlaza iz motora [9]. Potisak je određen izrazom (7):

$$F_T = \dot{m}_0 \cdot (v_5 - v_0) \quad (7)$$

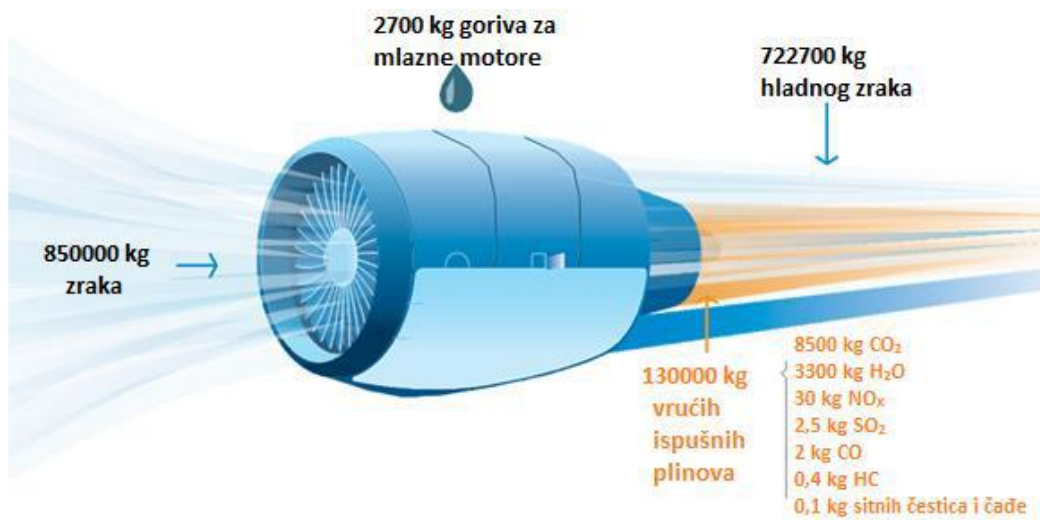
$F_T$  – neto potisak mlaznog motora

$\dot{m}_0$  – maseni protok zraka

$v_5$  – brzina ispušnih plinova

$v_0$  – brzina struje zraka na ulazu

Na Slici 3. vidljiv je motor s visokim stupnjem optočnosti, na 850 000 kg usisanog zraka, troši se 2700 kg mlaznog goriva. Kao rezultat izgaranja nastaje 722 700 kg hladnog zraka i 130 000 kg vrućih ispušnih plinova. Od ispušnih plinova koji su nastali izgaranjem, najznačajniji su CO<sub>2</sub> – 8500 kg te H<sub>2</sub>O – 3300 kg. Svi su plinovi detaljno razrađeni u potpoglavljima u nastavku.



Slika 3. Produkti izgaranja zrakoplovnog mlaznog motora, [10]

### 2.2.1 Ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>)

Ugljikov dioksid je plin bez okusa i mirisa, gušći je od zraka, u normalnim atmosferskim uvjetima nije zapaljiv, u slučaju povećanja koncentracije ugljikova dioksida, osjeti se oštar i pomalo kiselkast miris. Kemijski je spoj koji se pod standardnim tlakom nalazi u zemljinoj atmosferi vodeći je staklenički plin koji nastaje kao posljedica ljudskih aktivnosti. Trenutna koncentracija



ugljikova dioksida u zraku iznosi oko 0.04 %, odnosno 412 ppm (engl. *parts per million*, ppm), dok je u predindustrijskom razdoblju, ona iznosila oko 280 ppm. Važno je napomenuti kako se koncentracija ugljikova dioksida mijenja tijekom godine, povećava se tijekom zime i jeseni s obzirom da većina vegetacije miruje i nije aktivna, dok se dolaskom proljeća i ljeta njegova koncentracija smanjuje povećanjem vegetacije. Prirodni izvori ugljikova dioksida su gejziri, šumski požari, vulkani i otapanje i trošenje karbonatnih stijena. Ugljikov dioksid nema tekuće agregatno stanje nego se iz plinovitog stanja direktno pretvara u suhi led i obratno. Povećavanje količina ugljikova dioksida u atmosferi otežava refleksiju dugovalnog toplinskog zračenja čime se ono pretjerano zadržava i povisuje globalnu temperaturu efektom staklenika, no dio emitiranog ugljikova dioksida apsorbiraju šume i oceani [11].

Ugljikov dioksid nastaje kao rezultat sagorijevanja fosilnih goriva, a za čak 25% emisija ugljikova dioksida odgovoran je promet. Uz porast količina izgaranja fosilnih goriva, dodatan uzrok povećanju ugljikova dioksida u atmosferi ima i sječa šuma. Udio zrakoplovstva u globalnim emisijama CO<sub>2</sub> je oko 2%, dok je na razini Europske Unije nešto veći, oko 3.8%. Kroz posljednjih dvadesetak godina, udio emisija CO<sub>2</sub> u Hrvatskoj se povećava, pa je primjerice na najprometnijim prometnim raskrižjima koncentracija bila gotovo 3.5% viša od svjetskog standarda [12]. Udio zrakoplovstva u emisijama ugljikova dioksida je oko 14%, te jedna osoba koja leti na relaciji između Londona i New Yorka i nazad emitira jednake razine emisija kao što bi bile emitirane za godinu dana grijanja doma. Emitirane emisije direktan su rezultat potrošnje goriva zrakoplova, a one ovise o masi zrakoplova, tipu i performansama motora te aerodinamičkim karakteristikama zrakoplova.

Koncentracije ugljikova dioksida preko 0.5% smatraju se nezdravim, a preko 5% opasnim po život. Čovjekovo izlaganje koncentracijama ugljikova dioksida od preko 2% uzrokuje vrlo štetne učinke po zdravlje [12]. Podaci pokazuju kako izlaganje ugljikovu dioksidu u koncentracijama između 3.3% do 5.4% u trajanju od 15 minuta uzrokuje otežano disanje, glavobolje i dezorijentaciju. Izlaganje koncentracijama između 6.5% do 7.5% u trajanju od 20 minuta uzrokuje smanjenje mentalne sposobnosti, a općenito izlaganje koncentracijama CO<sub>2</sub> preko 10% uzrokuje grčenje mišića, smanjenje sluha, mučninu, znojenje i gubitak svijesti.

### 2.2.2 Vodena para (H<sub>2</sub>O)

Vodena para je također produkt izgaranja zrakoplovnog goriva u motoru. Ona čini tridesetak posto ispuha mlaznog motora čime je drugi po važnosti staklenički plin zrakoplovstva. Vodena para nastala kao produkt zrakoplovstva uvelike ja manja nego li je količina vodene pare kao rezultat isparavanja vode sa zemljine površine.

Vodena para nastala kao produkt izgaranja mlaznog motora ima kratak životni vijek trajanja u ciklusu atmosfere te se kroz period od nekoliko tjedana uklanja iz troposfere u obliku oborina. S

obzirom da se vodena para emitira na vrlo velikim visinama, u atmosferi se može duže zadržati i pojačati efekt staklenika. Vodena para smrzava se odmah po napuštanju mlaznog motora te stvara kristaliće leda koji uzrokuju kondenzacijske tragove u atmosferi. Kada je temperatura u atmosferi dovoljno niska, a vlažnost zraka dovoljno velika, kristali leda ekspandiraju prikupljajući vodenu paru iz atmosfere te se u obliku kondenzacijskih tragova mogu širiti vertikalno i horizontalno stvarajući umjetne ciruse koji imaju životni vijek od svega nekoliko sati (*cirrus aviaticus*).

Kondenzacijski tragovi su 1992. godine prekrivali oko 0.1% površine Zemlje, dok se do 2050. godine očekuje porast na razinu od oko 0.5%.

Unatoč kratkom vijeku trajanja, upravo ti umjetno stvoreni cirusi u sebi zadržavaju infracrveno zračenje čime se efekt zagrijavanja uvećava za gotovo tri puta u odnosu na sam ugljikov dioksid. [13], [14].

### 2.2.3 Dušikovi oksidi ( $\text{NO}_x$ )

Dušikov oksid skupni je naziv za niz spojeva koji se sastoje od dušika i kisika. Oni nastaju zbog oksidiranja atmosferskog dušika pri velikim temperaturama uslijed procesa izgaranja mlaznog motora zrakoplova. Spojevi dušikova oksida imaju izuzetno velik utjecaj na efekt staklenika i globalno zagrijavanje te se u atmosferi zadržavaju izuzetno dugo vremena.

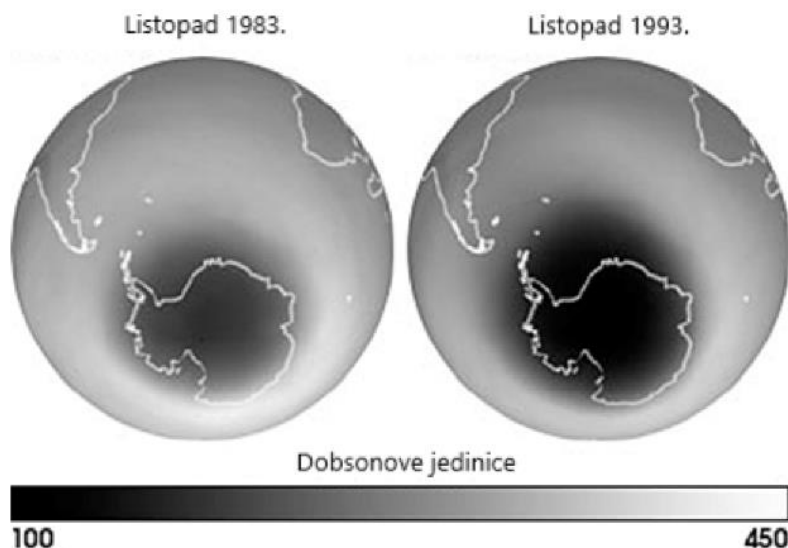
Kao produkti izgaranja u ispušnim plinovima mlaznog motora nastaju  $\text{NO}$  i  $\text{NO}_2$  i to kao: termički, promptni i gorivni  $\text{NO}_x$  te oksidacija dušika. Termički  $\text{NO}_x$  nastaje kao produkt oksidacije atmosferskog dušika iz zraka prilikom velikih temperatura izgaranja (preko 1850 Kelvina). Termički  $\text{NO}_x$  se može kontrolirati regulacijom temperature izgaranja. Promptni  $\text{NO}_x$  nastaje kao produkt reakcije dušika te radikala ugljikovodika u samom plamenu, najčešće u predplamenu. Gorivni  $\text{NO}_x$  nastaje kao produkt reakcije dušika iz goriva prilikom procesa izgaranja (sama koncentracija dušika u mlaznim gorivima je od 0.1% do 0.5%). Kao produkt izgaranja nastaje i  $\text{N}_2\text{O}$  koji se stvara u plinskim turbinama zrakoplova.

Razvojem tehnologije mlaznih motora i smanjenjem potrošnje goriva motora razvijaju se novi materijali koji su omogućili uporabu povećanja tlaka i temperature u komori izgaranja što je za posljedicu imalo do povećanje količina dušikovih oksida u emitiranim produktima izgaranja, na što je ICAO reagirao postupnim uvođenjem ograničenja za njegove emisije [15].

Ozon ( $\text{O}_3$ ), jedan od najjačih oksidansa, kao alotrop kisika nastaje oksidacijom s dušikovim oksidom i dioksidom, ali i oksidacijom s drugim spojevima. Smješten je u stratosferi na visinama od 10 do 40 kilometara iznad površine Zemlje, te djeluje kao štit koji od štetnog sunčevog UV (engl. *Ultraviolet*, UV) zračenja. Oslabljivanjem ozonskog omotača, povećava se sklonost brojnim zdravstvenim problemima te bi bez ozona život na Zemlji bio nemoguć. Unatoč dobrobitima ozona

u stratosferi, na nižim visinama, ispod stratosfere, ozon predstavlja vrlo štetan i nepoželjan plin koji može biti krajnje opasan, čak i smrtonosan.

Ubrzanim razvojem prometa i industrije količine ozona se zadnjih desetljeća uvelike povećavaju [16]. Na Slici 4. prikazana je povećana prisutnost ozona u nižim slojevima atmosfere (visine do 10 kilometara) u Dobsonovim jedinicama – mjerna jedinica za površinsku gustoću atmosferskog ozona (1 DU iznosi debljinu sloja ozona od oko 0.01 mm pri standardnim uvjetima).



Slika 4. Povećanje količine ozona u nižim slojevima atmosfere u periodu od 10 godina, [16]

Procjenjuje se da su emisije ozona podzvučnih zrakoplova 1992. godine uvećale koncentracije ozona na letnim razinama za oko 6% u odnosu na iste razine leta kada nije bilo zrakoplova na tim razinama. Do 2050. godine očekuje se porast na oko 13%. Povećanja koncentracije ozona na nižim visinama unutar niže troposfere uzrokuju zagrijavanje zemljine površine, ali zrakoplovne emisije emitirani ozon najčešće zadržavaju na višim razinama troposfere (oko tropopauze). Utjecaj zrakoplovstva na više razine troposfere tek će biti istražen u narednim godinama [17].

#### 2.2.4 Sumporov dioksid (SO<sub>2</sub>)

Sumporov dioksid, otrovan bezbojan plin neugodnog mirisa, nastaje kao produkt izgaranja fosilnog mlaznog goriva, ali i kao produkt vulkanskih erupcija – topljenjem sumpornih ruda. Sumporov dioksid vrlo se lako otapa u vodi čime nastaje sulfatna kiselina. Uz dim i maglu glavni je uzročnik nastajanja smoga te je ujedno i vrlo korozivnog djelovanja na metalne konstrukcije i materijale.

Poznato je da sumporov dioksid u vulkanskom pepelu hladi atmosferu, onemogućuje prolaz sunčevih zraka, te apsorbira toplinu čime smanjuje temperaturu. Do slične reakcije dolazi i uslijed emitiranja  $\text{SO}_2$  zajedno s vodenom parom prilikom izgaranja mlaznog goriva, te je dio već objašnjenih kondenzacijskih tragova na nebu. Trenutno nisu regulirane količine sumpora u mlaznom gorivu. Europska agencija za sigurnost zračnog prometa provela je studije razvoja mlaznog goriva s vrlo niskim razinama sumporovog dioksida. Istovremeno, uporaba tog goriva dovela bi do porasta cijena goriva za oko 2% uz istodobno povećanje emisija  $\text{CO}_2$  čime bi se povećavao nepoželjni efekt staklenika. Trenutan godišnji porast emisija sumporovog dioksida je oko 5% u stratosferi što uvelike doprinosi štetnoj razgradnji ozona [18].

### 2.2.5 Ugljikov monoksid (CO)

Ugljikov monoksid je plin bez boje i mirisa koji nastaje kao produkt nedovoljnog izgaranja fosilnih goriva. S obzirom da se izgaranje goriva u mlaznim motorima odvija kod relativno siromašne smjese, do pojave ugljikova monoksida dolazi uslijed nepotpunog izgaranja goriva. Uzrok tome može biti prebogata smjesa, nedovoljno dobro miješanje mlaznog goriva i zraka ili hlađenje produkata izgaranja [9].

Koncentracije ugljikova monoksida u prosjeku iznose između 0.02 i 2.5 ppm, u ruralnim sredinama one su nešto niže, dok su u urbanim sredinama više.

Ugljikov monoksid je izuzetno opasan plin s obzirom da osoba nije svjesna trovanja sve do same pojave simptoma. Mehanizam djelovanja njegove toksičnosti je vrlo velik stupanj vezivanja na hemoglobin koji ima funkciju prijenosa kisika u krvi. Prilikom vezivanja s hemoglobinom onemogućava prijenos kisika i uzrokuje hipoksiju [19].

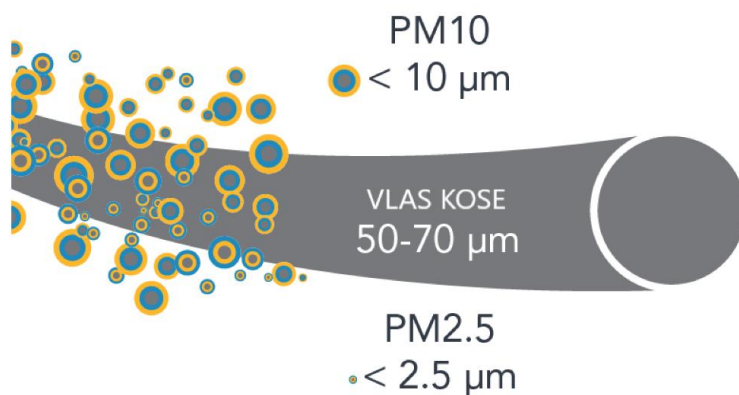
### 2.2.6 Ugljikovodici (HC)

Ugljikovodicima, kao produktom izgaranja, nazivaju se plinovi koji izlaze iz komore izgaranja u obliku gorivnih para ili sitnih kapljica goriva proizvedenih termičkom degradacijom goriva. Stvaranje ugljikovodika se uobičajeno povezuje s brzinom izgaranja, efektom hlađenja zraka koji hladi stijenu komore ili kombinacijom oba efekta [9]. Od ugljikovodika kao produkata izgaranja goriva valja spomenuti i staklenički plin metan ( $\text{CH}_4$ ) koji se može emitirati iz plinskih turbina u stanju mirovanja te korištenjem starijih motora. Uporabom modernijih motora utvrđen je vrlo malen, gotovo pa i zanemariv udio metana u emisijama zrakoplovnog motora [20].

## 2.2.7 Dim i čađa

Čestice dima i čađe su ustvari neizgoreni ugljikovodici nastali zbog nepotpunog izgaranja, čija će koncentracija ovisiti o količini dima koji izlazi iz motora. Do nastajanja dima i čađe u gorivu dolazi uslijed izdvajanja čvrstog ugljika u procesu izgaranja oko kapljica goriva pri uvjetima velikog nedostatka kisika. Nastajanje sitnih čestica dimnosti i čađe ne može se predvidjeti proračunima te se stoga u obzir uzimaju utjecaj tlaka, kvaliteta goriva i raspršivanja kako bi se količina dima i čađe svela na minimum. [9].

Moderni mlazni motori prilikom izgaranja uvelike imaju smanjen vidljiv dim i manje čvrstih čestica od starih motora. Utjecaj na pojavu dima ima i vrsta goriva koja se koristi. U korelaciji s česticama čađe nalaze se različita svojstva mlaznog goriva poput: udjela vodika, omjera vodika i ugljika, točka dimljenja i drugo. Valja napomenuti kako su u istraživanjima, prilikom analize dobivenih podataka, rezultati odstupali u različitim testovima te stoga precizni podaci utjecaja goriva na pojavu dimnosti nisu dostupni. Veću ulogu na pojavu dimnosti i čađe pokazalo se da imaju dizajn motora te uvjeti u kojima se koristi motor, posebice vlažnost zraka. Čvrste čestice poput dima i čađe imaju utjecaj na pojavu smoga te predstavljaju rizik ukoliko ih se udiše [3]. Čvrste čestice koje nastaju kao produkt izgaranja fosilnog goriva definirane su njihovim promjerom s ciljem regulacije i nadzora kvalitete zraka. Čestice promjera od 10 ili manje mikrona (PM10) mogu se udahnuti i izazvati štetne zdravstvene učinke kako u dišnom, tako i u krvožilnom sustavu. Granična vrijednost čestica PM10, iznad koje se smatra da je zrak lošije kvalitete iznosi  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Na Slici 5. prikazan je promjer PM10 čestica u usporedbi s vlasi kose i česticama PM2.5.



Slika 5. Usporedba PM čestica s vlasi kose, [21]

### 3. Razvoj regulative vezane uz emisije od strane međunarodnih i zrakoplovnih organizacija

S obzirom na porast putničkog prijevoza i razvoja zrakoplovstva sredinom prošlog stoljeća, te posljedično porasti emisija zrakoplovnog motora, donešen je čitav niz propisa kojima se emisije reguliraju. Ključan dokument za emisije zrakoplovnih motora na globalnoj razini je ICAO Aneks 16. Uz ICAO Aneks 16, postoje i drugi propisi kojima se definiraju zahtjevi vezani uz emisije zrakoplovnog motora, što će biti objašnjeno kroz ovo poglavlje.

#### 3.1 ICAO Aneks 16

Kako bi se doskočilo problemu štetnih emisija zrakoplovnih motora i njihovoj regulaciji, još su krajem 60-ih godina prošlog stoljeća započele rasprave o tome u zrakoplovnoj zajednici. Godine 1970. donesen je „Zakon o čistom zraku“ (engl. *Clean Air Act*) koji služi kao temelj kojim se kontroliraju emisije zrakoplovnih motora. Osnovana su i tijela za provedbu regulative. Zatim, 1972. godine održava se UN-ova konferencija na temu zaštite okoliša, a ICAO temeljem odluka te konferencije osmišljava akcijski program za okoliš (engl. *ICAO Action Programme Regarding the Environment*). Kao rezultat programa nastao je ICAO circular koji je objavljen 1977. godine pod nazivom (engl. *Control of the Aircraft Engine Emissions*), u kojem se propisuju procedure za praćenje izgaranja mlaznih motora letjelica koje lete podzvučnim brzinama. Iste je godine osnovan i Odbor za emisije zrakoplovnih motora, (engl. *Committee on Aircraft Engine Emissions, CAEE*), s glavnom zadaćom razvoja standarda za ograničavanje produkata izgaranja mlaznih motora. Godine 1981. objavljen je konačni dokument, ICAO Aneks 16 [10].

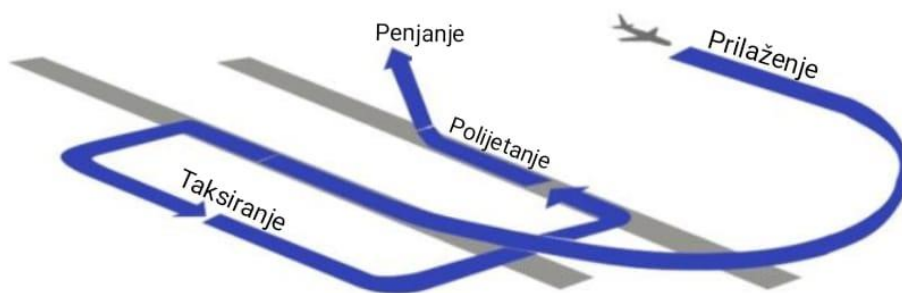
ICAO Aneks 16 (Svezak I, II, III i IV) izdan je na šest svjetskih jezika – engleskom, francuskom, arapskom, kineskom, ruskom i španjolskom. Prva dva sveska Aneksa 16 bave se zaštitom okoliša od utjecaja buke zrakoplova (Svezak I) te emisije zrakoplovnog motora (Svezak II), što su dvije teme o kojima gotovo da se i nije razmišljalo u doba potpisivanja konvencije u Chicagu 1944. godine. Ovaj važan sporazum postavio je temelje za sve standarde i postupke daljnje regulacije zračne plovidbe diljem svijeta.

##### 3.1.1 ICAO Aneks 16, Svezak II

Svezak II sadrži standarde koji zabranjuju namjerno ispuštanje sirovih fosilnih goriva u atmosferu iz mlaznih motora proizvedenih nakon 18.02.1982. godine. Također, Svezak II sadrži opis mjernih postupaka, instrumenta i statističkih metoda koje valja koristiti u procjeni rezultata ispitivanja.

Svezak II koncipiran je u obliku tri temeljna poglavlja, od kojih prvo pojašnjava definicije i simbole, drugo tematizira neizgoreno emitirano gorivo, te treće definira certifikaciju emisija. Uz tri temeljna poglavlja Svezak II sadrži i šest Dodataka, (engl. *Appendix*) koji definiraju procedure i metode mjerenja, procese usklađenosti zajedno s opremom – analizatorima te opisanim metodama kalibracije.

Zrakoplovi moraju ispunjavati zahtjeve certifikacije motora koje je usvojilo Vijeće ICAO-a. Zahtjevi certifikacije motora, izvorno su dizajnirani kako bi se odgovorilo na zabrinutost u vezi s kvalitetom zraka u blizini zračnih luka u pogledu ograničenja emisija ugljikova monoksida (CO), neizgorenih ugljikovodika (HC), dušikovih oksida (NO<sub>x</sub>), a od 2017. godine i emisije ugljikova dioksida (CO<sub>2</sub>). Za referencu emisija, koristi se ciklus polijetanja i slijetanja zrakoplova (engl. *Landing and Take-off Cycle*, LTO) koji je prikazan na Slici 6. LTO ciklus sastoji se od sljedećih faza: taksiranje, polijetanje, penjanje, prilaženje sa slijetanjem te taksiranje [22].



Slika 6. LTO ciklus, [23]

Referentne emisije LTO ciklusa koriste se za izračun i izvještavanje emisija ispušnih plinova motora po vremenu provedenom i postavci potiska u svakoj fazi leta prema Tablici 1.

Tablica 1. Postavke potiska motora u vremenskom periodu korištenom za izračun emisija ispušnih plinova, [22]

| LTO faza           | Postavka potiska | Vrijeme u minutama |
|--------------------|------------------|--------------------|
| <b>Polijetanje</b> | 100%             | 0.7                |
| <b>Penjanje</b>    | 85%              | 2.2                |
| <b>Prilaženje</b>  | 30%              | 4.0                |
| <b>Taksiranje</b>  | 7%               | 26.0               |

### 3.1.2 Odbor za zaštitu okoliša od zrakoplovnih djelovanja

Aktivnosti ICAO-a u pogledu zaštite okoliša odvijaju se putem tehničkog Odbora za zaštitu okoliša od zrakoplovnih djelovanja (engl. *Committee on Aviation Environmental Protection*, CAEP) osnovan je 1983. godine ujedinjenjem Odbora za buku i Odbora za emisije zrakoplovnih motora. CAEP pomaže Vijeću u formuliranju novih politika te usvajaju novih standarda i praksi u vezi s emisijama zrakoplova [10]. Na zahtjev Vijeća, CAEP poduzima posebne studije, a u opsegu djelatnosti su i područja lokalne kvalitete zraka (engl. *Local Air Quality*, LAQ)

Do sada je CAEP održao 11 službenih sastanaka, 1986. (CAEP/1), 1991. (CAEP/2), 1995. (CAEP/3), 1998. (CAEP/4), 2001. (CAEP/5), 2004. (CAEP/6), 2007. (CAEP/7), 2010. (CAEP/8), 2013. (CAEP/9), 2016. (CAEP/10) te 2019. (CAEP/11). Rezultat svakog sastanka je i izvještaj s posebnim preporukama koje se predlažu Vijeću ICAO-a [10], [24].

CAEP/11 (2019. godina) strukturiran je kroz četiri radne skupine te sedam grupa potpore. Prva radna skupina, WG1, bavi se tehničkim i operativnim metodama smanjenja buke zrakoplova, osigurava proces certifikacije kako bi on bio što jednostavniji te povoljniji za prijevoznika. Druga radna skupina, WG2, bavi se bukom i emisijama vezanim uz područje aerodroma. Treća radna skupina, WG3, bavi se tehničkim pitanjima performansi zrakoplova i emisija, uključujući i redovno ažuriranje Aneksa 16, Sveska II, ali i razvojem novih CO<sub>2</sub> standarda uključujući i Svezak III Aneksa. Radna skupina WG4 bavi se isključivo CORSIA-om, te ažuriranjem Sveska IV, što će biti detaljno razrađeno kroz iduću tezu ovog rada [24].

## 3.2 ICAO Aneks 16, Svezak III

Svezak III, Aneks 16, koji je u uporabi od 2017. godine, bavi se isključivo emisijama ugljikova dioksida. Nastao je kao dio mjera za smanjenje stakleničkih plinova ICAO-vog Akcijskog programa za međunarodno zrakoplovstvo i klimatske promjene u listopadu 2009. U skladu s Akcijskim programom, na sastanku CAEP/8 u veljači 2010. dogovoren je smjer razvoja međunarodnih standarda i preporuka (engl. *Standards and Recommended Practices*, SARP) za zrakoplovne emisije ugljikova dioksida što su bili počeci razvoja Sveska III.

Svezak je podijeljen na dva temeljna poglavlja, od kojih prvo pojašnjava definicije i simbole, a drugo standarde certifikacije zrakoplovnih emisija ugljikova dioksida temeljem potrošnje goriva. Svezak III sadrži i dva dodatka u kojima su pojašnjene karakteristike goriva, uvjeti leta na kojem se provode testiranja, procedure mjerenja referentnog geometričkog faktora, specifičnog zračnog doleta, metode izračuna emisija ugljikova dioksida te prijavljivanje podataka nadležnoj zrakoplovnoj vlasti.



Zrakoplovi kao emiteri ugljikova dioksida u ovom su svesku podijeljeni na zrakoplove prema vrsti pogonskog sustava i najvećoj dopuštenoj masi polijetanja (engl. *Maximum Take-off Mass*, MTOM):

1. podzvučni mlazni zrakoplovi mase veće od 5700 kg
2. propellerski zrakoplovi mase veće od 8618 kg

Procjena emisija CO<sub>2</sub> definira se u smislu prosjeka (engl. *average*) vrijednosti  $1/SAR$  za tri referentne vrijednosti mase zrakoplova navedene u nastavku zajedno s Dodatkom 2. Procjena emisija (kg/km) računa se po formuli (8) u nastavku:

$$\text{procjena emisija CO}_2 = \frac{(1/SAR)_{AVG}}{(RGF)^{0.24}} \quad (8)$$

Gdje je:  $SAR$  – *Specific air range*  $\left(\frac{km}{kg}\right)$

$RGF$  – *Reference geometric factor*

SAR (engl. *Specific Air Range*, SAR) je udaljenost koju je zrakoplov prešao po jedinici potrošenog goriva, dok je RGF (engl. *Reference Geometric Factor*, RGD) referentni geometrički faktor.

Tri referentne vrijednosti mase zrakoplova u kilogramima su:

- a) visoka ukupna masa – 92% najveće dopuštene mase polijetanja
- b) srednja ukupna masa – aritmetička vrijednost visoke i niske ukupne mase
- c) niska ukupna masa –  $(0.45 \times MTOM) + (0.63 \times (MTOM^{0.924}))$

Certifikacija za ugljikov dioksid pri najvećoj dopuštenoj masi polijetanja predstavlja certifikaciju i za mase koje su manje od najveće dopuštene. Međutim, prijevoznici mogu zatražiti i certifikaciju za mase polijetanja koje su manje od najveće dopuštene [25].

S obzirom da je kroz Svezak IV Aneksa 16 definirana aktualna tržišna regulativa i metoda praćenja emisija, cijela CORSIA detaljno je razrađena u četvrtoj cjelini rada.

### 3.3 Direktiva 2003/87/EZ

Ova Direktiva donesena 13. listopada 2003. godine temelj je uspostave sustava trgovanja emisijama stakleničkih plinova Europske unije 2005. godine i temelj je svih daljnjih, kako europskih, tako i hrvatskih regulativa u pogledu emisija stakleničkih plinova i njihovom nadzoru. Ovom Direktivom se jača veza između sustava trgovanja emisijskim jedinicama i zahtjevima Protokola iz Kyota. Direktivom se propisuje da od 2005. godine, sva postrojenja koja emitiraju stakleničke plinove u energetske sektoru, proizvodnji i preradi željeza i čelika, industriji mineralnih sirovina, celuloze, papira i kartona, moraju posjedovati dozvolu za emitiranje od strane

nadležne vlasti. Na svakoj je državi izrada nacionalnog plana kojim će biti definirane količine emisija dodijeljene svakom postrojenju. Revizijom regulative sustavu trgovanja dodaju se i letovi koji polijeću ili slijeću na zračne luke u području Europske unije. Operatori koji ne izvijeste količinu emisijskih jedinica emitiranih tijekom prethodne godine, moraju platiti penalizaciju u iznosu od 100 EUR po toni emitiranog ugljikova dioksida te kupiti emisijske jedinice za višak emisija. Direktiva iz 2003. izmijenjena je Direktivom 2004/101/EZ, Direktivom 2008/101/EZ, Uredbom 219/2009, Direktivom 2009/29, Odlukom 1359/2013/EU, Uredbom Komisije 389/2013, Uredbom 421/2014 i Uredbom 2017/2392. Direktiva 2018/410 usvojena je u ožujku 2018. godine kako bi se poboljšala troškovna učinkovitost smanjenja emisija i investicije s niskim udjelom ugljika [26].

### 3.4 Hrvatska regulativa

U sklopu hrvatske zrakoplovne regulative emisije zrakoplovnih motora regulirane su Zakonom o zračnom prometu te Zakonom o klimatskim promjenama i zaštiti ozonskog sloja.

#### 3.4.1 Zakon o zračnom prometu

Zakonom o zračnom prometu Hrvatskoj agenciji za civilno zrakoplovstvo dana je nadležnost za sva pitanja u svezi sa zračnim prometom. Kroz deseti dio „Zaštita okoliša“ definira se zaštita od buke, te kroz članak 123. i ispušni plinovi [27]:

#### Članak 123.

„Buka zrakoplova i ispušni plinovi koje zrakoplov proizvodi prilikom uzlijetanja i slijetanja moraju biti ispod propisanih maksimalnih razina buke i ispušnih plinova utvrđenih propisom donesenim na temelju ovog Zakona ili EU propisima“

#### 3.4.2 Zakon o klimatskim promjenama i zaštiti ozonskog sloja

Budući da se Zakonom o zračnom prometu zrakoplovna regulativa i propisi vezani uz emisije zrakoplovnog motora prenose na ministarstvo nadležno za poslove zaštite okoliša, danas su ovi poslovi u domeni Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske. Donesen je Zakon o klimatskim promjenama i zaštiti ozonskog sloja obavezan za sve zračne prijevoznike koji obavljaju letove zrakoplovima čija je maksimalna dopuštena masa polijetanja iznad 5700 kg, te

godišnju emisiju stakleničkih plinova veću od 10 000 tona, a izuzeće su letovi sa svrhom gašenja požara, humanitarni letovi i letovi hitne medicinske pomoći.

Zakon propisuje pridržavanje odredbi svim prijevoznicima koji posluju na teritoriju Republike Hrvatske, a koji podliježu europskim propisima reguliranja, praćenja i trgovanja emisijama. Zakon definira emisije stakleničkih plinova u pogledu ugljikova dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>) i didušikovog oksida (N<sub>2</sub>O). Propisane su i emisijske jedinice ugljikova dioksida pri čemu jedna emisijska jedinica predstavlja pravo jednu tonu emitiranog plina.

Zakon je propisao i trgovanje emisijskim jedinicama kao metodu ublažavanja klimatskih promjena na razini Europske unije i to uz primjenu linearnog faktora smanjenja od 2.2%. Uz to, prijevoznici su obvezni pratiti i izvještavati o emitiranim emisijama stakleničkih plinova na razini Europske unije i njezinih propisa.

Svim prijevoznicima je zakonom osigurano pravo na podnošenje zahtjeva za besplatnu dodjelu emisijskih jedinica pod uvjetom da se isto zatraži barem 21 mjesec prije početka traženog razdoblja, a količina dodijeljenih emisijskih jedinica ne može biti veća od milijun dodijeljenih jedinica. Besplatna dodjela emisijskih jedinica propisana je zasebnim pravilnikom pod nazivom „3. Pravilnik o načinu besplatne dodjele emisijskih jedinica postrojenjima i o praćenju, izvješćivanju i verifikaciji izvješća o emisijama stakleničkih plinova iz postrojenja i zrakoplova“.

U slučaju da se zračni prijevoznik ne pridržava Zakona, nadležno tijelo državne uprave ima pravo donijeti odluku o zabrani odvijanja letova tom zračnom prijevozniku [28]. Kompletan postupak trgovanja u skladu s EU-ETS-om razrađen je i objašnjen u cjelini tezi rada pod naslovom „Aktualna nadležna regulativa za praćenje emisija stakleničkih plinova i smjernice za razvoj u narednom razdoblju“.

### 3.5 Program učinkovitog trošenja goriva

Međunarodno udruženje zračnih prijevoznika (engl. *International Air Transport Association*, IATA) globalno je udruženje koje predstavlja više od 300 zračnih prijevoznika odnosno pokriva više od 90% obavljenih letova u domaćem i međunarodnom zračnom prometu [29].

IATA-in program učinkovitog trošenja goriva, (engl. *Fuel Efficiency Program*) za razliku od prethodno navedene regulative, propisa i zakona, kao takav nije obavezan, nego je donesen na razini preporuke zračnim prijevoznicima. Program učinkovitog trošenja goriva usmjerava prijevoznike na metode čijom bi se provedbom smanjila potrošnja goriva, čime se posljedično smanjuju i emisije CO<sub>2</sub>.

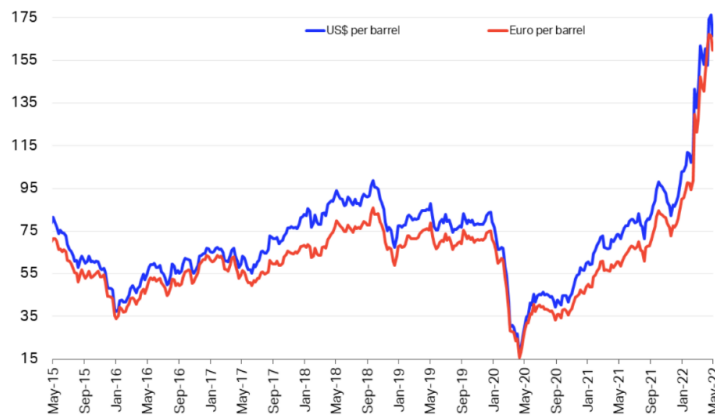
Program je pokrenut 2004. godine kao odgovor na porast cijene goriva koja čini više od 30% operativnih troškova prijevoznika. U samo prve dvije godine (od 2004. do 2006.) od donošenja ovog programa, program učinkovitog trošenja goriva rezultirao je uštedom u ukupnom iznosu od

1.5 milijardi USD kroz 200 djelovanja na unapređenju infrastrukture u ukupnom iznosu od oko 500 milijuna USD, kroz kampanju "ušteta jedne minute" oko 300 milijuna USD, te oko 700 milijuna USD povećanjem operativne efikasnosti [30].

Pet osnovnih elemenata programa učinkovitog trošenja goriva su [30]:

1. rutna poboljšanja – ostvaruju se kroz identifikaciju mogućih poboljšanja ruta zrakoplova kroz kooperaciju s prijevoznicima, pružateljima usluga kontrole zračnog prometa te državama i njihovim zrakoplovnim vlastima, primjerice Jedinstveno europsko nebo (engl. *Single European Sky*, SES);
2. zračne luke – analizom kretanja zrakoplova u područjima zračnih luka radi se na identifikaciji i poboljšanju prometne infrastrukture (primjerice PBN prilazi);
3. ušteta jedne minute – ovaj program služi za podizanje svijesti kod pružatelja usluga kontrole zračnog prometa. S obzirom na prosječno trajanje leta u komercijalnom prometu od 97 minuta, smanjenje trajanje dužine leta od samo jedne minute dovodi do ušteta od oko 4 milijarde USD na godišnjoj razini od 40 milijuna obavljenih operacija zrakoplova;
4. IATA-ina knjiga goriva – razvijena od strane stručnjaka IATA-e u cilju uštete goriva, pruža prijevoznicima najbolje prakse i smjernice za učinkovito trošenje goriva;
5. "GO" skupine – sastoje se od IATA-inih stručnjaka iz područja letačkih operacija, održavanja i otpreme letova. Analiza procedura zračnih prijevoznika te predlaganje inicijativa kao što su uporaba pomoćne pogonske jedinice (engl. *Auxiliary Power Unit*, APU), aditiva u gorivu, procedura kontinuiranog prilazanja (engl. *Continuous Descent Approach*, CDA), optimalne uporabe zakrilaca, edukacije posada o savjesnom trošenju goriva i slično.

U sklopu učinkovitog trošenja goriva razmatra se i potencijalni razvoj i uporaba alternativnih goriva iako je mlazno gorivo i dalje najefikasniji izbor. Vodikova goriva u uporabu bi mogla ući tek kroz duži vremenski period. Do sada je program identificirao i smanjio više od 15 milijuna tona emisija ugljikova dioksida što je ekvivalent od 3.8 milijarde američkih dolara. Posljednjih je godina program učinkovitog trošenja goriva podržalo više od 200 zračnih prijevoznika diljem svijeta. Primjenom programa učinkovitog trošenja goriva prijevoznik štedi između 1% i 15% na razini godišnjeg troška goriva. Na Grafu 1. u nastavku prikazane su varijacije u cijenama mlaznog goriva od svibnja 2015. do svibnja 2022. (USD i EUR po barelu goriva).



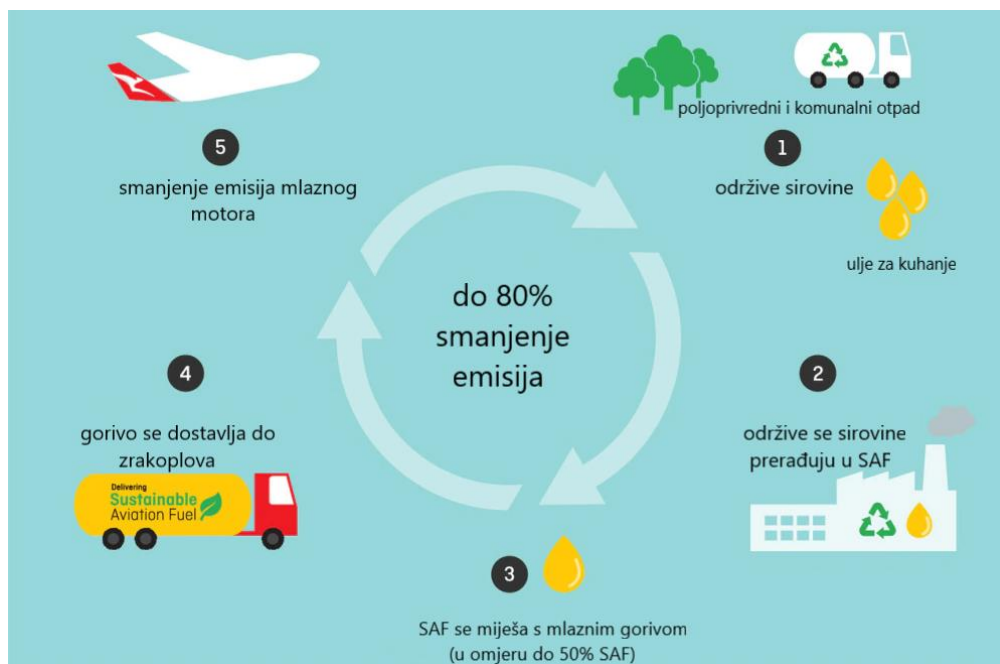
Graf 1. Varijacije u cijenama mlaznog goriva u periodu od 2015. do 2022., [31]

IATA je uvela nekoliko ciljeva s ciljem smanjenja emisija ugljikova dioksida u zračnom prometu [32]:

- a) poboljšanje učinkovitosti goriva za 1.5% u periodu od 2009. do 2020. godine;
- b) ograničenje neto emisija ugljikova dioksida iz zrakoplovstva od 2020. do 2050. čime bi se do 2050. godine vratilo emisije ugljikova dioksida na razinu iz 2005. godine.

Metode poboljšanja učinkovitosti trošenja goriva su u područjima: planiranje i otprema letova, zemaljske operacije, letačke operacije, održavanje zrakoplova te poboljšanje učinkovitosti tijekom leta zrakoplova. Kao alternativne metode predlaže se uporaba biogoriva, nano premaza na zrakoplovima, te alternativne metode taksiranja po voznim stazama uporabom jednog motora ili električnih vozila za vuču zrakoplova [10].

U sklopu učinkovitog trošenja goriva uključuje se i potencijalni razvoj i uporaba alternativnih goriva iako mlazno gorivo ostaje i dalje najčinkovitijim izborom. Uporaba vodikovih goriva bit će moguća tek za neki duži vremenski period. Trenutno se u uporabu uvode održiva zrakoplova goriva (engl. *Sustainable Aviation Fuel*, SAF) koja su rezultirala smanjenjem emisija ugljikovog dioksida u usporedbi s tradicionalnim mlaznim gorivima. U proizvodnji i preradi održivih zrakoplovnih goriva koriste se sirovine poput ulja za kuhanje te druge masti životinjskog i biljnog podrijetla, otpad (poput pakiranja, papiri, tekstili, ostaci hrane), dok se u budućnosti predviđa i uporaba algi i brzorastućih biljaka. Održiva mlazna goriva miješaju se sa standardnim mlaznim gorivima do 50% (najveća dozvoljena razina) te time postaju sukladna postojećim specifikacijama zrakoplovnih goriva. Upotreba održivog goriva uglavnom ne zahtijeva promjenu postojeće infrastrukture. Zračna luka Oslo je 2016. godine postala prvi korisnik održivih goriva kroz postojeći hidrantski sustav napajanja gorivom. Svaki zrakoplov koji je certificiran za uporabu standardnog mlaznog goriva može koristiti i održiva zrakoplovna goriva (prema specifikacijama goriva) [33]. Na Slici 7. prikazan je ciklus proizvodnje održivog mlaznog goriva. Održiva zrakoplovna goriva pružaju redukciju emisija u razinama do 80% u odnosu na standardna mlazna goriva [34].



Slika 7. Proces smanjenja emisija uporabom održivog mlaznog goriva, [35]

## 4. Aktualna regulativa za praćenje i trgovanje emisijama te smjernice za budućnost

Kako bi se globalno zagrijavanje ograničilo na 1.5 °C u periodu od narednih pet godina, potrebno je smanjiti emisije stakleničkih plinova za oko 20% u odnosu na trenutno stanje. Veliki ekosustavi poput tropskih šuma, ove će godine smanjiti udjel ugljikova dioksida iz atmosfere u većoj mjeri nego inače. No, ovaj privremeni i neplanirani poticaj rezultat je smanjenja emisija u posljednje dvije godine uslijed pandemije te neće biti dugotrajnijeg karaktera.

Mjerenja na mjernoj stanici Mauna Loa (Havaji) od 1958. godine pokazuju da je godišnja stopa porasta ugljikova dioksida u atmosferi bila niža od 1 ppm, a tada je koncentracija ugljikova dioksida bila oko 316 ppm. Posljednjih desetak godina, stopa porasta povećala se na 2.5 ppm godišnje s koncentracijom ugljikova dioksida u prošloj godini od 416 ppm [36].

Kako bi borba protiv klimatskih promjena bila što učinkovitija, razvijen je niz tržišnih mjera za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Na europskoj razini, u skladu s „Direktivom 2003/87/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 13. listopada 2003. o uspostavi sustava trgovanja emisijskim jedinicama stakleničkih plinova unutar Zajednice“ razvijen je EU-ETS (engl. *European Union Emission Trading System*, EU-ETS), što je prvi veliki sustav trgovanja emisijama ugljikova dioksida. Na globalnoj razini, kao mjera za smanjenje ugljika na razini međunarodnog zrakoplovstva u uporabu se uvodi program CORSIA (engl. *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*, CORSIA).

### 4.1 Razvoj međunarodnih sporazuma o klimatskim politikama

Prva UN-ova konferencija koja je kao glavnu temu imala održana je 1972. godine u Stockholmu. Tom prilikom donesena je tzv. Stockholmska deklaracija i akcijski plan za ljudski okoliš. Ovime se pitanja zaštite okoliša stavljaju u prvi plan, te se potiče međunarodni dijalog koji zajedno sagledava gospodarski rast, onečišćenje zraka, vode i oceana zemalja diljem svijeta. Akcijski plan sadrži tri glavne kategorije: program globalne procjene utjecaja na okoliš, aktivnosti kojima se utječe na okoliš te međunarodne mjere za potporu i upravljanje okolišem kako na nacionalnim, tako i na međunarodnoj razini. Temeljem odluka i rada konferencije u Stockholmu, stvoren je i Program Ujedinjenih naroda za okoliš (engl. *UN Environment Programme*, UNEP) [37].

#### 4.1.1 Program Ujedinjenih naroda za okoliš

Program Ujedinjenih naroda za okoliš donesen je 1972. godine sa svrhom koordinacije rješavanja problema u okolišu na svim razinama. Cilj je koordinirati znanstvena rješenja za širok spektar problema uključujući i klimatske promjene, upravljanje morskim i kopnenim ekosustavima na Zemlji uz paralelan održiv gospodarski razvoj. Organizacija razvija i objavljuje međunarodne sporazume o zaštiti okoliša, promiče znanost o okolišu te pomaže svim vladama sudionicama u postizanju ciljeva u području ekologije. Sjedište Tajništva UNEP-a nalazi se u Nairobiju (Kenija), a rad se odvija i kroz 14 regionalnih ureda za vezu. Organizacija se financira iz proračuna UN-a [38].

#### 4.1.2 Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime

Kao odgovor na opasno ljudsko djelovanje na klimatski sustav, u svibnju 1992. godine u New Yorku je usvojena konvencija Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime (engl. *United Nations Framework Convention on Climate Change*, UNFCCC). Kao „negativne posljedice promjene klime“ konvencijom se definiraju sve promjene u fizičkom okruženju koje su rezultat promjene klime, a imaju pogubne i nepovoljne posljedice na produktivnost kako prirodnih tako i vodenih ekosustava, ali i na funkcioniranje društveno-gospodarskih sustava te na ljudsko zdravlje [39]. Konvencija je potpisana na sastanku na vrhu u Rio de Janeiru u lipnju 1992. godine, a na snagu je stupila 21.3.1994. Do danas ju je ratificirala 191 država. Cilj ove Konvencije je postizanje stabilizacije stakleničkih plinova u atmosferi kako bi se spriječio opasan utjecaj na klimatski sustav Zemlje. Vremenski okvir u kojem bi se stabilizacija trebala usvojiti dovoljno je dug kako bi se ekosustavu omogućila prilagodba klimatskim promjenama, a da se na niti jedan način ne ugrozi poljoprivreda i proizvodnja hrane uz nastavak gospodarskog razvitka na održiv način [40].

UNFCCC je potaknuo razvijenije zemlje da predvode put ka smanjenju emisija, budući da su one većinski izvor emisija stakleničkih plinova pa se stoga očekuje da će upravo one najviše učiniti u zaštiti okoliša na svom području. Razvijenije zemlje nazvane su zemlje Aneksa I i kao takve pripadaju Organizaciji za ekonomsku suradnju i razvoj (engl. *Organization for Economic Cooperation and Development*, OECD). U Aneksu I spominje se i 12 zemalja s gospodarstvom u tranziciji iz središnje i istočne Europe. Za sve zemlje iz Aneksa I prvotni plan bio je da se do 2000. godine razina emisija stakleničkih plinova vrati na razinu iz 1990. godine. Mnoge zemlje su poduzele snažne mjere za postizanje ciljanog stanja, a neke od njih su u tome i uspjele [41].

UNFCCC usmjerava nova financijska sredstva kako bi se promijenile industrijske aktivnosti u zemljama u razvoju i to u obliku paketa dodatne pomoći uz već postojeća sredstva koja se pružaju



tim zemljama. Sustav osigurava bespovratna sredstva i zajmove, ali i paket pomoći temeljem kojeg je omogućen transfer tehnologije od razvijenih prema manje razvijenim zemljama.

Način na koji se dolazi do smanjenja emisija stakleničkih plinova je [41]:

1. zemlje Aneksa I dužne su redovno izvještavati o promjenama klimatskih politika i mjera;
2. zemlje Aneksa I dužne su uručiti čitav inventar emisija staklenički plinova za svaku godinu od 1990.;
3. zemlje u razvoju dužne su izvještavati o akcijama koje se provode s ciljem rješavanja pitanja klimatskih promjena te načinima prilagodbe, ali u manjoj mjeri nego li zemlje Aneksa I, uzevši u obzir da njihovo izvještavanje ovisi o dobivenim sredstvima za pripremu inventara, a posebice u slučaju najsiriromašnjih zemalja.

#### 4.1.3 Kyotski protokol

Kyotski protokol međunarodni je ugovor donesen potaknut Okvirnom konvencijom Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCC) s obzirom da je procijenjeno kako UNFCC neće biti dostatan mehanizam za postizanje stabilnih razina stakleničkih plinova u atmosferi. Kyotski protokol usvojen je 11. prosinca 1997. godine, međutim zbog relativno složenog i dugotrajnog procesa ratifikacije, stupa na snagu tek 16. veljače 2005. godine kada je ratificiran od strane 55 država sudionika koje čine 55% globalnih emisija zemalja iz Aneksa B. Trenutno se Protokol iz Kyota sastoji od 192 sudionika. Glavna svrha ugovora je obvezivanje industrijaliziranih zemalja na ograničavanje emisija stakleničkih plinova u skladu s dogovorenim pojedinačnim ciljevima. Od tih se zemalja traži usvajanje politika i mjera ublažavanja posljedica klimatskih promjena o čemu su dužni i periodično izvještavati [42]. Detaljna pravila za provedbu Kyotskog protokola usvojena su u Marakešu 2001. godine te se nazivaju „Marakeškim sporazumima“ [43].

Glavna razlika između Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime i Kyotskog protokola je u tome što Konvencija samo potiče zemlje na stabilizaciju emisija stakleničkih plinova, dok ih Kyotski protokol na to obvezuje [43].

Protokol se odnosi na smanjenje emisija na području šest stakleničkih plinova, a to su:

1. ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ )
2. metan ( $\text{CH}_4$ )
3. dušikov oksid ( $\text{N}_2\text{O}$ )
4. fluorougljikovodici (HFC)
5. sumporov heksafluorid ( $\text{SF}_6$ )
6. perfluorougljikovodici (PFC)

Hrvatska je potpisnica Kyotskog protokola od 11. ožujka 1999. godine kao 78. potpisnica, a ratificiran je 2007. godine kada je donesen „Zakon o potvrđivanju Kyotskog protokola uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o promjeni klime“ [44].

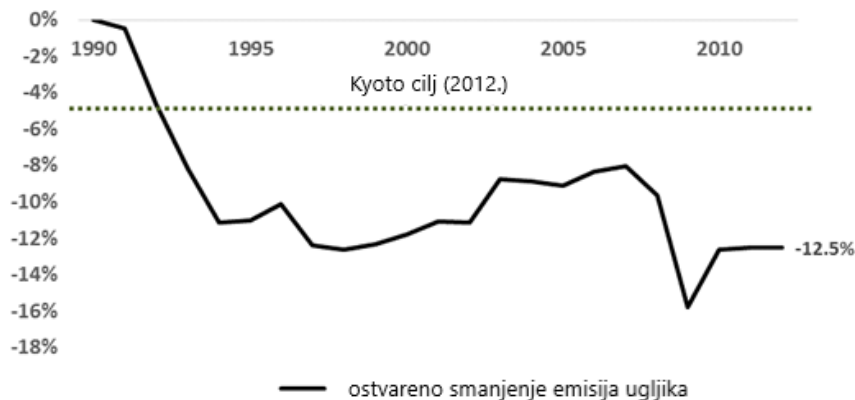
Glavna značajka dokumenta za 37 industrijaliziranih zemalja i Europsku Uniju je uspostava obvezujućih ciljeva u smanjenju emisije stakleničkih plinova i to kroz Aneks B s obzirom da su to zemlje koje su kroz posljednjih 150 godina proizvele najveći udio stakleničkih plinova u atmosferi. Ciljana razina je u prosjeku za 5% niža u odnosu na razine iz 1990. godine i to za petogodišnje razdoblje 2008.-2012. godine koje je bilo prvo obvezujuće razdoblje. Države Europske unije, u to doba njih 15, založile su se za smanjenje emisija od 8% u odnosu na emisije iz 1990. godinu [45].

Plan za smanjenje emisija stakleničkih plinova zemalja Aneksa B za prvo obvezujuće razdoblje u postocima prikazan je u Tablici 2.

*Tablica 2. plan za smanjenje emisija stakleničkih plinova za prvo obvezujuće razdoblje Kyotskog protokola, [42]*

| Država  | 2008./2012. |
|---|-------------|
| <b>EU-15, Bugarska, Češka, Estonija, Latvija, Litva, Lihtenštajn, Monako Rumunjska, Slovačka, Slovenija i Švicarska</b> | -8%         |
| <b>SAD</b>  | -7%         |
| <b>Kanada, Mađarska, Japan i Poljska</b>  | -6%         |
| <b>Hrvatska</b>   | -5%         |
| <b>Novi Zeland, Rusija i Ukrajina</b>   | 0           |
| <b>Norveška</b>   | +1%         |
| <b>Australija</b>   | +8%         |
| <b>Island</b>   | +10%        |

Na dijagramu u nastavku (*Graf 2.*) prikazano je stvarno smanjenje emisija unutar prvog obvezujućeg razdoblja iz čega je vidljivo smanjenje emisija ugljikova dioksida za 12.5%, što je drastično smanjenje u odnosu na obvezu od 5% dogovorenu Kyotskim protokolom. Iz dobivenih analiza prvog obvezujućeg razdoblja može se zaključiti kako je Kyotski protokol uspješno djelovao na smanjenje emisija, uz ogradu kako je nagli pad koji je započeo 1990. godine dobrim dijelom poruzročen raspadom Sovjetskog Saveza i posljedičnim smanjenjem proizvodne industrije diljem Rusije i novonastalih država (ZND). Upitno je kakvo bi smanjenje emisija bilo u slučaju da Rusija nije bila potpisnica Protokola. Procijenjeno smanjenje svih ostalih sudionica potpisnica protokola, osim Rusije, u području ugljikova dioksida je bilo svega 2.7% [46].



Graf 2. Ostvareno smanjenje emisija ugljikova dioksida u razdoblju od 1990. do 2010., [46]

Amandmanom u Dohi 8. prosinca 2012. godine usvojeno je i dogovoreno drugo obvezujuće razdoblje za period od 2013. do 2020. godine. Do 28. listopada 2020. je 147 sudionika prihvatilo amandman Kyotskog protokola iz Dohe te je time postignut prag od 144 sudionica čime je Amandman u potpunosti stupio na snagu 31. prosinca 2020. Amandmanom su donesene i revizije popisa stakleničkih plinova o kojima će sudionici izvještavati kroz drugo obvezujuće razdoblje, a uz to je dopunjeno i promijenjeno nekoliko članaka Protokola koji se odnose na prvo obvezujuće razdoblje [43].

Za drugo obvezujuće razdoblje unutar članica sudionica Kyotskog protokola donesen je dogovor o smanjenju emisija za 18% u odnosu na emisije iz 1990. godine, dok su se članice Europske unije dogovorile o smanjenju emisija za 20% u odnosu na 1990. godinu. [45].

Mehanizmi Kyotskog protokola postavljeni su kako bi se ponudila tri tržišne metode kao načini za smanjenje emisija stakleničkih plinova te za postizanje ciljeva i to kroz [47], [48], [49]:

1. *International Emission Trading* – trgovanje emisijama između sudionica Kyotskog protokola prilikom čega se zemljama sa viškom emisijskih jedinica omogućava njihova prodaja zemljama koje su prekoračile dozvoljenu granicu, uglavnom ugljika;
2. *Clean Development Mechanism* – kao mehanizam čistog razvoja omogućava zemljama Aneksa B da u sklopu pravila Kyotskog protokola implementiraju projekte smanjenja emisija u zemljama u razvoju. Time se državi Aneksa B ekvivalent emisija računa kao vlastito zadovoljavanje uvjeta Kyotskog protokola. Države Aneksa B mogu ostvariti kredite (engl. *Certified Emission Reduction*, CER) kao jedinicu ovjerenog smanjenja emisija koja je ekvivalent jedne tone emitiranog ugljikova dioksida;
3. *Joint Implementation* – zajednička implementacija projekata omogućava jednoj državi Aneksa B s obvezom smanjenja emisija da zaradi ERU jedinice (engl. *Emission Reduction Unit*, ERU). Jedinice koje služe smanjenju emisija kroz projekt uklanjanja emisija u drugoj državi Aneksa B. ERU jedinice funkcioniraju slično kao i mehanizam čistog razvoja, međutim, u ovom slučaju to je između dvije razvijene zemlje, odnosno dvije države s

popisa Aneksa B čime se omogućava ispunjavanja obaveza iz Kyotskog protokola uz paralelan razvoj zajedničkih projekata i tehnologija.

Fleksibilnost ovih mehanizama omogućava državama koje u zadanom roku ne mogu smanjiti svoje emisije, da u krajnjoj mjeri to postignu na druge načine, čime se smanjenje na globalnoj razini dovodi do zadovoljavajuće razine. Kyotski protokol utemeljio je strog sustav praćenja, izvješćivanja i verifikacije (engl. *Monitoring, Review and Verification*, MRV) čime se praćenje, analiza i verifikacija izvještavaju na transparentan i svima dostupan način.

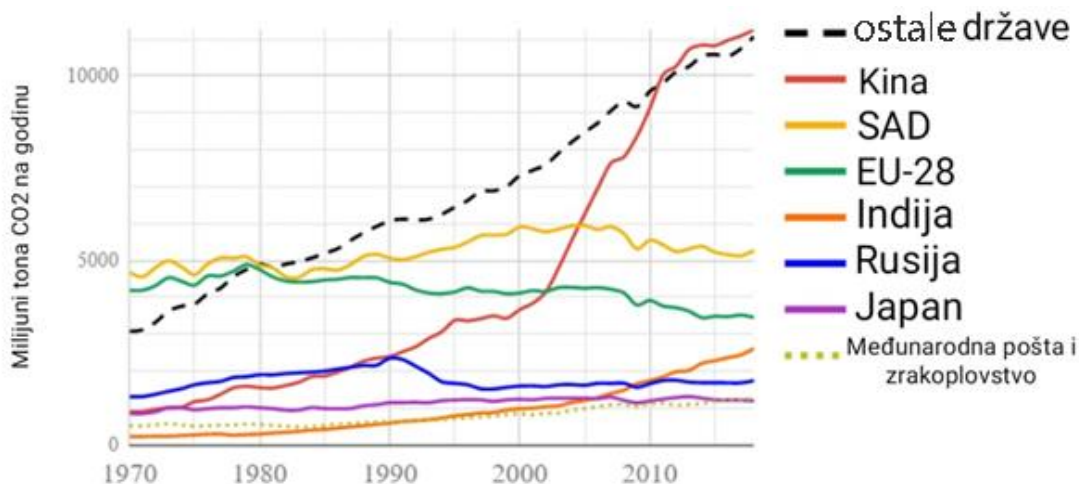
Ključna poteškoća ostvarenja Kyotskog protokola je izostanak velikih industrijskih u sudjelovanju u procesu smanjenja emisija, poput SAD-a, ali i Kanade. Potonja je nakon prvog obvezujućeg razdoblja prestala biti sudionicom Kyotskog protokola u procesu smanjenja emisija stakleničkih plinova. Kyotski protokol istekao je 2020. godine.

#### 4.1.4 Pariški sporazum

Pariški sporazum o klimatskim promjenama svojevrsni je sljednik Kyotskog protokola. Potpisan je u Parizu 12. prosinca 2015. godine na konferenciji Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime. Ratificiran je 2016. godine nakon što ga je ratificirala Europska Unija, čime se usmjerila na cilj da do 2050. godine postane prvo klimatski neutralno gospodarstvo i društvo. Potpisan je od strane 196 sudionika do sada, te je prvi pravno obvezujući sporazum za sve zemlje sudionike na globalnoj razini, a ne isključivo za industrijalizirane odnosno razvijenije kao što je to bio slučaj s Kyotskim sporazumom (u kojemu SAD kao vodeći emiter stakleničkih plinova nije sudjelovao) [50].

Pariškim sporazumom vlade su dogovorile kao dugoročni cilj ograničavanje globalnog zatopljenja na porast od 1.5 °C u odnosu na prethodno dogovorena 2 °C. Donesen je i dogovor da se u sklopu Pariškog sporazuma svakih pet godina postavljaju akcijski planovi i novi ciljevi da se taj napredak odvija na transparentan način pod nadzorom regulatornih tijela. Uz to, članice Europske unije i druge razvijene zemlje sudjelovat će u financiraju borbe protiv klimatskih promjena kako bi se u tom procesu pomoglo slabije razvijenim gospodarstvima i državama.

Na Grafu 3. prikazani su najveći zagađivači, odnosno emiteri ugljikova dioksida u svijetu prema milijunama tona emitiranog CO<sub>2</sub> na godišnjoj razini od 1970. do 2018. godine.



Graf 3. Najznačajniji globalni emiteri ugljikova dioksida, [51]

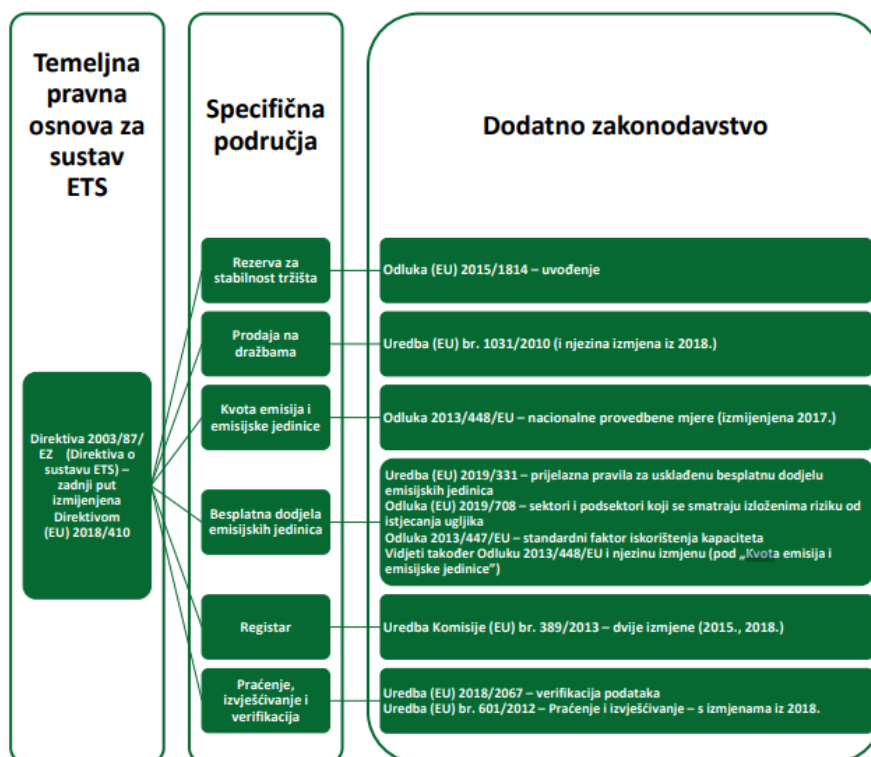
SAD, koji su drugi pojedinačni najveći emiter emisija stakleničkih plinova, napuštaju sudjelovanje u Pariškom sporazumu 1. lipnja 2017. dolaskom Donalda Trumpa na vlast, a sve s ciljem obnove industrije ugljena. Od 19. veljače 2021. godine, s dolaskom Joea Bidena na mjesto predsjednika, SAD su se ponovno priključile borbi protiv klimatskih promjena pokretanjem postupka ponovnog potpisivanja Pariškog sporazuma [52]. Europska unija je u borbi protiv klimatskih promjena predala strategiju smanjenja emisija stakleničkih plinova za najmanje 55% do kraja 2030. godine, u odnosu na razinu emisija iz 1990. godine. Ovime se potvrdilo opredjeljenje Europske unije da bude u prvim redovima na putu sprječavanja klimatskih promjena i postizanje klimatske neutralnosti [53].

#### 4.1.5 Međuvladin panel o klimatskim promjenama

Međuvladin panel o klimatskim promjenama (engl. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) neovisno je tijelo osnovano pod pokroviteljstvom Svjetske meteorološke organizacije i Programa Ujedinjenih naroda za okoliš 1988. godine kako bi se analizirali svi aspekti rizika klimatskih promjena koji su uzrokovani ljudskim djelatnostima. Cilj IPCC-a je pružiti vladama i institucijama na svim razinama sve raspoložive znanstvene informacije i podatke koji mogu koristiti razvoju klimatskih politika. Sva izvješća koja IPCC izdaje predstavljaju ključni doprinos međunarodnim pregovorima o klimatskim promjenama. Trenutno IPCC broji 195 država članica, te tisuće stručnjaka diljem svijeta doprinose njegovu radu. U procesu izrade izvješća koriste se procjene brojnih stručnjaka koji na volonterskoj bazi obrađuju na tisuće znanstvenih radova u cilju kompilacije sveobuhvatnog pregleda o većim ili manjim pokretačima i uzrocima klimatskih promjena, kao i o utjecajima klimatskih promjena te o metodama smanjenja neželjenih rizika. Upravo ta transparentna i otvorena revizija mnogih kontributora čini ključan dio procesa Panela kojom se osigurava potpuno objektivna procjena s raznolikim rasponom stajališta i stručnosti [54].

## 4.2 Europski sustav trgovanja emisijama stakleničkih plinova

Europski sustav trgovanja emisijama (engl. *EU Emissions Trading System*, EU-ETS), čiji je razvoj prikazan na Slici 8., temelj je europske politike borbe s klimatskim promjenama te je kao takav ključan alat smanjenja stakleničkih plinova, a ujedno i prvo uređeno i najveće svjetsko tržište ugljika. Kao rezultat mehanizma Kyotskog protokola u ožujku 2000. godine Europska komisija je izglasala Dokument o trgovini emisijama stakleničkih plinova unutar Europske unije koji predstavlja same temelje ETS-a [55]. Europska unija, kao što je prije spomenuto 27. siječnja 2003. godine donosi Direktivu 2003/87/EC kojom se uspostavljanja sustav trgovanja emisijskim jedinicama ugljikova dioksida s glavnim ciljem izvršenja svih obaveza koje je Europska unija preuzela ratifikacijom Kyotskog sporazuma.



Slika 8. Razvoj zakonodavstva kojime se regulira ETS, [56]

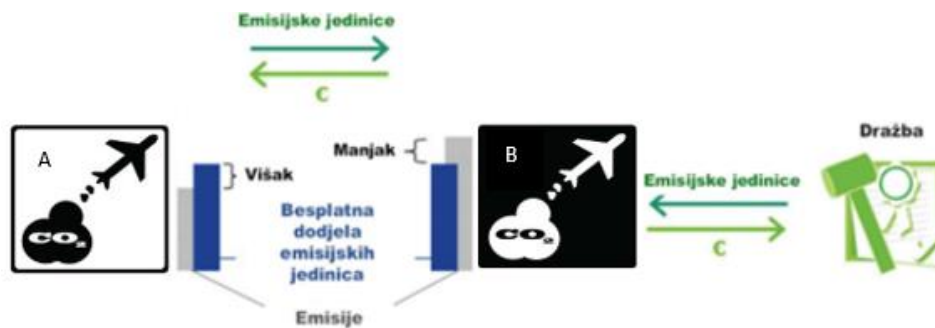
ETS funkcionira na principu „ograniči i trguj“ prilikom čega se postavlja granica na ukupnu količinu stakleničkih plinova koji se smiju emitirati, pri čemu se ta granica svake godine smanjuje [57]. Sustav ima za cilj smanjenje emisija stakleničkih plinova postavljanjem ograničenja na emitiranje emisija iz čitavog spektra industrija, uključujući i zrakoplovstvo. Smanjenje emisija ostvaruje se provedbom troškovno učinkovitih mjera temeljenih na izdavanju dozvola za

emitiranje emisija koje se zasebno dodjeljuju svakom industrijskom postrojenju [58]. Osnovni cilj nije isključivo smanjenje emisija nego i promocija investicija usmjerenih smanjenju emisija uz otvaranja mogućnosti inovacije i modernizacije čitavog energetskog sektora. ETS je 2013. godine pokrivaio gotovo polovinu emitiranih emisija stakleničkih plinova u Europskoj uniji, a u 2020. ta se količina smanjila na oko 36% [59].

ETS zahvaća više od 10 400 industrijskih i energetskih postrojenja kao i više od 350 zračnih prijevoznika u 27 zemalja Europske unije te Islandu, Norveškoj i Lihtenštajnu koji su članice Europskog gospodarskog prostora (engl. *European Economic Area*, EEA). Svakoj državi članici postavljen je zadatak ograničavanja emisija koje se emitiraju na njezinom teritoriju. Država je dužna svakom industrijskom i energetskom postrojenju ili zračnom prijevozniku dodijeliti točno određenu količinu emisija, odnosno dozvolu za emisiju koja predstavlja točno određen iznos prava na emisiju, gdje jedno pravo predstavlja dozvolu emitiranja jedne tone ugljikova dioksida u okoliš. Ukupan broj prodanih i dodijeljenih emisija ne može biti veći od ukupne gornje granice za emisije koja je postavljena. Cilj ETS-a je za sektore koje pokriva smanjiti emisiju ugljikova dioksida za 55% do 2030. godine u odnosu na referentnu 2005. godinu [59].

U Republici Hrvatskoj u lipnju 2009. godine Vlada RH donosi Plan raspodjele emisijskih kvota stakleničkih plinova za postrojenja koja će biti dužna ishodovati godišnje dozvole emisije stakleničkih plinova [58]. Države EU dužne su, uz izdavanje dozvola ili emisijskih jedinica osiguravati i da primatelji emisijskih jedinica prate i izvješćuju o svojim emisijama svake godine. Od 2019. godine države EU dužne su na dražbi prodavati sve emisijske jedinice koje nisu besplatno dodijeljene ili stavljene u rezervu za stabilnost tržišta, a prihod od prodanih jedinica ulagati u mjere za daljnje smanjenje emisija stakleničkih plinova, sprečavanje krčenja šuma, razvoj obnovljivih izvora energije i slično [57].

Za pojednostavljeno razumijevanje sustava trgovanja na Slici 9. prikazan je model trgovanja emisijama stakleničkih plinova na primjeru dva zračna prijevoznika. Prijevozniku A dodijeljuje se određen iznos besplatnih emisijskih jedinica, međutim, prijevoznik A je emitirao manje emisija nego li mu je besplatno dodijeljeno te odlučuje želi li višak emisija zadržati ili prodati na tržištu ugljika. Zračni prijevoznik B je, pak, emitirao više emisija nego li mu je dodijeljeno te ukoliko nema zalihu jedinica od proteklih godina, razliku emisija mora kompenzirati kupnjom jedinica od drugih prijevoznika (npr. od prijevoznika A) ili pak kupnjom emisijskih jedinica na dražbi. Metodom prodaje emisijskih jedinica kojih ima viška, prijevoznik A će prijevozniku B osigurati zadovoljenje uvjeta održavanja emisija ispod najveće dopuštene granice [56].



Slika 9. Princip ograničavanja i trgovanja emisijama na primjeru zračnog prijevoznika, [56]

Povijesno gledano, ETS je patio od problema vjerodostojnosti radi niske cijene emisijskih jedinica na tržištu. Ove niske cijene potkopavale su temeljni cilj ETS-a, no povjerenje u ETS sustav danas je u porastu nakon što su određene i pravednije cijene emisijskih jedinica CO<sub>2</sub>. U počecima trgovanja emisijama u Europskoj uniji cijena jedne tone emisija iznosila je oko 16 EUR, dok danas iznosi više od 87 EUR po jedinici čime svjedočimo rastu cijene jedne emisijske jedinice.

Do sada su registrirana četiri razdoblja trgovanja emisijama u sklopu ETS-a, tri su zaključena i podmirena razdoblja, te četvrto razdoblje koje je stupilo na snagu 2021. godine i trebalo bi trajati do 2030. godine. Sve četiri faze objašnjene su u nastavku.

#### 4.2.1 Prva faza (2005. – 2007.)

Nakon donošenja Direktive 2003/87/EZ Europski parlament donosi odluku o prve dvije faze europskog sustava trgovanja emisijama. Prva faza razvoja ETS-a započinje 1. siječnja 2005. godine i traje do 31. prosinca 2007. godine. To je ujedno bila i pilot faza kao priprema na prvi mehanizam Kyotskog protokola, odnosno na drugu fazu ETS-a. Ključne značajke prve faze bile su da je obuhvaćala emisije ugljikova dioksida isključivo od proizvođača električne energije i industrija koje intenzivno crpe energiju, a gotovo sve emisijske jedinice dodijeljene su besplatno. Kazna za nepoštivanje izvještavanja iznosila je 40 EUR po toni emitiranog ugljikova dioksida. Prva faza uspostavila je cijenu za ugljik, besplatne dodjele emisijskih jedinica diljem Europske unije te infrastrukturu za praćenje, izvešćivanje i verifikaciju emisija poduzeća koja su bila obuhvaćena. S obzirom na to da nisu postojali potpuno pouzdani podaci o emisijama, granice su postavljene temeljem stručnih procjena, a kao rezultat tog poteza ukupni iznos dozvoljenih emisijskih jedinica značajno je premašio potražnju za emisijama. Stoga je cijena emisija 2007. godine pala na nulu pa se emisije iz prve faze nisu mogle prenijeti za korištenje u drugoj fazi [60].



#### 4.2.2 Druga faza (2008. – 2012.)

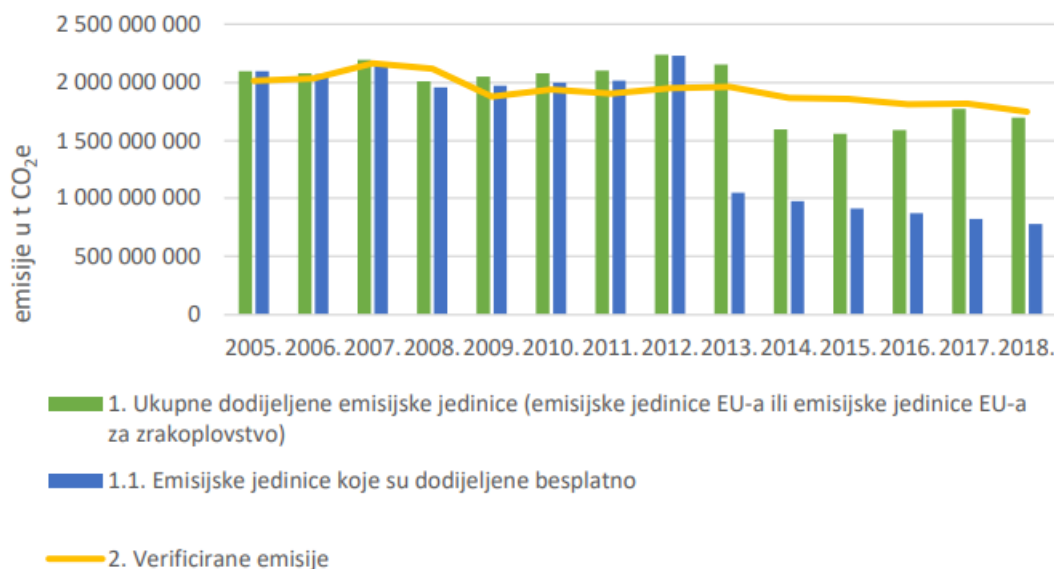
Druga faza ETS-a započinje 2008. godine i traje do 2012., te je prvi obvezujući period pod Kyotskim protokolom što je prouzročilo stroža ograničenja ukupnih dostupnih emisijskih jedinica i to za 6.5% manje u odnosu na 2005. godinu i prvu fazu. U drugoj fazi su se Island, Norveška i Lihtenštajn priključili ETS-u, a u kontekstu stakleničkih plinova, u popis za izvještavanje uključen je i dušikov oksid koji nastaje uslijed proizvodnje dušične kiseline. Besplatne emisijske jedinice iznosile su oko 90% ukupne kvote emisija te su održane prve dražbe emisija sukladno Uredbi 1031/2010. Kazna za neizvještavanje ETS-u podignuta je na razinu od 100 EUR po toni emitiranog ugljikova dioksida, a poduzećima je dozvoljeno korištenje kredita iz preostalih mehanizama Kyotskog protokola što je rezultiralo sa 1.4 milijarde tona ugljikova dioksida na tržištu. Ova količina dostupnih emisija ugljikova dioksida trebala je predstavljati troškovno učinkovitu mjeru čime bi se pokrenulo međunarodno tržište ugljika. Uslijed financijske krize 2008. godine, došlo je do velikog smanjenja emisija i pada cijene emisije s 30 na svega 7 EUR. U drugoj fazi je Uredbom Komisije 389/2013 uveden i unificiran registar emisija Europske unije koji je zamijenio nacionalne registre [60].

#### 4.2.3 Treća faza (2013. – 2020.)

Europska komisija je 2009. godine napravila reviziju treće faze koja je trajala od 2013. do 2020. godine. Glavne promjene uključuju jedinstvenu gornju granicu, odnosno „cap“ koji je uveden umjesto prethodno korištenih nacionalnih ograničenja. Dražba je uvedena kao primarna metoda dodjele emisijskih jedinica, ali su usklađena pravila raspodjele besplatnih emisijskih jedinica. Uz to, ukinute su besplatne emisijske jedinice za sektor proizvodnje električne energije [60]. Započinjanjem treće faze razvoja, u ETS- se uključuju dodatni sektori, među kojima i zrakoplovna industrija. Besplatne emisijske jedinice dodjeljuju se kako industrijskom sektoru, tako i zrakoplovnom sektoru. U toj fazi dodijeljeno je više od 500 milijuna besplatnih jedinica industrijskom sektoru, dok je zračnom sektoru pripalo oko 200 milijuna jedinica. Obveze zrakoplovnoj industriji odnose se na obavezno praćenje i izvješćivanje o emisijama ugljikova dioksida, ali i izvješćivanje broja ostvarenih tonskih kilometara zrakoplova.

U siječnju 2019. godine, krajem treće faze razvoja u skladu s Odlukom 2015/1814, uspostavljena je rezerva za stabilnost tržišta emisijama (engl. *Market Stability Reserve*, MSR) kojom je razmotren stvoreni višak emisijskih jedinica, te su sve nepotrošene emisijske jedinice prebačene u rezervu. Općenito se poboljšava otpornost sustava trgovanja emisijama na velike šokove prilagodbom ponude jedinica na dražbi s ciljem sprečavanja situacije slične onoj tijekom gospodarske krize 2008. godine [61]. Uspostavljen je i NER300 program gdje se 300 milijuna emisijskih jedinica izdvaja u rezervi za nove sudionike ETS-a s ciljem financiranja implementacije inovativnih tehnologija obnovljivih izvora energije te skladištenja ugljika [60].

Unatoč svim učinjenim naporima besplatne jedinice ipak čine 40% ukupnih dostupnih emisijskih jedinica kroz treću fazu razvoja ETS-a. Izvorna zamisao bila je da one služe kao izvanredan način dobivanja jedinica, nakon njihove kupnje na dražbama. Na Grafu 4. vidljiva je količina verificiranih emisija u odnosu na ukupno dodijeljene i besplatne emisijske jedinice. Većina je emisijskih jedinica i dalje bila besplatna kroz treću fazu razvoja ETS-a, no opaža se pad u količini besplatnih jedinica u odnosu na drugu fazu razvoja ETS-a i to čak za 21% [58].



Graf 4. Odnos ukupno dodijeljenih i besplatnih emisijskih jedinica kroz treću fazu ETS-a, [56]

#### 4.2.4 Četvrta faza (2021. – 2030.)

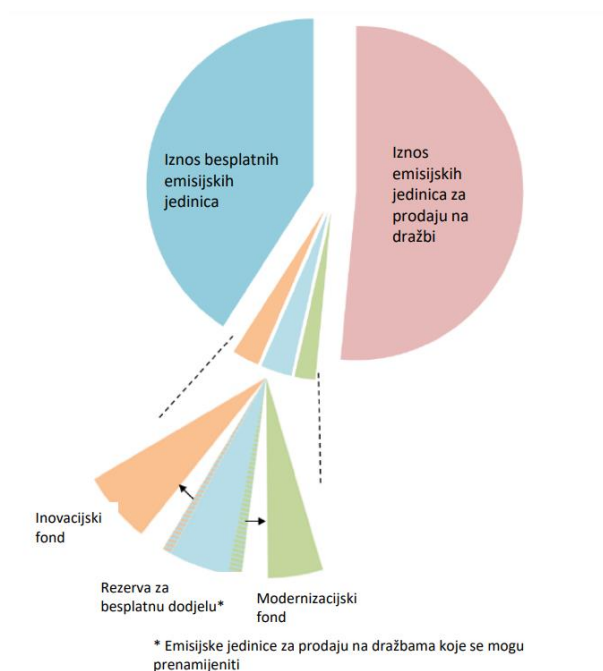
Četvrta faza razvoja ETS-a započinje 1. siječnja 2021. godine i trajat će do 2030. Glavni cilj ove faze je ubrzati proces smanjenja emisija. Linearni faktor godišnje stope smanjenja ukupno dostupnih emisijskih jedinica (engl. *Linear Reduction Factor*, LRF) definira godišnje smanjenje gornje granice ukupne količine dostupnih emisijskih jedinica, kako onih dostupnih za kupnju na dražbi, tako i besplatno dodijeljenih prijevozniku. LRF je iznosio 1.74% do kraja treće faze, dok je u četvrtoj fazi on povećan na 2.2%.

U periodu od 2019. do 2023. iznos emisijskih jedinica koje će biti prenesene u rezervu za stabilnost tržišta trebao bi se udvostručiti na 24% svih jedinica koje su do sada u opticaju. Od 2023. godine na dalje bi se iznos emisijskih jedinica koja se čuvaju u rezervi trebao ograničiti na volumen jedinica s dražbe od prethodne godine čime bi sve jedinice preko tog iznosa izgubile svoju valjanost.

S ciljem smanjenja rizika istjecanja ugljika, sustav besplatne dodjele emisijskih jedinica produžit će se za još jedno desetljeće kako bi se usmjerio na sektore s najvećim rizikom od premještanja

proizvodnje u treće zemlje koje će 100% emisijskih jedinica dobivati potpuno besplatno. Za sektore koji su pod manjim rizikom od istjecanja ugljika predviđeno je potpuno ukidanje besplatnih jedinica od 2026. godine s maksimalnih 30% na 0% do kraja četvrte faze – 2030. godine.

U četvrtoj fazi postavljena su i fleksibilnija pravila kako bi se dodjela besplatnih jedinica uskladila sa stvarnim zahtjevima proizvodnje čime se dodjela jedinica prilagođava na godišnjoj razini kako bi pratila stopu povećanja i smanjenja proizvodnje. Kroz sve mjere očekuje se da će se kroz četvrtu fazu razvoja ETS-a dodijeliti više od 6 milijardi emisijskih jedinica [62]. Na Grafu 5. prikazana je raspodjela emisijskih jedinica kroz četvrtu fazu razvoja, od kojih oko 40% i dalje čine besplatne emisijske jedinice. Od 2021. godine stupa na snagu obveza prodaje 57% emisijskih jedinica na dražbama.



Graf 5. Raspodjela dostupnih emisijskih jedinica kroz četvrtu fazu ETS-a, [56]

#### 4.2.5 Zrakoplovstvo i ETS

S obzirom na to da je zrakoplovni sektor jedan od najbrže rastućih izvora emisija stakleničkih plinova, Europska unija djeluje s ciljem smanjenja zrakoplovnih emisija u Europi, ali i na međunarodnoj razini razvojem mjera čime bi se postigli globalni ciljevi smanjenja emisija.

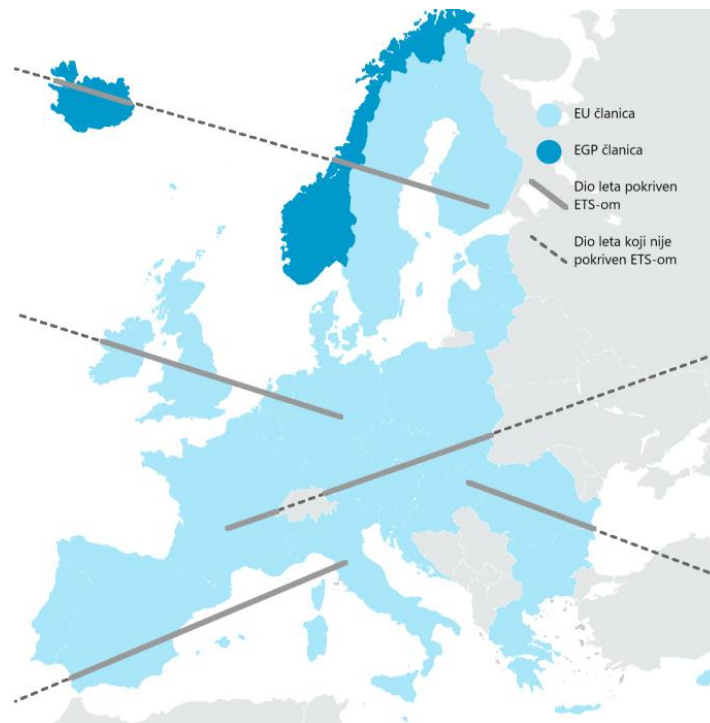
Prvotni plan uključivanja zrakoplovnog sektora u sustav ETS-a predložen je 2008. godine. Budući da je tim planom predloženo uključivanje svih letova koji polijeću i slijeću u/sa zračnih luka na području Europske unije te Island, Norveška i Lihtenštajn, stvorila se velika averzija prema ETS-

u od strane prijevoznika registriranih izvan Europske unije [59]. Kao što je ranije navedeno, emisije ugljikova dioksida uključene su u zrakoplovni sektor od kraja 2012. godine, netom prije početka treće faze razvoja ETS-a. U sklopu toga, svi zračni prijevoznici koji svoje operacije obavljaju u Europi – 27 članica EU te Island, Norveška i Lihtenštajn kao članice Europskog udruženja za slobodnu trgovinu (engl. *European Free Trade Association*, EFTA), dužni su pratiti, izvještavati i verificirati svoje emisije, te predati emisijske jedinice kako bi pokrili emisije svih letova koji su, ili čije su, dionice uključene u ETS. Trenutno su u tijeku revizije pravila za ETS u zrakoplovstvu u sklopu zakonskog paketa „Fit for 55“ kako bi se zajamčilo da će i zrakoplovni sektor postići smanjenje emisija od barem 55% do 2030. godine [63].

Kao član stručnih skupina Europske udruge zračnih prijevoznika i dionik procesa izrade elemenata ETS-a koji su specifični za zračne prijevoznike, Croatia Airlines je odradila sve pripreme za uključivanje u ETS. Croatia Airlines je implementirala ETS krajem 2009. godine, a sa 1. siječnjom 2010. je u skladu s regulativom započelo službeno praćenje emisija ugljikova dioksida i tonских kilometara radi izvješćivanja prema pravilima ETS-a, te kao temelj poduzimanja mjera smanjenja emisija stakleničkih plinova. S obzirom da 2010. godine Republika Hrvatska nije bila članica Europske unije, administriranje sudjelovanja bilo je dodijeljeno Njemačkoj federalnoj agenciji za zaštitu okoliša [64]. Republika Hrvatska je 2013. godine pristupila ETS-u ulaskom u Europsku uniju, u trećoj fazi razvoja ETS-a [65].

#### 4.2.6 Geografski opseg ETS-a

Kada je riječ o zrakoplovstvu, izvornim zakonodavstvom iz 2012. godine ETS-om su bili obuhvaćeni svi letovi prema i iz Europskog gospodarskog prostora, (Ujedinjeno Kraljevstvo je tada bilo dio Europske unije). Karta s rutama i proporcijama svih koje podliježu ETS-u prema izvornom zakonodavstvu prikazana je na Slici 10.



Slika 10. Geografska primjena ETS-a prema izvornom zakonodavstvu, [66]

Međutim, od 2013. do 2016. godine EU ETS-om su bili obuhvaćeni samo letovi između članica Europskog gospodarskog prostora (trenutačno 30 zemalja članica). Direktiva je revidirana 2017. godine s obzirom na uvođenje ICAO-ve mjere za smanjenje emisija civilnog zrakoplovstva, a paralelno je potpisan i sporazum između Europske unije i Švicarske o umrežavanju švicarskog sustava trgovanja emisijama s ETS-om. Obuhvaćanjem isključivo letova koji se odvijaju unutar članica Europskog gospodarskog prostora velika količina emisija nije obuhvaćena budući da su letovi dugih udaljenosti izuzeti iz obveza ETS-a do najmanje 2023. godine, a vjerojatno i kasnije. Podaci pokazuju da je više od 50% ukupnih emisija zrakoplovstva emitirano na letovima dugih udaljenosti i to od strane zračnih prijevoznika registriranih na području Europske unije [59].

Plan Europske komisije je proširiti primjenu ETS-a i na letove između Europskog gospodarskog područja i devet najudaljenijih regija (engl. *Outermost Regions*, OMR) Europske unije, a to su: Azori, Madeira, Kanari, Francuska Gvajana, Gvadalupa, Martinik, Saint Martin, Reunion i Mayotte.

#### 4.2.7 Kvote emisijskih jedinica

Kvota je apsolutna količina emisija stakleničkih plinova koja se može ispustiti i uključuje besplatne i kupljene emisijske jedinice. Stopa godišnjeg smanjenja kvote do 2021. bila je 1.74%, dok od 2021. godine ona iznosi 2.2% (linearni faktor smanjenja).

Dražbe emisijskih jedinica su kroz treću fazu ETS-a bile osnovni način za dodjelu emisija, međutim i dalje se znatan broj emisijskih jedinica dodjeljuje besplatno. Dodjela besplatnih jedinica za postrojenja ima za cilj uklanjanje rizika od tzv. istjecanja ugljika, odnosno situacije u kojima postrojenja prenose svoje pogone u treće zemlje sa znatno fleksibilnijim pravilima po pitanju emisija, što uzrokuje ukupni porast emisija ugljikova dioksida na globalnoj razini [67].

Raspodjela emisijskih jedinica kroz godišnje kvote definirana je od strane svake države članice Europskog gospodarskog pojasa i to nacionalnim alokacijskim planovima u kojima se propisuju ukupan iznos emisijskih dozvola, odnosno jedinica za raspodjelu državi članici u skladu s Direktivom. Nacionalni alokacijski planovi se nakon izrade šalju Europskoj komisiji na odobrenje. Države članice ETS-a dužne su izraditi i plan količine dodijeljenih emisijskih jedinica svakom emiteru u sklopu NIM instrumenta (engl. *National Implementation Measures*, NIM).

Prema podacima ukupne godišnje kvote emisijskih jedinica koje su puštene u opticaj od 2013. do 2020. godine, utvrđeno je da je 2013. godine izdano 2 084 301 856 emisijskih jedinica čiji se broj linearnim faktorom smanjenja od 1.74% smanjivao do 2020. godine kada je izdana kvota od 1 816 452 135 emisijskih jedinica [67].

#### 4.2.8 Dodjela emisijskih jedinica zrakoplovnom sektoru

Zrakoplovni sektor je u europski sustav trgovanja emisijama uključen početkom treće faze njegova razvoja. Godišnja kvota emisijskih jedinica određuje se preko povijesnih podataka o emisijama zrakoplovstva. Plan za treću fazu ETS-a bio je dodijeliti 210 249 264 emisijskih jedinica sektoru zrakoplovstva, što predstavlja prosječnu godišnju razinu emisija u periodu od 2004. do 2006. godine umanjenu za 5%. Ulaskom Republike Hrvatske u Europsku uniju i pridruživanjem ETS-u kvota je 1. siječnja 2014. povećana za 116 524 emisijskih jedinica.

Planirani iznos emisijskih jedinica trebao je biti dodijeljen prijevoznicima na način da je:

1. 82% emisijskih jedinica zračnim prijevoznicima dodijeljeno besplatno;
2. 15% emisijskih jedinica prodano na dražbi;
3. 3% emisijskih jedinica dodijeljeno kao specijalna rezerva za distribuciju novim i brzorastućim zračnim prijevoznicima.

Za zrakoplovni sektor inicijalna kvota emisijskih jedinica određena je na 210 349 264 jedinica, međutim s obzirom na to da je izvorno zakonodavstvo revidirano Direktivom 2008/101/EZ, naposljetku nisu bili uključeni svi letovi prema i iz Europskog gospodarskog pojasa što bi uključivalo i velik broj letova velikih udaljenosti. Kvota izdanih emisijskih jedinica je znatno smanjena na 32 455 296 emisijske jedinice [67].

Besplatne emisijske jedinice raspodijeljene su na oko 500 zračnih prijevoznika koji su aplicirali za besplatnu dodjelu izvještavanjem podataka o ostvarenim tonskim kilometrima 2010. godini, a

dodjela se temelji na učinkovitosti zračnog prijevoznika u putničkom i teretnom prometu koja se računa temeljem referentne vrijednosti utvrđene pri Europskoj komisiji [68].

Referentna vrijednost (engl. *benchmark*) određena je 26. rujna 2011. godine temeljem Odluke 2011/638/EU koja zračnom prijevozniku propisuje besplatne emisijske jedinice u skladu s regulativom 2003/87/EU. Referentna vrijednost iznosi 0.000679695907431681 emisijskih jedinica po ostvarenom tonskom kilometru [58]. Ostvareni tonski kilometar predstavlja zbroj umnožaka tona plaćenog tereta koji je prevezen na nekom letu zrakoplova s brojem kilometara koje je zrakoplov prevalio na tom letu (engl. *Revenue Tonne-Kilometre*, RTK). Referentna vrijednost računa se dijeljenjem ukupnog godišnjeg iznosa besplatnih emisijskih jedinica s verificiranim podacima o ostvarenim tonskim kilometrima koje su poslali zračni prijevoznici. Države članice dužne su nadzirati dodjelu besplatnih emisijskih jedinica zračnim prijevoznicima [68].

Na tablici u nastavku prikazane su količine verificiranih emisija te promjena verificiranih emisija u odnosu na godinu ranije. Kroz čitavo razdoblje motrenja vidljiv je porast verificiranih emisija ugljikova dioksida iz godine u godinu. U Tablici 3. je prikazana i količina besplatno dodijeljenih emisija koja se neznatno smanjivala.

*Tablica 3. Usporedba verificiranih, besplatno dodijeljenih i prodanih emisijskih jedinica u periodu od 2013. do 2018., [67]*

| Godina  | 2013. | 2014. | 2015. | 2016. | 2017. | 2018. |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Verificirane emisije (u milijunima tona CO <sub>2</sub> )   | 53,5  | 54,8  | 57,1  | 61,5  | 64,2  |       |
| Promjena verificiranih emisija s obzirom na godinu x – 1  |       | 2,5 % | 4,1 % | 7,6 % | 4,5 % |       |
| Besplatna dodjela emisijskih jedinica (28 članica EU-a + države EGP-a i EFTA-e, u milijunima emisijskih jedinica)                     | 32,5  | 32,4  | 32,2  | 32,0  | 32,0  |       |
| Besplatna dodjela emisijskih jedinica iz posebne rezerve za nove sudionike i brzorastuće operatore (u milijunima emisijskih jedinica) | 0     | 0     | 0     | 0     | 1,1   | 1,1   |
| Količine emisijskih jedinica prodanih na dražbi (u milijunima)  | 0     | 9,3   | 16,4  | 5,9   | 4,7   | 1,9   |

Cijene emisijskih jedinica izražene su na grafu u nastavku. Cijena jedne emisijske jedinice izražena je u EUR. Vidljiva je prosječna cijene emisijske jedinice koja iznosi 81.860 EUR. Na grafu su prikazane promjene cijena posljednjih 10 godina (2012. do 2022.). Cijena jedinica je bila približno konstantna od 2012. do 2017. i iznosila je između 5 i 7 EUR po jedinici. Značajniji porast cijena emisijskih jedinica vidljiv je od 2017. godine, a uzrokovan je reakcijom tržišta ugljika na uvođenje rezerve za stabilnost tržišta 2019. godine, koja je dogovorena 2017. godine. Početkom 2020. uočava se pad cijene emisijskih jedinica radi smanjene potražnje uslijed početka pandemije

koronavirusa, no porast cijena emisijskih jedinica uočava se već krajem 2020. godine. Ove godine je cijena emisijskih jedinica dosegla svoju najveću vrijednost te je u veljači 2022. iznosila gotovo 97 EUR, a u vrijeme pisanja ovog rada (svibanj 2022.) fluktuirala je između 79 do 92 EUR (Graf 6.)



Graf 6. Promjena cijena emisijskih jedinica u posljednjih deset godina, [69]

#### 4.2.9 Obveza sudjelovanja u ETS-u

Obvezu sudjelovanja u ETS-u imaju svi zračni prijevoznici koji posjeduju Svjedodžbu o sposobnosti zračnog prijevoznika (engl. *Air Operator Certificate, AOC*) izdanom u Europskoj uniji, uključujući i prijevoznike sa svjedodžbom izvan Europske unije. Nekomercijalni operatori zrakoplova s godišnjom razinom emisija ugljikova dioksida od 1000 tona izuzeti su od sudjelovanja u ETS-u. Izuzeti su i komercijalni operatori zrakoplova (koji pružaju usluge zračnog prijevoza uz naknadu) ukoliko su njihove emisije na godišnjoj razini ispod 10 000 tona CO<sub>2</sub> ili ukoliko ne obavljaju više od 243 leta u jednom godišnjem kvartalu.

Nadalje, izuzeća sudjelovanja u ETS-u u skladu s Direktivnom 2003/87/EC vrijede za sljedeće letove [70], [26]:

1. letovi koji se obavljaju isključivo za prijevoz (na službenoj misiji): vladajućeg monarha i njegove uže obitelji, predsjednika država, premijera i ministara država koje nisu članice zemalja Europskog gospodarskog prostora navođenjem tog podatka u planu leta;
2. vojni, policijski i carinski letovi;
3. letovi koji se obavljaju u skladu s pravilima vizualnog letenja;
4. kružni letovi;



5. letovi traganja i spašavanja, gašenja vatre te humanitarni i letovi za hitnu medicinsku pomoć pod uvjetom da je te letove odobrilo nadležno tijelo;
6. školski letovi koji se obavljaju isključivo u svrhu dobivanja dozvole ili ovlaštenja pod uvjetom da se taj let ne odvija za prijevoz putnika ili tereta ili kao pozicijski let;
7. PSO letovi, odnosno letovi s obvezom obavljanja javne službe pod specifičnim uvjetima (engl. *Public Service Obligation*, PSO) pod uvjetom da se letovi obavljaju unutar OMR regija ili pod uvjetom da na tim rutama godišnji kapacitet ukupno ponuđenih sjedala ne prelazi 30 000;
8. letovi koji se obavljaju zrakoplovima najveće dopuštene mase polijetanja manje od 5700 kg;
9. letovi koji se obavljaju isključivo u svrhe znanstvenih istraživanja ili sa svrhom provjere, testiranja ili certificiranja zrakoplova, zrakoplovne opreme ili opreme na zemlji;

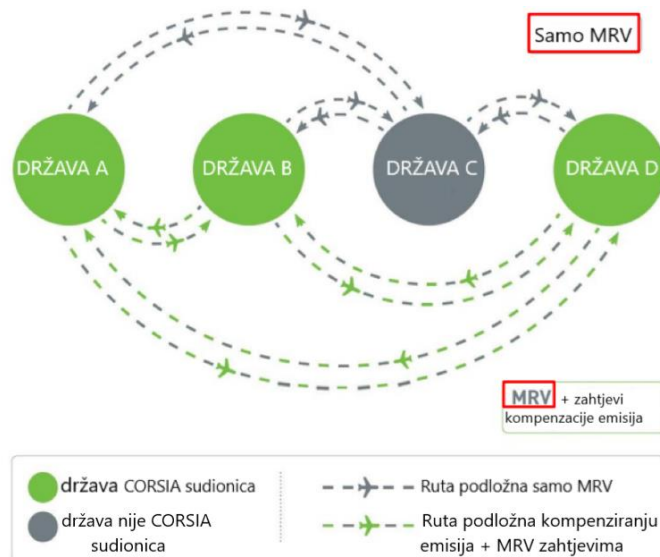
### 4.3 CORSIA

S obzirom da zrakoplovne emisije ne spadaju u djelokrug Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime, nego ICAO-a, Programom kompenzacije i smanjenja emisija ugljika za međunarodno zrakoplovstvo (engl. *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*, CORSIA) ICAO-a je 2016. godine usvojio globalni, tržišno utemeljeni, mehanizam s ciljem obuhvaćanja i smanjenja emisija ugljikova dioksida. Tržišna regulativa i metode praćenja emisija objašnjene su kroz ICAO Aneks 16., Svezak IV. Princip se temelji na nadoknađivanju emisija kompenzacijom, odnosno nadoknađivanjem emisija smanjenjem iz drugih izvora. Programom CORSIA stvorena je prva tržišno utemeljena mjera smanjenja emisija ugljikova dioksida na globalnoj razini, a razvijena je konsenzusom vlada, industrija i međunarodnih organizacija [71].

Cilj CORSIA-e je stabilizacija međunarodnih emisija civilnog zrakoplovstva na razine 2020. godine, a započeto je 2021. godine. Sama metode kompenzacije ili neutralizacije (engl. *offsetting*) sastoji se u nadoknadi emisija od strane prijevoznika na način da on financira smanjenje emisija na nekom drugom mjestu. Prema programu, prijevoznici i drugi operatori zrakoplova trebali bi neutralizirati porast emisija preko razina iz 2020. godine što znači da će se emisije ugljikova dioksida stabilizirati uz paralelne mjere smanjenja emisija kao što su: razvoj novih tehnologija, održiva zrakoplovna goriva, operativna i infrastrukturna unaprjeđenja. Očekuje se da će se programom CORSIA neutralizirati oko 2.5 milijardi tona ugljikova dioksida u periodu od 2021. do 2035. godine, odnosno oko 170 milijuna tona CO<sub>2</sub> godišnje. S obzirom na period djelovanja, od, 2021. do 2035., zaključuje se da je CORSIA kratkoročna do srednjoročna strategija za postizanje neutralnog ugljičnog rasta za civilno zrakoplovstvo iz čega je vidljivo da neutralizacija i kompenzacija emisija nije zamišljena kao alternativa, nego kao dio većeg paketa mjera. U periodu trajanja CORSIA-e ICAO je dao industriji vrijeme za razvoj povećanja kapaciteta proizvodnje

održivih zrakoplovnih goriva dok se tehnologija električnog ili vodikovog pogona ne razvije u idućim desetljećima [72].

Ukoliko se praćenjem, izvješćivanjem i verifikacijom (MRV), utvrdi da operatori zrakoplova u periodu usklađenosti nisu ispunili zahtjeve, odnosno premašuju osnovnu vrijednost emisija iz 2019. i 2020. godine, te bi zahtjeve trebali ispuniti kupnjom odgovarajućih količina emisija kompenzacijom [73]. Letovi koji se održavaju između države članica i države koja nije članica CORSIA-e podliježu zahtjevima praćenja, izvješćivanja i verifikacije, ali ne i kompenzaciji za ostvarene emisije što je vidljivo na Slici 11. [74].



Slika 11. Letovi koji sudjeluju u CORSIA-i, [75]

#### 4.3.1 Razvoj i implementacija CORSIA-e

Kao što je već navedeno, cilj CORSIA-e je smanjiti i kompenzirati emisije ugljikova dioksida međunarodnog zrakoplovstva na razine prosječnih vrijednosti emisija iz 2019. i 2020. godine. Ovaj napor Ujedinjenih naroda za smanjenje emisija CO<sub>2</sub> vrlo je sličan nastojanju da se smanje emisije u pomorskom prometu. Obje su metode, kako pomorska tako i zrakoplovna, dužne pridobiti sudjelovanje većine država svijeta te stvoriti nove mogućnosti razvoja alternativnih goriva uz zahtjev da države članice provode pravila koja Ujedinjeni narodi nisu u mogućnosti zakonski nadzirati.

CORSIA je podijeljena u dvije osnovne skupine faza kroz period od 2019. do 2035. godine: tri dobrovoljne i jedna obavezna faza. Na Slici 12. prikazana je vremenska linija odvijanja faza CORSIA-e.

# CORSIA - faze



Slika 12. Faze CORSIA-e, [73]

Kroz prvu dobrovoljnu fazu, koja je započela 1. siječnja 2019. godine i koja je trajala do kraja 2020., operatorima zrakoplova je dano dovoljno vremena kako bi se razvili kriteriji količina emisija ugljikova dioksida kojima se prijevoznici trebaju prilagoditi prije otpočinjanja pilot faze. Prijevoznicima je bila dužnost razviti MRV sustave preciznog i točnog izvješćivanja i usklađenosti prije otpočinjanja pilot faze, a izvješća o emisijama provjerava neovisna treća strana prije nego li ona se dostavljaju regulatornom tijelu. 107 država članica (broj kontinuirano raste) trenutno je uključena u sudjelovanje u dobrovoljnim fazama te se procjenjuje da je programom pokriveno oko 80% svih međunarodnih zrakoplovnih emisija (2022.). U druge dvije dobrovoljne faze (pilot faza i prva faza) u proces neutralizacije i smanjenja emisija ugljikova dioksida uključeni su samo međunarodni letovi između država koje su odlučile dobrovoljno sudjelovati u programu.

Drugom fazom od 2027. godine započinje obvezno razdoblje sudjelovanja za sve međunarodne letove čime bi se pokrilo gotovo 90% svih međunarodnih zrakoplovnih aktivnosti [71].

Izuzeća od sudjelovanja u CORSIA-i čine: najnerazvijenije države i države s niskom razinom ekonomske aktivnosti, male otočne države, države bez izlaza na more, te države koje ostvaruju manje od 0.5% međunarodnih tonskih kilometara. Unatoč izuzeću, države koje nisu dužne sudjelovati u CORSIA-i mogu to učiniti ako žele na dobrovoljnoj bazi.

## 4.3.2 MRV sustav CORSIA-e

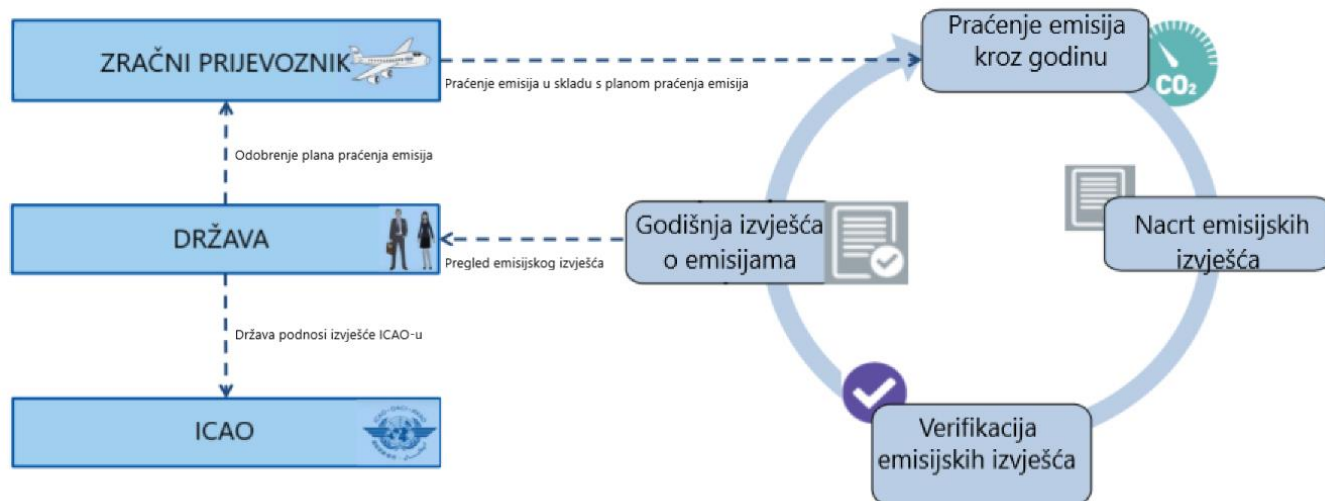
Sustav praćenja, izvješćivanja i verifikacije ključna je komponenta CORSIA-e. Svrha sustava je prikupljanje podataka o međunarodnim emisijama ugljikova dioksida na godišnjoj razini u usporedbi s prosječnim osnovnim vrijednostima emisija iz 2019. i 2020. godine.

Komponente MRV sustava su [75]:

1. praćenje (engl. *Monitoring*) količine goriva potrošene na svakom letu te izračun emisija CO<sub>2</sub>;
2. izvješćivanje (engl. *Reporting*) o emisijama CO<sub>2</sub> između tri tipa sudionika: zračnih prijevoznika, država i ICAO-a.;

3. verifikacija (engl. *Verification*) odnosno provjera prijavljenih podataka o emisijama kako bi se zajamčila pouzdanost podataka.

Na Slici 13. prikazan je godišnji ciklus praćenja, izvješćivanja i verifikacije emisija CORSIA-om.



Slika 13. CORSIA MRV ciklus, [75]

Izuzeca praćenja, izvještavanja i verifikacije programa CORSIA su [76]:

1. domaći letovi;
2. operatori zrakoplova s manje od 10 000 tona emitiranog CO<sub>2</sub> godišnje;
3. zrakoplovi najveće dozvoljene mase uzlijetanja manje od 5.7 tona;
4. medicinski, humanitarni i vatrogasilački letovi;
5. vojni i vladini letovi.

#### 4.3.3 Kompenzacija emisija

Prijevoznici su dužni kompenzirati sve emitirane emisije koje prelaze bazne razine koje su emitirane 2019. i 2020. godine. Kompenzacija se odvija u sljedećim koracima [77]:

1. država izračunava zahtjeve za kompenzaciju pojedinom operatoru zrakoplova preko formule:

$$\text{Godišnje emisije operatora} \cdot \text{Faktor rasta} = \text{Zahtjev za kompenzaciju CO}_2$$

Faktor rasta je postotno povećanje količine emisija u odnosu na baznu godinu, a izračunava ga ICAO i mijenja se svake godine uzevši u obzir čitav zrakoplovni sektor i rast stopa emisija operatora;

2. operator izvješćuje o uporabi održivih zrakoplovnih goriva za trogodišnji period usklađenosti;
3. država uzima u obzir korist dobivenu uporabom održivih zrakoplovnih goriva te izvješćuje operatera o finalnim, umanjenim zahtjevima za kompenzaciju emisija ugljikovog dioksida u trogodišnjem periodu usklađenosti;
4. operator kupuje te poništava emisijske jedinice koje su ekvivalentne konačnim zahtjevima za kompenzaciju u periodu usklađenosti;
  - a) generiranje – projekti smanjenja emisija generiraju emisijske jedinice;
  - b) kupnja – kupnjom emisijskih jedinica na tržištu ugljika, operatori kupuju jednom emisijskim jedinicom, jednu tonu emitiranog CO<sub>2</sub>;
  - c) poništavanje – operatori poništavaju emisijske jedinice koje CORSIA prihvaća i to kroz program „CORSIA *Eligible Emissions Unit Program*“;
  - d) objava – operatori zahtijevaju da se svaki podatak o poništavanju jedinica kroz program prikaže javno na internetskoj stranici registra.
5. operator dostavlja državi Izvješće o poništavanju emisijskih jedinica, a potom država provjerava taj izvještaj te o njemu obavještava ICAO.

#### 4.3.4 Zadovoljavanje usklađenosti s CORSIA-om

Putem praćenja i verifikacije emisija operatori mogu smanjiti svoje obveze za smanjenjem i kompenzacijom emisija kroz poboljšanje učinkovitosti goriva i uporabom održivih goriva. Preostalo se povećanje godišnjih razina emisija ugljikova dioksida kompenzira kupnjom kredita za smanjenje emisija iz programa koji je odobrio ICAO u skladu s Rezolucijom A39-3. Kako bi bili ispunjeni svi zahtjevi za uključivanje održivog goriva u program CORSIA uvjet je da to gorivo pridonosi smanjenju emisija stakleničkih plinova od barem 10%. Gorivo ne smije biti proizvedeno od biomase dobivene iz zemlje s visokim udjelom ugljika. Odobrene metode smanjenja emisija ugljikova dioksida uključuju ulaganja u instalacije poput vjetroelektrana, smanjenja metana na odlagalištima otpada te projekte energetske učinkovitosti koji uključuju i REDD+ mehanizam (engl. *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*, REDD+) kojime se smanjuju emisije uslijed krčenja i degradacije šuma [74].

#### 4.4 Usporedba ETS-a i CORSIA-e

Kao tržišne mjere obje sheme trgovanja imaju prednost u odnosu na tradicionalne politike „zapovijedanja“, osiguravaju postizanje jasno definiranih ekoloških ciljeva na troškovno najučinkovitiji način za pojedinog prijevoznika [76].

CORSIA bi kao globalna metoda (u usporedbi s regionalnim opsegom ETS-a) trebala rezultirati većim smanjenjem emisija ugljikova dioksida u međunarodnom zrakoplovstvu od ETS-a. Europska unija bila je ključna u usvajanju CORSIA-e, koju se stalno nadograđuje potrebnim sporazumima u sve većem broju drugih država. U slučaju potencijalnog isključivanja međunarodnih europskih letova (unutar Europskog gospodarskog pojasa) iz programa CORSIA-e, mogla bi uslijediti negativna lančana reakcija čime bi neke države istupile iz CORSIA-e radi provebe drugih, regionalnih sporazuma. Slični sporazumi potencijalno bi mogli biti manje restriktivni što bi dovelo do pogoršanja u nastojanju smanjenja i kompenzacije emisija stakleničkih plinova na globalnom planu [72].

U Tablici 4. sažete su ključne razlike između ETS-a (za zrakoplovstvo) i CORSIA-e.

Tablica 4. Razlika ETS-a i CORSIA-e, [76]

| Shema  |  | EU-ETS   | CORSIA  |
|--|--|--|---|
| Temeljne razlike                             | Metodologija                                       | Ograniči emisije i trgov   | Osnovna razina emisija i kompenzacija             |
|  | Okolišni integritet                                | Ukupna količina dozvoljenih emisija je fiksna                            | Ovisi o provedbi i projektu kompenziranja         |
|  | Potreba za verifikacijom od strane nadležne vlasti | Samo na razini emitera   | Na razini emitera i projekta kojime se kompenzira |
| Razlike u stvarnoj implementaciji i primjeni | Referentni period                                  | 95% prosječnih emisija iz 2004/2006. uz linearno smanjenje               | Prosječni godišnjih emisija iz 2019./2020.        |
|  | Geografska pokrivenost                             | Letovi unutar Europskog gospodarskog pojasa                              | Međunarodni letovi između država sudionica        |
|  | Obuhvaćeni prijevoznici                            | Svi koji obavljaju letove na obuhvaćenim rutama, osim ukoliko su iznimka |   |
|  | Tipovi zrakoplova                                  | MTOM > 5.7 t i helikopteri   | MTOM > 5.7 t                                      |

Oba sustava usmjerena su na smanjenje klimatskog utjecaja zrakoplovstva pri čemu su zračni prijevoznici u obje metode uvjetovani kupiti emisijske jedinice ili kompenzirati za određene udjele emisija ugljikova dioksida. Prema ETS-u, emisije stakleničkih plinova iz postrojenja i zrakoplovne industrije ograničene su gornjom granicom, a veći emiteri moraju otkupiti višak dozvola za emisije od drugih emitera koji iskazuju višak, ili djelovati na način izravnog smanjenja emisija razvojem novih tehnologija. Za razliku od ETS-a, CORSIA nema gornju granicu dopuštenih emisija nego samo osnovnu, baznu godinu (2020.) čime se sve emisije iznad tog prosjeka moraju neutralizirati

procesima kompenzacije, primjerice pošumljavanjem i drugim projektima, ili pak izravnim smanjenjem. Obje sheme za cilj imaju postići približno sličan klimatski utjecaj. Međutim, klimatska učinkovitost CORSIA-e ovisi o integritetu mehanizama, programa i projekata kojima se kompenziraju emisije. Integritet, ogromni računovodstveni sustav i transparentnost bit će kritični ulaskom u obvezno razdoblje CORSIA-e. Razlika između ETS-a i CORSIA-e je i u baznim godinama u odnosu na koje se promatraju emisije: za ETS osnova je 2005. godina, dok CORSIA postavlja referentni period emisija 15 godina kasnije [76].

S geografskog aspekta stvarni opsezi CORSIA-e i ETS-a uvelike se razlikuju. Pokrivanjem većine međunarodnih letova CORSIA ima veći opseg, no ne obuhvaća i domaće zrakoplovstvo. Procjenjuje se kako će 2027. godine obveznom primjenom CORSIA-e biti obuhvaćeno 52% emisija svih letova na svijetu, dok će ETS-om biti obuhvaćeno svega njih 8% [76].

S obzirom na strože metode i nadzor koje se nalažu ETS-om, postoji realna opasnost da CORSIA operatorima omogući trgovanje emisijama metodom kompenzacije kao načinom izbjegavanja smanjenja emisija zrakoplova. Rizik je uočen i u kompenzacijama emisija pošumljavanjem čiji bi učinci bili smanjeni, ili čak u potpunosti poništeni u slučaju požara, suša, ilegalnog krčenja, ali i same složene geopolitičke situacije na područjima odvijanja kompenzacija. Navedeni razlozi otežavat će mjerenja, verifikaciju i stvarno provedenu dekarbonizaciju kompenzacijom emisija [78].

#### 4.5 Smjernice za smanjenje emisija kroz budućnost

Kao dio mjera za smanjenje klimatskog utjecaja, Europska komisija je 11. prosinca 2019. godine najavila donošenje Europskog zelenog plana temeljem kojeg bi Europa trebala postati prvi klimatski neutralan kontinent na svijetu. Postizanje klimatske neutralnosti podrazumijeva da se trenutačne razine emisija stakleničkih plinova znatno smanje u idućih nekoliko desetljeća, pri čemu se Europska unija obvezuje smanjiti emisije za najmanje 55% do 2030. godine (u odnosu na razine iz 1990. godine) [79].

Europska unija radi na reviziji klimatskog, energetskog i prometnog zakonodavstva u okviru „Spremni za 55“, odnosno (engl. „*Fit for 55*“) kako bi se zakoni uskladili s dugoročnim ambicijama i ciljevima Europske unije za 2030. i za 2050. godinu [80].

#### 4.5.1 Paket „Spremni za 55“

Paket „Spremni za 55“, koji ima za cilj smanjenje emisija od barem 55% do 2030. godine, osigurava pravednu tranziciju, održava i jača konkurentnost europske industrije uz istovremeno osiguravanje jednakih uvjeta u odnosu na subjekte iz trećih zemalja, čime Europska unija izrasta u predvodnika u borbi s klimatskim promjenama. Prijedlozi iz paketa raspravljaju se na tehničkoj razini unutar radnih skupina Vijeća Europe prije no što budu proslijeđeni predstavnicima zemalja Europske unije. Paket je dostavljen Vijeću u srpnju 2021. godine [80]. Prijedlozi izmjene legislative paketom „Spremni za 55“ objašnjeni su u nastavku.

Izmjene legislative u okviru paketa „Spremni za 55“, odnose se na postojeći sustav trgovanja emisijama kojima bi se moglo smanjiti emisije u obuhvaćenim sektorima za 61% do 2030. godine (u odnosu na 2005. godinu). Europska komisija predlaže stvaranje novog autonomnog sustava trgovanja emisijama za zgrade i cestovni promet čime bi se podržalo države članice u ispunjavanju nacionalnih ciljeva. Predstavljeni su i ciljevi smanjenja emisija stakleničkih plinova država članica i to s 29% na 40% smanjenja u odnosu na 2005. godinu.

#### 4.5.2 Mjere paketa „Spremni za 55“

Prijedlog Europske komisije je i jačanje doprinosa sektora uporabe zemljišta, prenamjena zemljišta i šumarstva s ciljem smanjenja emisija CO<sub>2</sub> za najmanje 310 milijuna tona do 2030. godine kako bi se od 2031. uključile i poljoprivredne emisije u plan za klimatsku neutralnost.

Po pitanju obnovljivih izvora energije paketom se predlažu revizije direktiva za obnovljive izvore energije pri čemu bi se trenutačno definiran cilj od 32% uporabe obnovljivih izvora energije povisio na 40% od ukupno iskorištene energije. Predložen je i ubrzan razvoj infrastrukture za punjenje vozila alternativnim gorivima. Prijedlog Vijeća je i oporezivanje energenata i električne energije.

Najrestriktivniji prijedlog tiče se pravila o emisiji ugljikova dioksida za automobile i kombije pri čemu je do 2035. postavljen novi cilj od 100% smanjenja emisija, što zapravo znači da na tržištu Europske unije više neće biti dostupni automobili i druga vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem.

Razvijen je i CBAM mehanizam (engl. *Carbon Border Adjustment Mechanism*, CBAM) kojim bi se zamijenilo dodjeljivanje besplatnih emisijskih jedinica, a u cilju sprečavanje istjecanja ugljika dislokacijom postrojenja u treće zemlje.

S obzirom da brodovi i dalje gotovo potpuno ovise o fosilnim gorivima, *zelenija goriva u transportu* je prijedlog za korištenje obnovljivih i niskougljičnih goriva u pomorskom prometu čime bi se staklenički plinovi emitirani brodovima smanjili za 75% do 2050. godine.

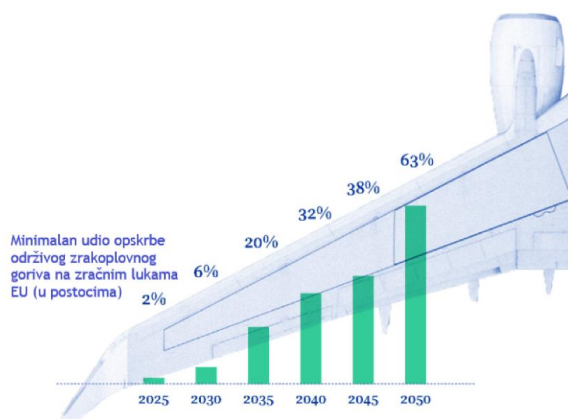


Prijedlogom Fonda za socijalnu politiku dodjeljuju se 72.2 milijarde EUR u periodu od 2025. do 2032. putem raspodjele koja ima za cilj rješavanje novog sustava trgovanja emisijama za zgrade i cestovni promet. Povećala bi se energetska učinkovitost zgrada dekarbonizacijom sustava grijanja i hlađenja uz poboljšanje dostupnosti prometnim sustavima s niskim ili nultim emisijama.

#### 4.5.3 Mjere paketa „Spremni za 55“ za zrakoplovni sektor

Održiva zrakoplovna goriva (biogoriva i elektrogoriva) imaju značajan potencijal smanjenja emisija stakleničkih plinova zrakoplova. Potrošnja takvih goriva trenutno predstavlja svega 0.05% potrošenog goriva u čitavom sektoru zrakoplovstva. Održiva su zrakoplovna goriva ključan alat za kratkoročno i srednjeročno smanjenje emisija zrakoplovstva, no ona trenutno imaju vrlo nisku potražnju i dostupnost radi cijena koje su znatno veće od cijena standardnih zrakoplovnih goriva [33]. Prijedlogom „*ReFuelEU Aviation*“ cilj je smanjiti utjecaj zrakoplovnog sektora na okoliš te mu omogućiti postizanje klimatskih ciljeva Europske unije. U lipnju 2022. godine Vijeće EU dogovorilo je opći pristup za dva prijedloga te se očekuje kako će pregovori s Europskim parlamentom dovesti do usvajanja konačnog zakonodavstva. *ReFuelEU Aviation* obvezat će [81]:

1. dobavljače goriva na zračnim lukama Europske unije na postupno povećavanje udjela održivih zrakoplovnih goriva kojima opskrbljuju operatore zrakoplova. Postotni udio održivih zrakoplovnih goriva u periodu od 2025. do 2050. prikazan je na Slici 14.;



Slika 14. Minimalan udio opskrbe održivim zrakoplovnim gorivom na zračnim lukama EU, [81]

2. zračne prijevoznike koji polijeću sa zračnih luka Europske unije na povećanje uporabe održivih zrakoplovnih goriva. Prijevoznike će se obvezati i na punjenje zrakoplova gorivom isključivo potrebnim za naredni let kako bi se izbjegle emisije povezane s dodatnom masom zrakoplova uzrokovane tankiranjem goriva (prijevoz dodatnog goriva kako bi se izbjegla nadopuna goriva na destinaciji gdje je gorivo skuplje ili nedostupno);
3. zračne luke na području Europske unije na osiguravanje potrebne infrastrukture za dobavljanje, pohranu i nadopunu zrakoplova održivim zrakoplovnim gorivima.

## 5. Metodologija proračuna emisija sukladno regulatornim zahtjevima

S obzirom na to da je ugljikov dioksid staklenički plin od najvećeg utjecaja na globalno zatopljenje i promjenu klime, metodologija proračuna je primarno donesena u cilju praćenja upravo ugljikova dioksida. Metodologija proračuna emisija u skladu s regulatornim zahtjevima obuhvaća praćenje, izvješćivanje i verifikaciju emisija stakleničkih plinova (MRV) u točno propisanim izvještajnim razdobljima te sa sobom nosi druge obveze prijevozniku koje su objašnjene u nastavku ove cjeline. Objašnjene su metode i formule proračuna emisija stakleničkih plinova, te sam postupak izvješćivanja kroz unificirani registar na razini Europske unije Nadležnom tijelu (engl. *Competent Authority*, CA).

Kompletan skup obveza koje prijevoznik mora preuzeti ukoliko je let u europskom sustavu trgovanja emisijama uključuje [82]:

1. predaju godišnjeg plana praćenja emisija na odobrenje Nadležnom tijelu;
2. praćenje emisija u skladu s odobrenim planom praćenja, EU i nacionalnim zakonima;
3. slanje godišnjeg izvješća o emisijama akreditiranom ETS revizoru ukoliko je potrebno;
4. predati Nadležnom tijelu godišnje izvješće o emisijama nakon kalendarske godine u kojoj su praćene emisije;
5. otvoriti račun u Registru Europske unije;
6. kupiti i ostvariti emisijske jedinice ekvivalentne broju smanjenih emisija godine nakon koje su praćene emisije;
7. čuvati sve relevantne evidencije ETS-a u sljedećih od 10 godina.

### 5.1 O sustavu praćenja, izvješćivanja i verifikacije

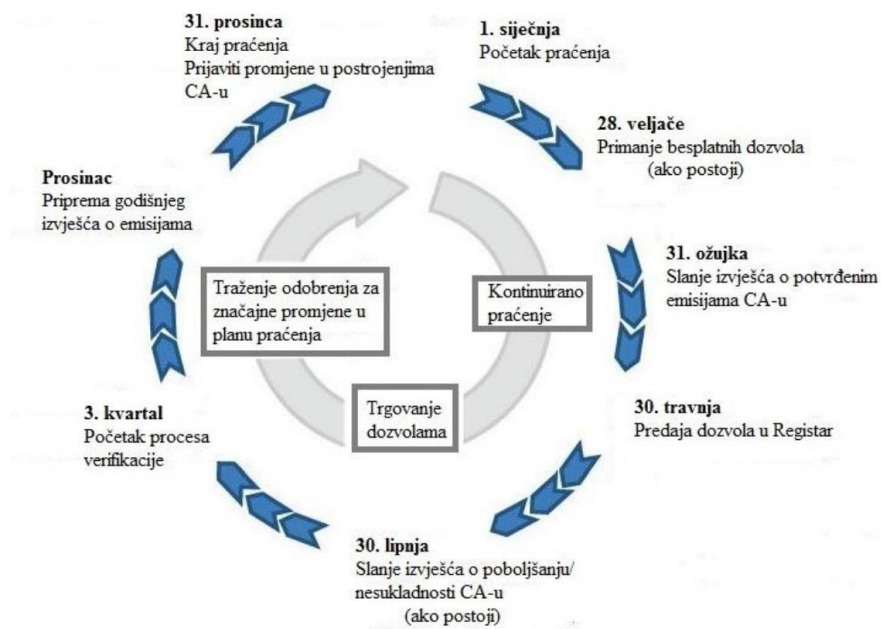
Sve države članice Europske unije dužne su pratiti emisije stakleničkih plinova mehanizmom praćenja emisija stakleničkih plinova uz definirane obveze i pravila. Praćenje, izvješćivanje i verifikacija emisija objašnjeni su i definirani regulativom 2003/87, a dodatno i Uredbom EU2018/2067 za verifikaciju podataka, te Uredbom EU601/2012 za praćenje i izvješćivanje podataka (engl. *Monitoring and Reporting Regulation*, MRR) koja je u primjeni od 1. siječnja 2013. godine [10], [56].

Emisije ugljikova dioksida izračunavaju se za svaki pojedini let, te se izrađuju izvještaji na mjesečnim i kvartalnim razinama, a potom i službeno izvješće koje se donosi na kraju kalendarske godine praćenja – Godišnje izvješće o emisijama (engl. *Annual Emission Report*) [55]. Predmet provjere, odnosno verifikacije su sva izvješća za svaki pojedini let, kao i usklađenost plana praćenja sa stvarno provedenim procedurama.

### 5.1.1 Godišnji ciklus praćenja i izvješćivanja emisija

Godišnja izvješća o emisijama stakleničkih plinovima uključuju općenite podatke, poput podataka o prijevozniku, verifikatoru, administrativnoj državi te o planu praćenja, njegovoj verziji i datumu izdavanja [10].

Ciklus usklađenosti u izvješćivanju o emisijama uvijek je jedna kalendarska godina, što je prikazano u nastavku, Slika 15. Tijekom tog perioda emisije je potrebno kontinuirano pratiti i prijavljivati. S datumom 1. siječnja kalendarske godine započet je ciklus praćenja emisija, a do 28. veljače nadležna vlast dodjeljuje besplatne emisijske jedinice zračnom prijevozniku. Do 31. ožujka tekuće godine, zračni prijevoznik je dužan predati izvješće o potvrđenim, odnosno verificiranim emisijama iz prethodne kalendarske godine Nadležnom tijelu (engl. *Competent Authority, CA*). Do 30. travnja, emisijske jedinice potrebno je predati u Registar unije (njihov broj treba odgovarati verificiranim emisijama). U slučaju postojanja nesukladnosti, do 30. lipnja je rok za slanje izvješća o poboljšanju Nadležnome tijelu. U trećem kvartalu započinje proces verifikacije koji je zasebno razrađen u nastavku.



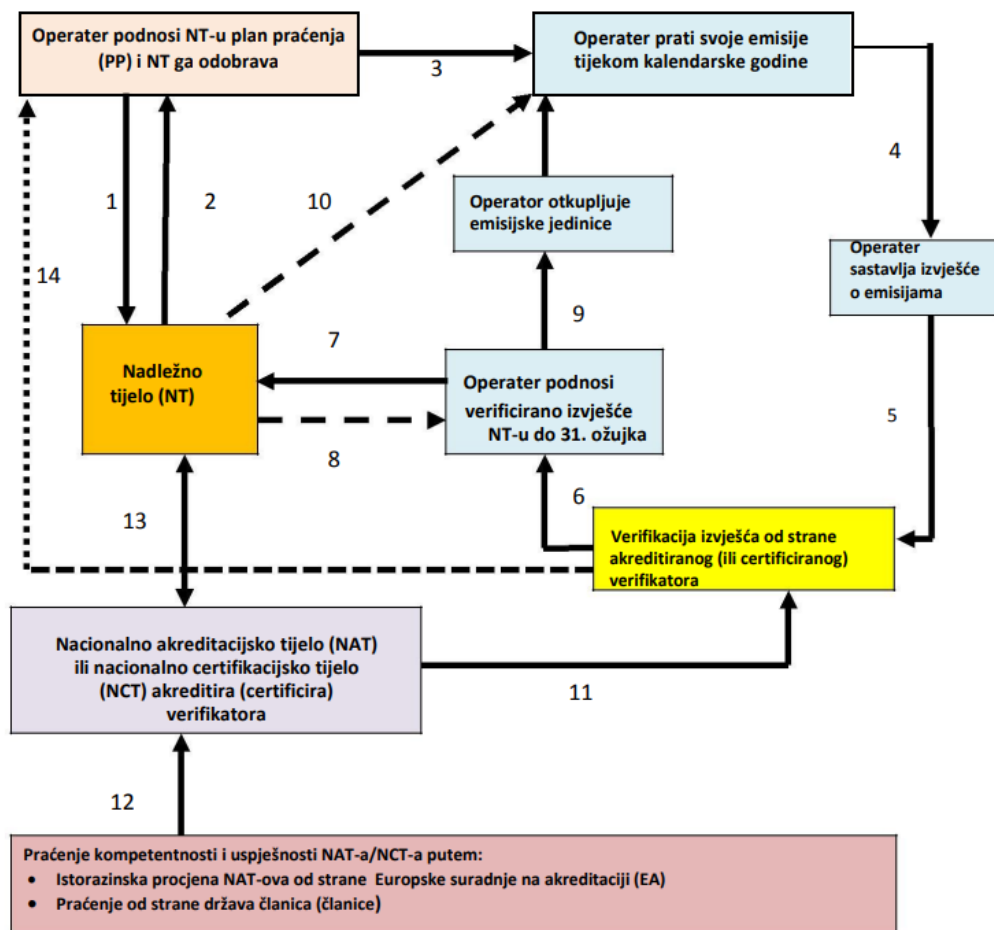
Slika 15. Ciklus izvješćivanja o emisijama tijekom kalendarske godine, [83]

### 5.1.2 Verifikacija izvješća o emisijama

Proces verifikacije izvješća o emisijama osigurava pouzdanost i točnost izvješća o emisijama te njihovu usklađenost s uputama o praćenju i izvješćivanju. Tijelo odgovorno za kontrolu izvješća naziva se verifikator. Verifikator je neovisan i niti na koji način ne smije biti povezan sa zračnim prijevoznikom čija izvješća nadzire [33].

Republika Hrvatska nema domaćih verifikatora u području zrakoplovstva s obzirom na velike troškove akreditacije verifikatora uz relativno malen obujam posla. Stoga verifikaciju provode verifikatori akreditirani na području Europske unije pod nadzorom Hrvatske akreditacijske agencije. Značajnije europske tvrtke koje se bave procesom verifikacije su: PWC, Verifavia, BSI Group i Bureau Veritas [33].

Proces verifikacije usmjeren je stvaranju verifikacijskog stajališta s jamstvom. Verifikator je zadužen za očuvanje dobrih praksi upravljanja uz konstantno održavanje kvalitete. Emisije u izvješću ne smiju biti pogrešno prikazane, izvješće ne smije sadržati pogreške ili propuste, emisije se moraju pratiti u skladu s dozvolom za emitiranje [58]. Verifikator u svom verifikacijskom izvješću prijevozniku navodi svoje nalaze i mišljenje, a prijevoznik je, ukoliko se pokaže potrebnim, dužan provesti korektivne mjere. Nakon toga verifikator izdaje rješenje o cjelovitosti i ispravnosti izvješća koje se prilaže nadležnom ministarstvu. Prijevoznik unosi podatke o godišnjim emisijama u Registar, a verifikator potvrđuje navedene količine te je time prijevoznik izvršio svoje obveze za kalendarsku godinu. Kada je potrebno (a najčešće je upravo takva situacija) prijevoznik dokupljuje razliku između obveze i dostupnih jedinica. Kada količina emisija dosegne obvezu te ih prijevoznik preda, zaključuje se ciklus i smatra se da je obveza podmirena. U slučaju da prijevoznik ne preda izvješće o emisijama, podliježe penalizaciji u iznosu od 100 EUR po toni CO<sub>2</sub> uz moguću kaznu odgovornoj osobi tvrtke i obveznu naknadnu predaju emisijskih jedinica [33]. Čitav proces verifikacije od odobravanja Plana do praćenja emisija prikazan je na Slici 16. u nastavku.



Slika 16. Proces verifikacije izvješća o emisijama, [84]

### 5.1.3 Plan praćenja emisija

Plan praćenja emisija (engl. *Monitoring Plan*) ključan je dokument u ETS-u koji osigurava usklađenost procesa praćenja i izvješćivanja o emisijama unutar svih država članica Europske unije. Planom se utvrđuje cjelovita i transparentna dokumentacija koja se odnosi na metodologiju kontinuiranog praćenja emisija određenog postrojenja ili zračnog prijevoznika [85].

Osnovna svrha Plana praćenja je prikaz internih priručnika koji svim sudionicima omogućavaju brzo i jednostavno praćenje svih uputa te olakšava Nadležnom tijelu brže razumijevanje svih procesa kod praćenja emisija zračnog prijevoznika. Prijevoznici su dužni redovito ažurirati plan u skladu s nalazima verifikatora, ali i temeljem vlastite inicijative. Glavna odgovornost za provedbu metodologije praćenja ostaje na operatoru zrakoplova, odnosno na zračnom prijevozniku. Plan praćenja mora opisivati upute na logičan i jednostavan način, te mora sadržavati detaljnu, cjelovitu i transparentnu dokumentaciju metodologije praćenja emisija. Prijevoznik je dužan podnijeti Plan praćenja na odobrenje Nadležnom tijelu, a kod pojave novih sudionika u sustavu ETS-a, Plan

praćenja mora biti odobren prije otpočinjanja letачkih operacija. Prema Izvješću Komisije Europskom parlamentu i Vijeću od 23. studenog 2017. te Izvješću o funkcioniranju europskog tržišta ugljika, nepostojanje propisno odobrenog Plana praćenja bio je najčešći prekršaj unutar ETS-a u 2016. godini (zabilježeno ukupno 5 slučajeva) [85].

Plan praćenja uvijek mora sadržavati metodologiju koja se stvarno primjenjuje, a ne minimalne zahtjeve. Opće načelo je da zračni prijevoznici moraju stremiti neprestanom poboljšanju svojih sustava praćenja u svim situacijama kada je to moguće [86].

U Tablici 5. prikazani su zračni prijevoznici koji u Republici Hrvatskoj imaju registriran i odobren plan praćenja emisija stakleničkih plinova nastalih obavljanjem zrakoplovne djelatnosti u skladu sa Zakonom o klimatskim promjenama i zaštiti ozonskog sloja [87].

*Tablica 5. Popis prijevoznika s odobrenim planom praćenja u RH, [87]*

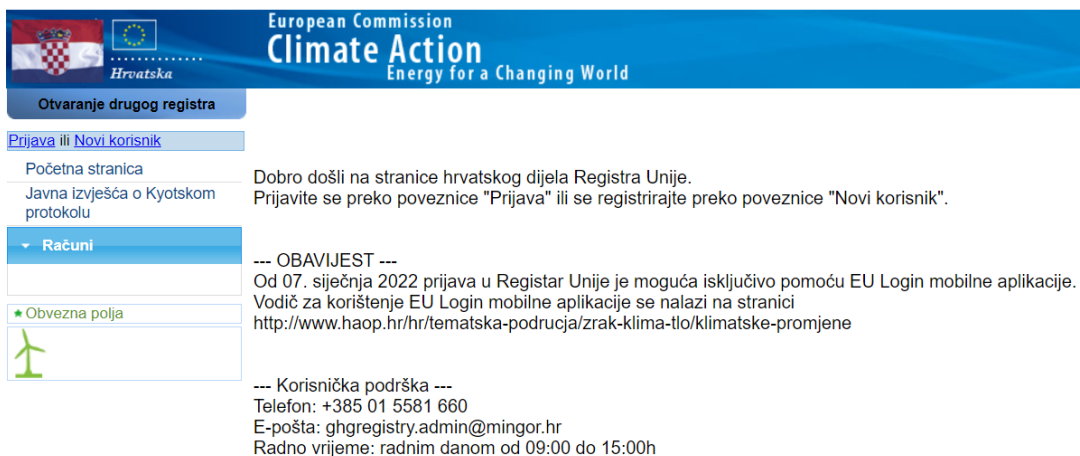
| Redni broj | Operator zrakoplova   | Adresa operatora zrakoplova       |
|------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 1.         | Croatia Airlines d.d. | Buzin, Bani 75/B                  |
| 2.         | Trade Air d.o.o.      | Velika Gorica, Vladimira Nazora 5 |
| 3.         | ETF Airways d.o.o.    | Stupnički Obrež, Ulica Javora 2   |

## 5.2 Trgovanje emisijama – Registar Unije

S ciljem sigurnijeg trgovanja emisijskim jedinicama u sklopu ETS-a, Uredbom Komisije EU389/2013. (s izmjenama iz 2015. i 2018.) osnovan je Registar Unije (engl. *Union Registry*) kojim se prati vlasništvo emisijskih jedinica [56]. Registar Europske unije zamjenio je nacionalne registre dozvola za emitiranje. Registar emisijskih jedinica uspostavlja svaka država samostalno i to u elektroničkom obliku. Svako stacionarno postrojenje i zračni prijevoznik, odnosno svaki sudionik u ETS-u, dužan je otvoriti račun u Registru Unije. Primarna svrha Registra je pohrana, prijenos, praćenje i verificiranje dodijeljenih emisijskih jedinica. Registrom upravlja Europska komisija, a koncipiran je kao elektronička baza podataka, izvješća i računa emisijskih jedinica. Nacionalni administrator Registra Unije za Republiku Hrvatsku je Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja koje u ime Republike Hrvatske upravlja svim hrvatskim računima otvorenim u Registru Unije [88].

Registar bilježi: popis postrojenja i zračnih prijevoznika obuhvaćenih ETS-om, sve besplatno dodijeljene emisijske jedinice postrojenjima i zračnim prijevoznicima kroz treću fazu razvoja ETS-

a, korisničke račune tvrtki koje posjeduju dozvole za emitiranje, transakcije emisijskih jedinica koje obavljaju vlasnici računa unutar Registra, godišnje verificirane emisije ugljikova dioksida iz svih postrojenja i zračnih prijevoznika, te godišnje usklađivanje svih odobrenih i verificiranih emisija, pri čemu svako poduzeće mora predati količinu emisijskih jedinica da pokrije sve svoje verificirane emisije. U slučaju da postrojenje ili zračni prijevoznik do 30. travnja tekuće godine ne preda količinu emisijskih jedinica koje odgovaraju verificiranoj ukupnoj emisiji u prošloj kalendarskoj godini, penalizira ga se iznosom od 100 EUR (u lokalnoj valuti, u RH kunska protuvrijednost) po toni emitiranog CO<sub>2</sub> [89], [58]. U Registru Unije arhivirane su sve jedinice koje su prenesene iz Nacionalnih registara koji su bili u uporabi do 2012. godine. Sučelje Registra Unije za korisnike u Republici Hrvatskoj prikazano je na Slici 17.



Slika 17. Sučelje Registra Unije, [89]

Uz centralizirani Registar Unije u uporabi je i Dnevnik transakcija Europske unije (engl. *European Union Transaction Log*, EUTL) za automatski nadzor svih transakcija koje se odvijaju između računa u Registru Unije čime se održava prijenos emisijskih jedinica u skladu s pravilima ETS-a. EUTL je stvoren kao nasljednik Neovisnog dnevnika transakcija Zajednice (engl. *Community Independent Transaction Log*, CITL) koji je imao sličnu ulogu prije uvođenja Registra Unije [55].

Sučelje Dnevnika transakcija Europske unije prikazano je na Slici 18. Prikazana su sva tri hrvatska zračna prijevoznika koji imaju otvorene korisničke račune u Dnevniku transakcija Europske unije, tj. Croatia Airlines, Trade Air i ETF Airways kao najmlađi hrvatski sudionik.

# CLIMATE ACTION

## European Union Transaction Log

Environment > Climate Change > European Union Transaction Log

### Operator Holding Account - Search Criteria

National Administrator:

Main Activity Type:

Compliance Status:

### Operator Holding Account - Search Result

| National Administrator | Account Type              | Account Holder Name                               | Installation/Aircraft ID | Installation Name/Aircraft Operator Code* | Company Registration No | Permit/Plan ID | Permit/Plan Date | Main Activity Type           | Latest Compliance Code |
|------------------------|---------------------------|---|--------------------------|---|-------------------------|----------------|------------------|------------------------------|------------------------|
| Croatia                | Aircraft Operator Account | Croatia Airlines hrvatska zrakoplovna tvrtka d.d. | 200696                   | 12495                                     | 080037012               | 19550-0026     | 2010-01-01       | Aircraft operator activities | A                      |
| Croatia                | Aircraft Operator Account | TRADE AIR d.o.o.                                  | 214881                   | 23236                                     | 080124868               | 1.0            | 2020-01-01       | Aircraft operator activities | A                      |
| Croatia                | Aircraft Operator Account | ETF Airways d.o.o.                                | 216880                   | 48249                                     | 081340513               | 1.0            | 2021-01-01       | Aircraft operator activities | A                      |

Slika 18. Sučelje Dnevnika Transakcija Europske unije za hrvatske zračne prijevoznike, [90]

## 5.3 Metodologija izračuna ostvarenih tonskih kilometara i emisija ugljikova dioksida

Kako bi se dobili precizniji podaci za izvješćivanje, u uporabi su dvije metode izračuna: prema emisijama ugljikova dioksida, te prema ostvarenim tonskim kilometrima zrakoplova (RTK). Izračuni za izvješćivanje izrađuju se na mjesečnim, kvartalnim i godišnjim razinama, a podaci sa svakog pojedinačnog leta se kontinuirano zbrajaju [10], [91].

### 5.3.1 Metodologija izračuna ostvarenih tonskih kilometara

Ostvareni tonski kilometar predstavlja zbroj umnožaka tona plaćenog tereta koji je prevezen na nekom letu zrakoplova s brojem kilometara koje je zrakoplov prevalio na tom letu (engl. *Revenue Tonne-Kilometre*, RTK), odnosno tona plaćenog tereta prevezena po kilometru leta. Plaćeni teret je ukupna masa prevezenog tereta koji zračnom prijevozniku donosi dobit, a uključuje masu: pošte, putnika i prtljage. Metodologija izračuna tonskih kilometara nije obavezna za zračnog prijevoznika, međutim, u svrhu podnošenja zahtjeva za besplatne emisijske jedinice, izračun tonskih kilometara je obavezan [10], [91], [86].

Ostvareni tonski kilometri računaju se za svaki let prema formuli (9) u nastavku:

$$\text{Tonski kilometri [tkm]} = \text{Udaljenost [km]} \cdot \text{Plaćeni teret [t]} \quad (9)$$



Udaljenost (engl. *Distance*,  $D$ ) u formuli predstavlja ortodromsku, odnosno udaljenost duž velike kružnice u kilometrima (engl. *Great Circle Distance*,  $GCD$ ) zbrojenu s udaljenošću od 95 km, a izračunava se formulom (10):

$$D [km] = GCD [km] + 95 km \quad (10)$$

Definirano Uredbom EU601/2012, izračun se dobiva korištenjem udaljenosti duž velike kružnice koja je ujedno najkraća udaljenost između dvije točke na površini Zemlje, u skladu s podacima iz AIP-a i zahtjevima WGS-a 84 [86], [92].

### 5.3.2 Metodologija izračuna emisija ugljikova dioksida

Kao učestala metoda izračuna emisija za izvješća, koristi se izračun količina emisija ugljikova dioksida. Podaci koji se prikupljaju i objavljuju u izvješćima o emisijama  $CO_2$  su: masa potrošenog goriva (u kg i t) i emisije ugljikova dioksida (u kg i t), a podaci se selektiraju na sljedeće načine [91]:

1. tip zrakoplova u floti prijevoznika;
2. registracijska oznaka zrakoplova;
3. vlasništvo zrakoplova (unajmljeni ili vlastiti zrakoplov);
4. letovi koji podliježu ETS-u i oni koji ne podliježu;
5. domaći i međunarodni promet;
6. broj leta;
7. parovi gradova;
8. izuzeća praćenja ETS-om;
9. specifična potrošnja goriva i emitiranih emisija po tipu i registracijskim oznakama zrakoplova;
10. broj letova;
11. ukupno blok vrijeme leta.

Zračni prijevoznici emisije  $CO_2$  računaju jednostavnom formulom (11), umnoškom goriva i emisijskog faktora [10], [86]:

$$Emisije [t CO_2] = Potrošeno gorivo [t] \cdot Emisijski faktor [t CO_2/t goriva] \quad (11)$$

Ovaj izračun radi se za svaki pojedinačni let, a za potrebe izvješćivanja sve potrošnje goriva istog tipa mogu se zbrojiti. Međutim, za godišnje izvješće emisija potrebno je odvojeno izračunati emisije za parove gradova i za državu polaska i dolaska. Zračni prijevoznici dužni su osigurati kako bi njihovi sustavi elektroničke obrade podataka bili sposobni akumulirati te podatke [86].

Emisijski faktor ili faktor emisije goriva važan je ulazni parametar i predstavlja prosječnu stopu emisije iz danog izvora u odnosu na jedinice aktivnosti ili procesa, pod pretpostavkom da je došlo do potpune oksidacije prilikom izgaranja fosilnog goriva. Emisijski faktor izražava se u (t CO<sub>2</sub>/t goriva) . U Tablici 6. prikazani su emisijski faktori za zrakoplovni benzin i zrakoplovna mlazna goriva tipa Jet A, A1 i B [92].

Tablica 6. Emisijski faktori standardnih zrakoplovnih goriva, [92]

| Gorivo                                      | Emisijski faktor (t CO <sub>2</sub> /t goriva) |
|---|--|
| Zrakoplovni benzin (AvGas)                  | 3,10   |
| Benzin za mlazne motore (Jet B)             | 3,10   |
| Kerozin za mlazne motore (Jet A1 ili Jet A) | 3,15   |

Prilikom izračuna količine potrošenog goriva u tonama koriste se dvije metode (metoda A i metoda B). Kako bi se izbjegli nedostaci ili dvostruko brojanje u izračunu potrebno je korištenje isključivo jedne od dviju metoda za svaki zrakoplov [92]. Većina prijevoznika u Hrvatskoj kod izračuna koristi metodu A [33].

Prilikom metode A izračuna potrošenog goriva koristi se formula (12) [86].

$$F_{N,A} = T_N - T_{N+1} + U_{N+1} \quad (12)$$

Prilikom čega je:

$F_{N,A}$  – Stvarna količina potrošenog goriva za promatrani let (let N) metode A;

$T_N$  – Količina goriva koja se nalazi u spremnicima zrakoplova nakon završenog punjenja za promatrani let (let N);

$T_{N+1}$  – Količina goriva koja se nalazi u spremnicima zrakoplova nakon što je punjenje goriva za sljedeći let završeno (let N+1);

$U_{N+1}$  – Količina goriva koja se puni za sljedeći let (let N+1).

Ukoliko se zrakoplov ne puni za sljedeći let, količina goriva koja se nalazi u spremnicima utvrđuje se prilikom prvog idućeg leta koji će taj zrakoplov obaviti. U iznimnim situacijama kao što je održavanje uslijed čega će doći do potpunog pražnjenja spremnika zrakoplova, prijevoznik može zamjeniti  $T_{N+1}$  i  $U_{N+1}$  s iznosom količine goriva koja je ostala u spremnicima s početkom iduće aktivnosti zrakoplova, a koja se evidentira u tehničkom dnevniku [92].

Kod korištenja metode B koristi se formula (13) [86].

$$F_{N,B} = R_{N-1} - R_N - U_N \quad (13)$$

Prilikom čega je:

$F_{N,B}$  – Stvarna količina potrošenog goriva za promatrani let (let N) metode B;

$R_{N-1}$  – Količina preostalog goriva u spremnicima zrakoplova nakon prethodnog leta (leta N-1);

$R_N$  – Količina preostalog goriva nakon promatranog leta (let N);

$U_N$  – Količina goriva kojom se zrakoplov puni za promatrani let (let N).

Količine goriva nakon promatranog leta utvrđuju se nakon gašenja pogonskog sustava. Ukoliko zrakoplovom nije obavljen let prije promatranog leta na kojemu se mjerila potrošnja goriva, prijevoznik može zamjeniti  $R_{N-1}$  s podacima o iznosu količine goriva koja je ostala u spremnicima zrakoplova na kraju prethodne aktivnosti zrakoplova iz tehničkog dnevnika [92].

Potrebno je napomenuti kako je potrošnja goriva pomoćne pogonske jedinice (engl. *Auxiliary Power Unit*, APU) uključena u obje metode praćenja [86].

#### 5.4 Niski emiteri

Zračni prijevoznici koji obave manje od 243 leta kroz tri uzastopna kvartala (siječanj – travanj, svibanj – kolovoz, rujanj – prosinac) kao i prijevoznici koji obave letove s ukupnim godišnjim emisijama manjim od 25 000 tona CO<sub>2</sub>, smatraju se niskim emiterima. Niski emiteri podliježu pojednostavljenom sustavu praćenja, izvješćivanja i verificiranja kako bi im se smanjili financijski troškovi. Za određivanje praga potrebno je koristiti godišnje verificirane emisije iz prethodne godine uz isključivanje emisija ugljikova dioksida koji potječe iz biomase. Letovi koji potpadaju pod izuzeća iz ETS-a ne uključuju se u izračune [86].

Kada godišnje verificirane emisije nisu dostupne, koristi se alat Eurocontrola za procjenu niskih emitera (engl. *Small Emitters Tool*, SET). Alat za procjenu niskih emitera omogućava izračun količine potrošenog goriva i povezanih emisija CO<sub>2</sub> za čitav let, uzvši u obzir karakteristike zračnog prometa pokrivenog ETS-om.

Niskim emiterima je dozvoljena uporaba procjene potrošnje goriva koristeći SET alat koji je implemetirao Eurocontrol. Dozvoljena je i uporaba drugih aplikacija koje je odobrila Europska komisija, a koje mogu obraditi sve potrebne informacije sukladno Eurocontrolovom alatu i koje izbjegavaju smanjene procjene emisija. Zasad nije dozvoljena primjena niti jednog drugog alata za procjenu emisija osim spomenutog Eurocontrolov-og.

Potrošnja goriva izračunata SET kalkulatorom temelji se na statističkim podacima potrošnje goriva stvarnih operacija i stvarnih kretanja zrakoplova. Kao posljedica izračuna temeljem statističkih podataka, alat bi mogao izračunati procijenjene vrijednosti potrošenog goriva i emitiranog CO<sub>2</sub>

koje nešto odstupaju od jednog, pojedinačnog leta koji je realizirao zadani prijevoznik. Do odstupanja dolazi zbog razlika u: konfiguraciji zrakoplova, broju prevezenih putnika, vjetru, kašnjenjima uzrokovanim kontrolom zračnog prometa, raznim podtipovima zrakoplova i slično. Unatoč tome, pruženi podaci osigurati će dovoljno preciznu ukupnu potrošnju goriva i emisije ugljikova dioksida za veći popis letova zbog izračunavanja prosjeka [93].

Uporabom ovog alata zračni prijevoznici procjenjuju potrošnju goriva prema prevaljenoj udaljenosti leta i tipu zrakoplova kojim je let obavljen, izračunava se potrošeno gorivo, a potom se ono množi s emisijskim faktorom te se dobiva procijenjen podatak količine emitiranih emisija CO<sub>2</sub> u kilogramima. Svake se godine izdaje ažurirana verzija kalkulatora kako bi izračun bio što precizniji [86]. Na Slici 19. prikazan je *Excel* kalkulator alata za procjenu niskih emitera.

|    | A  | B                        | C                   | D              | E                    | F                               |
|----|--|--------------------------|---------------------|----------------|----------------------|---------------------------------|
| 1  |  |                          |                     |                |                      |                                 |
| 2  | <b>Select distance unit for City pair distance</b> |                          |                     |                |                      |                                 |
| 3  |  | Nautical mile            |                     |                |                      |                                 |
| 4  |  |                          |                     |                |                      |                                 |
| 5  |  |                          | Total Nb of flights |                | Total Estimated fuel | Total Estimated CO <sub>2</sub> |
| 6  |  |                          |                     |                |                      |                                 |
| 7  |  |                          |                     |                |                      |                                 |
| 8  | Input parameters                                   |                          |                     |                |                      |                                 |
| 9  | ICAO Aircraft Type Designator                      | City pair flown distance | Nb of flights       | Add 95km(51NM) | Estimated Fuel (Kg)  | Estimated CO <sub>2</sub> (Kg)  |
| 10 |  |                          |                     |                |                      |                                 |
| 11 |  |                          |                     |                |                      |                                 |
| 12 |  |                          |                     |                |                      |                                 |
| 13 |  |                          |                     |                |                      |                                 |
| 14 |  |                          |                     |                |                      |                                 |

Slika 19. SET alat, [93]

Gotovo identično Eurocontrolovom alatu za procjenu potrošenog goriva i emisija ugljikova dioksida, za ICAO-vu CORSIA-u, izrađen je kalkulator za procjenu (engl. *CO<sub>2</sub> Estimation and Reporting Tool*, CERT) ICAO-v CERT kalkulator prikazan je na Slici 20.

| INPUT       |                  |                               |  |                       |                         |  | OUTPUT                                     |              |                      |          |  |                  |   |   |          |
|-------------|------------------|-------------------------------|--|-----------------------|-------------------------|--|--|--------------|----------------------|----------|--|------------------|---|---|----------|
| Date (Opt.) | Flight ID (Opt.) | ICAO Aircraft Type Designator | Origin Aerodrome                               | Destination Aerodrome | Total Number of Flights | Total Block Time for all flights (in min.) | Total Fuel Use for all Flights (in tonnes) | Type of Fuel | Data Gap Ref. (Opt.) | Data Gap | Aerodrome Pair Great Circle Distance (in km) | Fuel (in tonnes) | CO <sub>2</sub> Emissions (in tonnes of CO <sub>2</sub> ) | Flight(s) subject to Scope of Applicability of CORSIA | Warnings |
|             |                  | Search Aircraft<br>Custom AC  | Search Aerodrome<br>Aerodome Code<br>Custom AP |                       |                         |  |  |              |                      |          |  |                  |   |   |          |

Slika 20. CERT alat, [94]

## 6. Izračun i analiza dobivenih rezultata emisija

Odabrani zračni prijevoznik, s obzirom na obavljanje letačkih operacija na teritoriju Europske unije, za praćenje emisija koristi metodologiju ETS-a. Izračun emisija ugljikova dioksida koje su analizirane u ovom radu temelji se na domaćim i međunarodnim letovima hrvatskog zrakoplovnog prijevoznika Croatia Airlines-a i to na redovitim linijama iz Zagreba za Split, te iz Zagreba za Frankfurt. Ovi letovi odabrani su s obzirom na to da se sva tri leta obavljaju zrakoplovima tipa Dash 8 – Q400 te s obitelji zrakoplova A320 (A319 i A320).

### 6.1 Specifikacije odabranih zrakoplova

Za izračun su korišteni podaci o emisijama sva tri tipa zrakoplova kojima Croatia Airlines obavlja redovite letove na mreži linija. Prosječna starost flote odabranog prijevoznika za 2021. godinu iznosila je 17.02 godine.

#### 6.1.1 Dash 8 – Q400

Dash 8 – Q400 je elisnomlazni zrakoplov Bombardier Q serije kanadskog proizvođača zrakoplova De Havilland Canada. Serija je razvijena prije 40-ak godina kao vrlo učinkovit zrakoplov namijenjen pretežito za kraće relacije. Serija Q400 prvi puta je poletjela 1998. godine kao najveća verzija ovog elisnomlaznog zrakoplova, a do 2022. godine proizvedeno oko 580 primjeraka ovog tipa. Kapacitet putničke kabine je 76 sjedala. Croatia Airlines ima 6 zrakoplova ovog tipa u svojoj floti. U Tablici 7. prikazane su specifikacije zrakoplova Dash 8 – Q400.

*Tablica 7. Specifikacije zrakoplova Dash 8 - Q400, [95]*

|   |                            |
|---|----------------------------|
| <b>Proizvođač</b>                         | De Havilland Canada        |
| <b>Pogonska skupina</b>                   | 2 x Pratt & Whitney PW150A |
| <b>Najveća brzina leta</b>                | 360 KTS                    |
| <b>Najveća visina leta</b>                | 25000 ft                   |
| <b>Najveća dopuštena masa polijetanja</b> | 29257 kg                   |
| <b>Površina krila</b>                     | 63.08 m <sup>2</sup>       |
| <b>Duljina trupa</b>                      | 32.83 m                    |
| <b>Raspon krila</b>                       | 28.42 m                    |
| <b>Broj zrakoplova u floti</b>            | 6                          |

### 6.1.2 Airbus A319/A320

Zakoplovi serije Airbus A320 spadaju među najpopularnije i najmodernije uskotrupne dvomotorne mlazne zrakoplove predviđene za obavljanje letova srednjeg doleta. Prvi let obavljen je 1984. godine. Glavna značajka obitelji A320 je prva povijesna ugradnja *fly-by-wire* sustava u jedan putnički zrakoplov čime je mehanički sustav upravljanja komandama zamijenjen sustavom upravljanja komandama putem električnih impulsa. Obitelj A320 uključuje tipove letjelica A318, A319, A320 te A321. U svojoj floti Croatia Airlines posjeduje tipove A319 i A320. Dok su s tehničkog su aspekta zrakoplovi gotovo identični, razlike među tipovima unutar A320 obitelji odnose se na dimenzije, odnosno konfiguracija sjedala. Do 2022. godine proizvedeno je više od 10 400 zrakoplova iz obitelji A320. Kapacitet putničke kabine zrakoplova A319 je 144 sjedala, dok je kapacitet zrakoplova A320 174 sjedala. U Tablici 8. prikazane su specifikacije zrakoplova Airbus A319/320.

Tablica 8. Specifikacije zrakoplova A319 i A320, [95]

| Tip                                       | A319                  | A320     |
|---|-----------------------|----------|
| <b>Proizvođač</b>                         | Airbus                |          |
| <b>Pogonska skupina</b>                   | 2 x CFM56             |          |
| <b>Najveća brzina leta</b>                | 450 KTS               |          |
| <b>Najveća visina leta</b>                | 39000 ft              |          |
| <b>Najveća dopuštena masa polijetanja</b> | 64000 kg              | 73500 kg |
| <b>Površina krila</b>                     | 122.40 m <sup>2</sup> |          |
| <b>Duljina trupa</b>                      | 33.84 m               | 37.57 m  |
| <b>Raspon krila</b>                       | 34.10 m               |          |
| <b>Broj zrakoplova u floti</b>            | 5                     | 1        |

## 6.2 Izračun emisija ugljikova dioksida

Izračun prosječnih emisija ugljikova dioksida na odabranim letovima Croatia Airlines temeljen je na javno dostupnim podacima sadržanim u Nefinancijskom izvješću za 2021. godinu koje je dostupno na internetskim stranicama prijevoznika. Podaci emisija CO<sub>2</sub> izračunati su za pojedini let za svaki tip zrakoplova i to u obliku emisije CO<sub>2</sub> izražene u kilogramima po svakom ostvarenom letu. U obzir je uzet i prosječni putnički faktor popunjenosti koji je javno dostupan u Godišnjem izvješću društva Croatia Airlines d.d. i Grupe Croatia Airlines za 2019., 2020. i 2021. godinu. Za potrebe izračuna, proučeni su i ostali prometni pokazatelji Croatia Airlinesa, a izračunate su ukupne emisije ugljikova dioksida za odabrani let izražene u kilogramima uz usporedbu dobivenih rezultata primjenom SET alata. Rezultati su izračunati za predpandemijsku 2019. godinu koja je

ujedno bila i najuspješnija godina za prijevoznika, te su uspoređeni s izračunatim rezultatima iz 2020. i 2021. godine, kako u domaćem, tako i u međunarodnom prometu ovog prijevoznika.

### 6.2.1 Podaci o emisijama CO<sub>2</sub> i prometni pokazatelji odabranog prijevoznika

Kao europski zračni prijevoznik Croatia Airlines je dužan bilježiti i izvješćivati o emisijama stakleničkih plinova, kako u skladu s EU-ETS-om, tako i sa Swiss ETS-om koji je švicarska inačica europskog sustava trgovanja emisijama, ali i UK ETS-om koji se također izvješćuje nakon što je Ujedinjeno Kraljevstvo prestalo biti članicom Europske unije. Egzaktan podatak o potrošenom zrakoplovnom gorivu prati se u tonama, te se kao takav smatra izuzetno strogim i povjerljivim poslovnim podatkom koji su prijevoznici zakonski dužni štiti. Svi podaci koji su javno dostupni dobiveni su uporabom metodologije izračuna pomoću stručne statistike prometnih učinaka koje Croatia Airlines objavljuje u svojim izvješćima. Podaci su u skladu s bazom podataka EU-ETS-a te indikatora koji se najčešće koristi u zrakoplovnoj industriji, a to je CO<sub>2</sub>/RPK, odnosno, emisije ugljikova dioksida u kilogramima po ostvarenom prihodovnom putničkom kilometru (engl. *Revenue Passenger Kilometer*, RPK). RPK je po definiciji zbroj umožaka prevezenih putnika od kojih prijevoznik ostvaruje prihod po svakoj dionici leta i ostvarenih kilometara koje je zrakoplov prevalio na toj dionici [96].

U Tablici 9. prikazani su objavljeni podaci o emisijama ugljikova dioksida zračnog prijevoznika Croatia Airlines za 2019., 2020. i 2021. godinu izraženi u kilogramima.

*Tablica 9. Ukupne zrakoplovne emisije CO<sub>2</sub> za period 2019. – 2021. godine prijevoznika Croatia Airlines, [96]*

| <b>Emisije</b>                        | <b>2019.</b> | <b>2020.</b> | <b>2021.</b> |
|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Ukupne emisije zrakoplova [kg]</b> | 206.332.154  | 78.631.620   | 99.768.986   |

Podaci za emisije ugljikova dioksida kao što je već navedeno, izražavaju se u količinama emisije prema prihodovnom putničkom kilometru prema tipu zrakoplova, zasebno za domaći i međunarodni putnički promet, Tablice 10. i 11.

*Tablica 10. Zrakoplovne emisije ugljikova dioksida po RPK za tipove zrakoplova A319 i A320, za domaći i međunarodni promet u periodu 2019. – 2021. godine, [96]*

| <b>A319 i A320</b>                              | <b>2019.</b> | <b>2020.</b> | <b>2021.</b> |
|---|--------------|--------------|--------------|
| <b>CO<sub>2</sub> po RPK (domaći) [kg]</b>      | 0.187        | 0.292        | 0.304        |
| <b>CO<sub>2</sub> po RPK (međunarodni) [kg]</b> | 0.096        | 0.171        | 0.166        |

Tablica 11. Zrakoplovne emisije ugljikova dioksida po RPK za tip zrakoplova Dash 8-Q400, za domaći i međunarodni promet u periodu od 2019. – 2021. godine, [96]

| <b>Dash 8-Q400</b>                              | <b>2019.</b> | <b>2020.</b> | <b>2021.</b> |
|---|--------------|--------------|--------------|
| <b>CO<sub>2</sub> po RPK (domaći) [kg]</b>      | 0.167        | 0.247        | 0.233        |
| <b>CO<sub>2</sub> po RPK (međunarodni) [kg]</b> | 0.125        | 0.167        | 0.161        |

Kako bi se izvršio izračun količine emitiranog CO<sub>2</sub> po traženim parametrima, potrebni su podaci o prosječnom putničkom faktoru popunjenosti (popunjenost putničke kabine). Faktor popunjenosti je metrička vrijednost koja mjeri postotak raspoloživog kapaciteta sjedala koji je popunjen putnicima pri čemu visok faktor popunjenosti znači da je prijevoznik prodao većinu svojih raspoloživih sjedala te se on preferira u odnosu na niski faktor popunjenosti.

U Tablici 12. prikazani su ostvareni ključni prometni pokazatelji (2019.–2021.) koji uključuju: putničke kilometre, raspoloživa sjedala kilometre (engl. *Available Seat Kilometers*, ASK) i putnički faktor popunjenost. Spomenuta tri pokazatelja od najvećeg su značaja za izračun emisija ovog rada. Raspoloživa sjedala kilometri predstavljaju zbroj umnožaka raspoloživih sjedala na svakoj etapi leta s kilometražom koju su zrakoplovi prevalili na tim etapama.

Tablica 12. Prometni pokazatelji Croatia Airlines-a za 2019. – 2021. godinu, [97]

| <b>OPIS</b>                         | <b>2019.</b>  | <b>2020.</b> | <b>2021.</b>  |
|-------------------------------------|---------------|--------------|---------------|
| <b>Nalet [km]</b>                   | 18.394.000    | 8.004.000    | 10.279.000    |
| <b>Broj uzlijetanja</b>             | 28.432        | 13.052       | 16.507        |
| <b>Operativno vrijeme [h]</b>       | 40.553        | 17.570       | 22.395        |
| <b>Prevezeni putnici</b>            | 2.179.000     | 618.000      | 788.000       |
| <b>Prevezen teret [t]</b>           | 2.135         | 1.442        | 1.320         |
| <b>Ostvareni putnički - km</b>      | 1.676.000.000 | 432.000.000  | 562.000.000   |
| <b>Raspoloživa sjedala - km</b>     | 2.277.000.000 | 871.000.000  | 1.128.000.000 |
| <b>Putnički faktor popunjenosti</b> | 73.6 %        | 49.6 %       | 49.9 %        |

Croatia Airlines je 2019. godine ostvarila najuspješnije rezultate. Prosječna starost flote iznosila je 15.6 godina. Tijekom ljetne sezone (od travnja do listopada) u uporabi su bila dva dodatna unajmljena CRJ1000 zrakoplova. Putnički faktor popunjenosti iznosio je 73.6%, dok je godinu ranije iznosio 73.5%. Prihod kompanije povećao se za 1.6% u odnosu na godinu ranije. Kompanija je smanjila operativni minus sa -76.5 milijuna kuna na -55.4 milijuna kuna, a istovremeno je dnevna iskoristivost zrakoplova povećana s 9.1 na 9.2 sata u danu [97]. Rezultati u pogledu emisija po RPK su također smanjeni u odnosu na 2018., na floti obitelji A320 u međunarodnom prometu sa 0.114 kg CO<sub>2</sub> po RPK na 0.096 kg CO<sub>2</sub> po RPK. Prosječna starost flote 2020. godine iznosila je 16.02 godina na floti od 13 zrakoplova, međutim, flota zrakoplova Airbus je bila najmanje utilizirana radi utjecaja pandemije i slabijih faktora popunjenosti putničke kabine [96].



Godine 2021. Croatia Airlines je obavila 26% više letova u odnosu na 2020. godinu, dok je pad broja letova 2021. godine u odnosu na 2019. iznosio 42%. Ukupno povećanje zrakoplovnih emisija Croatia Airlines-a 2021. godine bilo je 26.88% veće u odnosu na 2020. godinu.

### 6.2.2 Metodologija izračuna količina emisija po RPK

Izračun emisija CO<sub>2</sub> prema RPK temeljen je na podacima potrošenog goriva za odabrani let. Procjena potrošnje goriva za let duljine 805 kilometara po velikoj kružnici (plus 95 kilometara koji se nužno dodaju u izračunu) za tipični mlazni zrakoplov srednjeg doleta, kojim se najčešće obavlja ovakav tip letova je oko 3600 kg goriva. U ovu masu goriva uključeno je gorivo potrebno za taksiranje, polijetanje, krstarenje, slijetanje i taksiranje do parkirne pozicije određene aerodroma. Korišten je emisijski faktor koji je prethodno objašnjen, a koji za zrakoplovno mlazno gorivo iznosi 3.15, (po gramu izgoranog goriva, emitira se 3.15 grama CO<sub>2</sub>). Kada bi se u izračunu koristili globalni prosječni putnički faktor popunjenosti od 67.2% (IATA 2021.) na zrakoplovu kapaciteta 160 sjedala, to bi predstavljalo 107.52 zauzetih sjedala u prosjeku. Potrošeno gorivo po putničkom kilometru je ukupna potrošnja goriva podijeljena s umnoškom duljine leta po velikoj kružnici i prosječnog broja zauzetih sjedala na letu [98].

Uvrštavanjem podatka u navedenu formulu dobiva se podatak kako potrošeno gorivo po putničkom kilometru iznosi 0.0372 kg, odnosno 37.2 g po RPK.

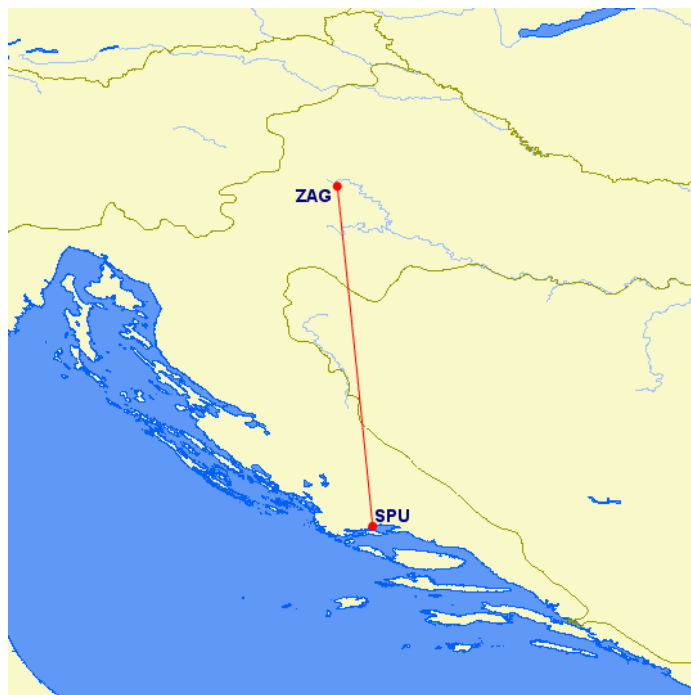
$$\frac{3600 \text{ kg}}{900 \text{ km} \cdot 107.52 \text{ pax}} = 0.0372 \text{ kg goriva po RPK}$$

Dobiveni podatak o količini potrošenog goriva po RPK množi se s emisijskim faktorom od 3.15 te se dobiva podatak o 117.18 g CO<sub>2</sub> po RPK.

$$37.2 \text{ g goriva po RPK} \cdot 3.15 = 117.18 \text{ g CO}_2 \text{ po RPK}$$

### 6.3 Izračun emisija CO<sub>2</sub> za let Zagreb – Split

Za izračun emisija u domaćem prometu odabran je domaći let između Zagreba i Splita prijevoznika Croatia Airlines koji obavljaju sva tri tipa zrakoplova u floti. Prevaljena udaljenost korištena za izračun emisija leta je 246 kilometara po velikoj kružnici (GCD) plus 95 kilometara koja se koristi u sustavu praćenja, izvješćivanja i verifikacije u sklopu ETS-a. Izračunu emisija između para gradova mora se dodati udaljenost od 95 kilometara (odnosno 51.295 NM) koja predstavlja odlazni i prilazni segment leta te stvarno prevaljenu putanju duž zračne rute odobrene u planu leta. Na karti (Slika 21.) prikazana je ruta duž velike kružnice. Za izračun i analizu emisija korišteni su objavljeni podaci putničkog faktora popunjenosti kabine i ostvarene emisije CO<sub>2</sub> po RPK. Linija Zagreb – Split održavana je za vrijeme čitavog trajanja pandemije koronavirusa uključujući i period potpunog zatvaranja u proljeće 2020 godine.



Slika 21. Direktna ruta duž velike kružnice između Zagreba i Splita, [99]

### 6.3.1 Analiza emisija CO<sub>2</sub> za 2019. godinu

U nastavku (Tablica 13). je izračun emisija CO<sub>2</sub> za sva tri tipa zrakoplova u floti Croatia Airlinesa tijekom 2019. godine na liniji od Zagreba do Splita koja za potrebe ovog izračuna iznosi 341 kilometar. Količine emisija CO<sub>2</sub>: po RPK, po putniku, ukupne emisije i emisije SET izražene su u kilogramima.

Tablica 13. Analiza emisija na letu Zagreb - Split 2019. godine

| Tip i kapacitet zrakoplova | Uvjeti                         | Emisije po putniku | Ukupne emisije | Emisije SET |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------|-------------|
| <b>Dash 8 Q-400</b><br>76  | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.167 | 56.947             | 3185.387       | 2495        |
|                            | PLF – 73.6%                    |                    |                |             |
| <b>A319</b><br>144         | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.187 | 63.767             | 6758.282       | 5724        |
|                            | PLF – 73.6%                    |                    |                |             |
| <b>A320</b><br>174         | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.187 | 63.767             | 8166.257       | 6070        |
|                            | PLF – 73.6%                    |                    |                |             |

Prema dostupnim podacima iz 2019. godine, iznos emitiranog CO<sub>2</sub> prema ostvarenom putničkom kilometru bio je u prosjeku europskih zračnih prijevoznika. S prosječnom popunjenošću putničke

kabine u iznosu od 73.6%, prosječno su ovim tipom zrakoplova prevezena 55.94 putnika. Slijedom tog podatka, svaki putnik je proizveo emisije CO<sub>2</sub> u iznosu od 56.947 kilograma, a na čitavom letu je u prosjeku zrakoplov emitirao 3185.387 kg CO<sub>2</sub>. Za usporedbu s podacima iz alata SET, statistički izračun emisija na razini Europske unije prema potrošenom gorivu za ovaj let iznosi 2495 kg CO<sub>2</sub>, odnosno manje od izračunate vrijednosti prosječnih emisija prijevoznika Croatia Airlines.

Iznos emitiranog CO<sub>2</sub> prema ostvarenom putničkom kilometru zrakoplovom A319 nešto je veći nego li na zrakoplovu Dash 8 Q-400. S već navedenom prosječnom popunjenošću putničke kabine, u prosjeku je prevezeno 105.98 putnika zrakoplovom A319 na liniji između Zagreba i Splita. Svaki putnik emitirao je 63.767 kilograma CO<sub>2</sub>, dok je ovaj tip zrakoplova po jednom letu od Zagreba do Splita letu emitirao 6758.282 kg CO<sub>2</sub>, za usporedbu, korištenjem SET alata izračunava se podatak o 5724 kg CO<sub>2</sub> što je oko 1000 kg CO<sub>2</sub> manje u odnosu na izračun prema podacima prijevoznika.

Objavljeni podaci o emitiranom CO<sub>2</sub> prema RPK ne razlikuju se za tip A319 i A320, stoga je za istu popunjenost putničke kabine, u prosjeku na ovoj liniji prevezeno 128.06 putnika. Svaki putnik emitirao je 63.767 kilograma CO<sub>2</sub>, kao i za tip A319, dok je prosječna vrijednost emisija za ovaj zrakoplov na čitavom letu od Zagreba do Splita 8166.257 kg CO<sub>2</sub>. Usporedbom sa SET alatom, dobiven je podatak o emitiranim 5182 kg CO<sub>2</sub> iz čega se vidi da je utilizacija većeg zrakoplova sa slabijim putničkim faktorom popunjenosti manje isplativa jer uzrokuje emisije od preko 2000 kg više CO<sub>2</sub>.

### 6.3.2 Analiza emisija CO<sub>2</sub> za 2020. godinu

U nastavku (Tablica 14.) je izračun emisija CO<sub>2</sub> za sva tri tipa zrakoplova u floti Croatia Airlinesa tijekom 2020. godine na liniji od Zagreba do Splita koja za potrebe ovog izračuna iznosi 341 kilometar. Količine emisija CO<sub>2</sub>: po RPK, po putniku, ukupne emisije i emisije SET izražene su u kilogramima.

*Tablica 14. Analiza emisija na letu Zagreb - Split 2020. godine*

| Tip i kapacitet zrakoplova       | Uvjeti                         | Emisije po putniku | Ukupne emisije | Emisije SET |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------|-------------|
| <b>Dash 8 Q-400</b><br><b>76</b> | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.247 | 84.227             | 3175.021       | 2495        |
|                                  | PLF – 49.6%                    |                    |                |             |
| <b>A319</b><br><b>144</b>        | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.292 | 99.572             | 7111.831       | 5724        |
|                                  | PLF – 49.6%                    |                    |                |             |
| <b>A320</b><br><b>174</b>        | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.292 | 99.572             | 8593.462       | 6070        |
|                                  | PLF – 49.6%                    |                    |                |             |

Početak 2020. godine (siječanj i veljača) faktor popunjenosti bio je približno jednak brojevima u zimskoj sezoni iz prethodnih godina, međutim s dolaskom pandemije koronavirusa i ograničavanja putovanja, zračni promet gotovo da je stao. Već iz podataka za zrakoplov Dash 8 Q-400 o emitiranih 0.247 kg CO<sub>2</sub> po RPK vidljivo je veliko povećanje emisija po putniku u odnosu na 2019. godinu. Prosječni faktor popunjenosti putničke kabine se smanjio na 49.6%, čime je na liniji između Zagreba i Splita prosječno prevoženo 37.70 putnika tipom Dash 8 Q-400. Emisije CO<sub>2</sub> su po letu iznosile 3175.021 kg, dok izračun SET alatom daje podatak o 2495 kg CO<sub>2</sub>. Vidljivo je da je Eurocontrolova aproksimacija emisija u odnosu na izračun prema podacima prijevoznika znatno manja.

Na floti zrakoplova familije A320 došlo je do još većeg povećanja u emisijama CO<sub>2</sub> po ostvarenom RPK s obzirom na manji faktor popunjenosti kabine. Tipom A319 je prosjeku na liniji Zagreb – Split prevezeno 71.42 putnika uz izračunatu emisiju CO<sub>2</sub> duž čitavog leta u iznosu od 7111.831 kg. SET alatom izračunato je 5724 kg emitiranog CO<sub>2</sub> prema stvarnim kretanjima ovog tipa zrakoplova u Europi.

Za tip zrakoplova A320 koji u floti Croatia Airlines ima i najveći putnički kapacitet, slab faktor popunjenosti kabine najviše je utjecao na dobivenu vrijednost. U prosjeku je na ovoj liniji prevezeno 86.30 putnika, prilikom čega je jedan putnik emitirao 99.572 kg CO<sub>2</sub>, dok je na razini čitavog leta emitirano 8593.462 kg CO<sub>2</sub>. Podatak iz SET alata, s obzirom na to da koristi podatke isključivo o potrošenom gorivu duž rute, dobiven je podatak o emitiranih 6070 kg CO<sub>2</sub>. Odstupanje od preko 2000 kg CO<sub>2</sub> kod izračuna SET alatom dolazi između ostalog i radi metodologije kojom SET aproksimira emisije, gdje se ne uzima u obzir optimalna visina leta (koja je u domaćem prometu znatno niža), ali i to da je aproksimacija temeljena na svim letovima koji se odvijaju na području Eurocontrolova.

### 6.3.3 Analiza emisija CO<sub>2</sub> za 2021. godinu

U nastavku (Tablica 15.) je izračun emisija CO<sub>2</sub> za sva tri tipa zrakoplova u floti Croatia Airlinesa tijekom 2021. godine na liniji od Zagreba do Splita koja za potrebe ovog izračuna iznosi 341 kilometar. Količine emisija CO<sub>2</sub>: po RPK, po putniku, ukupne emisije i emisije SET izražene su u kilogramima.

Tablica 15. Analiza emisija na letu Zagreb - Split 2021. godine

| Tip i kapacitet zrakoplova | Uvjeti                         | Emisije po putniku | Ukupne emisije | Emisije SET |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------|-------------|
| Dash 8 Q-400<br>76         | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.233 | 79.453             | 3013.176       | 2548        |
|                            | PLF – 49.9%                    |                    |                |             |
| A319<br>144                | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.304 | 103.664            | 7448.880       | 5913        |
|                            | PLF – 49.9%                    |                    |                |             |
| A320<br>174                | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.304 | 103.664            | 9000.730       | 6265        |
|                            | PLF – 49.9%                    |                    |                |             |

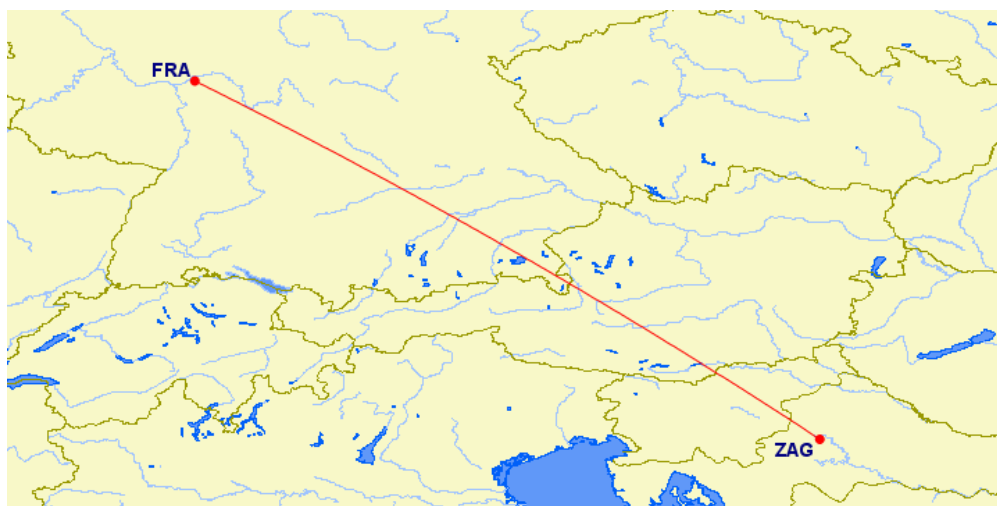
S obzirom na to da se u drugoj polovini 2021. godine masovnom uporabom cjepiva promet počeo oporavljati, vidljivo je i poboljšanje u faktoru popunjenosti putničke kabine kod tipa Dash 8 Q-400. Uz poboljšan faktor popunjenosti kabine, emisije CO<sub>2</sub> po RPK su se također smanjile. Zrakoplovom Dash 8 Q-400 u prosjeku je prevezeno 37.92 putnika. Prosječna razina emitiranog CO<sub>2</sub> po putniku na ovom domaćem letu bila 79.453 kg, dok je ukupna emisija CO<sub>2</sub> za let iznosila 3013.176 kg. SET alatom izračunat je podatak o 2548 kg CO<sub>2</sub> emitiranog na ovom letu što je povećanje u odnosu 2020. godinu.

S obzirom na to da je većina letova u 2021. godini, a posebice u prvoj polovici godine obavljena zrakoplovima iz flote Dash, vidljiv je podatak čak po povećanju emisije CO<sub>2</sub> po RPK na floti zrakoplova A319 i A320 i to s 0.292 na 0.304 kg. Povećanje je uzrokovano ponovnom utilizacijom flote tih zrakoplova s manjim putničkim faktorom popunjenosti. Prosječna popunjenost leta bila je 71.86 putnika za tip A319, prilikom čega je emitirano 7448.880 kg CO<sub>2</sub> od kojih je svaki putnik emitirao 103.664 kg. Izračunom uporabom SET alata dobiven je aproksimativni podatak o emisiji 5913 kg CO<sub>2</sub> na letu ove duljine s ovim tipom zrakoplova.

Utilizacijom zrakoplova A320 na ruti između Zagreba i Splita vidljivo je kako je prosječno prevezeno 86.83 putnika ovim tipom letjelice. Emitirano je 103.664 kg CO<sub>2</sub>, po putniku, dok je po letu emitirano 9000.730 kg CO<sub>2</sub>. Izračunom uporabom SET alata dobiven je podatak o emitiranih 6265 kg CO<sub>2</sub> za ovaj tip zrakoplova na ruti ove duljine, čime je razvidno kako je uporaba ovog tipa zrakoplova najmanje rentabilna za prijevoznika u slučaju slabijeg punjenja putničke kabine.

## 6.4 Izračun emisija CO<sub>2</sub> za let Zagreb – Frankfurt

Kod izračuna emisija CO<sub>2</sub> u međunarodnom prometu Croatia Airlines odabran je međunarodni let između Zagreba i Frankfurta. Ovaj let su u promatranom periodu od 2019. do 2021. godine obavljala sva tri tipa zrakoplova iz flote prijevoznika. Prevaljena udaljenost leta duž velike kružnice je 736 kilometara + 95 kilometara koja se koristi u sustavu praćenja, izvješćivanja i verifikacije u sklopu ETS-a. Izračunu emisija između para gradova mora se dodati udaljenost od 95 kilometara (odnosno 51.295 NM) koja predstavlja odlazni i prilazni segment leta te stvarno prevaljenu putanju duž zračne rute odobrene u planu leta. Na karti u nastavku (Slika 22) prikazana je ruta duž velike kružnice. Za izračun emisija CO<sub>2</sub> korišteni su javno objavljeni podaci o putničkom faktoru popunjenosti te podaci o ostvarenim emisijama CO<sub>2</sub> po RPK. Linija Zagreb – Frankfurt održavana je za čitavo vrijeme trajanja pandemije koronavirusa, te je općenito linija s najvećim brojem letova iz prijevoznikova čvorišta u Zagrebu.



Slika 22. Direktna ruta duž velike kružnice između Zagreba i Frankfurta, [99]

### 6.4.1 Analiza emisija CO<sub>2</sub> za 2019. godinu

U nastavku je izračun emisija CO<sub>2</sub> za sva tri tipa zrakoplova u floti Croatia Airlinesa tijekom 2019. godine na liniji od Zagreba do Frankfurta (Tablica 16.) koja za potrebe ovog izračuna iznosi 831 kilometar. Količine emisija CO<sub>2</sub>: po RPK, po putniku, ukupne emisije i emisije SET izražene su u kilogramima.

Tablica 16. Analiza emisija na letu Zagreb - Frankfurt 2019. godine

| Tip zrakoplova i kapacitet       | Uvjeti                         | Emisije po putniku | Ukupne emisije | Emisije SET |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------|-------------|
| <b>Dash 8 Q-400</b><br><b>76</b> | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.125 | 103.875            | 5810.352       | 4886        |
|                                  | PLF – 73.6%                    |                    |                |             |
| <b>A319</b><br><b>144</b>        | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.096 | 79.776             | 8454.980       | 10058       |
|                                  | PLF – 73.6%                    |                    |                |             |
| <b>A320</b><br><b>174</b>        | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.096 | 79.776             | 10216.434      | 10641       |
|                                  | PLF – 73.6%                    |                    |                |             |

U 2019. godini, koja je po rezultatima bila iznimno uspješna u poslovanju prijevoznika, zrakoplov Dash 8 Q-400 bio je prosječno popunjen s 55.94 putnika, a emitirana emisija CO<sub>2</sub> bila je nešto manja nego u domaćem prometu te je iznosila 0.125 kg CO<sub>2</sub> po RPK. U prosjeku je emitirano 103.875 kg CO<sub>2</sub> po putniku, odnosno 5810.352 kg CO<sub>2</sub> po letu na liniji između Zagreba i Frankfurta. Podatak iz alata SET aproksimira 4886 kg CO<sub>2</sub>, što je ipak nešto manje u odnosu na izračunate emisije prijevoznika, međutim u obzir treba uzeti sezonalnost koja je jako izražena u Republici Hrvatskoj.

Zrakoplov A319 je u međunarodnom prometu imao prosjek od 0.096 kg CO<sub>2</sub> po RPK, što je rezultat koji je čak i manji od prosjeka europskih prijevoznika. U prosjeku je na ovom letu prevezeno 105.98 putnika, s emisijom CO<sub>2</sub> po putniku u iznosu od 79.776 kg, odnosno po letu je iznos emisija iznosio 8454.980 kg. SET alatom dobiven je podatak o 10 058 kg CO<sub>2</sub>, što je čak 1603.02 kg CO<sub>2</sub> više nego li je to izračunato za prosjek Croatia Airlinesa, odnosno taj prijevoznik je potrošio gotovo 500 kg goriva manje nego li daje aproksimacija Eurocontrola i SET alata.

Zrakoplov tipa A320 u prosjeku je prevozio 128.06 putnika na letu između Zagreba i Frankfurta. Po putniku je u prosjeku emitirano 79.776 kg CO<sub>2</sub>, dok je na razini čitavog leta emitirano 10 216.434 kg CO<sub>2</sub>. S obzirom na duljinu ovog leta podatak je čak i manji nego dobiven izračunom SET alatom koji je aproksimirao 10 641 kg CO<sub>2</sub>.

#### 6.4.2 Analiza emisija CO<sub>2</sub> za 2020. godinu

U nastavku je izračun emisija CO<sub>2</sub> za sva tri tipa zrakoplova u floti Croatia Airlinesa tijekom 2020. godine na liniji od Zagreba do Frankfurta (Tablica 17.), koja za potrebe ovog izračuna iznosi 831 kilometar. Količine emisija CO<sub>2</sub>: po RPK, po putniku, ukupne emisije i emisije SET izražene su u kilogramima.

Tablica 17. Analiza emisija na letu Zagreb - Frankfurt 2020. godine

| Tip i kapacitet zrakoplova | Uvjeti                         | Emisije po putniku | Ukupne emisije | Emisije SET |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------|-------------|
| Dash 8 Q-400<br>76         | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.167 | 138.777            | 5231.338       | 4886        |
|                            | PLF – 49.6%                    |                    |                |             |
| A319<br>144                | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.171 | 142.101            | 10149.422      | 10058       |
|                            | PLF – 49.6%                    |                    |                |             |
| A320<br>174                | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.171 | 142.101            | 12263.885      | 10641       |
|                            | PLF – 49.6%                    |                    |                |             |

S obzirom na pandemiju koronavirusa, zanimljivo je da su emisije prijevoznika u međunarodnom prometu izosile 0.167 kg CO<sub>2</sub> po RPK, što je jednako kao i u domaćem prometu 2019. godine za tip zrakoplova Dash 8 Q-400. Razlog ovog blagog porasta emisija je već navedena povećana utilizacija zrakoplova Dash 8 Q-400, posebice u doba potpunog zatvaranja (*lockdown-a*), ali i otkazivanje velikog broja letova, pri čemu dio flote prijevoznika uopće nije odrađivao letove. Prosječno je zrakoplovom Dash 8 Q-400 prevezeno 37.70 putnika. Iz dostupnih je podataka izračunato 138.777 kg CO<sub>2</sub> po putniku na letu između Zagreba i Frankfurta, što je ipak znatno povećanje u odnosu na 103.875 kg u 2019. godini. Po letu je emitirano 5231.338 kg CO<sub>2</sub>, što je nešto manje nego li je to bilo u 2019. godini s obzirom na manju masu zrakoplova. Podacima iz SET alata dobiven je podatak od 4886 kg CO<sub>2</sub>, koji je jednak podatku iz 2019. godine.

U prosjeku je 2020. godine tipom A319 prevezeno 71.42 putnika, što je manje od polovine dostupnih sjedala na ovom zrakoplovu. Po putniku su emisije iznosile 125.86 kg CO<sub>2</sub>, dok je na razini leta ukupna količina emisija iznosila 10 149.422 kg CO<sub>2</sub>. Podatak iz SET alata je 10 058 kg CO<sub>2</sub> emitiranih po letu između Zagreba i Frankfurta, iz čega je vidljivo da je kod Croatia Airlines emitirano čak manje emisija nego li je to bio slučaj kod drugih prijevoznika u prvoj pandemijskoj godini. Potrebno je uzeti u obzir i da je linija Zagreb Frankfurt bila jedina koja se odvijala čitavo vrijeme trajanja pandemije.

S obzirom da je u 2020. godini samo jedan tip zrakoplova A320 bio u uporabi kod prijevoznika, a i zbog smanjene potražnje za većim brojem dostupnih sjedala, njime je prevezeno u prosjeku 86.30 putnika, što iznosi 142.101 kg CO<sub>2</sub> po putniku. Temeljem tog podatka izračunato je kako je na letu Zagreb Frankfurt emitirano 12 263.885 kg CO<sub>2</sub>, što je najveća količina emitiranih emisija CO<sub>2</sub> u promatranim periodima za ove letove. SET alat izračunava za gotovo 1500 kg manje emisija CO<sub>2</sub>, odnosno emisije 10 641 kg CO<sub>2</sub> na letu ove duljine unutar Europske unije, iz čega se može uočiti da je količina emisija Croatia Airlines-a bila veća nego li je to europski prosjek za ovaj tip zrakoplova na letu udaljenosti od 831 km.



### 6.4.3 Analiza emisija CO<sub>2</sub> za 2021. godinu

U nastavku je izračun emisija CO<sub>2</sub> za sva tri tipa zrakoplova u floti Croatia Airlinesa tijekom 2021. godine na liniji od Zagreba do Frankfurta (Tablica 18.) koja za potrebe ovog izračuna iznosi 831 kilometar. Količine emisija CO<sub>2</sub>: po RPK, po putniku, ukupne emisije i emisije SET izražene su u kilogramima.

Tablica 18. Analiza emisija na letu Zagreb - Frankfurt 2021. godine

| Tip i kapacitet zrakoplova | Uvjeti                         | Emisije po putniku | Ukupne emisije | Emisije SET |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------|-------------|
| Dash 8 Q-400<br>76         | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.161 | 133.791            | 5073.890       | 5075        |
|                            | PLF – 49.9%                    |                    |                |             |
| A319<br>144                | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.166 | 137.946            | 9912.248       | 10253       |
|                            | PLF – 49.9%                    |                    |                |             |
| A320<br>174                | CO <sub>2</sub> po RPK – 0.166 | 137.946            | 11977.299      | 10971       |
|                            | PLF – 49.9%                    |                    |                |             |

Za tip zrakoplova Dash 8 Q-400 u 2021. godini je već iz objavljenih podataka vidljivo smanjenje emisija CO<sub>2</sub> po RPK, koje se smanjilo s 0.167 na 0.161 kg uslijed poboljšanja popunjenosti putničke kabine. Prosječni faktor popunjenosti putničke kabine i dalje je bio malo ispod 50%, te je u prosjeku na letu Zagreb – Frankfurt prevezeno 37.92 putnika. Po putniku, pojedinačne emisije iznosile su 133.791 kg CO<sub>2</sub>. Za usporedbu sa SET alatom, čijim je izračunom dobiven podatak o 5075 kg CO<sub>2</sub>, uočava se da je prijevoznik na ovom letu emitirao količinu emisija gotovo jednaku Eurocontrolovoj aproksimaciji.

Poboljšanjem faktora popunjenosti putničke kabine, koji je posljedica smanjenja ograničenja putovanja i djelomičnim ukidanjem restrikcija (posebice u drugoj polovici 2021. godine), došlo je do poboljšanja u emisijama CO<sub>2</sub> po RPK u tipovima A319 i A320. U prosjeku je tipom A319 između Zagreba i Frankfurta putovalo 71.86 putnika s pojedinačnim emisijama od 137.946 kg CO<sub>2</sub>, odnosno po emisijama na cijelom letu u iznosu od 9912.248 kg CO<sub>2</sub>. SET alatom izračunat je podatak o 10 253 kg CO<sub>2</sub> na letu ove duljine tipa zrakoplova A319, što je neobično povećanje u odnosu na podatak SET kalkulatora za 2020. godinu, kada je iznosilo 10 058 kg CO<sub>2</sub>. Potrebno je napomenuti da su se u 2021. godini postupno olakšavale mjere putovanja, a posebice u ljetnoj sezoni.

Tipom zrakoplova A320, prijevoznik je uz prosječnu popunjenost putničke kabine od 49.9% u prosjeku na ovoj liniji preveo 86.83 putnika, što rezultira emisijama od 122.18 kg CO<sub>2</sub> po putniku. Na razini čitavog leta emitirano je 11 977.299 kg CO<sub>2</sub>, što je manje od emisija iz 2020. SET alatom dobiven je podatak o emitiranih 10971 kg CO<sub>2</sub> na letu ove duljine, što je čak 1000 kg manje CO<sub>2</sub> u odnosu na podatke prijevoznika.

## 7. Zaključak

Postupak smanjenja emisija zrakoplova vezuje se uz ekonomsku bilancu zračnog prijevoznika. Smanjenjem potrošnje smanjuje se trošak goriva, a tim se manjim troškom smanjuju i emisije. Učinkovitim trošenjem goriva zračni prijevoznik štedi kako u području ekologije, tako i u ekonomskom smislu. Uz povećanje ukupnih emisija zrakoplova u periodima visokih faktora popunjenosti putničke kabine, često se događa da let zrakoplovom postaje ekološki prihvatljiviji od vožnje automobilom (koji je u hrvatskom domaćem prometu najveća konkurencija zračnom prijevozu), posebice ukoliko se u automobilu nalazi jedan do dva putnika. Zaključuje se da se s većim putničkim faktorom popunjenosti emisije stakleničkih plinova ne povećavaju, već imaju vrlo povoljan utjecaj na količinu emisija CO<sub>2</sub> po RPK.

Prema izračunatim podacima i zadanom putničkom faktoru popunjenosti, najmanja emisiju CO<sub>2</sub> po RTK u domaćem prometu ostvarena je zrakoplovom Dash 8 Q-400, posebice u zimskim mjesecima kada je zračnom prijevozniku velik izazov prodati i napuniti zrakoplov tipa A320 sa 174 putnička sjedala. Važno je istaknuti kako je SET alat (s kojime su stvarni podaci prijevoznika uspoređeni) dimenzioniran prema podacima koje aviokompanije unose u Eurocontrolovu bazu, te se jedino njime mogu dobiti realniji prosjeci kod izračuna emisija. SET alat, kao što je već navedeno, jedini je odobreni alat za službene izračune. Ipak, najtočniji podaci o emisijama dobiveni su izračunom korištenjem stvarnih brojeva koji su objavljeni od strane prijevoznika. Usporedbom emisija CO<sub>2</sub> po letu jednog zrakoplova iz izračuna je razvidno da je ukupna količina emisija približno jednaka kako u 2019., tako i u pandemijskim godinama 2020. i 2021. Potrošnja goriva nije se drastično smanjivala, a smanjenje emisija isključivo rezultat je smanjenog faktora popunjenosti putničke kabine za oko 20%. Važno je istaknuti kako je linija Zagreb – Frankfurt jedina međunarodna linija Croatia Airlines-a koja je realizirana svakog dana tijekom potpunog zatvaranja uslijed pandemije.

Smanjenje besplatno dodijeljenih emisijskih jedinica, te njihovo potpuno ukidanje 2026. godine, uvelike će povećati trošak poslovanja zračnim prijevoznicima čime ih se usmjerava na obnovu flote modernijim zrakoplovima (primjerice, obitelj zrakoplova A320neo, A220 i sl.). Na isti način utječe se i na proizvođače zrakoplova i zrakoplovnih motora na razvoj novih pogonskih sustava poput električnog ili pogona na vodik, o čemu se danas sve više raspravlja. Srednjoročne prognoze porasta i daljnjeg razvoja zračnog prometa od strane Eurocontrola i drugih međunarodnih organizacija podrazumijevaju kako će, ukoliko ne dođe do razvoja i uvođenja u širu produkciju nove generacije zrakoplova s pogonom na nefosilna goriva, prijevoznici od 2026. godine velik dio svojih prihoda odvajati za plaćanje emisijskih jedinica.

Uz ETS, potrebno je istaknuti i CORSIA-u koja 2023. godine postaje obvezatna za sve zračne prijevoznike, dok problematika priznavanja emisija između ETS-a i CORSIA-e i dalje nije razriješena. Hoće li prijevoznici emisije za letove unutar Europske unije morati pokrivati temeljem obje sheme trgovanja emisijama, tek će se vidjeti. Dvostruka penalizacija prijevoznika značila bi

dvostruka plaćanja emisijskih jedinica, odnosno njihovu kompenzaciju, a posebno uz očekivani porast troškova fosilnih goriva, kako zbog smanjene proizvodnje fosilnih goriva tako i zbog posljedica rata u Ukrajini.

S obzirom na činjenicu da su održiva goriva danas i dalje nekoliko puta skuplja od konvencionalnih zrakoplovnih goriva, te uzimajući u obzir uvođenje restrikcija na tankiranje goriva paketom „*Fit for 55*“, istovremeni manjak goriva na nekim zračnim lukama diljem Europske unije, pred prijevoznicima su potencijalno vrlo složena vremena poslovanja, kako u financijskom pogledu, tako i u pogledu planiranja letačkih operacija.

## Literatura

- [1] »ICAO«. 2019. <https://www.icao.int/annual-report-2019/Pages/the-world-of-air-transport-in-2019.aspx>. [Pristup: Veljača 2022.].
- [2] »Air Transport Action Group«. Rujan 2020. <https://www.atag.org/facts-figures.html>. [Pristup: veljača 2022.].
- [3] Chevron Products Company, »chevron.com«. 2007. <https://www.chevron.com/-/media/chevron/operations/documents/aviation-tech-review.pdf>. [Pristup: Veljača 2022.].
- [4] Ina. d.d., »Aviogoriva ina.hr« [Pristup: veljača 2022.].
- [5] Shell, »Civil jet fuel« <https://www.shell.com/business-customers/aviation/aviation-fuel/civil-jet-fuel-grades.html>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [6] B. Kelechava, »Jet Fuel Specifications.« Srpanj 2021. <https://blog.ansi.org/jet-fuel-specifications-astm-d1655-aviation/#gref>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [7] E. Bazijanac, »Autorizirana predavanja kolegij Zrakoplovni pogonski sustavi II,« 2015. [Pristup: travanj 2022.].
- [8] M. Jović, »Zračni prijevoz s nultom emisijom?,« Lipanj 2021. <https://www.zemobility.hr/6071/Zracni-prijevoz-s-nultom-emisijom>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [9] E. Bazijanac, Zrakoplovni Mlazni Motori, Fakultet prometnih znanosti, 2018.
- [10] A. Domitrović, »Autorizirana predavanja kolegija Zrakoplovne emisije,« Prosinac 2019. [Pristup: travanj 2022.].
- [11] »Europska komisija,« [https://ec.europa.eu/clima/sites/youth/causes\\_hr](https://ec.europa.eu/clima/sites/youth/causes_hr). [Pristup: veljača 2022.].
- [12] A. Džono Boban, »Zavod za javno zdravstvo,« 2013. <https://www.zzjzdnz.hr/zdravlje/okolis-i-zdravlje/362>. [Pristup: veljača 2022.].
- [13] »United States Environmental Protection Agency,« <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>. [Pristup: prosinac 2021.].
- [14] U. Schumann, »dlr.de,« 2002. [https://www.dlr.de/pa/en/Portaldata/33/Resources/dokumente/mitarbeiter/Schumann\\_Encyclopedia\\_Aircraft\\_Emissions\\_c415-\\_o.pdf](https://www.dlr.de/pa/en/Portaldata/33/Resources/dokumente/mitarbeiter/Schumann_Encyclopedia_Aircraft_Emissions_c415-_o.pdf). [Pristup: Travanj 2022.].
- [15] European Aviation Safety Agency, »Aircraft engine NOX emissions,« <https://www.easa.europa.eu/eae/topics/technology-and-design/aircraft-engine-emissions>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [16] NASA, »Ozone: What is it, and why do we care about it?,« [https://www.nasa.gov/audience/foreducators/postsecondary/features/F\\_Ozone.html#:~:text=Closer%20to%20Earth%20in%20the%](https://www.nasa.gov/audience/foreducators/postsecondary/features/F_Ozone.html#:~:text=Closer%20to%20Earth%20in%20the%20)

- 20troposphere%20%28the%20atmospheric,that%20create%20ozone%20and%20those%20that%20destroy%20it.. [Pristup: svibanj 2022.].
- [17] J.E.Penner, »IPCC Special Report Aviation and the Global Atmosphere,« 1999.[Pristup: svibanj 2022.].
- [18] R. C. Advocates, »Root Cause Advocates,« [Pristup: svibanj 2022.].
- [19] Federal Aviation Administration, »Carbon monoxide: a deadly menace,« <https://www.faa.gov/pilots/safety/pilotsafetybrochures/media/cobroforweb.pdf>. [Pristup: travanj 2022.].
- [20] I. Švedek , A. Jurić, L. Koritnik, D. Kučić, Đ. Topić i D. Glad, »Agencija za zaštitu okoliša,« 2015. [Pristup: travanj 2022.].
- [21] California Air Resources Board, »Inhalable Particulate Matter and Health (PM2.5 and PM10),« <https://ww2.arb.ca.gov/resources/inhalable-particulate-matter-and-health>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [22] ICAO, »ICAO Annex 16, Volume II, Aircraft Engine Emissions,« 2008. <http://www.icao.int/>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [23] B. Silva de Mattos i J. A. Tavares Guerreiro Fregnani, »Aviation and Electrical Road Vehicles,« Lipanj 2016. [https://www.researchgate.net/publication/303902588\\_Aviation\\_and\\_Electrical\\_Road\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/303902588_Aviation_and_Electrical_Road_Vehicles). [Pristup: travanj 2022.].
- [24] ICAO, »Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP),« 2019. <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/caep.aspx>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [25] ICAO, »Annex 16, Environmental Protection, Volume III - Airplane CO2 Emissions,« Srpanj. 2017. [Pristup: svibanj 2022.].
- [26] European Parliament, »Directive 2003/87/EC,« Listopad 2003.. [Mrežno]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02003L0087-20200101&rid=2>. [Pokušaj pristupa Svibanj 2022.].
- [27] Narodne Novine, »Zakon o zračnom prometu,« 4. Kolovoz 2014. <https://www.zakon.hr/z/177/Zakon-o-zra%C4%8Dnom-prometu>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [28] Narodne Novine, »Zakon o klimatskim promjenama i zaštiti ozonskog sloja,« 1. Siječanj 2020.. <https://www.zakon.hr/z/2435/Zakon-o-klimatskim-promjenama-i-za%C5%A1titi-ozonskog-sloja>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [29] International Air Transport Association, »IATA - About us,«<https://www.iata.org/en/about/>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [30] J. Haacker, »IATA Fuel Efficiency Campaign,« Rujan 2006. <https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalWorkshops/Documents/ICAO-TransportCanada-2006/Haacker.pdf>. [Pristup: svibanj 2022.].

- [31] S&P Global, »<https://iata.org/>,« IATA, Svibanj 2022. <https://www.iata.org/en/publications/economics/fuel-monitor/>. [Pristupa: svibanj 2022.].
- [32] IATA, »Fuel Efficiency,«<https://www.iata.org/en/programs/ops-infra/fuel/fuel-efficiency/>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [33] D. Kučić, Konzultacije, Svibanj, lipanj i srpanj 2022..
- [34] British Petroleum, »What is sustainable aviation fuel (SAF)?,« Srpanj 2021. <https://www.bp.com/en/global/air-bp/news-and-views/views/what-is-sustainable-aviation-fuel-saf-and-why-is-it-important.html>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [35] Future Travel Experience, »Qantas signs second major sustainable fuel deal,« Ožujak 2022. <https://www.futuretravelexperience.com/2022/03/qantas-signs-second-major-sustainable-fuel-deal/>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [36] G. Madge, »Nature doing heavy lifting to slow carbon-dioxide rise,« Met Office UK, Siječanj 2022. <https://www.metoffice.gov.uk/about-us/press-office/news/weather-and-climate/2022/global-carbon-dioxide-forecast-2022>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [37] UN, »The first world conference on the environment,« UN, <https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [38] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, »UNEP - Program Ujedinjenih naroda za okoliš,« Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/uprava-za-programe-i-projekte-eu-europske-i-medjunarodne-poslove-6108/medjunarodna-suradnja/unep-program-ujedinjenih-naroda-za-okolis/1134>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [39] Službeni list EU, »Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime,« 7. Veljača 1994. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:21994A0207\(02\)&from=SK](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:21994A0207(02)&from=SK). [Pristup: svibanj 2022.].
- [40] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, »Okvirna konvencija UN-a o promjeni klime,« <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug-4925/klima/zastita-klime/okvirna-konvencija-un-a-o-promjeni-klime/1882>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [41] United Nations Climate Change, »What is the United Nations Framework Convention on Climate Change?,« United Nations Climate Change, <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [42] United Nations Climate Change, »What is the Kyoto Protocol?,« [https://unfccc.int/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/kyoto_protocol). [Pristup: svibanj 2022.].
- [43] AirClim, »Principles of the Kyoto Protocol,« 2011. <https://www.airclim.org/acidnews/2011/AN3-11/principles-kyoto-protocol>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [44] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, »Kyotski protokol,« <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu1065/djelokrug-4925/klima/zastita-klime/kyotski-protokol/1883>. [Pristup: svibanj 2022.].

- [45] EUR-Lex, »Kyotski protokol,« [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=LEGISSUM:kyoto\\_protocol](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=LEGISSUM:kyoto_protocol). [Pristup: svibanj 2022.].
- [46] Circular Ecology, »The Kyoto Protocol: Climate Change Success or Global Warming Failure?,« Veljača 2015. <https://circularecology.com/news/the-kyoto-protocol-climate-change-success-or-global-warming-failure>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [47] United Nations Climate Change, »The Clean Development Mechanism (CDM),« <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/mechanisms-under-the-kyoto-protocol/the-clean-development-mechanism>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [48] United Nations Climate Change, »Joint Implementation,« <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/mechanisms/joint-implementation>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [49] United Nations Climate Change, »Emissions Trading,« <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/mechanisms/emissions-trading>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [50] EUR-Lex, »Pariški sporazum,« [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=LEGISSUM:paris\\_agreement](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=LEGISSUM:paris_agreement). [Pristup: svibanj 2022.].
- [51] C. Yongrok, »Optimal Transition toward Innovation-Led Sustainable Governance under the 2020 Paris Regime,« Veljača 2020.. [https://www.researchgate.net/publication/339424489\\_Optimal\\_Transition\\_toward\\_Innovation-Led\\_Sustainable\\_Governance\\_under\\_the\\_2020\\_Paris\\_Regime](https://www.researchgate.net/publication/339424489_Optimal_Transition_toward_Innovation-Led_Sustainable_Governance_under_the_2020_Paris_Regime). [Pristup: svibanj 2022.].
- [52] O. Milman, »Biden returns US to Paris climate accord hours after becoming president,« <https://www.theguardian.com/environment/2021/jan/20/paris-climate-accord-joe-biden-returns-us>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [53] Vijeće Europske unije, »Pariški sporazum o klimatskim promjenama,« <https://www.consilium.europa.eu/hr/policies/climate-change/paris-agreement/>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [54] ipcc, »The IPCC provides regular assessments of the scientific basis of climate change, its impacts and future risks, and options for adaptation and mitigation,« <https://www.ipcc.ch/about/>. [Pristupa: svibanj 2022.].
- [55] I. Grgić i L. Hrnčević, »Europski sustav trgovine,« 2020. <https://hrcak.srce.hr/file/347899>. [Pokušaj pristup: svibanj 2022.].
- [56] Europski Revizorski Sud, »Sustav EU-a za trgovanje emisijama:,« 2020. [https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR20\\_18/SR\\_EU-ETS\\_HR.pdf](https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR20_18/SR_EU-ETS_HR.pdf). [Pristupa: lipanj 2022.].
- [57] »Direktiva 2003/87/EZ o uspostavi sustava trgovanja emisijskim jedinicama stakleničkih plinova unutar EU-a,« 2003. Available: [http://publications.europa.eu/resource/cellar/ba84088b-d950-4478-9212-9978278195e0.0019.03/DOC\\_1](http://publications.europa.eu/resource/cellar/ba84088b-d950-4478-9212-9978278195e0.0019.03/DOC_1). [Pristupa: lipanj 2022.].

- [58] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, »Sustav trgovanja emisijama stakleničkih plinova,« <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/uprava-za-klimatske-aktivnosti-1879/sustav-trgovanja-emisijama-staklenickih-plinova/1890>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [59] W. Stoefs, »EU ETS 101,« Veljača 2022.: [https://carbonmarketwatch.org/wp-content/uploads/2022/03/CMW\\_EU\\_ETS\\_101\\_guide.pdf](https://carbonmarketwatch.org/wp-content/uploads/2022/03/CMW_EU_ETS_101_guide.pdf). [Pristup: svibanj 2022.].
- [60] European Commission, »Development of EU ETS (2005-2020),« [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/development-eu-ets-2005-2020\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/development-eu-ets-2005-2020_en). [Pristup: lipanj 2022.].
- [61] European Commission, »Market Stability Reserve,« [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/market-stability-reserve\\_hr](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/market-stability-reserve_hr). [Pristup: lipanj 2022.].
- [62] European Commission, »Revision for phase 4 (2021-2030),« [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/revision-phase-4-2021-2030\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/revision-phase-4-2021-2030_en). [Pristup: Lipanj 2022.].
- [63] European Commission, »Aviation and the EU ETS,« [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal/aviation-and-eu-ets\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal/aviation-and-eu-ets_en). [Pristup: lipanj 2022.].
- [64] Croatia Airlines, »Godišnji i tromjesečni izvještaji o,« Travanj 2011. <https://www.croatiaairlines.com/resources/dokumenti/izvje%C5%A1%C4%87e-hrv-2010.pdf>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [65] Balkan Green Energy News, »Croatia to get EUR 116 million from emissions allowances auctions,« Veljača 2018. <https://balkangreenenergynews.com/croatia-get-eur-116-million-from-emissions-allowances-auctions/>. [Pristupa: lipanj 2022.].
- [66] FIIA, »The Conflict over Aviation Emissions: A Case of Retreating EU Leadership?,« Veljača 2014. Available: <https://www.fiaa.fi/julkaisu/the-conflict-over-aviation-emissions?read>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [67] Europska komisija, »Izvješće o funkcioniranju europskog tržišta ugljika,« Prosinac 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/hr/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0842>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [68] European Commission, »Allocation to aviation,« [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/allocation-aviation\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/allocation-aviation_en). [Pristup: lipanj 2022.].
- [69] Trading Economics, »EU Carbon Permits,« Lipanj 2022.. <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [70] FCC Aviation, »EU Emissions Trading System,« <https://www.fccaviation.com/regulation/europe/eu-emissions-trading-system#:~:text=All%20European%20and%20non%20European,threshold%20of%201%2C000%20t%20CO2>. [Pristupa: lipanj 2022.].
- [71] IATA, »CORSIA Fact Sheet,« Srpanj 2021.n. <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet---corsia/>. [Pristup: lipanj 2022.].



- [72] Aviation Benefits Beyond Borders, »CORSIA Explained,« <https://aviationbenefits.org/en/vironmental-efficiency/climate-action/offsetting-emissions-corsia/corsia/corsia-explained/>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [73] M. Boutwell, »CORSIA – How are we going to police international aviation emissions?,« Listopad 2019. <https://stillwaterassociates.com/corsia-how-are-we-going-to-police-international-aviation-emissions/>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [74] Stillwater Associates, »CORSIA 101 – A Beginner’s Guide,« <https://stillwaterassociates.com/corsia-101-a-beginners-guide/>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [75] ICAO Secretariat, »Session 2: CORSIA MRV System: Monitoring of,« [https://www.icao.int/Meetings/RS2018/Documents/2\\_1\\_CORSIA%20MRV%20System\\_Monitoring.pdf](https://www.icao.int/Meetings/RS2018/Documents/2_1_CORSIA%20MRV%20System_Monitoring.pdf). [Pristup: lipanj 2022.].
- [76] S. Maertens, W. Grimme, J. Scheelhaase i M. Jung, »Options to Continue the EU ETS for Aviation in a CORSIA-World,« Listopad 2019. [https://www.researchgate.net/publication/336582335\\_Options\\_to\\_Continue\\_the\\_EU\\_ETS\\_for\\_Aviation\\_in\\_a\\_CORSIA-World](https://www.researchgate.net/publication/336582335_Options_to_Continue_the_EU_ETS_for_Aviation_in_a_CORSIA-World). [Pristup: svibanj 2022.].
- [77] ICAO, »CORSIA offsetting requirement steps,« [https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/CorsiaLeaflet-05\\_Web.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/CorsiaLeaflet-05_Web.pdf). [Pristup: lipanj 2022.].
- [78] J. Kill, »UNEARNED CREDIT: WHY AVIATION INDUSTRY FOREST OFFSETS ARE DOOMED TO FAIL,« Studeni 2017. <https://www.fern.org/publications-insight/uneared-credit-why-aviation-industry-forest-offsets-are-doomed-to-fail-184/>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [79] Europska komisija, »Europski zeleni plan,« [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_hr](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_hr). [Pristup: lipanj 2022.].
- [80] European Council, »Fit for 55,« <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [81] European Council, »Infographic - Fit for 55: increasing the uptake of greener fuels in the aviation and maritime sectors,« Lipanj 2022. <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-refueled-and-fueled/>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [82] »Pravilnik o praćenju, izvješćivanju i verifikaciji izvješća o emisijama stakleničkih plinova iz postrojenja i zrakoplova u razdoblju koje započinje 1. siječnja 2013. godine,« Lipanj 2013. [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013\\_06\\_77\\_1559.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_06_77_1559.html). [Pristup: lipanj 2022.].
- [83] I. Grgić, »Europski sustav trgovanja emisijskim dozvolama,« 2019. <https://repositorij.rgn.unizg.hr/islandora/object/rgn%3A920/datastream/PDF/view>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [84] Europska Komisija, »Uredba o akreditaciji i verifikaciji - Uputa s objašnjenjima,« Rujan 2012. [https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/NASLOVNE%20FOTOGRAFIJE%20I%20KORI%20C%20A0TENI%20LOGOTIPOVI/doc/uputa\\_br1-\\_objasnjenja.pdf](https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/NASLOVNE%20FOTOGRAFIJE%20I%20KORI%20C%20A0TENI%20LOGOTIPOVI/doc/uputa_br1-_objasnjenja.pdf). [Pristup: lipanj 2022.].

- [85] Emissions-EUETS.com, »Monitoring plan under the M&R EU ETS rules,« Prosinac 2020.. <https://www.emissions-euets.com/monitoring-plan>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [86] European Commission, »The Monitoring and Reporting Regulation – General guidance for Aircraft Operators,« Srpanj 2012. [https://www.verifavia.com/bases/ressource\\_pdf/72/gd2-guidance-aircraft-en.pdf](https://www.verifavia.com/bases/ressource_pdf/72/gd2-guidance-aircraft-en.pdf). [Pristup: lipanj 2022.].
- [87] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja RH, Travanj 2022. [https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/klimatske\\_aktivnosti/ets/pop\\_op\\_21\\_30\\_apr\\_22.pdf](https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/klimatske_aktivnosti/ets/pop_op_21_30_apr_22.pdf). [Pristup: svibanj 2022.].
- [88] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, »Registar Unije - hrvatski dio,« 2018. <http://www.haop.hr/hr/baze-i-portali/registar-unije-hrvatski-dio>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [89] European Commission, »Union Registry,« [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/union-registry\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/union-registry_en). [Pristup: lipanj 2022.].
- [90] European Commission, »European Union Transaction Log,« <https://ec.europa.eu/clima/ets/oha.do>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [91] I. Petrin, D. Kučić i D. Fakleš, »Implementacija normative trgovanja emisijama stakleničkih plinova u komercijalnom zrakoplovstvu,« 2010. <https://www.bib.irb.hr/534662/download/534662.Petrin-rad.doc>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [92] Europska komisija, »Uredba o praćenju i izvješćivanju o emisijama stakleničkih plinova u skladu s Direktivom 2003/87/EZ,« Prosinac 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R2066&from=EN>. [Pristup: srpanj 2022.].
- [93] Eurocontrol, »Small emitters tool,« <https://www.eurocontrol.int/tool/small-emitters-tool>. [Pristup: srpanj 2022.].
- [94] ICAO, »ICAO CORSIA CO2 Estimation and Reporting Tool,« <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/CERT.aspx>. [Pristup: srpanj 2022.].
- [95] Croatia Airlines, »Flota,« <https://www.croatiaairlines.com/hr/flota>. [Pristup: srpanj 2022.].
- [96] Croatia Airlines, »Nefinancijsko izvješće 2021.,« Travanj 2022. <https://www.croatiaairlines.com/hr/o-kompaniji/korporativno-upravljanje>. [Pristup: srpanj 2022.].
- [97] Croatia Airlines, »Izvješće posloводства o stanju Društva za 2021. godinu,« Travanj 2022. <https://www.croatiaairlines.com/resources/dokumenti/korporativno-upravljanje/godisnja-izvjesc-a/godisnje-izvjesc-2021.pdf>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [98] Carbon Independent, »Aviation,« <https://www.carbonindependent.org/22.html>. [Pristup: lipanj 2022.].
- [99] K. L. Swartz, »Great Circle Mapper,« 1996. <http://www.gcmap.com/>. [Pristup: srpanj 2022.].
- [100] J. Overton, »Environmental and Energy Study Institute,« <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-the-growth-in-greenhouse-gas-emissions-from-commercial-aviation>. [Pristup: travanj 2022.].

- [101] M. S. F. S. D. B. C. Hein, »Thermal stability of Jet-A1 and model fuel in oxidative conditions,« Siječanj 2005. [https://www.researchgate.net/publication/288697538\\_Thermal\\_stability\\_of\\_Jet-A1\\_and\\_model\\_fuel\\_in\\_oxidative\\_conditions](https://www.researchgate.net/publication/288697538_Thermal_stability_of_Jet-A1_and_model_fuel_in_oxidative_conditions). [Pristup: svibanj 2022.].
- [102] European Aviation Safety Agency, »<https://easa.europa.eu/>,« 2021. <https://www.easa.europa.eu/certification-specifications/cs-34-aircraft-engine-emissions-and-fuel-venting>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [103] J. Worth, »Jon Worth Euroblog - Single European Sky,« Ožujak 2008. <https://jonworth.eu/single-european-sky/>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [104] United Nations Climate Change, »Cooperation with IPCC,« <https://unfccc.int/topics/science/workstreams/cooperation-with-the-ipcc/background-cooperation-with-the-ipcc>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [105] IPCC, »How does the IPCC select its authors?,« Srpanj 2021. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/07/AR6\\_FS\\_select.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/07/AR6_FS_select.pdf). [Pristup: svibanj 2022.].
- [106] J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, W. Irving i T. Krug, »2006 IPCC Guidelines for national GHG inventories - overview,« 2006. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/0\\_Overview/V0\\_1\\_Overview.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/0_Overview/V0_1_Overview.pdf). [Pristup: svibanj 2022.].
- [107] T. K. Eggleston »2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – A primer,« 2008. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>. [Pristup: svibanj 2022.].
- [108] A. Jurić, L. Koritnik, D. Kučić, Đ. Topić i D. Glad, »Praktični vodič za eksperte - zračni promet,« EKONERG - Institut za energetiku i zaštitu okoliša, Zagreb, 2014..
- [109] ECHA Microbiology, »Aviation Fuel Quality,« <https://echamicrobiology.com/knowledge-hub/common-problems/aviation-fuel-quality>. [Pristup: lipanj 2022.].

## Popis slika

|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Konvencionalna komora izgaranja.....   | 4  |
| Slika 2. Shematski prikaz zrakoplovnog optočnog mlaznog motora.....                         | 6  |
| Slika 3. Produkti izgaranja zrakoplovnog mlaznog motora .....                               | 7  |
| Slika 4. Povećanje količine ozona u nižim slojevima atmosfere u periodu od 10 godina .....  | 10 |
| Slika 5. Usporedba PM čestica s vlasi kose .....  | 12 |
| Slika 6. LTO ciklus .....   | 14 |
| Slika 7. Proces smanjenja emisija uporabom održivog mlaznog goriva.....                     | 21 |
| Slika 8. Razvoj zakonodavstva kojime se regulira ETS.....                                   | 29 |
| Slika 9. Princip ograničavanja i trgovanja emisijama na primjeru zračnog prijevoznika.....  | 31 |
| Slika 10. Geografska primjena ETS-a prema izvornom zakonodavstvu .....                      | 36 |
| Slika 11. Letovi koji sudjeluju u CORSIA-i .....  | 41 |
| Slika 12. Faze CORSIA-e.....  | 42 |
| Slika 13. CORSIA MRV ciklus.....  | 43 |
| Slika 14. Minimalan udio opskrbe održivim zrakoplovnim gorivom na zračnim lukama EU.....    | 48 |
| Slika 15. Ciklus izvješćivanja o emisijama tijekom kalendarske godine.....                  | 50 |
| Slika 16. Proces verifikacije izvješća o emisijama .....                                    | 52 |
| Slika 17. Sučelje Registra Unije .....  | 54 |
| Slika 18. Sučelje Dnevnika Transakcija Europske unije za hrvatske zračne prijevoznike ..... | 55 |
| Slika 19. SET alat .....  | 59 |
| Slika 20. CERT alat .....   | 59 |
| Slika 21. Direktna ruta duž velike kružnice između Zagreba i Splita .....                   | 65 |
| Slika 22. Direktna ruta duž velike kružnice između Zagreba i Frankfurta .....               | 69 |

## Popis grafova

|  |    |
|--|----|
| Graf 1. Varijacije u cijenama mlaznog goriva u periodu od 2015. do 2022. ....                  | 20 |
| Graf 2. Ostvareno smanjenje emisija ugljikova dioksida u razdoblju od 1990. do 2010.....       | 26 |
| Graf 3. Najznačajniji globalni emiteri ugljikova dioksida .....                                | 28 |
| Graf 4. Odnos ukupno dodijeljenih i besplatnih emisijskih jedinica kroz treću fazu ETS-a ..... | 33 |
| Graf 5. Raspodjela dostupnih emisijskih jedinica kroz četvrtu fazu ETS-a.....                  | 34 |
| Graf 6. Promjena cijena emisijskih jedinica u posljednjih deset godina.....                    | 39 |

## Popis tablica

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1. Postavke potiska motora u vremenskom periodu korištenom za izračun emisija ispušnih plinova .....  | 14 |
| Tablica 2. plan za smanjenje emisija stakleničkih plinova za prvo obvezujuće razdoblje Kyotskog protokola.....  | 25 |
| Tablica 3. Usporedba verificiranih, besplatno dodijeljenih i prodanih emisijskih jedinica u periodu od 2013. do 2018.....                                       | 38 |
| Tablica 4. Razlika ETS-a i CORSIA-e.....  | 45 |
| Tablica 5. Popis prijevoznika s odobrenim planom praćenja u RH.....   | 53 |
| Tablica 6. Emisijski faktori standardnih zrakoplovnih goriva .....  | 57 |
| Tablica 7. Specifikacije zrakoplova Dash 8 - Q400.....  | 60 |
| Tablica 8. Specifikacije zrakoplova A319 i A320 .....   | 61 |
| Tablica 9. Ukupne zrakoplovne emisije CO2 za period 2019. – 2021. godine prijevoznika Croatia Airlines .....  | 62 |
| Tablica 10. Zrakoplovne emisije ugljikova dioksida po RPK za tipove zrakoplova A319 i A320, za domaći i međunarodni promet u periodu 2019. – 2021. godine ..... | 62 |
| Tablica 11. Zrakoplovne emisije ugljikova dioksida po RPK za tip zrakoplova Dash 8-Q400, za domaći i međunarodni promet u periodu od 2019. – 2021. godine ..... | 63 |
| Tablica 12. Prometni pokazatelji Croatia Airlines-a za 2019. – 2021. godinu.....  | 63 |
| Tablica 13. Analiza emisija na letu Zagreb - Split 2019. godine .....   | 65 |
| Tablica 14. Analiza emisija na letu Zagreb - Split 2020. godine .....   | 66 |
| Tablica 15. Analiza emisija na letu Zagreb - Split 2021. godine .....   | 68 |
| Tablica 16. Analiza emisija na letu Zagreb - Frankfurt 2019. godine .....   | 70 |
| Tablica 17. Analiza emisija na letu Zagreb - Frankfurt 2020. godine .....   | 71 |
| Tablica 18. Analiza emisija na letu Zagreb - Frankfurt 2021. godine .....   | 72 |

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je \_\_\_\_\_ diplomski rad  
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da 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/diplomskog rada pod naslovom Metode izračuna emisija zrakoplovnih motora sukladno regulatornim zahtjevima, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 25. kolovoza 2022.

Bruno Briški, Bruno Briški  
(ime i prezime, potpis)