

Određivanje i analiza kompleksnosti zračnog prometa u zemljama prostora SECSI FRA u ljetnom periodu 2018. godine

Trojko, Filip

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:910571>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-09**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Filip Trojko

**ODREĐIVANJE I ANALIZA KOMPLEKSNOŠTI ZRAČNOG PROMETA U
ZEMLJAMA PROSTORA SECSI FRA U LJETNOM PERIODU 2018.
GODINE**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2019.

Zagreb, 2. travnja 2019.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 5155

Pristupnik: **Filip Trojko (0135233168)**
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Određivanje i analiza kompleksnosti zračnog prometa u zemljama prostora SECSI FRA u ljetnom periodu 2018. godine**

Opis zadatka:

Uvodno objasniti cilj i djelokrug istraživanja. Objasniti zračni prostor slobodnih ruta Inicijative za zajedničko jugoistočno nebo (SECSI FRA). Analizirati prometne podatke po zemljama za zadani uzorak prometa u 2018. godini. Objasniti metodologija određivanja vrijednosti indikatora kompleksnosti prema PRU modelu. Odrediti indikatore kompleksnosti po zemljama SECSI FRA. Analizirati i usporediti dobivene rezultate. Dati zaključna razmatranja.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

izv. prof. dr. sc. Biljana Juričić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ZAGREB

DIPLOMSKI RAD

**ODREĐIVANJE I ANALIZA KOMPLEKSNOŠTI ZRAČNOG PROMETA U
ZEMLJAMA PROSTORA SECSI FRA U LJETNOM PERIODU 2018. GODINE**

**DETERMINING AND ANALYSING AIR TRAFFIC COMPLEXITY OF SECSI FRA
COUNTRIES DURING SUMMER SEASON 2018**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Biljana Juričić

Student: Filip Trojko, univ. bacc. ing. aeronaut.

JMBAG: 0135233168

Zagreb, 2019.

Zahvala

Prvenstveno posebnu zahvalu upućujem svojoj mentorici ovog diplomskog rada izv. prof. dr. sc. Biljani Juričić koja mi je svojim mentoriranjem, strpljivošću i stručnošću zasigurno omogućila kvalitetnu izradu ovog diplomskog rada i provedeno istraživanje.

Najveću zahvalu upućujem svojim roditeljima, majci Ljiljani i ocu Dragomiru, koji su me svojom neizmjernom roditeljskom ljubavlju do sada usmjeravali, podržavali me tokom studija i pomogli mi da izrastem u osobu kakva sam danas. Vječno ću im biti zahvalan na tome.

Hvala ostalom djelu moje obitelji, sestrama, šogorima, nećakinjama i nećacima koji su mi pružali potporu tokom studiranja, svih uspona i padova.

Posebnu zahvalu upućujem svojoj dragoj kolegici Andrei Reščić bez čijih savjeta i potpore zasigurno ne bih mogao ovaj rad učiniti ovakvim kakav jest.

Hvala svim mojim prijateljima i kolegama na velikoj potpori koju su mi pružali tokom studija, posebno hvala prijateljicama Tajani Ivanovskoj i Mariji Erdelji i veliko hvala prijateljici odvjetnici Marini Tojčić koja me podržava iz dana u dan.

Za kraj, posebnu i zasigurno najveću zahvalu upućujem svojem prijatelju kapetanu Igoru Kuzmi, velikom čovjeku, prijatelju, pilotu i kapetanu.

ODREĐIVANJE I ANALIZA KOMPLEKSNOSTI ZRAČNOG PROMETA U ZEMLJAMA PROSTORA SECSI FRA U LJETNOM PERIODU 2018. GODINE

SAŽETAK: U ovom diplomskom radu uspoređivati će se kompleksnost zračnog prometa u zemljama zračnog prostora slobodnih ruta Inicijative za zajedničko jugoistočno nebo za ljetni period 2018. godine. Početkom 2018. implementiran je koncept slobodnih ruta u sklopu Inicijative za zajedničko jugoistočno nebo (eng. South East Common Sky Initiative (SECSI)) koji objedinjuje veći zračni prostor te uključuje zračni prostor Austrije, Slovenije, Hrvatske, Bosne i Hercegovine, Srbije i Crne Gore. Nadalje će biti prikazani prometni podatci po zemljama članicama za odabrani uzorak prometa u ljetnom periodu 2018. godine. Potom će biti definirana metodologija određivanja vrijednosti indikatora kompleksnosti prema PRU modelu. Koristeći NEST softversko rješenje provesti će se određivanje indikatora kompleksnosti po zemljama članicama SECSI FRA zračnog prostora, te će se na samom kraju prikazati i provesti usporedna analiza dobivenih rezultata. Očekivani rezultat istraživanja u ovom diplomskom radu je dobivanje konkretnih vrijednosti indikatora kompleksnosti zračnog prometa za svaku pojedinu državu članicu SECSI FRA te usporedna analiza istih.

KLJUČNE RIJEČI: kompleksnost zračnog prometa; prostor slobodnih ruta; SECSI FRA

SUMMARY: In this final thesis it will be determined and compared complexity of air traffic of member states in South East Common Sky Initiative in Free Route Airspace for summer period od 2018. In early 2018 Free Route Airspace concept has been implemented within South East Common Sky Initiative. SECSI FRA includes air space of following member states: Austria, Slovenia, Croatia, Bosnia and Herzegovina, Serbia and Montenegro. In further chapters air traffic data for every member state will be shown according to chosen part of the year 2018, and that would be summer period which is the most representative part of the year for air traffic. Further more methodology of defining values that indicate air traffic complexity shall be defined. Complete analysis of air traffic complexity as well as comparative analysis would be made using NEST software tool. Expected result of this research in final thesis is getting accurate values that indicate complexity of air traffic for every SECSI FRA member state.

KEY WORDS: air traffic management; air traffic complexity, free route airspace, SECSI FRA

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Zračni prostor slobodnih ruta Inicijative za zajedničko jugoistočno nebo (SECSI FRA)..	3
2.1. Zračni prostor slobodnih ruta	5
2.2. Implementacija zračnog prostora slobodnih ruta u Europi i Republici Hrvatskoj	8
2.2.1. Koncept zračnog prostora slobodnih ruta	10
2.2.2. Prednosti i nedostaci zračnog prostora slobodnih ruta.....	11
2.3. Zračni prostor slobodnih ruta na jugoistočnoj prometnoj osi (SEAFRA) i slovensko-austrijski prekogranični zračni prostor slobodnih ruta (SAXFRA)	13
2.4. SECSI FRA	15
3. Prometni podatci za zadani uzorak prometa u 2018. godini.....	16
4. Metodologija određivanja vrijednosti indikatora kompleksnosti prema PRU modelu	19
4.1.	20
Dimenzije kompleksnosti	20
4.1.1. Karakteristike prometa	20
4.1.2. Ograničenja zračnog prostora	21
4.1.3. Vanjska ograničenja.....	21
4.2. Značaj dimenzija kompleksnosti	22
4.3. Čelije	22
4.4. Interakcije	23
4.5. Prilagođena gustoća.....	24
4.6. Vertikalne interakcije	25
4.7. Horizontalne interakcije	26
4.8. Interakcije brzine.....	27
4.9. Rezultat kompleksnosti	27
4.10. Strukturalni indeks.....	28
4.11. Indikatori kompleksnosti	29
4.12. Softver NEST	29
4.12.1. Kompleksnost u NEST softveru	30
4.12.2. Datoteka s rezultatima	30
4.12.3. Završni indikatori kompleksnosti	31
4.12.4. Izračun kompleksnosti i odabir parametara	33
5. Određivanje i analiza indikatora kompleksnosti po zemljama SECSI FRA zračnog prostora koristeći NEST softversko rješenje.....	36
5.1. Prva analiza	36
5.1.1. LDZOCTA	37
5.1.2. LOVVCTA.....	38
5.1.3. LJLACTA.....	39

5.1.4.	LYBACTA	40
5.1.5.	LQSBCTA	41
5.2.	Druga analiza.....	42
5.2.1.	LDZOCTA	49
5.2.2.	LOVVCTA.....	50
5.2.3.	LJLACTA.....	51
5.2.4.	LYBACTA	52
5.2.5.	LQSBCTA	54
6.	<i>Usporedba dobivenih rezultata</i>	55
6.1.	<i>Prva analiza.....</i>	55
6.2.	<i>Druga analiza.....</i>	57
7.	<i>Zaključak.....</i>	63
	<i>Literatura</i>	64
	<i>Popis slika.....</i>	65
	<i>Popis tablica</i>	66
	<i>Popis kratica</i>	67

1. Uvod

Početak 21. stoljeća, zbog sve veće prometne potražnje i stalnog trenda povećanja prometne potražnje u zračnom prometu, pokrenuta je inicijativa za zajedničko europsko nebo (eng. *Single European Sky (SES)*). Inicijativa pruža niz projekata koji donose poboljšanja i unaprjeđenje europskog sustava upravljanja zračnim prometom. EUROCONTROL kao međuvladina organizacija pruža rješenja za rješavanje problema velikih prometnih zagušenja u europskom zračnom prometu kroz vođenje Inicijative za zajedničko europsko nebo (eng. *Single European Sky*) u suradnji s tijelima Europske Unije prema svim korisnicima usluga zračnog prometa kao i u suradnji sa svim sudionicima zrakoplovne industrije. Jedan od problema stvaranja velikih kašnjenja i zagušenja u zračnom prometu je svakako i kapacitet zračnog prostora te na kraju i kompleksnost zračnog prometa te je stoga kao odgovor na navedene probleme uveden prostor slobodnih ruta (eng. *Free Route Airspace*) u sklopu Inicijative za zajedničko europsko nebo, a potom i u sklopu Inicijative za zajedničko jugoistočno nebo (eng. *South East Common Sky Initiative*) čiji će zračni prostor biti korišten u ovom diplomskom radu za određivanje i analizu kompleksnosti zračnog prometa.

Ovaj diplomski rad je podijeljen u 7 svojstvenih cjelina:

1. Uvod
2. Zračni prostor slobodnih ruta Inicijative za zajedničko jugoistočno nebo (SECSI FRA¹)
3. Prometni podatci za zadani uzorak prometa u 2018. godini
4. Metodologija određivanja vrijednosti indikatora kompleksnosti prema PRU modelu
5. Određivanje indikatora kompleksnosti po zemljama SECSI FRA zračnog prostora koristeći NEST softversko rješenje
6. Usporedba dobivenih rezultata
7. Zaključak

U drugom poglavlju biti će opisan i definiran zračni prostor slobodnih ruta za zajedničko jugoistočno nebo (SECSI FRA). Razraditi će se svrha uspostavljanja takvog koncepta u zračnom prometu, te od strane koga je uspostavljena i kada. Važno će također biti spomenuti koji su regulatorni okviri i norme morali biti zadovoljeni za uspješnu uspostavu i krajnju implementaciju takvog sustava u operativni rad. Ukratko će biti opisan europski zračni prostor koji uključuje SECSI FRA prostor, odnosno koje su to države članice, kako su definirane nacionalne granice, zone vojnog letenja te generalna upotreba takvog segmenta europskog zračnog prometa. Biti će definiran pojam i razvoj jedinstvenog europskog neba te koja je uloga takvog koncepta u europskom zračnom prometu. U idućem, trećem poglavlju prikazati će se prometni podatci za zadani uzorak prometa u 2018. godini. Kao zadani uzorak koristiti će se podatci o zračnom prometu za ljetni period 2018. godine za svaku državu članicu Inicijative. Koristiti će se prometni podatci u periodu od srpnja do kolovoza 2018. godine, a za usporedbu će biti prikazani podatci o prometu od srpnja do kolovoza 2017. godine kada SECSI FRA prostor još uvijek nije bio implementiran. Podatci će biti dobiveni AIRAC² datuma za odabrane periode godine.

¹ SECSI FRA – Single European Common Sky Initiative Free Route Airspace

² AIRAC – Aeronautical Information Regulation and Control

Metodologija određivanja vrijednosti indikatora kompleksnosti prema PRU modelu biti će definirana i opisana u četvrtom poglavlju. U petom poglavlju za svaku državu članicu SECSI FRA, na temelju prometnih podataka, biti će provedena analiza određivanja indikatora kompleksnosti zračnog prometa te usporedna analiza s dosadašnjih istraživanjima koja su provedena na istom zračnom prostoru. Analiza prometa će biti provedena koristeći NEST³ softversko rješenje. Svrha i cilj istraživanja u ovom diplomskom radu je usporediti kompleksnosti zračnog prometa zemalja članica SECSI FRA prostora. Konačni cilj je definirati vrijednosti indikatora kompleksnosti koristeći PRU model i indikatore kompleksnosti koristeći metodologije koje primjenjuje program NEST. U šestom poglavlju rezultati dobiveni analizom prometa biti će međusobno uspoređeni, a konačni zaključak diplomskog rada biti će dan u zadnjem, sedmom poglavlju.

Za izradu ovog diplomskog rada i provedbu analize korištena je sva dostupna relevantna literatura vezana uz kompleksnost europskog zračnog prometa te NEST softverski alat. Sva korištena literatura navedena je u poglavlju Literatura.

³ NEST – Network Strategic Tool

2. Zračni prostor slobodnih ruta Inicijative za zajedničko jugoistočno nebo (SECSI FRA)

U manje od godinu dana od potpisivanja Memoranduma o suradnji koji je bio usmjeren na spajanje dvaju zajedničkih prostora slobodnih ruta (FRA⁴), implementiran je zajednički zračni prostor pod nazivom zračni prostor slobodnih ruta Inicijative za zajedničko jugoistočno nebo (SECSI FRA). SECSI FRA zračni prostor prikazan je na Slici 1. [1]



Slika 1. Zračni prostor SECSI FRA [1]

⁴ FRA – Free Route Airspace

U SECSI FRA⁵ zračni prostor spojena su dva objedinjena zračna prostora slobodnih ruta. Prvi je SAXFRA⁶ (slovensko-austrijski prekogranični prostor slobodnih ruta) koji uključuje suradnju dva pružatelja zrakoplovnih usluga iz Austrije i Slovenije, a to su austrijski pružatelj zrakoplovnih usluga AUSTRO CONTROL, te slovenski SLOVENIA CONTROLA. Drugi zračni prostor slobodnih ruta je SEAFRA (zračni prostor slobodnih ruta na Jugoistočnoj prometnoj osi, a pružatelji usluga su iz Hrvatske, Bosne i Hercegovine, Srbije i Crne Gore. Pružatelji zrakoplovnih usluga navedenih zemljama su redom: CROATIA CONTROL, BHANSA i SMATSA. [1]

Projekt uspostave zračnog prostora slobodnih ruta pod već spomenutim nazivom Inicijativa za zajedničko jugoistočno nebo (SECSI FRA) uspješno je implementiran uz pomoć Upravitelja mreže pod nadležnošću EUROCONTROL-a. Pušten je u operativnu primjenu 1. veljače 2018. godine. Ideja samog projekta je omogućavanje korisnicima zračnog prostora fleksibilnost korištenja najkraćih mogućih ruta iz središnje prema jugoistočnoj Europi, točnije uzduž Jugoistočne uzdužne promete osi. SECSI FRA korisnicima nudi višestruke koristi koje se očituju kroz mogućnost letenja najkraćom rutom, a potencijalne uštede u jednom danu iznose do 1 940 NM⁷ prijeđene udaljenosti, 285 minuta leta, uz smanjenje potrošnje goriva od 8 000 kg te emisije ugljičnog dioksida od 25 500 kg. [1]

Potencijalne uštede prijeđene udaljenosti godišnje se očekuju u rasponu od 600 000 do 700 000 NM. SECSI FRA nudi više mogućnosti pri odabiru najpovoljnijih putanja leta za korisnike, dok potpuni prekogranični zračni prostor slobodnih ruta zračnim prijevoznicima omogućuje bolju iskoristivost vjetra, te isto tako i bolju prilagodbu prekidima na mreži, a na razini planiranja leta prostor slobodnih ruta označava bolju predvidljivost koja koristi smanjenje radnog opterećenja kontrole zračnog prometa. [1]

Ova inicijativa zasigurno doprinosi ostvarenju ciljeva Europske komisije koji su zadani u pogledu uspostave zračnog prostora slobodnih ruta diljem Europe. Svakako je ovo još jedan korak bliže ka budućnosti razvijenog europskog zračnog prometa što i dokazuje činjenica da ovakve ove implementacije ispunjavanju i zahtjeve korisnika zračnog prometa vezano uz mogućnost izbora većeg broja ruta za isti par gradova. Suradnja inicijativa SAXFRA i SEAFRA stvorit će jedan od najvećih prekograničnih zračnih prostora slobodnih ruta u Europi i značajan je korak k ostvarenju zajedničkog europskog zračnog prostora slobodnih ruta koji je planiran za implementaciju do 2022. godine. [1]

⁵ SECSI FRA – South East Common Sky Initiative Free Route Airspace

⁶ SAXFRA – Slovenian Austrian Cross-Border Free Route Airspace

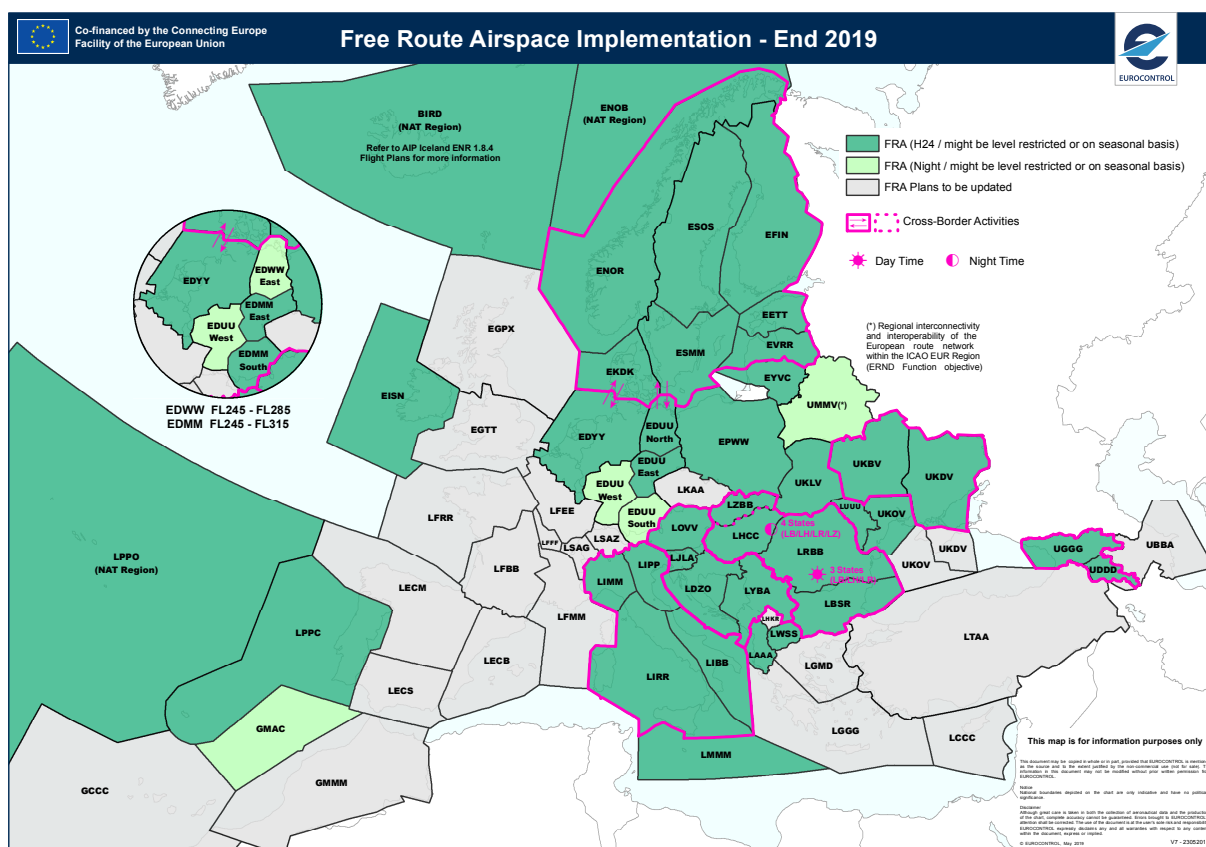
⁷ NM – Nautical mile

2.1. Zračni prostor slobodnih ruta

Zračni prostor slobodnih ruta (FRA⁸) je zračni prostor u kojem korisnici zračnog prostora mogu slobodno planirati svoju rutu na način da se prilikom planiranja rute odabere objavljena ulazna točna (eng. *Entry point*) te objavljena izlazna točka (eng. *Exit point*). Između ulazne i izlazne točke korisnici mogu slobodno planirati svoju rutu bez da se referiraju na službene ATS rute, no i dalje su zrakoplovi u takvom prostoru pod nadležnošću kontrole zračnog prometa u kojem se nalaze u dato trenutku. [2]

Međuvladina organizacija, EUROCONTROL, je tokom 2008. godine inicirala razvoj i implementaciju zračnog prostora slobodnih ruta u koordinaciji sa stručnjacima za dizajniranje zračnog prostora, državama članicama ECAC-a, pružateljima usluga u zračnom prometu, korisnicima zračnog prometa, organizacijama za planiranje letenja, te drugim relevantnim regulatornim tijelima. Uz koordinaciju s civilnim zračnim prometom bilo je važno koordinirati i s vojnim letenjem. [2]

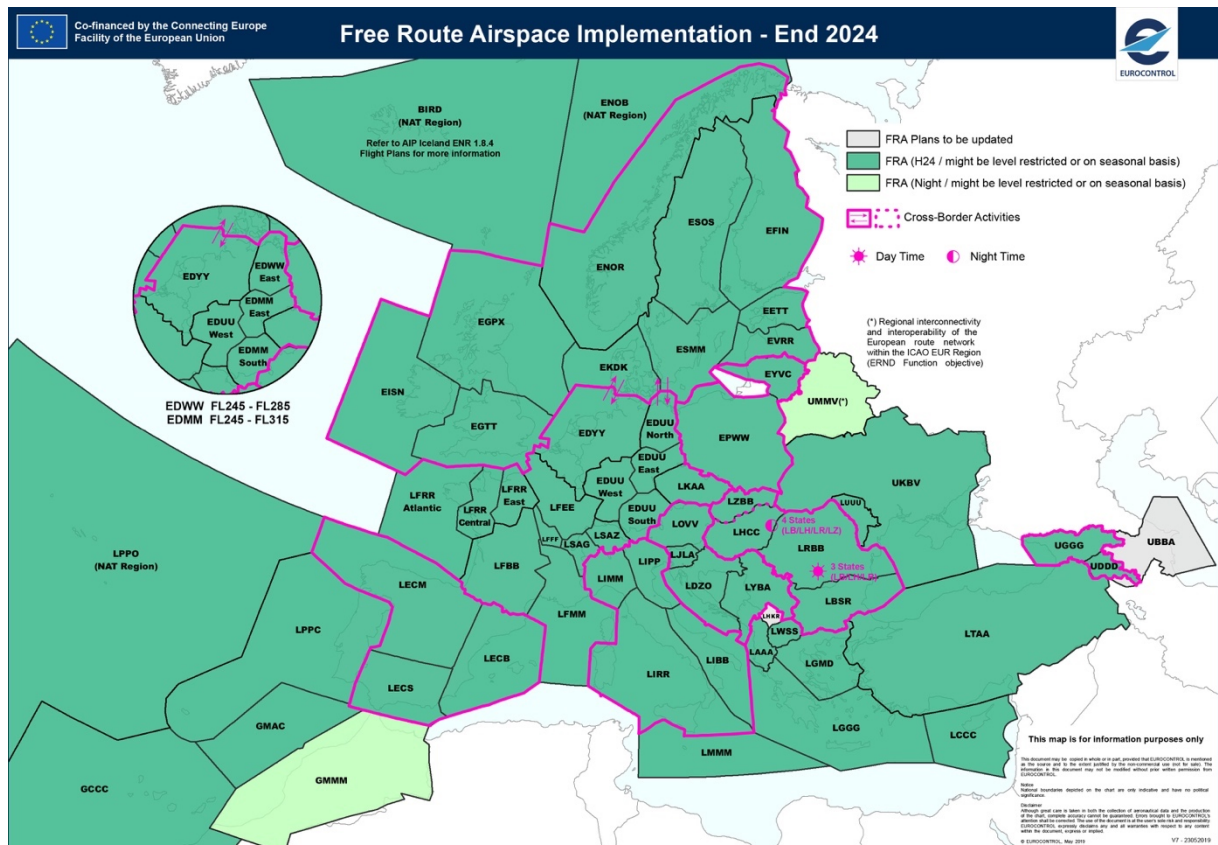
Na slici 2. prikazana je karta Europe s trenutnim stanjem implementacije zračnog prostora slobodnih ruta zaključno s datumom 23. svibnja 2019. te kako će izgledati do kraja 2019. godine.



Slika 2. Zračni prostor slobodnih ruta 2019. [2]

⁸ FRA – Free Route Airspace

Na slici 3. prikazana je FRA karta Europe s državama članicama gdje će FRA biti implementiran do 2024. godine u gotovo svim centrima oblasne kontrole zračnog prometa.



Slika 3. Zračni prostor slobodnih ruta u Europi do 2024. [2]

Današnji svijet zrakoplovne industrije susreće se s mnogobrojnim poteškoćama u cilju postizanja sigurnijeg, efikasnijeg i redovitog zračnog prometa. Velika prometna zagušenja, generiranje kašnjenja na aerodromima, aerodromskim manevarskim površinama, ali i u zraku svakako su posljedica sve veće ekspanzije zračnog prometa i sve veće prometne potražnje koja se pojavljuje u Europi, ali i su svijetu, te svakako nedostatku ljudskih resursa, kontrolora zračnog prometa. FRA je jedna od SESAR solucija za rasterećenje kompleksnog zračnog prometa i bazira se na konceptu slobodnog planiranja ruta između izlaznih i ulaznih točaka u specificiranom volumenu zračnog prostora. Cilj FRA kao jedne od SESAR solucija je skratiti putanje leta zrakoplova, odnosno smanjiti potrošnju goriva i emisije štetnih plinova te u isto vrijeme poboljšati budući zračni promet. [2]

Za korisnike zračnog prometa, odnosno zrakoplovne kompanije, operiranje u zračnom prostoru slobodnih ruta znači mnogobrojne uštede. Prijeđene udaljenosti mogu biti smanjenje za cca. 7,5 milijuna NM⁹, što znači uštedu na gorivu od 45 000 tona, te 150 000 tona manje emitiranog ugljičnog dioksida u atmosferu, što je u konačnici financijska ušteda od 37 milijuna eura. [2]

⁹ NM – Nautical Mile

Za pružatelje zrakoplovnih usluga FRA okruženje nudi puno više. Zahvaljujući znatno stabilnijim putanjama ANSP-ovima je omogućena poboljšana predvidljivost u zračnom prometu te korištenje dostupnih alata za detekciju potencijalnih konflikata. Tako zamišljen koncept omogućuje bolju rasprostranjenost konflikata u usporedbi s koncentracijom konflikata generiranih od strane fiksne mreže ruta. U konačnici, pružatelji usluga zračne plovidbe nisu zamijetili određene veće komplikacije koje bi spriječile implementaciju koncepta zračnog prostora slobodnih ruta, čak ni u najzagušenijem volumenu zračnog prostora na svijetu – MUAC (eng. *Maastricht Upper Area Control Centre*). Studije pokazuju smanjenje radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa kao jedan od rezultata uvođenja zračnog prostora slobodnih ruta, te u prilog tome ide i smanjenje radio transmisija te koordinacijskih zadataka. Kontrolori zračnog prometa koji trenutno rade na zračnom prostoru slobodnih ruta uvjereni su kako se ne žele vraćati na konvencionalne rute. Nekoć, zrakoplovi su zapimali direktne rute, no međutim nije postojala logička korelacija između konvencionalnih ruta i kako su zrakoplovi zapravo letjeli. Zračni prostor slobodnih ruta pruža kontrolorima zračnog prometa fleksibilnost kod taktičkog planiranja prometa s točnim planovima leta. [2]

Do kraja 2020. godine se očekuju dodatne uštede na polju duljine leta između 60 000 i 75 000 NM po danu. FRA će omogućiti da budući zračni promet u narednih 50 godina uspije osigurati tražene zahtjeve korisnika zračnog prometa, te da omogućiti pružateljima zrakoplovnih usluga postizanje još boljeg prostora slobodnih ruta te kvalitetniju pruženu uslugu. [2]

2.2. Implementacija zračnog prostora slobodnih ruta u Europi i Republici Hrvatskoj

Europa je prva regija svijeta u kojoj je u potpunosti implementiran koncept zračnog prostora slobodnih ruta. Ovo je prvi projekt ovakvog tipa koji je u potpunosti implementiran u europskom zračnom prostoru. Idejni začetnik FRA koncepta je EUROCONTROL. Projekt je započeo 2008. godine. Daljnji razvoj je omogućen od strane Europske komisije, odnosno regulative *Commission Regulation (EU) No. 677/2011* koja propisuje detaljna pravila i norme za uvođenje ovakvog koncepta zračnog prostora u sustav upravljanja zračnim prometom. Također ta regulativa donosi i izmjene i dopune prethodne regulative *Regulation (EU) No. 691/2010*. [3]

Dodatak 1. regulative No. 677/2011 opisuje funkciju dizajniranja europske rutne mreže i plana poboljšanja europske rutne mreže (eng. *European Route Network Improvement Plan*) te uključuje sljedeći opis: „...dogovorena europska rutna mreža i, gdje je moguće, dizajnirana struktura zračnog prostora slobodnih ruta, kako bi omogućila sve zahtjeve korisnika“. [3]

Upravitelj mreže (eng. NM) razvio je koncept operacija desetljeće prije, zajedno s tehničkim specifikacijama, zahtjevima za civilno-vojne zahtjeve, smjernice za pružatelje zrakoplovnih usluga za objavu informacija. [3]

Koncept zračnog prostora slobodnih ruta (eng. FRA) uspješno je implementiran u većini Europe, točnije u sjevernoj, jugoistočnoj i centralnoj jugoistočnoj Europi. Prva država Europe koja je uvela FRA u svoj zračni prostor je Portugal i to 2009. godine. Do kraja 2022. godine se očekuje da će se FRA uspješno implementirati u cijeloj Europi. Program zračnog prostora slobodnih ruta sjeverne Europe (NEFRA) definirao je svoju prekograničnu rutnu mrežu koja omogućuje korisnicima zračnog prostora da podnesu plan leta, odnosno rutu, neovisno o državnim granicama Danske, Estonije, Finske, Latvije, Norveške i Švedske. [4]

Na temelju proračuna upravitelja mreže (eng. *Network Manager*) od 2014. godine, kada je krenula većina implementacija zračnog prostora slobodnih ruta, korisnici zračnog prostora su ostvarili uštede od 500 milijuna eura samo na troškovima potrošnje zrakoplovnog goriva. Samim tim smanjenjem troškova potrošnje goriva dolazimo do pozitivnih brojki u smanjenju emisije štetnih ispušnih plinova u atmosferu na području ključnog područja okolišne učinkovitosti. [4]

Zračni prostor slobodnih ruta u hrvatskom zračnom prostoru implementiran je 30. travnja 2015. godine zajedno s još dva pružatelja zrakoplovnih usluga (SMATSA i BHANSA) time objedinjavajući zračne prostore četiriju država članica: Hrvatske, Srbije, Crne Gore i Bosne i Hercegovine. Tadašnji prekogranični zajednički prostor slobodnih ruta za jugoistočnu prometnu os (eng. *South-East Axis Free Route Airspace - SEAFRA*) uveden je isključivo za noćne letove iznad razine leta od 32 500 stopa (FL325). Uključeni navedeni pružatelji usluga zračne plovidbe ističu pozitivne aspekte uvođenjem ovakvog projekta u njihov zračni prostor, što je ujedno i prvi europski koncept zračnog prostora slobodnih ruta uveden u zračni prostor navedenih država članica. Dvije države članice, Hrvatska i Bosna i Hercegovina su ujedno i članice FAB CE (eng. *Functional Airspace Block Central Europe*), dok Srbija i Crna Gora nisu članice funkcionalnog bloka zračnog prostora. Ovakav oblik udruživanja je dokaz da je suradnja

na ovom nivou moguća te da svaki pružatelj usluga zračne plovidbe može pružiti mnogo benefita za kompletni europski zračni prostor. Neki od benefita koje donosi zračni prostor slobodnih ruta je povećanje kapaciteta zračnog prostora i učinkovitosti te okolišna učinkovitost u smislu smanjenje potrošnje goriva i redukcija emisija štetnih plinova u atmosferu. [5]

Zajednički cilj stručnjaka za upravljanje zračnim prometom svake od država članica odgovornih za pružanje usluga kontrole zračne plovidbe te uspostavljanja ovakvih i budućih sličnih projekata velikih razmjera je svakako poboljšanje sigurnosti zračnog prometa i prometne učinkovitosti. Nadalje, cilj je i smanjenje troškova potrošnje goriva, a samim time i smanjenje štetnih emisija ugljičnog dioksida i NO_x spojeva. SEAFRA koncept je ostvaren poštujući europsku regulativu 716/2014. Koncept je ostvaren 7 godina prije krajnjeg roka planiranog za uspostavu neograničene upotrebe zračnog prostora iznad 9000 metara iznad Europe. Krajnji rok za implementaciju je 1. siječnja 2022. SEAFRA koncept je uveden prvotno tokom noćnih sati zbog manje količine prometa te lakšeg praćenja sustava i implementacije, ali ponajviše uzimajući u obzir da svaki od pružatelja zrakoplovnih usluga imaju različite sustave za upravljanje zračnim prometom. Noćni sati su uključivali vremenski period od 23:00 do 05:00 UTC zimsko računanje vremena i 22:00-04:00 UTC ljetno računanje vremena. [5]

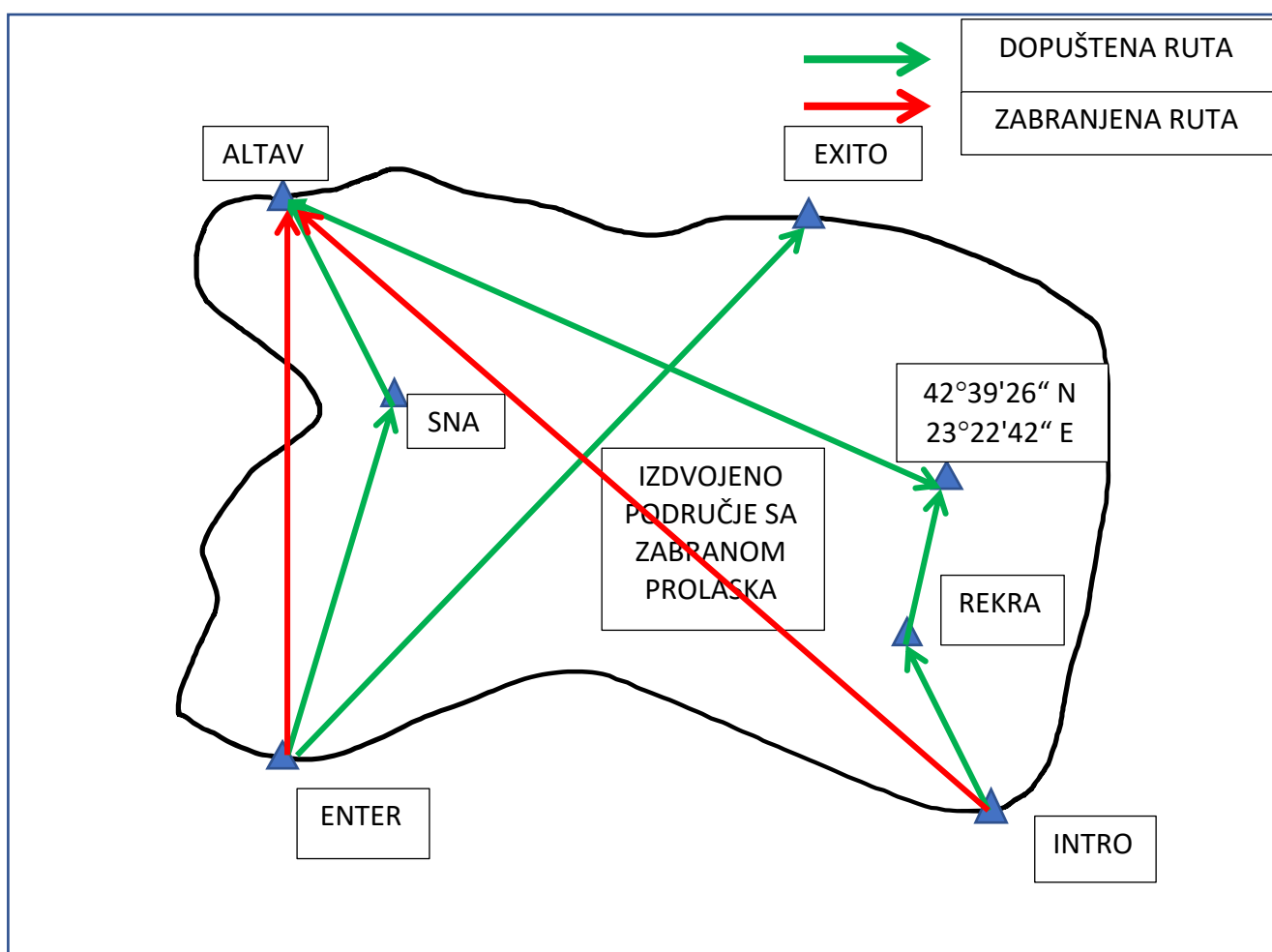
Ovaj projekt je samo početak ključnih poboljšanja unutar europske inicijative ka uspostavljanju jedinstvenog europskog neba neovisno od državnim granicama, pa čak neovisno i o funkcionalnih blokovima zračnog prostora (eng. *Functional Airspace Block*) s ciljem poboljšanja sigurnosti i učinkovitosti, te povećanje kapaciteta zračnog prometa u Europi. [5]

O potpunoj, cjelodnevnoj implementaciji ovog koncepta biti će riječi u narednom poglavlju.

2.2.1. Koncept zračnog prostora slobodnih ruta

Kao što je već spomenuto u prijašnjim poglavljima, zračni prostor slobodnih ruta je specifični zračni prostor u kojem korisnici zračnog prostora mogu slobodno planirati rutu između definiranih ulaznih i izlaznih točaka. Međutim, tokom planiranja postoje određena ograničenja koji se valja pridržavati, npr. to mogu biti opasna područja, privremeno rezervirana područja (eng. *Temporary Reserved Area*) ili privremeno izdvojena područja (eng. *Temporary Segregated Area*). U većini slučajeva će korisnici odabrati direktnu rutu između ulazne i izlazne točke kako bi kroz taj specifični zračni prostor prošli što kraćom rutom. [6]

U slučajevima kada je potrebno rutu isplanirati na način da se izbjegne određeno područje sa zabranom prolaska, dodatne točke na ruti mogu biti korištene. To mogu biti točke radionavigacijskih sredstava, objavljenije navigacijske točke ili točke sa specifičnim koordinatama. Na slici 4. prikazan je dijagram odabira adekvatne rute u zračnom prostoru slobodnih ruta. Na prikazanom primjeru crveno su označene rute koje će nakon predaje plana leta biti odbijene, zato što ruta između ulazne točke ENTER i izlazne točke ALTAV ne prolazi u potpunosti kroz FRA prostor. Druga ruta između ulazne točke INTRO i izlazne točke ALTAV će također biti odbijena zato što prolazi kroz izdvojeno područje sa zabranom prolaska. [6]



Slika 4. Prikaz odabira adekvatne rute u zračnom prostoru slobodnih ruta [6]

2.2.2. Prednosti i nedostaci zračnog prostora slobodnih ruta

Zračni prostor slobodnih ruta može biti implementiran na više načina:

- Vremenski ograničen (npr. tokom noći) – ovo je uobičajen korak kad potpunoj implementaciji zračnog prostora slobodnih ruta. Odabire se implementacija samo tokom noći kada je manje prometa kako bi se izbjegao sigurnosni rizik tokom evaluacije novog modela zračnog prostora
- Strukturalno i geografski ograničen (npr. ograničavajuće ulazne i izlazne točke za određeni prometni protok, primjenjivo unutar kontroliranog područja ili samo na gornjem zračnom prostoru) – moguće je koristiti samo na kompleksnim zračnim prostorima gdje bi potpuna implementacija mogla imati pozitivan utjecaj na kapacitet zračnog prostora.
- Implementiran u funkcionalnog bloku zračnog prostora (eng. Functional Airspace Block) – sljedeći korak nakon vremenskog ograničenja ka implementaciji zračnog prostora slobodnih ruta. Korisnici zračnog prometa bi FAB trebali tretirati kao jedno veliko područje letnih informacija (eng. Flight Information Region)
- U sklopu SES zračnog prostora – ultimativni cilj implementacije FRA u Europi [6]

Uvođenje zračnog prostora slobodnih ruta u Europi je proces koji se sastoji od više etapa te ga nije moguće implementirati odjednom. Veća pružatelja zrakoplovnih usluga su se odlučila na vremenski ograničenu implementaciju tokom noćnih sati te postupno proširenje. Do kraja 2015. godine 31 pružatelj zrakoplovnih usluga je implementirao FRA barem djelomično. [6]

Za korisnike zračnog prostora implementacija FRA donosi brojne benefite efikasnosti. Mnogo je i izazovnih prepreka i nedaća, no sve u svemu, zračni prostor slobodnih ruta se smatra najefikasnijom promjenom u Europi na polju troškovne učinkovitosti u pružanju usluga kontrole letenja. [6]

Najznačajniji benefiti su:

- Reducirano vrijeme letenja, jer većina korisnika leti najkraćom rutom
- Reducirane emisije štetnih plinova u atmosferu, kao posljedica reduciranog vremena letenja
- Smanjenje troškova goriva, također posljedica smanjenja vremena letenja
- Niski troškovi implementacije zračnog prostora slobodnih ruta za pružatelja zrakoplovnih usluga – u većini slučajeva koristi se postojeća oprema
- Manje konflikata – isti broj zrakoplova je raspodijeljen na više ruta
- Optimizacija plaćenog tereta – općenito FRA smanjuje razliku između udaljenosti planirane rute i stvarne rute, te se time korisnicima zračnog prostora smanjuje dodatna količina goriva koju moraju ponijeti [6]

Kao i svaka tehnologija i procedura u zrakoplovstvu, FRA stavlja pred korisnike mnoge izazove. Ti izazovi ne mogu prevagnuti u korist nedostataka jer je svakako više benefita za korisnike, međutim treba posebnu pozornost obratiti na te nedostatke kako bi se najbolje moglo iskoristiti iz FRA. Ti izazovi i nedostaci su sljedeći:

- Konflikte je teže uočiti i detektirati zbog raštrkanosti i povećanog broja mogućih konfliktnih točaka
- Promjene u metodama separacije zrakoplova koje koriste kontrolori letenja – direktne rute sve manje postaju opcija za rješavanje konflikata pošto većina zrakoplova već ionako leti direktnim rutama
- Vektoriranje zrakoplova koji su svoju rutu isplanirali koristeći točke s geografskim koordinatama može dovesti do problema kada kontrolor zadaje instrukciju zrakoplovu „*resume own navigatin*“
- Konflikti koji se dogode odmah nakon ulaska u područje odgovornosti kontrolora zračnog prometa će zahtijevati od tih istih kontrolora zračnog prometa da obrate posebnu pozornost prilikom prihvaćanja takvih letova koji su u konfliktu
- Bolja koordinacije između ANSP-ova
- Upotreba parnih/neparnih razina leta je propisana u zborniku zrakoplovnih informacija (eng. *Aeronautical Information Publication*) svakog pružatelja zrakoplovnih usluga, no postoji mogućnost da neće pratiti standarde pri implementaciji FRA
- Zrakoplovi koji lete blizu zabranjenih područja, a nemaju osiguranu sigurnosno područje do zabranjenog područja
- Sektorizacija će morati biti optimizirana kako bi se mogao prihvatiti veći protok prometa. To je posebno zahtjevno u vremenski ograničenim FRA zračnim prostorima
- Manjak fiksnih, konvencionalnih ruta povećava rizik pojave područja nepokrivanja zračnog prostora, kako u području nadležnosti, tako i blizu granica. [6]

2.3. Zračni prostor slobodnih ruta na jugoistočnoj prometnoj osi (SEAFRA) i slovensko-austrijski prekogranični zračni prostor slobodnih ruta (SAXFRA)

Nakon što je 30. travnja 2015. u hrvatski zračni prostor uveden FRA no isključivo za noćne sate, krajem 2016. godine, točnije 10. studenoga 2016. godine dolazi do stvaranja slovensko-austrijskog prekograničnog zračnog prostora slobodnih ruta (SAXSEA) koji nosi sve već spomenute benefite sa sobom. Na slici 5. prikazana je geografska karta SAXFRA. [7]



Slika 5. Slovensko-austrijski prekogranični zračni prostor slobodnih ruta (SAXFRA) [7]

Nakon što je implementiran SAXFRA, krajem 2016., točnije 8. prosinca 2016. godine implementira se prvi dnevni zračni prostor slobodnih ruta u Europi koji uključuje četiri države članice (Hrvatska, Srbija, Bosna i Hercegovina i Crna Gora) nastavno na implementaciju istog koncepta tokom noći. Od tog datuma tri pružatelja zrakoplovnih usluga, Hrvatska kontrola zračne plovidbe d.o.o., SMATSA, srpski pružatelj zrakoplovnih usluga i bosansko-hercegovački, BHANSA ponudili su korisnicima zračnog prostora mogućnost korištenja zračnog prostora slobodnih ruta tokom cijelog dana, od 00:00-24:00. Tada je uspostavljen zračni prostor slobodnih ruta na jugoistočnoj osi (eng. *South East Axis Free Route Airspace*). Omogućeno je vremenski neograničeno korištenje prekograničnog zračnog prostora neovisno o državnim granicama iznad razine letenja od 32 500 stopa (FL325). Na slici 6. prikazan je geografski prostor SEAFRA zračnog prostora. [8]



Slika 6. Zračni prostor slobodnih ruta za jugoistočnu prometnu os [7]

Ovako veliki projekt iniciran je od strane ATM stručnjaka pružatelja zrakoplovnih usluga nadležnih za navedene zračne prostore četiriju država članica. Zajednički cilj bio je poboljšanje sigurnosti zračnog prometa i efikasnosti kao i zaštita okoliša smanjenjem potrošnje goriva, te emisije štetnih plinova u atmosferu. Aproximativna procjena maksimalne uštede goriva i štetnih emisija tokom jednog dana je smanjenje udaljenosti letenja za ukupno cca. 2 880 NM, što odgovara uštedama prikazanim u tablici 1.[8]

Tablica 1. Procjena uštede potrošnje goriva i smanjenje emisija štetnih plinova implementacijom SEAFRA [8]

Procjena ušteda	1 dan (max)	Kg/godina (max, ovisi o planiranju kompanije)
Gorivo	9,3 t	3,4 milijuna kg
Emisije CO2	30 t	11 milijuna kg
Emisije NOx	110 kg	40 000 kg

2.4. SECSI FRA

Oba koncepta zračnog prostora slobodnih ruta SAXFRA i SEAFRA pokazali su se kao iznimno uspješni te donijeli mnogo poboljšanja u europskom zračnom prometu, što na polju sigurnosti, tako i na polju efikasnosti, troškovne učinkovitosti i očuvanja okoliša, te će svaka daljnja suradnja generirati još više benefita. [9]

Vođeni tim poboljšanjima u svrhu daljnjeg razvoja u Madridu, Španjolska 8. ožujka 2017. potpisan je Memorandum od suradnji usmjeren kad spajanju dvaju zračnih prostora slobodnih ruta: SAXFRA i SEAFRA. Oba prekogranična zračna prostora su ključne inicijative koje značajno doprinose efikasnijem protoku zračnog prometa na jugoistočnoj prometnoj osi. Novokreirana Inicijativa za zajedničko jugoistočno nebo (eng. *South East Common Sky Initiative*) će ojačati jugoistočnu prometnu os nudeći najkraće moguće rute između centralne i južne Europe, uključujući rute koje će povezivati Europu s Turskom i Bliskim Istokom. [9]

Inicijativa ne samo da ispunjava glavni cilj Europske Komisije o implementaciji zračnog prostora slobodnih ruta na razini cijele Europe, već ispunjava zahtjeve zrakoplovnih kompanija, kako bi postojalo više različitih mogućnosti ruta za iste parove gradova. Suradnja SAXFRA i SEAFRA donosi jedan od najvećih prekograničnih zračnih prostora slobodnih ruta u Europi i značajan je korak ka jedinstvenom cilju uspostavljanja zračnog prostora slobodnih ruta u cijeloj Europi. [9]

Nakon potpisivanja Memoranduma o suradnji, 1. veljače 2018. u operativni rad je pušten SECSI FRA. SECSI FRA koncept kreiran je na temelju spajanja SAXFRA i SEAFRA zračnog prostora. Uključuje 5 pružatelja zrakoplovnih usluga (CROCONTROL, AUSTROCONTROL, SLOVENIA CONTROL, SMATSA, BHANSA), te zračne prostore 6 država (Austrija, Slovenija, Hrvatska, Bosna i Hercegovina, Srbija i Crna Gora). Takav zajednički prostor zračnog prostora slobodnih ruta predstavlja značajne benefite i za korisnike zračnog prometa, ali i za pružatelje usluga kontrole zračne plovidbe. Korisnicima pruža najkraće rute od centralne Europe do jugoistočne Europe. Akumulirani benefiti su značajni te se baziraju na ukupnom smanjenju prijeđene udaljenosti od 1940 NM tokom jednog dana, 285 minuta letenja, smanjenje potrošnje goriva za 8000 kg i time smanjenje emisija štetnih plinova CO₂ za 25 500 kg. [10]

Očekuje se da će SECSI FRA koncept ostvariti potencijalne uštede od 600 000 do 700 000 NM prijeđene udaljenosti tokom jedne godine. Donijeti će mnoge druge opcije nakon određivanja korisničko-poželjnih putanja. U potpunosti implementiran prekogranični FRA zračni prostor omogućuje korisnicima da iskoriste prednost vjetra na ruti te prilagodbu na mrežne poremećaje. Naprednija upotreba FRA opcija donosi poboljšanje predviđanja kod planiranja letenja, te smanjenje radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa. [10]

3. Prometni podatci za zadani uzorak prometa u 2018. godini

Za potrebe analiziranja i određivanja indikatora kompleksnosti u državama SECSI FRA zračnog prostora korišteni su različiti AIRAC¹⁰ ciklusi, odnosno uzet je reprezentativan uzorak zračnog prometa za promatrani period. Obzirom da je zadatak analizirati indikatore kompleksnosti zračnog prometa za ljetni period 2018. godine, uzet je AIRAC ciklus 1807 te je u tome periodu od 28 dana odabran vremenski period od 7 dana koji će biti analiziran. AIRAC ciklus 1807 objavljen je 21. lipnja 2018. godine, a proteže se od datuma 21. lipnja 2018. do 18. srpnja 2018. [15]

Odabran je vremenski period od 7 dana i to od 2. srpnja do 8. srpnja 2018. godine. Razlog odabira baš tog tjedna je što je u tom AIRAC ciklusu 1807 u tom tjednu najmanje ukupno kašnjenje (eng. *delay*), a količina prometa je opet dovoljna za analizu. Još jedan od razloga je da je razlika u danima petak, subota i nedjelja najveća razlika u količini promet što će biti korisno za drugu analizu. Koristeći NEST softverski alat pregledan je promet za svakog pružatelja usluga kontrole zračne plovidbe unutar SECSI FRA zračnog prostora te je napravljen kratki statistički pregled broja zrakoplova koji su preletjeli zračni prostor svake pojedine države članice. Obzirom da se u ovom istraživanju analiziraju indikatori kompleksnosti zračnog prometa korišteni su isključivo zrakoplovi koji su u nadležnosti ACC¹¹-ova, točnije radi se o en-route segmentu leta. Centri oblasne kontrole, tj. kontrolirano područje (eng. Control Area, CTA¹²) za svaki pojedini centar oblasne kontrole, svakog pojedinog pružatelja usluga kontrole zračne plovidbe prikazani su u tablici 2. [15]

Tablica 2. ANSP-ovi i pripadajući ACC-ovi

ANSP	ACC
AUSTRO CONTROL	LOVVCTA
SLOVENIA CONTROL	LJLACTA
CRO CONTROL	LDZOCTA
SMATSA	LYBACTA
BHANSА	LQSBCTA

Za statistički prikaz prometnih podataka korišten je „*initial*“ promet i „*actual*“ promet. „*Initial*“ promet je planirana količina zrakoplova, odnosno planirana količina prometa temeljena na predanim planovima leta, dok je „*actual*“ promet stvarni promet broja zrakoplova koji su prošli kroz određeni zračni prostor. Pošto se u ovom istraživanju radi o simulaciji zračnog prometa, za jednu simulaciju biti će korišten „*initial*“ promet zato što „*actual*“, tj. stvarni promet ne sadrži uvijek u podnesenim planovima leta one najkraće rute koje su potrebne. Tokom provođenja simulacija putanja programski kod u NEST¹³ alatu uvijek simulira najkraće putanje zrakoplova. U daljnjem radu za „*initial*“ promet biti će korišten pojam „*planirani promet*“, a za „*actual*“ će biti korišten pojam „*stvarni promet*“.

¹⁰ AIRAC – Aeronautical Information Regulation and Control

¹¹ ACC – Area Control Centre

¹² CTA – Control Area

¹³ NEST – Network Strategic Tool

U tablici 3. prikazan je planirani broj zrakoplova koji je prošao kroz pojedinu državu članicu unutar SECSI FRA zajedničkog zračnog prostora, dok je u tablici 4. prikazan stvaran broj zrakoplova koji je prošao kroz pojedinu državu članicu unutar SECSI FRA zajedničkog zračnog prostora. Zanimljivo je primijetiti kako je stvaran broj zrakoplova nešto veći no što je podnesenih planova leta. [15]

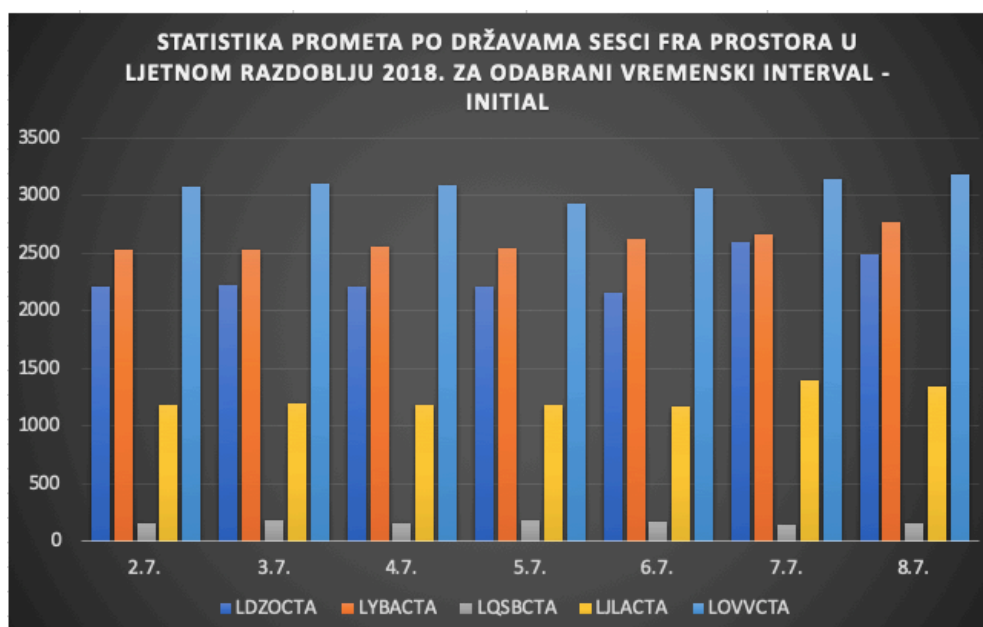
Tablica 3. Statistika broja zrakoplova po državama članicama SECSI FRA zračnog prostora – planirani promet

DATUM	LDZOCTA	LYBACTA	LQSBCTA	LJLACTA	LOVVCTA
2.7.2018.	2204	2533	155	1177	3078
3.7.2018.	2225	2532	188	1200	3103
4.7.2018.	2204	2556	155	1185	3084
5.7.2018.	2208	2547	186	1178	2929
6.7.2018.	2158	2625	174	1169	3068
7.7.2018.	2599	2656	148	1399	3147
8.7.2018.	2492	2764	160	1344	3187

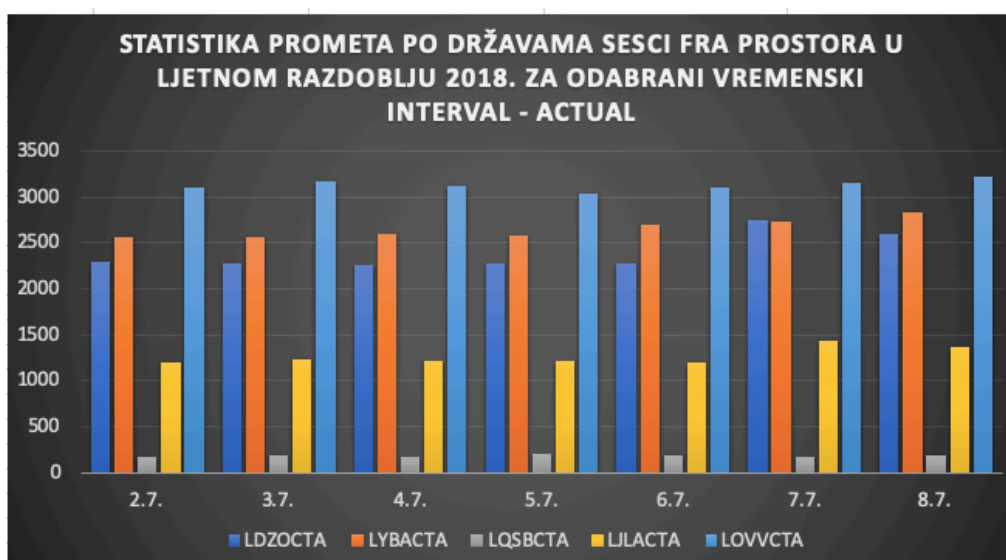
Tablica 4. Statistika broja zrakoplova po državama članicama SECSI FRA zračnog prostora – stvarni promet

DATUM	LDZOCTA	LYBACTA	LQSBCTA	LJLACTA	LOVVCTA
2.7.2018.	2294	2566	166	1193	3109
3.7.2018.	2269	2557	185	1233	3167
4.7.2018.	2268	2591	170	1221	3122
5.7.2018.	2285	2578	203	1211	3040
6.7.2018.	2279	2697	180	1204	3110
7.7.2018.	2745	2732	168	1430	3152
8.7.2018.	2601	2833	185	1363	3219

Grafičkim prikazom zornije je moguće prikazati koja država članica je imala najviše preleta u definiranom periodu. Pa se tako na slici 7., gdje je grafički prikazan planirani broj zrakoplova i na slici 8. gdje je prikazan stvaran broj zrakoplova koji je preletio određeni zračni prostor lako može uočiti kako je kroz cijeli odabrani period najviše preleta imao austrijski centar oblasne kontrole letenja (LOVVCTA), nakon njega je kroz hrvatski zračni prostor (LDZOCTA) prošlo najviše zrakoplova, potom srpski zračni prostor (LYBACTA), te slovenski (LJLACTA). Najmanji broj zrakoplova zabilježen je u bosansko-hercegovačkom zračnom prostoru.



Slika 7. Grafički prikaz inicijalnog prometa kroz pojedinu državu članicu SECSI FRA zajedničkog zračnog prostora



Slika 8. Grafički prikaz stvarnog prometa kroz pojedinu državu članicu SECSI FRA zajedničkog zračnog prostora

4. Metodologija određivanja vrijednosti indikatora kompleksnosti prema PRU modelu

Razina težine obavljanja nekog zadatka naziva se kompleksnost, odnosno tako je najčešće definirana pošto ne postoji unificirana definicija kompleksnosti u sustavu upravljanja zračnim prometom. Kada promatramo kompleksnost potrebno je razumjeti koja joj je namjena. Na temelju studije koja je provedena 2006. godine indikatori kompleksnosti uzimali su u obzir vanjske faktore koji utječu na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa. Ono što u toj studiji nije uzeto u obzir su unutarnji faktori i faktori vezani za ATC procedure, pošto je glavni cilj te studije bio vrednovati analize pružatelja zrakoplovnih usluga. Jasno se pokušalo razdvojiti za što je zaslužan ANSP, a što je potrebno pripisati smanjenju kompleksnosti. Iz tadašnje analize nije bilo moguće isključiti određene unutarnje faktore, poput strukture ruta, pošto su one usko vezane uz korištene uzorke prometa. [11]

Obzirom da se u ovom diplomskom radu analiziraju i uspoređuju indikatori kompleksnosti zračnog prometa u državama članicama SECSI FRA zajedničkog zračnog prostora, te fokus nije na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa, samo će ukratko biti spomenuto koji su to aspekti kompleksnosti koji utječu na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa u svrhu jasnog odvajanja od onoga što se u ovom diplomskom radu istražuje. [11]

Aspekti kompleksnosti koji doprinose radnom opterećenju kontrolora zračnog prometa:

- Kompleksnost vezana za ATC procedure – zbog prometa se javlja dodatno opterećenje kontrolora zračnog prometa, to mogu biti ATC procedure u prometu, organizacija zračnog prostora, strukture ruta i sl. Ti aspekti su većinom unutarnji ANSP faktori
- Kompleksnost prometnih karakteristika – dodatno opterećenje kontrolora zračnog prometa zbog koncentracije, vrste interakcije prometa. Ti aspekti su većinom vanjski ANSP faktori
- Vanjska kompleksnost – dodatno opterećenje kontrolora zračnog prometa zbog strukture zračnog prostora kroz koju prolazi zračni promet. Ti aspekti su također većinom vanjski ANSP faktori. [11]

Važno je napomenuti da su kompleksnost i radno opterećenje kontrolora zračnog prometa usko povezani, te da se s povećanjem kompleksnosti povećava i radno opterećenje kontrolora zračnog prometa. Kao što je već spomenuto, kompleksnost uključuje vanjske i unutarnje faktore. Vanjski faktori utječu direktno na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa i/ili razinu obavljanja ATC zadatka, dok unutarnji faktori koji su vezani uz ATC procedure u prometu ne utječu na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa. [11]

4.1. Dimenzije kompleksnosti

Dimenzije kompleksnosti mogu se podijeliti u tri kategorije:

- Karakteristike prometa
- Ograničenja zračnog prostora
- Vanjska ograničenja [11]

Svaka od spomenutih dimenzija kompleksnosti dio je okoline upravljanja zračnim prometom i definira se kao doživljaj koji osjećaj kontrolor zračnog prometa tokom obavljanja svojih radnih zadaća. [11]

4.1.1. Karakteristike prometa

- Gustoća prometa (eng. *Traffic density*) je dimenzija koja obuhvaća raspored zrakoplova u zračnom prostoru. Treba obratiti pozornost pošto se zrakoplovi mogu geografski nalaziti u određenim dijelovima zračnog prostora, ali isto tako mogu biti i koncentrirani unutar određenog vremenskog razdoblja. Koncentracija zrakoplova unutar određenog vremenskog perioda tokom dana može varirati kao što može varirati i koncentracija zrakoplova na određenom geografskom području specifičnog zračnog prostora. Kompleksnost se povećava kada zrakoplovi nisu ravnomjerno raspoređeno. Na gustoću prometa mogu utjecati i unutarnji faktori kao što je struktura rutne mreže. [11]
- Promet u penjanju ili spuštanju (eng. *Evolution*) je točnije dimenzija vertikalnog kretanja zračnog prometa. Količina zrakoplova u penjanju i spuštanju ovisi o blizini aerodroma. U ovom primjeru lokacije aerodroma su vanjski faktor koji utječe na promet u penjanju ili spuštanju. [11]
- Struktura toka prometa (eng. *Flow structure*) je dimenzija koja promatra zrakoplove koje se horizontalno kreću kroz zračni prostor. Promatrajući zrakoplove čije se putanje križaju i zrakoplove čije su putanje paralelne logički se daje zaključiti kako su putanje zrakoplova čije se putanje križaju kompleksnije od onih čije su putanje paralelne. Unutarnji faktor koji utječe na strukturu toka prometa su svakako interne promjene rutne mreže, točaka od strane ANSP-a, te ukoliko se točki promjeni položaj primjerice iz jednog ACC-a u drugi ta promjena će uzrokovati povećanje kompleksnosti zračnog prometa jer će podići radno opterećenje jednom kontroloru zračnog prometa, no ne znači da će drugom radnom opterećenje, tj. kompleksnost zračnog prometa biti smanjenja. Vanjski faktor koji ovdje ima utjecaja je pojava novih točaka u prostoru gdje može doći do potencijalnih križanja putanja zrakoplova. [11]

- Izmješanost prometa (eng. *Traffic Mix*) definira koliki je postotak zrakoplova obzirom na koju WTC kategoriju, odnosno definirane su varijacije u brzinama zrakoplova. U ovom primjeru brzine zrakoplova, pošto ovise o performansama pojedinog zrakoplova, smatraju se vanjski utjecajem na izmiješanost prometa. Pretpostavka je da će zračni promet biti manje kompleksan u slučajevima kada imamo zrakoplove sličnih ili istih brzina, te će kompleksnost zračnog prometa rasti kada se u takve međusobne interakcije počnu „miješati“ zrakoplovi različitih brzina, odnosno zrakoplovi različitih performansi ili različitih WTC kategorija. [11]

4.1.2. Ograničenja zračnog prostora

- Sektorizacija (eng. *Sectorization*) je dimenzija kompleksnosti zračnog prometa kod koje se razmatraju efekti sektorizacije na kompleksnost. Smatra se da je sektorizacija unutarnji faktor koji utječe na kompleksnost zračnog prometa iz razloga što ANSP u svakom trenutku može promijeniti sektorizaciju te na taj način direktno utjecati na kompleksnost zračnog prometa, neovisno o tome što je povezana s rutnom strukturom zračnog prostora. Ponekad ANSP ne može sprovesti optimizaciju sektora zbog vanjskih ograničenja, poput vojnih operacija, te suverenih granica država. [11]
- Struktura ruta (eng. *Route Structure*) kao dimenzija kompleksnosti zračnog prometa vanjski je faktor koji utječe na kompleksnost. ANSP ima mogućnost restrukturiranja ruta unutar svog zračnog prostora, te čak kompleksnije dvosmjerne rute preimenovati u jednosmjerne. Također, kao i kod slučaja sektorizacije ovdje isto postoje ograničenja zbog vojnih operacija kao vanjskog utjecaja. [11]

4.1.3. Vanjska ograničenja

- Vojna izdvojena područja – promatra se utjecaj vojnog zračnog prometa na kompleksnost zračnog prometa. Uključivanjem vojnog zračnog prometa u komercijalni, civilni zračni promet smanjuje se operativni prostor kontrolora zračnog prometa, a samim smanjenjem operativnog prostora za rad dolazi povećanja kompleksnosti zračnog prometa. [11]
- Sučelje sa susjednim jedinicama kontrolore zračnog prometa – u ovoj dimenziji promatra se utjecaj veze sa susjednim jedinicama kontrole zračnog prometa. Kod sučelja koje se sastoji od dva različita okruženja kod kojeg svatko obavlja svoje operacije postoji mogućnost da će doći do povećanja kompleksnosti. Posebice dolazi do izražaja kod povećanja standardne norme razdvajanja, transfera zrakoplova iz radarske separacije u proceduralnu ili iz RVSM (eng. *Reduced Vertical Separation Minima*) područja u ono u kojem se RVSM ne primjenjuje. Ovako sučelje uglavnom je vanjski faktor iako se mogu uvesti mjere koje bi bolje usmjerile transfer zrakoplova između dva prostora nadležnosti ACC-a i smanjile kompleksnost i doživljaj kompleksnosti kontrolora zračnog prometa koji radi na istom sučelju, kao što je na primjer putem međusobnog sporazuma (*Letter of Agreement – LoA*). [11]

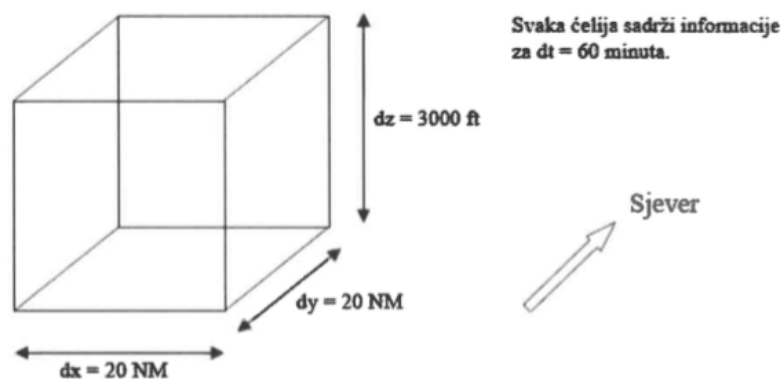
4.2. Značaj dimenzija kompleksnosti

Druga spomenuta kategorija kompleksnosti zračnog prometa teži više grupiranju dimenzija kompleksnosti koje su povezane s internim ATC procedurama, te je samim time značajna za istraživanje ovog diplomskog rada. Prva spomenuta kategorija koja teži prometnim karakteristikama više se fokusira na sve dimenzije relevantne za tzv. *benchmarking* u skladu s ACE (*ATM Cost Effectiveness*). U kontekstu spomenutog *benchmarkinga* unutarnji faktori koji utječu na kompleksnost zračnog prometa trebali bi biti manje zastupljeni, pošto u tom kontekstu ako ANSP uspješno promjeni rutnu strukturu na svoje zračnom prometu, to ne znači da će i smanjiti samu kompleksnost, pošto mnogo faktora utječe na nju. Također nije moguće u potpunosti ukloniti unutarnje faktore iz izračuna pošto su usko povezani s uzorcima prometa. [11]

Dimenzije kompleksnosti vanjskih ograničenja također utječu na kompleksnost prometa iako njihov utjecaj nije uvijek moguće definirati. Utjecaj vojnog zračnog prometa uzima se u obzir jer ima indirektan utjecaj na indikatore prometnih karakteristika, a pogotovo na prilagođenu gustoću. Određeni izvanredni događaji koji nisu ovom prilikom uzeti u izračun također mogu utjecati na kompleksnost, jednako kao i varijabilnost prometa i nepovoljne vremenske prilike. Usprkos navedenim događajima, njihov utjecaj na prosječnu kompleksnost tokom godine je zanemariv.[11]

4.3. Čelije

Za izračun kompleksnosti koji koristi program NEST koristi se prostorni (dx , dy i dz) i vremenski (dt) parametri ćelija koji su prikazani na slici 9. Dimenzije takve 4D ćelije su 20 NM x 20 NM x 3000 ft. Čelije ovakvih dimenzija definitivno su bolje za ovako kompleksne i precizne izračune pošto se bolje podudaraju s granicama ACC-a nego ćelije većih dimenzija. [11]



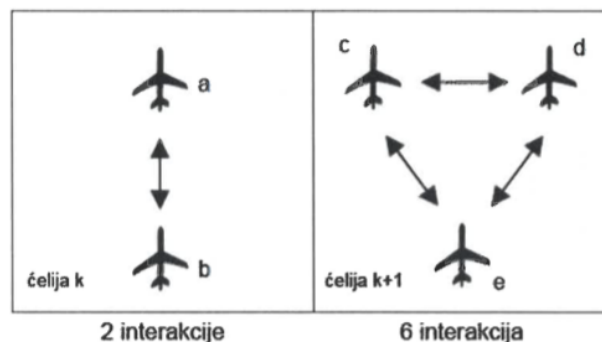
Slika 9. Dimenzije ćelije korištene u analizi kompleksnosti [11]

Vremenski period promatranja podataka o prometu unutar svake ćelije je 60 minuta. Obzirom na tu činjenicu, kreiraju se 24 seta podataka za svaku ćeliju, odnosno za svaki sat tokom vremenskog period od jednog dana. Prilikom izračuna prvi korak što program čini je određivanje pripadnosti ćelije pojedinog ANSP-u, odnosno ACC-u. Za jedan ANSP kreira se

jedna ćelija. Ćelije koje zahvaćaju granice zračnog prostora dodjeljuju se uvijek onom ANSP-u u čiji prostor spada centralna točka pripadajuće ćelije. Nakon određivanja pripadnosti ćelija određenom ANSP-u, odnosno ACC-u računaju se podatci, odnosno indikatori kompleksnosti zračnog prometa. Potrebno je smanjiti utjecaj granica na mrežu za koju se obavljaju izračuni, iz tog razloga se koristi 12 mreža za izračun. Postoje četiri horizontalna pomaka mreže i veličina pomaka kombinacija je između 0 i 10 NM po x i y dimenziji. Također postoji i 3 vertikalna pomaka 3 puta po 1000 ft jer su vertikalno ćelije visoke 3000 ft. Vertikalni pomaci započinju na visini od 8 500 ft, tj. razina leta FL85 i nastavljaju se do 41 500 ft, odnosno FL415. Konačni se rezultati prikazuju kao prosjek vrijednosti svih 12 mreža. [11]

4.4. Interakcije

Međusobne interakcije zrakoplova su izvor cjelokupne kompleksnosti, pošto sama prisutnost više zrakoplova u isto vrijeme u istom prostoru samo po sebi stvara kompleksnost. Posebno je to slučaj kada ti isti zrakoplovi imaju različite pravce kretanja, u različitim su fazama leta ili imaju različite brzine kretanja. Na slici 10. prikazano je više zrakoplova u međusobnoj interakciji u jednoj ćeliji. Svaka interakcija računa se samo za dva zrakoplova, na način da se interakcija računa iz perspektive svakog zrakoplova. Vođeni time na zornom prikazu vidljivo je kako se u ćeliji k nalaze dva zrakoplova i time imamo dvije interakcije, dok u ćeliji označenom k+1 imam tri zrakoplova, a samim time i šest interakcija. [11]



Slika 10. Prikaz interakcija zrakoplova u ćeliji [11]

Ono što je važno kod izračuna kompleksnosti i što se promatra je vrijeme koje je zrakoplov proveo u ćeliji tijekom izabranog sata. Također, cilj prikaza indikatora kompleksnosti nije stvaran broj interakcija zrakoplova, već samo vjerojatnost potencijalnih interakcija za zadani protok zračnog prometa. [11]

Očekivano trajanje jedne interakcije računa se na način da se vrijeme koje je svaki zrakoplov proveo unutar ćelije međusobno pomnoži. Pa tako ako je svaki zrakoplov unutar ćelije proveo 5 minuta, izraženo u satima to je 1/12 sati. Elementarnom operacijom množenja dolazimo do izračuna da je trajanje jedne interakcije između ta dva zrakoplova 1/144 sati odnosno 0,0064 sati, pretvoreno u minute to je 0,4 minute. [11]

U konkretnom slučaju s prikaza sa slike 10, u ćeliji k imamo dva zrakoplova i dvije interakcije. Pošto je trajanje jedne interakcije 0,0064 sati, tada će trajanje dvije interakcije biti 2 x 0,64 i time će trajanje interakcije u toj ćeliji iznositi 0,0128 sati. U slučaju ćelije k+1 imam


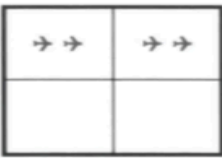
3 zrakoplova i šest interakcije, te će time ukupno trajanje interakcija u toj ćeliji iznositi $6 \times 0,0064 = 0,0384$ sati. [11]

4.5. Prilagođena gustoća

Prilagođena gustoća je još pogodniji indikator od uobičajene gustoće. Općenito govoreći gustoća zračnog prometa je mjera koja kazuje kolika količina prometa se nalazi unutar zadanog volumena tijekom zadanog vremenskog perioda. Prilagođena gustoća (eng. *Adjusted density*) definira se kao omjer sati interakcija (eng. *Hours of Interactions*) i sati leta (eng. *Flight Hours*). [11]

Broj sati interakcija dobiva se tako da se zbroje se ukupne interakcije unutar promatrane ćelije. Program NEST svaku pojedinu interakciju računa za svaki par zrakoplova. I nakon što se sumirani broj sati interakcija podijeli s ukupni satima leta dobiva se indikator kompleksnosti zračnog prometa. U Europi on iznosi cca. 0,11 sati interakcija po satu leta. Ova vrsta gustoće prometa se naziva „prilagođenom“ iz razloga što ćelije bez letova ne doprinose rezultatima izračuna, jer ne sadrže niti interakcije niti sate leta. U slučaju postojanja ćelija sa samo jednom letom, ta ćelija ne sadrži interakciju, no sadrži sate leta i doprinosi istima. Samim time je bolje prikazan raspored zrakoplova u krajnjem izračunu. [11]

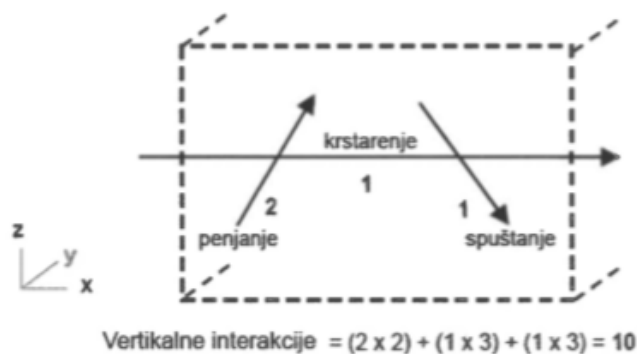
Na slici 11. prikazan je izračun prilagođene gustoće za dva različita slučaja. U prvom slučaju u odnosu na drugi broj zrakoplova dvostruko je veći i time je i broj interakcija i broj sati dvostruko veći. Prilagođena gustoća je u oba slučaja identična, što je pokazatelj koliko se precizniji rezultati mogu dobiti kada se koristi prilagođena gustoća u izračunu. Ona u konačnici opisuje gustoću koju doživljava sami zrakoplov i samim time je izračun kompleksnosti precizniji. [11]

		
Centar 1	Centar 2	
$2+2+2+2=8$	Broj interakcija	$2+2=4$
Prilagođena gustoća = sati interakcija / sati leta		
$8 \times \frac{1}{400} = 0.02$	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 11. Izračun indikatora kompleksnosti prilagođene gustoće [11]

4.6. Vertikalne interakcije

Indikator kompleksnosti za vertikalno različite protoke u interakciji (eng. *Vertical Different Interacting Flows – VDIF*) mjera je koja se koristi kada dolazi do interakcija letova u različitim fazama leta. Izražava se kao potencijalna vertikalna interakcija izražena u satima po satu leta. Dva zrakoplova u istoj ćeliji su u vertikalnoj interakciji kada su u različitim fazama leta. To uključuje zrakoplove u fazi penjanja i spuštanja te zrakoplove u krstarenju. Pritom valja obratiti pozornost da svaki zrakoplov čija se brzina poniranja i/ili spuštanja manja od 500 ft/min se smatra da je u fazi krstarenja. Faza u kojoj se zrakoplov nalazi se definira u trenutku kada zrakoplov ulazu u promatranu ćeliju. [11]



Slika 12. Prikaz vertikalnih interakcija [11]

Na konkretnom primjeru na slici 12. prikazan je slučaj vertikalnih interakcija. Prikazane interakcije su samo pretpostavka pošto može doći do slučaja da zrakoplovi u isto vrijeme nisu bili u ćelijama čime ne bi moglo doći do međusobnih interakcija. Na prikazu se nalaze četiri zrakoplova. Dva zrakoplova su u penjanju, jedan je u fazi krstarenja, a četvrti u spuštanju. Zrakoplov koji je u penjanju je u interakciji sa zrakoplovom u krstarenju i zrakoplovom u spuštanju, no nije s drugim zrakoplovom u spuštanju i time imamo $2 \times 2 = 4$ interakcije. Zrakoplov koji je u krstarenju je u interakciji s oba zrakoplova u penjanju i zrakoplovom koji je u spuštanju i time imamo $1 \times 3 = 3$ interakcije, a istom logikom računamo i broj interakcija za zrakoplov u spuštanju. Zrakoplov koji je u spuštanju u interakciji je sa zrakoplovom u krstarenju i zrakoplovima u penjanju i time imam $1 \times 3 = 3$ interakcija. Sumiranjem broja interakcija dolazimo do izračuna da za ova četiri zrakoplova u ćeliji imamo 10 interakcija u toj ćeliji. U slučaju da su svi zrakoplovi u istoj fazi leta tada ne bi postojala niti jedna vertikalna interakcija. [11]

Ako opet polazimo od pretpostavke da je svaki zrakoplov u ćeliji proveo 5 minuta, vrlo lako možemo izračunati trajanje jedne interakcije, a to je $1/12$ sata \times $1/12$ sata, što ukupno iznosi $1/144$ sata, tj. 0,0064 sata trajanje jedne interakcije. Kako bismo dobili ukupni trajanje vertikalnih interakcija unutar promatrane ćelije, moramo broj interakcija (10) pomnožiti vremenom trajanja jedne interakcije (0,0064 sati) i time dolazimo do ukupno trajanja od 0,064 sati. [11]

Program NEST VDIF indikator računa na način da zbroji potencijalno trajanje svih interakcija u svim ćelijama unutar odabranog ANSP-a/ACC-a te podijeli s sumiranim brojem sati leta. Na razini Europe to je cca. 0,03 sata vertikalnih interakcija po satu leta. [11]

4.7. Horizontalne interakcije

Indikator HDIF (eng. *Horizontal Different Interacting Flows*) je mjera kompleksnosti za zrakoplove koji se u isto vrijeme nalaze u istoj promatranoj ćeliji no imaju različite pravce leta. Izražen je kao trajanje potencijalne horizontalne interakcije, izražene u satima, po satu leta. Promatra se kurs leta (eng. *Heading*) zrakoplova u trenutku kada je ušao u promatranu ćeliju. Jednom interakcijom smatra se kada dva zrakoplova koji su u potencijalnoj horizontalnoj interakciji imaju razliku kursa leta za više od 20 stupnjeva. Za ovaj indikator kompleksnosti nisu bitne faze letenja u kojima se zrakoplovi nalaze, već su bitne razlike *Heading-a* između zrakoplova kako bi se mogao utvrditi broj interakcija. Konkretna situacija je prikazana na slici 13. [11]



Slika 13. Horizontalne interakcije za izračun indikatora kompleksnosti [11]

Kut između pravca leta zrakoplova **a** i zrakoplova **b** je 0 stupnjeva, a samim time i manji od 20 stupnjeva i time ta dva zrakoplova nisu u horizontalnoj interakciji. Dok je primjerice kut između pravca leta zrakoplova **a** i pravca leta zrakoplova **c** veći od 20 stupnjeva i time su ta dva zrakoplova u međusobnoj horizontalnoj interakciji. Samo kod promatranja zrakoplova **a** lako je uočljivo da je taj zrakoplov u interakciji s još 3 zrakoplova i samim time postoje 3 interakcije za taj zrakoplov. Kada se proračunaju sve potencijalne interakcije dolazimo do ukupnog broja od 18 interakcija u promatranoj ćeliji. [11]

Kao i kod VDIF indikatora potrebno je izračunati ukupno očekivano trajanje interakcija. Ponovno uz pretpostavku da je svaki zrakoplov proveo u ćeliji 5 minuta, trajanje jedne interakcije iznosi 0,0064 sati, i ukupno trajanje horizontalnih interakcija u ćeliji će iznositi $18 \times 0,0064$ sati = 0,1152 sati. [11]

Kako bi se dobio HDIF indikator kompleksnosti potrebno je očekivano ukupno trajanje interakcija u ćeliji podijeliti s brojem sati leta u toj ćeliji. Za Europu indikator horizontalnih interakcija po satu leta iznosi cca. 0,05 sati.[11]

4.8. Interakcije brzine

Mjera kompleksnosti između zrakoplova s različitim brzinama naziva se SDIF (eng. *Speed Different Interacting Flows*), odnosno protoci u interakciji zbog različitih brzina. Izražava se u trajanju potencijalnih interakcija brzine, izraženo u satima, po satu leta. Da bi interakcija brzine bila zamijećena mora postojati razlika u brzinama zrakoplova veća od 35 čvorova (eng. *kts*, svaku interakciju gdje postoji razlika brzine manja od 35 čvorova ne klasificira se kao interakcija brzine. [11]

Za točan i precizan izračun potrebna je brzina zrakoplova na toj visini obzirom na njegove performanse, odnosno tip zrakoplova. Svi podatci o performansama zrakoplova nalaze se u BADA-i (eng. *Base of Aircraft Data*). BADA je EUROCONTROL-ova baza podataka u kojoj se nalaze podatci o performansama zrakoplova za 294 različitih tipova zrakoplova. Radi pojednostavljenja gleda se samo ona brzina zrakoplova koju je isti postigao na određenoj visini u središtu ćelije. Kako i kod prethodna dva indikatora, SDIF se računa tako da se ukupni sati interakcija brzine podijele s satima leta. Za Europu SDIF vrijednost je cca. 0,03 sata interakcije brzine po satu leta. [11]

4.9. Rezultat kompleksnosti

Kompleksnost zračnog prometa je vrlo širok pojam i može se promatrati iz raznih kuteva gledišta. Ukupna kompleksnost zračnog prometa može se izraziti jednim ukupnim brojem koji predstavlja rezultat kompleksnosti. Ukupna kompleksnost se može raščlaniti na individualne indikatore te se svaki može interpretirati na različit način. [11]

Dva zračna prostora mogu imati iste ukupne rezultate kompleksnosti, no to ne znači da su jednako kompleksni. To ne znači da su individualni indikatori kompleksnosti za ta dva zračna prostora jedna. Na jedan zračni prostor je više mogla utjecati struktura prometnih tokova (DIF indikatori) dok je primjerice na drugi veći utjecaj imao volumen prometa (prilagođena gustoća). [11]

Svi DIF indikatori (VDIF, HDIF i SDIF) povezani su s prilagođenom gustoćom iz razloga što prilagođena gustoća sadrži sve vrste spomenutih interakcija, i vertikalne i horizontalne i interakcije brzine. Uz standardne DIF indikatore postoje i relativni DIF indikatori pomoću kojih se mogu otkloniti korelacije s prilagođenom gustoćom. Relativni DIF indikatori (r_{VDIF} , r_{HDIF} , r_{SDIF}) dobivaju se dijeljenjem indikatora interakcije s prilagođenom gustoćom. [11]

Spomenutim formulama dobivaju se vrijednosti koje se mogu interpretirati i kao postotak interakcija koje su vertikalne, horizontalne i/ili interakcije brzine. Jedna interakcija prilagođene gustoće može pripadati i vertikalnim i horizontalnim i interakcijama brzine zbog različitih faza leta u kojima se zrakoplovi koji su u interakciji mogu nalaziti. Iz navedenog razloga maksimalan broj postotaka relativnih DIF indikatora kompleksnosti može biti 300% kada bi svaka od interakcija bila zadovoljena. [11]

4.10. Strukturalni indeks

Na ukupni rezultat kompleksnosti utječu struktura tokova prometa i prometni volumen. Kod korištenja relativnih DIF indikatora moguće je točno segregirati strukturu prometnih tokova i prometni volumen. Prilagođena gustoća usko je povezana s relativnim DIF indikatorima te time odražava prometni volumen, dok strukturalni indeks odražava strukturu prometnih tokova. Strukturalni indeks se računa prema sljedećoj formuli:[11]

$$\text{Strukturalni indeks} = r_{VDIF} + r_{HDIF} + r_{SDIF} \quad [11]$$

Kao što je već spomenuti i prethodnim poglavljima oba aspekta: struktura prometnih tokova i prometni volumen utječu na ukupnu kompleksnost zračnog prometa, te se time ukupni rezultat kompleksnosti računa umnoškom prilagođene gustoće i strukturalnog indeksa:[11]

$$\text{Ukupna kompleksnost} = \text{prilagođena gustoća} \times \text{strukturalni indeks} \quad [11]$$

Za europski zračni prostor vrijednost rezultata kompleksnosti je cca. 0,10. [11]

Dodavanje određenog težinskog faktora svakom indikatoru kompleksnosti nažalost do današnjeg dana nije zaživjelo. Ta unifikacija nije implementirana iz razloga što nije primjenjivo na svaki zračni prostor, pošto ni svaki zračni promet nije isti niti ima istu gustoću prometa i strukturu rutne mreže i sl. U slučajevima kada su uspoređivani nepromijenjeni indikatori i indikatori kojima je dodan težinski faktor, dolazilo se do istih rezultata. Jedna od ideja je bila da se normizira sustav indikatora kompleksnosti zračnog prometa, pa bi tako npr. određeni zračnog prostor imao ukupnu vrijednost kompleksnosti jednaku 1, a drugi npr. 1,50 što bi značilo da je drugi kompleksniji za 50%. Takav sustav normizacije nije trenutno primjenjiv. [11]

4.11. Indikatori kompleksnosti

Iz studije [11] proizašla četiri glavna indikatora kompleksnosti prikazana u tablici 5.

Tablica 5. Indikatori kompleksnosti sukladno PRU studiji [11]

Dimenzija kompleksnosti	Indikator	Opis
Gustoća prometa	Prilagođena gustoća	Mjera potencijalnog broja interakcija između zrakoplova u promatranom volumenu zračnog prostora
Promet u evoluciji	Vertikalne interakcije (VDIF)	Interakcije zrakoplova u penjanju, krstarenju i spuštanju
Struktura protoka	Horizontalne interakcije (HDIF)	Mjera potencijalnih interakcija temeljena na pravcima kretanja zrakoplova
Mješavina prometa	Interakcije brzine (SDIF)	Potencijalne interakcije temeljene na brzinama zrakoplova

Indikatori prikazani u gore spomenutoj tablici donose egzaktno rezultate kada u obzir uzmemo istovremenu prisutnost zrakoplova u ćeliji obujma 20 NM x 20 NM x 3000 ft. Polazeći od činjenice da su međusobne interakcije zrakoplova, te da je prisutnost nekoliko zrakoplova na istom području istovremeno ono što zapravo je kompleksnost, posebice kada su ti zrakoplovi u različitim fazama leta, imaju različite performanse/brzine i imaju različite pravce leta, važno je tada sagledati širu sliku kompleksnosti. To se odnosi na to da indikatori nisu fokusirani na stvarne interakcije, već na potencijalne interakcije u razdoblju od jednog sata. [11]

4.12. Softver NEST

NEST je simulacijski alat koji je razvijen radi planiranja kapaciteta mreža i dizajna zračnog prostora te je nastao spajanjem dvaju prethodnih alata – SAAM (*System for Traffic Assignment and Analysis at a Macroscopic Level*) i NEVAC (*The Network Estimation and Visualisation of ACC Capacity*). NEST simulacijski alat se temelji na modeliranju scenarija kojeg koristi Network Manager, pružatelji zrakoplovnih usluga i ostali relevantni sudionici za: dizajniranje strukture zračnog prostora, planiranje kapaciteta, analize operacija, organiziranje prometnog protoka, pripremanje scenarija i ad-hoc studija. [12]

4.12.1. Kompleksnost u NEST softveru

Vrijednosti indikatora kompleksnosti zračnog prometa u NEST-u mogu se dobiti za izabrani sektor, volumen prometa ili ACC, kao i za bilo koji tip putanje i za bilo koju filtriranu listu letova. [12]

Svi individualni indikatori koji se mogu generirati za spomenute filtere u NEST-u su:

- Prosječna udaljenost preleta po letu
- Prosječno vrijeme preleta po letu
- Prosječan broj promjene visine
- Postotak letova u penjanju/krstarenju/spuštanju
- Postotak zrakoplova ovisno o WTC-i
- Prosječan broj ulazaka po satu [12]

Vrijeme koje je zadano tokom promatranja je cijeli dan od 00:00 do 24:00 sata, ukoliko se radi o izvlačenju statistike kompleksnosti zračnog prometa, no postoji mogućnost podešavanja parametara da se rezultati kompleksnosti prezentiraju u tablici po satu. [12]

4.12.2. Datoteka s rezultatima

Za traženi dan nakon provedbe analize podatci se spremaju u obliku excel tablice te su indikatori kompleksnosti grupirani po razinama leta i ACC-ovima. Indikatoru su dostupni za zadani ACC za svaku razinu leta te započinju s prosječnom visinom na kojoj je došlo do interakcije letova unutar ACC prostora, najčešće je to FL100. [12]

Excel datoteka sadrži sljedeće parametre poredane u stupcima:

- UNIT_CODE – ID (identifikacija) ACC prostora
- FL – razina leta (eng. Flight Level)
- TIME – vrijeme u danu
- FT – broj sati leta (eng. Flight Hours)
- DH – vertikalna udaljenost u ćeliji
- TX – sati interakcija
- TXH – sati horizontalnih interakcija
- TXV – sati vertikalnih interakcija
- TXS – sati interakcija brzine
- N – broj obrađenih letova
- NCELL – ukupan broja aktivnih ćelija podijeljen s ukupnim brojem pomaknute mreže [12]

4.12.3. Završni indikatori kompleksnosti

Prilagođenu gustoću, RVdif i RHdif nije moguće izračunati pomoću NEST programa već ih je potrebno ručno izračunati. Prednost ovakvog načina izračuna je što se osobi koji vrši izračun daje na slobodi izbora koje će podatke uzeti u obzir za konačni rezultat kompleksnosti. [11]

Formule potrebne za izračun prikazane su u nastavku: [11]

$$\text{Prilagođena gustoća} = \frac{\sum_{dani} \sum_{ćelije} D_k}{\sum_{dani} \sum_{ćelije} T_k}$$

$$* D_k^{14} = \sum_{i \in \text{ćelija}_k} \left(\sum_{\substack{j \in \text{ćelija}_k \\ i \neq j}} t_i * t_j \right)$$

$$* T_k^{15} = \sum_{i \in \text{ćelija}_k} t_i$$

$$RVdif = \frac{\sum_{dani} \sum_{ćelije} V_k}{\sum_{dani} \sum_{ćelije} T_k}$$

$$V_k^{16} = \sum_{i \in \text{ćelija}_k} \left(\sum_{\substack{j \in \text{ćelija}_k, \\ i \text{ i } j \text{ imaju različite visine}}} t_i * t_j \right)$$

$$RHdif = \frac{\sum_{dani} \sum_{ćelije} H_k}{\sum_{dani} \sum_{ćelije} T_k}$$

$$H_k^{17} = \sum_{i \in \text{ćelija}_k} \left(\sum_{\substack{j \in \text{ćelija}_k, \\ i \text{ i } j \text{ imaju različite heading-e}}} t_i * t_j \right)$$

$$RSdif = \frac{\sum_{dani} \sum_{ćelije} S_k}{\sum_{dani} \sum_{ćelije} T_k}$$

$$S_k^{18} = \sum_{i \in \text{ćelija}_k} \left(\sum_{\substack{j \in \text{ćelija}_k, \\ i \text{ i } j \text{ imaju različite brzine}}} t_i * t_j \right)$$

$$\text{Strukturalni indeks} = r_{VDIF} + r_{HDIF} + r_{SDIF}$$

$$\text{Ukupna kompleksnost} = \text{prilagođena gustoća} \times \text{strukturalni indeks}$$

¹⁴ D_k - očekivano trajanje potencijalnih interakcija izraženo u satima u ćeliji (TX)

¹⁵ T_k - ukupno vrijeme letenja u ćeliji u jednom satu (FT)

¹⁶ V_k - broj sati vertikalnih interakcija (TXV)

¹⁷ H_k - broj sati horizontalnih interakcija u ćeliji (TXH)

¹⁸ S_k - broj interakcija brzina (TXS)

Pomoću ovog PRU modela dobiveni rezultati mogu neznatno odstupati od službenih rezultata. Službena PRU (*Performance Review Unit*) jedinica ima svoj zračni promet, zračni prostor i BADA bazu podataka te se njihovi službeni rezultati izražavaju u minutama interakcije po kompleksnom satu leta, te se rezultati uzimaju u obzir cijelu godinu. Konačni rezultati kompleksnosti izračunate pomoći gore navedenih formula izražene su u satima interakcija po kompleksnom satu leta i stoga je moguće dobiti izračunate podatke koji se mogu usporediti i validirati sa službenim rezultatima tako da se kompleksnost pomnoži s brojem 60 kako bi se dobili relevantni podatci o ukupnoj kompleksnosti zračnog prometa. [11]

4.12.4. Izračun kompleksnosti i odabir parametara

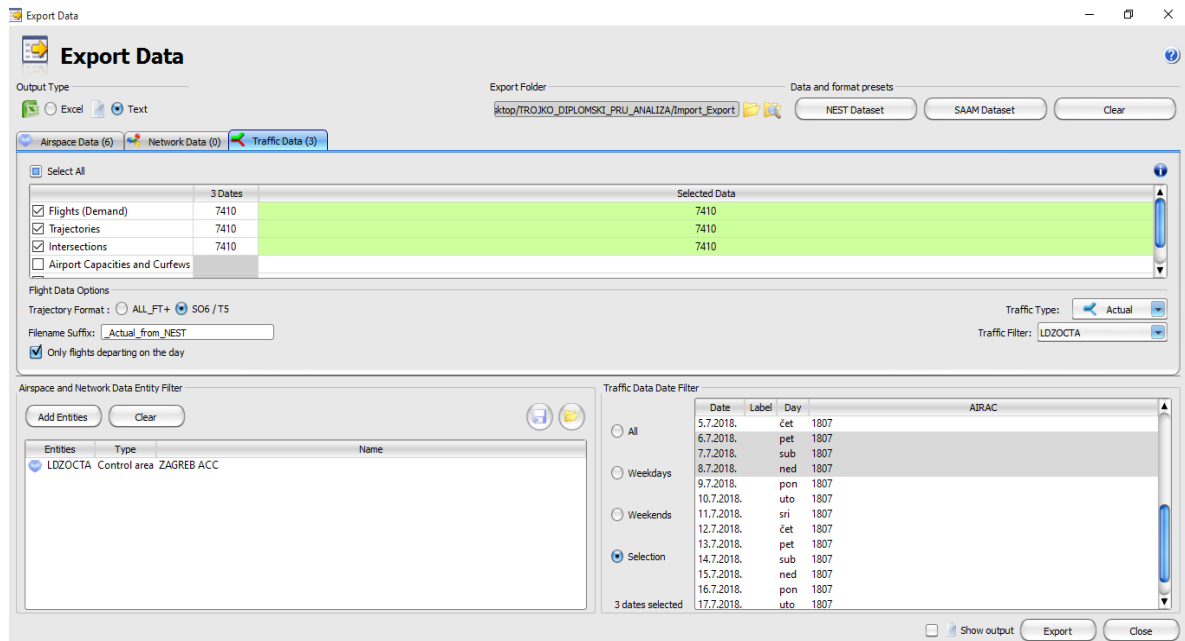
Obzirom da je cilj ovog diplomskog istraživanja analizirati i usporediti kompleksnost zračnog prometa država članica SECSI FRA zajedničkog prostora. Prvi korak k tome je bio kreirati pomoću naredbe u NEST-u protok zračnog prometa za svaku državu članicu, kako bi program filtrirao samo promet koji je prošao kroz pojedinu državu članicu. Odabir naredbi prikazana je u dijagramu toka na slici 14.



Slika 14. Dijagram toga odabira naredbi u NEST-u

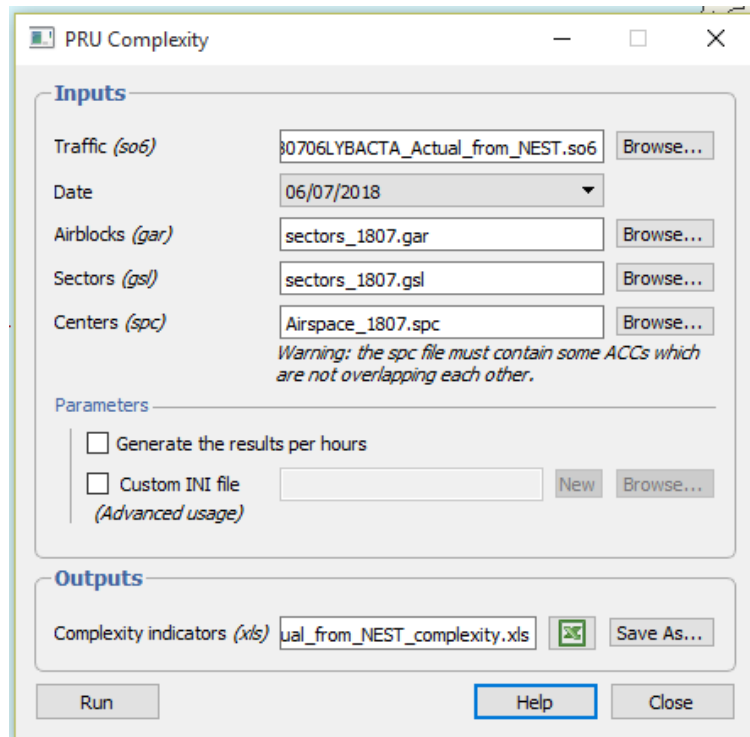
Daljnji korak nakon kreiranja filtera je bio izvući potrebne podatke za PRU analizu kompleksnosti putem funkcije *Export Data*. Bilo je potrebno izvući podatke o prometu, putanjama, intersekcijama, zračnom prostoru, zračnim blokovima i sektorima u valjanim tipovima podataka koji će se u sljedećem koraku unositi u sučelje za PRU kompleksnost.

Na slici 15. prikazano je sučelje za izvlačenje podataka te koje je sve podatke o zračnom prometu i prostoru bilo potrebno izvući za analizu. Na sučelju se vidi mogućnost odabira formata u kojem želimo spremiti podatke, moguć je odabir vrste podataka koju želimo izdvojiti, odabir zračnog prostora, perioda koji promatramo, vrste prometa, itd.



Slika 15. Izvlačenje podataka o prometu [15]

Sljedeći korak je pomoću naredbi Analysis -> PRU Complexity otvoriti korisnički prozor u kojem se unose traženi podatci o zračnom prometu i prostoru potrebni za analizu kompleksnosti. Nakon izvršenja analize podatci se spremaju u excel tablicu na računalo. Na slici 17. prikazano je korisničko sučelje PRU analize kompleksnosti gdje se odabire datoteka u formatu .so6 koja sadrži podatke o prometu, te se odabiru i datoteke koje sadrže podatke o blokovima zračnog prostora i sektorima u formatima .gar, .gsl i .spc. Na kraju se u sučelju odabere način spremanja izlaznih podataka.



Slika 16. Korisničko sučelje PRU analize kompleksnosti [15]

5. Određivanje i analiza indikatora kompleksnosti po zemljama SECSI FRA zračnog prostora koristeći NEST softversko rješenje

Određivanje indikatora kompleksnosti te ukupne kompleksnosti zračnog prometa unutar država članica SECSI FRA provedeno je u dva koraka, točnije dvije analize i međusobne usporedbe.

Provedene su dvije analize kompleksnosti zračnog prometa i odabranih indikatora kompleksnosti zračnog prometa koristeći NEST program kako slijedi:

1. ANALIZA -> Analiza konačnih rezultata kompleksnosti za pojedinu državu članicu SECSI FRA i usporedba sa službenim rezultatima kompleksnosti prema PRR 2018.
2. ANALIZA -> Analiza izdvojenih indikatora kompleksnosti i međusobna usporedba s državama članicama SECSI FRA – analiza izrađena kronološki na temelju implementacije SAXFRA, SEAFRA i potom u konačnici SECSI FRA zajedničkog zračnog prostora.

Za prvu analizu zračni promet koji je korišten je stvarni zračni promet svake od pojedinih ACC-ova/ANSP-ova koji je prošao kroz pojedini zračni prostor. Metoda korištena u ovoj analizi je PRU metoda izračuna kompleksnosti u programu NEST. U drugoj metodi rađena je kronološka analiza na temelju implementacije SECSI FRA zajedničkog zračnog prostora. U ovoj analizi korišten je planirani promet posebno filtriran kroz simulirani SECSI FRA zračni prostor.

5.1. Prva analiza

U prvoj analizi kako je objašnjeno u prethodnom koraku izrađena je analiza kompleksnosti zračnog prometa koristeći PRU metodu koju koristi program NEST. Unutar AIRAC ciklusa 1807 koji sadrži sve prometne podatke od 21. lipnja 2018. do 18. srpnja 2018. Za svaki ANSP odnosno ACC izabrana su tri dana u unaprijed odabranom tjednu za analizu. Izabrani su dani petak 6. srpnja 2018., subota 7. srpnja 2018. i nedjelja 8. srpnja 2018. Zbog kompleksnosti izrade analize odabrana su samo 3 dana iz već spomenutog tjedna, te i iz razloga što su petak i subota dani u tjednu kada je najveći broj zrakoplova u preletu, a nedjeljom promet pada te je konačne rezultate lakše usporediti.

Ovom analizom kompleksnosti zračnog prometa moguće je dobiti sve relevantne podatke, odnosno indikatore kompleksnosti opisane u prethodnom poglavlju koji prikazuju kompleksnost zračnog prometa u odabranim zračnim prostorima. Ti podatci su potrebni za krajnju usporedbu s relevantnim, službenim podacima za kompleksnost zračnog prometa objavljenim u PRR (*Performance Review Report*) iz 2018. godine koji EUROCONTROL objavljuje svake godine. [13]

Podatci zajedno s indikatorima kompleksnosti koji se dobiju u excel tablici PRU analizom su, a važni su za daljnju analizu konačnih indikatora kompleksnosti su:

- FL – razina leta
- FT – broj sati leta
- TX – broj sati interakcija
- TXH – broja sati horizontalnih interakcija
- TXV – broj sati vertikalnih interakcija
- TXS – broj sati interakcija brzine [15]

Na temelju dobivenih podataka i koristeći već spomenute formule iz prethodnog poglavlja moguće je izračunati indikatore kompleksnosti kao što su indikatori kompleksnosti vertikalnih, horizontalnih i brzinskih interakcija te relativne indikatore koji su usko povezani s prilagođenom gustoćom i strukturalnim indeksom. Svi navedeni indikatori sačinjavaju ukupnu kompleksnost koja je izražena u satima interakcija po kompleksnom satu leta. Da bismo dobili konačne rezultate koji su usporedivi s mjerodavnim rezultatima iz PRR-a svi rezultati kompleksnosti su pomnoženi s brojem 60. [11]

5.1.1. LDZOCTA

U tablici broj 6. (Tablica 6.) prikazani su sirovi podatci, odnosno parametri za izračun kompleksnosti u ACC-u Zagreb, odnosno LDZOCTA kontrolirano područje.

Tablica 6. Parametri za izračun indikatora kompleksnosti za ACC LDZOCTA

DATUM	FT	TX	TXH	TXV	TXS
06/07/2018	9180,98	1552,72	1077,44	150,07	117,61
07/07/2018	10724,98	1882,18	1275,55	210,4	140,55
08/07/2018	10253,6	1859,99	1226,85	176,97	150,45

Uvrštavanjem dobivenih parametara dobivamo rezultate indikatora kompleksnosti zračnog prometa za promatrani period u LDZOCTA. Rezultati su prikazani u tablici 7.

Tablica 7. Indikatori kompleksnosti zračnog prometa u zračnom prostoru ACC-a LDZOCTA

Indikatori kompleksnosti	06/07/2018	07/07/2018	08/07/2018
<i>Prilagođena gustoća</i>	0,169	0,176	0,181
VDIF	0,016	0,020	0,017
HDIF	0,117	0,119	0,120
SDIF	0,013	0,013	0,015
r_VDIF	0,097	0,112	0,095
r_HDIF	0,694	0,678	0,660
r_SDIF	0,076	0,075	0,081
<i>Strukturalni indeks</i>	0,866	0,864	0,836
<i>Rezultat kompleksnosti</i>	0,147	0,152	0,152
<i>Konačni rezultat kompleksnosti</i>	8,790	9,102	9,096

5.1.2. LOVVCTA

U tablici broj 8. prikazani su sirovi podatci, odnosno parametri za izračun kompleksnosti u ACC-u Beč, odnosno LOVVCTA kontrolirano područje.

Tablica 8. Parametri za izračun indikatora kompleksnosti za ACC LOVVCTA

DATUM	FT	TX	TXH	TXV	TXS
06/07/2018	9685,09	1948,68	1264,28	363,35	194,24
07/07/2018	9718,41	2044,99	1365,37	342,54	163,83
08/07/2018	9939,76	2957,36	1372,73	357,96	218,58

Uvrštavanjem dobivenih parametara dobivamo rezultate indikatora kompleksnosti zračnog prometa za promatrani period u LOVVCTA. Rezultati su prikazani u tablici broj 9.

Tablica 9. Indikatori kompleksnosti zračnog prometa u zračnom prostoru ACC-a LOVVCTA

Indikatori kompleksnosti	06/07/2018	07/07/2018	08/07/2018
<i>Prilagođena gustoća</i>	0,201	0,201	0,298
VDIF	0,038	0,035	0,036
HDIF	0,131	0,141	0,138
SDIF	0,020	0,017	0,022
r_VDIF	0,187	0,168	0,121
r_HDIF	0,649	0,668	0,464
r_SDIF	0,100	0,080	0,074
<i>Strukturalni indeks</i>	0,935	0,915	0,659
<i>Rezultat kompleksnosti</i>	0,188	0,193	0,196
<i>Konačni rezultat kompleksnosti</i>	11,286	11,556	11,766

5.1.3. LJLACTA

U tablici broj 10. prikazani su sirovi podatci, odnosno parametri za izračun kompleksnosti u ACC-u Ljubljana, odnosno LJLACTA kontrolirano područje.

Tablica 10. Parametri za izračun indikatora kompleksnosti za ACC LJLACTA

DATUM	FT	TX	TXH	TXV	TXS
06/07/2018	2369,97	494,55	312,64	61,36	30,87
07/07/2018	2917,87	694,72	477,56	102,42	46,96
08/07/2018	2718,29	589,83	390,29	85,6	68,03

Uvrštavanjem dobivenih parametara dobivamo rezultate indikatora kompleksnosti zračnog prometa za promatrani period u LJLACTA. Rezultati su prikazani u tablici broj 11.

Tablica 11. Indikatori kompleksnosti zračnog prometa u zračnom prostoru ACC-a LJLACTA

Indikatori kompleksnosti	06/07/2018	07/07/2018	08/07/2018
<i>Prilagođena gustoća</i>	0,209	0,238	0,217
VDIF	0,026	0,035	0,031
HDIF	0,132	0,164	0,144
SDIF	0,013	0,016	0,025
r_VDIF	0,124	0,147	0,145
r_HDIF	0,632	0,687	0,662
r_SDIF	0,062	0,068	0,115
Strukturalni indeks	0,819	0,902	0,922
Rezultat kompleksnosti	0,171	0,215	0,200
Konačni rezultat kompleksnosti	10,250	12,892	12,006

5.1.4. LYBACTA

U tablici broj 12. prikazani su sirovi podatci, odnosno parametri za izračun kompleksnosti u ACC-u Beograd, odnosno LYBACTA kontrolirano područje.

Tablica 12. Parametri za izračun indikatora kompleksnosti za ACC LYBACTA

DATUM	FT	TX	TXH	TXV	TXS
06/07/2018	11079,15	2301,96	1423,14	169,85	136,54
07/07/2018	11286,59	2291,16	1458,41	178,78	91,12
08/07/2018	11784,13	2609,88	1584,9	173,39	104,83

Uvrštavanjem dobivenih parametara dobivamo rezultate indikatora kompleksnosti zračnog prometa za promatrani period u LYBACTA. Rezultati su prikazani u tablici 13.

Tablica 13. Indikatori kompleksnosti zračnog prometa u zračnom prostoru ACC-a LYBACTA

Indikatori kompleksnosti	06/07/2018	07/07/2018	08/07/2018
<i>Prilagođena gustoća</i>	0,208	0,203	0,221
VDIF	0,015	0,016	0,015
HDIF	0,128	0,129	0,134
SDIF	0,012	0,008	0,009
r_VDIF	0,074	0,078	0,066
r_HDIF	0,618	0,637	0,607
r_SDIF	0,059	0,040	0,040
<i>Strukturalni indeks</i>	0,751	0,754	0,714
<i>Rezultat kompleksnosti</i>	0,156	0,153	0,158
<i>Konačni rezultat kompleksnosti</i>	9,366	9,188	9,486

5.1.5. LQSBCTA

U tablici broj 14. prikazani su sirovi podatci, odnosno parametri za izračun kompleksnosti u ACC-u Sarajevo, odnosno LQSBCTA kontrolirano područje.

Tablica 14. Parametri za izračun indikatora kompleksnosti za ACC LQSBCTA

DATUM	FT	TX	TXH	TXV	TXS
06/07/2018	366,18	3,71	3,11	1,82	1,79
07/07/2018	308,36	3,48	1,73	1,68	1,21
08/07/2018	332,51	3,92	2,82	1,48	1,01

Uvrštavanjem dobivenih parametara dobivamo rezultate indikatora kompleksnosti zračnog prometa za promatrani period u LQSBCTA. Rezultati su prikazani u tablici broj 15. Konačni rezultat kompleksnosti je znatno manji od ostalih država članica što je svakako rezultat specifičnog bosansko-hercegovačkog pružatelja usluge kontrole zračne plovidbe. Kroz ACC LQSBCTA uglavnom prolaze zrakoplovi na nižim razinama leta, maksimalno do 32 000 stopa pošto BHANSA nema nadležnost na višim razinama leta iznad 32 500 stopa već taj gornji zračni prostor preuzimaju susjedni pružatelji usluge kontrole zračne plovidbe.

Tablica 15. Indikatori kompleksnosti zračnog prometa u zračnom prostoru ACC-a LQSBCTA

Indikatori kompleksnosti	06/07/2018	07/07/2018	08/07/2018
<i>Prilagođena gustoća</i>	0,0101	0,0113	0,0118
<i>VDIF</i>	0,0050	0,0054	0,0045
<i>HDIF</i>	0,0085	0,0056	0,0085
<i>SDIF</i>	0,0049	0,0039	0,0030
<i>r_VDIF</i>	0,4906	0,4828	0,3776
<i>r_HDIF</i>	0,8383	0,4971	0,7194
<i>r_SDIF</i>	0,4825	0,3477	0,2577
<i>Strukturalni indeks</i>	1,8113	1,3276	1,3546
<i>Rezultat kompleksnosti</i>	0,0184	0,0150	0,0160
<i>Konačni rezultat kompleksnosti</i>	1,1011	0,8989	0,9582

5.2. Druga analiza

Ova druga analiza bila je potaknuta razmišljanjem kakva je bila kompleksnost prije nego što je uopće i implementiran FRA, tj. SECSI FRA prostor, odnosno kako usporediti indikatore kompleksnosti zračnog prometa kada bismo simulirali određeni zračni promet na različitim zračnim prostorima, konkretnije na različitim rutnim podlogama. Obzirom na nebrojene mogućnosti NEST programa i veliki broj alata takva analiza je bila izvediva.

Za potrebe ove analize korištena su tri AIRAC ciklusa:

- 1607 – trajanje: 23.06.-2016. – 20.07.2017.
- 1702 – trajanje: 02.02.2017. – 01.03.2017.
- 1807 – trajanje: 21.06.2018. – 18.07.2018.

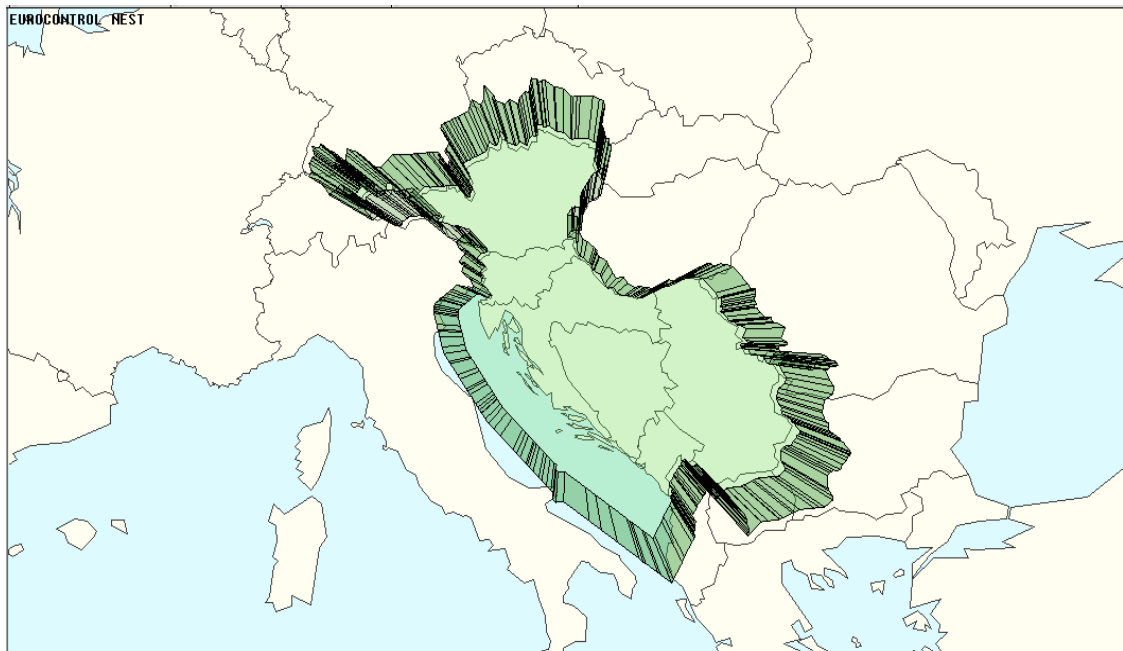
Referentni AIRAC ciklus je 1807 pošto su u tom AIRAC ciklusu sadržane informacije o zračnom prostoru i rutnoj mreži SECSI FRA te je moguće simulirati zračni promet iz ljetnog perioda 2018. koristeći novokreirani filter SECSI FRA i time će sve daljnje simulacije biti moguće usporediti s ovom referentnom simulacijom.

AIRAC ciklus 1607 je bitan u analizi iz razloga što je on iz perioda 2016. godine kada još uvijek nije implementiran niti jedan zračni prostor slobodnih ruta u potpunosti na području spomenutih država. Početak implementacija počeo je tek krajem 2016. godine, što je i spomenuto u jednom od prethodnih poglavlja, prvotno SAXFRA te potom i SEAFRA.

Iz tog razloga je za treću simulaciju putanja odabran AIRAC ciklus 1702 koji sadrži informacije u strukturi ruta, zračnom prostoru tada novo implementiranih zajedničkih zračnih prostora SAXFRA i SEAFRA, to taj ciklus još uvijek ne sadrži informacije o SECSI FRA zračnom prostoru, pošto je on implementiran početkom 2018. godine.

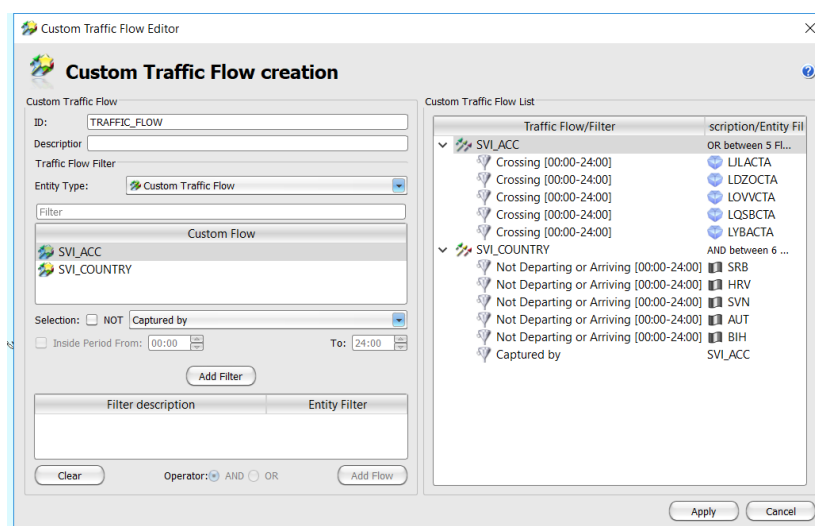
Prije provođenja simulacija bilo je potrebno definirati vrstu prometa koja će biti korištena u simulaciji putanja. Odabran je inicijalni promet, promet na temelju predanih planova leta, iz razloga što NEST-ov alat za simulaciju putanja zrakoplova uvijek traži najkraće moguće rute obzirom na zračni promet koji je uključen u simulaciju i obzirom na ostale postavljene parametre, kao što je rutna podloga, uključen filter i sl. Kod stvarnog zračnog prometa, actuala, rute već jesu najkraće.

Na slici 19. prikazan je kreirani zračni prostor SECSI FRA zajednički prostor na kojem će biti vršene simulacije putanja zrakoplova.



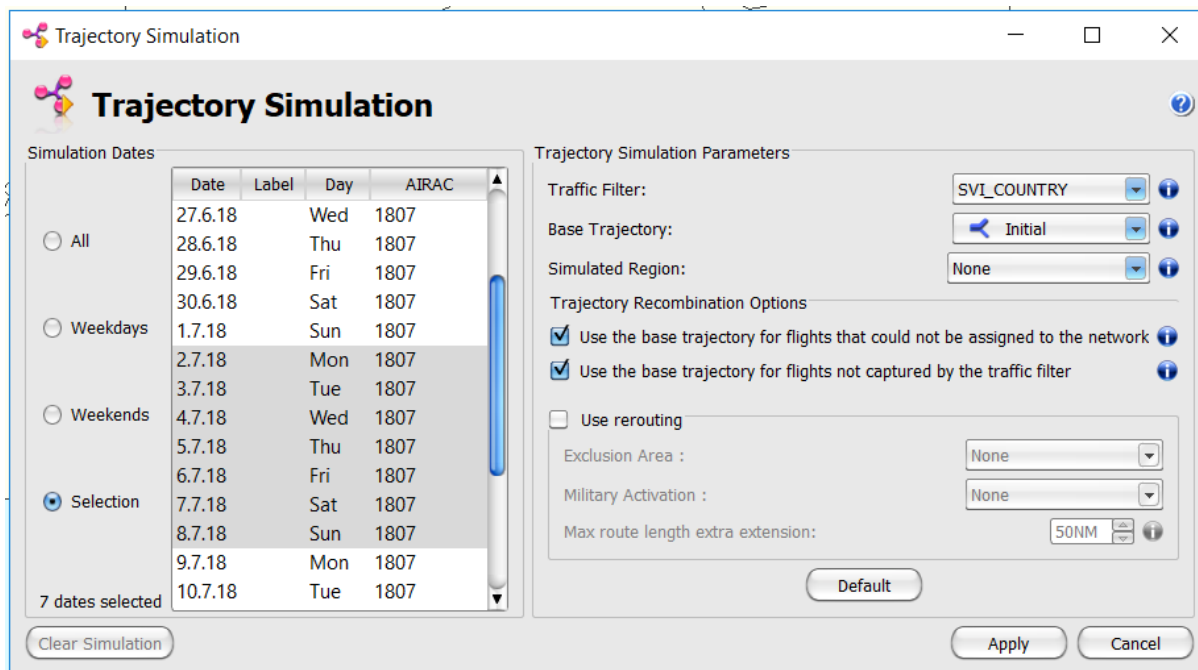
Slika 17. SECSI FRA zajednički prostor kreiran u NEST programu [15]

Sljedeći korak je bio kreirati referentni scenarij. Potom kreirati filter letova pomoću naredbe Edit -> Create Costum Traffic Flow pod nazivom „SVI_ACC“. Navedeni filter sadrži sve ACC-ove uključene u SECSI FRA, odnosno filtrirati će sve letove koji prolaze kroz navedeni zajednički zračni prostor. Potom je kreiran filter „SVI_COUNTRY“ koji će biti korišten u svim narednim simulacijama. Filter „SVI_COUNTRY“ uključuje prethodno kreirani filter „SVI_ACC“ i dodatni pod filter koji isključuje polijetanja i slijetanja i svih država članica. Time smo dobili filter koji će filtrirati čisti promet koji prelijeće SECSI FRA zajednički zračni prostor. Na slici 18. prikazano je kreiranje filtera za simulaciju gdje je moguće kreirati filter letova, odabrati željeni zračni prostor, te dodijeliti naziv.



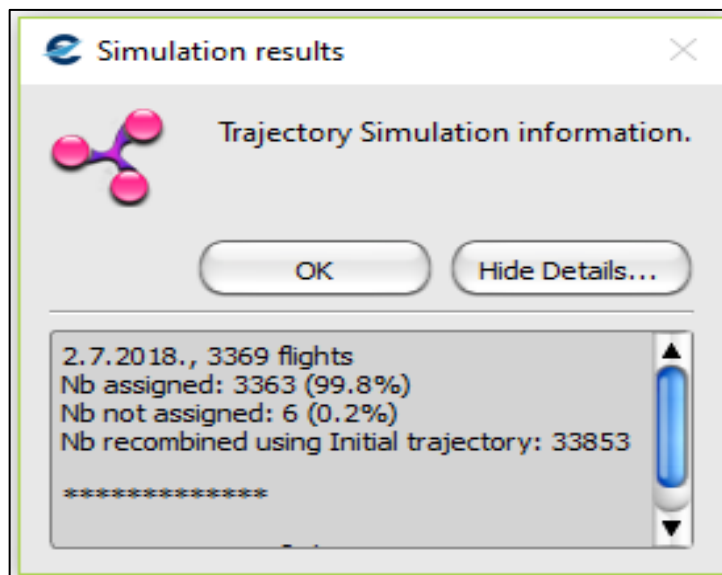
Slika 18. Kreiranje filtera "SVI_COUNTRY" za simulaciju putanja [15]

Pomoću naredbe u NEST-u Scenario -> Simulate Trajectory otvara se sučelje za odabir parametara simulacije. Odabran je period od jednog tjedna, točnije od 02.07.2018. – 08.07.2018. Odabran je filter prometa „SVI_COUNTRY“. Odabir navedenih parametara prikazan je na slici 20.



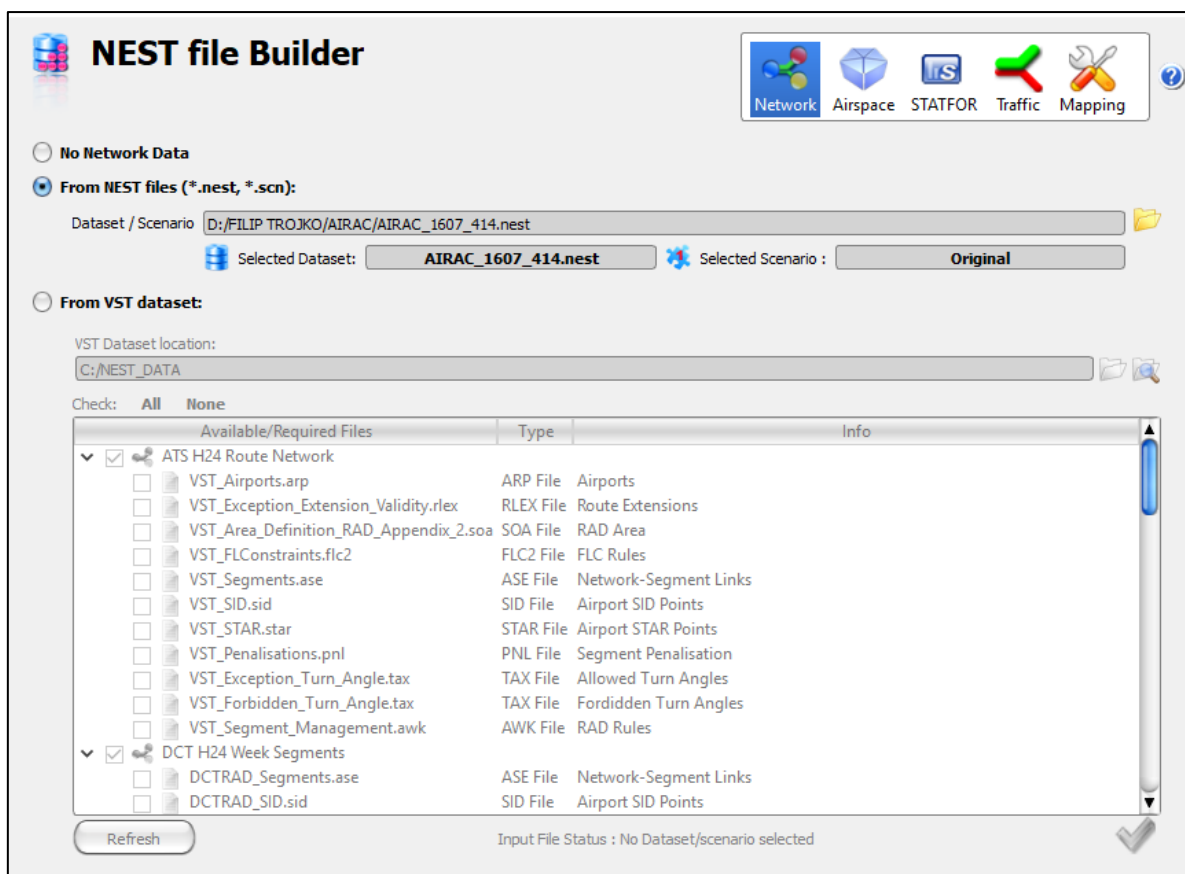
Slika 19. Odabir parametara za simulaciju putanja [15]

Po završetku simulacije NEST predoči podatke o simuliranim putanjama za svaki dan simulacije. Pa je tako na primjer za 2.7. inicijalni promet iznosio 3369 zrakoplova, a nakon provedene simulacije kroz filter prometa „SVI_COUNTRY“ simulirani broj zrakoplova iznosi 2902, što znači da je simulacijom NEST pronašao najkraće moguće rute za sve zrakoplove što je i prikazano na slici 21.

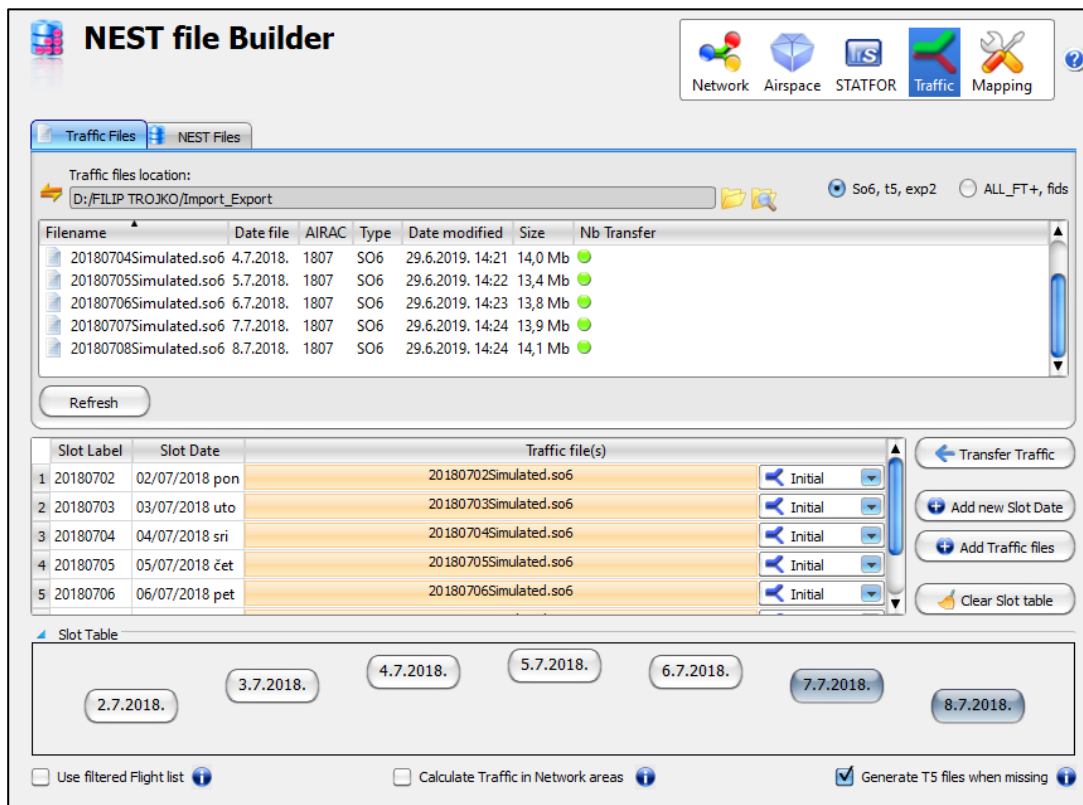


Slika 20. Rezultati simulacije putanja zrakoplova [15]

Za svaki datum perioda bilo je potrebno „exportirati“ simulirani promet u obliku .so6 datoteke koja će biti korištena u daljnjim koracima. Nakon što su .so6 datoteke pripremljene potrebno je pomoću naredbe File -> NEST File bilder kreirati vlastiti AIRAC ciklus s pripremljenim .so6 datotekama koje sadrže simulirani promet. Taj simulirani promet je referentni uzorak simuliran na SECSIFRA mreži te će biti simuliran na mreži bez SECSI FRA zračnog prostora na AIRAC ciklusu 1607. U NEST file Bilderu za Network se odabire AIRAC 1607, a za sve ostalo AIRAC 1807. proces kreiranja novog AIRAC ciklusa koji će biti nazvan „BEZ_SECSI“ prikazan je na slikama 22 i 23.



Slika 21. Kreiranje AIRAC ciklusa [15]



Slika 22. Kreiranje AIRAC ciklusa i odabir parametara [15]

Kao i u prvom koraku ove analize, nakon kreiranja vlastitog novog AIRAC-a „BEZ_SECSI“ potrebno je otvoriti novi scenarij i ponovno kreirati filtere promete i prvog koraka. Nakon kreiranja filtera ponovno provesti simulaciju putanja no ovaj put na rutnoj mreži bez SECSI FRA zračnog prostora. Završetkom simulacije „exportirati“ simulirani promet.

Treći korak je kreirati još jedan vlastiti AIRAC ciklus no ovaj put za Network podatke će se koristiti AIRAC ciklus 1702 koji sadrži rutnu podlogu SAXFRA i SEAFRA zračnih prostora. Za sve ostalo koristi se AIRAC 1807. Ponovno se otvara novi scenarij s novo kreiranim AIRAC ciklusom pod nazivom „SAX_SEA“. U novom scenariju s novim AIRAC-om kreirati identični filter kao s početka. Provesti simulaciju sa simuliranim prometom iz prethodnog koraka na rutnoj mreži sa SAXFRA i SEAFRA zračnim prostorom, iz tog razloga je za rutnu mrežu odabran AIRAC ciklus 1702. Ponovno „exportirati“ .so6 datoteke.

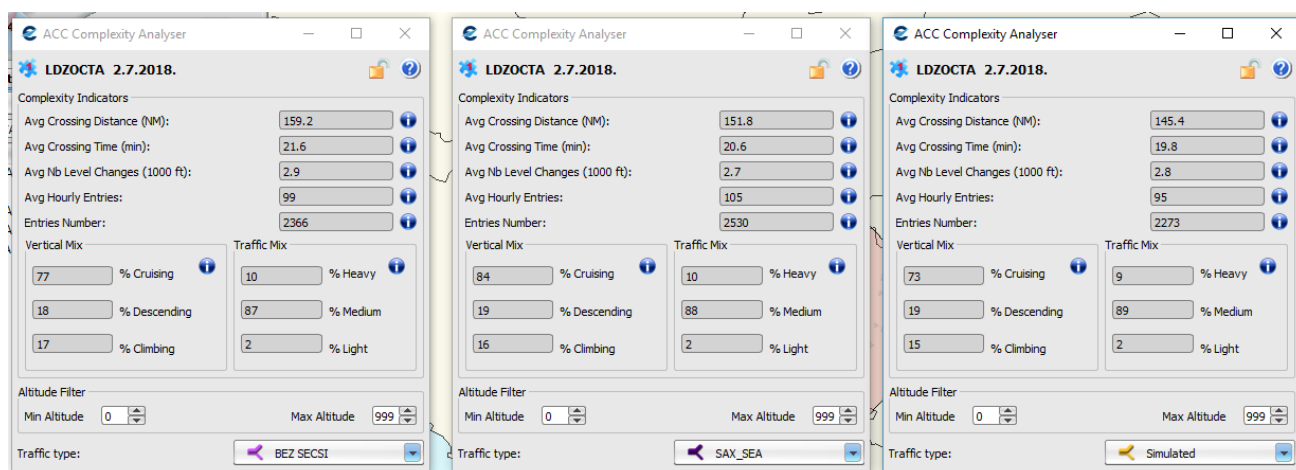
Nakon provedenih simulacija, otvara se početni referentni scenarij „SECSI“ s AIRAC ciklusom 1807 te pomoću naredbe Import Dana Wizard simulirani promet iz sve tri simulacije se pokreće u referentnom scenariju kako sve simulacije imali na jednom mjestu. File -> Import -> Formated Text -> odabrati sve .so6 datoteke.

Iz referentnog scenarija mogu se prikazivati svi podatci od interesa. Konkretno, za ovaj slučaj, promatraju se indikatori kompleksnosti zračnog prometa.

Koristeći se preglednikom Airspace odabiremo željeni ACC, naredbu Analyse i potom Complexity Analyser.

Otvarajući tri preglednika istovremeno može se podesiti vrsta prometa za svaki taj preglednik i time se vrlo lako može pregledati svaka izvršena simulacija. Na slici 24. prikaza je analiza kompleksnosti odabranog ACC-a. U ovom slučaju radi se od ACC-u LDZOCTA. Indikatori kompleksnosti koji su prikazani u ovom pregledniku su:

- Prosječna udaljenost prolaska (NM) po letu
- Prosječno vrijeme prolaska (min) po letu
- Prosječan broj promjena visine (svakih 1000 ft)
- Prosječan broj ulazaka zrakoplova po satu
- Ukupan broj zrakoplova koji su ušli u zračni prostor
- Vertikalna mješovitost prometa, odnosno količina interakcija (vertikalnih, horizontalnih, interakcija brzine) izražena postotkom
- Mješovitost prometa [15]



Slika 23. Analiza indikatora kompleksnosti ACC-a LDZOCTA [15]

U krajnjoj analizi zbog jednostavnijeg prikaza podataka biti će odabrana samo prva dva indikatora:

- Prosječna udaljenost prolaska (NM) po letu
- Prosječno vrijeme prolaska (min) po letu

Zadnji korak analize je pomoću alata Statistics „*exportirati*“ sve podatke za prikaz krajnjih rezultata. Podatci će pomoću tog alata biti „*exportirani*“ u excel tablice i to za svaki pojedini ACC. Na slici 25. prikazan je odabir željenih podataka za analizu koji su uzeti u razmatranje. Koristeći pivot tablice u excel tablici podatci će biti obrađeni te prikazani u daljnjem dijelu ovog poglavlja.

Statistics

Export Folder : D:/FILIP TROJKO/Import_Export

Statistics

Type : Complexity Name : Stat

Indicator	Avg. Crossing Time / flight	
ACC Calc. Area	ACC Airspace	<input checked="" type="checkbox"/> Add Type
Integration Step	60	
Sliding Step	60	
Traffic Type	SAX_SEA	
Traffic Filter	None	<input checked="" type="checkbox"/> Add Param.
Start	00:00	
End	24:00	
Min. Altitude	0	<input type="checkbox"/> Add Number
Max. Altitude	999	

Date/Period

Date List Options

CURRENT_SCENARIO

Date	Day	AIRAC
27.6.2018.	sri	1807
28.6.2018.	čet	1807
29.6.2018.	pet	1807
30.6.2018.	sub	1807
1.7.2018.	ned	1807
2.7.2018.	pon	1807
3.7.2018.	uto	1807
4.7.2018.	sri	1807
5.7.2018.	čet	1807
6.7.2018.	pet	1807
7.7.2018.	sub	1807
8.7.2018.	ned	1807
9.7.2018.	pon	1807
10.7.2018.	uto	1807
11.7.2018.	sri	1807
12.7.2018.	čet	1807
13.7.2018.	pet	1807
14.7.2018.	sub	1807
15.7.2018.	ned	1807

All
Weekdays
Weekends
Selection

7 dates selected

Entities

Add Entities Clear

Entities	Type	Name
LDZOCTA	Control area	ZAGREB ACC

Statistics Summary

Add Stat Clear

Multiple Output Files Add Scenario Info Sort by Date

Name	Type	Entity	Parameters
Stat_Complexity_60_60_Simulated_Avg. Crossing Distance / flight_ACC Airspace	Complexity	LDZOCTA	-Integration Step:60 -S...
Stat_Complexity_60_60_Custom_Avg. Crossing Distance / flight_ACC Airspace	Complexity	LDZOCTA	-Integration Step:60 -S...
Stat_Complexity_60_60_Custom 2_Avg. Crossing Distance / flight_ACC Airspace	Complexity	LDZOCTA	-Integration Step:60 -S...
Stat_Complexity_60_60_Simulated_Avg. Crossing Time / flight_ACC Airspace	Complexity	LDZOCTA	-Integration Step:60 -S...
Stat_Complexity_60_60_Custom Avg. Crossing Time / flight_ACC Airspace	Complexity	LDZOCTA	-Integration Step:60 -S...

Slika 24. Izvlačenje statistike indikatora kompleksnosti zračnog prometa [15]

5.2.1. LDZOCTA

U tablici 16. prikazan je broj zrakoplova uključen u svaku simulaciju, znači radi se o simuliranom inicijalnom zračnom prometu za odabrani period za ACC LDZOCTA.

Tablica 16. Ukupna količina prometa u simulaciji za LDZOCTA

<i>Datum</i>	Ukupna količina zrakoplova u analizi		
	BEZ_SECSI	SAX_SEA	SECSI
02/07/2018	2366	2530	2273
03/07/2018	2424	2598	2317
04/07/2018	2366	2536	2313
05/07/2018	2343	2493	2253
06/07/2018	2352	2505	2273
07/07/2018	2699	2871	2603
08/07/2018	2571	2706	2430

U tablicama 17. i 18. prikazani su rezultati indikatora kompleksnosti zračnog prometa za promatrani period. Zračni promet iz uzorka prometa simuliran je na različitim rutnim podlogama. Sukladno rezultatima uočljivo je kako se promjenom rutne strukture zračnog prostora indikatora kompleksnosti, u ovom slučaju prosječna udaljenost prolaska i prosječno vrijeme prolaska smanjuju. Obzirom da dobivene rezultate uočljivo je kako promjena rutne mreže, odnosno uvođenje zračnog prostora slobodnih ruta svakako ima utjecaj na smanjenje kompleksnosti zračnog prometa. Treba obratiti pozornost da količina prometa utječe na indikatore, te mnogi drugi faktori koji čine ukupnu kompleksnost obrađenu u prethodnom poglavlju.

Tablica 17. Prosječna udaljenost prolaska (NM) u ACC-u LDZOCTA

<i>Datum</i>	Prosječna udaljenost prolaska po letu (NM)		
	BEZ_SECSI	SAX_SEA	SECSI
02/07/2018	159,22	151,75	145,39
03/07/2018	161,37	151,64	146,34
04/07/2018	159,69	149,75	144,96
05/07/2018	159,20	151,27	146,07
06/07/2018	158,45	150,97	146,03
07/07/2018	154,80	149,41	143,16
08/07/2018	157,59	152,70	146,49

Tablica 18. Prosječno vrijeme prolaska (min) u ACC-u LDZOCTA

Datum	Prosječno vrijeme prolaska (min)		
	BEZ_SECSI	SAX_SEA	SECSI
02/07/2018	21,59	20,56	19,78
03/07/2018	21,88	20,53	19,86
04/07/2018	21,69	20,32	19,72
05/07/2018	21,68	20,57	19,92
06/07/2018	21,58	20,55	19,90
07/07/2018	21,13	20,38	19,60
08/07/2018	21,37	20,69	19,97

5.2.2. LOVVCTA

U tablici 19. prikazan je broj zrakoplova uključen u svaku simulaciju, znači radi se o simuliranom inicijalnom zračnom prometu za odabrani period za ACC LOVVCTA.

Tablica 19. Ukupna količina prometa u simulaciji za LOVVCTA

Datum	Ukupna količina zrakoplova u analizi		
	BEZ_SECSI	SAX_SEA	SECSI
02/07/2018	3060	3069	2835
03/07/2018	3074	3081	2839
04/07/2018	3077	3106	2881
05/07/2018	2962	2968	2768
06/07/2018	3066	3080	2832
07/07/2018	3209	3184	2974
08/07/2018	3242	3209	2954

U tablici 20. i 21. prikazani su indikatori kompleksnosti zračnog prometa koji se također mijenjaju no s nešto blažim padom nego što je to vidljivo kod ACC-a LDZOCTA što možemo pripisati ukupnoj kompleksnosti zračnog prometa što će biti vidljivo prilikom uspoređivanja rezultata. U određenim danima se vidi čak i blagi porast prosječne udaljenosti i vremena što je svakako utjecaj porasta prometa te povećanje kompleksnosti samim time.

Tablica 20. Prosječna udaljenost prolaska (NM) u ACC-u LOVVCTA

Datum	Prosječna udaljenost prolaska po letu (NM)		
	BEZ_SECSI	SAX_SEA	SECSI
02/07/2018	119,69	119,68	119,24
03/07/2018	119,47	119,66	119,04
04/07/2018	121,07	120,70	119,79
05/07/2018	118,97	119,63	118,59
06/07/2018	120,72	121,33	120,37
07/07/2018	115,23	117,70	115,91
08/07/2018	116,03	119,25	117,09

Tablica 21. Prosječno vrijeme prolaska (min) u ACC-u LOVVCTA

Datum	Prosječno vrijeme prolaska (min)		
	BEZ_SECSI	SAX_SEA	SECSI
02/07/2018	16,38	16,38	16,38
03/07/2018	16,41	16,44	16,39
04/07/2018	16,49	16,45	16,38
05/07/2018	16,31	16,40	16,31
06/07/2018	16,52	16,60	16,51
07/07/2018	15,71	16,03	15,83
08/07/2018	15,84	16,25	16,00

5.2.3. LJLACTA

U tablici 22. prikazan je broj zrakoplova uključen u svaku simulaciju, znači radi se o simuliranom inicijalnom zračnom prometu za odabrani period za ACC LJLACTA.

Tablica 22. Ukupna količina prometa u simulaciji za LJLACTA

Datum	Ukupna količina zrakoplova u analizi		
	BEZ_SECSI	SAX_SEA	SECSI
02/07/2018	1197	1313	1211
03/07/2018	1213	1342	1258
04/07/2018	1202	1363	1294
05/07/2018	1163	1264	1192
06/07/2018	1181	1267	1184
07/07/2018	1543	1564	1503
08/07/2018	1501	1458	1397

Kod zračnog prostora ACC-a LJLACTA značajno je manje prometa nego u ACC-u LOVVCTA no i dalje se vrijednosti indikatora kompleksnosti smanjuju posebice implementacijom SAXFRA i SEA FRA zračnog prometa, dok implementacijom SECSI FRA zračnog prostora slobodnih ruta nema prevelikih promjena što je vidljivo u tablici 23.

Tablica 23. Prosječna udaljenost prolaska (NM) u ACC-u LJLACTA

Datum	Prosječna udaljenost prolaska po letu (NM)		
	BEZ_SECSI	SAX_SEA	SECSI
02/07/2018	76,95	69,87	69,26
03/07/2018	77,49	70,26	69,26
04/07/2018	77,39	70,62	70,15
05/07/2018	76,79	69,85	69,59
06/07/2018	77,09	70,06	69,37
07/07/2018	80,33	74,26	74,24
08/07/2018	78,93	73,10	73,16

Tablica 24. Prosječno vrijeme prolaska (min) u ACC-u LJLACTA

Datum	Prosječno vrijeme prolaska (min)		
	BEZ_SECSI	SAX_SEA	SECSI
02/07/2018	10,76	9,78	9,77
03/07/2018	10,95	9,94	9,84
04/07/2018	11,02	10,04	10,00
05/07/2018	10,86	9,90	9,92
06/07/2018	10,94	9,97	9,90
07/07/2018	11,24	10,43	10,45
08/07/2018	11,10	10,34	10,38

5.2.4. LYBACTA

U tablici 25. prikazan je broj zrakoplova uključen u svaku simulaciju, znači radi se o simuliranom inicijalnom zračnom prometu za odabrani period za ACC LYBACTA.

Tablica 25. Ukupna količina prometa u simulaciji za LYBACTA

Datum	Ukupna količina zrakoplova u analizi		
	BEZ_SECSI	SAX_SEA	SECSI
02/07/2018	2560	2577	2339
03/07/2018	2551	2568	2355
04/07/2018	2579	2601	2384
05/07/2018	2568	2602	2357
06/07/2018	2638	2666	2421
07/07/2018	2720	2740	2497
08/07/2018	2736	2780	2439

Po količini prometa koje je prošlo kroz zračni prostor Republike Srbije, nešto manje od količine prometa kroz zračni prostor Republike Austrije, a nešto malo više od količine prometa kroz zračni prostor Republike Hrvatske vrijednosti indikatora kompleksnosti zračnog prometa također opadaju, no ne tolikim drastičnim padom, što je vidljivo u tablicama 26. i 27.

Tablica 26. Prosječna udaljenost prolaska (NM) u ACC-u LYBACTA

Datum	Prosječna udaljenost prolaska po letu (NM)		
	BEZ_SECSI	SAX_SEA	SECSI
02/07/2018	155,05	149,35	153,72
03/07/2018	156,05	150,99	155,53
04/07/2018	156,97	151,01	156,13
05/07/2018	156,92	151,62	155,36
06/07/2018	157,41	152,10	156,09
07/07/2018	159,24	153,81	157,69
08/07/2018	158,95	154,42	155,84

Tablica 27. Prosječno vrijeme prolaska (min) u ACC-u LYBACTA

Datum	Prosječno vrijeme prolaska (min)		
	BEZ_SECSI	SAX_SEA	SECSI
02/07/2018	20,91	20,15	20,78
03/07/2018	20,91	20,24	20,88
04/07/2018	21,13	20,33	21,07
05/07/2018	21,13	20,42	21,00
06/07/2018	21,11	20,39	20,95
07/07/2018	21,51	20,78	21,32
08/07/2018	21,43	20,81	21,08

5.2.5. LQSBCTA

U tablici 28. prikazan je broj zrakoplova uključen u svaku simulaciju, znači radi se o simuliranom inicijalnom zračnom prometu za odabrani period za ACC LQSBCTA.

Tablica 28. Ukupna količina prometa u simulaciji za LQSBCTA

Datum	Ukupna količina zrakoplova u analizi		
	BEZ_SECSI	SAX_SEA	SECSI
02/07/2018	166	165	176
03/07/2018	171	165	178
04/07/2018	157	156	166
05/07/2018	185	184	196
06/07/2018	182	176	190
07/07/2018	137	139	164
08/07/2018	169	166	185

Sukladno količini prometa su i očekivanje vrijednosti indikatora kompleksnosti zračnog prometa u zračnog prostoru Bosne i Hercegovine. Ti indikatori će se odraziti i na ukupnu kompleksnost zračnog prometa, prikaz je vidljiv na slikama 29. i 30.

Tablica 29. Prosječna udaljenost prolaska (NM) u ACC-u LQSBCTA

Datum	Prosječna udaljenost prolaska po letu (NM)		
	BEZ_SECSI	SAX_SEA	SECSI
02/07/2018	75,11	72,96	66,29
03/07/2018	78,49	76,69	69,59
04/07/2018	76,49	74,58	67,18
05/07/2018	76,56	75,47	69,12
06/07/2018	80,33	77,42	70,28
07/07/2018	77,10	76,35	63,18
08/07/2018	77,92	76,21	66,67

Tablica 30. Prosječno vrijeme prolaska (min) u ACC-u LQSBCTA

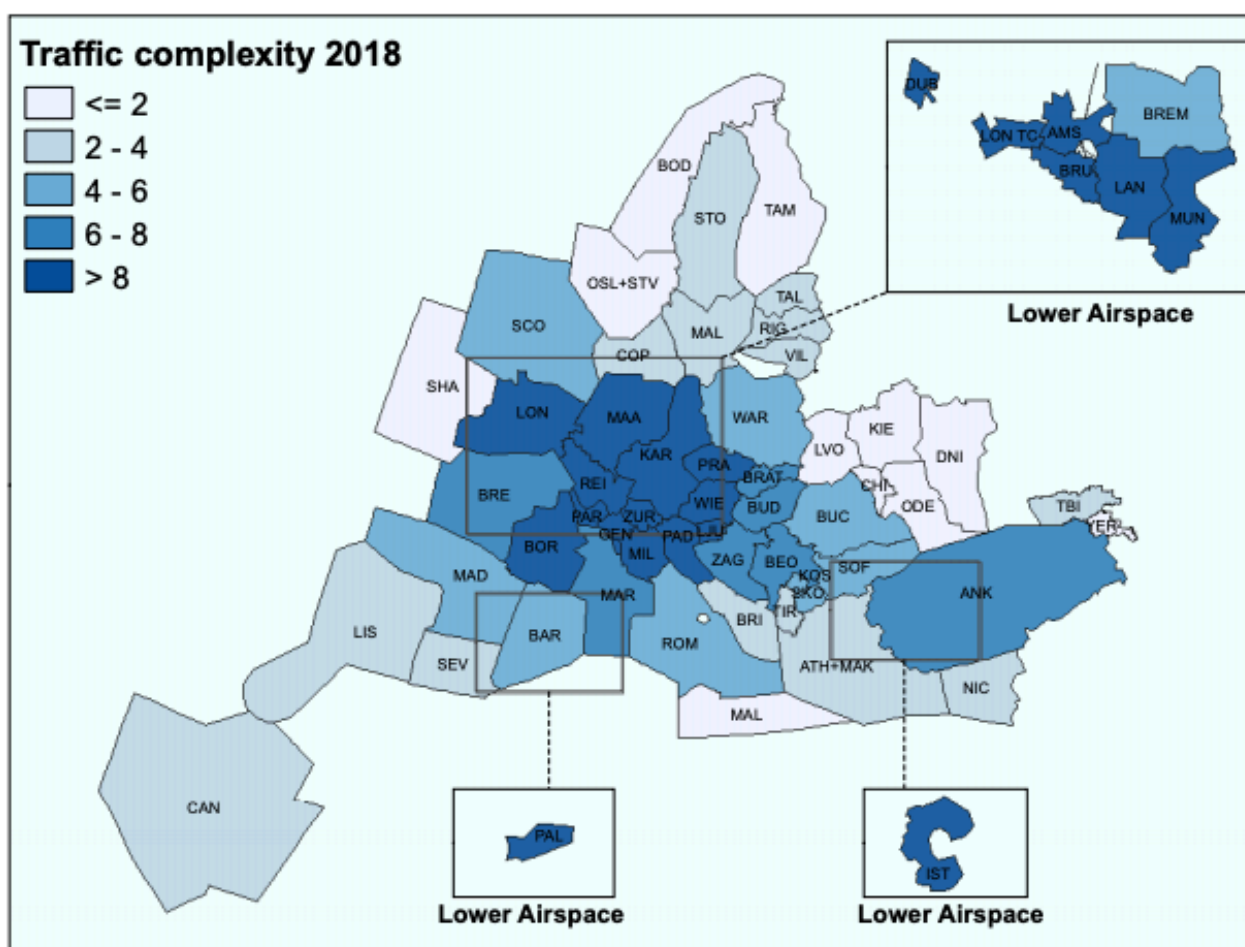
Datum	Prosječno vrijeme prolaska (min)		
	BEZ_SECSI	SAX_SEA	SECSI
02/07/2018	12,35	12,09	11,06
03/07/2018	12,57	12,40	11,32
04/07/2018	12,16	11,92	10,83
05/07/2018	12,41	12,29	11,34
06/07/2018	12,83	12,55	11,52
07/07/2018	12,18	12,07	10,03
08/07/2018	12,08	11,90	10,45

6. Usporedba dobivenih rezultata

Obje analize mogu se analizirati svaka za sebe i interpretirati na drugačiji način iz više gledišta. Ukupna kompleksnost, kao što je i opisao u ovom diplomskom radu u više navrata, ima puno faktora i parametara koji utječu na nju. Tako da ne postoji unificirana definicija kompleksnosti i rezultati dobiveni PRU metodom moraju se uzeti s rezervom prilikom interpretacije.

6.1. Prva analiza

U prvoj analizi određivana je ukupna kompleksnost zračnog prometa po državama članicama SECSI FRA zračnog prostora za ljetni period 2018. godine. Ukupni rezultati mogu se sada vrlo lako usporediti sa službenim rezultatima ukupne kompleksnosti iz PRR 2018. [13]Dobiveni rezultati PRU metodom uz pomoć NEST alata su prikazani u tablici 31.



Slika 25. Kompleksnost zračnog prometa sukladno PRR 2018.

Prema službenim rezultatima ukupna kompleksnost zračnog prometa za hrvatski zračni prostor (LDZOCTA) i srpski zračni prostor (LYBACTA) iznosi između 6-8 što je rezultat za odabrani ljetni period gdje je izražena sezonalnost, dok prema dobivenim rezultatima iznosi između 8-9 i to je uprosječen rezultat koji se odnosi na cijelu kalendarsku godinu. Povećanje kompleksnosti u ovom slučaju se pripisuje potencijalnom povećanju prometa, odnosno sezonalnosti, no uspoređujući referentne rezultate i dobivene rezultate primjećuje se kako se poklapaju obzirom na gore navedeni razlog. Službeni rezultat ukupne kompleksnosti zračnog prometa za austrijski i slovenski zračni prostor (LJLACTA i LOVVCTA) iznosi >8 što je također uprosječen rezultat za cijelu godinu, dok je prema dobivenim rezultatima to svakako točno pošto njihova vrijednost ukupne kompleksnosti iznosi između 11-12 i taj se rezultat odnosi na odabrani period. Službenog rezultata za bosansko-hercegovački zračni prostor nema. Dobivena vrijednost ukupne kompleksnosti za LQSBCTA se kreće od 0,9-1,1 te je ta dobivena vrijednost obrazložena u prethodnom poglavlju.

Tablica 31. Ukupni rezultati kompleksnosti po državama SECSI FRA zračnog prostora

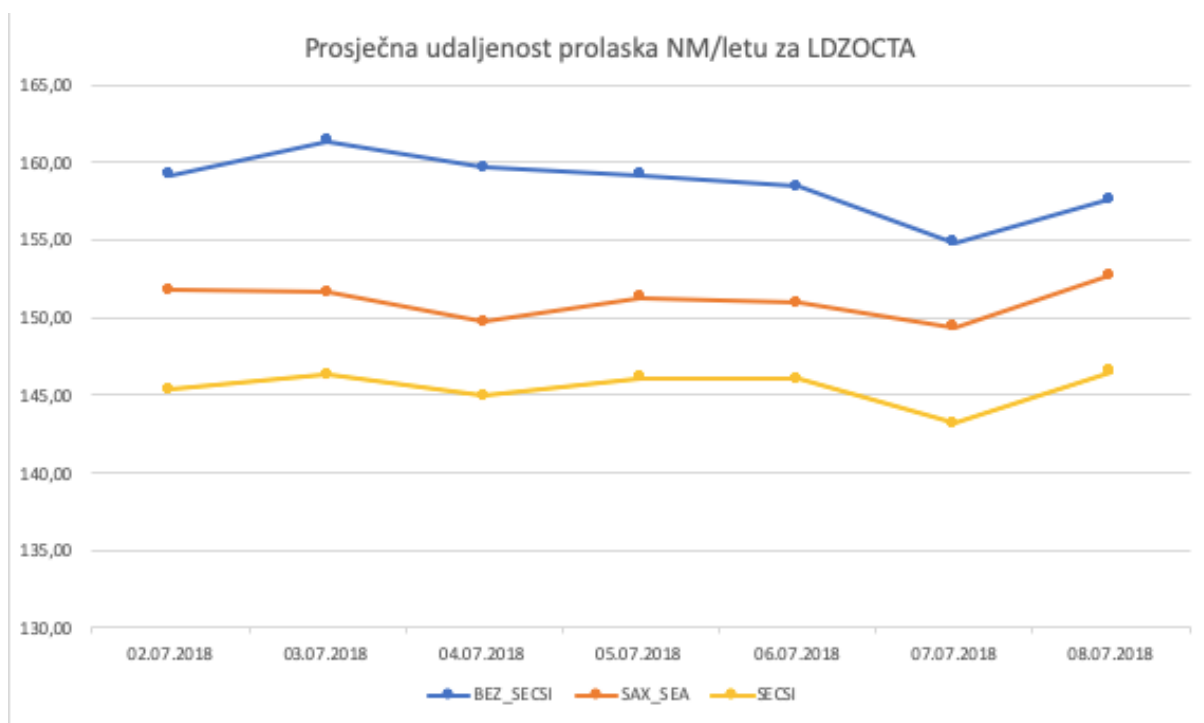
DATUM	LDZOCTA	LOVVCTA	LJLACTA	LYBACTA	LQSBCTA
06/07/2018	8,790	11,286	10,250	9,366	1,101
07/07/2018	9,102	11,556	12,892	9,188	0,899
08/07/2018	9,096	11,766	12,006	9,486	0,958

6.2. Druga analiza

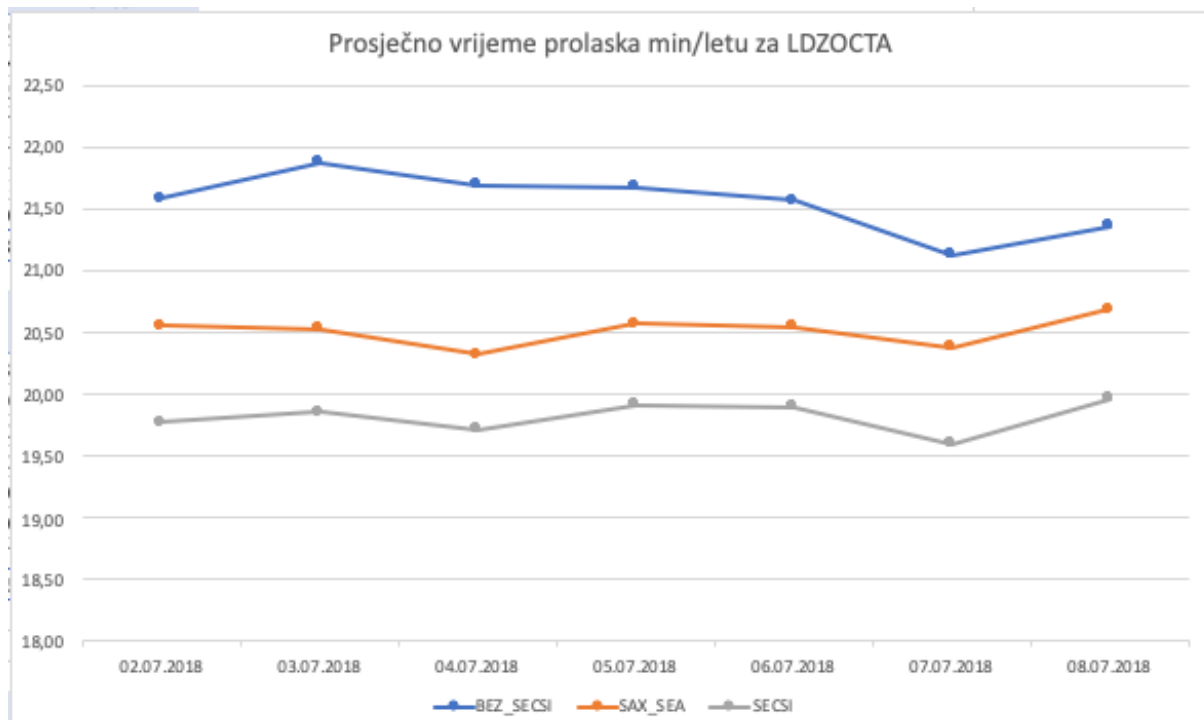
U drugoj analizi određivani su odabrani indikatori kompleksnosti zračnog prometa te kako utjecaj promjene mrežne strukture utječe na kompleksnost.

Najveći utjecaj promjene rutne mreže kroz određeni period se svakako može vidjeti na primjeru hrvatskog zračnog prostora, odnosno ACC-a LDZOCTA. Pretpostavka je da je takav najveći skok u vrijednostima indikatora kompleksnosti zračnog prometa zabilježen baš iz razloga što je hrvatski zračni prostor *in medias res*, odnosno lateralni položaj zračnog prostora je u središtu samog SECSI FRA zračnog prostora te sami geografski oblik zračnog prostora je na glavnoj jugoistočnoj prometnoj osi.

Vrijednosti indikatora kompleksnosti zračnog prometa za ACC LDZOCTA grafički je prikazan na slikama 27 i 28. Na slici 27. prikazana je prosječna udaljenost prolaska iskazana u NM po letu, a na slici 28. prikazano je prosječno vrijeme prolaska iskazano u minutama po letu. Količina prometa najveća je unutar SECSI FRA nakon austrijskog zračnog prometa.

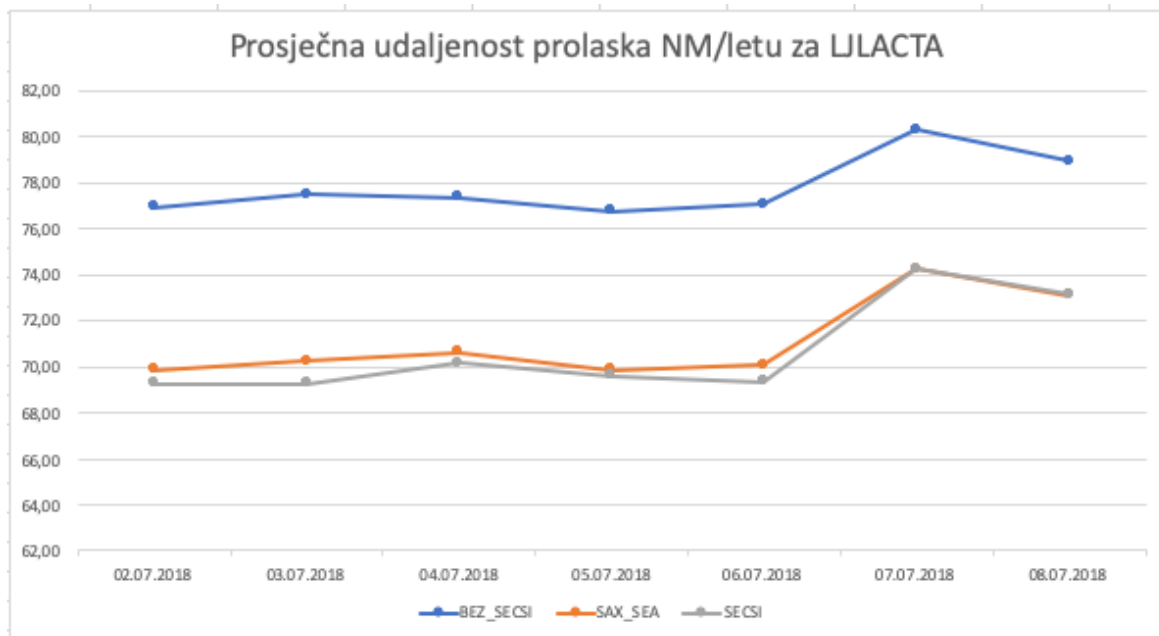


Slika 26. Grafički prikaz prosječne udaljenosti prolaska u LDZOCTA

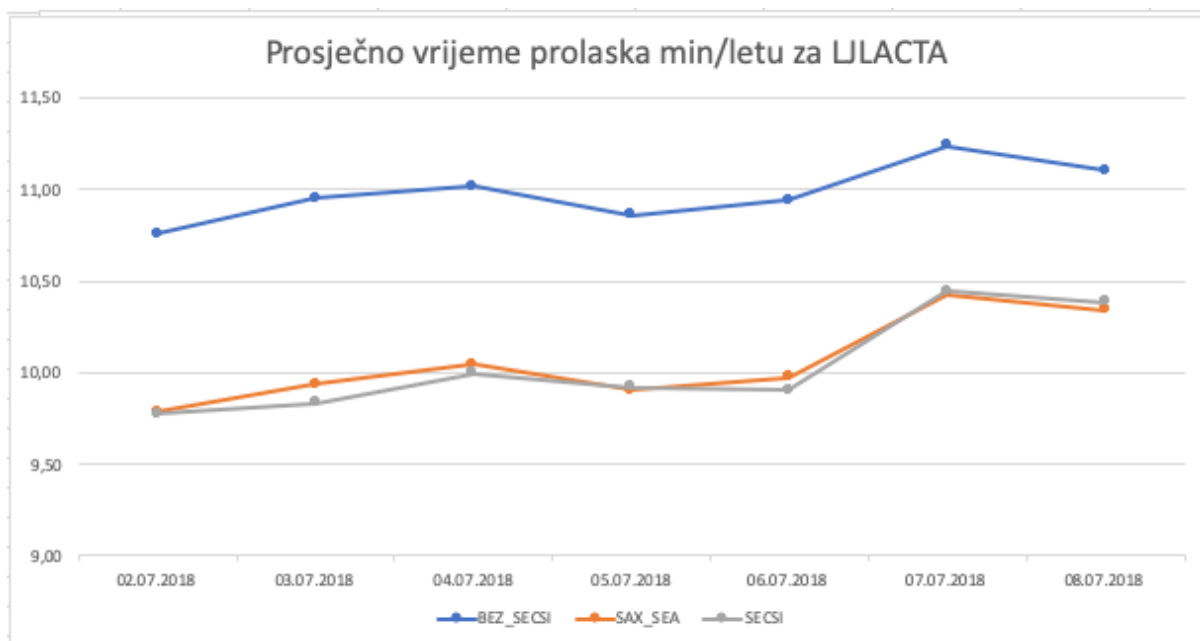


Slika 27. Prosječno vrijeme prolaska kroz LDZOCTA

Sljedeći najveći utjecaj vidi se na indikatore kompleksnosti zračnog prometa slovenskog zračnog prostora. Najveći skok u poboljšanju, odnosno smanjenju vrijednosti indikatora vidi se nakon implementacije SAXFRA i SEAFRA zračnog prostora, dok implementacija samog SECSI FRA zračnog prostora nema prevelikog utjecaja što je uočljivo na slikama 29 i 30.

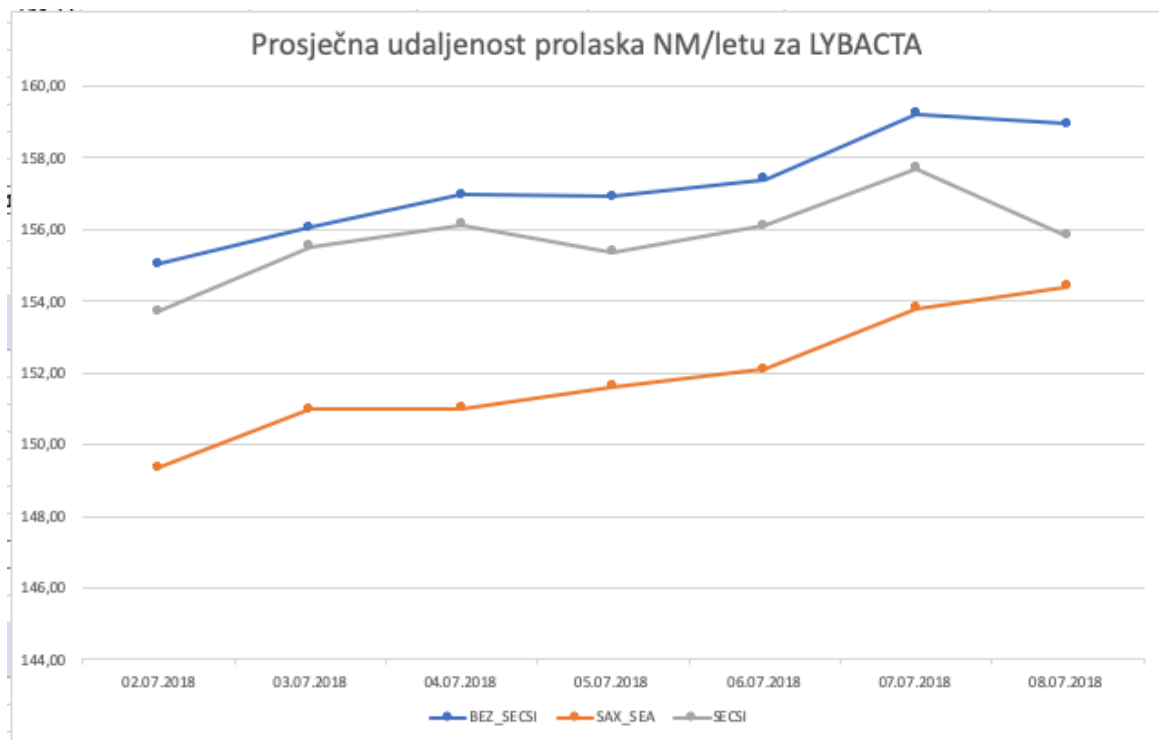


Slika 28. Grafički prikaz prosječne udaljenosti prolaska u LJLACTA

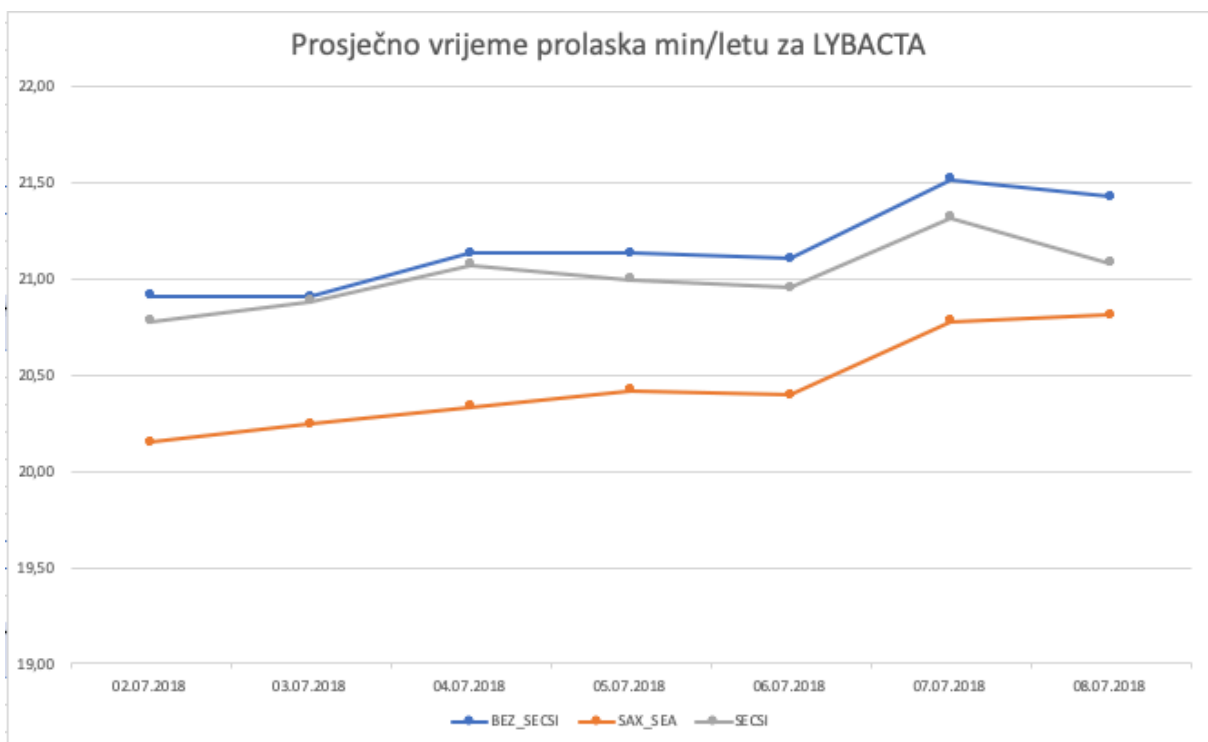


Slika 29. Prosječno vrijeme prolaska kroz LJLACTA

Treća usporedba koja se može provesti ovdje je na srpskom zračnom prostoru, odnosno ACC-u LYBACTA gdje se nagli skok u vrijednostima, odnosno pad vrijednosti vidi tek nakon ulaska u SECSI FRA zračni prostor nakon SEAFRA. SAXFRA zračni prostor nema gotovo nikakvog utjecaja na srpski zračni prostor, kao ni SAXFRA, značajniji utjecaj vidi se nakon implementacije SECSI FRA zajedničkog zračnog prostora. Promjena je vidljiva grafički na slikama 31. i 32.

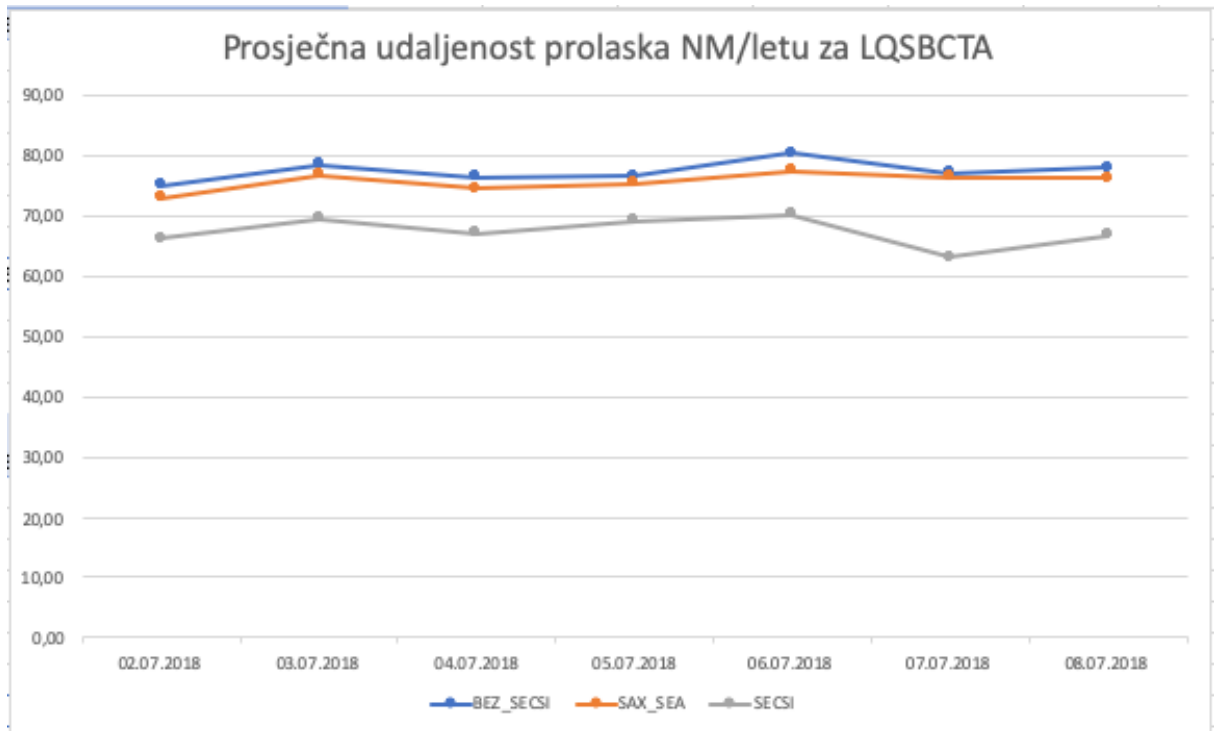


Slika 30. Grafički prikaz prosječne udaljenosti prolaska u LYBACTA

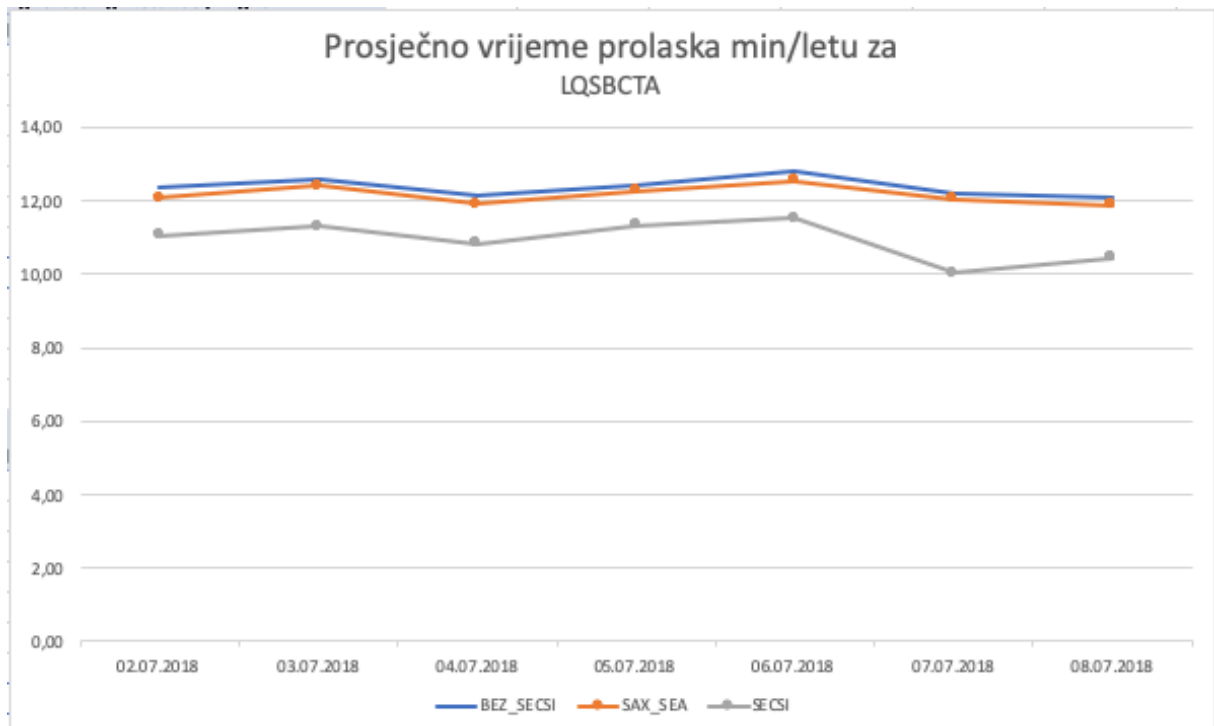


Slika 31. Prosječno vrijeme prolaska kroz LYBACTA

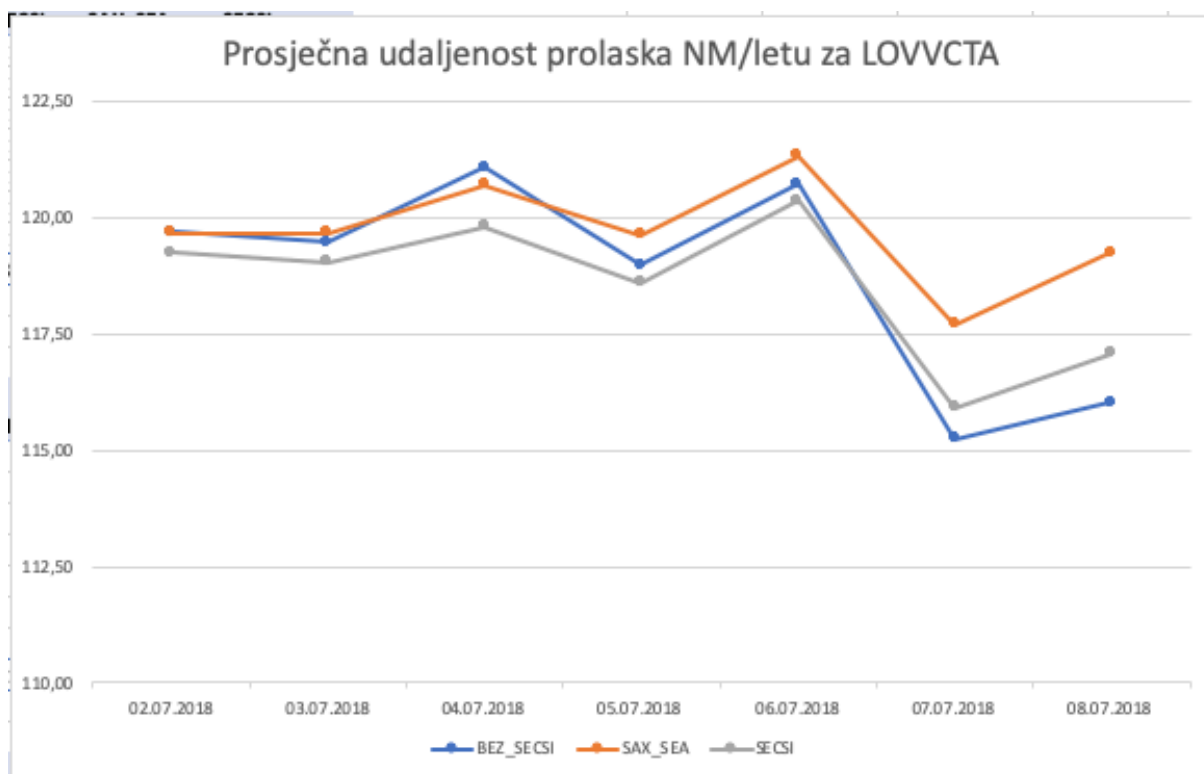
Najmanji utjecaj promjene rutne mreže na vrijednosti indikatora kompleksnosti zračnog prometa vidi se na zračnom prostoru Bosne i Hercegovine i Austrije, odnosno ACC-ovima LQSBCTA i LOVVCTA. Vidljivo na slikama 33., 34., 35. i 36.



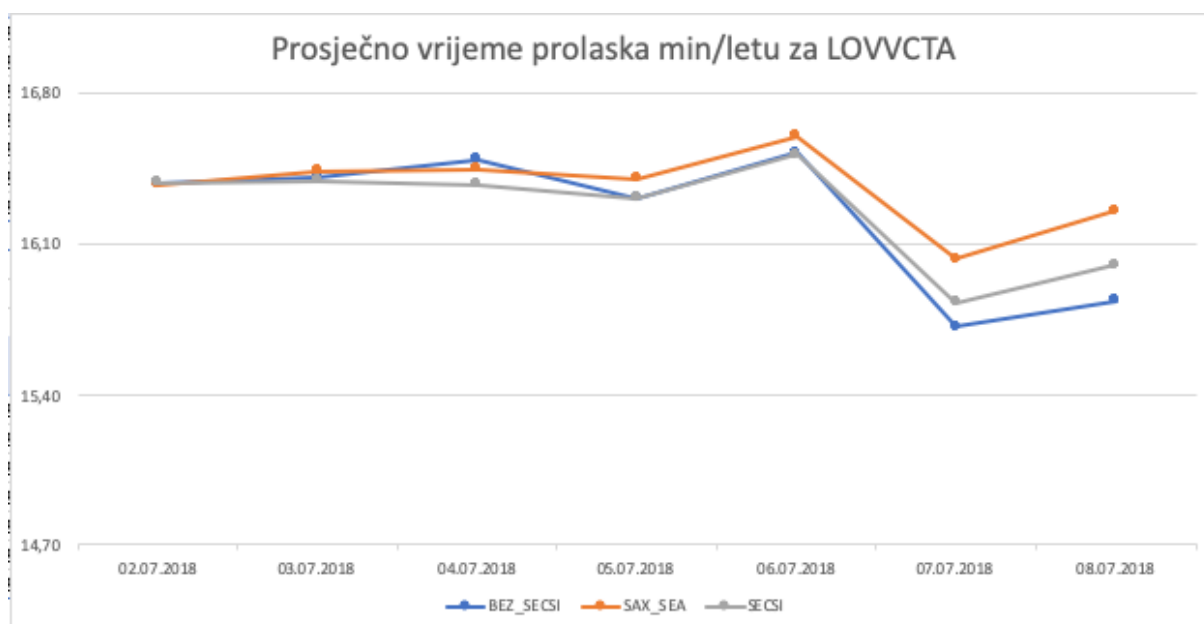
Slika 32. Grafički prikaz prosječne udaljenosti prolaska u LQSBCTA



Slika 33. Prosječno vrijeme prolaska kroz LQSBCTA



Slika 34. Grafički prikaz prosječne udaljenosti prolaska u LOVVCTA



Slika 35. Prosječno vrijeme prolaska kroz LOVVCTA

7. Zaključak

U današnjem zračnom prometu dolazi do povećanja broja zrakoplova, odnosno velike ekspanzije zračnog prometa što uzrokuje zagušenja u gornjem zračnom prostoru kada se zrakoplovi nalaze u fazi krstarenja. To dovodi do zasićenja sektora oblasne kontrole zračnog prometa, do pojave kašnjenja, povećanja kompleksnosti, a samim time i na preopterećenje kontrolora zračnog prometa. Nova tehnološka rješenja i solucije koja se uvode u sustav upravljanja zračnim prometom imaju za cilj smanjiti troškove zrakoplovnih kompanija, potrošnju goriva, a samim time i smanjiti emisije štetnih ispušnih plinova kako bi se očuvao okoliš.

U ovom diplomskom radu izrađena je analiza indikatora kompleksnosti zračnog prometa za svaku pojedinu državu članicu SECSI FRA zračnog prostora te je prikazana usporedba dobivenih rezultata. Analiza je izrađena uz pomoć NEST alata.

U ovom diplomskom radu korištena je metodologija određivanja vrijednosti indikatora kompleksnosti prema PRU modelu koji koristi alat NEST.

Odabran je ljetni period 2018. godine pošto je tokom ljetnog period izražena sezonalnost u zračnom prometu te je promet znatno veći nego u ostalom dijelu godine. Odabran je jedan tjedan iz AIRAC ciklusa 1807 i to tjedan od 2. srpnja do 8. srpnja 2018. godine. Razlog odabira baš tog tjedna je dovoljna količina prometa za analizu, te svakako najmanje kašnjenje obzirom na količinu prometa što je bio glavni razlog odabira baš tog tjedna za obje provedene analize.

Detaljno je opisan proces unošenja parametara u NEST alatu za dobivanje konačnih rezultata kompleksnosti.

Dobiveni rezultati ukupne kompleksnosti iz prve analize za svaku pojedinu državu članicu SECSI FRA zračnog prostora validirani su s rezultatima iz *Performance Review Report-a* za 2018. godinu te se dolazi do zaključka kako su dobiveni rezultati u skladu s referentnom podacima te ovisno o količini prometa za svaku pojedinu državu članicu i geografskom položaju države unutar samog SECSI FRA zračnog prostora dobiveni podatci variraju. Prema službenim rezultatima ukupna kompleksnost zračnom prometa za hrvatski ACC LDZOCTA i srpski ACC LYBACTA iznosi od 6 do 8 te je sukladno PRR za 2018. godinu to uprosječen rezultat za cijelu kalendarsku godinu, a prema rezultatima dobivenima analizom u ovom radu ukupna kompleksnost iznosi od 8 do 9 te se ti rezultati odnose na sezonalni dio godine koji je promatran u analizi. Uspoređujući dobivene vrijednosti s referentnima daje se zaključiti kako su dobiveni rezultati kompleksnosti točni i da svakako odgovaraju referentnim podacima obzirom na navedeno. Promatrajući rezultate kompleksnosti za austrijski ACC LOVVCTA i slovenski ACC LJLACTA dobiveni rezultati variraju od 11 do 12, dok po službenim rezultatima ukupna kompleksnost za oba zračna prostora iznosi više od 8, te se na temelju toga daje zaključiti kako rezultati dobiveni analizom odgovaraju referentnim rezultatima iz PRR 2018 također se vodeći gore spomenutom činjenicom.

Literatura

1. <http://www.crocontrol.hr/default.aspx?id=3779> (preuzeto: 10.6.2019.)
2. <https://www.eurocontrol.int/articles/free-route-airspace> (preuzeto: 11.6.2019.)
3. <https://www.eurocontrol.int/concept/free-route-airspace> (preuzeto: 24.7.2019.)
4. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/2018-spring-summer-skyway-68.pdf> (preuzeto: 24.7.2019.)
5. <http://www.crocontrol.hr/default.aspx?id=3510> (preuzeto: 24.7.2019.)
6. [https://www.skybrary.aero/index.php/Free_Route_Airspace_\(FRA\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Free_Route_Airspace_(FRA)) (preuzeto: 24.7.2019.)
7. <https://www.exyuaviation.com/2016/11/slovenia-and-austria-implement-air.html> (preuzeto: 29.07.2019.)
8. <http://www.crocontrol.hr/default.aspx?id=3626> (preuzeto: 29.07.2019.)
9. <http://www.crocontrol.hr/default.aspx?id=3648> (preuzeto: 29.07.2019.)
10. <https://www.fab-ce.eu/airspace/free-route> (preuzeto: 29.07.2019.)
11. Report commissioned by the Performance Review Commission, Complexity Metrics for ANSP Benchmarking Analysis, Prepared by the ACE Working Group on Complexity, April 2006., EUROCONTROL (preuzeto: 31.07.2019)
12. NEST User Guide, 2017., EUROCONTROL (preuzeto: 30.07.2019.)
13. Performance Review Report of European Air Traffic Management in 2018., Performance Review Commission, 2018., EUROCONTROL
14. Traffic Complexity Indicators and Sector Typology Analysis of US and European centers, EEC Note No. 20/03, 2003., EUROCONTROL
15. Network Strategic Tool (NEST)

Popis slika

Slika 1. Zračni prostor SECSI FRA [1]	3
Slika 2. Zračni prostor slobodnih ruta 2019. [2]	5
Slika 3. Zračni prostor slobodnih ruta u Europi do 2024. [2]	6
Slika 4. Prikaz odabira adekvatne rute u zračnom prostoru slobodnih ruta [6]	10
Slika 5. Slovensko-austrijski prekogranični zračni prostor slobodnih ruta (SAXFRA) [7]	13
Slika 6. Zračni prostor slobodnih ruta za jugoistočnu prometnu os [7]	14
Slika 7. Grafički prikaz incijalnog prometa kroz pojedinu državu članicu SECSI FRA zajedničkog zračnog prostora	18
Slika 8. Grafički prikaz stvarnog prometa kroz pojedinu državu članicu SECSI FRA zajedničkog zračnog prostora	18
Slika 9. Dimenzije ćelije korištene u analizi kompleksnosti [11]	22
Slika 10. Prikaz interakcija zrakoplova u ćeliji [11]	23
Slika 11. Izračun indikatora kompleksnosti prilagođene gustoće [11]	24
Slika 12. Prikaz vertikalnih interakcija [11]	25
Slika 13. Horizontalne interakcije za izračun indikatora kompleksnosti [11]	26
Slika 14. Dijagram toga odabira naredbi u NEST-u	33
Slika 15. Izvlačenje podataka o prometu [15]	34
Slika 17. Korisničko sučelje PRU analize kompleksnosti [15]	35
Slika 18. SECSI FRA zajednički prostor kreiran u NEST programu [15]	43
Slika 19. Kreiranje filtera "SVI_COUNTRY" za simulaciju putanja [15]	43
Slika 20. Odabir parametara za simulaciju putanja [15]	44
Slika 21. Rezultati simulacije putanja zrakoplova [15]	44
Slika 22. Kreiranje AIRAC ciklusa [15]	45
Slika 23. Kreiranje AIRAC ciklusa i odabir parametara [15]	46
Slika 24. Analiza indikatora kompleksnosti ACC-a LDZOCTA [15]	47
Slika 25. Izvlačenje statistike indikatora kompleksnosti zračnog prometa [15]	48
Slika 26. Kompleksnost zračnog prometa sukladno PRR 2018.	55
Slika 27. Grafički prikaz prosječne udaljenosti prolaska u LDZOCTA	57
Slika 28. Prosječno vrijeme prolaska kroz LDZOCTA	58
Slika 29. Grafički prikaz prosječne udaljenosti prolaska u LJLACTA	59
Slika 30. Prosječno vrijeme prolaska kroz LJLACTA	59
Slika 31. Grafički prikaz prosječne udaljenosti prolaska u LYBACTA	60
Slika 32. Prosječno vrijeme prolaska kroz LYBACTA	60
Slika 33. Grafički prikaz prosječne udaljenosti prolaska u LQSBCTA	61
Slika 34. Prosječno vrijeme prolaska kroz LQSBCTA	61
Slika 35. Grafički prikaz prosječne udaljenosti prolaska u LOVVCTA	62
Slika 36. Prosječno vrijeme prolaska kroz LOVVCTA	62

Popis tablica

Tablica 1. Procjena uštede potrošnje goriva i smanjenje emisija štetnih plinova implementacijom SEAFRA [8]	14
Tablica 2. ANSP-ovi i pripadajući ACC-ovi	16
Tablica 3. Statistika broja zrakoplova po državama članicama SECSI FRA zračnog prostora – planirani promet.....	17
Tablica 4. Statistika broja zrakoplova po državama članicama SECSI FRA zračnog prostora – stvarni promet	17
Tablica 5. Indikatori kompleksnosti sukladno PRU studiji [11]	29
Tablica 6. Parametri za izračun indikatora kompleksnosti za ACC LDZOCTA.....	37
Tablica 7. Indikatori kompleksnosti zračnog prometa u zračnom prostoru ACC-a LDZOCTA..	37
Tablica 8. Parametri za izračun indikatora kompleksnosti za ACC LOVVCTA.....	38
Tablica 9. Indikatori kompleksnosti zračnog prometa u zračnom prostoru ACC-a LOVVCTA..	38
Tablica 10. Parametri za izračun indikatora kompleksnosti za ACC LJLACTA	39
Tablica 11. Indikatori kompleksnosti zračnog prometa u zračnom prostoru ACC-a LJLACTA .	39
Tablica 12. Parametri za izračun indikatora kompleksnosti za ACC LYBACTA	40
Tablica 13. Indikatori kompleksnosti zračnog prometa u zračnom prostoru ACC-a LYBACTA	40
Tablica 14. Parametri za izračun indikatora kompleksnosti za ACC LQSBCTA	41
Tablica 15. Indikatori kompleksnosti zračnog prometa u zračnom prostoru ACC-a LQSBCTA	41
Tablica 16. Ukupna količina prometa u simulaciji za LDZOCTA	49
Tablica 17. Prosječna udaljenost prolaska (NM) u ACC-u LDZOCTA	49
Tablica 18. Prosječno vrijeme prolaska (min) u ACC-u LDZOCTA	50
Tablica 19. Ukupna količina prometa u simulaciji za LOVVCTA	50
Tablica 20. Prosječna udaljenost prolaska (NM) u ACC-u LOVVCTA.....	50
Tablica 21. Prosječno vrijeme prolaska (min) u ACC-u LOVVCTA	51
Tablica 22. Ukupna količina prometa u simulaciji za LJLACTA	51
Tablica 23. Prosječna udaljenost prolaska (NM) u ACC-u LJLACTA.....	51
Tablica 24. Prosječno vrijeme prolaska (min) u ACC-u LJLACTA	52
Tablica 25. Ukupna količina prometa u simulaciji za LYBACTA.....	52
Tablica 26. Prosječna udaljenost prolaska (NM) u ACC-u LYBACTA	53
Tablica 27. Prosječno vrijeme prolaska (min) u ACC-u LYBACTA.....	53
Tablica 28. Ukupna količina prometa u simulaciji za LQSBCTA	54
Tablica 29. Prosječna udaljenost prolaska (NM) u ACC-u LQSBCTA	54
Tablica 30. Prosječno vrijeme prolaska (min) u ACC-u LQSBCTA.....	54
Tablica 31. Ukupni rezultati kompleksnosti po državama SECSI FRA zračnog prostora	56

Popis kratica

SES – Single European Sky
SECSI FRA – Single European Common Sky Initiative Free Route Airspace
AIRAC – Aeronautical Information Regulation and Control
NEST – Network Strategic Tool
FRA – Free Route Airspace
SAXFRA – Slovenian Austrian Cross-Border Free Route Airspace
NM – Nautical Mile
SEAFRA – South-East Axis Free Route Airspace
FAB CE – Functional Airspace Block Central Europe
ACC – Area Control Center
CTA – Control Area
ANSP – Aeronautical Service Provider
WTC – Wake Turbulence Category
LoA – Letter of Agreement
ACE – ATM Cost Effectiveness
FL – Flight Level
VDIF – Vertical Different Interacting Flows
HDIF – Horizontal Different Interacting Flows
SDIF – Speed Different Interacting Flows
BADA – Base of Aircraft Data
FT – Flight Time



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 **Određivanje i analiza kompleksnosti zračnog prometa u zemljama**
prostora SECSI FRA u ljetnom periodu 2018. godine

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

Student/ica:

U Zagrebu, 12.9.2019

(potpis)