

Utjecaj mjera regulacije zračnog prometa na okoliš

Babić, Matko

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:424227>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Matko Babić

**UTJECAJ MJERA REGULACIJE ZRAČNOG PROMETA
NA OKOLIŠ**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.

Zagreb, 24. travnja 2017.

Zavod: Zavod za aeronautiku
Predmet: Upravljanje kapacitetom i protokom zračnog prometa

DIPLOMSKI ZADATAK br. 4263

Pristupnik: **Matko Babić (0135229121)**
Studij: Aeronautika

Zadatak: **Utjecaj mjera regulacije zračnog prometa na okoliš**

Opis zadatka:

Uvodno navesti problem istraživanja. Objasniti europski sustav upravljanja zračnim prometom. Objasniti uzroke i mjere provođenja regulacija prometa. Analizirati Okoliš kao ključno područje učinkovitosti ATM-a. Provesti Case study analizu utjecaja mjera regulacija na primjeru konkretnog zračnog prijevoznika. Odrediti dužine letova s obzirom na nautičke milje i vrijeme leta. Izračunati količine ispušnih plinova sa i bez provedenih mjera regulacije koristeći program NEST. Analizirati rezultate istraživanja. Dati zaključna razmatranja.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:



doc. dr. sc. Biljana Juričić

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ MJERA REGULACIJE ZRAČNOG PROMETA NA
OKOLIŠ**

**INFLUENCE OF ATFM REGULATIONS ON
ENVIRONMENT**

Mentor: doc. dr. sc. Biljana Juričić

Student: Matko Babić

JMBAG: 0135229121

Zagreb, rujan 2017.

UTJECAJ MJERA REGULACIJE ZRAČNOG PROMETA NA OKOLIŠ

SAŽETAK:

Porast prometne potražnje ima za posljedicu pozitivne efekte u lakšem i bržem kretanju ljudi i tereta što sa sobom povlači mnoge ekonomske i društvene blagodati. No, trenutni sustav upravljanja zračnog prometa nije dovoljno kompetentan da se nosi s povećanom prometnom potražnjom koja se očekuje u sljedećih 20 do 30 godina pa se stoga pojavljuju i negativni efekti i nedostaci - jedan od većih nedostataka zračnog prometa je njegov utjecaj na okoliš, a s porastom prometa očekuje se i značajniji utjecaj na okoliš. Također treba imati na umu da neučinkovitost sustava upravljanja zračnog prometa rezultira dodatnim kašnjenjima i povećanjem duljina leta, količinom potrošenog goriva te količinom ispušnih plinova. Sustav upravljanja zračnim prometom planira letove i do godinu dana prije dana operacije, no zbog složenosti prometa neke situacije ne mogu biti unaprijed predviđene. Zbog toga se javlja potreba za mjerama regulacije koje služe kao svojevrsni ispušni ventil kojim bi se smanjilo ili spriječilo preopterećenje zračnog prostora, ali pod cijenu zagađenja okoliša. U ovom radu izvršeno je istraživanje reguliranih letova na primjeru jedne zrakoplovne kompanije te je određena vrijednosti količine emitiranog ugljikovog dioksida. Dobiveni rezultati pokazuju da, iako regulirani letovi imaju veći utjecaj na okoliš od nereguliranih, i neregulirani letovi značajno odstupaju od referentnih (najkraćih) letova.

KLJUČNE RIJEČI: mjere regulacije, okoliš, upravljanje zračnim prometom, regulirani letovi, neregulirani letovi

INFLUENCE OF ATFM REGULATIONS ON ENVIRONMENT

SUMMARY:

The growth of traffic brings positive effects that point toward easier and faster transport of people and cargo, which implies various economic and social benefits. However, the current air traffic management system is not suitable to cope with the increased traffic demand expected over the next 20 to 30 years which is the reason for the appearance of negative effects and flaws – one of which is the impact air traffic has on the environment, and the growth of traffic means the growth of its environmental impact. It should also be borne in mind that the inefficiency of the air traffic control system results in additional delays and increase of route lengths, consumed fuel and gas emissions. The air traffic management system plans flights up to a year before the day of operation, but due to the traffic complexity some situations cannot be anticipated in advance. Therefore, there is a need for regulation measures that serve as a type of exhaust valve to diminish or prevent the airspace overload, but at the cost of environmental disturbance. This thesis presents a research of regulated flights on the example of one airline company, along with the amount of emitted carbon dioxide. The obtained results show that regulated flights have a greater environmental impact than non-regulated flights, but also that unregulated flights significantly deviate from the reference (the shortest) flights.

KEY WORDS: regulation measures, environment, air traffic, air traffic management, regulated flights, unregulated flights

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Europski sustav upravljanja zračnim prometom	3
2.1. Usluge u zračnoj plovidbi.....	4
2.2. Upravljanje zračnim prometom	5
2.2.1. Operativne usluge u zračnom prometu (ATS)	6
2.2.2. Upravljanje protokom i kapacitetom zračnog prometa (ATFCM)	7
2.2.3. Upravljanje zračnim prostorom (ASM).....	8
2.3. Razvoj upravljanja zračnim prometom (ATM-a)	10
2.3.1. Jedinstveno europsko nebo.....	10
2.3.2. SES 1	13
2.3.3. SES 2 i SES2+	13
2.3.4. SESAR.....	15
2.3.5. EUROCONTROL u funkciji mrežnog upravitelja (NM – Network Manager)	16
2.4. Statistika i prognoze zračnog prometa.....	18
2.4.1. Vrste prognoza prometa	20
2.4.2. Proces i rizici izračuna prognoza prometa.....	21
2.4.3. Trenutna srednjoročna i dugoročna prognoza.....	22
3. Uzroci i mjere provođenja regulacija prometa.....	25
3.1. Uzrok provođenja regulacije prometa – nedostatak kapaciteta.....	25
3.2. Razlozi regulacije	26
3.3. Faze djelovanja ATFCM-a	27
3.3.1. Strateška faza	28
3.3.2. Predtaktička faza	28
3.3.3. Taktička faza	29
3.3.4. Postoperativna faza.....	29
3.4. Rješenja ATFCM-a u slučaju pada kapaciteta.....	30
3.5. Mjere regulacije na zemlji i u zraku.....	31
3.5.1. Dodjeljivanje SLOT-a.....	32
3.5.2. SLOT 'swapping'	32
3.5.3. 'Level capping'	33
3.5.4. Rerutiranje.....	33
3.5.5. 'Cherry picking'	33
4. Okoliš – ključno područje učinkovitosti ATM-a	35
4.1. Utjecaj zrakoplovstva na okoliš	37

4.1.1. Utjecaj buke i europska strategija	37
4.1.2. Klimatske promjene i europska strategija	37
4.1.3. Zagađenje zraka i europska strategija	38
4.2. Glavni europski plan upravljanja zračnim prometom i ključna područja učinkovitosti	39
4.2.1. Glavni plan upravljanja zračnim prometom	39
4.2.2. Ključna područja učinkovitosti	40
4.3. Ključni pokazatelji učinkovitosti (KPP) u vezi okoliša	41
4.3.1. Prvi ključni pokazatelj učinkovitosti okoliša	41
4.3.2. Drugi ključni pokazatelj učinkovitosti okoliša	43
4.3.3. Treći ključni pokazatelj učinkovitosti okoliša	43
5. „Case study“ analiza utjecaja mjera regulacija na primjeru konkretnog zračnog prijevoznika	44
6. Rezultati analize duljine letova i izračuna količine ispušnih plinova s i bez provedenih mjera regulacije koristeći program NEST	58
7. Zaključak	68
Literatura	70
Popis slika	73
Popis tablica	74

1. UVOD

U posljednje vrijeme svim sudionicima zračnog prometa nameće se novi problem: stalni porast zračnog prometa. Iako svi sudionici u konačnici streme upravo prema povećanju prometa te je povećana potražnja znak da svi sudionici rade svoj posao sigurno i učinkovito, ipak stalni trend povećanja zračnog prometa sa sobom povlači i mnoštvo izazova, pogotovo za zrakoplovne kompanije, zračne luke te pružatelje usluga zračne plovidbe. Naime, veći promet znači više zrakoplova u jednakom volumenu (zračnog) prostora, što podrazumijeva da ukoliko zrakoplovne kompanije, zračne luke, pružatelji usluga zračne plovidbe i ostale organizacije/ustanove ne žele kašnjenja i zagušenja koja su neizbježna u trenutnom sustavu, svi sudionici trebaju zajedno raditi na unaprjeđenju europskog zračnog prostora i sustava upravljanja istog. Karakteristike i struktura sustava upravljanja europskim nebom te relevantni sudionici navedeni su u drugom poglavlju ovog rada.

Optimiziranje sustava upravljanja prometom te stvaranje sustava koji može izdržati stalna povećanja prometa kompliciran je i vremenski zahtjevan proces koji je već započeo, a kao odgovor na povećanu potražnju koriste se novo-razvijeni alati. No unatoč sve novijim i učinkovitijim alatima u upravljanju zračnog prometa, posezanje za mjerama regulacije u vremenima preopterećenja sektora je neminovno, barem u trenutnom sustavu. Neki od tih alata su mjere regulacije o kojima će biti riječi u trećem poglavlju.

Jedan od ključnih aspekata učinkovitosti sustava upravljanja zračnog prometa je utjecaj zračnog prometa na okoliš. Nakon nebrige za okoliš u 20. stoljeću na praktički globalnoj razini, jedna od novosti koje 21. stoljeće donosi je sve veća i veća svijest o očuvanju okoliša što je urodilo sve strožim i strožim regulativama vezanih uz okoliš. Što se zrakoplovstva tiče, te regulative se prvenstveno odnose na zrakoplovne emisije, tj. buku i ispušne plinove, što je opisano u četvrtom poglavlju.

U petom poglavlju je razrađen jedan od glavnih ciljeva ovog diplomskog rada, a to je istraživanje o tome kako mjere regulacije utječu na konkretnog zrakoplovnog prijevoznika, u smislu prijedene udaljenosti, odstupanja zrakoplova od rute i utjecaja na okoliš.

Šesto poglavlje se sastoji od analize duljine letova (iz poglavlja 5) i izračuna količine ispušnih plinova s i bez provedenih mjera regulacije koristeći program NEST (*Network Statistics*

Tool), dok su na kraju šestog poglavlja prikazani i rezultati utjecaja mjera regulacije dobiveni iz analize.

Konačno, zaključak je donesen u sedmom poglavlju gdje su rezultati analize stavljeni u kontekst postojećih problema i izazova s kojima se trenutno suočavaju zrakoplovne kompanije i svi koji su uključeni u upravljanje prometom zračnog prostora.

2. EUROPSKI SUSTAV UPRAVLJANJA ZRAČNIM PROMETOM

Kada se govori o problematici unutar sustava upravljanja zračnim prometom, prvenstveno se misli na izjednačavanje odnosa ponude i potražnje te integraciju civilnog i vojnog zrakoplovstva, uz održavanje stalne i visoke razine sigurnosti i učinkovitosti. Tako se sudionici u zračnom prometu mogu podijeliti na: zračne luke, civilno zrakoplovstvo, pružatelji usluga zračne plovidbe i vojno zrakoplovstvo, te svaki od tih sudionika ima svoju ulogu i zahtjeve.

Ukratko, svaka država u Europi ima apsolutni suverenitet nad svojim teritorijem uključujući i zračni prostor iznad tog teritorija. Većina europskih država posjeduje vojno zrakoplovstvo te redovito provodi osposobljavanja, misije i druge aktivnosti kako bi razvijala svoje vojno zrakoplovstvo u obrambene svrhe. Osim što zračni prostor neke države koriste vojne jedinice, između ostalih, zračni prostor koristi i civilno zrakoplovstvo. Ako se isključe sudionici koji čine manjinu (generalna avijacija, pilotske škole, organizacije za testne letove itd.) ostaju komercijalni letovi provedeni od strane zrakoplovnih kompanija. Takvi se letovi (ovisno o težini zrakoplova i duljini leta) naplaćuju te u konačnici država profitira od takvih letova.

Prvi problem nastaje kada vojno zrakoplovstvu i civilno zrakoplovstvu imaju iste zahtjeve u odnosu na određeni ograničeni zračni prostori. Što učinkovitija raspodjela prostora za korištenje vojnog i civilnog zrakoplovstva jedna je od usluga koja se pruža u zračnoj plovidbi.

Drugi problem nastaje kada je prometna potražnja veća od ponude. Na koliko god se dijelova (sektora) neki zračni prostor dijeli, vertikalno ili horizontalno, uvijek je definiran maksimalni broj sektora koji je ograničen brojem raspoloživih radnih postaja kontrolora zračnog prometa. Treba također napomenuti da je definiran maksimalni broj zrakoplova koje može pratiti svaki od kontrolora zračnog prometa a da pri tome ne dođe do narušavanja sigurnosti prometa.

Navedeni problemi (te i mnoge druge aktivnosti) briga su sustava upravljanja zračnim prometom. Struktura sustava te organizacija uključenih u sustav, mjere učinkovitosti tih organizacija te budućnost sustava upravljanja zračnim prometom opisani su u nastavku.

2.1. Usluge u zračnoj plovidbi

Kako bi zrakoplov od zračne luke A do zračne luke B stigao na siguran, redovan i učinkovit način, specifične organizacije tj. pružatelji usluga zračne plovidbe (ANSP – *Air Navigation Service Providers*) osiguravaju pružanje određenih usluga. Točnije, radi se o četiri različite usluge zračne plovidbe (ANS – *Air Navigation Services*):

1. komunikacija, navigacija i nadzor (CNS – *Communication, navigation and surveillance*)
2. meteorološke usluge (MET)
3. usluge zrakoplovnog informiranja (AIS – *Aeronautical Information Services*)
4. upravljanje zračnim prometom (ATM – *Air Traffic Management*) [1]

Usluga komunikacije, navigacije i nadzora (CNS) je tehnička okosnica sustava za upravljanje zračnim prometom. Osigurava planiranje, postavljanje i održavanje tehničkih sustava korištenih od strane kontrolora zračnog prometa za upravljanje zračnim prometom. [2]

Usluga komunikacije odgovorna je za glasovne i podatkovne komunikacijske sustave koji omogućavaju 'zemlja-zrak' komunikaciju između pilota i kontrolora zračnog prometa te komunikaciju između jedinica kontrole zračnog prometa i drugih relevantnih sudionika. [2]

Usluga navigacije podrazumijeva ugradnju i održavanje navigacijske opreme na zemlji, u svemiru ili na samom zrakoplovu koja olakšava učinkovito i sigurno navigiranje zrakoplova u zraku. Pomoću te opreme vjerojatnost da zrakoplovi kontinuirano mogu odrediti svoju lokaciju u prostoru neovisno o vremenskim uvjetima relativno je velika, a uz razvoj navigacijske opreme bit će još veća. Navigacijska oprema je od velike važnosti pogotovo za instrumentalni sustav slijetanja (ILS – *Instrumental Landing System*) koji omogućava zrakoplovima da slete koristeći jedino signale odašiljane od takve opreme. [2]

Usluga nadzora odgovorna je za sustave nadzora koji opremaju kontrolore zračnog prometa s vizualnim pregledom zrakoplova u zračnom prostoru koji je pod njihovom kontrolom. Tradicionalni sustavi nadzora poput primarnog i sekundarnog radarskog sustava još uvijek se najviše koriste u sustavima pružatelja kontrole zračne plovidbe. Međutim, noviji sustavi nadzora koji se oslanjaju na satelitske signale, poput sustava ADS-B (*Automatic*

Dependent Surveillance - Broadcast) ili sustava MLAT (*Multilateration*), počinju se razvijati u europskim zračnim lukama. [2]

Meteorološke usluge (MET) pružaju zrakoplovne informacije o vremenu svim korisnicima zračnog prostora, jedinicama kontrole zračnog prometa i drugim relevantnim dionicima. Pružaju i izvješća trenutnog stanja vremena na aerodromima kao što je npr. METAR (*Meteorological Terminal Aviation Routine Weather Report*) i izvješća vremenskog predviđanja kao što su npr. TAF (*Terminal Aerodrome Forecast*) ili SIGMET (*Significant Weather Information*). Meteorološkim uslugama se također izdaju upozorenja i ostale značajne meteorološke informacije koje se odnose na meteorološke uvjete koji mogu utjecati na zrakoplove u zraku, objekte zračnih luka, usluge zračnih luka i zrakoplove na uzletno-sletnim stazama. [2]

Cilj usluga zrakoplovnog informiranja (AIS) je osigurati protok zrakoplovnih informacija/podataka potrebnih za sigurnost, redovitost, ekonomiju i učinkovitost međunarodne zračne plovidbe. Usluge zrakoplovnog informiranja odgovorne su za prikupljanje/sastavljanje, uređivanje, formatiranje, objavu i distribuciju zrakoplovnih informacija/podataka pilotima, jedinicama kontrole zračnog prometa i ostalim dionicima. Zrakoplovni podaci, ovisno o prirodi informacije, objavljuju se i distribuiraju preko ovih glavnih dokumenata:

- zbornik zrakoplovnih informacija (AIP – *Aeronautical Information Publication*)
- 'obavijesti za zrakoplovce' (NOTAM – *Notice to Airmen*)
- cirkular zrakoplovnih informacija (AIC – *Aeronautical Information Circular*)
- zbornik pred-uzletnih informacija (PIB – *Pre-flight Information Bulletins*) [2]

Posljednja usluga, upravljanje zračnim prometom, je važna sastavnica ovog rada te kao takva zaslužuje svoje potpoglavlje.

2.2. Upravljanje zračnim prometom

Definicija usluge upravljanja zračnim prometom (ATM):

- skup funkcija u zrakoplovu i na zemlji potrebnih radi osiguranja sigurnog i učinkovitog kretanja zrakoplova tijekom svih faza operacija zrakoplova. [3]

Drugim riječima, upravljanje zračnim prometom obuhvaća sustave na zemlji i u zraku te pružanjem usluga održava sigurnost i pravovremenost za sve sudionike.

Upravljanje zračnim prometom dijeli se na tri vrste usluga ili komponente. To su:

- operativne usluge u zračnom prometu (ATS – *Air Traffic Services*)
- upravljanje protokom (i kapacitetom) zračnog prometa (ATF(C)M – *Air Traffic Flow (and Capacity) Management*)
- upravljanje zračnim prostorom (ASM – *Airspace Management*) [4]

2.2.1. Operativne usluge u zračnom prometu (ATS)

Operativne usluge u zračnom prometu su usluge koje reguliraju i asistiraju zrakoplovima u realnom vremenu kako bi se osigurale sigurne operacije. Točnije, ATS služe kako bi se:

- spriječili sudari zrakoplova; pružili savjeti za sigurno i učinkovito provođenje letova
- provodio i održavao redovan protok zračnog prometa
- obavijestile nadležne organizacije u cilju provođenja operacija potrage i spašavanja [5]

Ciljevi navedeni iznad postižu se tako da se u okviru operativnih usluga u zračnom prometu korisnicima zračnog prostora pružaju usluge:

- kontrole zračnog prometa (ATC – *Air Traffic Control Services*) – u svrhu sprječavanja sudara zrakoplova, zrakoplova i prepreka na manevarskim površinama aerodroma, kao i u svrhu ubrzanja i održavanja redovitog protoka zračnog prometa
- letnih informacija (FIS – *Flight Information Services*) – u svrhu pružanja savjeta i informacija potrebnih za sigurno, redovito i učinkovito obavljanje letova
- uzbunjivanja (ALRS – *Alerting Services*) – u svrhu izvješćivanja nadležnih subjekata o zrakoplovu kojemu je potrebna pomoć potrage i spašavanja te po potrebi pružanja pomoći tim subjektima tijekom potrage i spašavanja zrakoplova. [6]

2.2.2. Upravljanje protokom i kapacitetom zračnog prometa (ATFCM)

Upravljanje protokom i kapacitetom zračnog prometa je funkcija uspostavljena u svrhu podrške odvijanja sigurnog, redovitog i ubrzanog protoka zračnog prometa uz maksimalno korištenje kapaciteta i uz opseg prometa sukladan kapacitetima koje su objavili određeni pružatelji usluga kontrole zračnog prometa. [3]

Za uspješno razumijevanje iznad navedene definicije potrebno je definirati što je to protok zračnog prometa te što je to kapacitet.

Protok je broj operacija (ili zrakoplova) koje mogu proći jediničnom površinom ili volumenom u definiranom vremenskom periodu u određenim uvjetima. Kapacitet je broj operacija (ili zrakoplova) koje može pružiti subjekt (kontrolor) u definiranom vremenskom periodu u određenim uvjetima. [3] Jednostavnije, može se reći da je kapacitet ponuda, u smislu ponuda/potražnja. To bi značilo da je upravljanje protokom i kapacitetom zračnog prometa ustvari balansiranje prometne potražnje sa postojećim kapacitetima (uz održavanje odgovarajuće razine sigurnosti).

No, može se ići i korak dalje, gdje je upravljanje protokom i kapacitetom zračnog prometa regulacija zračnog prometa s ciljem sprječavanja preopterećenja kapaciteta kontrole zračnog prometa, ali i osiguravanje učinkovite uporabe raspoloživih kapaciteta. [7]

Za razliku od operativnih usluga u zračnom prometu, upravljanje protokom i kapacitetom se ne može u potpunosti provesti na nacionalnoj razini. To je tako zbog same prirode prometa, koji je većinom međunarodan. Ako je ustanovljeno da je upravljanje protokom i kapacitetom balansiranje prometne potražnje i ponude (kapaciteta), jasno je da mora postojati neko tijelo koje će imati pristup prometnoj potražnji te prometnoj ponudi. Prethodno je rečeno da svaka država ima svog pružatelja usluga zračne plovidbe (ANSP). Budući da svaki ANSP obično pruža operativne usluge u zračnom prometu (ATS) u svojoj državi, a o učinkovitosti tih usluga (između ostalog) ovisi i kapacitet (ponuda) zračnog prostora (ili dijela prostora, sektora), svaki ANSP mora objaviti svoj tzv. deklarirani sektorski kapacitet. Jednostavnije rečeno, svaka država šalje podatke o svom kapacitetu (ponudi) u jednu bazu podataka. U Europi je ta baza podataka dio organizacije EUROCONTROL. O organizaciji EUROCONTROL ima riječi u nastavku rada, no za sad je bitno izdvojiti da se u EUROCONTROL

šalju i svi podaci o prometnoj potražnji. Ti podaci se zovu planovi leta, te ih je dužan podnijeti svaki civilni let koji podliježe instrumentalnim pravilima letenja (IFR – *Instrumental Flight Rules*) ili koji je međunarodan a provodi se sukladno postupcima Organizacije međunarodnog civilnog zrakoplovstva (ICAO – *International Civil Aviation Organization*). Tako EUROCONTROL ima podatke o prometnoj potražnji (planove leta) i podatke o ponudi (kapacitetu dobivenog od svake države u Europi koja je član EUROCONTROL-a) te ih uspoređuje, i u slučaju da je potražnja veća od ponude, može aktivirati mjere optimizacije.

2.2.3. Upravljanje zračnim prostorom (ASM)

Upravljanje zračnim prostorom je funkcija planiranja, čiji je osnovni cilj omogućiti najveću iskorištenost raspoloživog zračnog prostora kao neprekinute cjeline, uzimajući u obzir stvarne kratkoročne potrebe različitih civilnih i vojnih korisnika zračnog prostora (npr. zrakoplovne kompanije, vojska, privatni poslovni zrakoplovi, aeroklubovi, tvrtke koje obavljaju radove iz zraka...) [8]

Drugim riječima, upravljanje zračnim prostorom nastoji uz maksimalnu učinkovitost korištenja zračnog prostora zadovoljiti zahtjeve svih korisnika zračnog prostora.

Korisnici zračnog prostora dijele se na:

- opći zračni promet (GAT – *General Air Traffic*) – svi letovi civilnih zrakoplova, kao i letovi državnih zrakoplova koji se obavljaju sukladno postupcima ICAO-a
- civilni zračni promet (*civil air traffic*) – cjelokupan zračni promet osim vojnog zračnog prometa
- operativni zračni promet (OAT – *Operational Air Traffic*) – svi letovi civilnih zrakoplova, kao i letovi državnih zrakoplova koji se obavljaju sukladno posebno utvrđenim postupcima koji odstupaju od pravila i postupaka za opći zračni promet (GAT)
- vojni zračni promet (*military air traffic*) – zračni promet u kojem sudjeluju hrvatski i/ili inozemni vojni zrakoplovi [3]

Zahtjevi civilnog zrakoplovstva:

- dodatni kapacitet prostora
- smanjenje kašnjenja

- smanjenje operativnih troškova uzrokovanih kašnjenjem
- kratko i jednostavno ispunjavanje plana leta
- fleksibilnost i raspoloživost pri odabiru ATS ruta [3]

Zahtjevi vojnog zrakoplovstva:

- sloboda korištenja zračnog prostora
- posebna pozornost na zrakoplove koji imaju prioritet
- rezervacije ili restrikcije prostora radi vojnih operacija [3]

Upravljanje zračnim prostorom vrši se kroz tri razine:

a) Strateška razina (ASM razina 1)

- 1 godina do 2 dana prije primjene
- glavnu ulogu vodi Nacionalno povjerenstvo za upravljanje zračnim prostorom (HLAPB – *High Level Airspace Policy Body*) koje se sastoji od:
 - Ministarstva pomorstva, prometa i infrastrukture (MPPI)
 - Ministarstva obrane (MO)
 - Hrvatske kontrole zračnog prometa (HKZP, hrvatski ANSP)
 - Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo (HACZ, na eng. CCAA – *Croatian Civil Aviation Agency*)
- podrazumijeva pripremu prijedloga bitnih za strateško upravljanje zračnim prostorom, uzimajući u obzir zahtjeve nacionalnih i međunarodnih korisnika zračnog prostora te zahtjeve pružatelja usluga u zračnoj plovidbi (ANSP-ova)

b) Predtaktička razina (ASM razina 2)

- 1 dan prije primjene
- odgovorna je Jedinica za upravljanje zračnim prostorom (AMC – *Airspace Management Cell*)
- podrazumijeva „*day-to-day*“ menadžment i privremenu dodjelu zračnog prostora kroz nacionalne ili subregionalne AMC-ove i u koordinaciji s Mrežnim upraviteljem (NM – *Network Manager*, funkcija koju u Europi vrši EUROCONTROL)

c) Taktička razina (ASM razina 3)

- Dan „D“ – dan primjene
- odgovoran je ANSP (u slučaju Hrvatske radi se o HKZP-u), no u dogovoru s AMC-om
- odnosi se na korištenje zračnog prostora u realnom vremenu s ciljem obavljanja sigurnih GAT i OAT operacija [9]

2.3. Razvoj upravljanja zračnim prometom (ATM-a)

Nakon što je objašnjena i opisana uloga upravljanja zračnim prometom potreban je osvrt na dosadašnji razvoj te budućnost ATM-a.

Kao što je spomenuto u uvodu, nužno je osmisliti takav sustav upravljanja zračnim prometom koji će ne samo podnositi, već omogućiti povećanje zračnog prometa uz održavanje stalne (visoke) razine sigurnosti. Europska Unija je kreirala 1999. godine koncept Jedinstvenog europskog neba (SES – *Single European Sky*) kojemu je za cilj u godinama što dolaze ispuniti zahtjeve razvoja zračnog prometa.

2.3.1. Jedinstveno europsko nebo

Inicijativa Europske komisije Jedinstveno europsko nebo (SES) pokrenuta je u svrhu unaprjeđenja upravljanja zračnim prometom i sustavima zračne plovidbe kroz bolju integraciju europskog zračnog prostora. Inicijativa je pokrenuta kao odgovor na kašnjenja u zračnoj plovidbi koja su u Europi kulminirala kasnih 1990. godina. [10]

Glavni razlozi za pokretanje inicijative SES su:

- stalan trend povećanja prometne potražnje
- zagušenja prometa u zraku i na manevarskim površinama
- velika kašnjenja prometa – posredne i neposredne posljedice (uzrok velikim financijskim gubicima i loša promidžba)
- rascjepkanost prostora
- nepromijenjeni sustav organizacije zračnog prostora od 60-ih godina 20. stoljeća [11]

Razlozi za pokretanje SES-a diktiraju i ciljeve uspostave SES-a, koji su:

- kreiranje jedinstvenog neba bez granica zračnog prostora u kojem će vladati ista pravila i propisi
- osiguranje povećanja kapaciteta sustava kontrole zračnog prometa
- povećanje sigurnosti prometa
- ukinuće rascjepkanosti prostora i postojanje granica
- poboljšanje integracije vojnog zrakoplovstva u novu organizaciju prostora
- olakšavanje uvođenja novih tehnologija [11]

Kao što je vidljivo iznad, jedan od temeljnih ciljeva Jedinstvenog europskog neba je smanjiti rascjepkanost europskog zračnog prostora (između država članica, civilnog i vojnog korištenja i tehnologija), čime se povećava njegov kapacitet te unaprjeđuje sigurnost i učinkovitost upravljanja zračnim prometom. [10].

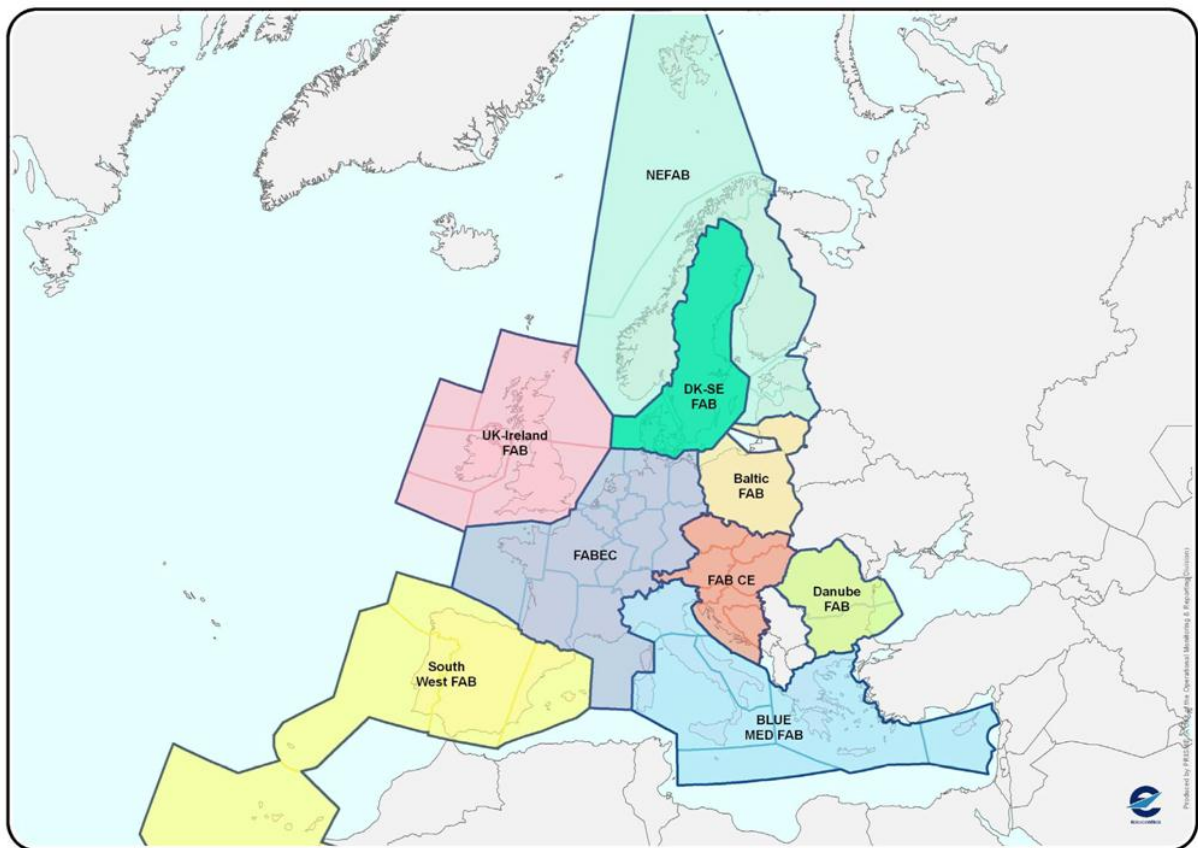
No, odlučeno je da se integracija zračnog prostora Europe ne može dogoditi 'preko noći', nego će taj proces biti sustavan i relativno dugotrajan u svrhu postavljanja snažnijeg temelja.

Stoga je kao odgovor na ideju integracije zračnog prostora Europa podijeljena u devet funkcionalnih blokova (FAB – *Functional Airspace Block*), ovisno o prometnim tokovima umjesto nacionalnih granica kako bi se skratile rute, smanjila buka i emisije štetnih plinova. [10]

Funkcionalni blok je zračni prostor utemeljen na operativnim zahtjevima i uspostavljen neovisno o državnim granicama. Funkcionalni blokovi iznad Europe, što se vidi i na slici 1, su:

1. *NEFAB (North European FAB)*: Estonija, Finska, Latvija, Norveška
2. *Denmark-Sweden FAB*: Danska, Švedska
3. *BALTIC FAB*: Poljska, Litva
4. *FABEC (FAB Europe Central)*: Francuska, Njemačka, Belgija, Nizozemska, Luksemburg, Švicarska
5. *FABCE (FAB Central Europe)*: Češka, Slovačka, Austrija, Mađarska, Hrvatska, Slovenija, Bosna i Hercegovina
6. *DANUBE FAB*: Bugarska, Rumunjska
7. *BLUE MED FAB*: Italija, Malta, Grčka, Cipar (i Egipat, Tunis, Albanija, Jordan kao promatrači)

8. *UK-IRELAND FAB*: Ujedinjeno Kraljevstvo, Irska
9. *SW FAB (South West FAB)*: Portugal, Španjolska [12]



Slika 1 - Funkcionalni zračni blokovi iznad Europe

(izvor: www.skybrary.aero/images/European_FABs.jpg)

U usporedbi s 2004. godinom, ciljevi SES-a su do 2030. godine:

- trostruko povećanje kapaciteta zračnog prostora
- smanjene troškova upravljanja zračnim prometom za 50%
- deseterostruko poboljšanje sigurnosti
- smanjenje utjecaja na okoliš za 10% [10]

Mora se napomenuti da inicijativa SES primarno služi kako bi se zadovoljile potrebe koje se tiču sigurnosti i kapaciteta u budućnosti, kroz legislativu ili zakonodavstvo. Tako je Europska komisija od 1999. godine pa do danas donijela više tzv. SES paketa. [13] Drugim riječima, dva SES paketa (SES 1 i SES 2 (te nadopuna paketu SES 2 s nazivom SES2+)) pružaju zakonodavni okvir kako bi se zadovoljile buduće potrebe koje se tiču sigurnosti, kapaciteta i učinkovitosti na Europskoj razini umjesto na nacionalnim razinama. [14]

2.3.2. SES 1

Prva skupina zajedničkih zahtjeva kojima se uspostavlja Jedinствeno europsko nebo usvojena je 2004. (SES 1) i uključivala je:

- Uredbu (EU) 549/2004 o utvrđivanju okvira za stvaranje jedinstvenog europskog neba
- Uredbu (EU) 550/2004 o pružanju usluga u zračnoj plovidbi
- Uredbu (EU) 551/2004 o organizaciji i upotrebi zračnog prostora u jedinstvenom europskom nebu
- Uredbu (EU) 552/2004 o interoperabilnosti Europske mreže za upravljanje zračnim prometom [10]

Cilj uredbe 549/2004 o utvrđivanju okvira za stvaranje jedinstvenog europskog neba je povećanje postojećih sigurnosnih standarada i učinkovitosti zračnog prometa (IFR/GAT) u Europi radi optimiziranja kapaciteta uzimajući u obzir zahtjeve korisnika te smanjenje kašnjenja na najmanju mjeru. [11]

Uredbi 551/2004 o organizaciji i upotrebi zračnog prostora u jedinstvenom europskom nebu je za cilj kreirati jedinstveno nebo bez granica zračnog prostora u kojem će vladati ista pravila i propisi, a osigurati će povećanje kapaciteta sustava kontrole zračnog prometa, povećati sigurnost prometa, dokinuti rascjepkanost prostora i postojanje granica, poboljšati integraciju vojnog zrakoplovstva u novu organizaciju prostora i olakšati uvođenje novih tehnologija. [11]

2.3.3. SES 2 i SES2+

U vremenu nakon donošenja SES 1 paketa u izvještajima razvoja implementacije Jedinствeno europskog neba postoje zapisi o razmjerno velikim postignućima Jedinствeno europskog neba: sigurnost je povećana, nadzor sigurnosti odvojen je od pružanja usluga, EUROCONTROL-ovi sigurnosni regulatorni zahtjevi (ESARRs – *EUROCONTROL Safety Regulatory Requirements*) postali su zakoni Europske unije. [15]

No, Jedinstveno europsko nebo nije donijelo očekivane rezultate u važnim područjima, poput integracije zračnog prostora u FAB-ovima i poboljšanje troškovne učinkovitosti Europske ATM mreže. [15]

Zakonodavstvo Jedinstvenog europskog neba moralo se zaoštriti kako bi se nosilo s izazovima učinkovitosti i okoliša. Upravljanje zračnim prometom mora doprinositi održivom zrakoplovstvu. Zrakoplovi bi trebali pratiti najkraću rutu s optimiziranim profilima leta. Integracija aerodromskih i 'en-route' operacija kroz cjeloviti mrežni prilaz smanjilo bi nepotrebnu buku i ispušne plinove. Zbog toga je nastala potreba za dodatnim povećanjem razina sigurnosti paralelno s povećanjem prometa primjenjujući dosljedan sigurnosni pristup u svim sektorima zrakoplovstva. [15]

Tako je donesen novi paket zakona pod nazivom: „*Single European Sky II: towards more sustainable and better performing aviation*“ tj. SES 2, koji se temelji na 4 čimbenika razvoja:

- regulacija izvedbe
- jedinstveni sigurnosni okvir (EASA – *European Aviation Safety Agency*)
- nove tehnologije (SESAR – *Single European Sky ATM Research*)
- upravljanje kapacitetom na zračnim lukama. [11]

Regulacija izvedbe podrazumijeva uvođenje sljedećih mjera:

- vođenje izvedbe sustava kontrole zračnog prometa (donošenje Glavnog europskog plana upravljanja zračnim prometom (*ATM Master Plan*))
- olakšavanje integracije pružanja usluga kroz uspostavu (već spomenutih) FAB-ova
- ojačavanje funkcije upravljanja mrežom ruta (design ruta i mreže ruta, upravljanje korištenjem različitih novih SESAR tehnologija itd.) [11]

Bitno je istaknuti da je SES 2 izmijenio sigurnosni okvir na način da je u njega uključena shema performansi (Uredba (EU) 1070/2009). Tako su definirana četiri ključna područja učinkovitosti (KPA – *Key Performance Area*): sigurnost, kapacitet, okoliš i troškovna učinkovitost. [10] Broj ključnih područja učinkovitosti u međuvremenu je povećan, no o tome će biti više govora u četvrtom poglavlju.

No, SES 2 paket mjera ostavio je neka preklapanja u legislativi, pa su se neke odredbe nalazile u nekoliko dijelova legislative. [11] Uz to, Europska komisija je iskazala nezadovoljstvo sporim napretkom država članica u provedbi reforme europskog ATM sustava i ostvarenjem ciljanih vrijednosti ključnih područja performansi. Zbog tih razloga predložen je nacrt teksta uredbe 'Single European Sky 2+' (SES 2+), čija je svrha bila pojednostaviti zakonodavstvo, uvesti strože ciljeve performansi usluga u zračnoj plovidbi, povećati neovisnost nacionalnih nadzornih tijela, jasnije definirati ovlasti EASA-e, jačati fleksibilnost FAB-ova i ulogu upravitelja mreže (EUROCONTROL), razdvojiti usluge potpore u zračnoj plovidbi, te više uključiti korisnike zračnog prostora u oblikovanje politike. [10]

2.3.4. SESAR

Uredbom (EU) 219/2007 s originalnim nazivom: „Joint Undertaking to develop the new generation European air traffic management system (SESAR) – Single European Sky ATM Research“, što bi na hrvatskom otprilike značilo: „Zajednički pothvat za razvoj nove generacije europskog sustava upravljanja zračnim prometom“, aktiviran je projekt SESAR. [11]

Cilj SESAR-a je pronaći, osmisliti nove tehnologije koje će omogućiti povećanu potražnju zračnog prometa u godinama koje slijede, budući da dosadašnja oprema i sustavi postaju ograničavajući čimbenik pri povećanju prometne potražnje. [11]

Drugim riječima, moglo bi se reći da je inicijativa Jedinog europskog neba podržana s tehnološke strane s projektom SESAR isto kao što je podržana sa zakonodavne strane s paketima mjera SES 1, SES 2 (i SES 2+). SESAR će pružiti napredne tehnologije i procedure s ciljem modernizacije i optimizacije buduće mreže europskog upravljanja zračnim prometom. [13]

Implementacija SESAR projekta provodi se u tri faze:

1. faza definiranja plana razvoja (2005.-2007.) – dokument „ATM Master Plan“
2. faza razvoja (2008.-2013.) – omogućit će razvoj osnovnih tehnologija koje će poduprijeti uvođenje nove generacije sustava
3. faza primjene (2014.-2020.) – instaliranje novih sustava i široka primjena funkcija sustava [11]

2.3.5. EUROCONTROL u funkciji mrežnog upravitelja (NM – *Network Manager*)

Organizacija EUROCONTROL već je spomenuta u ranijim dijelovima rada. EUROCONTROL je međuvladina organizacija s 41 države članice i 2 države ugovornice. EUROCONTROL se obvezao, zajedno sa svojim partnerima, izgraditi Jedinstveno europsko nebo kako bi se europsko upravljanje zračnim prometom moglo suočiti sa zahtjevima 21. stoljeća. [16]

EUROCONTROL obnaša slijedeće funkcije:

- Mrežni upravitelj (NM) – proaktivno upravlja cijelom europskom ATM mrežom (s gotovo 10 milijuna letova svake godine), uz blisku suradnju s pružateljima usluga zračne plovidbe, korisnicima zračnog prostora, vojskom i zračnim lukama
- MUAC (*Maastricht Upper Area Control Centre*) – pruža operativne usluge u zračnom prometu (ATS) za Nizozemsku, Belgiju, Luksemburg i sjevernu Njemačku
- Centralni ured za naplatu rutnih naknada (*Central Route Charges Office*) – provodi naplatu, prikupljanje i preraspodjelu zrakoplovnih troškova
- koristeći svoje iskustvo EUROCONTROL razvija inicijativu centraliziranih usluga, čime otvara pojedine usluge tržištu i generira značajne uštede te veću operativnu učinkovitost na razini Europe
- pruža podršku Europskoj komisiji, EASA-i i nacionalnim nadzornim tijelima (NSA – *National Supervisory Authority*) u njihovim regulatornim aktivnostima
- aktivno sudjeluje u istraživanju, razvoju i validaciji te čine znatan doprinos u projektu SESAR. Cilj EUROCONTROL-a je donijeti opipljive rezultate koji će poboljšati performanse ATM sustava, srednjoročno i dugoročno.
- posjeduje jedinstvenu platformu za koordinaciju civilnog i vojnog zrakoplovstva u Europi [17]

SES 2 paket mjera predstavio je stvaranje Mrežnog upravitelja (NM – *Network Manager*) kao centraliziranu funkciju za Europsku Uniju. Osmišljeno je da Mrežni upravitelj rukovodi funkcijama mreže upravljanja zračnog prometa (design zračnog prostora, upravljanje

protokom) te oskudnim sredstvima (dodjela kodova za transponder, radio frekvencije itd.), što je definirano Uredbom (EU) 677/2011. [18]

Europska komisija nominirala je EUROCONTROL kao Mrežnog upravitelja u srpnju 2011. godine, s mandatom koji traje do 31. prosinca 2019. godine. EUROCONTROL će morati tražiti ponovno imenovanje za period nakon 2019. godine. [18]

Mrežni upravitelj strateški, operativno i tehnički odgovara na izazove učinka europskog zračnog prometa. Njegova glavna misija je doprinos učinkovitosti upravljanja zračnog prometa na europskoj mreži u područjima sigurnosti, kapaciteta, okoliša/učinkovitosti leta i troškovnoj učinkovitosti. S jedinstvenog gledišta na europsku mrežu upravljanja zračnim prometom i sa svojom visokom stručnosti, prioritet Mrežnog upravitelja je sklopiti operativna partnerstva i kultivirati kooperativno donošenje odluka, što je prijeko potrebno za postizanje zadanih ciljeva učinkovitosti. [18]

Drugim riječima, Mrežni upravitelj:

- nadzire, obavještava i prognozira učinkovitost europske ATM mreže temeljene na dogovorenim ciljevima učinkovitosti
- ima ulogu centralne jedinice za upravljanje protokom zračnog prometa diljem Europe
- osigurava da se europski zračni prostor može prilagoditi dodatnim potrebama kapaciteta i da se zračne luke lakoćom integriraju u mrežu
- pruža podršku upravljanju mrežnim krizama kroz osnivanje Europske zrakoplovne jedinice za koordinaciju kriza (EACCC – *European Aviation Crisis Coordination Cell*)
- pruža državama članicama i partnerima pristup zajedničkim sredstvima, poput alata, procesa i dosljednih podataka u svrhu podrške procesa kooperativnog donošenja odluka na razini mreže
- podržava razvoj tehnoloških poboljšanja širom europske mreže upravljanja zračnim prometom.[19]

Kako bi ispunio svoje zadaće Mrežni upravitelj mora razviti, održavati i implementirati:

- Mrežni strateški plan (*Network Strategy Plan*)

- detaljni Mrežni operacijski plan (*Network Operations Plan*) [19]

Za svaku odgovornu funkciju postoji odbor koji njome upravlja u svrhu pomnog definiranja ciljeva funkcije te dosljednog provođenja njenih zadaća. Mrežnim upraviteljem upravlja Odbor za mrežno upravljanje (*Network Management Board*) koji uključuje predstavnike:

- pružatelja usluga zračne plovidbe (ANSPs)
- komercijalne i nekomercijalne civilne korisnike zračnog prostora
- rukovoditelje zračnih luka
- vojne vlasti
- Europske komisije
- EUROCONTROL-a
- Mrežnog upravitelja

Treba napomenuti da predstavnici Europske komisije, EUROCONTROL-a i Mrežnog upravitelja nemaju pravo glasa. [19]

2.4. Statistika i prognoze zračnog prometa

Statistika i prognoze su izrazito važne za EUROCONTROL, njegove države članice i dionike.

- statistika omogućuje mjerenje i razumijevanje trenutnih događanja unutar industrije zračnog prometa
- kvantitativne prognoze omogućuju planiranje rješenja za buduće potrebe zračnog prometa [20]

Statistika i prognoze se izrađuju unutar EUROCONTROL-a, točnije u sklopu usluge statistike i prognoza zvane STATFOR (*Statistics and Forecast Service* – STATFOR). Cilj STATFOR-a je pružati statistiku i prognoze zračnog prometa u Europi te nadzirati i analizirati razvoj industrije zračnog prometa. [20]

Prednost EUROCONTROL-a u izradi statistike i prognoza je ta što je za takvu zadaću potrebna ogromna količina podataka koji se kroz postojeću strukturu sustava zračnog prometa već slijevaju direktno u EUROCONTROL kroz razne izvore.

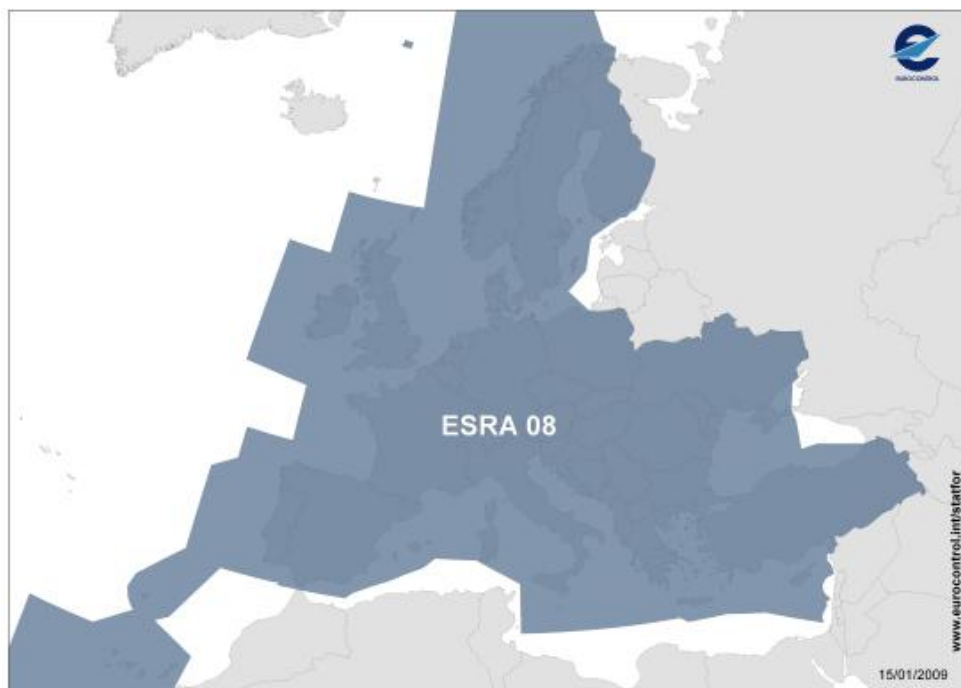
Statistika i prognoze se izrađuju za područje temeljeno na području ECAC-a. ECAC (*European Civil Aviation Conference*) ili Europska konferencija civilnog zrakoplovstva je međuvladina organizacija osnovana 1955. kojoj je osnovna misija promicanje trajnog razvoja sigurnog, učinkovitog i održivog europskog sustava zračnog prometa. [21] Od svih europskih organizacija koje se bave civilnim zrakoplovstvom, ECAC obuhvaća najširu grupu država članica, njih 44, što se može vidjeti na slici 2. [22]



Slika 2 - Države članice ECAC-a su obojane sivom bojom na karti

(izvor: <https://www.ecac-ceac.org/member-states>)

Tako je na temelju područja ECAC-a EUROCONTROL osmislio tzv. EUROCONTROL-ovo statističko referentno područje ili ESRA (*EUROCONTROL Statistical Reference Area*) koje se koristi za izvješća visoke razine iz EUROCONTROL-a namijenjena za 'cijelu Europu'. ESRA područje će se kroz vrijeme mijenjati sporim tempom: dodatno područje će biti dodano ESRA-i tek kada se pojave cjelogodišnji podaci iz svih izvora, kako bi izračun rasta bio moguć. Trenutno se koristi ESRA 08 ('ESRA 2008'), što pokazuje slika 3. [23]



Slika 3 - ESRA 08

(izvor: <https://www.eurocontrol.int/faq/what-esra-eurocontrol-statistical-reference-area>)

2.4.1. Vrste prognoza prometa

STATFOR-ove prognoze dijele se na:

- kratkoročne prognoze – 2 godine unaprijed
- srednjoročne prognoze – 7 godina unaprijed
- dugoročne – do 20 godina unaprijed [24]

Kratkoročne prognoze gledaju 2 godine unaprijed i integrirane su u srednjoročne prognoze. Objavljaju se dvaput godišnje, u veljači i u rujnu. [24]

Srednjoročne prognoze pokazuju 7 godina unaprijed i temelje se na kratkoročnim prognozama. Srednjoročne prognoze kombiniraju statistiku leta s gospodarskim rastom i modelima ostalih važnih čimbenika u industriji poput troškova, kapaciteta zračnih luka, putnika, faktora punjenja, veličine zrakoplova itd. Prognoze pružaju opsežnu sliku predviđenog razvoja zračnog prometa u Europi. Koristeći scenarije visokog i scenarije niskog rasta, prikazan je vjerojatan raspon rasta. Srednjoročne prognoze objavljuju se u veljači i osvježavaju se u rujnu. [24]

Dugoročne prognoze objavljuju se svake dvije godine. Dugoročne prognoze u obzir uzimaju niz različitih mogućih scenarija kako bi prikazale mogući izgled industrije zračnog prometa za 20 godina. Ovo podrazumijeva istraživanje mnogih 'što ako' pitanja u pogledu čimbenika unutar industrije (npr. rast malih poslovnih zrakoplova, ili razvoj 'od-točke-do-točke' prometa) ili čimbenika izvan industrije (npr. cijena nafte, ili ograničenja okoliša). [24]

2.4.2. Proces i rizici izračuna prognoza prometa

Elementi izračuna prognoza prometa su:

- ekonomski rast, dobiven zbrojem BDP rasta u realnim cijenama u lokalnoj valuti
- povećanje nisko-tarifnih operacija, što stvara dodatna kretanja
- mreža vlakova velikih brzina, uračunata kao promjene u vremenu putovanja željeznicom za parove gradova koji su povezani vezama velikih brzina, u usporedbi s temeljnom godinom
- kapacitet zračnih luka, prema broju operacija tijekom jedne godine za velike zračne luke
- faktori punjenja, za koje se pretpostavilo da se mijenjaju linearno od sadašnje do buduće razine, a koja može varirati s obzirom na regiju i scenarij
- promjene na mreži, podešavanja u postotcima za dolaske i odlaske po prometnoj zoni, koje se uz dodatne izvore podataka mogu koristiti za prikazivanje modela efekata konsolidacije, nepravilnosti u smjernicama ili lokalnim specifičnim efektima
- demografske promjene, koje imaju vrlo malen utjecaj kod modela potražnje. Ti podaci se dobivaju od UN-ovih (*United Nations* – UN) prognoza populacije. [25]

Zbog velikog broja potencijalnih nepredviđenih okolnosti (rizika), analitičari prometa u obzir obično uzimaju odstupanja, odnosno donju i gornju granicu prognoze prometa. To jest, radi se o tri različita scenarija:

- osnovni scenarij – *base*
- pesimistični scenarij – *low*
- optimistični scenarij – *high* [25]

Rizici mogu utjecati pojedinačno na državu u njezinu prognozu prometa, ali mogu utjecati i na čitave regije. Neki od teško predvidljivih rizika prognoziranja prometa su:

- odabir rute leta (mreža)
- cijena usluge (preleti i terminalne usluge)
- politička situacija (Ukrajina, Rusija, Turska, Grčka, arapske zemlje...)
- uvođenje novih sustava ATM-a (prijelazni periodi – kašnjenja itd.)
- ekonomija (ekonomski pokazatelji razvoja itd.)
- ratovi, teroristički napadi, prirodne katastrofe
- cijena goriva
- turistički trendovi [25]

2.4.3. Trenutna srednjoročna i dugoročna prognoza

Za što bolje shvaćanje izazova koji se postavlja pred sustav upravljanja zračnim prometom i očuvanje okoliša, dobro je znati trenutnu srednjoročnu (2017-2023) i dugoročnu (2013-2035) prognozu prometa u Europi (ESRA).

2.4.3.1. Srednjoročna prognoza (2017-2023)

Srednjoročna prognoza (2017-2023) – IFR letovi:

- porast prometa u Europi za 2017. godinu izmijenjen je na 2.9%
- za 2018. godinu, predviđen je porast od 1,9%
- od 2019. godine nadalje, očekuje se da će porast europskog zračnog prometa biti stabilan te da će iznositi oko 1,7% po godini tijekom razdoblja od 2019. do 2023. godine
- STATFOR-ove su prognoze obuhvaćaju i varijacije nastale tijekom kontinuiranog promatranja velikih razlika u rastu država širom Europe koje su rezultat različitih trendova gospodarskog rasta i promjena u turističkoj potražnji te izboru ruta. [26]

Konkretno, srednjoročna prognoza za razdoblje od 2017. do 2023. godine predviđa da će u Europi u 2023. godini biti 11,6 ($\pm 1,2$) milijuna IFR letova, što je 14% više nego u 2016. godini i oko 11% više nego u 2017. godini. [26]

2.4.3.2. Dugoročna prognoza (2012-2035)

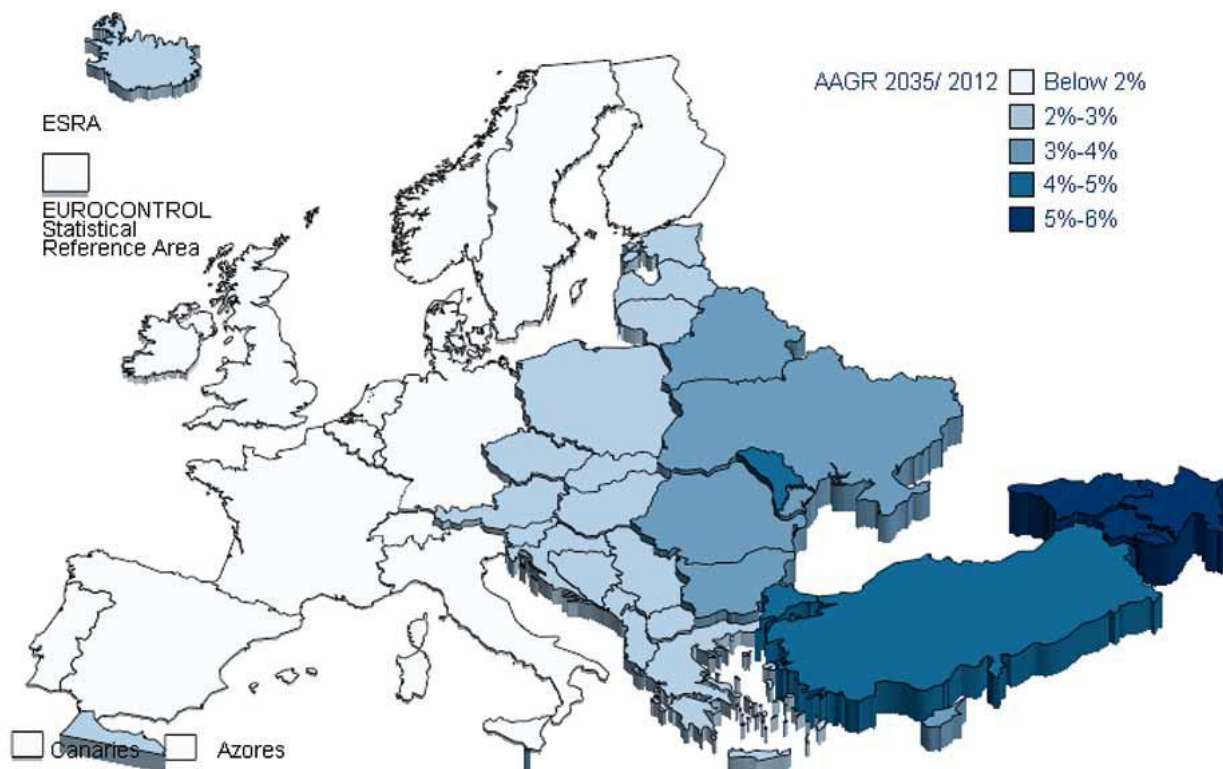
Dugoročna prognoza za 2035. godinu prvi je puta objavljena 2010. godine, no 2013. godine je revidirana te uspoređuje 2012. i 2035. godinu. [27]

Budući da u dugoročnu prognozu ulaze čimbenici koji se još gotovo ne mogu ni predvidjeti, ova dugoročna prognoza dolazi s 4 različita scenarija dugoročnog tehnološkog razvoja koji određuju rast prometa:

- Scenarij A: '*Global Growth (Technological Growth)*' – Snažan ekonomski rast u sve više globaliziranom svijetu, s tehnologijom koja se uspješno koristi za ublažavanje učinaka izazova održivosti kao što su okoliš ili dostupnost resursa.
- Scenarij C: '*Regulated Growth*' – Umjeren gospodarski rast s regulativom usklađivanja ekoloških, društvenih i ekonomskih zahtjeva za rješavanje rastućih globalnih pitanja održivosti. Ovaj scenarij je konstruirao kao „najvjerojatniji“ od četiri scenarija te najbliže prati aktualne trendove.
- Scenarij C': '*Happy Localism*' – Ovaj scenarij uvodi se kako bi istražio alternativni put za budućnost. Europska gospodarstva sve su više i više krhka, uz povećan pritisak na troškove te stroža ekološka ograničenja, zračni promet u Europi prilagodio bi se novom globalnom okruženju ali prema unutra, tj. s unutarnjom perspektivom. Bilo bi manje globalizacije, više trgovine unutar Europske Unije (npr. ulazak Turske u Europu važan je događaj u ovom scenariju). Također, predviđa se usporen rast rekreativnog putovanja izvan EU, ali veći rast unutar EU. Više prometa od točke do točke unutar Europe. Ovo ne znači da se Europa ne razvija ili da se ne prilagođava novim tehnologijama i inovacijama, ali glavni fokus je 'lokalno'. Iako je ovaj scenarij uglavnom temeljen na scenariju C (kao što mu ime govori), također poprima i neke aspekte drugih scenarija kao visoke cijene goriva ili mali promet poslovne avijacije scenarija D.
- Scenarij D: '*Fragmenting World*' – Svijet povećanih napetosti između regija, s više sigurnosnih prijetnji, višim cijenama goriva, smanjenom trgovinskom i prometnom integracijom te indirektnim učincima slabijih gospodarstava. [27]

Za Europu (ESRA) kao jednu cjelinu, najvjerojatniji scenarij C ('*Regulated Growth*') podrazumijeva 14,4 milijuna letova u 2035. godini, oko 50% više nego 2012. godine. To znači

da prosječni godišnji porast prometa iznosi 1,8%, ili oko polovicu vrijednosti promatranog porasta u 40 godina do 2008. godine. Najslabiji scenarije (scenarij D) ima samo 20% više letova u 2035. nego u 2012. godini, a najsnažniji porast (scenarij A) čak 80% letova. Na slici 4 prikazan je predviđeni prosječni godišnji rast prometa (AAGR – *Average Annual Growth Rate*) u razdoblju 2012-2035 na razini Europe za svaku državu koja pripada području ESRA. [27]



Slika 4 - Prosječni godišnji rast prometa (scenarij C: 'Regulated Growth', najvjerojatniji scenarij) [27]

3. UZROCI I MJERE PROVOĐENJA REGULACIJA PROMETA

3.1. Uzrok provođenja regulacije prometa – nedostatak kapaciteta

Upravljanje protokom i kapacitetom zračnog prometa (ATFCM) usluga je koja je već spomenuta u drugom poglavlju, no direktno je povezana s mjerama regulacije te je zbog toga potrebno dodatno istražiti ulogu te usluge u provođenju mjera regulacije.

Kao podsjetnik, ATFCM je usluga čija je glavna svrha održavanje ravnoteže između ponude (kapaciteta) i potražnje (broja zrakoplova), te osiguravanje optimalnog iskorištenja kapaciteta.

Dakle, uloga ATFCM-a značajno ovisi o odnosu ponude i potražnje. Ako se ponuda označi sa slovom c (*capacity*), a potražnja sa slovom d (*demand*), odnos ponude i potražnje može se prikazati s tri različita scenarija:

- $c > d$ – u ovom scenariju ponuda je veća od potražnje, tj. zračni prostor može prihvatiti više zrakoplova nego što je to potrebno, stoga nema opasnosti od zastoja i kašnjenja
- $c = d$ – u ovom scenariju ponuda je jednaka potražnji te teoretski dolazi do pojave idealnog homogenog toka
- $c < d$ – scenarij u kojem je ponuda manja od potražnje stvara redove čekanja i kašnjenja, te su brojni postupci i procesi stvoreni i implementirani u svrhu prevencije i rješavanja ovakvog scenarija [28]

ATFCM uvijek pokušava optimizirati kapacitet kako bi zadovoljio potražnju. No, kada optimizacija kapaciteta više ne rješava problem, kreće se u prilagođavanje potražnje korištenjem raznih ATFCM mjera. To uključuje tzv. proces kooperativnog donošenja odluka (CDM – *Collaborative Decision Making*) između Mrežnog upravitelja (NM), pozicije kontrole protoka prometa (FMP – *Flow Management Position*) i zrakoplovnih operatora (AOs – *Aircraft Operators*). [28]

Pozicija kontrole protoka prometa ili FMP je pozicija uspostavljena unutar odgovarajućih jedinica kontrole zračnog prometa kako bi se osiguralo neophodno sučelje s

centralnom jedinicom za upravljanje protokom zračnog prometa o pitanjima koja se odnose na pružanje usluge upravljanja protokom i kapacitetom zračnog prometa. [29]

3.2. Razlozi regulacije

Iako je kao glavni uzrok uvođenja mjera regulacije identificiran u vidu preopterećenja kapaciteta ($c < d$), u pozadini se krije mnoštvo razloga zbog kojih može doći do preopterećenja. Ako se kroz ATFCM želi smanjiti pojavu preopterećenja kapaciteta potrebno je istražiti razloge zbog kojih dolazi do takve pojave te pokušati smanjiti učestalost iste. Razlozi zbog kojih se provode regulacije te smjernice za primjenu regulacije prikazani su u tablici 1. Kada dođe do potrebe za regulacijom, FMP-ove se potiče da prijave tzv. razlog regulacije.

Tablica 1 - Prikaz razloga zbog kojih se provode regulacije te smjernica za primjenu istih [30]

Razlog regulacije	Smjernice za primjenu
ATC kapacitet	Rutni dio: potražnja prekoračuje / složenost smanjuje objavljeni ili očekivani ATC kapacitet. Zračna luka: potražnja prekoračuje objavljeni ili očekivani ATC kapacitet
ATC industrijska akcija	Smanjenje bilo kakvog kapaciteta zbog industrijske akcije (najčešće štrajkova) ATC osoblja.
ATC rutiranje	Mrežna rješenja/scenariji korišteni za balansiranje ponude i potražnje.
ATC osoblje	Neplanirani nedostatak osoblja što uzrokuje smanjenje očekivanog kapaciteta.
ATC oprema	Smanjenje očekivanog ili objavljenog kapaciteta zbog nedostupnosti ili propadanja opreme korištene za pružanje ATC usluga.
Nesreća/nezgoda	Smanjenje očekivanog ATC kapaciteta zbog zrakoplovne nesreće/nezgode.
Aerodromski kapacitet	Smanjenje objavljenog ili očekivanog kapaciteta zbog propadanja ili nedostupnosti infrastrukture u zračnoj luci, npr. radovi u tijeku, nedostatak stajanki za zrakoplove itd.

	Ili kada potražnja prekorači očekivani aerodromski kapacitet.
Aerodromske usluge	Smanjenje kapaciteta zbog propadanja ili nedostupnosti opreme za podršku u zračnoj luci, npr. vatrogasna služba, oprema za odleđivanje i uklanjanje snijega ili ostala oprema.
Industrijske akcije osoblja koje nije ATC	Smanjenje očekivanog/planiranog kapaciteta zbog industrijske akcije organizirane od strane osoblja koje nije ATC osoblje.
Upravljanje zračnim prostorom	Smanjenje objavljenog ili očekivanog kapaciteta nakon promjena u dostupnosti zračnog prostora/ruta zbog vojne aktivnosti u malim razmjerima.
Specijalni događaj	Smanjenje planiranog, objavljenog ili očekivanog kapaciteta ili kada potražnja prekorači kapacitet usred velikog sportskog, vladinog ili društvenog događaja. Može se koristiti i za nadogradnju ili tranziciju ATM sustava. Velike multinacionalne vojne vježbe također mogu koristiti ovaj razlog. Ova kategorija trebala bi se koristiti samo uz prethodno odobrenje tijekom procesa planiranja.
Vremenski uvjeti	Smanjenje očekivanog kapaciteta zbog bilo kojeg vremenskog fenomena. Ovo uključuje slučajeve u kojima vremenski uvjeti utječu na kapacitet infrastrukture zračne luke, ali u kojima aerodromske usluge funkcioniraju po planu
Ekološka pitanja	Smanjenje bilo kojeg kapaciteta ili kada potražnja prekorači kapacitet zbog dogovorene razine lokalne buke, korištenja uzletno-sletne staze ili sličnih postupaka. Ova kategorija trebala bi se koristiti samo uz prethodno odobrenje tijekom procesa planiranja.
Ostalo	Ovo bi se trebalo koristiti samo u izuzetnim okolnostima kada ni jedna druga kategorija nije dostatna.

3.3. Faze djelovanja ATFCM-a

Proces kojim ATFCM osigurava da ne dođe do preopterećenja kapaciteta može se sažeti u tri koraka. Za svaki plan leta koji je predan i obrađen, uspoređuje se odnos kapaciteta i potražnje te se po redoslijedu primjenjuju ispod navedeni koraci:

1. usklađivanje kapaciteta i potražnje (uz pomoć FMP-a) – prilagodba konfiguracije sektora, koordinacija privremenog povećanja kapaciteta kako bi odgovarao potražnji
2. usklađivanje potražnje i kapaciteta bez uvođenja regulacije (uz pomoć FMP-a i/ili zrakoplovnog operatera) – *level capping*, rerutiranje tokova prometa ili pojedinačnih letova
3. usklađivanje potražnje i kapaciteta s uvođenjem regulacije – ATFCM mjere regulacije i CTOT (*Calculated Take Off Time*) [28]

Ovi koraci se provode kroz nekoliko faza ATFCM-a. Faze ATFCM-a razlikuju se po vremenskoj udaljenosti od dana operacija – tzv. dana D (D dan – *Day of Operation*). Pružanje ATFCM usluge provodi se u ove 4 faze:

- strateška faza – provodi se $\geq D-7$, tj. 7 ili više dana prije dana operacije
- predtaktička faza – provodi se D-6 – D-1, tj. obuhvaća interval od 6 dana prije dana operacije do 1 dan prije dana operacije
- taktička faza – provodi se na dan D, tj. na dan operacije
- postoperativna faza – provodi se nakon dana D, tj. nakon dana operacije

3.3.1. Strateška faza

Strateško upravljanje protokom provodi se sedam ili više dana prije dana operacije te uključuje aktivnosti istraživanja, planiranja i koordinacije kroz proces kooperativnog donošenja odluka (CDM). Ova faza obuhvaća kontinuirano prikupljanje podataka uz pregled postupaka i mjera usmjerenih prema ranoj identifikaciji velikih neravnoteža potražnje i kapaciteta kao što su npr.: aeromitinzi, veliki sportski događaji i vojne vježbe. Kada su neravnoteže identificirane, Mrežni upravitelj (NM) odgovoran je za cjelokupnu koordinaciju i provedbu strateškog ATFCM planiranja u svrhu optimizacije svih raspoloživih kapaciteta i postizanja ciljeva učinkovitosti. Rezultat ove faze je Mrežni operativni plan (NOP – *Network Operations Plan*). [30]

3.3.2. Predtaktička faza

Predtaktičko upravljanje protokom primjenjuje se tijekom intervala koji obuhvaća 6 dana prije dana operacije do 1 dan prije dana operacije te se sastoji od aktivnosti planiranja i

koordinacije. Ova faza proučava potražnju za dan operacije, uspoređuje ju s predviđenim raspoloživim kapacitetom za taj dan te donosi bilo kakve potrebne prilagodbe planu koju je razvijen tijekom strateške faze. Glavni cilj predtaktičke faze je optimizacija učinkovitosti i uravnoteženje potražnje i ponude kroz učinkovitu organizaciju sredstava (npr. upravljanje sektorskom konfiguracijom, uporaba scenarija itd.) te provedba širokog raspona odgovarajućih ATFCM mjera. Metodologija rada temelji se na procesu kooperativnog donošenja odluka između sudionika (npr. NM, FMP, AO-a). Rezultat je ATFCM dnevni plan (ADP – *ATFCM Daily Plan*), koji se objavljuje putem ATFCM obavijesti (ANM – *ATFCM Notification Message*) ili putem NOP portala. [30]

3.3.3. Taktička faza

Taktičko upravljanje protokom odvija se na dan operacije i uključuje razmatranje, u stvarnom vremenu, onih događaja koji utječu na ATFCM dnevni plan te izvršavanje pojedinih preinaka. Ova faza ima za cilj osigurati da mjere koje su poduzete tijekom strateške i predtaktičke faze predstavljaju potrebni minimum za rješavanje neravnoteža potražnje i ponude. Potreba za prilagodbom izvornog plana može biti uzrokovana raznim smetnjama poput problema s osobljem, značajnih meteoroloških pojava, krizama, specijalnim događajima, neočekivanim ograničenjima vezanim uz infrastrukturu na zemlji ili u zraku itd. Također, može doći do prilagodbe izvornog plana ako se uoči prilika za iskorištavanje povoljne situacije. Pružanje točnih informacija od vitalne je važnosti u ovoj fazi jer omogućuje kratkoročne prognoze što uključuje utjecaj bilo kakvog događaja te maksimizira postojeće kapacitete bez ugrožavanja sigurnosti. [30]

3.3.4. Postoperativna faza

Postoperativna analiza konačni je korak u ATFCM procesu planiranja i upravljanja te se odvija nakon taktičke faze, tj. 1 dan nakon izvođenja operacije. Tijekom faze postoperativne analize provodi se analitički proces koji mjeri, istražuje i izvještava o operativnim procesima i aktivnostima u svim područjima i vanjskim jedinicama važnim za uslugu upravljanja protokom i kapacitetom zračnog prometa. Svi dionici unutar ATFCM usluge trebali bi pružiti povratne informacije o učinkovitosti ATFCM dnevnog plana (mjere ATFCM-a i kašnjenja, korištenje unaprijed definiranih scenarija itd.), planiranja leta i zračnog prostora. Ova faza uspoređuje

očekivani ishod (tamo gdje se procjenjuje) i stvarni izmjereni ishod, obično glede kašnjenja i proširenja rute, uzimajući u obzir ciljeve učinkovitosti. Konačni rezultat ove faze je razvoj najbolje prakse i/ili naučene lekcije za poboljšanje navedenih operativnih procesa i aktivnosti. [30]

3.4. Rješenja ATFCM-a u slučaju pada kapaciteta

Prateći SES-ov koncept kooperativnog donošenja odluka (CDM), Mrežni upravitelj mora kontinuirano i proaktivno razmatrati sva moguće ATFCM rješenja kroz trajni i neprekinuti proces koji se proteže sve od strateškog planiranja do izvođenja operacija na dan D. [30]

Kako bi se riješili nedostaci kapaciteta i poboljšalo upravljanje mrežnim kapacitetom uz istovremeno smanjivanje ograničenja, ATFCM rješenja navedena u tablici 2 je neophodno uzeti u obzir. Kada se preopterećenja opaze, pokreće se proces kooperativnog donošenja odluka te Mrežni upravitelj i odgovarajući FMP-ovi razmatraju razna rješenja. Ta rješenja moraju se temeljito procijeniti prije donošenja odluke o njihovoj implementaciji. [30]

Rješenja ATFCM-a u slučaju pada kapaciteta mogu se podijeliti u tri različite kategorije ovisno o svrsi za koje se rješenja koriste:

1. optimizacija iskorištenosti raspoloživog kapaciteta – rješenja u ovoj kategoriji trebala bi rezultirati povećanjem kapaciteta u skladu s profilom prometne potražnje
2. korištenje preostalog raspoloživog kapaciteta – podrazumijeva ATFCM rješenja kojima je cilj prebaciti prometnu potražnju u područja koja imaju dostatni kapacitet
3. regulacija potražnje – obuhvaća rješenja koja se sastoje od optimizacije kapaciteta i potražnje širom Europe, u stvarnom vremenu, te upravljanja kašnjenjem gdje su zrakoplovi pod utjecajem regulacije kako bi im bile ponuđene alternative i kako bi se smanjilo kašnjenje. Letovi koji se održavaju tog dana (dana kada je aktivna regulacija potražnje) dobivaju prednosti ATFCM-a, koje uključuju raspodjelu vremena polijetanja pojedinih zrakoplova, rerutiranje u svrhu izbjegavanja uskih grla te ponuda alternativnih profila leta kako bi se povećala učinkovitost. [30]

Tablica 2 - Rješenja ATFCM-a u slučaju pada kapaciteta [30]

Optimizacija iskorištenosti raspoloživog kapaciteta	Korištenje preostalog raspoloživog kapaciteta	Regulacija potražnje
• Upravljanje sektorom ○ konfiguracija sektora ○ broj sektora ○ rušenje/razdvajanje sektora • Balansiranje dolaznog/odlaznog kapaciteta • Procjena popisa letova (letovi manjeg opterećenja) • Pregovaranje o dodatnom kapacitetu ○ praćenje vrijednosti ○ broj popunjenosti • Civilno-vojna koordinacija (ATFCM/ASM) • Smanjivanje složenosti prometa • Postupak čekanja (engl. <i>holding pattern</i>)	• Rerutiranje ○ tokova prometa ○ letova • Upravljanje razinama leta (FL – <i>flight level</i>) • Predviđanje prometa • FMP taktičke ATFCM mjere ○ FMP upravljanje razinama leta ○ FMP rerutiranje	• regulacija (dodjela SLOT-ova) • mrežna 'cherry-pick' regulacija • FMP taktičke ATFCM mjere ○ minimalni intervali odlazaka (MDIs – <i>Minimum Departure Intervals</i>) ○ MIT (eng. <i>Miles-In-Trail</i>) • ograničavanje kapaciteta

3.5. Mjere regulacije na zemlji i u zraku

Ni jedan sustav nije savršen, a pogotovo u teško predvidljivoj industriji kao što je promet. U idealnim slučajevima se odnos ponude i potražnje uspostavlja kroz stratešku i predtaktičku fazu ATFCM-a. No, primjerice tijekom ljetne sezone, to nije uvijek moguće. Najkorištenije mjere regulacije na dan operacija su:

- dodjeljivanje SLOT-a

- SLOT 'swapping'
- 'level capping'
- rerutiranje
- 'cherry picking'

3.5.1. Dodjeljivanje SLOT-a

Previše zrakoplova u zraku u isto vrijeme i na istom mjesto može dovesti do nesigurne situacije. Jedna od mjera kojom Mrežni upravitelj sprječava takve situacije jest primjena 'CTOT-a' (*Calculated Take-off Times*) ili proračunatog vremena polijetanja, ili jednostavnije, dodjeljivanjem ATFCM SLOT-ova. SLOT je ustvari vremenski period unutar kojeg zrakoplov mora poletjeti. U Europi se SLOT definira kao razdoblje između 5 minuta prije i 10 minuta nakon CTOT-a. Zrakoplov mora biti na uzletno-sletnoj stazi i spreman za polijetanje u vrijeme CTOT-a, a razdoblje oko CTOT-a omogućuje kontroli zračnog prometa da integrira zrakoplov u ostali promet. [31]

Ako zrakoplov ne stigne poletjeti unutar svog SLOT-a (ili ako se unaprijed zna da polijetanje unutar SLOT-a neće biti moguće), operativni centar Mrežnog upravitelja zrakoplovu će dodijeliti novi SLOT. Drugi zrakoplov koji ima SLOT zbog iste regulacije može dobiti bolji SLOT (raniji) u svrhu iskorištavanja novonastalog raspoloživog kapaciteta. [31]

Drugim riječima, za svaki let u planu leta postoji rubrika 'EOBT' (*Estimated Off-Block Time*) ili predviđeno vrijeme početka vožnje. No, tijekom regulacije zrakoplovu se dodjeljuje CTOT s kojim zrakoplov obično mora poletjeti nakon vremena predviđenog u planu leta, te zbog toga let može kasniti. Stoga, za zrakoplovne prijevoznike dodjeljivanje SLOT-ova nije optimalno rješenje, no za upravljanje protokom i kapacitetom zračnog prometa je nužno. Naravno, zrakoplovima nije u interesu da ne polete u svom SLOT-u jer će im biti dodijeljen novi SLOT s kojim će moći poletjeti još kasnije što stvara još veća kašnjenja.

3.5.2. SLOT 'swapping'

SLOT 'swapping' (hrv. razmjena) je mjera koja omogućuje zrakoplovnim prijevoznicima da određenim letovima pridaju veću važnost. To se postiže kroz zamjenu SLOT-a jednog leta sa SLOT-om drugog leta. [32]

U početku je mjera SLOT 'swapping' bila ograničena na letove unutar iste zrakoplovne kompanije, no danas se korisnicima zračnog prostora pruža prilika da zamjene redoslijed polaska bilo koja dva leta različitih zrakoplovnih kompanija koji ulaze u isto ograničenje (zračni prostor, zračna luka, odredišta). Ovo omogućuje zrakoplovnim korisnicima da u okviru komercijalnih sporazuma mogu smanjiti kašnjenje komercijalno osjetljivog leta na uštrb drugog leta. [32]

3.5.3. 'Level capping'

'Level capping' je ATFCM mjera koja ograničava najveću razinu leta koja može biti planirana između dvije zračne luke, ili između zračne luke i točke na ruti ili točaka na ruti, ili pak između dvije točke na ruti, u svrhu smanjenja prometne potražnje u zračnom prostoru iznad prethodno definirane razine leta. [33]

Drugim riječima, radi se o mjeri koja ograničava razinu leta na kojoj zrakoplov leti. Ovisno o težini zrakoplova, vrsti zrakoplova i dužini leta, zrakoplovni prijevoznik u plan leta upisuje željenu razinu leta. No, budući da je zračni prostor podijeljen na različite sektore, što horizontalno što vertikalno, u slučaju preopterećenja nekog od sektora, let koji je prvotno trebao proći kroz taj sektor mora biti promijenjen. U slučaju 'level capping-a' ta promjena se očituje u ograničavanju razine leta tog zrakoplova, tj. zrakoplov obično mora cijeli ili djelomični rutni dio provesti na nižoj razini leta (nižoj od predviđene), što za zrakoplovnu kompaniju nije optimalno jer povećava troškove leta u smislu veće potrošnje goriva, a također nije dobro ni za okoliš jer to podrazumijeva i veću količinu ispušnih plinova.

3.5.4. Rerutiranje

Rerutiranje je ATFCM mjera koja od zrakoplovnog operatera zahtjeva da podnese novi plan leta s alternativnom rutom ili razinom leta u svrhu rješavanja nedovoljnog kapaciteta zračnog prostora i smanjenja kašnjenja.

3.5.5. 'Cherry picking'

Takozvana 'cherry picking' mjera koristi se za rješavanje preopterećenosti kapaciteta koju stvara ograničen broj letova u zagušenim područjima. Sastoji se od identificiranja letova koji su uzrok složenosti te primjena ATFCM mjera samo za te letove. Ova mjera se može

koristiti u kombinaciji s drugim mjerama ili drugim opcijama dostupnim FMP-u. Identifikacija letova koji će biti podvrgnuti 'cherry pick' mjeri izvodit će se od strane FMP-a, a kašnjenje takvih letova ne smije biti veće od 20 minuta. [30]

Drugim riječima, umjesto da se svim zrakoplovima koji prolaze kroz regulirani zračni prostor dodijeli SLOT što u konačnici uzrokuje relativno velika kašnjenja, koristi se preciznija metoda koja pronalazi one letove koji u najvećoj mjeri utječu na pojavu preopterećenosti te da se u idealnom slučaju, samo takvi letovi reguliraju.

4. OKOLIŠ – KLJUČNO PODRUČJE UČINKOVITOSTI ATM-A

Poznato je da europski zrakoplovni sektor donosi razne značajne ekonomske i društvene pogodnosti. Međutim, aktivnosti zrakoplovnog sektora također pridonose promjeni klimatskih uvjeta, razini buke te utječu na kvalitetu lokalnog zraka, a sve od toga utječe na zdravlje i kvalitetu života europskog građanina. Povijesna stopa poboljšanja u različitim područjima (npr. tehnologija i dizajn) nije držala korak s rastom potražnje u zračnom prometu što je dovelo do većeg utjecaja na okoliš zbog npr. povećanja buke i količine ispušnih plinova, a ovakav trend bi se po prognozama trebao i nastaviti. Slijedom okolnosti će se ekološki izazov za ovaj sektor povećati te će budući rast europskog zrakoplovnog sektora biti neraskidivo povezan s okolišnom održivosti. [34]

Svijest o važnosti očuvanja okoliša raste na globalnoj, pa tako i na europskoj razini. S obzirom da je jasno da zrakoplovni sektor neće prestati rasti javlja velika potreba za usklađivanjem porasta zračnog prometa i smanjenja utjecaja zračnog prometa na okoliš. Zbog toga se zadnjih godina intenzivno radi na osmišljanju, razvijanju i implementiranju raznih metoda i tehnologija te u tome sudjeluju svi dionici zračnog prometa, od neprofitnih organizacija preko zračnih luka i zrakoplovnih operatora do pružatelja usluga zračne plovidbe i proizvođača zrakoplova. Svi sudionici potencijalno smanjuju kvalitetu svojih usluga i financijski profit jer su spoznali da je samo pitanje vremena kada će utjecaj trenutne tehnologije i sustava napraviti nepopravljivu štetu na neprocjenjivi globalni ekosustav Zemlje.

Za ovu temu korisno je znati sljedeće činjenice i prognoze:

- broj letova povećao se za 80% između 1990. i 2014. godine, a predviđa se da će porasti za dodatnih 45% između 2014. i 2035. godine
- ekološki utjecaji europske avijacije povećali su se u zadnjih 25 godina prateći porast zračnog prometa
- prosječna starost zrakoplova iznosila je 10 godina u 2014., ali flota polagano zastarijeva
- zbog tehnoloških poboljšanja, obnavljanja flote, povećanja učinkovitosti upravljanja zračnog prometa i ekonomske krize 2008. godine, razine ispušnih plinova i izloženosti buke u 2014. godini su približno iste razinama u 2005. godini

- oko 2,5 milijuna ljudi izloženo je buci na 45 velikih europskih zračnih luka 2014. godine, a predviđa se da će se ta brojka povećati za 15% između 2014. i 2035. godine
- emisije CO₂ povećale su se za otprilike 80% između 1990. i 2014. godine, a predviđa se da će porasti za dodatnih 45% između 2014. i 2035. godine
- emisije NO_x udvostručile su se između 1990. i 2014. godine, a predviđa se da će porasti za dodatnih 43% između 2014. i 2035. godine [34]

U Europi se već provodi sveobuhvatan niz mjera za rješavanje gore navedenih izazova. Taj niz mjera nije ograničen, a uključuje mjere u tablici 3.

Tablica 3 - Niz mjera koji se provodi na području Europe za rješavanje ekoloških izazova [34]

Tehnologija i dizajn	Upravljanje zračnim prometom i operacije	Zračne luke
- smanjenje zrakoplovne buke i ispušnih plinova kroz EU istraživačke programe, 'Clean Sky' i ekološke tehničke standarde	- okvir EU Jedinstvenog europskog neba - SESAR ATM istraživački program - modernizacija ATM sustava - optimizacija korištenja zračnog prostora i zrakoplovnih operacija	- sudjelovanje u programu akreditacije ugljika (eng. <i>Airport Carbon Accreditaion Programme</i>) - certificirani sustavi upravljanja okoliša i kvalitete - uravnotežen pristup upravljanju zrakoplovnom bukom
Tržišne mjere	Održiva alternativna goriva	Prilagodba avijacije promjenjivoj klimi
- internalizacija vanjskih troškova putem sustava trgovanja emisijama Europske unije (EU ETS) i preko programa naknada za zračne luke	- razvoj novih održivih goriva u svrhu: • poboljšanja kvalitete zraka • usporavanja klimatskih promjena • diversifikacije opskrbe energijom	- aktivnosti unutar zrakoplovnog sektora za prilagodbu i razvoj otpornosti na trenutne i buduće utjecaje klimatskih promjena

4.1. Utjecaj zrakoplovstva na okoliš

Kada se govori o utjecaju zrakoplovstva na okoliš, misli se konkretno na tri stavke:

- utjecaj buke
- klimatske promjene
- zagađenje zraka. [34]

4.1.1. Utjecaj buke i europska strategija

Buku stvaraju prometne i industrijske aktivnosti na tlu i u zraku. To je sveprisutan zagađivač koji izravno utječe na zdravlje izloženih ljudi i divljih životinja u pogledu fizičkog, mentalnog i društvenog blagostanja. Populacije izložene visokim razinama buke mogu pokazivati simptome stresa, promjene u spavanju i kliničke simptome poput hipertenzije i kardiovaskularnih bolesti. Svi ovi učinci narušavaju kvalitetu života, a ponekad su i razlog prijevremene smrti. [34]

Direktiva o zaštiti buke u okolišu i Uredba o uravnoteženom pristupu upravljanja bukom (Uredba (EU) br. 598/2014) predstavljaju opsežne zakonodavne instrumente Europske Unije pomoću kojih se nadzire buka u okolišu te se putem tih instrumenata poduzimaju aktivnosti. Države članice EU-a primjenjuju zajedničke kriterije za mapiranje buke, kao i za razvoj i provedbu izvršnih planova za smanjivanje izloženosti u velikim gradovima i mjestima blizu glavne prometne infrastrukture. [34]

4.1.2. Klimatske promjene i europska strategija

Zrakoplovni motori u zrak ispuštaju razne zagađivače od kojih je ugljični dioksid (CO₂) najznačajniji staklenički plin (GHG – *Greenhouse Gas*) koji utječe na klimatske promjene. Globalni učinci klimatskih promjena utjecat će na Europu na mnogo načina, uključujući:

- promjenu prosječnih i ekstremnih temperatura
- promjenu učestalosti i količine padalina
- zatopljenje mora
- porast razine mora

- smanjenje količine snijega i leda na tlu i na moru

Ove promjene već su prouzročile brojne učinke na ekosustave, društveno-gospodarske sektore i ljudsko zdravlje, a to će se nastaviti događati ako ljudi nešto ne promijene na globalnoj razini. [34]

U kontekstu međunarodnih napora za ograničavanje klimatskih promjena, Europska Unija obvezala se smanjiti svoje emisije stakleničkih plinova za najmanje:

- 20% do 2020. godine, u usporedbi s razinama iz 1990. godine
- 40% do 2030. godine, u usporedbi s razinama iz 1990. godine

Očekuje se da će prometni sektor pridonijeti gore navedenim ciljevima kroz smanjenje svojih emisija stakleničkih plinova za:

- 20% do 2030. godine, u usporedbi s razinama iz 2008. godine (ovo odgovara smanjenju od 60% u usporedbi s razinama iz 1990. godine)
- 70% do 2050. godine, u usporedbi s razinama iz 2008. godine

Ove se obaveze podupiru nizom mjera poput uključivanja zrakoplovnog sektora u sustav trgovanja emisijama Europske Unije (EU ETS – *European Union Emissions Trading System*) te razvoj CO₂ standarda za zrakoplove. [34]

4.1.3. Zagađenje zraka i europska strategija

Lokalno i regionalno onečišćenje zraka glavni je ekološki čimbenik rizika od prerane smrti u Europi. Povećava učestalost širokog spektra bolesti te šteti vegetaciji i ekosustavima. Takvi učinci predstavljaju stvarni gospodarski gubitak za Europu u smislu njezinih prirodnih sustava, poljoprivrede, produktivnosti svoje radne snage i zdravlja svojih građana. [34]

Dva važna zagađivača zraka bitna za zrakoplovstvo su:

- dušikovi oksidi (NO_x) koji se emitiraju pri izgaranju goriva i mogu dovesti do formiranja drugih onečišćivača zraka koji štete zdravlju, poput čestica iz zraka i prizemnog ozona. Dušikovi oksidi također uzrokuju zakiseljavanje i eutrofikaciju voda i tla, te imaju ulogu indirektnog stakleničkog plina koji pridonosi stvaranju ozona na nadmorskoj visini

- čestice u zraku (eng. *particulate matter*) predstavljaju jedan od najopasnijih zagađivača jer prodiru u osjetljiva područja dišnog sustava te mogu uzrokovati pojavu karcinoma, bolesti krvožilnog sustava te plućne bolesti. Također mogu pogoršati tijek istih bolesti. [34]

Zakonodavstvo Europske Unije o zagađenju zraka slijedi dvosmjerni pristup provedbi i standarada za kvalitetu lokalnog zraka i kontrola smanjenja emisija s izvora (npr. emisije motora i standardi kvalitete goriva). Obvezujuća nacionalna ograničenja za emisije najvažnijih zagađivača uspostavljena su u Europskoj Uniji, ali nisu obuhvaćene sve zrakoplovne djelatnosti. [34]

4.2. Glavni europski plan upravljanja zračnim prometom i ključna područja učinkovitosti

U drugom poglavlju spomenut je projekt SESAR koji služi kao tehnološki alat za postizanje ciljeva inicijative Jedinstvenog europskog neba (SES-a).

Kako bi SESAR ispunio ciljeve SES-a (navedene u drugom poglavlju) i povećao učinkovitost sustava upravljanja zračnim prometom, 2009. godine stvoren je plan smjernica pod nazivom Glavni europski plan upravljanja zračnim prometom (*European ATM Master Plan*). [35]

4.2.1. Glavni plan upravljanja zračnim prometom

Glavni europski plan upravljanja zračnim prometom predstavlja dogovoreni plan koji povezuje istraživanja i razvojne aktivnosti upravljanja zračnog prometa sa scenarijima implementacije u svrhu postizanja ciljeva učinkovitosti SES-a. [36]

Drugim riječima, glavni plan ATM-a je ključan alat SESAR-a za razvoj SES-a i njime se uspostavljaju temelji za pravodobno, koordinirano i učinkovito uvođenje novih tehnologija ATM-a te operativnih postupaka. [37]

Europski glavni plan ATM-a danas broji nekoliko izdanja. To je dokument koji se neprestano razvija. Svako ažuriranje Glavnog plana upravljanja zračnog prometa aktivira proces definiranja koji prilagođava zahtjeve novog sustava upravljanja zračnim prometom

razvojnim ciljevima učinkovitosti SES-a i operativnoj stvarnosti, te uvodi iste zahtjeve u naknadne procese SESAR (istraživanje, razvoj i implementacija). [36]

4.2.2. Ključna područja učinkovitosti

Kada u projektu postoji više ciljeva koje treba postići, pokazalo se efikasnim te ciljeve podijeliti u različite grupe ili područja. Tako su i u SESAR-u kroz glavni plan ATM-a ciljevi podijeljeni na prvotno četiri, a naknadno su dodana još dva, ključna područja učinkovitosti (KPAs – *Key Performance Areas*).

Gore navedena shema učinkovitosti uvedena je za usluge zračne plovidbe i mrežne funkcije 3.5.2013. uredbom (EU) br. 390/2013. Ta uredba definira da će shema učinkovitosti pridonijeti glavnom cilju: održivi razvoj sustava zračnog prometa kroz poboljšavanje ukupne učinkovitosti usluga zračne plovidbe. Definira i ključna područja učinkovitosti:

- sigurnost
- okoliš
- kapacitet
- troškovna učinkovitost
- operativna učinkovitost (uvedeno kasnije)
- zaštita (uvedeno kasnije) [38]

Kada su u projektu ciljevi grupirani, praćenje promjena ili poboljšanja je lakše. Međutim, ako se želi znati kako projekt napreduje i kakav je trend, te promjene moraju biti mjerljive za što je neophodno uključiti metriku. Zato su uvedeni tzv. ključni pokazatelji učinkovitosti (KPIs- *Key Performance Indicators*) koji su odabrani za svako ključno područje učinkovitosti. Propisano je da, u smislu postavljanja cilja, svakom ključnom području učinkovitosti mora odgovarati jedan ili ograničeni broj ključnih pokazatelja učinkovitosti, te da će se učinkovitost usluga u zračnoj plovidbi ocijeniti pomoću obvezujućih ciljeva za svaki ključni pokazatelj učinkovitosti. [39]

Ključnih pokazatelja učinkovitosti ima jako puno. Budući da je tema ovog poglavlja okoliš, u idućem potpoglavlju navest će se najbitniji i najkorisniji pokazatelji učinkovitost za okoliš.

4.3. Ključni pokazatelji učinkovitosti (KPP) u vezi okoliša

Prvo treba spomenuti referentna razdoblja za shemu učinkovitosti. Nadležne organizacije su pri početku ovog projekta mjerenja učinkovitosti shvatile da postoji velika mogućnost da nisu postavljeni optimalni mjerni alati i sustav mjerenja učinkovitosti, te da će projekt zahtijevati mnoge preinake u godinama koje slijede. No, jednom kad se odluka donese, mora biti primijenjena u cijelom sektoru na jednak način, u protivnom se mjerenja učinkovitosti neće moći uspoređivati te se neće moći gotovo ništa zaključiti.

Drugim riječima, temeljna ideja ključnih pokazatelja učinkovitosti je mjerenje promjena, po mogućnosti poboljšanja, učinkovitosti. Stoga, kako bi ključni pokazatelj učinkovitosti bio koristan, mora postojati vrijednost koja će služiti kao referenca s kojom će se izmjereni rezultati uspoređivati. Ta referentna vrijednost stvorena je mjerenjem ključnog pokazatelja učinkovitosti u određenom vremenskom razdoblju, koje odgovara vremenskom okviru odabranom za ključnog pokazatelja učinkovitosti. [35]

Tako je donesena odluka na razini Europske Unije da se uvedu referentna razdoblja, od kojih će prvo trajati tri godine, točnije, od 2012. do uključivo 2014. godine. Sljedeća referentna razdoblja moraju obuhvaćati pet kalendarskih godina, ukoliko se izmjenama i dopunama ne odluči drugačije. Također je propisano da se referentno razdoblje mora primijeniti na ciljeve učinkovitosti na razini cjelokupne Europske Unije kao i na planove i ciljeve učinkovitosti na nacionalnoj razini ili na razini funkcionalnog bloka zračnog prostora. [39]

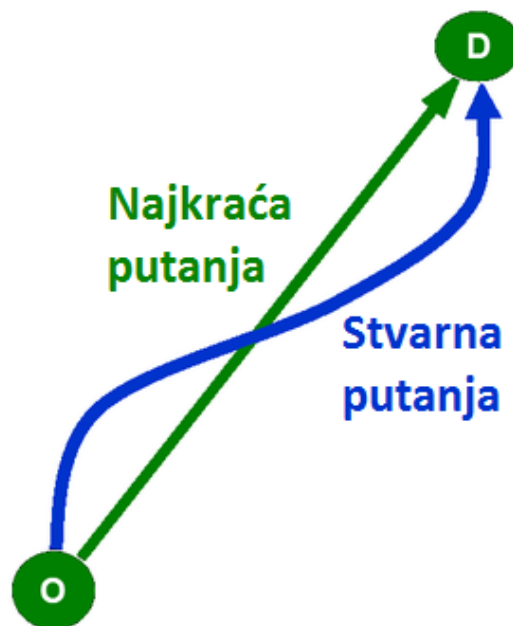
Ovo je omogućilo da se u prvom referentnom razdoblju provjeri kako sustav funkcionira i da se na temelju efikasnosti sustava donesu određene promjene, bilo oko ciljeva, planova, područja ili pokazatelja učinkovitosti, koje će biti primijenjene u drugom referentnom razdoblju.

4.3.1. Prvi ključni pokazatelj učinkovitosti okoliša

U prvom referentnom razdoblju, prvi KPP u vezi okoliša na razini cjelokupne Europske Unije mora biti prosječna efikasnost horizontalnog leta na ruti, koja se definira na sljedeći način:

- pokazatelj prosječne efikasnosti horizontalnog leta na ruti je razlika između dužine rutnog dijela stvarne putanje i optimalne putanje, koja je u prosjeku velika kružnica
- dio leta 'na ruti' definira se kao preletna udaljenost izvan polumjera od 40 nautičkih milja oko zračne luke
- letovi koji se uzimaju u obzir za ovaj pokazatelj su:
 - a) svi komercijalni IFR letovi unutar europskog zračnog prostora
 - b) ako letovi uzlijeću ili slijeću izvan europskog zračnog prostora, u obzir se uzima samo onaj dio koji je dio unutar zračnog prostora
- isključeni su kružni letovi i letovi kod kojih je udaljenost velike kružnice između terminalnih područja manja od 80 nautičkih milja [39]

Drugim riječima, efikasnost horizontalnog leta je usporedba između dužine stvarne putanje i najkraće putanje između dvije točke. Radi lakšeg razumijevanja shematski prikaz je dan na slici 10. [40]



Slika 5 - Efikasnost horizontalnog leta kao usporedba dužine stvarne putanje i najkraće putanje između točaka O i D [40]

Ovaj KPP koristit će se za proračun utjecaja mjera regulacije zračnog prometa na okoliš, što je tema ovog diplomskog rada, dok druga dva spomenuta KPP-a u nastavku neće biti korišteni za potrebe ovog rada.

4.3.2. Drugi ključni pokazatelj učinkovitosti okoliša

Drugi KPP u vezi okoliša na razini cjelokupne Europske Unije, također u prvom referentnom razdoblju, mora biti djelotvorna upotreba civilnih/vojnih struktura zračnog prostora, npr. CDR-i (*Conditional Routes* – uvjetne rute). U prvom referentnom razdoblju ovaj pokazatelj mora pratiti Komisija. Postavljanje cilja mora započeti od drugog referentnog razdoblja. [39]

4.3.3. Treći ključni pokazatelj učinkovitosti okoliša

Treći KPP u vezi okoliša na razini cjelokupne Europske Unije mora se razviti od drugog referentnog razdoblja i to za rješavanje pitanja okoliša povezanih s određenim aerodromskim službama kontrole zračne plovidbe.

5. „CASE STUDY“ ANALIZA UTJECAJA MJERA REGULACIJA NA PRIMJERU KONKRETNOG ZRAČNOG PRIJEVOZNIKA

U ovom poglavlju prikazana je analiza utjecaja mjera regulacija na primjeru najvećeg hrvatskog zračnog prijevoznika „Croatia Airlines“ (u daljnjem tekstu kraće - CA).

Postupak analize sastojao se od:

- selekcije podataka koji će biti podvrgnuti analizi
- izlučivanje podataka iz programa NEST (više o NEST-u u nastavku rada)
- organizacije podataka
- postavljanja izlaznih parametara (rezultata) analize
- izračunavanja izlaznih parametara (rezultata) analize
- sažimanja rezultata u pregledni format

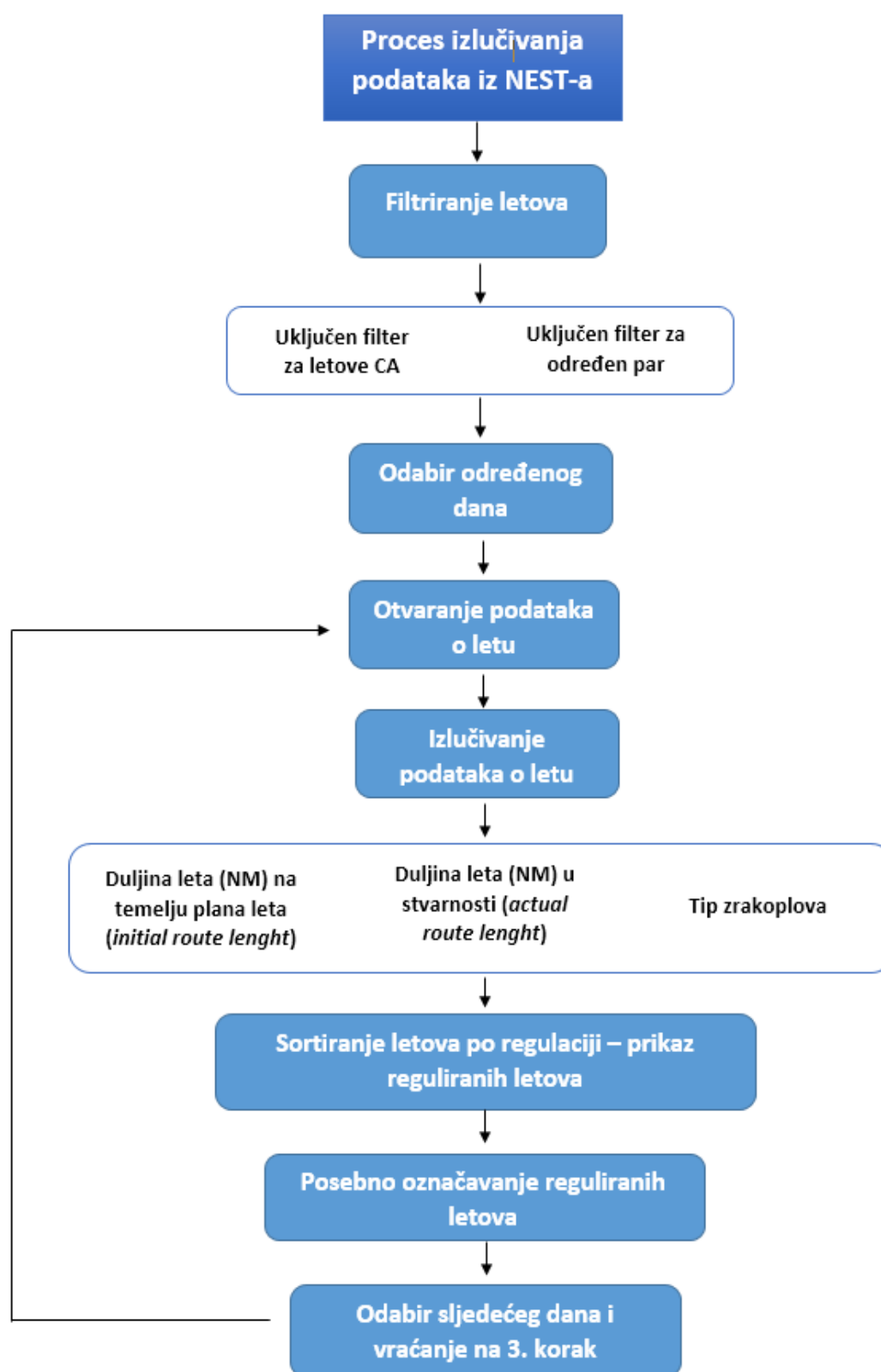
Selekcija podataka koji će ulaziti u analizu odvijala se na temelju dva čimbenika:

1. doba godine – u prethodnim poglavljima objašnjeno je kako se mjere regulacije aktiviraju zbog preopterećenja. Ukoliko se želi napraviti analiza utjecaja mjera regulacija, potrebno je kroz istraživanje pronaći što više letova koji su bili podvrgnuti mjerama regulacije. Zbog poznate činjenice da je preko ljetnog godišnjeg doba europski zračni prostor zagušen više nego tijekom ostalih godišnjih doba, za ovu analizu uzeti su podaci o letovima CA u vremenskom razdoblju od 21.7. 2016 do 14.9.2016, što je ukupno 56 dana
2. učestalost letova po danu – bilo je potrebno maksimizirati broj podataka tj. letova jer što je veći broj podataka, to je analiza preciznija. Zbog toga su većinom uzeti odabrani letovi koji su se dnevno odvijali dva ili više puta. Također, zbog opsega ovog rada broj parova gradova ograničen je na 16 (više o detaljima u nastavku).

Nakon obavljenog postupka selekcije podataka koji će ulaziti u analizu bilo je potrebno iste pronaći u programu NEST kroz procese filtriranja, što letova, što letnih podataka.

NEST (*Network Statistical Tool*) je alat koji se koristi za analizu i simuliranje zračnog prometa, planiranje mrežnog kapaciteta i dizajniranje zračnog prostora. Između ostalog, NEST se koristi u svrhu optimizacije raspoloživih sredstava i poboljšavanje učinkovitosti na razini cijele mreže. Za ovu analizu korišten je NEST alat, verzije 1.6. [41]

Kada su podaci pronađeni, odabrani podaci zapisani su prvo rukom na papir, a nakon toga preneseni u Excel tablice. Proces izlučivanja podataka prikazan je dijagramom toka, na slici 6.



Slika 6 - Dijagram toka procesa izlučivanja podataka iz NEST-a

Podaci su organizirani tako da je napravljena tablica podataka za svaki par gradova, dakle radi se o 16 tablica. Tako je prvotno svaka tablica imala (što se tiče podataka) 56 redaka (za 56 različitih datuma) i 4 stupca za: datum letova, inicijalnu duljinu leta, stvarnu duljinu leta i tip zrakoplova. Naknadno je broj stupaca povećan, o čemu će biti riječi kasnije.

Ukupno su izlučeni podaci za 1601 let, od kojih su 253 leta bili regulirani što znači da je ukupni postotak reguliranih letova 15,8%. No, zbog nemogućnosti predviđanja udjela reguliranih letova na pojedinim rutama, taj postotak nije konstantan za svaki par gradova, već neki parovi gradova imaju relativno visoki postotak, dok neki nemaju ni jedan regulirani let u odabranom periodu.

Nakon unošenja podataka u tablice, stvorene su još dvije vrijednosti po tablici čime je broj stupaca povećan na 6. Za svaki par gradova odabrana je tzv. referentna vrijednost. Točnije, radi se o referentnoj duljini leta. Za referentnu duljinu leta odabrana je minimalna zabilježena stvarna duljina leta za određeni par gradova. Uzeta je minimalna stvarna duljina leta, a ne minimalna inicijalna duljina leta jer je inicijalna duljina leta (tj. duljina leta po planu leta) teorijska vrijednost dok se u stvarnosti letovi ne odvijaju striktno po predanom planu leta. Odabir ove veličine bitan je korak jer se na temelju ove vrijednosti računaju izlazni parametri tj. rezultati analize ovog rada. Također, uzeta je minimalna stvarna duljina leta, a ne prosječna stvarna duljina leta. Može se postaviti pitanje: „Zbog kojih razloga ostali letovi ne postižu ovakvu ili približnu vrijednost duljine leta?“. To pitanje ključno je za razvoj europskog zračnog prometa, točnije za poboljšanje učinkovitosti letova i utjecaja letova na okoliš. Na temelju referentne duljine leta moguće je izračunati odstupanje svakog leta.

Odstupanje leta (označeno s *DEV*) računa se tako da se referentna duljina leta (označena s *REF*) oduzme od stvarne duljine leta (označene s *ACTUAL*):

$$DEV = ACTUAL - REF \quad (1)$$

Očito je da će svako odstupanje stoga biti pozitivna vrijednost, jer je referentna duljina leta (*REF*) uvijek manja od stvarne duljine leta (osim u slučaju kada je vrijednost 0).

Primjer tablice podataka prikazan je tablicom 4. Zbog veličine tablica podataka, tablica 4 prikazuje samo 7 datuma (umjesto 56), te je prikazana samo jedna od 16 tablica.

Vrijednosti označene crvenom bojom u drugom i trećem stupcu predstavljaju regulirane letove tj. letove koji su prolazili kroz regulirani sektor.

Tablica 4 - Primjer tablice podataka (koja sadržava samo 7 od 56 datuma) na relaciji Bruxelles – Zagreb

	EBBR - > LDZA				
Datum	Inicijalna duljina leta (<i>INITIAL</i>) [NM]	Stvarna duljina leta (<i>ACTUAL</i>) [NM]	Referentna duljina leta (<i>REF</i>) [NM]	Odstupanje (<i>DEV</i>) [NM]	Tip zrakoplova
26.7.2016	582,8	593,09	573,72	19,37	A1
	582,8	580,6	573,72	6,88	A1
27.7.2016	582,25	577,46	573,72	3,74	A4
28.7.2016	582,8	583	573,72	9,28	A1
	582,8	586,78	573,72	13,06	A1
29.7.2016	582,25	580,03	573,72	6,31	A4
	576,52	576,42	573,72	2,7	A4
30.7.2016					
31.7.2016	576,52	578,99	573,72	5,27	A4
1.8.2016	582,25	577,64	573,72	3,92	A4
	582,8	583,86	573,72	10,14	A1

Preostaje još definirati oznake tipova zrakoplova. Radi pojednostavljenja postupka izlučivanja podataka tipovima zrakoplova dodijeljene su oznake:

A1 = Dash 8 – Q400

A2 = Airbus 319

A3 = Airbus 320

A4 = Fokker 100

Podaci o tipovima zrakoplova služit će za izračune u poglavlju 6.

Pomoću vrijednosti iz tablica podataka dobiveni su izlazni parametri za svaki par gradova:

- prosječna duljina leta
- prosječna duljina nereguliranih letova (*AVG non-REG*)

- prosječna duljina reguliranih letova (*AVG REG*)
- let s maksimalnim odstupanjem
- prosječno odstupanje nereguliranih letova (*AVG DEV non-REG*)
- prosječno odstupanje reguliranih letova (*AVG DEV REG*)
- razlika u prosječnom odstupanju nereguliranih i reguliranih letova (*DEV DIFF*)
- broj letova
- broj nereguliranih letova (*non-REG*)
- broj reguliranih letova (*REG*)
- udio broja reguliranih letova u ukupnom broju letova (postotak reguliranih letova)
- udio razlike u odstupanju nereguliranih i reguliranih letova u referentnoj duljini leta

Sljedeći korak bio je prioritizirati izlazne parametre i prikazati ih na pregledan i sažet način. Rezultat tog koraka je tablica 5, koja sadrži odabrane izlazne parametre za svih 16 parova gradova te predstavlja ukupan rezultat ove analize iz kojeg se mogu izvući određeni zaključci. Skraćenice koje se nalaze u zagradama (uz one skraćenice definirane na prethodnoj stranici) pored određenih parametara na popisu iznad koriste se u stupcima u tablici 5.

Iz tablice 5 moguće je vidjeti je li, za svaki par gradova, veća vrijednost prosječne duljine leta nereguliranih letova ili vrijednost prosječne duljine leta reguliranih letova. Za jednostavniju usporedbu prosječnih duljina letova, veće vrijednosti označene su crvenom bojom dok su manje vrijednosti označene zelenom bojom.

Tablica 5 - Izlazni parametri (rezultati) analize utjecaja mjera regulacija na primjeru letova zračnog prijevoznika CA

Par gradova	REF [NM]	non- REG	AVG non- REG [NM]	AVG DEV non-REG [NM]	REG	AVG REG [NM]	AVG DEV REG [NM]	Udio reguliranih letova [%]	DEV DIFF [NM]	DEV DIFF / REF (Z) [%]
EBBR - > LDZA	573,72	64	585,57	11,85	18	581,99	8,27	22	3,58	0,62
LDZA - > EBBR	572,73	49	605,86	33,13	34	597,49	24,76	41	8,36	1,46
EDDF - > LDZA	414,03	122	419,42	5,39	45	420,68	6,65	27	-1,26	-0,30

LDZA - > EDDF	420,09	122	444,82	24,73	44	440,98	20,89	27	3,85	0,92
EDDM - > LDSP	358,31	57	370,89	12,58	7	379,27	20,96	11	-8,38	-2,34
LDSP - > EDDM	366,01	61	381,20	15,19	3	374,30	8,29	5	6,90	1,89
EDDM - > LDZA	250,51	108	256,72	6,21	4	274,12	23,61	4	-17,40	-6,95
LDZA - > EDDM	246,82	105	257,44	10,62	8	260,31	13,49	7	-2,87	-1,16
LDZA - > LOWW	148,50	82	169,49	21,00	14	169,47	20,97	15	0,03	0,02
LOWW - > LDZA	153,02	90	174,93	21,91	6	183,98	30,96	6	-9,05	-5,91
LDZA - > LQSA	153,76	102	160,58	6,82	2	228,46	74,70	2	-67,88	-44,15
LQSA - > LDZA	154,29	104	167,31	13,02	0	/	/	0	/	/
LDZA - > LSZH	352,80	49	370,58	17,78	63	373,72	20,92	56	-3,15	-0,89
LSZH - > LDZA	340,85	108	355,74	14,89	4	365,96	25,11	4	-10,22	-3,00
LDZA - > LWSK	339,66	63	358,82	19,16	0	/	/	0	/	/
LWSK - > LDZA	358,43	62	371,65	13,22	1	380,05	21,62	2	-8,40	-2,34

Kratice za parove gradova u prvom stupcu predstavljaju tzv. četveroznamenkasti kod aerodroma te se koriste za gotovo svaku zračnu luku na svijetu. Takav kod ili lokacijski indikator zračnim lukama dodjeljuje Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (ICAO – *International Civil Aviation Organization*). ICAO kodovi u prvom stupcu pripadaju sljedećim zračnim lukama (gradovima):

- EBBR – *Brussels Airport* (Bruxelles)
- LDZA – *Franjo Tuđman Airport* (Zagreb)
- EDDF – *Frankfurt am Main International Airport* (Frankfurt)
- EDDM – *Franz Josef Strauss International Airport* (München)
- LDSP – *Split Airport* (Split)
- LOWW – *Vienna International Airport* (Beč)
- LQSA – *Sarajevo International Airport* (Sarajevo)
- LSZH – *Zurich Airport* (Zürich)

- LWSK – Skopje „Alexander the Great“ Airport (Skopje) [42]

Prosječna duljina nereguliranih letova (*AVG nonREG*) izračunata je pomoću slijedeće formule:

$$AVG\ nonREG = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_{NUK}}{NUK} \quad (2)$$

gdje su vrijednosti duljina nereguliranih letova označene s x , a broj nereguliranih letova označen s NUK .

Prosječna duljina reguliranih letova (*AVG REG*) izračunata je pomoću slijedeće formule:

$$AVG\ REG = \frac{y_1 + y_2 + y_3 \dots + y_{RUK}}{RUK} \quad (3)$$

gdje su vrijednosti duljina reguliranih letova označene s y , a broj reguliranih letova označen s RUK .

Prosječno odstupanje nereguliranih letova (*AVG DEV non-REG*) računato je na sljedeći način:

$$AVG\ DEV\ nonREG = AVG\ nonREG - REF \quad (4)$$

gdje je *AVG nonREG* prosječna duljina nereguliranih letova, a *REF* referentna vrijednost, tj. referentna duljina leta.

Prosječno odstupanje reguliranih letova (*AVG DEV REG*) računato je na sljedeći način:

$$AVG\ DEV\ REG = AVG\ REG - REF \quad (5)$$

gdje je *AVG REG* prosječna duljina reguliranih letova, a *REF* referentna vrijednost, tj. referentna duljina leta.

Udio reguliranih letova za svaki par gradova računa se kao:

$$Udio\ reguliranih\ letova\ [\%] = \frac{broj\ reguliranih\ letova}{broj\ letova} \cdot 100 \quad (6)$$

Razlika u prosječnom odstupanju između nereguliranih i reguliranih letova (*DEV DIFF*):

$$DEV\ DIFF = AVG\ DEV\ nonREG - AVG\ DEV\ REG \quad (7)$$

gdje je *AVG DEV nonREG* prosječno odstupanje nereguliranih letova, a *AVG DEV REG* prosječno odstupanje reguliranih letova. Stoga, u slučaju da je odstupanje nereguliranih letova veće od odstupanja reguliranih letova, razlika odstupanja će biti pozitivna.

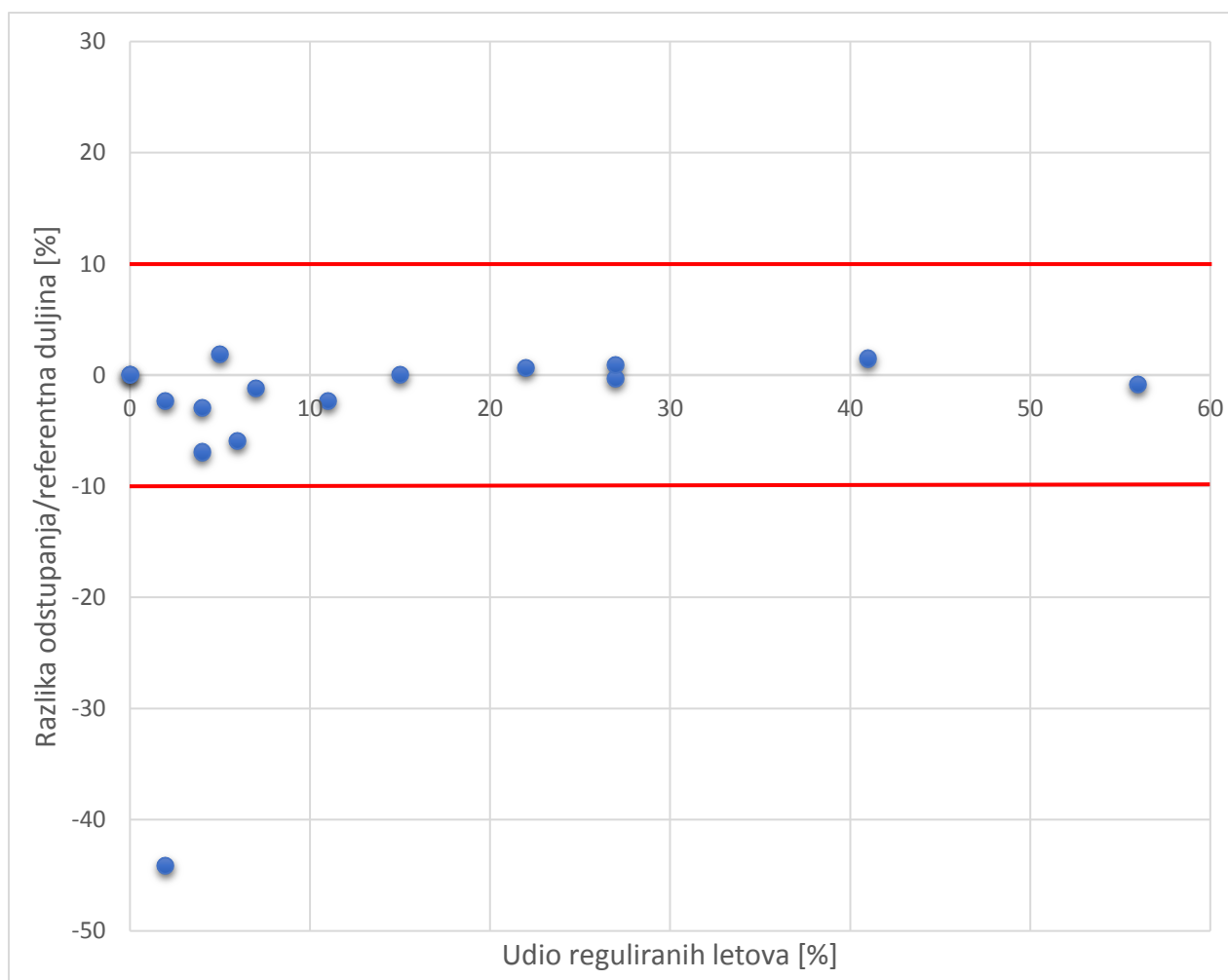
Na kraju je uveden i parametar Z koji pokazuje postotak razlike odstupanja u odnosu na referentnu vrijednost. Drugim riječima, pokazuje udio vrijednosti razlike odstupanja s obzirom na vrijednost referentne duljine leta, kako je prikazano jednadžbom:

$$Z = \frac{DEV\ DIFF}{REF} \quad (8)$$

gdje je $DEV\ DIFF$ razlika odstupanja nereguliranih i reguliranih letova, a REF referentna duljina leta.

Tako je iz tablice 5 vidljivo da je analizirano 16 parova gradova. Međutim uvidom u podatke odbačena su 2 slučaja (Sarajevo -> Zagreb i Zagreb -> Skopje) jer među letovima nema ni jednog reguliranog. Što se tiče preostalih 14 slučajeva, u 5 slučajeva je vrijednost prosječne duljine leta nereguliranih letova veća od vrijednosti prosječne duljine leta reguliranih letova, a u 9 slučajeva je situacija obratna, što se vidi i u 10. stupcu, tj. pomoću razlike odstupanja.

Može se zaključiti da razlike odstupanja u odnosu na referentne duljine leta u preko 90% slučajeva ne prelaze vrijednost od 10%. To je vidljivo i na slici 7, koja predstavlja grafički prikaz ovisnosti omjera razlike odstupanja i referentne duljine o udjelu reguliranih letova za svaki par gradova. Slika 7 je korisna jer pokazuje da se s povećanjem udjela reguliranih letova smanjuje razlika odstupanja (u odnosu na referentnu vrijednost). Ta činjenica implicira da bi se s većom bazom podataka, tj. ako bi se analizirali letovi u većem vremenskom intervalu i/ili s većim udjelom reguliranih letova u odnosu na ukupne letove, vrijednosti razlike odstupanja smanjivale.

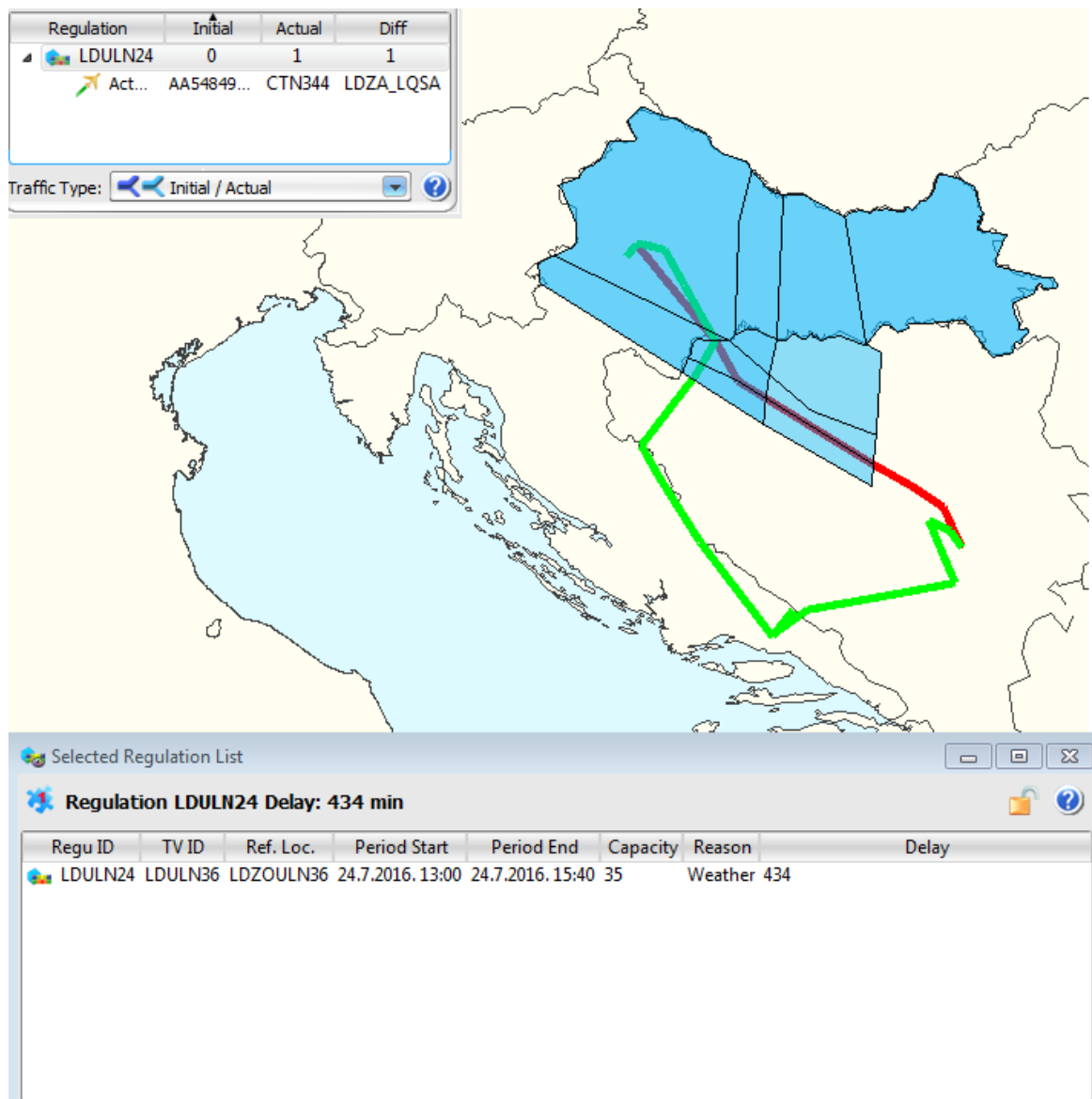


Slika 7 - Grafički prikaz ovisnosti omjera razlike odstupanja i referentne duljine o udjelu reguliranih letova za svaki par gradova

Može se također primijetiti da slučaj letova na relaciji Zagreb – Sarajevo odstupa u odnosu na ostale. Naime, omjer razlike odstupanja prosječnih duljina letova (nereguliranih i reguliranih) i referentne duljine leta iznosi -44,15%. Jedan od razloga tako velike vrijednosti je činjenica da su u toj skupini promatranih letova samo 2 leta bila regulirana, što čini ovaj podatak manje pouzdanim. Nadalje, dubljom analizom ova dva leta uočava se da je ustvari samo jedan let uzrok relativno velikom odstupanju:

1. Let pozivnog znaka CTN 342 (20.8.2016)
 - duljina leta: 160,8 NM
 - odstupanje: 7,04 NM
2. Let pozivnog znaka CTN 344 (24.7.2016)
 - duljina leta: 296,12 NM
 - odstupanje: 142,36 NM

Koristeći program NEST za bolji uvid u let CTN 344, saznaje se da je u vrijeme između polaska i dolaska zrakoplova na određenom dijelu zračnog prostora bila aktivirana regulacija uzrokovana vremenskim uvjetima, što se može vidjeti na slici 8.



Slika 8 - Prikaz inicijalne i stvarne rute leta CTN344 uz označenu aktiviranu regulaciju LDULN24, datuma 24.7.2016

Na slici 8 crvenom bojom je označena inicijalna ruta leta CTN344, tj. ruta koja je zatražena u planu leta, zelenom bojom stvarna ruta kojom je zrakoplov letio te je plavom bojom označen dio zračnog prostora koji je pod regulacijom. U ovom slučaju radi se o regulaciji naziva LDULN24, koja je aktivirana 24.7.2016 u 13:00, a deaktivirana istog dana u 15:40. Budući da je zrakoplov na letu CTN344 iz Zagreba poletio u 13:26, a sletio u Sarajevo u 14:56,

očigledno je da se zrakoplov nalazio u reguliranom sektoru. Kako je prikazano na slici 8, kašnjenje (eng. *delay*) od 434 minute predstavlja ukupno kašnjenje za sve zrakoplove koji su prolazili kroz ovaj regulirani sektor. Jasno se vidi da se ruta za let CTN344 mijenja kako bi zrakoplov izašao iz reguliranog sektora, no nema dokumentiranog zapisa o detaljima ovako velikog odstupanja od rute, koje se, gledajući sliku 8, čini nepotrebno. Tu se nameće jedan od problema koji je u nastavku rada opširnije opisan: nedostatak dostupnog odgovarajućeg sustava/programa za detaljniju analizu uzroka/razloga odstupanja zrakoplova od rute.

Bitno je napomenuti jedan od rezultata istraživanja vidljivih iz tablice 5, a to je da iako se na temelju prosječnih vrijednosti čini da postoji jasna uzročno-posljedična veza između prolaska zrakoplova kroz regulirani sektor i povećanja odstupanja duljine leta, to nije uvijek slučaj. Kao dokaz ovoj pretpostavci dovoljno je pogledati tablicu 6, koja prikazuje onaj let po svakom paru gradova koji je imao najveće odstupanje od referentne duljine leta svakog para grada.

Tablica 6 - Let s maksimalnim odstupanjem po svakom paru gradova

Par gradova	Datum leta	Let (pozivni znak)	Stvarna duljina leta [NM]	Odstupanje [NM]
EBBR - > LDZA	15.8.2016	CTN 4457	659,66	85,94
LDZA - > EBBR	13.9.2016	CTN 4456	755,19	182,46
EDDF - > LDZA	24.7.2016	CTN 415	452,65	38,62
LDZA - > EDDF	31.7.2016	CTN 414	495,76	75,67
EDDM - > LDSP	30.7.2016	CTN 439	425,12	66,81
LDSP - > EDDM	10.9.2016	CTN 438P	413,39	47,38
EDDM - > LDZA	30.7.2016	CTN 437	316,08	65,57
LDZA - > EDDM	15.8.2016	CTN 436	294,84	48,02
LDZA - > LOWW	13.9.2016	CTN 442	191,04	42,54

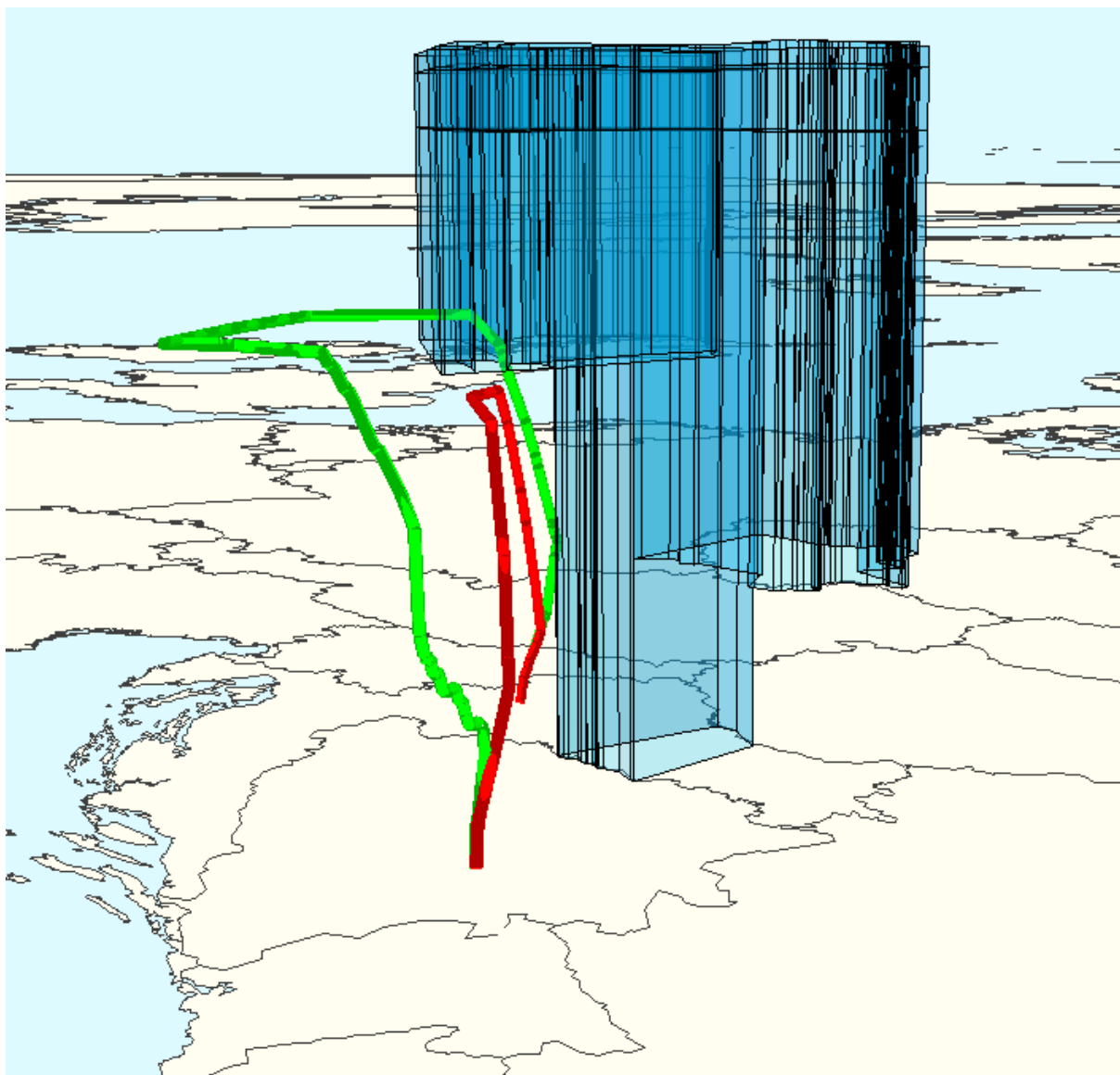
LOWW -> LDZA	2.8.2016	CTN 443	195,98	42,96
LDZA -> LQSA	24.7.2016	CTN 344	296,12	142,36
LQSA -> LDZA*	22.8.2016	CTN 341*	252,04*	87,75*
LDZA -> LSZH	22.7.2016	CTN 464	410,69	57,89
LSZH -> LDZA	15.8.2016	CTN 465	618,3	277,45
LDZA -> LWSK*	6.8.2016	CTN 366*	383,58*	43,92*
LWSK -> LDZA	8.8.2016	CTN 367	401,12	42,69

* na označenim relacijama ne postoje regulirani letovi

Zanimljivo je uočiti da su regulirani letovi (ponovno označeni crvenom bojom) u manjini. Samo je u 5 slučajeva regulirani let prouzročio maksimalno odstupanje na relaciji, dok su čak u 9 slučajeva (2 slučaja su odbačena jer ne sadrže regulirane letove, dakle odstupanja se ne mogu usporediti) neregulirani letovi uzrok najvećeg odstupanja.

U cilju detaljnijeg istraživanja pokušalo se determinirati uzroke ili razloge ovakvih odstupanja kod nereguliranih letova. Naime, ako zrakoplovu ruta nije promijenjena zbog regulacije, najčešće su razlog tome vremenski uvjeti i/ili aktivacija vojnih zona. No, zbog nedostataka resursa i nepostojanja dostupnih raspoloživih alata za pristup dokumentaciji koja sadržava informacije o vremenskim uvjetima na ruti te vremenima i položajima aktiviranih vojnih zona, detaljnije istraživanje nije bilo u mogućnosti izvesti.

Navedeni pokušaj doprinosi zaključku da program NEST nije učinkovit pri istraživanju uzroka/razloga pojave relativno većih odstupanja kod nereguliranih letova. Međutim, slično se može reći i za regulirane letove. Iako se na slici 8 jasno vidi da let CTN 344 prolazi kroz regulirani sektor, slika 9 prikazuje da do toga nije trebalo ni doći.



Slika 9 - 3D prikaz inicijalne i stvarne rute leta CTN 344 i reguliranog sektora

Slika 9 prikazuje da po planu leta, zrakoplov na letu CTN 344 nije trebao prolaziti kroz regulirani sektor. Može se pretpostaviti da se radi o manjku preciznosti podataka koji se putem programa NEST prikazuju, ali kada se još k tome doda činjenica da nigdje nije naveden razlog zbog kojeg stvarna ruta leta CTN 344 u ovolikoj mjeri odstupa od početne rute, stvara se zaključak da u trenutnom sustavu dokumentiranja podataka o letovima, uzroci odstupanja zrakoplova od rute nisu važni. Tek kada dokumentacija postoji i kada je problem vidljiv, moguće je pokrenuti proces rješavanja tog problema.

Konačni zaključak ove analize, izveden iz tablice 5, je taj da su regulirani letovi dulji, u prosjeku do 10%. Važno je primijetiti da su i vrijednosti prosječnih duljina nereguliranih i

vrijednosti prosječnih duljina reguliranih letova u većini slučajeva značajno veće od vrijednosti referentnih duljina. Veća vrijednost prosječne duljine leta negativno utječe kako na okoliš, tako i na učinkovitost letenja, što ne ide u korist sustavu upravljanja zračnim prometom. Također, veće duljine letova ne odgovaraju ni zrakoplovnim prijevoznicima zbog kašnjenja, ali još važnije, zbog veće količine potrošenog goriva što podrazumijeva veće troškove poslovanja.

6. REZULTATI ANALIZE DULJINE LETOVA I IZRAČUNA KOLIČINE ISPUŠNIH PLINOVA S I BEZ PROVEDENIH MJERA REGULACIJE KORISTEĆI PROGRAM NEST

Za potrebe ove analize korištene su iste tablice podataka kao u poglavlju 5. Za podsjetnik, radi se o skupini letova prijevoznika Croatia Airlines koji su se odvijali u vremenskom intervalu između 21.7.2016. i 14.9.2016., na 16 različitih relacija.

Na samom kraju 5. poglavlja iznesen je zaključak da u prosjeku regulirani letovi na okoliš utječu nepovoljnije u odnosu na neregulirane, no i da neregulirani letovi imaju negativan utjecaj na okoliš. Cilj 6. poglavlja je kroz analizu duljine letova, izračunati količinu ispušnih plinova emitiranih od strane nereguliranih i reguliranih letova te preciznije odrediti u kolikoj mjeri je utjecaj reguliranih letova na okoliš nepovoljniji u odnosu na neregulirane letove. Također, količina ispušnih plinova emitirana od strane referentnih (najkraćih) letova bit će izračunata i uspoređena s količinama ispušnih plinova emitiranih od strane nereguliranih i reguliranih letova.

Za potrebe ove analize tablica 5 je izmijenjena na način koji će kvalitetnije prikazivati podatke korištene u ovom poglavlju, a rezultat izmjena je tablica 7.

Tablica 7 - Prikaz rezultata analize dane u 5. poglavlju i korelacija s podacima o korištenim tipovima zrakoplova za svaki par gradova

Par gradova	REF [NM]	non- REG	AVG non- REG [NM]	AVG DEV non-REG [NM]	REG	AVG REG [NM]	AVG DEV REG [NM]	DEV DIFF [NM]	Tipovi zrakoplova	
EBBR -> LDZA	573,72	64	585,57	11,85	18	581,99	8,27	3,58	A1	A4
LDZA -> EBBR	572,73	49	605,86	33,13	34	597,49	24,76	8,36	A1	A4
EDDF -> LDZA	414,03	122	419,42	5,39	45	420,68	6,65	-1,26	A2	A3
LDZA -> EDDF	420,09	122	444,82	24,73	44	440,98	20,89	3,85	A2	A3
EDDM -> LDSP	358,31	57	370,89	12,58	7	379,27	20,96	-8,38	A1	
LDSP -> EDDM	366,01	61	381,20	15,19	3	374,30	8,29	6,90	A1	
EDDM -> LDZA	250,51	108	256,72	6,21	4	274,12	23,61	-17,40	A1	
LDZA -> EDDM	246,82	105	257,44	10,62	8	260,31	13,49	-2,87	A1	
LDZA -> LOWW	148,50	82	169,49	21,00	14	169,47	20,97	0,03	A1	
LOWW -> LDZA	153,02	90	174,93	21,91	6	183,98	30,96	-9,05	A1	
LDZA -> LQSA	153,76	102	160,58	6,82	2	228,46	74,70	-67,88	A1	
LQSA -> LDZA	154,29	104	167,31	13,02	0	/	/	/	A1	

LDZA - > LSZH	352,80	49	370,58	17,78	63	373,72	20,92	-3,15	A1	
LSZH - > LDZA	340,85	108	355,74	14,89	4	365,96	25,11	-10,22	A1	
LDZA - > LWSK	339,66	63	358,82	19,16	0	/	/	/	A1	A2
LWSK - > LDZA	358,43	62	371,65	13,22	1	380,05	21,62	-8,40	A1	A2

Dani podaci u tablici 7 u stupcima od 2. do 9., definirani jednadžbama od (1) do (8), su također i dio tablice 5. U 10. stupcu su podaci o tipovima zrakoplova korištenih za većinu letova za svaki par gradova. U 5. poglavlju su definirane oznake tipova zrakoplova, no kao podsjetnik slijedi:

A1 = Dash 8 – Q400

A2 = Airbus 319-100

A3 = Airbus 320-200

A4 = Fokker 100

Na pojedinim relacijama korištena su 2 tipa zrakoplova u otprilike istoj mjeri, pa je pri izračunu potrošnje goriva napravljen prosjek vrijednosti.

Prosječna potrošnja goriva pri određenim visinama leta za svaki od gore navedena 4 tipa zrakoplova prikazana je tablicom 8. Drugim riječima, tablica 8 prikazuje prosječnu količinu goriva izraženu u kilogramima koju zrakoplov potroši po jednoj nautičkoj milji, pod određenim pretpostavkama.

Tablica 8 - Prosječna potrošnja goriva po tipu zrakoplova (u kilogramima po nautičkoj milji) pri određenoj visini leta [43]

Tip zrakoplova	Potrošnja goriva (kg/NM)
Dash 8 – Q400	4
Airbus 319-100	5,43
Airbus A320-200	5,8
Fokker 100	4,82

Uz podatke o prosječnoj potrošnji goriva svakog zrakoplova iz tablice 8 i podataka iz tablice 7, moguće je za svaki par gradova izračunati približnu vrijednost količine goriva (u kilogramima) koja se potroši na prosječnom nereguliranom letu i prosječnom reguliranom letu te na referentnom letu, tj. onom letu koji ima minimalnu stvarnu duljinu leta.

Količina potrošenog goriva izražena u kilogramima (m_{fM}) za vrijeme referentnog leta računa se:

$$m_{fM} = FC \cdot REF \quad [9]$$

gdje FC predstavlja vrijednost potrošnje goriva određenog zrakoplova, a REF predstavlja vrijednost referentne duljine leta na određenom paru gradova.

Količina potrošenog goriva izražena u kilogramima (m_{fN}) za vrijeme prosječnog nereguliranog leta računa se slijedećom jednačinom:

$$m_{fN} = FC \cdot AVG \text{ nonREG} \quad (10)$$

gdje FC predstavlja vrijednost potrošnje goriva određenog zrakoplova, a $AVG \text{ nonREG}$ predstavlja vrijednost prosječne duljine nereguliranih letova na određenom paru gradova.

Količina potrošenog goriva izražena u kilogramima (m_{fR}) za vrijeme prosječnog reguliranog leta računa se na sljedeći način:

$$m_{fR} = FC \cdot AVG \text{ REG} \quad (11)$$

gdje FC predstavlja vrijednost potrošnje goriva određenog zrakoplova, a $AVG \text{ REG}$ predstavlja vrijednost prosječne duljine reguliranih letova na određenom paru gradova.

Razlika u količinama potrošenog goriva (m_{fD}) između prosječnog nereguliranog i reguliranog leta može se izračunati na dva načina:

$$m_{fD} = FC \cdot DEV \text{ DIFF} \quad (12) \text{ ili}$$

$$m_{fD} = m_{fN} - m_{fR} \quad (13)$$

gdje FC predstavlja vrijednost potrošnje goriva određenog zrakoplova, a $DEV \text{ DIFF}$ predstavlja vrijednost razlike odstupanja prosječne duljine nereguliranih i prosječne duljine reguliranih letova na određenom paru gradova.

U tablici 9 prikazane su vrijednosti duljina referentnog, prosječnog nereguliranog i prosječnog reguliranog leta uz vrijednosti količine potrošenog goriva na referentnom, prosječnom nereguliranom i reguliranom letu.

Tablica 9 - Vrijednosti referentne duljine leta, prosječne duljine nereguliranih i prosječne duljine reguliranih letova za svaki par gradova uz pripadajuće vrijednosti mase potrošenog goriva i emitiranog ugljikovog dioksida u kilogramima

Par gradova	REF [NM]	m _{FM} [kg]	m _{MCO2} * [kg]	AVG non- REG [NM]	m _{FN} (kg)	m _{NCO2} * [kg]	AVG REG [NM]	m _{FR} (kg)	m _{RCO2} * [kg]
EBBR - > LDZA	573,72	2530,11	7969,847	585,57	2582,36	8134,434	581,99	2566,58	8084,727
LDZA - > EBBR	572,73	2525,74	7956,081	605,86	2671,84	8416,296	597,49	2634,93	8300,03
EDDF - > LDZA	414,03	2324,78	7323,057	419,42	2355,04	7418,376	420,68	2362,12	7440,678
LDZA - > EDDF	420,09	2358,81	7430,252	444,82	2497,66	7867,629	440,98	2476,1	7799,715
EDDM - > LDSP	358,31	1433,24	4514,706	370,89	1483,56	4673,214	379,27	1517,08	4778,802
LDSP - > EDDM	366,01	1464,04	4611,726	381,20	1524,8	4803,12	374,30	1497,2	4716,18
EDDM - > LDZA	250,51	1002,04	3156,426	256,72	1026,88	3234,672	274,12	1096,48	3453,912
LDZA - > EDDM	246,82	987,28	3109,932	257,44	1029,76	3243,744	260,31	1041,24	3279,906
LDZA - > LOWW	148,50	594	1871,1	169,49	677,96	2135,574	169,47	677,88	2135,322
LOWW - > LDZA	153,02	612,08	1928,052	174,93	699,72	2204,118	183,98	735,92	2318,148
LDZA - > LQSA	153,76	615,04	1937,376	160,58	642,32	2023,308	228,46	913,84	2878,596
LQSA - > LDZA	154,29	617,16	1944,054	167,31	669,24	2108,106	/	/	/
LDZA - > LSZH	352,80	1411,2	4445,28	370,58	1482,32	4669,308	373,72	1494,88	4708,872
LSZH - > LDZA	340,85	1363,4	4294,71	355,74	1422,96	4482,324	365,96	1463,84	4611,096
LDZA - > LWSK	339,66	1601,5	5044,725	358,82	1691,84	5329,296	/	/	/
LWSK - > LDZA	358,43	1690	5323,5	371,65	1752,33	5519,84	380,05	1791,94	5644,611

* m_{MCO2}, m_{NCO2}, m_{RCO2} su izračunate količine emitiranog ugljikovog dioksida za referentni, neregulirani i regulirani let, te su rezultat množenja količine potrošenog goriva (za referentni, neregulirani i regulirani let) s faktorom emisije CO₂, opisanim na 64. stranici

Kako rezultati u tablici 9 pokazuju, vrijednost potrošenog goriva za prosječni neregulirani let i vrijednost potrošenog goriva za prosječni regulirani let u većini slučajeva imaju značajno povećanje u odnosu na vrijednost potrošenog goriva za referentni let. Ovaj zaključak valja imati na umu kroz daljnje analize jer pokazuje da bez obzira radi li se o nereguliranim i reguliranim letovima, oni su uvijek nepovoljniji za okoliš u odnosu na referentni let. Iz toga se može zaključiti da postoji prostor za napredak i mogućnost skraćivanja duljina letova, a samim tim i smanjenja količine potrošenog goriva i u konačnici, smanjenje

količine emitiranih ispušnih plinova. Razlike u duljinama referentnih letova i prosječnih duljina nereguliranih i reguliranih letova zajedno s pripadajućim razlikama u količinama potrošenog goriva prikazane su tablicom 10.

Tablica 10 - Razlika duljine leta, količina potrošenog goriva i količina emitiranog ugljikovog dioksida između referentnih letova i nereguliranih i reguliranih letova

Par gradova	Razlika u duljini prosječnog nereguliranog i referentnog leta [NM]	Razlika u količini potrošenog goriva prosječnog nereguliranog i referentnog leta [kg]	Razlika u količini emitiranog ugljikovog dioksida prosječnog nereguliranog i referentnog leta [kg]	Razlika u duljini prosječnog reguliranog i referentnog leta [NM]	Razlika u količini potrošenog goriva prosječnog reguliranog i referentnog leta [kg]	Razlika u količini emitiranog ugljikovog dioksida prosječnog reguliranog i referentnog leta [kg]
EBBR - > LDZA	11,85	52,25	164,5875	8,27	36,47	114,8805
LDZA - > EBBR	33,13	146,1	460,215	24,76	109,19	343,9485
EDDF - > LDZA	5,39	30,26	95,319	6,65	37,34	117,621
LDZA - > EDDF	24,73	138,85	437,3775	20,89	117,29	369,4635
EDDM - > LDSP	12,58	50,32	158,508	20,96	83,84	264,096
LDSP - > EDDM	15,19	60,76	191,394	8,29	33,16	104,454
EDDM - > LDZA	6,21	24,84	78,246	23,61	94,44	297,486
LDZA - > EDDM	10,62	42,48	133,812	13,49	53,96	169,974
LDZA - > LOWW	20,99	83,96	264,474	20,97	83,88	264,222
LOWW - > LDZA	21,91	87,64	276,066	30,96	123,84	390,096
LDZA - > LQSA	6,82	27,28	85,932	74,7	298,8	941,22
LQSA - > LDZA	13,02	52,08	164,052	/	/	/
LDZA - > LSZH	17,78	71,12	224,028	20,92	83,68	263,592
LSZH - > LDZA	14,89	59,56	187,614	25,11	100,44	316,386
LDZA - > LWSK	19,16	90,34	284,571	/	/	/
LWSK - > LDZA	13,22	62,33	196,3395	21,62	101,94	321,111

U tablici 10 zanimljivo je primijetiti da u 13 od 16 slučajeva, prosječna duljina nereguliranih letova odstupa od referentne duljine za više od 10 nautičkih milja. S druge strane, u čak 10 od 14 slučajeva prosječna duljina reguliranih letova veća je od referentne duljine za više od 20 nautičkih milja. Očigledno je da ima puno prostora za poboljšanje.

Tablica 11 prikazuje vrijednosti količine potrošenog goriva zajedno s podatkom o razlici potrošenog goriva između prosječnih nereguliranih i reguliranih letova. Kao i u tablici 5, u tablici 11 lako se može uočiti je li veća vrijednost prosječne duljine leta (i količina potrošenog goriva) nereguliranih letova ili vrijednost prosječne duljine leta (i veličina potrošenog goriva) reguliranih letova, budući da su veće vrijednosti označene su crvenom bojom dok su manje vrijednosti označene zelenom bojom.

Tablica 11 - Vrijednosti mase (u kilogramima) potrošenog goriva na prosječnom nereguliranom i prosječnom reguliranom letu za svaki par gradova, te vrijednost mase potrošenog goriva za razliku odstupanja

Par gradova	AVG non- REG [NM]	m _{fn} (kg)	AVG REG [NM]	m _{fr} (kg)	DEV DIFF [NM]	m _{fd} (kg)	m _{DCO2} (kg)	Tipovi zrakoplova	
EBBR -> LDZA	585,57	2582,36	581,99	2566,58	3,58	15,78	49,71	A1	A4
LDZA -> EBBR	605,86	2671,84	597,49	2634,93	8,36	36,91	116,27	A1	A4
EDDF -> LDZA	419,42	2355,04	420,68	2362,12	-1,26	-7,08	-22,3	A2	A3
LDZA -> EDDF	444,82	2497,66	440,98	2476,1	3,85	21,56	67,91	A2	A3
EDDM -> LDSP	370,89	1483,56	379,27	1517,08	-8,38	-33,52	-105,59	A1	
LDSP -> EDDM	381,20	1524,8	374,30	1497,2	6,90	27,6	86,94	A1	
EDDM -> LDZA	256,72	1026,88	274,12	1096,48	-17,40	-69,6	-219,24	A1	
LDZA -> EDDM	257,44	1029,76	260,31	1041,24	-2,87	-11,48	-36,16	A1	
LDZA -> LOWW	169,49	677,96	169,47	677,88	0,03	0,08	0,252	A1	
LOWW -> LDZA	174,93	699,72	183,98	735,92	-9,05	-36,2	-114,03	A1	
LDZA -> LQSA	160,58	642,32	228,46	913,84	-67,88	-271,52	-855,29	A1	
LQSA -> LDZA	167,31	669,24	/	/	/	/	/	A1	
LDZA -> LSZH	370,58	1482,32	373,72	1494,88	-3,15	-12,56	-39,56	A1	
LSZH -> LDZA	355,74	1422,96	365,96	1463,84	-10,22	-40,88	-128,77	A1	
LDZA -> LWSK	358,82	1691,84	/	/	/	/	/	A1	A2
LWSK -> LDZA	371,65	1752,33	380,05	1791,94	-8,40	-39,61	-124,77	A1	A2

Iz gore navedenih podataka mogu se donijeti neki zaključci, no prije toga je potrebno definirati vrijednosti koje se nalaze u 8. stupcu tablice 11. Razlika količine potrošenog goriva je važan podatak, no s obzirom na to da je cilj ovog rada istražiti utjecaj mjera regulacije na okoliš, potrebno je i izračunati količinu emitiranih ispušnih plinova, tj. količinu emitiranog ugljičnog dioksida (CO₂).

Svi zrakoplovi u floti CA koriste gorivo za mlazne avione (*jet fuel*). U dostupnoj literaturi pronađen je podatak da jedan kilogram mlaznog goriva kroz izgaranje proizvede 3,15 kilograma CO₂. To je tzv. faktor emisije CO₂ (f_{CO_2}). [61]

Razlika u količinama emitiranog ugljikovog dioksida izražena u kilogramima (m_{DCO_2}) između prosječnog nereguliranog i prosječnog reguliranog leta izračunata je sljedećom formulom:

$$m_{DCO_2} = m_{fD} \cdot f_{CO_2} \quad (14)$$

gdje je m_{fD} razlika u količinama goriva između prosječnog nereguliranog i prosječnog reguliranog leta, a f_{CO_2} predstavlja faktor emisije CO₂.

U nastavku ovog poglavlja tj. ove analize procijenit će se promjena količine emitiranog ugljikovog dioksida pa tako i količine potrošenog goriva na temelju 2 pretpostavke (ili hipoteze):

1. Manje vjerojatna pretpostavka – svi letovi na svakom paru gradova su regulirani, tj. vrijednost duljine leta svakog nereguliranog leta poprimi vrijednost prosječne duljine leta reguliranog leta
2. Više vjerojatna pretpostavka – svi letovi na svakom paru gradova su neregulirani, tj. vrijednost duljine svakog reguliranog leta poprimi vrijednost prosječne duljine leta nereguliranog leta

Za analizu su korišteni podaci o razlici u količinama emitiranog ugljikovog dioksida između prosječnog nereguliranog i prosječnog reguliranog leta (8. stupac tablice 11) te podatak o broju nereguliranih (3. stupac tablice 7) i reguliranih letova (6. stupac tablice 7). Rezultati su prikazani u tablici 12.

Tablica 12 - Prikaz promjena količine potrošenog goriva i količina emitiranog ugljikovog dioksida po svakom paru gradova za pretpostavke 1 i 2 (iznad navedene)

Par gradova	non-REG	REG	Broj letova	DEV DIFF [NM]	m_{fD} (kg)	m_{fDUK1} (kg)	m_{fDUK2} (kg)	m_{DCO_2} (kg)	m_{DCO_2UK1} (kg)	m_{DCO_2UK2} (kg)
EBBR -> LDZA	64	18	82	3,58	15,78	-1009,92	284,04	49,71	-3181,44	894,78
LDZA -> EBBR	49	34	83	8,36	36,91	-1808,59	1254,94	116,27	-5697,23	3953,18
EDDF -> LDZA	122	45	167	-1,26	-7,08	863,76	-318,6	-22,3	2720,6	-1003,5
LDZA -> EDDF	122	44	166	3,85	21,56	-2630,32	948,64	67,91	-8285,02	2988,04

EDDM - > LDSP	57	7	64	-8,38	-33,52	1910,64	-234,64	-105,59	6018,63	-739,13
LDSP - > EDDM	61	3	64	6,90	27,6	-1683,6	82,8	86,94	-5303,34	260,82
EDDM - > LDZA	108	4	112	-17,40	-69,6	7516,8	-278,4	-219,24	23677,92	-876,96
LDZA - > EDDM	105	8	113	-2,87	-11,48	1205,4	-91,84	-36,16	3796,8	-289,28
LDZA - > LOWW	82	14	96	0,03	0,08	-6,56	1,12	0,252	-20,664	3,528
LOWW - > LDZA	90	6	96	-9,05	-36,2	3258	-217,2	-114,03	10262,7	-684,18
LDZA - > LQSA	102	2	104	-67,88	-271,52	27695,04	-543,04	-855,29	87239,58	-1710,58
LQSA - > LDZA	104	0	104	/	/	/	/	/	/	/
LDZA - > LSZH	49	63	112	-3,15	-12,56	615,44	-791,28	-39,56	1938,44	-2492,28
LSZH - > LDZA	108	4	112	-10,22	-40,88	4415,04	-163,52	-128,77	13907,16	-515,08
LDZA - > LWSK	63	0	63	/	/	/	/	/	/	/
LWSK - > LDZA	62	1	63	-8,40	-39,61	2455,82	-39,61	-124,77	7735,74	-124,77

Za prvu pretpostavku – u kojoj vrijednost prosječne duljine nereguliranog leta poprima prosječnu vrijednost reguliranog leta – promjena količine potrošenog goriva izračunata je formulom:

$$m_{fD_{UK1}} = nonREG \cdot m_{fD} \quad (15)$$

gdje je *nonREG* broj nereguliranih letova, a m_{fD} razlika količine potrošenog goriva prosječnog nereguliranog i prosječnog reguliranog leta.

Za istu pretpostavku, promjena količine emitiranog ugljikovog dioksida izračunata je na slijedeći način:

$$m_{DCO2_{UK1}} = nonREG \cdot m_{DCO2} \quad (16)$$

gdje je *nonREG* broj nereguliranih letova, a m_{DCO2} razlika količine emitiranog ugljičnog dioksida prosječnog nereguliranog i prosječnog reguliranog leta.

Za drugu pretpostavku – u kojoj vrijednost prosječne duljine reguliranog leta poprima prosječnu vrijednost nereguliranog leta – promjena količine potrošenog goriva izračunata je formulom:

$$m_{fD_{UK2}} = REG \cdot m_{fD} \quad (17)$$

gdje je *REG* broj reguliranih letova, a m_{fD} razlika količine potrošenog goriva prosječnog nereguliranog i prosječnog reguliranog leta.

Također, za drugu pretpostavku, promjena količine emitiranog ugljikovog dioksida izračunata je na slijedeći način:

$$m_{DCO2UK2} = REG \cdot m_{DCO2} \quad (18)$$

gdje je *REG* broj reguliranih letova, a *m_{DCO2}* razlika količine emitiranog ugljikovog dioksida prosječnog nereguliranog i prosječnog reguliranog leta.

U tablici 12 najvažnije je primijetiti vrijednosti označene crvenom i zelenom bojom. Crvenom bojom označene su vrijednosti koje, za određenu pretpostavku, povećavaju količinu potrošenog goriva i količinu emitiranog ugljikovog dioksida. Vrijednosti označene zelenom bojom predstavljaju smanjenje količine potrošenog goriva i količine emitiranog ugljikovog dioksida.

Podaci u tablici 12 jesu važni, ali ne može se puno zaključiti iz njih. No, može se napraviti tzv. ukupna računica za svaku pretpostavku. Drugim riječima, baza podataka korištena u ovom radu sadržava podatke o 1601 letu, a od tih letova je njih 253 regulirano, što bi značilo da ih je 1348 neregulirano. U pretpostavci 1, vrijednost duljine leta svih 1348 nereguliranih letova poprima vrijednost prosječne duljine reguliranog leta. Na drugoj strani, u pretpostavci 2, vrijednost duljine 253 regulirana leta poprima vrijednost prosječne duljine nereguliranog leta.

U slučaju kada je vrijednost duljine nereguliranog leta veća od duljine reguliranog leta, veća je i vrijednost količine potrošenog goriva i količine emitiranog ugljikovog dioksida, i obratno. Podaci iz tablice 12 iskorišteni su za računanje ukupne promjene količine potrošenog goriva (*m_{fDB}*) i količine emitiranog ugljikovog dioksida (*m_{DCO2B}*) na razini cijele baze podataka, tj. uračunalo se svih 1601 letova. Rezultat te računice prikazan je tablicom 13.

Tablica 13 - Promjena količine potrošenog goriva i količine emitiranog ugljikovog dioksida na razini cijele baze podataka korištene u ovom radu

	PRETPOSTAVKA 1 (svi letovi – regulirani)	PRETPOSTAVKA 2 (svi letovi – neregulirani)
<i>m_{fDB}</i> (kg)	42795,95	-106,59
<i>m_{DCO2B}</i> (kg)	134809,9	-335,412

Rezultati su zanimljivi, jer iako je na temelju prijašnjih rezultata (iz analize u 5. poglavlju) bilo poznato da regulirani letovi utječu nepovoljnije na okoliš, u literaturi se teško nalaze podaci o relativnoj maloj razlici utjecaja na okoliš od strane nereguliranih i reguliranih letova. Drugim riječima, tablica 13 prikazuje da bi se u slučaju da vrijednost duljine svih 253 regulirana leta (koliko je praćeno ovom analizom) poprimi vrijednost prosječnog nereguliranog leta uštedilo 'samo' 106,59 kilograma goriva, što bi rezultiralo smanjenjem emitiranog ugljikovog dioksida u iznosu od 335,412 kilograma. Dakle, iako je u 5. poglavlju iznesen zaključak da regulirani letovi nepovoljnije utječu na okoliš u odnosu na neregulirane letove, rezultati ove analize pokazuju da se u slučaju ne izvođenja regulacije ne bi puno uštedilo. S druge strane, vrijednosti promatranih parametara za pretpostavku 1 poprilično su veće od onih za pretpostavku 2. Naravno, jedan od razloga za to je činjenica da nereguliranih letova ima puno više od reguliranih. U korištenoj bazi podataka, regulirani letovi imaju udio od samo 15,8%.

Analizirajući tablicu 13, može se zaključiti da se učestalost mjera regulacije ne treba smanjivati zbog toga što relativno mali udio reguliranih letova ima veliki utjecaj na okoliš, već zbog toga što veliki udio reguliranih letova ima veliki utjecaj na okoliš. Drugim riječima, pri niskom udjelu regulirani letovi nemaju veliki utjecaj na okoliš u odnosu na neregulirane, ali treba imati na umu da opasnost za okoliš raste s povećanjem udjela reguliranih letova.

7. ZAKLJUČAK

Sadašnji europski sustav upravljanja zračnim prometom pokušava pratiti povećani intenzitet prometa, no još uvijek ga karakteriziraju kašnjenja, povećane duljine leta, regulacije i veće zagađivanje okoliša. 'Jedva preživljava', zato što je zrakoplovstvo nekoć bilo uzor ostalim prometnim granama.

Koliko god se sustav upravljanja zračnog prometa razvijao, dokle god čovjek bude imao ulogu u prometu, uvijek će biti nepredvidivih prometnih situacija. Ako nepredvidive prometne situacije postoje, to znači da će se u nekom trenutku postupci planiranja unutar sustava upravljanja zračnog prometa pokazati nedovoljnima za vođenje sigurnih, efikasnih i redovnih operacija. U tom trenutku određeni alati će biti aktivirani, a jedan od njih će biti mjere regulacije kojima je svrha spriječiti pojavu preopterećenja ili smanjiti opterećenje sektora.

Mjere regulacije nepopularan su alat koji služi kao mjera u periodima iznimnih opterećenja, a nepopularne su jer povećavaju duljinu leta i stvaraju kašnjenja što ne odgovara ni jednom sudioniku sustava upravljanja zračnog prometa. Analize prikazane u ovom radu pokazuju da mjere regulacije koje rezultiraju povećanjem duljine leta nepovoljno utječu na okoliš. Međutim, analize su pokazale da regulirani letovi nemaju puno nepovoljniji utjecaj na okoliš u odnosu na neregulirane. Također, usporedba izračunate potrošnje goriva za hipotetsku situaciju u kojoj su svi letovi neregulirani i potrošnje goriva analiziranog stvarnog prometa pokazuje da se radi o minimalnoj uštedi.

Svi rezultati analize upućuju na činjenicu da značajan utjecaj na okoliš nemaju samo regulirani letovi, već i svi ostali letovi. Dok se u sustavu upravljanja zračnog prometa treba stvoriti kultura koja će omogućiti sustavu lakši napredak i koja će omogućiti osobama aktivno uključenim u zrakoplovstvo da pridonose razvoju sustava upravljanja zračnog prometa kroz vlastita istraživanja, dostupni program (software) NEST namijenjen za analize i simulacije zračnog prometa pruža oskudne informacije koje se tiču odstupanja zrakoplova sa svojih ruta.

Naime, osim usporedbe nereguliranih i reguliranih letova, provedena je i usporedba referentnih (najkraćih) letova i svih ostalih letova tj. nereguliranih i reguliranih. Rezultati su pokazali da i neregulirani i regulirani letovi relativno značajno odstupaju od referentnih letova u smislu duljine leta, a samim time i u smislu količine emitiranih ispušnih plinova. Ta

odstupanja od referentnih letova dokaz su da za neregulirane (pa i regulirane) postoji mogućnost smanjenja utjecaja na okoliš.

Također, treba dodati da provedeno istraživanje nema jednoznačne rezultate koji bi implicitno dokazali kako regulirani letovi više utječu na okoliš. Razlog tome je već navedena činjenica da je velik broj nereguliranih letova letio dužim putanjama od referentnih, iako bi bilo za očekivati da neregulirani letovi lete najkraćom putanjom. Obrazloženje za to može se nametnuti kroz specifične zahtjeve korisnika i njihovog poslovanja koji ovise o visini cijena usluge zračne plovidbe u pojedinim prostorima. Balansirajući između troškova i koristi, praksa je pokazala da se prijevoznici često odlučuju letjeti duljim, ali jeftinijim rutama, što na globalnoj razini zahtjeva jedinstvenog europskog neba predstavlja suprotnost jer se tom praksom povećava loš utjecaj na okoliš i emitira više CO₂.

LITERATURA

- [1] Manual on Air Navigation Services Economics, ICAO Document 9161, 2013.
- [2] URL: <http://caa-ks.org/en/atmans/air-navigation-services-ans/> (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [3] Juričić, B: Autorizirana predavanja – *Upravljanje kapacitetom i protokom zračnog prometa – Uvod*, preuzeto: 3. prosinca 2016.
- [4] URL: <http://www.crocontrol.hr/default.aspx?id=11> (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [5] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Air_traffic_service (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [6] URL: <http://www.crocontrol.hr/default.aspx?id=25> (pristupljeno: srpanj 2017)
- [7] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Air_traffic_flow_management (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [8] URL: <http://www.crocontrol.hr/default.aspx?id=26> (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [9] Juričić, B: Autorizirana predavanja – *Upravljanje kapacitetom i protokom zračnog prometa – Airspace Management*, preuzeto 30. siječnja 2017.
- [10] URL: <http://www.crocontrol.hr/default.aspx?id=295> (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [11] Juričić, B: Autorizirana predavanja – *Upravljanje kapacitetom i protokom zračnog prometa – Međunarodna i nacionalna regulativa i legislativa*, preuzeto 3. prosinca 2017.
- [12] URL: <https://www.eurocontrol.int/functional-airspace-block-fabs-defragmenting-european-airspace> (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [13] URL: <http://www.eurocontrol.int/dossiers/single-european-sky> (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [14] URL: <http://www.eurocontrol.int/articles/single-european-sky-timeline> (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [15] URL: [https://www.skybrary.aero/index.php/Single_European_Sky_\(SES\)_II](https://www.skybrary.aero/index.php/Single_European_Sky_(SES)_II) (pristupljeno: srpanj 2017.)

- [16] URL: <http://www.eurocontrol.int/articles/who-we-are> (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [17] URL: <http://www.eurocontrol.int/articles/our-role> (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [18] URL: <https://www.eurocontrol.int/articles/network-manager-governance-and-functions> (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [19] URL:
https://www.skybrary.aero/index.php/Regulation_677/2011_laying_down_detailed_rules_for_the_implementation_of_ATM_network_functions (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [20] URL: <http://www.eurocontrol.int/statfor> (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [21] URL: <https://www.ecac-ceac.org/about-ecac> (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [22] URL: <https://www.ecac-ceac.org/member-states> (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [23] URL: <https://www.eurocontrol.int/fag/what-esra-eurocontrol-statistical-reference-area> (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [24] URL: <http://www.eurocontrol.int/articles/forecasts> (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [25] Juričić, B: Autorizirana predavanja – *Upravljanje kapacitetom i protokom zračnog prometa - Prognoze zračnog prometa*, preuzeto 3. prosinca 2017.
- [26] Seven-year Forecast February 2017, EUROCONTROL, 2017.
- [27] Challenges of Growth 2013 – Task 4: European Air Traffic in 2035, EUROCONTROL, 2013.
- [28] Juričić, B: Autorizirana predavanja – *Upravljanje kapacitetom i protokom zračnog prometa - ATFCM*, preuzeto 3. prosinca 2017.
- [29] URL: https://ext.eurocontrol.int/lexicon/index.php/Flow_Management_Position (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [30] ATFCM Operations Manual, Network Operations Handbook, EUROCONTROL, 2017
- [31] URL: <http://www.eurocontrol.int/articles/atfm-slots> (pristupljeno: srpanj 2017.)

- [32] URL: https://ext.eurocontrol.int/lexicon/index.php/ATFM_slot_swapping
(pristupljeno: srpanj 2017.)
- [33] URL: https://ext.eurocontrol.int/lexicon/index.php/Level_capping (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [34] European Aviation Environmental Report 2016, EASA, EUROCONTROL, 2017
- [35] URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:790858/FULLTEXT01.pdf>
(pristupljeno: srpanj 2017.)
- [36] URL: https://ec.europa.eu/transport/modes/air/sesar/european_atm_en
(pristupljeno: srpanj 2017.)
- [37] Izvješće komisije europskom parlamentu i vijeću o provedbi i napretku jedinstvenog europskog neba tijekom razdoblja od 2012. do 2014., Europska Komisija, 2015.
- [38] Juričić, B: Autorizirana predavanja – *Upravljanje kapacitetom i protokom zračnog prometa - KPIs*, preuzeto 3. prosinca 2017.
- [39] Pravilnik o uspostavljanju programa mjerenja učinkovitosti usluga u zračnoj plovidbi i mrežnih funkcija (NN 32/2011), http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2011_03_32_725.html (pristupljeno: srpanj 2017.)
- [40] Performance Indicator – Horizontal Flight Efficiency, EUROCONTROL, 2014.
- [41] URL: <http://www.eurocontrol.int/services/nest-modelling-tool> (pristupljeno: rujan 2017.)
- [42] URL: <https://www.world-airport-codes.com/> (pristupljeno: rujan 2017.)
- [43] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_economy_in_aircraft#cite_note-AC200508-41 (pristupljeno: rujan 2017.)
- [44] IATA Carbon Offset Program – Frequently Asked Questions, IATA, 2015.

POPIS SLIKA

Slika 1 - Funkcionalni zračni blokovi iznad Europe	12
Slika 2 - Države članice ECAC-a su obojane sivom bojom na karti	19
Slika 3 - ESRA 08	20
Slika 4 - Prosječni godišnji rast prometa (scenarij C:'Regulated Growth', najvjerojatniji scenarij) [27]	24
Slika 5 - Efikasnost horizontalnog leta kao usporedba dužine stvarne putanje i najkraće putanje između točaka O i D [40]	42
Slika 6 - Dijagram toka procesa izlučivanja podataka iz NEST-a	45
Slika 7 - Grafički prikaz ovisnosti omjera razlike odstupanja i referentne duljine o udjelu reguliranih letova za svaki par gradova	52
Slika 8 - Prikaz inicijalne i stvarne rute leta CTN344 uz označenu aktiviranu regulaciju LDULN24, datuma 24.7.2016	53
Slika 9 - 3D prikaz inicijalne i stvarne rute leta CTN 344 i reguliranog sektora	56

POPIS TABLICA

Tablica 1 - Prikaz razloga zbog kojih se provode regulacije te smjernica za primjenu istih [30].....	26
Tablica 2 - Rješenja ATFCM-a u slučaju pada kapaciteta [30]	31
Tablica 3 - Niz mjera koji se provodi na području Europe za rješavanje ekoloških izazova [34].....	36
Tablica 4 - Primjer tablice podataka (koja sadržava samo 7 od 56 datuma) na relaciji Bruxelles – Zagreb.....	47
Tablica 5 - Izlazni parametri (rezultati) analize utjecaja mjera regulacija na primjeru letova zračnog prijevoznika CA.....	48
Tablica 6 - Let s maksimalnim odstupanjem po svakom paru gradova.....	54
Tablica 7 - Prikaz rezultata analize dane u 5. poglavlju i korelacija s podacima o korištenim tipovima zrakoplova za svaki par gradova.....	58
Tablica 8 - Prosječna potrošnja goriva po tipu zrakoplova (u kilogramima po nautičkoj milji) [43]	59
Tablica 9 - Vrijednosti referentne duljine leta, prosječne duljine nereguliranih i prosječne duljine reguliranih letova za svaki par gradova uz pripadajuće vrijednosti mase potrošenog goriva i emitiranog ugljikovog dioksida u kilogramima.....	61
Tablica 10 - Razlika duljine leta, količina potrošenog goriva i količina emitiranog ugljikovog dioksida između referentnih letova i nereguliranih i reguliranih letova	62
Tablica 11 - Vrijednosti mase (u kilogramima) potrošenog goriva na prosječnom nereguliranom i prosječnom reguliranom letu za svaki par gradova, te vrijednost mase potrošenog goriva za razliku odstupanja.....	63
Tablica 12 - Prikaz promjena količine potrošenog goriva i količina emitiranog ugljikovog dioksida po svakom paru gradova za pretpostavke 1 i 2 (iznad navedene)	64
Tablica 13 - Promjena količine potrošenog goriva i količine emitiranog ugljikovog dioksida na razini cijele baze podataka korištene u ovom radu	66



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih
znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

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

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

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada
pod naslovom **Utjecaj mjera regulacije zračnog prometa na okoliš**

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

U Zagrebu, _____ 15.9.2017 _____

Student/ica:

M. Babrić

(potpis)