

# Usporedba kompleksnosti zračnog prometa prije i nakon implementacije prostora slobodnih ruta u Republici Hrvatskoj

---

Kudumija, Dora

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:251458>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-12**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

USPOREDBA KOMPLEKSNOSTI ZRAČNOG PROMETA  
PRIJE I NAKON IMPLEMENTACIJE PROSTORA  
SLOBODNIH RUTA U REPUBLICI HRVATSKOJ

AIR TRAFFIC COMPLEXITY BEFORE AND AFTER THE  
FREE ROUTE AIRSPACE IMPLEMENTATION IN THE  
REPUBLIC OF CROATIA

Mentor: dr. sc. Bruno Antulov-Fantulin

Studentica: Dora Kudumija

JMBAG: 0135252648

Zagreb, rujan 2021.

Zagreb, 11. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Upravljanje protokom zračnog prometa**

## **ZAVRŠNI ZADATAK br. 6378**

Pristupnik: **Dora Kudumija (0135252648)**  
Studij: **Aeronautika**  
Smjer: **Kontrola leta**

Zadatak: **Usporedba kompleksnosti zračnog prometa prije i nakon implementacije prostora slobodnih ruta u Republici Hrvatskoj**

### **Opis zadatka:**

Objasniti postojeća i nadolazeća rješenja vezana za Jedinствeno europsko nebo u sustavu upravljanja protokom zračnog prometa, te posebno obraditi rješenja prostora slobodnih ruta. Objasniti metodologiju rada PRU model kompleksnosti, te analizirati prometa prije i nakon implementacije prostora slobodnih ruta u Republici Hrvatskoj.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

## SAŽETAK

Inicijativa Jedinствeno Europsko Nebo lansirana je zbog konstantno rastuće stope količine prometa. Početkom ovog stoljeća potražnja prometa je rasla do neodržive mjere te se moralo nešto poduzeti kako bi zračni promet ostao siguran, brzoprotčan i efikasan. Počelo se raditi na defragmentaciji i ujedinjavanju Europskog neba. Prostor slobodnih ruta omogućuje točno to. Korisnici više ne moraju koristiti rute u zraku koje su previše prometne, nego mogu samostalno planirati svoju rutu. Osim što se moraju držati ulaznih i izlaznih točaka i zatvorenog zračnog prostora, imaju potpunu slobodu oko odabira putanje leta. Prostor slobodnih ruta je u Republici Hrvatsku uveden u prosincu 2016. godine. Prije toga se eksperimentiralo s uvođenjem prostora slobodnih ruta preko noći, no u prosincu 2016. je prostor slobodnih ruta omogućen korisnicima 24 sata dnevno. U ovom radu je provedena analiza kompleksnosti zračnog prometa u Republici Hrvatskoj prije i nakon implementacije prostora slobodnih ruta. Analiza je odrađena pomoću PRU indikatora kompleksnosti korištenjem programskog alata NEST.

**KLJUČNE RIJEČI:** Prostor slobodnih ruta, PRU indikatori, kompleksnost, NEST

## SUMMARY

The Single European Sky initiative was launched due to the ever-increasing rate of traffic. At the beginning of this century, the demand for air transport grew to an unsustainable extent, and something had to be done to keep the traffic safe, fast-flowing and efficient. Work began on the defragmentation and unification of the European sky. Free route airspace allows just that. Users no longer have to use the too crowded pre-set routes in the air, but can plan their own route. Apart from having to stick to entry and exit points and closed airspace, they have complete freedom when choosing a flight path. Free route airspace was introduced to the Republic of Croatia in December of 2016. Previously, experiments were initiated with using FRA overnight, but in December 2016, free route space was provided to users 24 hours a day. This paper analyzes the complexity of air traffic in the Republic of Croatia before and after the implementation of free routes. The analysis was performed using PRU complexity indicators using the NEST software tool.

**KEY WORDS:** Free route airspace, PRU indicators, complexity, NEST

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. SESAR RJEŠENJA.....	3
2.1 SESAR JU .....	3
2.2 SESAR Katalog.....	4
3. PROSTOR SLOBODNIH RUTA .....	7
3.1 Jedinствeno Europsko Nebo.....	7
3.1.1 Prvi paket SES mjera .....	8
3.1.2 Drugi Paket SES mjera.....	8
3.2 Prostor slobodnih ruta .....	9
4. PRU MODEL KOMPLEKSNOSTI.....	15
4.1 Dimenzije ćelija.....	15
4.2 Interakcije .....	16
4.2.1 Prilagođena gustoća.....	17
4.2.2 Potencijalne vertikalne interakcije .....	19
4.2.3 Potencijalne horizontalne interakcije .....	20
4.2.4 Potencijalne interakcije brzine .....	21
4.3 Rezultat kompleksnosti .....	21
5. PROMET PRIJE I NAKON IMPLEMENTACIJE FRA.....	23
5.1 Postupak generiranja podataka .....	24
5.2 Rezultati programa.....	27
6. ANALIZA REZULTATA .....	29
6.1 Rezultati kolovoza 2016. godine .....	29
6.2 Rezultati kolovoza 2019. ....	32
6.3 Usporedba dobivenih rezultata.....	36
7. ZAKLJUČAK.....	39
Popis literature.....	40
Popis slika.....	42
Popis tablica .....	43

# 1. UVOD

Kako u cijeloj Europi potražnja za zračnim prometom već godinama, izuzev izvanredne situacije pandemije Covid-19, ima pozitivan trend rasta, obujam prometa je postajao sve veći. Kako bi eventualno takav rast postao neodrživ, početkom 21. stoljeća pokrenuta je inicijativa Jedinog Evropskog neba. Cilj inicijative je održati zračni promet sigurnim, efikasnim i brzim [1]. Također je jedan od glavnih ciljeva povećanje učinkovitosti zračnih prostora Europe, a to nije bilo moguće zbog prevelike rascjepkanosti prostora. Jedno od rješenja kako bi se taj problem minimizirao je uvođenje Prostora slobodnih ruta. Takav sustav se pokazao jako dobar. Pozitivno utječe na smanjenje zagušenja prostora, smanjuje troškove, bolji je za okoliš zbog manje količine goriva i CO<sub>2</sub> te smanjuje trajanje leta [2]. Republika Hrvatska je u prosincu 2016. godine uvela cjelodnevni prostor slobodnih ruta [3], te se u ovom radu radi usporedba kompleksnosti zračnog prostora prije i nakon te implementacije.

Ovaj završni rad je podijeljen na 7 poglavlja:

1. Uvod
2. SESAR Rješenja
3. Prostor slobodnih ruta
4. PRU model kompleksnosti
5. Promet prije i nakon implementacije FRA
6. Analiza Rezultata
7. Zaključak

U drugom poglavlju je predstavljeno Jedinostveno europsko nebo za istraživanje u upravljanju protokom zračnog prometa (engl. Single European Sky ATM Research - SESAR), koji je ključan za uspostavu Jedinog Evropskog neba (engl. Single European Sky - SES). Također je pojašnjeno Zajedničko poduzeće SESAR te Katalog rješenja. Trenutno je aktualna treća edicija Kataloga.

U trećem poglavlju je obrađen Prostor slobodnih ruta i što to znači. Predstavljen je projekt SES, koji je odgovor na kašnjenja zrakoplova koja su započela prije početka ovog

stoljeća. Iz SES-a su proizašla dva paketa mjera koji se fokusiraju na sigurnost i kapacitet prostora.

U četvrtom poglavlju je objašnjen Model kompleksnosti Jedinice za provjeru učinkovitosti (engl. Performance review unit - PRU). Ovdje su objašnjene interakcije između zrakoplova i kako se pomoću njih izračunava kompleksnosti.

U petom i šestom poglavlju su izvedeni podaci za kolovoz 2016. i 2019. godine te uspoređeni, kako bi se dobio pregled usporedbe kompleksnosti zračnog prometa prije i nakon implementacije Prostora slobodnih ruta na području Republike Hrvatske.

## 2. SESAR RJEŠENJA

*Single European sky ATM research* (SESAR) je projekt započet 2004. godine za istraživanje tehnoloških napredaka koji bi pridonijeli uspostavi *Single European Sky*. Cilj SESAR-a je razraditi nove tehnologije i sustave koji bi se koristili za unaprjeđenje upravljanja protokom prometa na europskom nebu [1]. Vizija SES-a je restrukturacija europskog zračnog prostora kako bi se stvorio dodatan kapacitet koji bi povećao ukupnu efikasnost sustava upravljanja protokom zračnog prometa. Ciljevi koji bi postigli tu viziju su sljedeći [4]:

- Troduplo povećanje kapaciteta
- Desetostruko poboljšanje sigurnosti
- Smanjenje utjecaja zrakoplova na okoliš za 10%
- Smanjenje cijene pružanja usluge upravljanja protokom prometa za 50%

### 2.1 SESAR JU

Zajedničko poduzeće SESAR (engl. SESAR Joint Undertaking – SESAR JU) je osnovano 2007. godine. To je javno-privatno partnerstvo odgovorno za modernizaciju upravljanja protokom zračnog prometa (engl. *Air traffic management*– ATM) sustava. Trenutni su sudionici Europska Komisija, EUROCONTROL, pružatelji usluga zračne plovidbe, operateri zrakoplova i drugi. Cilj nakon 2007. je ostao isti, istraživanje i razvoj novih tehnologija te modernizacija sustava upravljanja zračnim protokom na europskom, umjesto lokalnom nivou [5].

Do sada postoje dva ciklusa ulaganja [5]:

1. SESAR I (2008. – 2016.)
2. SESAR 2020 (2016. – 2024.)

U periodu od 2008. do 2016. je izloženo više od 90 prototipova te 63 poboljšanih operativnih ili tehnoloških rješenja. SESAR I je funkcionirao na projektima koji su istraživali 6 glavnih područja:

- Micanje s upravljanja protokom zračnog prometa na upravljanje protokom 4D trajektorija



- Sinkronizacija prometa
- Upravljanje suradnje i balansiranje dinamike/kapaciteta
- Upravljanje informacijama preko cijelog sistema
- Integracija i protok aerodroma
- Upravljanje konfliktima i automatizacija

Nakon početka SESAR 2020, fokus se prebacio na 4 ključna područja [6]:

- Operacije na aerodromima
- Mrežne operacije
- Usluge zračnog prometa (engl. *Air traffic services* – ATS)
- Omogućitelje tehnologije

Oba ciklusa su radila na principu 3 faze: faza definicije, faza razvoja i validacije i faza implementacije. Faza definicije je ona u kojoj se razvija ATM Master plan, uspostavljaju se tehnološke faze te prioriteti i rokovi. U drugoj fazi, fazi razvoja i validacije su se razvijale nove tehnologije koje služe za podupiranje nove generacije sustava. U ovoj fazi se također izdaje katalog SESAR rješenja. Faza implementacije se bavi proizvodnjom tehnologija za ta rješenja. Katalog SESAR rješenja je alat koji služi za objavu svih tehnologija koje su već istražene i spremne za industrijalizaciju [5].

## 2.2 SESAR Katalog

Aktualna edicija kataloga rješenja je treća, izdana 2019. godine. Istraživanje i razvoj tehnologija je podijeljen u tri dijela: istraživanje, industrijsko istraživanje i validacija i demonstracije velikih razmjera. Istraživanje se sastoji od pregledavanja novih koncepata koji još nisu implementirani, ali bi mogli pridonijeti razvoju. Industrijsko istraživanje i validacija podrazumijeva testiranje koncepata na simulatoru i u pravom životu, kako bi se moglo odrediti koji su spremni za implementaciju. Zadnji dio, demonstracije velikih razmjera su također testiranja novih sustava no na puno većoj skali. Taj dio pomaže pokazati koliko su ova rješenja aplikabilna i potrebna.

Koncepti se uzimaju u obzir za razvoj ako se poklapaju s jednim od 4 glavna područja razvoja. Ta 4 područja na kojima je fokus SESAR-a su već ranije spomenuta sa SESAR 2020:

- **Operacije na aerodromima**
  - Menadžment cijelog aerodroma, aerodromska kontrola na daljinu, sigurnost na aerodromima
- **Mrežne operacije**
  - Alati za lakše upravljanje sektorima, poboljšanje suradnje između vojnog i civilnog zračnog prometa
- **ATS**
  - Separacija na temelju vremena, rekatégorizacija zrakoplova na temelju turbulencije, bolje sekvenciranje zrakoplova
- **Omogućitelje tehnologije**
  - Integracija Komunikacije, navigacije i nadzora (engl. *Communication, navigation, surveillance* – CNS) za jednostavnije i efikasnije pružanje usluga

Ovakav sustav koristi svim sudionicima, uključujući Pružateljima usluga zračne navigacije (engl. *Air navigation service providers* – ANSP), operaterima zrakoplova, korisnicima zračnog prostora bilo civilnim ili vojnim i mrežnim upraviteljima.

Treće izdanje SESAR kataloga je podijeljeno u tri glavna poglavlja. Prvo poglavlje se bavi rješenjima čija je implementacija već započela. Ona su istražena u prvom ciklusu SESAR-ak i ima ih ukupno 63. U drugom poglavlju je obrađeno 79 rješenja. Tu se nalaze koncept koji se još istražuju, no za neke je postavljen datum kada bi trebali biti spremni za implementaciju. Za ostatak je potrebno daljnje testiranje. Treće poglavlje se sastoji od rješenja koja su tek u fazi planiranja. Uzimaju se koncepti koji imaju potencijala i rade se istraživanja o tome koliko bi oni mogli pomoći razvoju upravljanja protokom prometa [2].

U katalogu je svaka solucija procijenjena po određenim pokazateljima uspješnosti u nekim područjima. Područja za koje postoje pokazatelji su [2]:

- Povećanje predvidljivosti – mjereno preko promjena u duljini trajanja leta
- Smanjenje troškova – mjereno cijenom pružanja usluge zračne plovidbe

- Povećanje kapaciteta aerodroma – mjereno protokom na pistama na najboljim aerodromima
- Povećanje kapaciteta na *en-route* sektorima
- Povećanje kapaciteta TMA (*Terminal control area* – Završno kontrolirano područje)
- Smanjenje potrošnje goriva i smanjenje emisije plinova

Prikaz samih rješenja u katalogu je jednostavan. Svako rješenje je opisano na jednoj stranici kataloga. Sastoji se od kratkog objašnjenja funkcije solucije, sudionika, područja na kojima rješenje djeluje, korisnosti rješenja i reference preko koje se na SESAR web stranici može pronaći više informacija [7].

### 3 PROSTOR SLOBODNIH RUTA

Krajem prošlog stoljeća, zračni je promet dosegao stopu rasta koja bi s vremenom donijela toliko zagušenje da zračni promet ne bi bio održiv. Tada je obujam zračnog prostora svake godine rastao za 5-7%, što bi značilo da će se svakih 12 godina promet minimalno udvostručiti. Tijekom 1999. godine je 21% ukupnih letova u Europi kasnilo za prosječnih 25 minuta, a u lipnju 2000. godine je 13% letova imalo kašnjenje veće od 15 minuta. Neki od najvećih problema koji su doprinikli takvim kašnjenjima su bili fragmentacija Europskog zračnog prostora i korištenje koridora koje bi zrakoplovi koristili za let. Također, promet je konvergirao na istim rutama koje su postajale sve više i više zagušene [8].

Jedno od mogućih rješenja za te probleme je bila suradnja između pružatelja usluga (ANSP-ova), kako bi se povećao kapacitet europskog neba. To bi značilo da su se trebale uvesti mjere koje bi obuhvaćale cijeli prostor Europe, a ne pojedine države. Tako je 2000. godine pokrenuta inicijativa SES iz koje je proizašlo rješenje prostor slobodnih ruta. To nam SES čini jednom od najvažnijih inicijativa na prostoru Europe [8].

#### 3.1 Jedinstveno Europsko Nebo

Single European Sky je uspostavljen kao odgovor na kašnjenja letova koja su započela u prošlom stoljeću. Europska komisija (engl. European Commission – EC) je krajem 2001. godine donijela prvi paket legislativa čiji je temelj osmislila *High Level Group* (engl. Grupa visoke razine), koja je uspostavljena kako bi savjetovala komisiju o napredcima u zrakoplovnom sektoru. Europski parlament i vijeće su paket prihvatili u ožujku 2004. godine, te je on stupio na snagu mjesec dana kasnije. Nakon toga je donesen i drugi paket legislativa kao dodatni razvoj funkcionalnosti zračnog prostora. Glavni ciljevi tih paketa su bili poboljšati sigurnost i efikasnost zračnog prometa Europe, smanjiti kašnjenje koristeći resurse i zračne luke čiji potencijal do tada nije iskorišten, defragmentacija zračnog prostora koja bi dovela smanjenju troškova za putnike te poboljšati integraciju vojnih sustava u zračni prostor Europe [9].

### 3.1.1 Prvi paket SES mjera

Prvi paket, donesen 2004. godine, se ponajviše fokusira na poboljšanje sigurnosti i defragmentaciju prostora. Sastoji se od četiri regulacije koje pomažu stvoriti dodatan kapacitet i poboljšati efikasnost prometa. Te četiri regulacije su [10]:

1. Okvirna regulacija (*The Framework Regulation*) – EC No 549/2004. – objašnjava temelje za uspostavu Jedinственog Europskog neba
2. Regulacija pružanja usluga (*The Service Regulation*) – EC No 550/2004. – objašnjava kako bi izgledalo pružanje usluga korisnicima u okviru Jedinственog Europskog neba
3. Regulacija o zračnom prostoru (*The Airspace Regulation*) – EC No 551/2004. – organizacija i upotreba zračnog prostora na Jedinственom Europskom nebu
4. Regulacija o interoperabilnosti (*The Interoperability Regulation*) – EC No 552/2004. – govori o interoperabilnosti između mreže upravljanja zračnim prostorom Europe

Europska komisija je prihvatila glavna pravila za implementaciju mjera, a pravila su definirana u regulacijama o pružanju usluga, zračnom prostoru i interoperabilnosti. Svaka država članica je odgovorna za svoju implementaciju pravila, a svako Državno tijelo za nacionalnu sigurnost (engl. National Supervisory Authority – NSA) provjerava stanje implementacije i je li ona ispravna. Tako i EC periodički provjerava napredak svake države članice te izdaje izvješće o napretku i predlaže kako nastaviti dalje [9].

### 3.1.2 Drugi Paket SES mjera

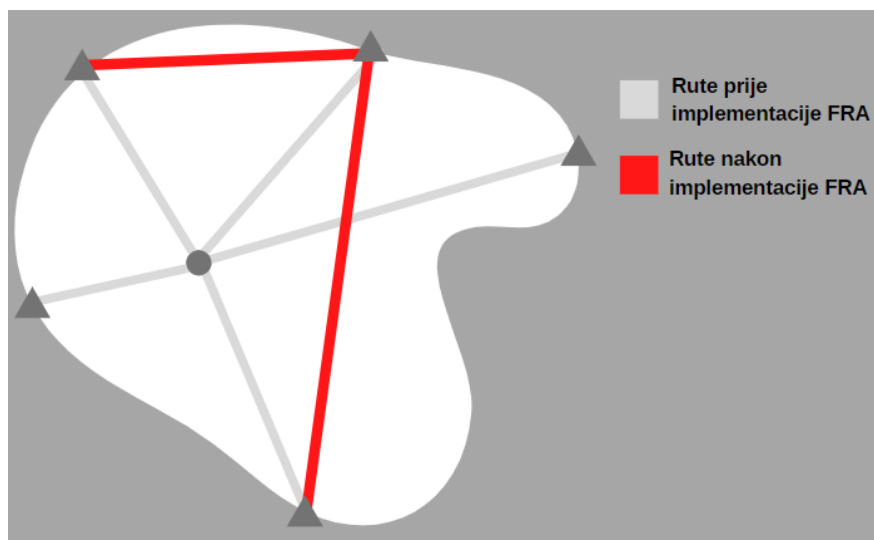
Drugi paket mjera je napravljen kako bi EC osigurala da je Europski zračni prostor siguran i održiv kroz [11]:

- Uvođenje praćenja performansi za Europski ATM i kvantificiranih targeta
- Izradu sigurnosnog okvira kako bi se regulacije o sigurnosti mogle implementirati u skladu jedna s drugom
- Korištenje novih tehnologija koje povećavaju sigurnost deseterostruko
- Poboljšanje upravljanja kapacitetima zračnih luka

Drugi paket mjera se također više fokusira na očuvanje okoliša, cijene goriva i troškove. Uz to, sam pristup je drukčiji jer legislative više opisuju glavni cilj nego na način dosizanja tog cilja. Dio drugog paketa mjera je i program SESAR, koji je opširnije opisan u poglavlju 4. ovog rada [11].

### 3.2 Prostor slobodnih ruta

Prostor slobodnih ruta (engl. *Free Route Airspace* - FRA) je pojam koji opisuje zračni prostor u kojem korisnici mogu slobodno planirati svoju rutu leta između ulaznih i izlaznih točaka. Prije implementacije FRA, svaki zrakoplov je kroz zračni prostor morao prolaziti preddefiniranim zračnim putevima u obliku koridora. Takvi koridori su bili kontrolirani i opremljeni radionavigacijskim sredstvima. Kod FRA se to nije promijenilo, korisnicima zračnog prostora je u svakom trenutku dostupna usluga kontrole zračnog prostora i radionavigacijska sredstva. Prikaz ruta je prikazan na slici 1 [12].



Slika 1: Usporedba ruta prije i nakon implementacije FRA u zamišljenom zračnom prostoru

FRA je razvijen i implementiran kao dio *Flight Efficiency Plan*-a u koordinaciji između EUROCONTROL-a, Međunarodne udruge za zračni prijevoz (engl. International air transport association – IATA) i Međunarodne organizacije civilnih pružatelja usluga u zračnoj plovidbi (engl. Civil Air Navigation Services Organisation – CANSO). Kao projekt je započeo 2008. godine, te je prva implementacija bila u okviru *ATS Route Network* verzije 6., a krajnja koordinacija u okviru *ATS Route Network* verzije 7. [12] U Annexu I. Europske regulative No 677/2011, koja je proizašla daljnjim radom na poboljšanju FRA, opisana je Europska funkcija

dizajna mreže ruta (engl. European Route Network Design Function – ERNDF) i Plan za poboljšanje Europske mreže ruta (engl. European Route Network Improvement Plan – ERNIP).

ERNIP se sastoji od više dijelova:

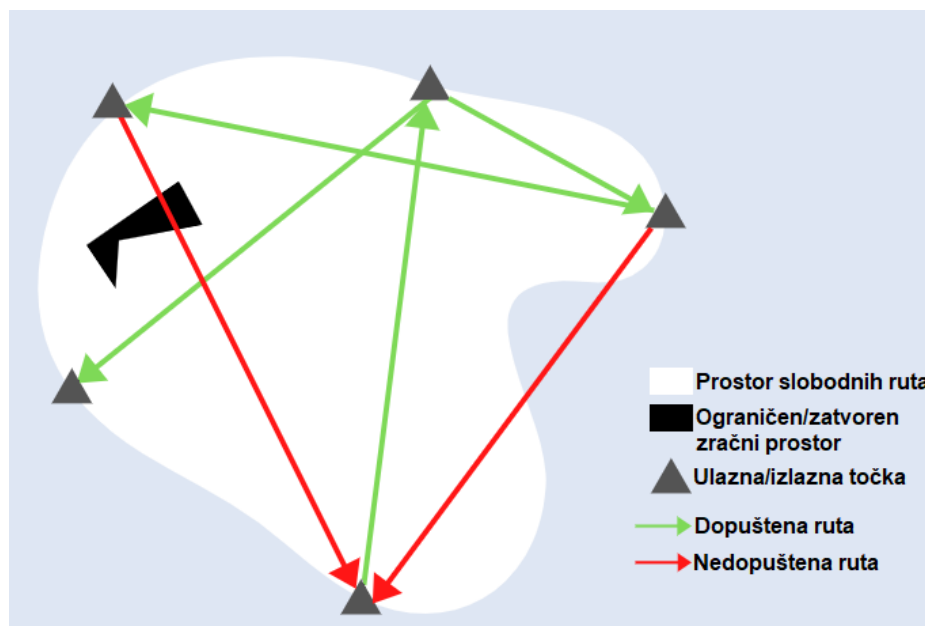
- Dio 1. – A European Airspace Design Methodology (engl. Metodologija Europskog dizajna zračnog prostora)
- Dio 2. – ARN Versions (engl. Verzije ATS Route Network-a)
- Dio 3. – ASM Handbook (engl. Upute za upravljanje zračnim prostorom)
- Dio 4. – Route Availability Document (engl. Dokument dostupnosti ruta)
- FRA Application in NMOC (engl. Korištenje FRA u operacijskom centru rukovoditelja mreža)

2007. godine je ekonomska i ekološka potreba za boljom izvedbom zračnog prostora bila jako velika. To je potaknulo države i ANSP-ove da osmisle prostor koji bi bio efikasniji, imao veći kapacitet i bio isplativiji za korisnike. Kako je danas tri četvrtine Europskog zračnog prostora prostor slobodnih ruta, ta bolja izvedba je skoro gotova. Pojam ekstenzija rute nam definira razliku između provedene rute leta i velike kružnice koja opisuje let između određene dvije točke. Prosjek ekstenzije leta je 2012. godine bio 3.17%, a do 2017. godine je smanjen na 2.77%, te je postavljen cilj da se nadalje smanji na 2.6%. Također, kod potpune implementacije na razini Europe, očekuje se da će se dnevno broj preletenih milja smanjiti za 500 000, a tone iskorištenog goriva za 3000. To dovodi do toga da smanjenje ispuštenog CO<sub>2</sub> plina bude oko 10 000 tona dnevno, a kad bi se taj podatak preračunao u cijenu goriva, smanjenje bi bilo za 3 000 000 eura dnevno [12] [13].

Operacije slobodnih ruta se u neki prostor mogu uvesti na četiri načina [14]:

1. Vremenski ograničeno (npr. Preko noći) – obično prvi korak implementacije, pošto je narušenje sigurnosti koje može nastati minimalno zbog malog volumena prometa te se koristi kao prelazna faza u veće implementacije
2. Geografski ili strukturalno ograničeno – kod nekih jako kompleksnih prostora, potpuna implementacija FRA može negativno utjecati na kapacitet sektora pa se može ograničiti broj ulaznih i izlaznih točaka, ili korištenje FRA samo u nekim dijelovima prostora (npr. Iznad neke određene visine)

3. Implementacija kroz funkcionalne blokove zračnog prostora (engl. Functional Airspace Block - FAB) – napredniji korak implementacije, zračni prostor Republike Hrvatske je trenutno dio FAB CE bloka, koji još uključuje i Austriju, Bosnu i Hercegovinu, Mađarsku, Slovačku i Sloveniju
4. SES – jedan od glavnih ciljeva implementacije FRA u Europi. Cilj je u potpunosti ujediniti zračni prostor iznad Europe



Slika 2: Prikaz mogućih ruta u FRA

Prostor slobodnih ruta najčešće funkcionira tako da se između ulazne i izlazne točke odabere najkraća putanja, no to nije uvijek moguće. Ako postoji ograničen ili zatvoren zračni prostor, ili ta direktna ruta prelazi državne granice tj. granice FRA, korisnici će biti primorani koristiti indirektnu rutu. Ovakav sistem je prikazan na slici 2 [14].

Kada se FRA dovodi u neki zračni prostor, potrebno je prije implementacije napraviti konceptni plan rada. U tom planu se definira implementacija koja će zadovoljiti sigurnosne standarde, biti koristiva s trenutnim načinom operacija, biti podložna promjenama i poboljšanjima te je mora biti moguće povezati s već postojećim prostorima slobodnih ruta. U pravilu se prostor slobodnih ruta definira kao klasa C zračnog prostora, no postoje i iznimke koje se javljaju, obično iznad neke razine leta (engl. Flight level – FL)



Implementacije prostora slobodnih ruta ima dva glavna ograničenja, a to su vremensko i strukturalno. Što se tiče vremenskog ograničenja, pokazalo se da je najbolji sistem implementacije takav da je isprva FRA ograničen, a kasnije se sve više proširuje. Kod kompleksnih zračnih prostora se javlja strukturalno ograničenje, gdje bi uvođenje potpunog FRA moglo dovesti do veće kompleksnosti prometa [12]. Za rješenje tog problema se može koristiti ograničenje ulaznih i izlaznih točki kako bi se promet mogao lakše predvidjeti.

Vertikalni limit prostora slobodnih ruta se objavljuje u nacionalnim publikacijama Usluga zrakoplovnog informiranja (engl. Aeronautical information service – AIS) publikacijama. Najniži minimum se određuje za svaki prostor pojedinačno, a ovisi o okolnim prostorima te kako ih je najbolje povezati. Najniža visina za FRA se određuje po kompleksnosti prostora, a uzima se najniža moguća. Horizontalni limit se također objavljuje u AIS-u. Definiraju se ulazne i izlazne točke, te je napomenuto ako neki okolni prostor ima ili nema implementiran FRA. Za spajanje FRA prostora koji se nalazi iznad prostora koji koristi zračne puteve, bitno je da se definiraju putne navigacijske točke, standardni instrumentalni odlasci (engl. Standard instrument departure – SID) i standardni instrumentalni odlasci (engl. Standard instrument arrival – STAR), kako bi spajanje ta dva prostora bilo što efikasnije. Takvo spajanje FRA s okolnim i nižim prostorom je neophodno kako bi se osigurao siguran, brz i efikasan tok prometa.

Rezervacija zračnog prostora nakon implementacije FRA je i dalje moguća. Takve rezervacije mogu biti stalno aktivne, poput zabranjenog zračnog prostora, ili na neko određeno vrijeme. Korisnici koji mogu rezervirati prostor uključuju i civilne i vojne svrhe. Koordinacija je potrebna kako bi se oko nedostupnog prostora promet odvijao brzo i sigurno. Također je, uz određenu koordinaciju, moguće da neki zrakoplov i prolazi kroz rezervirani prostor, ako je to moguće. Ako nije moguće, koriste se međutočke za izbjegavanje prostora.

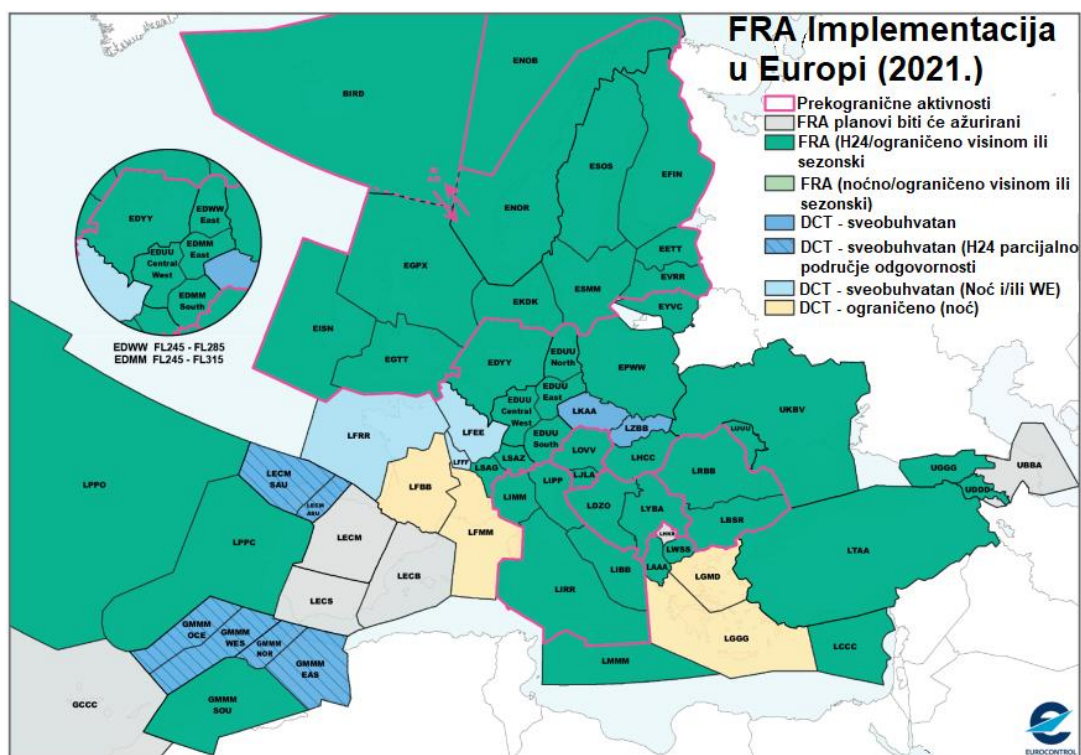
Kako promet nakon implementacije FRA koristi cijeli sektor, a ne samo označene zračne puteve, moguće je da se obavi resektorizacija kako bi se omogućila manja kompleksnost prometa i manje konflikata. Bitno je da sektori nisu ograničeni granicama područja letnih informacija (engl. Flight information region – FIR), gornjeg područja letnih

informacija (engl. Upper FIR – UIR) i državnih granica, i da ih je u budućnosti moguće mijenjati [12].

Međutim, kod određivanja novih sektora, uzima se u obzir [12]:

- Orijentacija i glavni tokovi prometa
- Minimiziranje iznimno kratkih putanja kroz sektor
- Minimiziranje ponovno ulaženje u sektor nakon izlaska
- Pozicije ograničenog zračnog prostora
- Povezanost s prostorom koji koristi zračne puteve
- Koordinacija civilnog i vojnog prostora i prometa

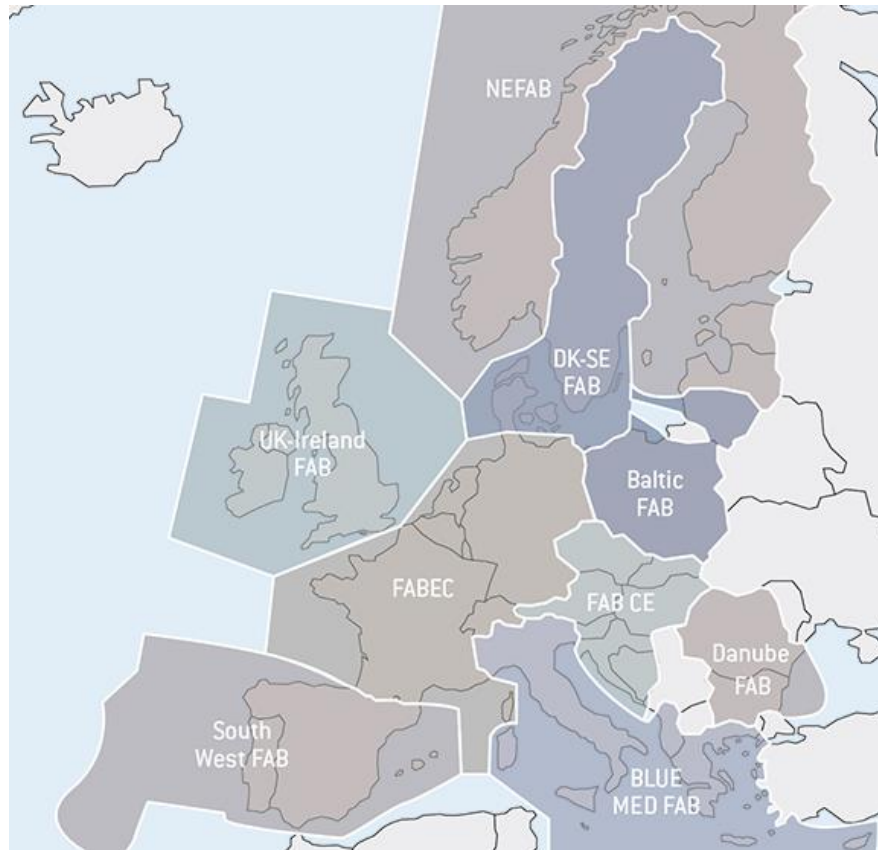
Na slici 3. je vidljivo da Republika Hrvatska spada pod sektor gdje je FRA implementiran, ali je ograničen visinski ili sezonski. U slučaju Hrvatske, ograničenje je visinsko. Trenutno je prostor slobodnih ruta na najvišoj razini; iznad FL325, pa sve do FL660 [15].



Slika 3: Implementacija FRA u Europi do kraja 2021. godine [12]

Na slici 4. možemo vidjeti, osim već spomenutog FAB CE (FAB Central Europe) i konfiguraciju svih FAB-ova na Europskom području. Tako još imamo i UK – Ireland FAB

(Ujedinjeno Kraljevstvo i Irska), North European FAB (Norveška, Finska, Latvija, Estonija), DK-SE FAB (Švedska i Danska), South West FAB (Španjolska i Portugal), FABEC (Francuska, Belgija, Nizozemska, Luxemburg, Njemačka, Švicarska), Baltic FAB (Poljska, Litva), BLUE MED FAB (Italija, Grčka, Malta, Cipar) i Danube FAB (Bugarska, Rumunjska). [16]



Slika 4: Prikaz FAB-ova na karti Europe [16]

## 4 PRU MODEL KOMPLEKSNOŠTI

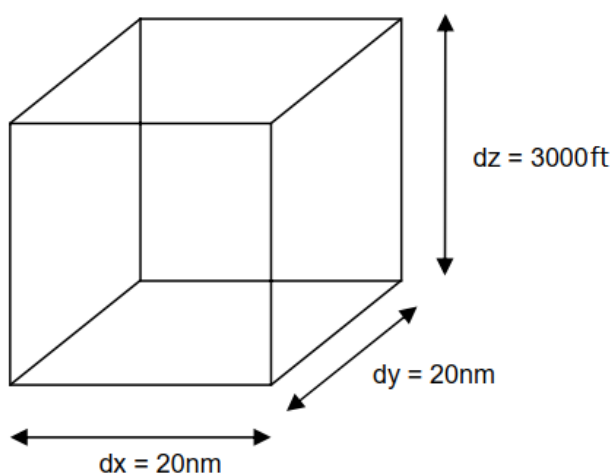
Indikatori kompleksnosti su odabrani kako bi najbolje reprezentirali glavne dimenzije kompleksnosti prometa. Postoje četiri definirane dimenzije kompleksnosti te svaku od njih prikazuje jedan indikator [17]. Dimenzije kompleksnosti i njihovi indikatori su prikazani u tablici.

Tablica 1: Dimenzije i indikatori kompleksnosti [17]

Dimenzija kompleksnosti	Indikator
Gustoća prometa	Prilagođena gustoća prometa
Promet u evoluciji	Potencijalne vertikalne interakcije (VDIF)
Struktura toka prometa	Potencijalne horizontalne interakcije (HDIF)
Pomješanost prometa	Potencijalne interakcije brzine (SDIF)

### 4.1 Dimenzije ćelija

Za potrebe određivanja kompleksnosti, cijelo područje Europske konferencije o civilnom zrakoplovstvu (engl. European Civil Aviation Conference - ECAC) je podijeljeno na identične ćelije. Bitno je osigurati da su sve ćelije istog volumena, a to se osiguralo korištenjem prikladne projekcije karte Zemlje - Albersove ekvivalentne konusne projekcije. Ćelije su širine i duljine ( $dx$ ,  $dy$ ) 20 NM, a visine ( $dz$ ) 3000 stopa. Ove dimenzije omogućuju makroskopski pregled kompleksnosti prometa, bez fokusiranja na prevelik volumen prostora [17]. Te dimenzije su prikazane na slici 5.

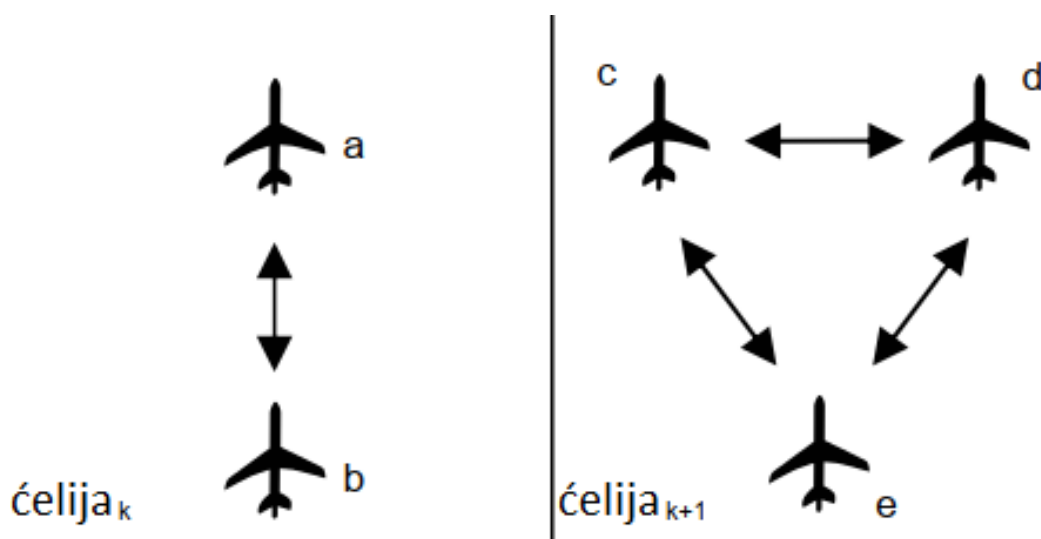


Slika 5: Dimenzije odabrane ćelije [17]

Na prostoru gdje jedna ćelija obuhvaća dva ili više ANSP-a, ona se alocira onom u čijem joj se lateralno i vertikalno nalazi središte. Nakon toga se mogu izračunati vrijednosti indikatora kompleksnosti za ANSP ili Centra oblasne kontrole (engl. Area control center – ACC). Podaci se za svaku ćeliju skupljaju u intervalima od 60 minuta. Za cjelodnevnu simulaciju to donosi 24 setova podataka. Kako bi se smanjio učinak koji imaju granice na sustav mreže, indikatori se računaju pomoću 12 različitih mreža. To se postiže pomicanjem mreže za određen pomak, u ovom slučaju 0 i 10NM u x ili y smjeru. Također se koristi i vertikalni pomak u iznosu od 1000 stopa, 3 puta. Ćelije su visoke 3000 stopa, te se smještaju u prostor između FL85 i FL415. Rezultati se računaju kao prosječan iznos svih 12 mreža za svaki indikator [17].

## 4.2 Interakcije

Interakcija je pojava koja se javlja zbog prisutnosti minimalno dva zrakoplova u jednoj ćeliji, koji su u različitim fazama leta, imaju različit kurs leta ili postoji razlika u brzinama. Za ovo istraživanje se interakcije gledaju iz perspektive samog zrakoplova. Na slici 6, ćelija<sub>k</sub> ima dvije interakcije (po jednu za svaki zrakoplov), ćelija<sub>k+1</sub> ima šest interakcija, koje nastaju jer svaki zrakoplov ima interakciju s preostala dva. Jedna interakcija nastaje između isključivo dva zrakoplova [17].



Slika 6: Prikaz interakcija [17]

Makroskopski pogled ovih podataka znači da su relevantni podaci oni potencijalnih, a ne stvarnih interakcija. Rezultati kompleksnosti bi trebali pokazati vjerojatnost interakcija u

određenom danu, a ne stvarni broj interakcija nastalih zbog tokova prometa. Ova metoda gleda samo duljinu vremena koju zrakoplov provede u ćeliji, ali ne i točno kada je on ušao ili izašao iz iste ćelije. To ostavlja mogućnost da je zrakoplov bio u ćeliji u bilo koje vrijeme tijekom sata za koji se gledaju podaci [17]. Formula za računanje očekivanog trajanja interakcije je:

$$T_i = T_a \times T_b, [h] \quad (1)$$

gdje je  $T_i$  duljina interakcije,  $T_a$  duljina vremena koju je zrakoplov A proveo u ćeliji, a  $T_b$  duljina vremena koju je zrakoplov B proveo u ćeliji.

Ako svaki zrakoplov u ćeliji  $k$  provede tri minute, to bi značilo da potencijalno vrijeme interakcije između zrakoplova A i B te B i A za ćeliju u jednom satu iznosi

$$2 \times \left( \frac{1}{20} \times \frac{1}{20} \right) = \frac{1}{200} \text{ ili } 0.005 \text{ sati}$$

Ako u ćeliji  $k+1$  svaki zrakoplov također provede tri minute, potencijalno bi vrijeme interakcije za tu ćeliju iznosilo

$$6 \times \left( \frac{1}{20} \times \frac{1}{20} \right) = \frac{3}{200} \text{ ili } 0.015 \text{ sati,}$$

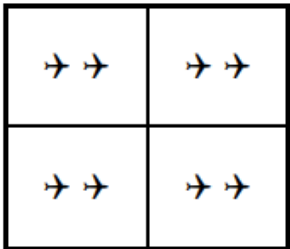

Izračuni se zatim provode za svaki par zrakoplova u istoj ćeliji te se vrijednost njihovog zbroja pridodaje odgovarajućem ANSP-u ili ACC-u kao broj sati potencijalnih interakcija [17].

#### 4.2.1 Prilagođena gustoća

Postoje dvije različite gustoće koje možemo gledati kod izvršenja ovog istraživanja: gustoća prometa i prilagođena gustoća prometa. Gustoća prometa se računa kao omjer broja zrakoplova i volumena prostora. Taj rezultat nije dovoljno specifičan, jer ne pokazuje je li taj promet ravnomjerno raspoređen kroz prostor ili vrijeme, ili je koncentriran u nekom posebno prometnom prostoru ili vremenu. Iz tog se razloga koristi prilagođena gustoća prometa, koja se računa kao omjer sati interakcija i sati leta zrakoplova [17].

$$\text{Prilagođena gustoća} = \frac{\text{sati interakcija}}{\text{sati leta}} \quad (2)$$

Rezultat gore navedene jednadžbe može prikazivati i broj interakcija po nekom specifičnom letu. Prilagođena gustoća se računa za neki ANSP ili ACC, stoga se prije računanja prvo zbrajaju svi sati interakcija i sati leta unutar ćelija koje pripadaju tom ANSP-u ili ACC-u. Rezultat nam govori koliko prosječno zrakoplova neki zrakoplov može očekivati u određenoj ćeliji. Ćelije koje u sebi nemaju letova ne doprinose izračunu, a one koje imaju samo jedan let pridonose satima leta ali ne i satima interakcije. Zbog toga se ova gustoća naziva prilagođenom, jer preko nje možemo vidjeti i raspoređenost prometa [17].

		
<b>Centar 1</b>	<b>Centar 2</b>	
$2+2+2+2=8$	Broj interakcija	$2+2=4$
$\text{Prilagođena gustoća} = \frac{\text{sati interakcija}}{\text{sati leta}}$		
Izračun ako svaki zrakoplov provede tri minute u ćeliji:		
$8 \times \frac{1}{400} = 0.02$	Sati interakcija	$4 \times \frac{1}{400} = 0.01$
$8 \times \frac{1}{20} = 0.4$	Sati leta	$4 \times \frac{1}{20} = 0.2$
$\frac{0.02}{0.4} = 0.05$	Prilagođena gustoća	$\frac{0.01}{0.2} = 0.05$

Slika 7: Prikaz izračuna interakcija [17]

Na slici 7. je vidljivo da centar 1. ima dvostruko više zrakoplova, te time i dvostruko veću gustoću, nego centar 2. Međutim, njihova prilagođena gustoća ima isti iznos. Iz toga je vidljivo da se prilagođena gustoća gleda iz perspektive jednog zrakoplova, jer je broj interakcija u jednoj ćeliji za svaki zrakoplov isti, bez obzira na stanje u drugim ćelijama.

#### 4.2.2 Potencijalne vertikalne interakcije

*Vertical different interacting flows* (VDIF) ili vertikalne interakcije su mjera za kompleksnosti koja se javlja zbog interakcije zrakoplova koji su u različitim fazama leta (spuštanje, penjanje, krstarenje). Računa se kao omjer ukupnih sati VDIF i sati leta. Ukupni sati VDIF se računaju množenjem broja vertikalnih interakcija ( $N_{VDIF}$ ) i očekivane duljine trajanja jedne vertikalne interakcije ( $h_{oč. VDIF}$ )

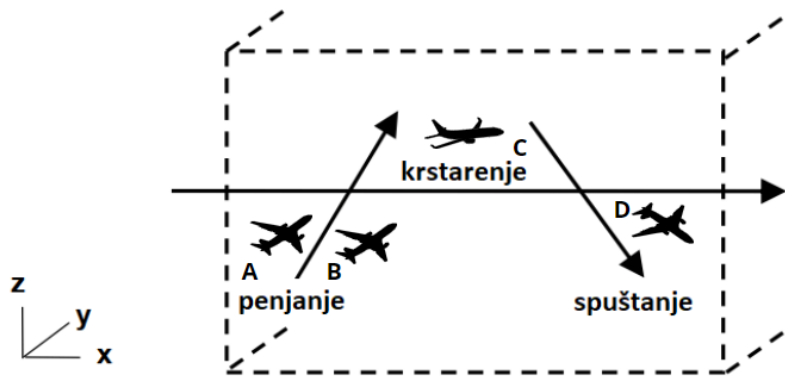
$$h_{VDIF} = N_{VDIF} \times h_{oč. VDIF} \quad (3)$$

$$VDIF = \frac{h_{VDIF}}{\text{sati leta}} \quad (4)$$

Zrakoplov je u interakciji s drugim zrakoplovom ako se nalaze u istoj ćeliji, ali su u drukčijim fazama leta. Faze leta se za svaki zrakoplov gledaju u onom trenutku kada on ulazi u prostor ćelije. Faze koje postoje su spuštanje, penjanje i krstarenje. Za zrakoplov se smatra da krstari ako mu je vertikalna brzina manja od 500 stopa u minuti [17].

Na slici 8. prikazane su VDIF. Moguće je da se ti zrakoplovi nisu našli u ćeliji u isto vrijeme, pa je slika 8 zapravo prikaz potencijalnih vertikalnih interakcija. U ćeliji se nalaze dva zrakoplova koja su u penjanju (A i B), jedan zrakoplov koji krstari (C) te jedan koji je u procesu spuštanja (D). Za zrakoplov A se smatra da nema interakcije sa zrakoplovom B, pošto su u istoj fazi leta. Stoga zrakoplov A ima dvije interakcije – zrakoplovi C i D. Zrakoplov B je isti kao i zrakoplov A. Zrakoplov C ima po jednu interakciju sa penjajućim zrakoplovima (sveukupno dvije – A i B) te jednu interakciju sa zrakoplovom D. Zrakoplov D također ima po jednu interakciju sa penjajućim zrakoplovima, te jednu sa zrakoplovom C koji krstari. Kada se sve to zbroji, sveukupan broj VDIF u ćeliji je 10.





$$\text{vertikalne interakcije} = (2 \times 2) + (1 \times 3) + (1 \times 3) = 10$$

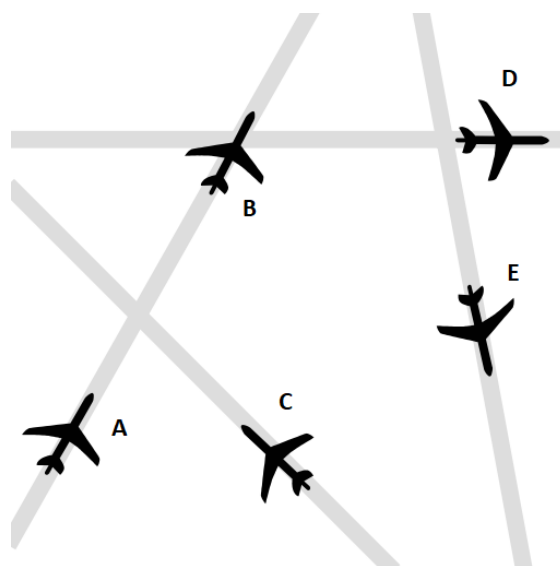
Slika 8: Broj VDIF [17]

#### 4.2.3 Potencijalne horizontalne interakcije

*Horizontal different interacting flow* (HDIF) ili horizontalne interakcije su mjera za kompleksnost koja se javlja zbog interakcije između zrakoplova koji imaju različite kurseve leta. Različiti kursevi su oni između kojih je razlika veća od  $20^\circ$ . Računa se kao omjer ukupnih sati HDIF i sati leta. Ukupni sati HDIF se računaju množenjem broja horizontalnih interakcija ( $N_{HDIF}$ ) i očekivanog trajanja jedne horizontalne interakcije ( $h_{o\check{c}. HDIF}$ ).

$$h_{HDIF} = N_{HDIF} \times h_{o\check{c}. HDIF} \quad (5)$$

$$HDIF = \frac{h_{HDIF}}{\text{sati leta}} \quad (6)$$



Slika 9: Broj HDIF [17]

Na slici 9. su nam vidljiva pet zrakoplova. Zrakoplovi A i B imaju isti kurs leta, te između njih ne postoji horizontalna interakcija. Osim ta dva, svaki zrakoplov ima po jednu interakciju

sa svakim drugim zrakoplovom. Kada bi sve te interakcije zbrojili, dobili bi ukupan iznos od 18 interakcija [17].

#### 4.2.4 Potencijalne interakcije brzine

*Speed different interacting flows* (SDIF) ili interakcije brzine su mjera za kompleksnost koja se javlja zbog razlike u brzini dva zrakoplova. Dva zrakoplova imaju različitu brzinu ako je razlika veća od 35 čvorova. Brzina zrakoplova koja se uzima kao mjerodavna je ona po Bazi podataka o zrakoplovima (engl. Base of Aircraft Data - BADA) tablici za određen zrakoplov na visini FL koji je u središtu ćelije. SDIF se računa kao omjer ukupnih sati SDIF i sata leta [17].

$$SDIF = \frac{\text{Sati interakcije brzine}}{\text{Sati leta}} \quad (7)$$

### 4.3 Rezultat kompleksnosti

Rezultat kompleksnosti možemo prikazati kao jedan iznos koji obuhvaća sve indikatore, no zbog boljeg razumijevanja rezultata koristi se i individualni prikaz vrijednosti svakog indikatora. Postoje dva aspekta koja utječu na rezultat: volumen prometa, koji prikazuje prilagođena gustoća, i struktura tokova leta, koji prikazuju DIF indikatori. Dva ANSP-a mogu imati sličan ukupan rezultat kompleksnosti, no unutar njega imati potpuno različit udio volumena prometa i strukture tokova leta.

Za uklanjanje korelacije između DIF indikatora i prilagođene gustoće koja se javlja jer su sami indikatori zapravo dio prilagođene gustoće, koriste se relativni indikatori. Oni se označavaju kao  $r\_VDIF$ ,  $r\_HDIF$  i  $r\_SDIF$ , a računaju se dijeljenjem indikatora ANSP-a s njegovom relativnom gustoćom.

Strukturalni indeks nam pomaže da odvojimo DIF indikatore i relativnu gustoću, koji su u protivnom povezani korelacijom. Za izračun indeksa koristimo zbrajanje relativnih indikatora kompleksnosti prometa:

$$\text{Strukturalni indeks} = r\_VDIF + r\_HDIF + r\_SDIF \quad (8)$$

Međutim, kako i strukturalni indeks i prilagođena gustoća oboje utječu na rezultat kompleksnosti, bitno ih je uključiti u formulu za proračun kompleksnosti:

$$\textit{Rezultat kompleksnosti} = \textit{strukturalni indeks} \times \textit{relativna gustoća} \quad (9)$$

Razmatrana je i opcija korištenja težinskih indikatora koji bi prikazivali koliko je koji indikator važan za cjelokupni rezultat, no težinski indikator za jednu vrstu zračnog prostora ne bi bili relevantni za neku drugu vrstu. Nadalje, napravljena je i nekolicina izračuna s težinskim indikatorima te su dobiveni rezultati koji su vrlo slični onima bez korištenja težinskih indikatora. Također se mogla koristiti i metoda normalizacije indikatora, no ona ne bi funkcionirala jer ne bi bilo moguće usporediti rezultate koji pripadaju različitim godinama [17].

## 5. PROMET PRIJE I NAKON IMPLEMENTACIJE FRA

Hrvatski pružatelj usluga zračne navigacije – Crocontrol (Hrvatska kontrola zračne plovidbe - HKZP) je od 2016. godine sudionik u projektu preko kojeg bi se implementirao FRA na jugoistočnoj prometnoj osi (SEAFRA – South-East Axis Free Route Airspace). Na početku projekta je prostor slobodnih ruta, bez koridora bio dostupan samo u noćnim satima. Od 08. prosinca 2016. godine je uspostavljen FRA tijekom cijelog dana, odnosno takva se usluga vrši 24 sata dnevno. Prostor bez ruta se nalazi na visini iznad 9900 metara. Preko projekta SEAFRA, u koji su još uključeni i pružatelji usluga iz Srbije, Crne Gore i Bosne i Hercegovine, očekuje se ukupno dnevno skraćanje ruta za 2880 nautičkih milja, odnosno više od 5300 kilometara. Projekt je po rasporedu trebao biti uspostavljen do početka 2022. godine, a stvarna implementacija se dogodila 5 godina ranije [3].

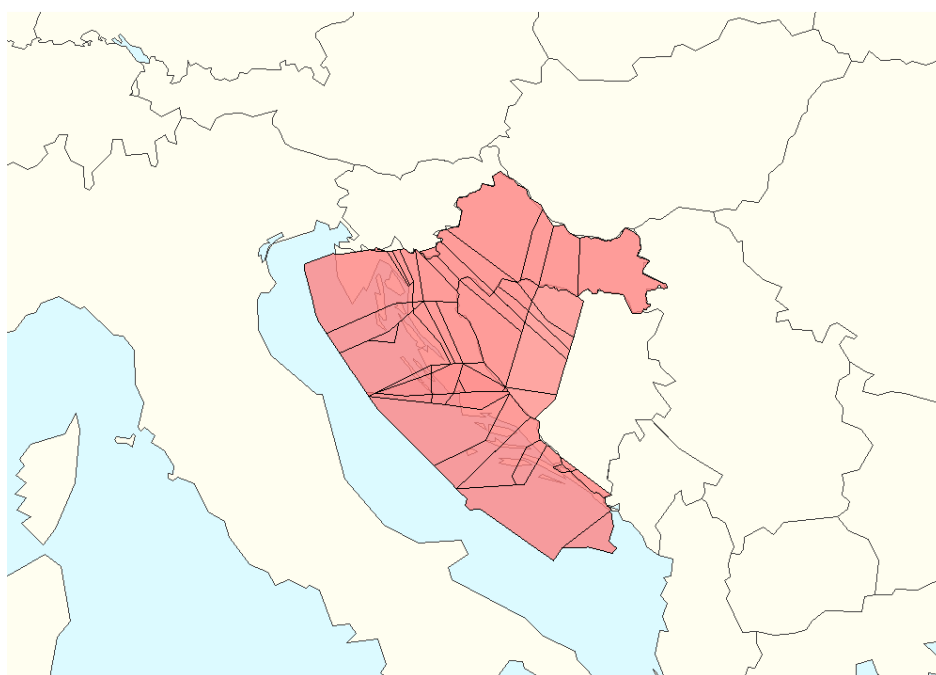
U ožujku iduće godine je projekt SEAFRA spojen s projektom Slovenko – Austrijski prekogranični prostor slobodnih ruta (engl. Slovenian Austrian Cross Border Free Route Airspace – SAXFRA). Tim je spajanjem nastala Jugoistočna inicijativa za prostor slobodnih ruta (engl. South East Common Sky Initiative Free Route Airspace - SECSI FRA), te je Republika Hrvatska dobila dodatnu susjednu državu s kojom ima prekograničan prostor slobodnih ruta [18].

Kako bi se izvršila analiza prometa prije i nakon implementacije FRA na području Republike Hrvatske, u programu NEST su izvučeni podaci za kolovoz 2016. godine, odnosno 3 mjeseca prije uspostave FRA, i podaci za kolovoz 2019. godine, nakon što je prošlo više od dvije i pol godine od uspostave projekta SEAFRA. Kolovoz je, kao mjesec usred ljeta, za zračni prostor Hrvatske uglavnom vrlo prometan. Turistička sezona osigurava da je on svake godine jedan od najprometnijih mjeseca, te ako se gledaju tjedni u godini, najprometniji tjedan se obično nalazi u kolovozu. Kolovoz je zato odabran kako bi se izvuklo što više podataka i kako bi broj uzoraka bio što veći.

Program NEST (od Network Strategic Tool) razvio je EUROCONTROL za potrebe planiranja kapaciteta i dizajna zračnog prostora Europe. Rad u NEST-u temelji se na izradi scenarija, te korištenju već postojećih stvarnih podataka o prometu. Neke od mogućnosti programa su simulacija budućih tokova prometa, izrada 4D trajektorija letova, optimizacija konfiguracije zračnog prostora, simulacija kašnjenja i druge [19].

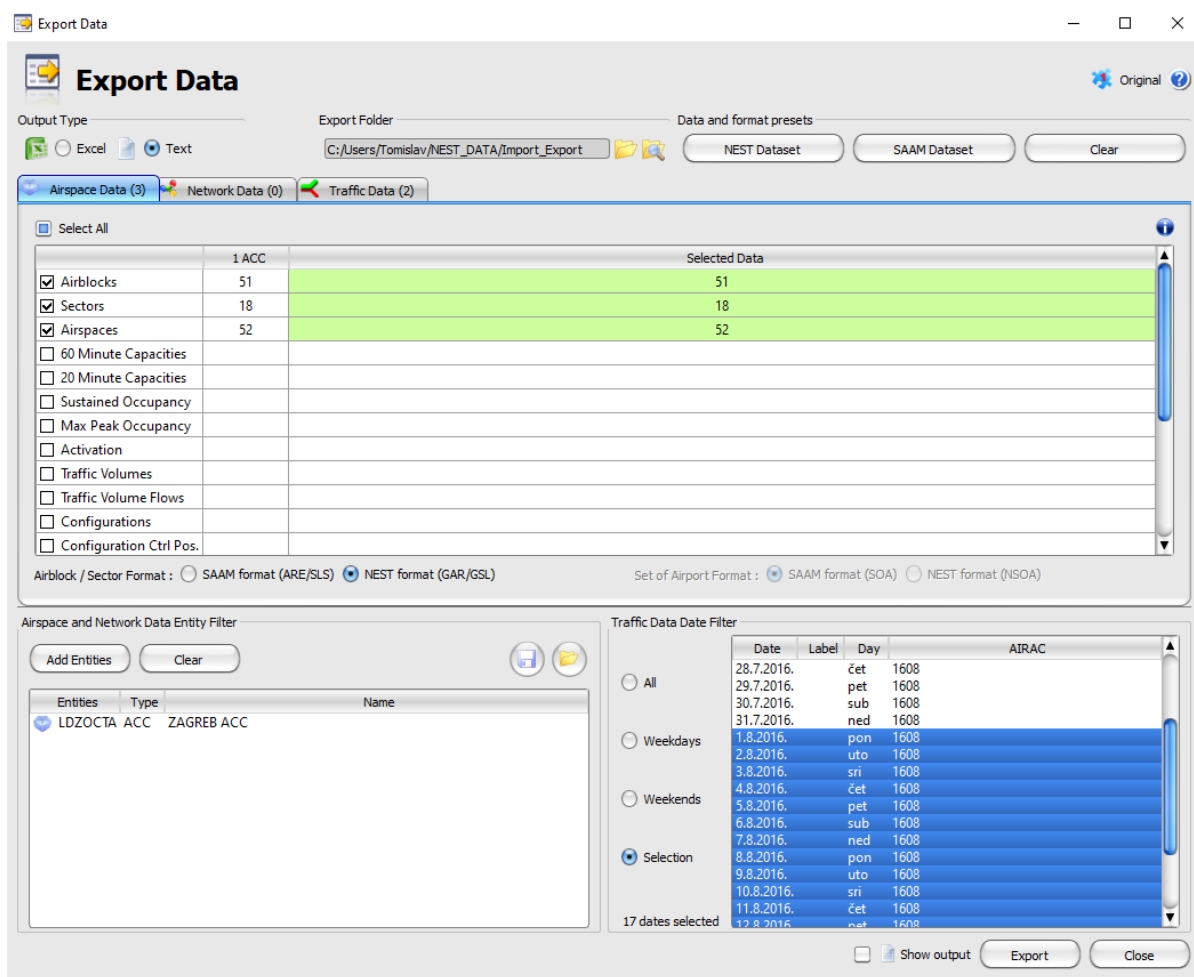
## 5.1 Postupak generiranja podataka

Za analizu podataka koristio se EUROCONTROL-ov program NEST, koji pristupa podacima o zračnom prometu preko AIRAC ciklusa. Za kolovoz 2016. godine korišteni su ciklusi po Standardnom postupku objavljivanja i slanja zrakoplovnih informacija u unaprijed dogovorenim datumima (engl. Aeronautical information regulation and control system – AIRAC) A1608\_415 i 1609\_416. Na slici 10 prikazan je prostor za koji se analizirao promet, a to je LDZOCTA ACC.



Slika 10: Prikaz zračnog prostora LDZOCTA [20]

Kod procesa analize PRU, indikatora je stoga potrebno prvo učitati ispravan AIRAC dokument. Za prvi dio kolovoza 2016., od datuma 01. do datuma 17. 08., koristi se dokument 1608\_415, a za ostatak mjeseca se koristi 1609\_416. Prvi korak koji je potrebno napraviti je izvesti podatke iz NEST-a u oblik datoteke koji nam je pogodan za korištenje kod analize podataka. To se radi putem odabira padajućeg izbornika *File*, te odabira na gumb *Export data*. Tada se u programu otvara prozor koji je prikazan na slici 11.



Slika 11: Export data prozor u programu NEST [20]

U ovom prozoru je bitno da se kao vrsta izlaznog formata (*Output type*) odabere oznaka Tekst, te je tu moguće odabrati lokaciju na računalu za pohranu podataka.

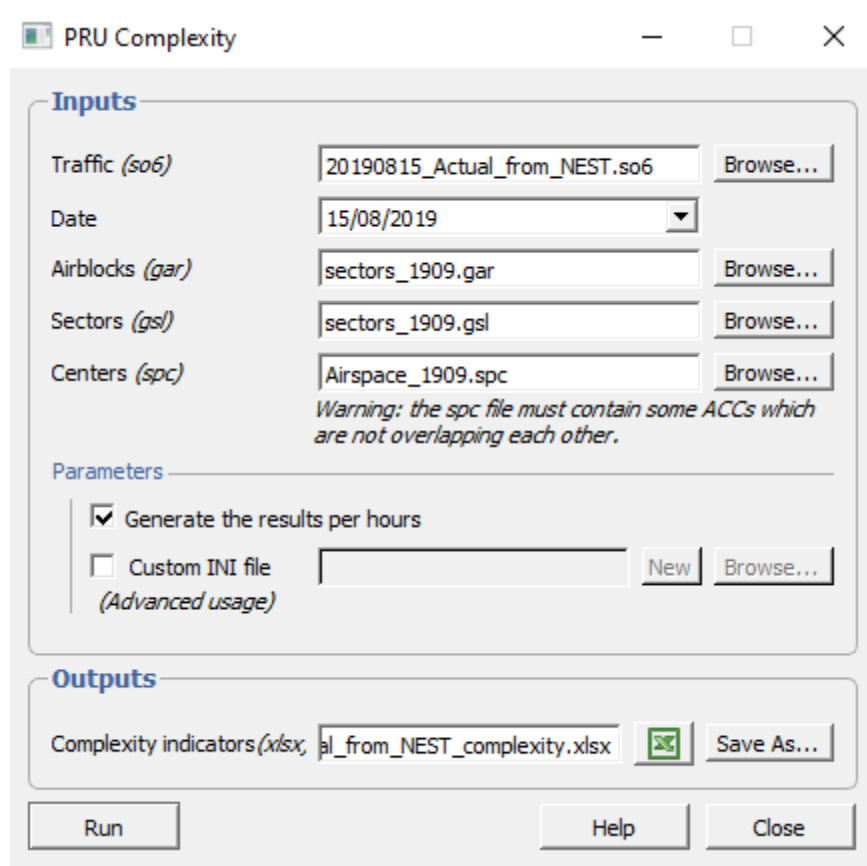
Pod karticom Podaci o zračnom prostoru (*Airspace Data*) se zatim odaberu sve vrste podataka koji su nam potrebni. U ovom su slučaju to Blok zračnog prostora, Sektori i Zračni prostori (*Airblocks, Sectors, Airspaces*). Kod odabira formata podataka, označuje se NEST format, kako bi se te datoteke spremile u .gar i .gsl formatu, koji se kasnije koriste za PRU indikatore. Pod odabirom entiteta, bitno je da označimo prostor LDZOCTA, kako bi dobili podatke koji su relevantni. Zadnje je ostalo odabrati datume za koje želimo da NEST izvede podatke.

Kartica Podaci o prometu (*Traffic data*) izgleda slično kartici *Airspace data*, ali tu se označuju izlazni podaci o prometu. Kvačicom se odaberu opcije trajektorije i presjek (*Trajectories, Intersections*), a kao format se odabire SO6/T5 vrsta. Također, tu je od iznimne važnosti odabrati vrstu prometa kao stvarnu (*Actual*), kako bi dobili podatke o stvarnom, a ne

predviđenom prometu za svaki odabrani dan. S desne strane izbornika nam se, kao i kod prijašnje kartice, pokazuje broj odabranih podataka.

Klikom na *Export* nam se svi ti podaci započnu učitavati na odabranu lokaciju na računalu kao odabrani format datoteke.

Kada dobijemo tražene podatke, tada odabiremo padajući izbornik Analiza (*Analysis*), te odaberemo opciju PRU kompleksnost (*PRU complexity*). Odgovor programa je otvaranje prozora prikazanog na slici 12.



Slika 12: Prozor PRU Complexity [20]

Prozor je podijeljen na dva dijela: Ulazi (*Inputs*) i Izlazi (*Outputs*). U prvom dijelu, *Inputs* prvi podatak koji se traži je datoteka Prometa (*Traffic*). Ona mora biti u .so6 formatu, koji smo izveli na prošlom prozoru. Zatim odabiremo datum koji analiziramo. NEST nema opciju vađenja podataka za više dana ili cijeli mjesec odjednom, stoga se za svaki datum ovaj postupak radi iznova. Nakon što odaberemo datum, odabiremo datoteke *Airblocks*, *Sectors* i *Centers*. One su u prethodno izvedenim .gar, .gsl i .spc formatima. Pošto bi analiza PRU

indikatora trebala biti što detaljnija, odabiremo parametar koji označava generiranje podataka za svaki sat posebno (*Generate the results per hours*). Opciju da se odabere određena INI datoteka ostavljamo neoznačenu, što vodi do toga da se klikom na gumb *Run* stvara nova datoteka s odabranim parametrima. Na kraju, kod dijela *Outputs*, bismo lokaciju i ime Excel datoteka koja će se generirati. Generacija se pokreće pritiskom na gumb Pokreni (*Run*).

Ovaj algoritam radi najtočnije ako se odabere zračni prostor veličine centra oblasne kontrole. Također, kalkulacije se vrše na mreži koja pokriva Europski prostor od FL85 do FL415. To nam govori da se promet koji leti niže od te donje granice ne uzima u obzir, ali nam za ovu analizu taj promet ni nije relevantan jer je FRA u Republici Hrvatskoj uspostavljen tek iznad 9500 metara visine.

## 5.2 Rezultati programa

Rezultati se generiraju u Excel tablici s dvije kartice. Na prvoj kartici se stvara tablica s rezultatima koji su rascjepkani u 24 sata za svaki dan, te je za svaki flight level posebno generiran svaki sat. Takva tablica je prikazana na slici 13.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	UNIT_CODE	TIME	FL	FT	FD	DH	TX	TXH	TXV	TXS	N	NCELL
2												
3	LDZOCTA	0:00:00	210	0,10	40,40	120,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6	0
4	LDZOCTA	0:00:00	220	0,13	51,96	130,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6	0
5	LDZOCTA	0:00:00	230	0,13	49,76	120,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6	0
6	LDZOCTA	0:00:00	240	0,13	53,18	122,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6	0
7	LDZOCTA	0:00:00	250	0,14	56,98	123,66	0,00	0,00	0,00	0,00	7	0
8	LDZOCTA	0:00:00	260	0,16	64,28	132,32	0,00	0,00	0,00	0,00	7	0
9	LDZOCTA	0:00:00	270	0,17	71,04	132,32	0,00	0,00	0,00	0,00	9	0
10	LDZOCTA	0:00:00	280	0,23	100,55	168,76	0,00	0,00	0,00	0,00	10	0
11	LDZOCTA	0:00:00	290	0,27	121,55	190,44	0,00	0,00	0,00	0,00	9	0
12	LDZOCTA	0:00:00	300	0,21	91,40	143,26	0,00	0,00	0,00	0,00	9	0
13	LDZOCTA	0:00:00	310	0,87	394,77	150,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30	2
14	LDZOCTA	0:00:00	320	2,65	1280,97	150,00	0,03	0,02	0,00	0,00	92	5
15	LDZOCTA	0:00:00	330	6,05	2878,05	221,85	0,06	0,05	0,00	0,00	202	13
16	LDZOCTA	0:00:00	340	9,67	4670,05	320,99	0,37	0,22	0,06	0,00	308	14
17	LDZOCTA	0:00:00	350	13,94	6525,26	385,20	0,70	0,42	0,11	0,00	434	18
18	LDZOCTA	0:00:00	360	18,81	8869,04	283,29	1,21	0,96	0,16	0,00	596	22
19	LDZOCTA	0:00:00	370	14,19	6611,48	140,63	0,56	0,51	0,06	0,00	451	20
20	LDZOCTA	0:00:00	380	9,34	4498,41	40,00	0,17	0,16	0,01	0,00	305	18
21	LDZOCTA	0:00:00	390	1,83	916,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62	5
22	LDZOCTA	0:00:00	400	1,76	888,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59	4
23	LDZOCTA	1:00:00	300	0,50	222,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16	1
24	LDZOCTA	1:00:00	310	0,51	228,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17	1
25	LDZOCTA	1:00:00	320	2,91	1379,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99	8
26	LDZOCTA	1:00:00	330	4,22	1962,35	20,00	0,01	0,00	0,00	0,00	143	11
27	LDZOCTA	1:00:00	340	11,51	5342,66	59,68	0,27	0,18	0,00	0,03	365	20
28	LDZOCTA	1:00:00	350	18,58	8631,35	99,68	1,23	0,92	0,00	0,09	584	24
29	LDZOCTA	1:00:00	360	18,56	8693,48	94,79	1,16	0,84	0,02	0,05	593	24
30	LDZOCTA	1:00:00	370	14,91	6921,67	137,73	0,84	0,30	0,04	0,08	471	19

Slika 13: Prikaz tablice sa rezultatima



Druga kartica Excel datoteke prikazuje pojašnjenje podataka. Indikatori za svaki stupac su sljedeći:

- Kod jedinice (*Unit code*) – Identifikacija ACC-a
- Vrijeme (*Time*) – Vrijeme u danu
- FL (*Flight level*) – Razina leta
- FT (*Flight hours*) – Trajanje letova
- FD (*Flight distance in the cell*) – Duljina letova u ćeliji
- DH (*Vertical distance in the cell*) – Vertikalna duljina letova u ćeliji
- TX (*Hours of interactions*) – Sati interakcija u ćeliji
- TXH (*Hours of horizontal interactions*) – Sati horizontalnih interakcija u ćeliji
- TXV (*Hours of vertical interactions*) – Sati interakcija brzine u ćeliji
- N (*Number of flights collected*) – Broj analiziranih letova
- NCELL – Ukupan broj aktivnih ćelija podijeljenih sa ukupnim brojem pomaknutih ćelija

Sam program ne izdaje rezultate PRU indikatora kompleksnosti. Oni se računaju iz dobivenih podataka već spomenutim formulama u poglavlju 3. ovog rada. Konačne formule za dobivanje podatak su sljedeće:

$$\text{Prilagođena gustoća} = \text{suma(TX)} / \text{suma(FT)}$$

$$\text{VDIF} = \text{suma(TXV)} / \text{suma(TX)}$$

$$\text{HDIF} = \text{suma(TXH)} / \text{suma(TX)}$$

$$\text{SDIF} = \text{suma(TXS)} / \text{suma(TX)}$$

$$\text{Strukturalni indeks} = \text{suma(TXV + TXH + TXS)} / \text{suma(TX)}$$

$$\text{Kompleksnost} = \text{suma(TXV + TXH + TXS)} / \text{suma(FT)}$$

Službeni PRU rezultati kompleksnosti su izraženi u minutama interakcije po satu leta kompleksnosti. PRU rezultati kompleksnosti računati po ovim formulama su izraženi u satima interakcije po satu leta kompleksnosti, stoga je važno kao zadnji izračun pomnožiti rezultate sa 60, kako bi se rezultati podudarali sa onim službenim [21].

## 6. ANALIZA REZULTATA

U ovom poglavlju će se odraditi analiza podataka koji su dobiveni iz programa NEST. U obzir će se uzeti rezultati kompleksnosti, te će biti gledani i u odnosu sa količinom prometa. Konačni PRU indikatori će biti izračunati za svaki mjesec posebno te na kraju uspoređeni, kako bi se najjasnije vidio odnos između prometa prije i prometa nakon implementacije FRA. Pretpostavka je da je zbog strukture zračnog prostora prije i nakon implementacije, promet kompleksniji prije implementacije. Također, ovakvim izračunom u obzir ulaze isključivo potencijalne interakcije kojih bi trebalo biti manje pošto zrakoplovi ne konvergiraju na istim koridorima, a ne gleda se subjektivno mišljenje kontrolora zračnog prometa.

### 6.1 Rezultati kolovoza 2016. godine

U tablicama 2. i 3. se za svaki dan nalaze po konačnim formulama izračunati parametri prilagođene gustoće, VDIF, HDIF, SDIF, strukturalni indeks te kompleksnost.

Tablica 2: Parametri za kolovoz 2016. godine

Datum	Pril. Gustoća	HDIF	VDIF	SDIF	Str. Indeks	Kompleksnost
1.kol	0,166107245	0,60848	0,09277	0,05518	0,75643255	0,125648926
2.kol	0,180040631	0,56328	0,07727	0,0333	0,67385265	0,121320856
3.kol	0,174195804	0,5628	0,08328	0,04435	0,69043019	0,120270041
4.kol	0,15156278	0,58501	0,09118	0,04245	0,71863941	0,108918987
5.kol	0,16841712	0,60242	0,09561	0,05208	0,75011484	0,126332181
6.kol	0,180280496	0,60669	0,11562	0,04446	0,76677063	0,138233789
7.kol	0,186516207	0,59291	0,09469	0,0424	0,73000038	0,136156902
8.kol	0,166999171	0,57652	0,08473	0,05123	0,7124805	0,118983654
9.kol	0,176980438	0,57317	0,08037	0,0266	0,68014212	0,12037185
10.kol	0,181638467	0,5868	0,10044	0,05099	0,73822606	0,134090249
11.kol	0,168249998	0,56109	0,09833	0,04724	0,70666713	0,118896743
12.kol	0,17660677	0,57539	0,08483	0,05723	0,71745733	0,126707821
13.kol	0,20251628	0,57935	0,0964	0,03885	0,7145923	0,144716575
14.kol	0,20085061	0,58865	0,08302	0,05394	0,72561085	0,145739382
15.kol	0,170289851	0,58432	0,07833	0,04364	0,70629599	0,120275039
16.kol	0,176427997	0,57905	0,07634	0,0353	0,69069403	0,121857764

Tablica 3: Nastavak parametara i prosječan rezultat svakog stupca.

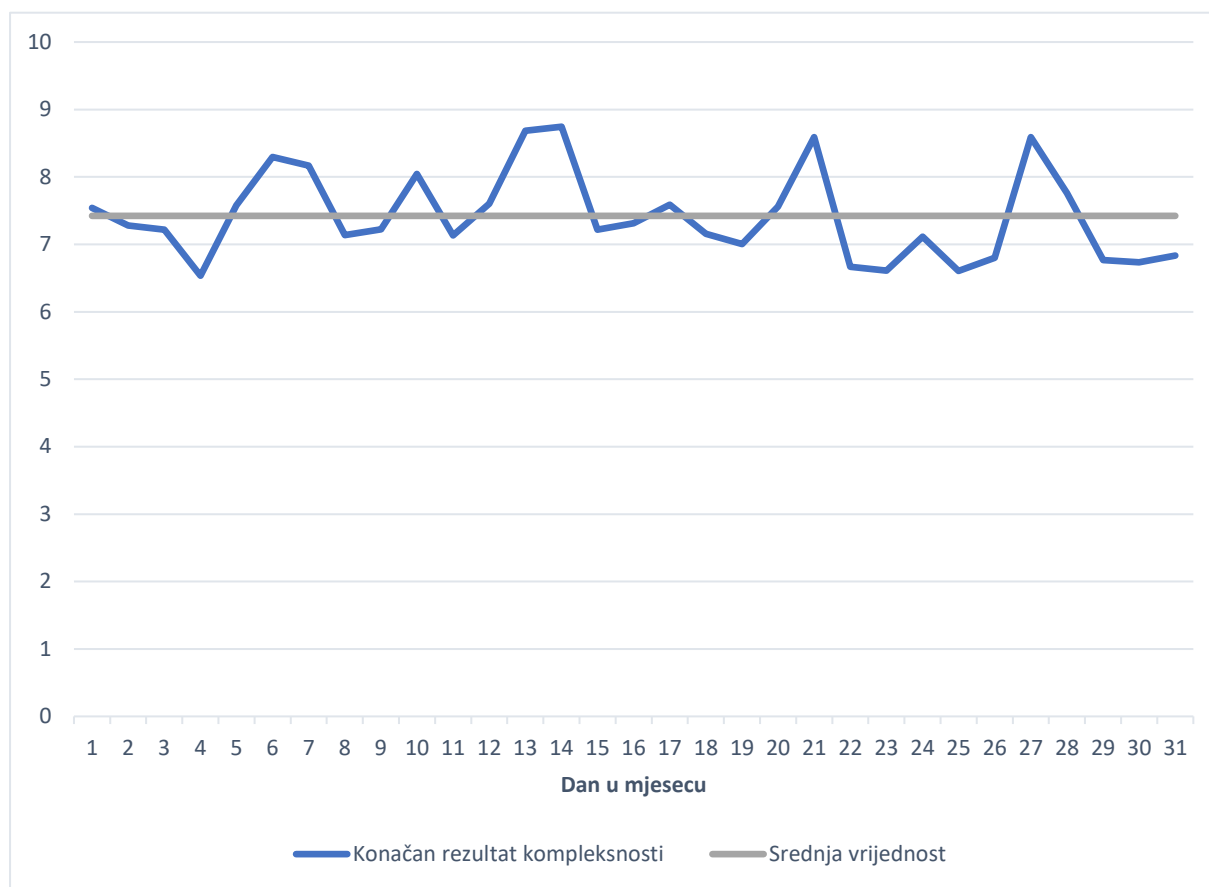
Datum	Pril. Gustoća	HDIF	VDIF	SDIF	Str. Indeks	Kompleksnost
17.kol	0,17172064	0,59566	0,09024	0,05049	0,73639008	0,126453375
18.kol	0,164444157	0,57186	0,0946	0,05901	0,7254635	0,119298233
19.kol	0,159994942	0,59595	0,09093	0,04277	0,72966104	0,116742075
20.kol	0,174277211	0,58046	0,09936	0,04334	0,72316045	0,126030387
21.kol	0,188391437	0,60834	0,09458	0,05689	0,75981228	0,143142127
22.kol	0,159807322	0,56575	0,08611	0,04327	0,6951311	0,111087039
23.kol	0,165112353	0,55581	0,08058	0,03074	0,66712991	0,11015139
24.kol	0,170599585	0,55893	0,09175	0,04419	0,69485909	0,118542673
25.kol	0,153341146	0,55608	0,09749	0,06434	0,71790511	0,110084392
26.kol	0,163670521	0,55763	0,07688	0,05807	0,69256738	0,113352864
27.kol	0,196028387	0,59098	0,08887	0,05049	0,73034673	0,143168691
28.kol	0,184086485	0,56846	0,08537	0,04882	0,70265419	0,129349139
29.kol	0,159431461	0,57491	0,0823	0,05005	0,70725596	0,112758851
30.kol	0,166100918	0,55364	0,07513	0,04711	0,67587289	0,112263107
31.kol	0,165367035	0,55547	0,08838	0,04487	0,68872133	0,113891804
Prosjek	0,173227531	0,57793	0,0889	0,04689	0,71372058	0,123704416

U ovim parametrima još uvijek nije izračunat konačan rezultat kompleksnosti, koji se dobije množenjem rezultata kompleksnosti sa 60. Kada se napravi taj izračun, nastaju sljedeći podaci:

Tablica 4: Iznosi kompleksnosti za kolovoz 2016.

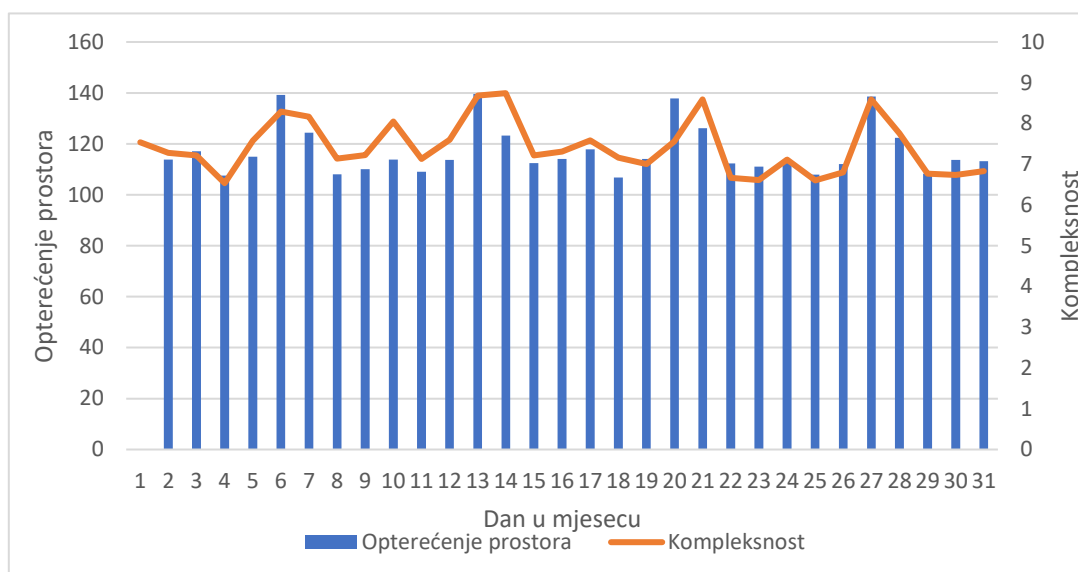
<b>01.08</b>	7,538936	<b>09.08</b>	7,222311	<b>17.08</b>	7,587202497	<b>25.08</b>	6,605063
<b>02.08</b>	7,279251369	<b>10.08</b>	8,045415	<b>18.08</b>	7,157893981	<b>26.08</b>	6,801172
<b>03.08</b>	7,216202	<b>11.08</b>	7,133805	<b>19.08</b>	7,004525	<b>27.08</b>	8,590121
<b>04.08</b>	6,535139	<b>12.08</b>	7,602469	<b>20.08</b>	7,561823	<b>28.08</b>	7,760948
<b>05.08</b>	7,579931	<b>13.08</b>	8,682994514	<b>21.08</b>	8,588528	<b>29.08</b>	6,765531
<b>06.08</b>	8,294027367	<b>14.08</b>	8,744363	<b>22.08</b>	6,665222	<b>30.08</b>	6,735786
<b>07.08</b>	8,169414095	<b>15.08</b>	7,216502	<b>23.08</b>	6,609083	<b>31.08</b>	6,833508
<b>08.08</b>	7,139019	<b>16.08</b>	7,311466	<b>24.08</b>	7,11256	<b>PROSJEK</b>	7,422265

Grafički prikaz tablice sa konačnim rezultatima kompleksnosti vidljiv je na slici 14.



Slika 14: Prikaz kompleksnosti prometa za kolovoz 2016

Ovaj grafički prikaz pokazuje da se svi rezultati nalaze u rasponu od 6,50 do 8,75. Najveća odstupanja od prosjeka se događaju na datume koji označavaju vikend. To su datumi 06., 07., 13., 14., 20., 21., 27. i 28. kolovoz. Tada prosječno odstupanje od srednje vrijednosti iznosi +0,87676. Srednja vrijednost iznosi 7,422265. Kada se u programu NEST, pod funkcijom Dnevni izračun zauzetosti (*Daily occupancy count*) izvuku podaci za svaki dan posebno, srednja vrijednost zauzetosti iznosi 117,1667.



Slika 15: Količina prometa i kompleksnost za kolovoz 2016.

Na slici 15. prikazan je graf koji uspoređuje iznos kompleksnosti sa količinom prometa za svaki dan u kolovozu 2016. Vidljivo je da su ta dva podatka usko povezana i da je kompleksnost veća na dane kada je u prostoru više zrakoplova.

## 6.2 Rezultati kolovoza 2019.

Obrada podataka se izvršava po istom postupku kao i za 2016. godinu. U tablicama 5. i 6. su prikazane vrijednosti izračunatih PRU indikatora kompleksnosti.

Tablica 5: Parametri za kolovoz 2019. godine

Datum	Pril. Gustoća	HDIF	VDIF	SDIF	Str. Indeks	Kompleksnost
1.kol	0,181760678	0,67056	0,1036	0,04181	0,8159645	0,148310265
2.kol	0,188961205	0,6833	0,10765	0,05086	0,8417984	0,159067245
3.kol	0,201571473	0,65809	0,10632	0,05624	0,8206484	0,165419314
4.kol	0,193475086	0,65684	0,10118	0,0477	0,8057169	0,155886144
5.kol	0,187910794	0,63589	0,09759	0,04581	0,779287	0,146436438
6.kol	0,188572218	0,6527	0,09417	0,02996	0,7768305	0,146488652
7.kol	0,190968371	0,65916	0,09537	0,03636	0,7908951	0,151035944
8.kol	0,186291449	0,66567	0,10619	0,03836	0,8102182	0,150936718
9.kol	0,19156682	0,65306	0,09585	0,03574	0,7846426	0,15031149
10.kol	0,205077368	0,66351	0,10185	0,04237	0,8077276	0,165646647
11.kol	0,194539381	0,64791	0,09273	0,04164	0,782281	0,152184461
12.kol	0,17811159	0,66198	0,08915	0,04221	0,7933373	0,141302567
13.kol	0,192375513	0,64061	0,09311	0,02731	0,7610406	0,146405567
14.kol	0,186800497	0,65623	0,09832	0,03366	0,7882143	0,147238823
15.kol	0,181922185	0,6585	0,09318	0,05529	0,8069797	0,146807508
16.kol	0,185125311	0,66002	0,08941	0,05146	0,8008916	0,148265309

Tablica 6.: Nastavak parametara za kolovoz 2019. godine

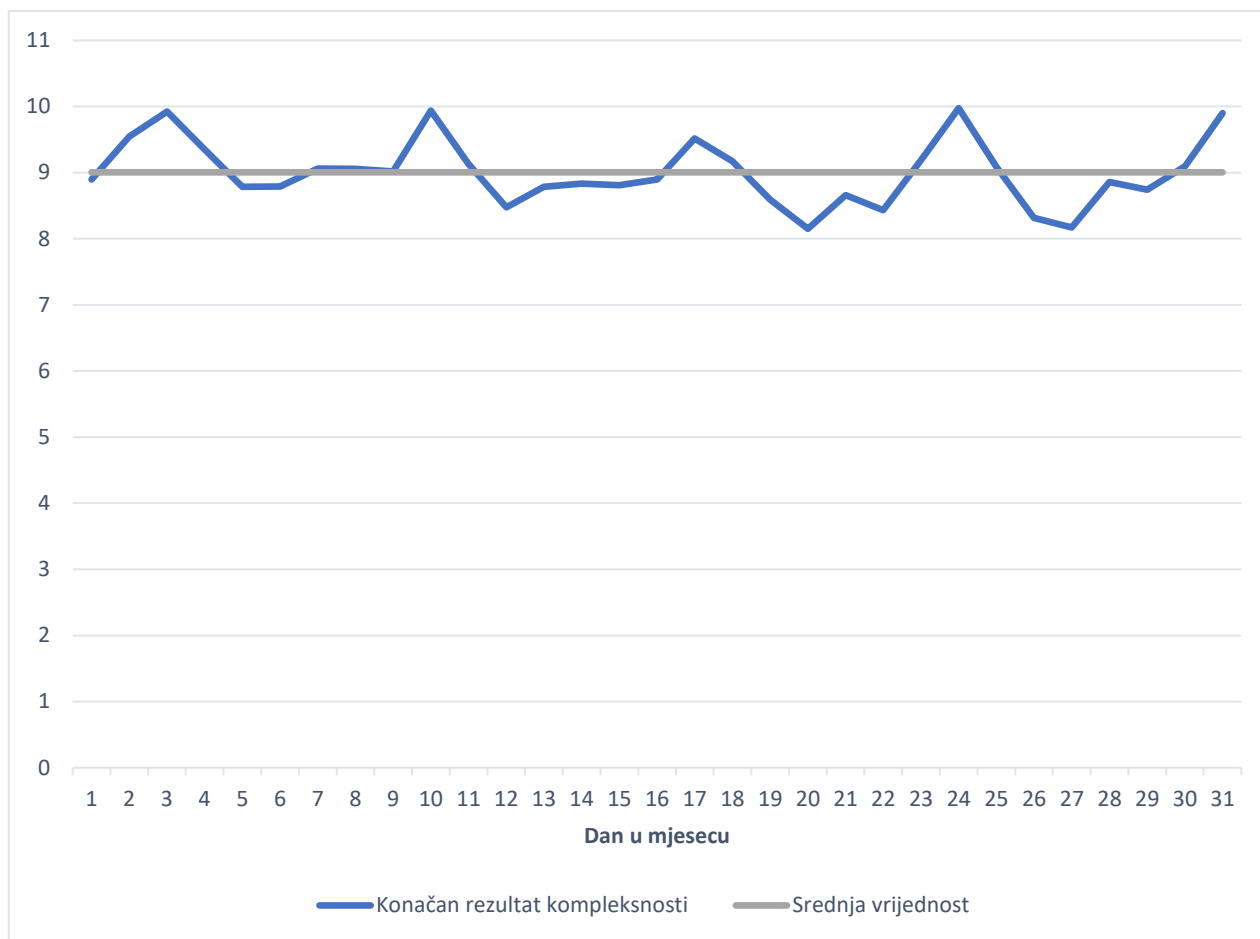
Datum	Pril. Gustoća	HDIF	VDIF	SDIF	Str. Indeks	Kompleksnost
17.kol	0,19828695	0,6529278	0,10383	0,04329	0,8000489	0,158639256
18.kol	0,19224566	0,6533071	0,09566	0,04647	0,7954398	0,152919845
19.kol	0,1847607	0,6483773	0,09171	0,03489	0,7749792	0,143185706
20.kol	0,17624993	0,6359772	0,09077	0,04408	0,7708327	0,135859208
21.kol	0,18730981	0,6410197	0,08726	0,04217	0,7704532	0,14431344
22.kol	0,18179317	0,6408676	0,0929	0,03933	0,7731012	0,140544522
23.kol	0,18990356	0,6674727	0,09881	0,04023	0,806508	0,153158741
24.kol	0,20320167	0,6735004	0,1073	0,0374	0,8181975	0,16625911
25.kol	0,18151504	0,6759616	0,10844	0,0498	0,8342019	0,151420189
26.kol	0,16916753	0,66777	0,10184	0,04954	0,8191467	0,138573014
27.kol	0,17176908	0,6536313	0,094	0,04516	0,7927833	0,136175659
28.kol	0,18710519	0,6477642	0,09414	0,04737	0,7892813	0,147678638
29.kol	0,18142008	0,6592505	0,09655	0,04753	0,8033282	0,145739855
30.kol	0,18912435	0,6643041	0,09442	0,04289	0,8016167	0,151605234
31.kol	0,2019026	0,6722238	0,09813	0,0469	0,8172561	0,165006145
Prosjeak	0,18808985	0,6573665	0,09747	0,04303	0,7978596	0,150091021

Nakon proračuna ovih podataka i množenjem rezultata kompleksnosti sa 60, u tablici 7. su prikazani konačni rezultati kompleksnosti za kolovoz 2019. godine.

Tablica 7: Iznosi kompleksnosti za kolovoz 2019. godine

<b>01.08</b>	8,89862	<b>09.08</b>	9,018689	<b>17.08</b>	9,518355	<b>25.08</b>	9,085211
<b>02.08</b>	9,544034712	<b>10.08</b>	9,938798837	<b>18.08</b>	9,175191	<b>26.08</b>	8,314381
<b>03.08</b>	9,92516	<b>11.08</b>	9,13106765	<b>19.08</b>	8,591142	<b>27.08</b>	8,17054
<b>04.08</b>	9,353169	<b>12.08</b>	8,478154	<b>20.08</b>	8,151552	<b>28.08</b>	8,860718
<b>05.08</b>	8,786186	<b>13.08</b>	8,784334	<b>21.08</b>	8,658806	<b>29.08</b>	8,744391
<b>06.08</b>	8,78931909	<b>14.08</b>	8,83432939	<b>22.08</b>	8,432671	<b>30.08</b>	9,096314
<b>07.08</b>	9,062156635	<b>15.08</b>	8,80845048	<b>23.08</b>	9,189524	<b>31.08</b>	9,900369
<b>08.08</b>	9,056203056	<b>16.08</b>	8,895919	<b>24.08</b>	9,975547	<b>PROSJEK</b>	9,005461

Grafički prikaz tablice sa konačnim rezultatima kompleksnosti vidljiv je na slici 16.

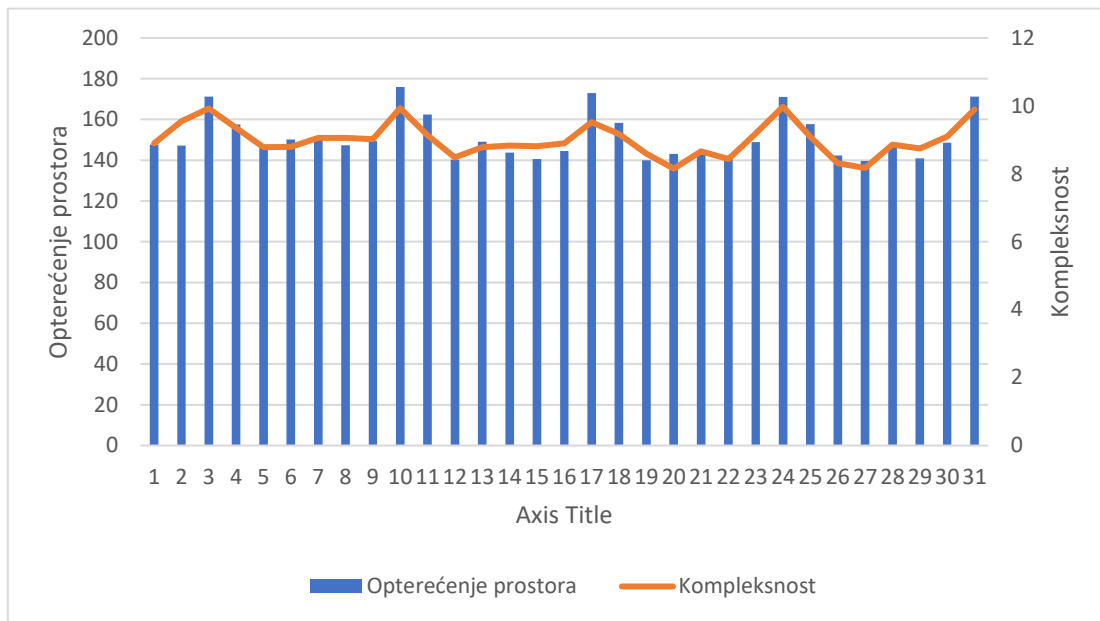


Slika 16: Konačni rezultati kompleksnosti za kolovoz 2019. godine

Ovaj grafički prikaz pokazuje da se svi rezultati nalaze u rasponu od 8,15 do 10. Najveća odstupanja od prosjeka se događaju na datume koji označavaju vikend. To su datumi 03., 04., 10., 11., 20., 17., 18., 24., 25. i 31. kolovoz. Tada prosječno odstupanje od srednje vrijednosti iznosi +0,55048. Srednja vrijednost iznosi 9,00546. Kada se u programu NEST, pod funkcijom Dnevni izračun zauzetosti (*Daily occupancy count*) izvuku podaci za svaki dan posebno, srednja vrijednost zauzetosti iznosi 151,3253.

Na slici 17. prikazan je graf koji uspoređuje iznos kompleksnosti i količinu prometa za kolovoz 2019. Kao i za 2016. godinu, vidljivo je da ta dva podatka rastu proporcionalno jedan s drugim. Na dane kada je manje prometa i kompleksnost je manja, a na dane kad je više prometa, npr. vikendi, kompleksnost raste u skladu sa povećanjem prometa.

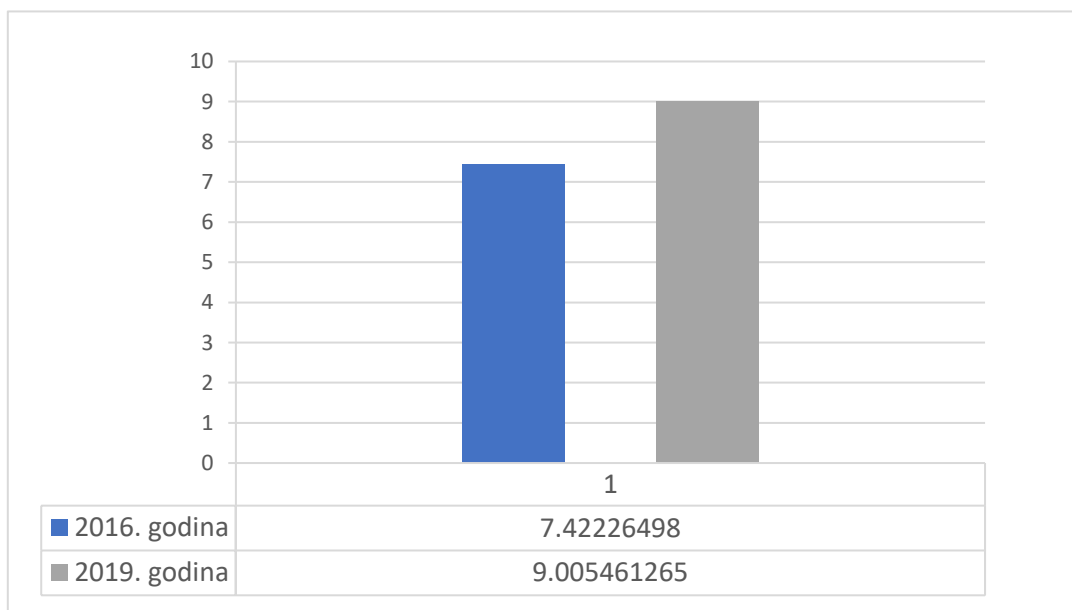




Slika 17: Količina prometa i kompleksnost za kolovoz 2019. godine

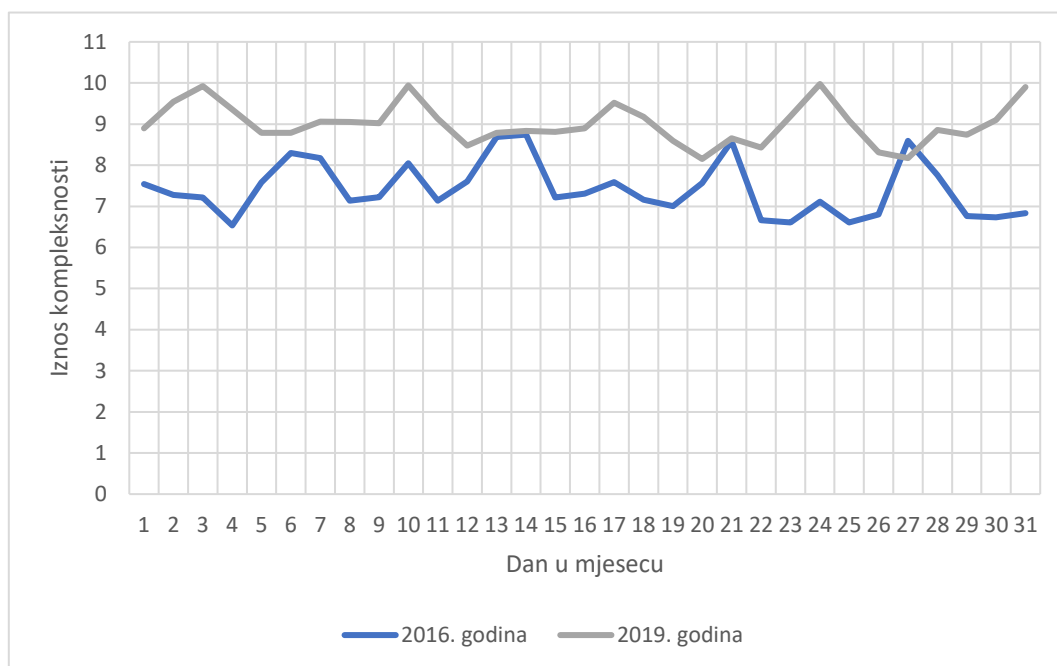
### 6.3 Usporedba dobivenih rezultata

Generalno, zračnog prometa ima najviše tokom ljetnih mjeseci. Zbog toga je i za potrebe ovog rada mjesec kolovoz uzet kao mjerodavan, jer je jedan od najprometnijih. Ako usporedimo podatke koji su dobiveni za kolovoz 2016. godine i kolovoz 2019. godine, na slici 18. je vidljivo da je kompleksnost u 3 godine narasla u vrijednosti.



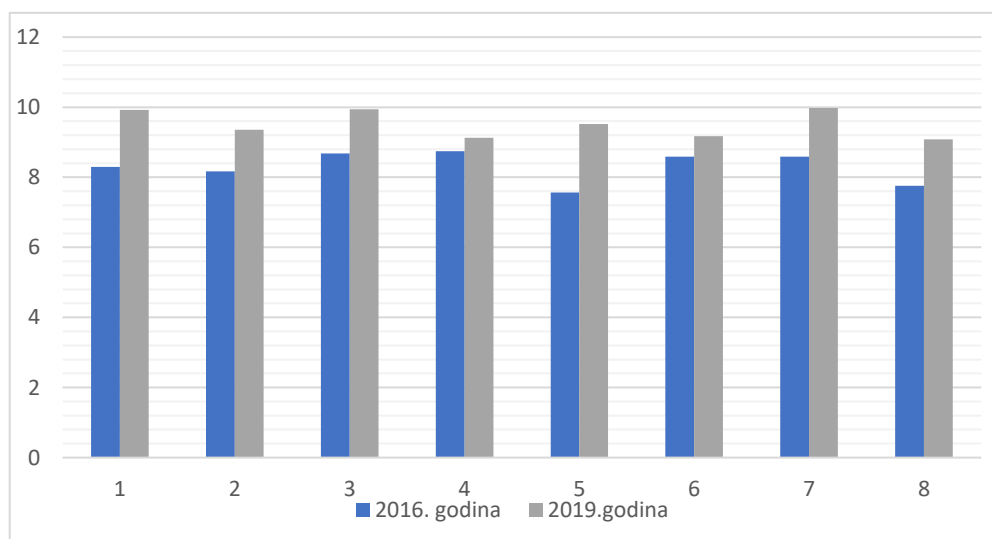
Slika 18: Srednje vrijednosti kompleksnosti zračnog prometa za kolovoz 2016. i 2019. godinu

Kod prosječnih vrijednosti, vidljivo je da je ukupna vrijednost kompleksnosti nakon implementacije narasla za iznos od 1,5832. Također možemo i rezultate detaljnije prikazati, kao grafički prilaz usporedbe pojedinih dana u mjesecu. Takav je prikaz vidljiv na slici 19.



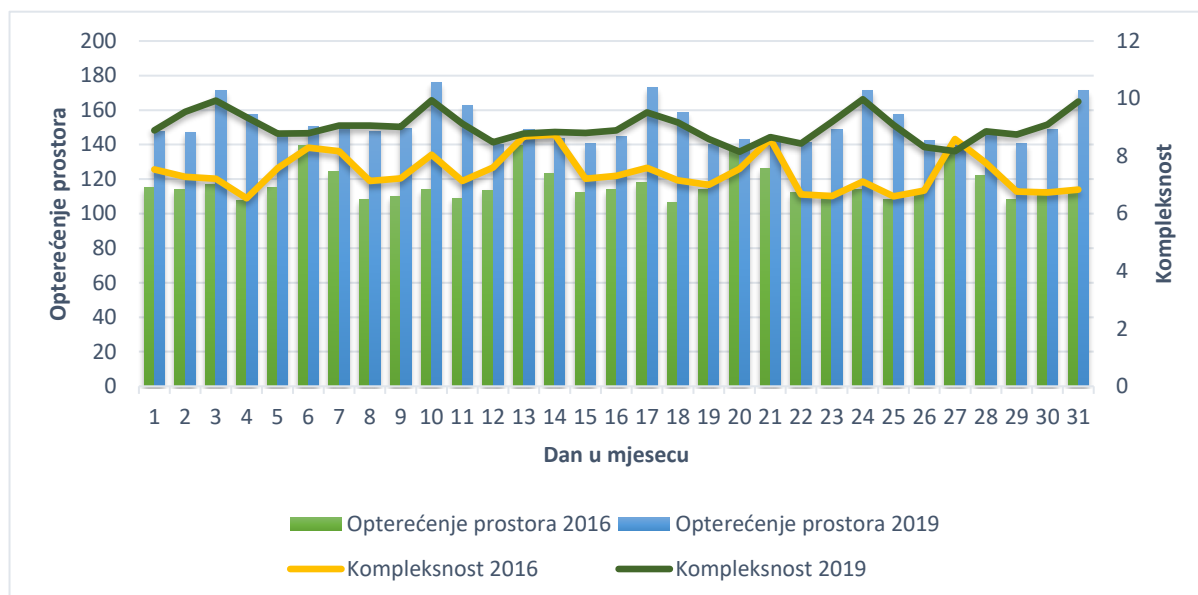
Slika 19: Usporedba kompleksnosti prometa po danima u kolovozu 2016. i 2019.

Iz već napravljene analize podataka bilo je vidljivo da su najveća odstupanja u mjesecu na one dane koji padaju na vikend. Kako na grafikonu 4. nije moguće direktno usporediti vikende iz razloga što ne padaju na iste datume, usporedba vikenda je napravljena na slici 20.



Slika 20: Usporedba kompleksnosti prometa vikendnih dana u kolovozu 2016. i 2019. godine (1, 3, 5, 7, - subota) (2, 4, 6, 8, - nedjelja)

Na prethodnim slikama je vidljivo da je promet svakog dana kolovoza 2019. godine kompleksniji od onih u kolovozu 2016. godine. Također je bitno i usporediti iznose kompleksnosti sa količinama prometa za svaki mjesec. To se vidi na grafu na slici 21.



Slika 21: Usporedba kompleksnosti i količine prometa za kolovoz 2016. i 2019. godine

Kada se napravi ta usporedba, odmah je vidljivo da je kompleksnosti veća 2019., ali to ne znači da se povećala bez razloga. Bitno je napomenuti da je srednja vrijednost kompleksnost narasla sa 7,422265 na 9,00546. To je povećanje u iznosu od 1,583195, odnosno 21.3303% u tri godine. Kada se isti izračuna napravi sa srednjom vrijednosti okupacije zračnog prostora, tada je to povećanje s 117,1667 na 151,3253, odnosno razlika od 34,1586. Kada bi se to pretvorilo u postotak, iznos bi bio 29.1538%. To znači da je za povećanje prometa od 29.15%, kompleksnost porasla za 21.33%.

## 7. ZAKLJUČAK

Za analizu kompleksnosti zračnog prostora prije i nakon implementacije prostora slobodnih ruta u Republici Hrvatskoj korišten je programski alat NEST. Za usporedbu je uzet kolovoz 2016. godine i kolovoz 2019. godine. Oni su odabrani zbog velike količine prometa u odnosu na ostale mjesece u godini.

Kada su obavljani svi koraci kako bi se dobio izračun, sljedeći su podaci proizašli iz toga. Srednja vrijednost kompleksnosti prometa za kolovoz 2016. godine iznosi 7.422265. Svi rezultati su u rasponu od 6.50 – 8.75. Subote i nedjelje su se pokazale kao dani u tjednu koji imaju najveću prosječnu kompleksnost.

Srednja vrijednost kompleksnosti prometa za kolovoz 2019. godine iznosi 9.00546. Svi rezultati su u rasponu od 8.15 - 10. Subote i nedjelje su se, kao i kod 2016. godine, pokazale kao dani u tjednu koji imaju najveću prosječnu kompleksnost.

Pošto je povećanje kompleksnosti očekivano jer zračni promet u Europi trenutno konstantno raste, bilo je bitno gledati podatke uzimajući u obzir i povećanje prometa. Za kolovoz 2016. godine, prosječan iznos okupacije zračnog prostora republike Hrvatske iznosio je 117,1667, a za kolovoz 2019. godine 151,3253.

Kada se u obzir uzme povećanje prometa, iz analize je vidljivo da je za povećanje prometa od 29.15%, kompleksnost porasla za 21.33%. To je razlika od 7.82%. Iz tih podataka moguće je zaključiti da to nije proporcionalan rast kompleksnosti s prometom, odnosno da je uvođenje prostora slobodnih ruta pozitivno utjecalo na smanjenje kompleksnosti. Iako je kompleksnost narasla u te tri godine, to je očekivano zbog povećanja obujma prometa. Da FRA nije uveden, postotak rasta kompleksnosti bi vjerojatno bio jednak ili bi premašio postotak rasta količine prometa.

Kao što je uvođenje prostora slobodnih ruta pridonijelo smanjenju kompleksnosti u Hrvatskom zračnom prostoru, tako bi pridonijelo i zračnom prostoru cijele Europe te je zato važno nastaviti rad inicijativa kao SESAR kako bi se to ostvarilo.

## Popis literature

- [1] »SESAR Joint Undertaking,« [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.sesarju.eu/discover-sesar/history>. [Pristupljeno: Kolovoz 2021].
- [2] SESAR JU, *SESAR Solutions Catalogue, Third edition*, Publications Office of the European Union, 2019.
- [3] CROCONTROL, »Zračni prostor slobodnih ruta na jugoistočnoj osi (SEAFRA h24),« [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.crocontrol.hr/mediji/novosti/zracni-prostor-slobodnih-ruta-na-jugostocnoj-osi-seafra-h24/>. [Pristupljeno: Kolovoz 2021].
- [4] »SESAR Joint undertaking,« [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.sesarju.eu/background-ses>. [Pristupljeno: Kolovoz 2021].
- [5] B. Juričić, *Upravljanje Protokom Zračnog Prometa, Autorizirana predavanja*, Fakultet Prometnih Znanosti, Sveučilište u Zagrebu.
- [6] SESAR JU, *SESAR Solutions Catalogue, First edition*, Publications Office of the European Union, 2016.
- [7] »SESAR Joint Undertaking,« [Mrežno]. Dostupno na: [https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/SESAR\\_Solutions\\_Catalogue\\_2019\\_web.pdf](https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/SESAR_Solutions_Catalogue_2019_web.pdf). [Pristupljeno: Kolovoz 2021].
- [8] European Comission, »SES Report of the High-level Group,« [Mrežno]. Dostupno na: [https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/modes/air/single\\_european\\_sky/doc/ses1\\_2000\\_hlgr\\_report\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/modes/air/single_european_sky/doc/ses1_2000_hlgr_report_en.pdf). [Pristupljeno: Kolovoz 2021].
- [9] »Skybrary - Single European Sky,« [Mrežno]. Dostupno na: [https://www.skybrary.aero/index.php/Single\\_European\\_Sky\\_\(SES\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Single_European_Sky_(SES)). [Pristupljeno: Kolovoz 2021].
- [10] EUROCONTROL, »European Route Network Improvement plan - Part 3,« 2016. [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-07/ernip-part-3-asm-handbook-edition-5-ver-5-8.pdf>. [Pristupljeno: Kolovoz 2021].
- [11] »Skybrary - Single European Sky II,« [Mrežno]. Dostupno na: [https://www.skybrary.aero/index.php/Single\\_European\\_Sky\\_\(SES\)\\_II](https://www.skybrary.aero/index.php/Single_European_Sky_(SES)_II). [Pristupljeno: Kolovoz 2021].
- [12] EUROCONTROL, »Free Route Airspace Brochure,« [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/free-route-airspace-brochure-20161216.pdf>. [Pristupljeno: Kolovoz 2021].

- [13] EUROCONTROL, »Free Route Airspace,« [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.eurocontrol.int/concept/free-route-airspace>. [Pristupljeno: Kolovoz 2021].
- [14] »Skybrary - Free Route Airspace,« [Mrežno]. Dostupno na: [https://www.skybrary.aero/index.php/Free\\_Route\\_Airspace\\_\(FRA\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Free_Route_Airspace_(FRA)). [Pristupljeno: Kolovoz 2021].
- [15] B. Juričić, T. Radišić, T. Rogošić, B. Antulov-Fantulin, »Free Route Airspace for Efficient Air Traffic Management,« *Engeneering Power*, svez. 15, br. 2, pp. 10-17, 2020.
- [16] »INTERfab,« [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.inter-fab.eu/about/>. [Pristupljeno: Kolovoz 2021].
- [17] EUROCONTROL, »Complexity metrics for ANSP benchmarking analysis,« [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/2006-complexity-metrics-report.pdf>. [Pristupljeno: Kolovoz 2021].
- [18] CROCONTROL, »Spajanje zračnih prostora SAXFRA i SEAFRA,« [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.crocontrol.hr/mediji/novosti/spajanje-zracnih-prostora-saxfra-i-seafra/>. [Pristupljeno: Kolovoz 2021].
- [19] EUROCONTROL, »Network Strategic Modelling Tool,« [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.eurocontrol.int/model/network-strategic-modelling-tool>. [Pristupljeno: Kolovoz 2021].
- [20] *Programski alat NEST*.
- [21] *NEST, User Guide*.

## Popis slika

Slika 1: Rute prije i nakon implementacije FRA u zamišljenom zračnom prostoru .....	9
Slika 2: Prikaz mogućih ruta u FRA.....	11
Slika 3: Implementacija FRA u Europi do kraja 2021. godine .....	13
Slika 4: Prikaz FAB-ova na karti Europe .....	14
Slika 5: Dimenzije odabrane ćelije .....	15
Slika 6: Prikaz interakcija.....	16
Slika 7: Prikaz izračuna interakcija .....	18
Slika 8: Broj VDIF .....	20
Slika 9: Broj HDIF .....	20
Slika 10: Prikaz zračnog prostora Republike Hrvatske .....	24
Slika 11: Export data prozor u programu NEST.....	25
Slika 12: Prozor PRU Complexity.....	26
Slika 13: Prikaz tablice sa rezultatima .....	27
Slika 14: Prikaz kompleksnosti prometa za kolovoz 2016 .....	31
Slika 15: Količina prometa i kompleksnost za kolovoz 2016. ....	32
Slika 16: Konačni rezultati kompleksnosti za kolovoz 2019. godine.....	35
Slika 17: Količina prometa i kompleksnost za kolovoz 2019. godine .....	36
Slika 18: Srednje vrijednosti kompleksnosti zračnog prometa za 2016 i 2019. godinu .....	36
Slika 19: Usporedba kompleksnosti prometa po danima u kolovozu 2016. i 2019. ....	37
Slika 20: Usporedba kompleksnosti prometa vikendnih dana u kolovozu 2016. i 2019. godine (1, 3, 5, 7, - subota) (2, 4, 6, 8, - nedjelja) .....	37
Slika 21: Usporedba kompleksnosti i količine prometa za kolovoz 2016. i 2019. godine .....	38

## Popis tablica

Tablica 1: Dimenzije i indikatori kompleksnosti .....	15
Tablica 2: Parametri za kolovoz 2016. godine .....	29
Tablica 3: Nastavak parametara i prosječan rezultat svakog stupca.....	30
Tablica 4: Iznosi kompleksnosti za kolovoz 2016.....	30
Tablica 5: Parametri za kolovoz 2019. godine .....	33
Tablica 6.: Nastavak parametara za kolovoz 2019. godine.....	34
Tablica 7: Iznosi kompleksnosti za kolovoz 2019. godine.....	34



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## **IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI**

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je Završni rad (vrsta rada) isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom USPOREDBA KOMPLEKSNOŠTI ZRAČNOG PROSTORA PRIJE I NAKON IMPLEMENTACIJE PROSTORA SLOBODNIH RUTA U REPUBLICI HRVATSKOJ, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu 28.08.2021

Student/ica:

Dora Kudumija  
(potpis)