

Usporedba kompleksnosti i varijabilnosti zračnog prometa u zemljama Srednje i Jugoistočne Europe

Mustapić, Josipa

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:525783>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**USPOREDBA KOMPLEKSNOSTI I VARIJABILNOSTI ZRAČNOG PROMETA U
ZEMLJAMA SREDNJE I JUGOISTOČNE EUROPE**

**COMPARISON OF AIR TRAFFIC COMPLEXITY AND VARIABILITY IN THE
COUNTRIES OF CENTRAL AND SOUTHEAST EUROPE**

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

Studentica: Josipa Mustapić

JMBAG: 0135255036

Zagreb, rujan 2021.

Zagreb, 11. svibnja 2021.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6357

Pristupnik: **Josipa Mustapić (0135255036)**
Studij: **Aeronautika**
Smjer: **Kontrola leta**

Zadatak: **Usporedba kompleksnosti i varijabilnosti zračnog prometa u zemljama Srednje i Jugoistočne Europe**

Opis zadatka:

Uvodno navesti cilj i strukturu rada. Analizirati i objasniti zračni prostor država Srednje i Jugoistočne Europe, proučiti i objasniti kako se izračunava kompleksnost zračnog prometa koristeći program NEST te kako se određuje varijabilnost prometa. Izračunati kompleksnost po zemljama za definirani period u veljači, svibnju i kolovozu 2019. godine. Izračunati varijabilnost prometa po zemljama. Po zemljama usporediti dobivene rezultate. Dati zaključna razmatranja.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

izv. prof. dr. sc. Biljana Juričić

SAŽETAK

Ovaj rad se bavi temom kompleksnosti i varijabilnosti zračnog prometa zemalja Srednje i Jugoistočne Europe u koje su svrstane Austrija, Mađarska, Slovačka, Češka, Hrvatska, Slovenija, Bosna i Hercegovina, Srbija, Crna Gora, Albanija, Sjeverna Makedonija, Bugarska i Rumunjska. Analizira se njihov zračni prostor te pripadnost europskim organizacijama i inicijativama usko vezanim za pružanje usluga zračne plovidbe. Objašnjava se izračun kompleksnosti zračnog prometa korištenjem PRU modela u NEST softveru te način računanja varijabilnosti. Prikazan je postupak vađenja podataka iz NEST-a .potrebnih za izračun obiju vrijednosti. Mjeseci veljača, svibanj i kolovoz 2019. godine su definirani period, uzet za potrebe računanja i prikazivanja rezultata konačnih izračuna u radu. Konačni rezultati kompleksnosti i varijabilnosti prometa se uspoređuju među državama.

KLJUČNE RIJEČI: kompleksnost zračnog prometa, varijabilnost zračnog prometa, države Srednje i Jugoistočne Europe

SUMMARY

This paper deals with the topic of air traffic complexity and variability in the countries of Central and Southeast Europe implying Austria, Hungary, Slovakia, The Czech Republic, Croatia, Slovenia, Bosnia and Herzegovina, Serbia, Montenegro, Albania, North Macedonia, Bulgaria and Romania. Their airspace is analyzed as well as their involvement in European organizations and initiatives, which are closely related to providing air navigation services. It is explained how air traffic complexity is calculated with the usage of the PRU model in the NEST software and how air traffic variability is calculated. For both of those values, the procedure of extraction of required data from the NEST software for mentioned calculations is explained. Months February, May and August of the year 2019 are the defined period, taken for computing needs and the representation of final results of the calculation in this paper. The final results of air traffic complexity and variability are compared between countries.

KEY WORDS: air traffic complexity, air traffic variability, countries of Central and Southeast Europe

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Analiza zračnog prostora država Srednje i Jugoistočne Europe	3
2.1 Jedinstveno europsko nebo	3
2.1.1 FAB CE	5
2.1.2 DANUBE FAB	6
2.2 Zračni prostor Srbije, Crne Gore, Sjeverne Makedonije i Albanije	7
3. Metodologija određivanja kompleksnosti prema PRU modelu i varijabilnosti zračnog prometa	9
3.1 Definicija PRU modela kompleksnosti.....	10
3.2 Određivanje varijabilnosti zračnog prometa	13
4. Izračun kompleksnosti zračnog prometa u zemljama Srednje i Jugoistočne Europe koristeći NEST softversko rješenje	14
4.1 Postupak izvlačenja podataka iz NEST softvera	14
4.2 Rezultati računanja kompleksnosti zračnog prometa	17
5. Izračun varijabilnosti zračnog prometa u zemljama Srednje i Jugoistočne Europe.....	19
6. Usporedba dobivenih rezultata.....	22
6.1 Rezultati kompleksnosti zračnog prometa	22
6.2 Rezultati varijabilnosti zračnog prometa	25
7. Zaključak.....	28
Popis literature	30
Popis slika	32
Popis grafikona.....	33
Popis tablica	34

1. Uvod

Rješavanje problema nedostatka kapaciteta zračnog prometa, uzrokovanog ograničenošću prostora i povećanjem broja letova, predstavlja izazov za države u Europi. Zrakoplovna industrija se dnevno suočava s potrebom unaprjeđenja sustava te potrebom poboljšanja kvalitete usluga. Kompleksnost i varijabilnost su indikatori koji se koriste za mjerenje stanja prometa i detaljnije analize prometa u svrhu njegovog reguliranja i poboljšanja protočnosti. Kompleksnost se općenito objašnjava kao razina težine obavljanja nekog zadatka, a u zračnom prometu se definira kao težina obavljanja zadaća kontrolora zračnog prometa. Usuglašena je direktna povezanost i odnos kompleksnosti zračnog prometa i radnog opterećenja kontrolora tj. njihova proporcionalnost te su u radu objašnjeni faktori koji utječu na njih. Kompleksnost indirektno može utjecati i na kapacitet prostora koji se određuje na temelju radnog opterećenja kontrolora. Varijabilnost se kao pojam uvodi u zračni promet s ciljem razumijevanja varijacije prometa u vremenu, što daje širu sliku pri donošenju odluka vezanih za upravljanje i tim istim procesom. Bolja interpretacija i razumijevanje stanja prometa te upravljanje istim doprinosi stvaranju efektivnijeg sustava sutrašnjice. Svrha završnog rada je prikaz i usporedba izračuna kompleksnosti i varijabilnosti zračnog prometa zemalja Srednje i Jugoistočne Europe, s ciljem boljeg razumijevanja što utječe na njihove različitosti, uzimanjem u obzir njihove unutarnje politike, prirodne geografske pozicije i razvijenosti zrakoplovnih industrija.

Rad se dijeli na sedam cjelina:

1. Uvod
2. Analiza zračnog prostora država Srednje i Jugoistočne Europe
3. Metodologija određivanja kompleksnosti prema PRU modelu i varijabilnosti zračnog prometa
4. Izračun kompleksnosti zračnog prometa u zemljama Srednje i Jugoistočne Europe koristeći NEST softversko rješenje
5. Izračun varijabilnosti zračnog prometa u zemljama Srednje i Jugoistočne Europe
6. Usporedba dobivenih rezultata
7. Zaključak

U drugom poglavlju su opisani zračni prostori zemalja s logikom njihovog grupiranja po ključu zajedničkog (ne)članstva u posebno definiranim segmentima zračnog prostora tj. FAB-ovima. Navode se njihovi nacionalni pružatelji usluga zračne plovidbe.

Treće poglavlje, na jednostavan način korištenjem oznaka veličina prilagođenim rezultatima izračuna iz NEST-a, objašnjava metodu računanja kompleksnosti prema PRU modelu. Ujedno se i razjašnjava način na koji se računa varijabilnost.

U četvrtom i petom poglavlju se objašnjava način na koji se vade podaci potrebni za rad iz softvera NEST. Ujedno sadrže grafičke prikaze dobivenih rezultata za sve države.

Šesto poglavlje sadrži dodatne grafičke prikaze rezultata izračuna kompleksnosti i varijabilnosti, koji su više korisni za uspoređivanje zemalja.

U sedmom poglavlju se nalazi zaključak završnog rada.

2. Analiza zračnog prostora država Srednje i Jugoistočne Europe

Zračni prostor je dio atmosfere iznad kopna ili teritorijalnog mora koji kontrolira pojedina država. Vlasti država kontrolu nad zračim prostorom povjeravaju nacionalnim pružateljima usluge zračne plovidbe (engl. *ANSP – Air Navigation Service Providers*), koji se mogu dalje ovisno o interesu države i politici poslovanja tvrtke, učlanjivati u organizacije koje rade na ostvarivanju zajedničkih interesa svih članova i boljem povezivanju rascjepkanog zračnog prostora. Primjer takve organizacije je EUROCONTROL, kojemu je glavna zadaća učiniti zrakoplovstvo u Europi sigurnijim, efikasnijim, troškovno učinkovitim i prihvatljivim za okoliš. Iako nije organizacija Europske Unije, blisko surađuju preko raznih inicijativa uključujući inicijativu Jedinstvenog europskog neba (engl. *SES – Single European Sky*) osnovanu od strane Europske Komisije. [1] Iz SES inicijative kroz dva ciklusa propisa (SES-I i SES-II) su proizašla razna rješenja, programi i projekti od kojih za potrebe rada se može izdvojiti stvaranje funkcionalnih blokova zračnog prostora (engl. *FAB - functional airspace block*), koji se obrađuju u potpoglavljima ovog poglavlja.

U radu se obrađuje trinaest zemalja članica EUROCONTROL-a, od kojih je devet raspoređeno u dva FAB-a, a četiri nisu dio SES inicijative. Shodno tome pod pojmom Srednje i Jugoistočne Europe se podrazumijeva da se misli na sljedeće države: Austrija, Mađarska, Slovačka, Češka, Hrvatska, Slovenija, Bosna i Hercegovina, Srbija, Crna Gora, Albanija, Sjeverna Makedonija, Bugarska i Rumunjska. [2]

2.1 Jedinstveno europsko nebo

Početak 21. stoljeća pojavom velike količine kašnjenja letova, prepoznata je potreba za umanjnjem istih, a to je podrazumijevalo unaprjeđenje sustava upravljanja zračnim prometom (engl. *ATM – Air Traffic Management system*). Europska Komisija uvođenjem zakonodavnog paketa 2004. godine, koji se sastoji od četiri regulative, od kojih prva sadrži okvire za osnivanje SES-a (EU REG No. 549/2004), [3] otvara novo poglavlje u zrakoplovstvu, tražeći od nacionalnih ANSP-ova prekograničnu suradnju te između ostalog formiranje FAB-ova s rokom do kraja 2012. godine. [4]

FAB označava blok zračnog prostora ustanovljen na osnovu operativnih zahtjeva, bez obzira na državne granice, gdje je pružanje usluga zračne navigacije i drugih sličnih vođeno performansom i optimizirano, s ciljem uvođenja u svakom FAB-u povećane suradnje između

ANSP-ova ili gdje je potrebno integriranog pružatelja usluga. Regulativa 551/2004, u kojoj je definirana organizacija i uporaba zračnog prostora u SES-u, pravi podjelu između gornjeg i donjeg zračnog prostora (engl. *upper and lower airspace*) na razini leta 285 (engl. *FL285 – flight level*) tj. 8700 metara. S ciljem maksimiziranja kapaciteta i efikasnosti ATM mreže, upravo gornji zračni prostor postaje dio FAB-a, s tim da države imaju mogućnost određivanja vlastitih donjih granica FAB-ova. Države članice su same zadužene za dogovorno stvaranje i preinake FAB-ova, ali u slučaju potrebe za tehničkim savjetima mogu se obratiti EUROCONTROL-u ili u slučaju poteškoća u sklapanju prekograničnih sporazuma, mogu iznijeti problematiku Odboru za jedinstveno nebo (engl. *Single Sky Committee*) s ciljem traženja mišljenja o razrješenju. [5]

Europa broji devet FAB-ova koji su prikazani na Slici 1, a u njima su sadržane sljedeće države:

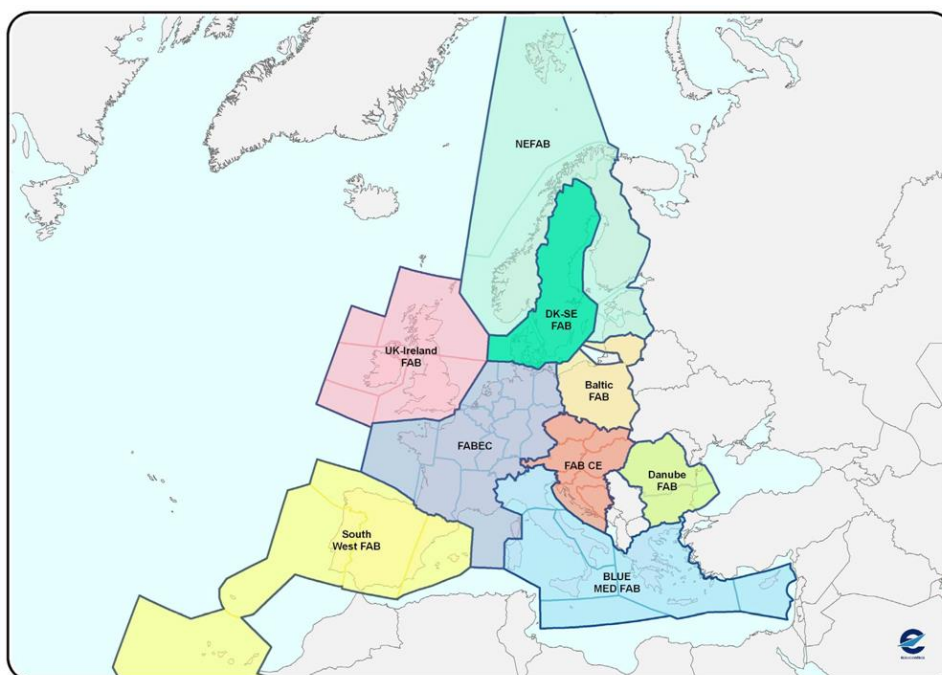
1. Baltic FAB (Litva i Poljska)
2. Danish-Swedish FAB (Danska i Švedska)
3. North European FAB – NEFAB (Estonija, Finska, Latvija, Norveška)
4. FAB UK-Ireland (Ujedinjeno Kraljevstvo i Irska)
5. FAB Europe Central – FABEC (Belgija, Francuska, Njemačka, Luksemburg, Nizozemska, Švicarska i EUROCONTROL Maastricht¹)
6. FAB Central Europe – FAB CE (Austrija, Bosna i Hercegovina, Hrvatska, Češka, Mađarska, Slovačka i Slovenija)
7. DANUBE FAB (Bugarska i Rumunjska)
8. South West FAB (Portugal i Španjolska)
9. FAB Blue MED (Cipar, Grčka, Italija i Malta) [2]

Zajednički ciljevi koje dijele svi FAB-ovi:

- povećanje razine sigurnosti
- svladavanje povećanja kapaciteta predviđenih u budućnosti
- poboljšanje isplativosti stvaranjem efektivnijih rutnih struktura i usluga kontrole
- povećanje efikasnosti leta poboljšanjem ruta, profila leta i predene udaljenosti leta
- smanjenje utjecaja na okoliš

¹ EUROCONTROL Maastricht (engl. MUAC – Maastricht Upper Area Control Centre) – EUROCONTROL-ov ANSP koji upravlja gornjim zračnim prostorom (od FL 245 do FL 660) Belgije, Luksemburga, Nizozemske i sjeverozapadne Njemačke.

- poboljšanje efikasnosti vojnih misija. [5]



Slika 1- Prikaz FAB-ova u Europi
izvor: [6]

2.1.1 FAB CE

Jedan od temeljnih razloga uspostave FAB-ova je povećanje sveukupne učinkovitosti sustava kontrole zračnog prometa. Taj cilj se ne može ostvariti bez unaprjeđenja suradnje između ANSP-ova. Zračnim prostorom od 529,000 km², koji obuhvaća osam centara oblasne kontrole zračnog prometa (engl. ACCs- Area Control Centres) sa 63 sektora zračnog prometa, upravljaju nacionalni ANSP-ovi sedam država članica FAB Central Europe navedenih u Tablici 1. [7]

Tablica 1- Države FAB CE-a i njihovi ANSP-ovi s nazivima ACC-ova i CTA²

Izvor: [8] [9]

Država	ANSP	ACC / CTA
Austrija	Austro Control	Wien ACC / LOVVCTA
Bosna i Hercegovina	BHANSA	Sarajevo BHACC / LQSBCTA
Češka	ANS CR	Praha CTA 095/125- 305 / LKAACTA

² CTA – engl. Control Area – kontrolirani zračni prostor, koji se proteže vertikalno od određene visine. Kratice uporabljene u tablici su ICAO (engl. International Civil Aviation Organisation) kodovi za navedene države. [21]

<i>Hrvatska</i>	Croatia Control	Zagreb LDZOCTA	ACC	/
<i>Mađarska</i>	HungaroControl	Budapest LHCCCTA	ACC	/
<i>Slovačka</i>	LPS	Bratislava LZBBCTA	ACC	/
<i>Slovenija</i>	Slovenia Control	Ljubljana LJLACTA	ACC	/

Stvaranje FAB-ova za glavni cilj ima efikasnije pružanje usluga, on se upotpunio u EUROCONTROL-ovoj inicijativi stvaranja zračnog prostora slobodnih ruta (engl. *FRA- Free Route Airspace*) tj. specifičnog volumena prostora u kojem njegovi korisnici slobodno mogu planirati njihovu rutu između definiranih ulaznih i izlaznih točaka. Time bi se uvelike smanjili troškovi i onečišćenja okoliša te se povećao kapacitet i efikasnost prostora. Cilj inicijative je primijeniti koncept FRA na razinama ACC-ova država, zatim na razini FAB-ova te na kraju na razini članica SES inicijative. 2016. godine Austro Control i Slovenia Control su uspješno implementirale prvu prekograničnu FRA proceduru u Europi, bez vertikalnih i vremenskih restrikcija, pod nazivom SAXFRA (engl. *Slovenian/Austrian Cross Border Free Route Airspace*). Članice FAB CE Hrvatska i BiH se udružuju s državama Srbijom i Crnom Gorom u SEAFRA (engl. *South-East Axis Free Route Airspace*), te su se kasnije 2018. godine spojili zajedno sa SAXFRA i oformili SECSI FRA (engl. *South East Common Sky Initiative Free Route Airspace*). Tom suradnjom i inicijativom se omogućilo planiranje najkraćih ruta po tzv. „jugoistočnoj osi“ koja spaja Srednju Europu sa Jugoistočnom Europom. [7] [10]

2.1.2 DANUBE FAB

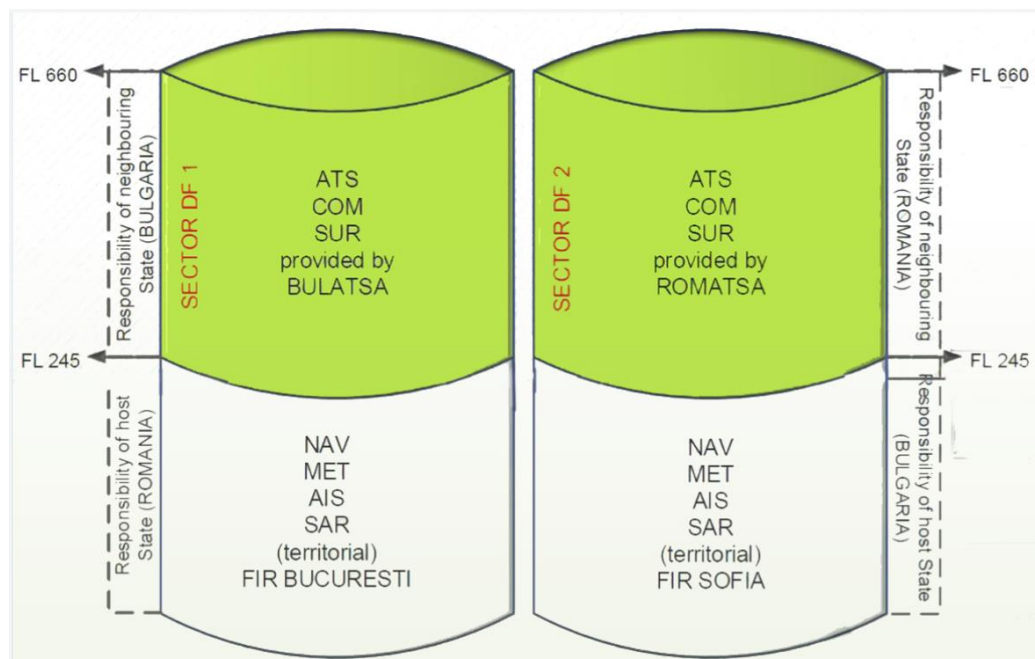
Sporazumom između država Rumunjske i Bugarske (engl. *DANUBE FAB State Agreement*) s početkom inicijative i pregovora 2004. g., a s završnom implementacijom 2012. g. stvara se DANUBE FAB, koji spaja zračne prostore objiju stranki te se organiziraju u skladu s SES zakonodavstvom. Članice DANUBE FAB, navedene u *Tablici 2* s pripadnim ANSP-ovima i CTA-ovima, 2019. se udružuju s Mađarskom, a 2021. im se pridružuje i Slovačka (obje članice FAB CE) u projekt SEE FRA (engl. *South East Europe Free Route Airspace*). [10]

Tablica 2 - Države DANUBE FAB-a i njihovi ANSP-ovi s nazivima ACC-ova i CTA
izvor: [8] [9]

<i>Država</i>	<i>ANSP</i>	<i>ACC / CTA</i>
<i>Bugarska</i>	ATSA (BULATSA)	Bulgaria Sofia ACC / LBSRCTA
<i>Rumunjska</i>	ROMATSA	Bucuresti LRBBCTA ACC /

Danas taj projekt znači cjelodnevnu dostupnost FRA koncepta nad prostorom navedenih država, što donosi efikasniji prekogranični zračni prostor s jednakom razinom sigurnosti operacije zračnog prometa. Specifičnost ovog FAB-a je što su prvi implementirali prekogranično pružanje usluga zračne plovidbe (engl. *CBS – Cross Border Provision of ANS*) unutar FAB-a, uspostavljanjem dvaju sektora DF1 i DF2 2014. g., gdje jedna država do FL245 pruža usluge navigacije, meteorološke, zrakoplovnog informiranja, potrage i spašavanja (na *Slici 2* respektivno NAV, MET, AIS, SAR), dok od FL245 do FL660 druga država može pružati usluge zračnog prometa, uslugu komunikacije i uslugu nadzora (respektivno ATS, COM, SUR).

[11]



Slika 2 - Prikaz prekograničnog pružanja usluge zračne plovidbe (CBS) u DANUBE FAB-u
izvor: [11]

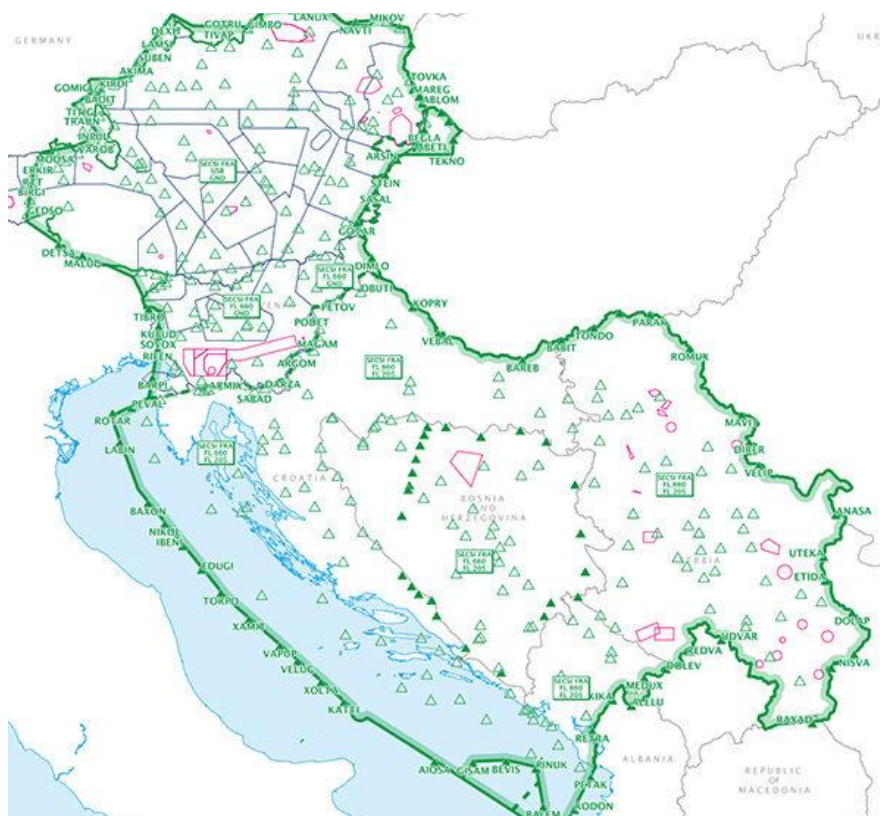
2.2 Zračni prostor Srbije, Crne Gore, Sjeverne Makedonije i Albanije

Države jugoistočne Europe koje nisu pripadnice Europske Unije i još nalaze u fazi razvoja te koje ne pripadaju nijednom FAB-u, a obrađuju se u ovom radu su Srbija Crna Gora, Sjeverna Makedonije i Albanija. Države su potpisnice ECAA ugovora (engl. *European Common Aviation Area*) od 2006.g., čiji je cilj integracija i zblizavanje država jugoistočne Europe s zrakoplovnim interesima i tržištem Europske Unije. U *Tablici 3* nalaze se nazivi ANSP, ACC i CTA država. [12]

Tablica 3- Države jugoistočne Europe i njihovi ANSP-ovi s nazivima ACC-ova i CTA
 izvor: [8] [9]

Država	ANSP	ACC / CTA
Albanija	Albcontrol	Tirana ACC / LAAACTA
Crna Gora Srbija	SMATSA	MNE / LYBATCTA Beograda ACC / LYBACTA
Sjeverna Makedonija	M-NAV	Skopje ACC / LWSSCTA

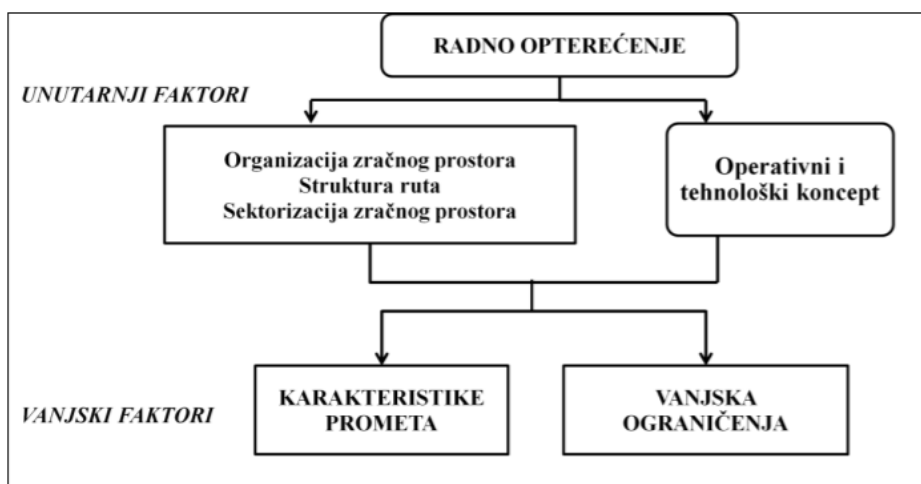
Koncept FRA je implementiran u svakoj državi, dok je specifičnost Srbije i Crne Gore, čiji zračni prostor kontrolira isti ANSP, pripadnost udruženju SECSI FRA (spomenutom u 2.1.1.). Važnost „jugoistočne osi“ se vidi u analizi prometa prema Arapskom poluotoku i ostalim južnijim destinacija, zbog gustoće prometnih tokova, javila se potreba da se „izbrišu granice“ te skrate kilometri putovanja. Šest države unutar SECSI FRA površinom čine jednu veću državu srednje Europe, te se prolaženje kroz taj zračni prostor olakšava, uporabom ulaznih i izlaznih točaka koje se mogu birati pri planiranju leta. [12] Iz toga razloga na inicijativu Europske platforme za zrakoplovstvo bi se SECSI FRA trebale pridružiti Sjeverna Makedonija i Albanija datuma 2. prosinca 2021. što bi izmijenilo izgled *Slike 3*. [13]



Slika 3 - Prostor SECSI FRA
 izvor: [13]

3. Metodologija određivanja kompleksnosti prema PRU modelu i varijabilnosti zračnog prometa

Metoda definiranja i mjerenja kompleksnosti zračnog prometa ovisi o namijenjenoj primjeni rezultata. Za svrhe ocjenjivanja ANSP-ova prema referentnim vrijednosti (engl. *benchmarking*) prema modelu EUROCONTROL-a, uzeti su u obzir vanjski faktori, prikazani na *Slici 4* koji utječu na radno opterećenje kontrolora i težinu kontrolorskog zadatka. Shodno tome, faktori kompleksnosti se dijele na unutarnje i vanjske. [8]



Slika 4- Podjela faktora kompleksnosti zračnog prometa
izvor: [8]

U vanjske faktore ubrajamo karakteristike prometa i vanjska ograničenja. Karakteristika prometa obuhvaća problematiku koncentracije prometa i vrsta interakcija između zrakoplova, a vanjska ograničenja uključuju utjecaj vojnog djelovanja, među interakcije susjednih centara oblasne kontrole te neke specifične pojave i događaje. Unutarnji faktori podrazumijevaju parametre kao što su organizacija zračnog prostora, struktura ruta, sektorske konfiguracije te primjene operativnih procedura i koncepata u cilju razdvajanja zrakoplova. Oni uvelike mogu smanjiti kompleksnost zadaća kontrolora te poboljšati efikasnost troškova, no ne smatraju se sredstvima za smanjenje kompleksnosti nego sredstvima kojima se unapređuje upravljanje prometom. Iz tog razloga EUROCONTROL u svoj PRU³ model uzima vanjske faktore. [14]

³ PRU – engl. *Performance Review Unit* – EUROCONTROL-ova jedinica zadužena za određivanje troškovne efikasnosti ANSP-ova prema referentnim vrijednostima, te izdavanja izvješća (engl. PRR - Performance Review Report) i procjena performansi sustava upravljanja zračnim prometom (engl. ATM- Air Traffic Management) na europskoj razini.

3.1 Definicija PRU modela kompleksnosti

Stručnjaci u EUROCONTROL-u, zajedno sa suradnicima sastavljeni u Radnu grupu, su pred sobom imali zadatak da pronađu indikatore kompleksnosti (engl. *complexity indicators*), pomoću kojih će se najrealnije doći do referentnih vrijednosti kompleksnosti zračnog prometa (engl. *complexity score*), koje se koriste pri analiziranju i uspoređivanju ANSP-ova

Model dijeli ukupni volumen zračnog prostora na trodimenzionalne ćelije jednakog volumena dimenzija: dužina 20 NM (nautičkih milja), širina 20 NM i visina 3000 ft. Kao četvrta dimenzija se uzima vrijeme tj. uzimaju se podaci o prometu unutar svake ćelije za vremenski period od jedan sat (60 minuta). Program računa indikatore zasebno za svaku ćeliju (za jedan dan 24 seta podataka) te se lakom raspodjelom ćelija može računati kompleksnost na razini ANSP-a ili ACC-a, po potrebi korisnika. Prva ćelija započinje od FL85 te se proteže do FL415, što znači da program uzima podatke isključivo za „en route“ fazu leta.

Indikatori se temelje na konceptu „interakcije“ zrakoplova, koja se definira kao istovremena prisutnost dva zrakoplova u ćeliji zračnog prostora. Interakcijama se pokazuje da se kompleksnost stvara prisutnošću više zrakoplova u istom prostoru, u isto vrijeme, naročito ako se ti zrakoplovi nalaze u različitim fazama leta ili imaju različit pravac leta. Indikatori se ne bave stvarnim nego potencijalnim interakcijama, u protocima zrakoplova u periodu od jednog sata. Takvom metodom se dobiva širi odnosno makroskopski pogled na kompleksnost. Na konkretnom primjeru se može objasniti značenje interakcija, primjerice, dva zrakoplova koja uđu u istu ćeliju zračnog prostora u istom vremenskom periodu su u interakciji. Interakcija se računa za svaki par zrakoplova sa točke gledišta svakog zrakoplova, što bi značilo da 2 zrakoplova imaju 2 interakcije, dok ćelija s 3 zrakoplova broji 6 interakcija (svaki od 3 zrakoplova je u interakciji s preostala 2).

Trajanje interakcije (engl. *Duration of interactions*) između jednog para zrakoplova se definira kao umnožak vremena što su oba zrakoplova provela u ćeliji (izražena u satima). Metoda ne uzima u obzir kada je vremenski svaki zrakoplov prošao kroz ćeliju, nego samo mjeri trajanje njegove prisutnosti u istoj u okviru od jednog sata, što znači da uzima sve potencijalne interakcije u obzir, čak iako zrakoplovi nisu u ćeliji istovremeno.

Ukupno trajanje interakcije u ćeliji se definira kao zbroj svih trajanja interakcije svakog para zrakoplova koji je u međusobnoj interakciji u ćeliji, te predstavlja veličinu potrebnu za računanje indikatora kompleksnosti. [8]

Definirana su četiri osnovna indikatora kompleksnosti zračnog prostora:

- prilagođena gustoća (engl. AD – Adjusted density),
- potencijalne vertikalne interakcije ili vertikalni indikator kompleksnosti (engl. VDIF – The Vertical Different Interactiong Flows),
- potencijalne horizontalne interakcije ili horizontalni indikator kompleksnosti (engl. HDIF – The Horizontal Different Interactiong Flows),
- potencijalne brzinske interakcije ili brzinski indikator kompleksnosti (engl. SDIF – The Speed Different Interactiong Flows).

Prilagođena gustoća (AD) je bezdimenzionalna veličina koja predstavlja omjer ukupnog trajanja interakcije i sati leta, te se računa po formuli:

$$AD = \frac{\sum TX}{\sum FT}, [-]$$

gdje su:

TX – ukupno trajanje interakcija para zrakoplova (engl. *total duration of interactions*), [h]

FT – sati leta (engl. *flight hours*), [h].

Vrijednost predstavlja prosječan broj zrakoplova u interakciji (broj prisutnih u istoj ćeliji), koje let koji prolazi kroz određeni ANPS/ACC može očekivati da će susresti.

Indikator vertikalne interakcije definiran je omjerom zbroja očekivanih sati potencijalne vertikalne interakcije svih ćelija na prostoru ACC-a te zbroja sati leta svih ćelija koje pripadaju tom ACC-u:

$$VDIF = \frac{\sum TXV}{\sum FT}, [-]$$

gdje su:

TXV – sati vertikalnih interakcija [h].

Zrakoplovi se nalaze u vertikalnoj interakciji ukoliko se istovremeno nalaze u istoj ćeliji i imaju različita režima leta. Pod time se misli da su dva zrakoplova u sljedećim odnosima: krstarenje/penjanje, penjanje/snižavanje, krstarenje/snižavanje. Situacije u kojima oba zrakoplova penju, oba zrakoplova snižavaju ili su oba zrakoplova u fazi krstarenja ne smatraju se vertikalno međuovisni. Smatra se da je zrakoplov u krstarenju ako u trenutku ulaska u ćeliju postiže brzinu penjanja manju od 500 stopa/minuti.

Indikator horizontalne kompleksnosti je omjer potencijalnih sati horizontalnih interakcija i sati leta. Brojnik tog omjera predstavlja umnožak broja horizontalnih interakcija u ćeliji i

prosječnog vremena interakcije između dva zrakoplova s uvjetom da im se pravci leta razlikuju za više od 20°:

$$HDIF = \frac{\sum TXH}{\sum FT} [-]$$

gdje su:

TXH – sati horizontalnih interakcija [*h*].

Indikator brzinske kompleksnosti se uspostavlja kao posljedica prisustva zrakoplova različitih brzina u ćeliji, odnosno uvjet prepoznavanja brzinske interakcije glasi da je minimalna razlika brzina 35 NM/h (oko 65km/h). Dobiva se omjerom potencijalnih brzinskih interakcija i sati leta:

$$SDIF = \frac{\sum TXS}{\sum FT} [-]$$

Gdje su:

TXS – sati brzinskih interakcija [*h*].

Iako se Radna grupa složila da treba postojati jedinstvena veličina koja opisuje kompleksnost zračnog prometa (koja bi objedinila sve rezultate računanja indikatora kompleksnosti), isto tako su se složili da se i individualni podaci trebaju priložiti i uspoređivati na razini ANSP-ova, da bi se dobila šira slika. Razlog toga je što na indikator prilagođene gustoće uglavnom direktno utječe volumen prometa, a na ostala tri (DIF indikatora) uglavnom utječe sama strukturiranost protoka prometa (intenzitet potencijalnih interakcija u prometu, smatra se jednostavnom, ako svi zrakoplovi lete u istom smjeru istom brzinom, a kompliciranom ako se neki protoci spajaju ili se u strukturi pojavljuju „točke spajanja“ zrakoplova) [15]. Usprkos tomu DIF indikatori su u korelaciji s prilagođenom gustoćom, jer ona sadrži sve interakcije. Korelacija se uklanja uvođenjem „relativnih“ indikatora, koji se računaju dijeljenjem indikatora interakcije za svaki ANSP/ACC s njihovom pripadnom prilagođenom gustoćom:

$$r_{VDIF} = \frac{VDIF}{AD}, [-]; \quad r_{HDIF} = \frac{HDIF}{AD}, [-]; \quad r_{SDIF} = \frac{SDIF}{AD}, [-].$$

Vrijednosti ovih veličina mogu se protumačiti kao postotak interakcija koje su vertikalne, horizontalne ili uzrokovane razlikama brzina.

Nakon uklanjanja korelacije između dvaju aspekata kompleksnosti, strukture protoka prometa i volumena prometa, uvodi se nova veličina koja predstavlja samo strukturu protoka prometa, pod nazivom strukturalni indeks (engl. Structural Index). Dobiva se zbrajanjem relativnih indikatora:

$$\text{Structural Index} = r_{VDIF} + r_{HDIF} + r_{SDIF}$$

Relacijom koja spaja dva aspekta kompleksnosti, na način da se prilagođenu gustoću i strukturalni indeks pomnoži, dobiva se nova veličina naziva kompleksnost zračnog prometa (engl. Complexity Score):

$$\text{Complexity Score} = AD \times \text{Structural Index}$$

koja se koristi pri procjenama i usporedbama ANSP-ova na razini Europe. Vrijednosti kompleksnosti prikazane u ovom radu se dobiju tako što se finalni rezultat formule pomnoži sa 60. Razlog toga je što su službeni rezultati u EUROCONTROL-ovom godišnjem izvješću prikazani u omjeru minuta interakcije i sati leta, što znači da se vrijednosti zasada kreću do maksimalno 20. [8] [16]

3.2 Određivanje varijabilnosti zračnog prometa

U matematičkom smislu varijabilnost označava rasipanje vrijednosti oko središnje tendencije, odnosno srednje vrijednosti, medijana ili moda. Srednja vrijednost ili aritmetička predstavlja sumu svih podataka podijeljenu s ukupnim brojem podataka, će se u ovom radu koristiti kao mjera središnje tendencije pri računanju varijabilnosti. Mjere kojima se izražava varijabilnost su raspon podataka, varijanca i standardna devijacija, dok se u zrakoplovstvu varijabilnost jednostavnije definira i izračunava. [17] [18]

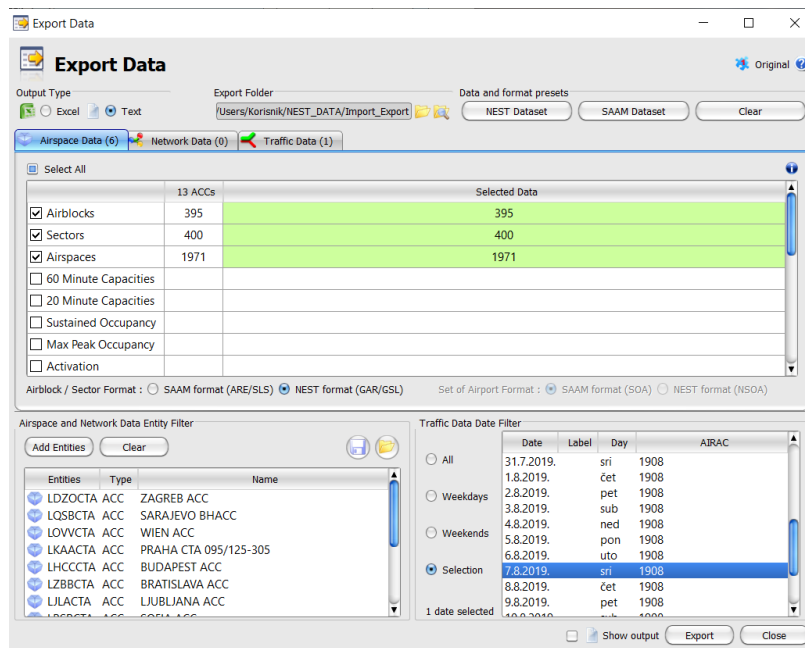
Sezonalna varijabilnost zračnog prometa predstavlja omjer količine prometa najprometnijeg i prosječnog tjedna ANSP/ACC-a. Dana definicija prilagodljiva je za različite vremenske periode te će se za potrebe ovog rada uzeti i definicija varijabilnosti kao omjer najprometnijeg dana i prosječnog dana u tjednu za određeni mjesec. Na taj način se može prikazati kako promet varira na većoj (sezonalnoj, makro) razini te na manjoj (tjednoj) razini. Pod pojmom sezonalnost podrazumijeva se povećanje brojčanih vrijednosti u određenom periodu godine, u odnosu na druge periode godine. U zrakoplovnoj industriji se osobito može pronaći, iz razloga što su ljetni mjeseci dosta prometniji od zimskih na globalnoj razini, a brojčano se može prikazati upravo sa varijabilnosti na razini pojedinih država. [19]

4. Izračun kompleksnosti zračnog prometa u zemljama Srednje i Jugoistočne Europe koristeći NEST softversko rješenje

Za potrebe ovog rada objašnjene su, na najjednostavniji način, osnove računanja kompleksnosti i varijabilnosti potrebne za razumijevanje konačnih rezultata dobivenih iz softvera NEST po zemljama. NEST (engl. *Network Strategic Tool*) je EUROCONTROL-ov softver, koji ujedno koriste i ANSP-ovi, kao alat za modeliranje i simuliranje scenarija zračnog prometa, koji služi za dizajniranje zračnog prostora i planiranje kapaciteta. Jedna od funkcija NEST-a je generiranje podataka potrebnih za računanje kompleksnosti te podataka o stvarnom prometu za dane u godini, potrebne za računanje varijabilnosti zračnog prometa. [20]

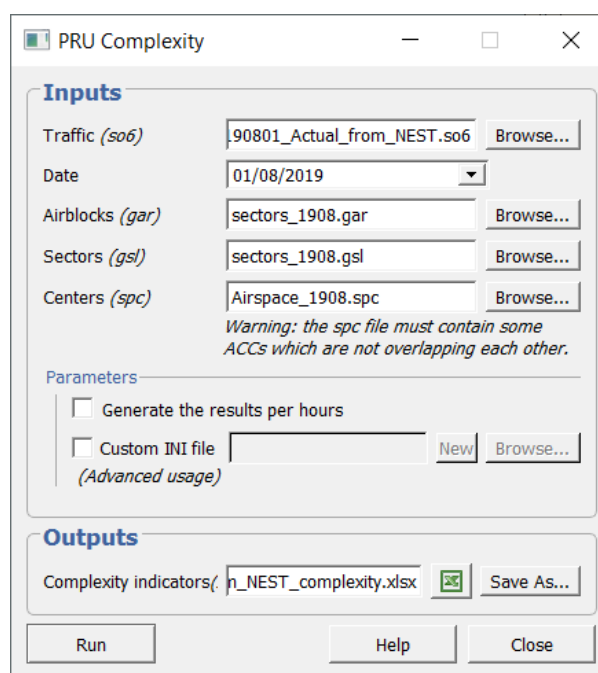
4.1 Postupak izvlačenja podataka iz NEST softvera

Računanju kompleksnosti zračnog prometa, prethodi niz radnji koje se obave u NEST-u. Prvi korak je odabir odgovarajućeg scenarija odnosno skupa podataka za vremenski period od 28 dana tj. tzv. AIRAC ciklus (engl. *Aeronautical Information Regulation and Control*) od određenog datuma. Istraživanje ovoga rada se zasniva na četiri AIRAC ciklusa u kojima se nalaze podaci interesnih tjedana tri mjeseca 2019. godine: veljače, svibnja i kolovoza. Zbog manje količine podataka uzete iz cijele godine, rezultati prikazuju sliku kompleksnosti koja polazi od mikro razine, tj. najprometnijeg tjedna u svakom od navedenih mjeseci. Razlog uzimanje upravo navedenih mjeseci je njihova najveća reprezentativnost karakterističnih dijelova godine u kojima se pretpostavlja da je promet manji (veljača), prosječan (svibanj) i velik (kolovoz). Sljedeći korak je izvoz podataka, koji se radi tako što se iz izborne trake odabere Datoteka (engl. *File*) zatim iz padajućeg izbornika odabere Izvezi podatke (engl. *Export Data*). Navedenom radnjom se otvara dijaloški okvir prikazan na *Slici 5*.



Slika 5 - Izgled dijaloškog okvira Export Data u NEST softveru
izvor: [9]

U njemu je potrebno dodati subjekte (engl. Add Entities) koji se obrađuju odnosno dio zračnog prostora za koji se zanima. Kao što je već navedeno, u radu se obrađuje trinaest zemalja, te su dodani ACC-ovi istih. Potrebno je označiti generirati podatke o blokovima zračnog prostora, sektorima te zračnom prostoru (engl. Airblocks, Sectors, Airspaces). Nakon toga odabrati određeni datum (preporuka je da se izvoze podaci samo za jedan dan, jer program koji računa parametre za računanje kompleksnosti nema mogućnost obrade više od jednog dana). Važna napomena je da se za formiranje podataka o bloku zračnog prostora ili sektoru (engl. Airblock / Sector Format) odabere NEST format (GAR/GSL). Sve nabrojene radnje potrebno je obaviti na kartici podataka o zračnom prostoru (engl. Airspace Data). U kartici s opcijama s podacima o prometu (engl. Traffic Data) potrebno je odabrati da se generiraju podaci o putanjama (engl. Trajectories), te format putanja SO6/T5. Kao što je spomenuto NEST ima mogućnost generiranja scenarija, zato postoji opcija da se osim stvarnih podataka o prometu (engl. Actual) generiraju i podaci koju su bili inicijalno predviđeni (engl. Initial) za taj određeni period odnosno opet odabrani datum (engl. Initial) te se to odabire u dijelu tip prometa (engl. Traffic Type). U ovom radu su prikazani stvarni podaci prometa. Softveru je potrebno oko 2 minute da izveze navedene podatke, koji se koriste u sljedećem koraku. Iz alatne trake se odabere analiza (engl. Analysis) te iz padajućeg izbornika odabirom *PRU Complexity* otvara se dijaloški okvir kao na *Slici 6*.



Slika 6 - Prikaz dijaloškog okvira PRU Complexity u NEST softveru
izvor: [9]

Pritiskom na pretraži (engl. *Browse*) za svako od polja za koja je potrebno odabrati datoteke (iz mape Import_Export koja se nalazi na Lokalnom disku) odabiru se one koje odgovaraju izvezenom datumu te AIRAC-u kojem pripada (na slici je prikazan AIRAC-a 1908, čije ime označava da se radi o osmom AIRAC-u po redu u 2019. godini). Odabirom opcije da se generiraju podaci po satima (engl. *Generate the results per hours*) dobiju se podaci za svaku ćeliju u svakom ACC-u za svaki sat u danu. U ovom radu se nije koristila ta opcija te se radi s jednim podatkom za cijeli dan svake ćelije ACC-a. Pritiskom na gumb *Run*, program započinje s radom, koji prosječno traje dva sata, nakon čega se dobije *excel* datoteka s izvezenim podacima, dijelom prikazana na Slici 7.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	UNIT_CODE	FL	FT	FD	DH	TX	TXH	TXV	TXS	N	NCELL
343	LYBATCTA	100	9,02	2658,03	8676,79	0,25	0,15	0,12	0,07	290	16
344	LYBATCTA	110	8,54	2563,57	8218,04	0,22	0,11	0,07	0,05	285	16
345	LYBATCTA	120	8,56	2585,87	8462,60	0,22	0,10	0,07	0,06	306	17
346	LYBATCTA	130	8,11	2505,67	7756,76	0,16	0,08	0,07	0,06	335	20
347	LYBATCTA	140	9,22	2846,25	8138,35	0,13	0,06	0,05	0,04	349	21

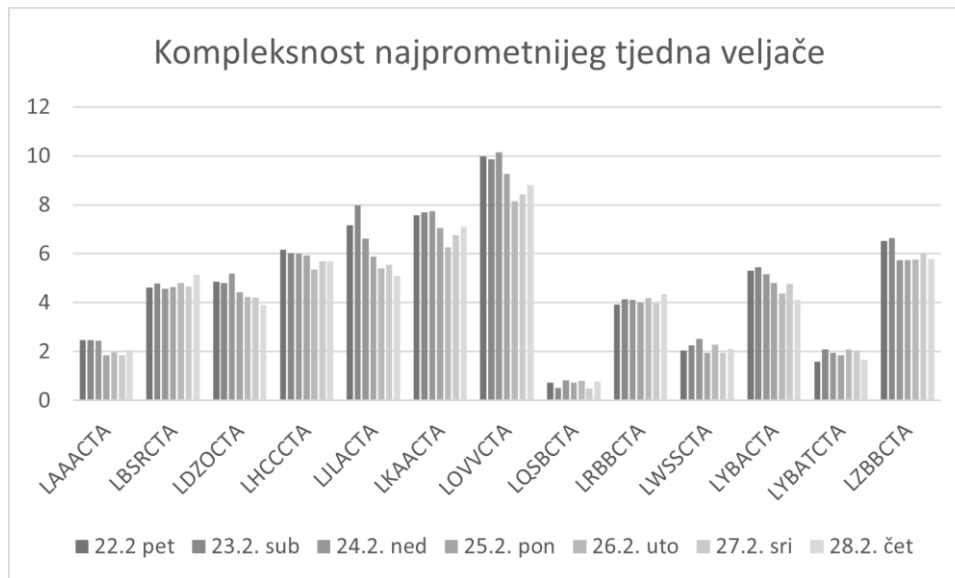
Slika 7- Prikaz dijela izvezenih podataka iz NEST-a u program Excel za Crnu Goru
Izvor: [Excel]; [9]

Primjer ACC-a LYBATCTA (zračni prostor Crne Gore), koji ima najmanje generiranih podataka tj. pet redaka, daje način na koji su prikazani podaci tj. u jedanaest stupaca u excel radnom listu *Results*, čije je značenje kratica objašnjeno u radnom listu *Legends* zajedno sa

prikladnim formula za računanje kompleksnosti zračnog prometa, koje su navedene u poglavlju 3.1 [9]

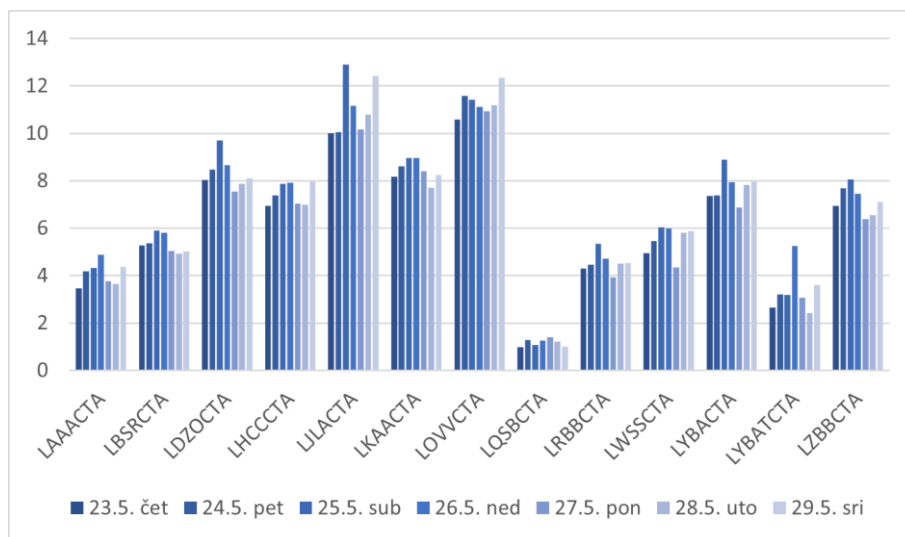
4.2 Rezultati računanja kompleksnosti zračnog prometa

Kao što je već napomenuto, kompleksnost u ovom radu se računa na tjednoj razini, što daje mogućnost prikaza kako se mijenja iz dana u dan. Ključ po kojem se birao najprometniji tjedan su podaci iz NEST-a o broju letova u cijeloj Europi za dane u mjesecu. Izabrano je uzastopnih sedam dana koji su bilježili najveće brojeve. Iz *Grafikona 1* vidljiva je ovisnost kompleksnosti o činjenici je li se radi o radnom danu kroz tjedan ili vikendu. Na njemu su prikazani podaci za najprometniji tjedan veljače 2019., što opet ne umanjuje činjenicu da se radi o zimskom periodu kada je promet znatno manji od ljetnog perioda. Maksimalna vrijednost se pronalazi u Austrijskom ACC-u gdje blago prelazi 10, dok minimalna vrijednost manja od 1 se pridodaje ACC-u Bosne i Hercegovine.



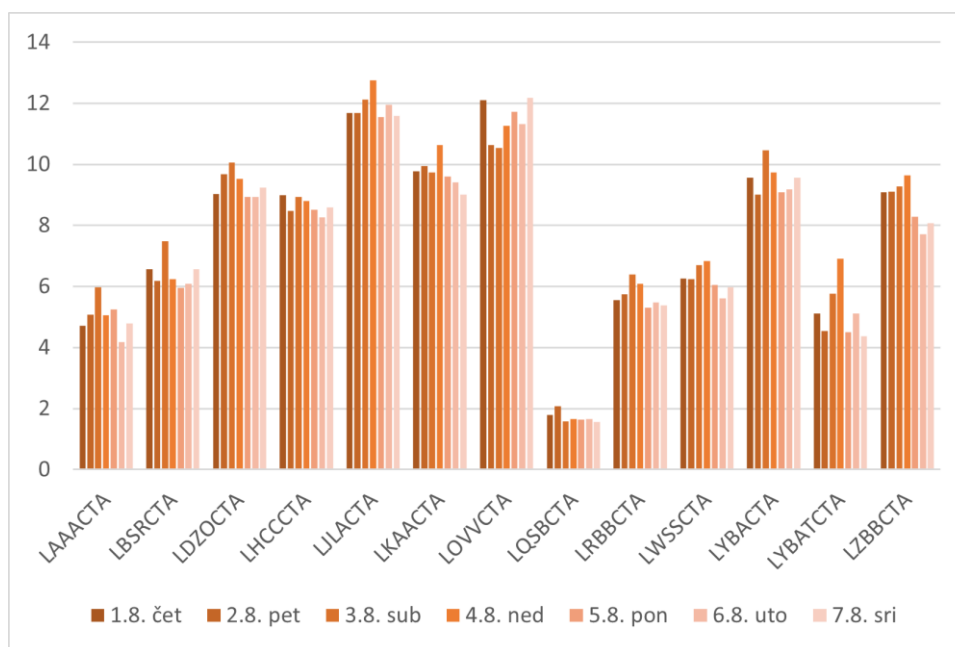
Grafikon 1- Prikaz vrijednosti kompleksnosti država za period 22.-28. veljače 2019. izvor: [Excel]; [9]

U svibnju 2019. godine bilježi se porast u usporedbi s veljačom, što je vidljivo iz *Grafikona 2*. Maksimalna vrijednost se premješta u slovenski zračni prostor gdje doseže nešto manje od 13 za dan subotu. Primjetno je da za svaku državu da su većinom najjači dani u tjednu petak, subota i nedjelja, s iznimkom Austrije (vrhunac srijeda) i Slovenije koje bilježe velike brojeve i sredinom tjedna. Svibanj se uzima kao prosječni mjesec u godini, iz razloga što su podaci iz svibnja najpribližniji prosječnim rezultatima kompleksnosti na razini cijele godine.



Grafikon 2 - Prikaz vrijednosti kompleksnosti država za period 23.-29. svibnja 2019.
izvor: [Excel]; [9]

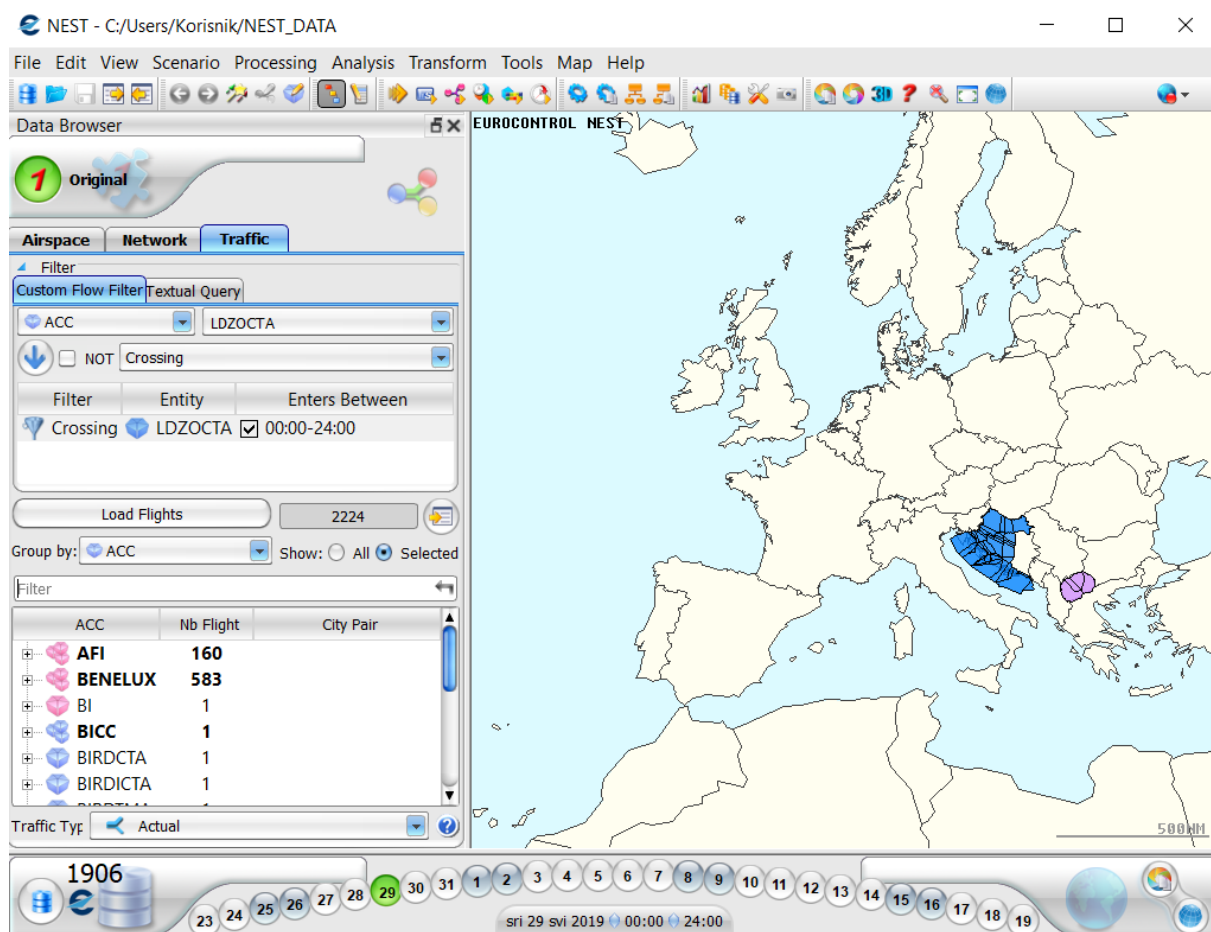
Najprometniji tjedan kolovoza, prikazan u *Grafikonu 3* može se za većinu država smatrati maksimumom na godišnjoj razini. Razlika u maksimalnim brojkama za svibanj i kolovoz je jedva primjetna, obzirom da države koje ih postavljaju ne variraju u prevelikoj mjeri odnosno njihova sezonalnost nije naglašena u mjeri koliko je naglašena za druge države, primjerice iščitavaju se najveća povećanja u Češkoj, Bugarskoj, Hrvatskoj, Srbiji, Crnoj Gori i BiH.



Grafikon 3 - Prikaz vrijednosti kompleksnosti država za period 1.-7. kolovoza 2019.
izvor: [Excel]; [9]

5. Izračun varijabilnosti zračnog prometa u zemljama Srednje i Jugoistočne Europe

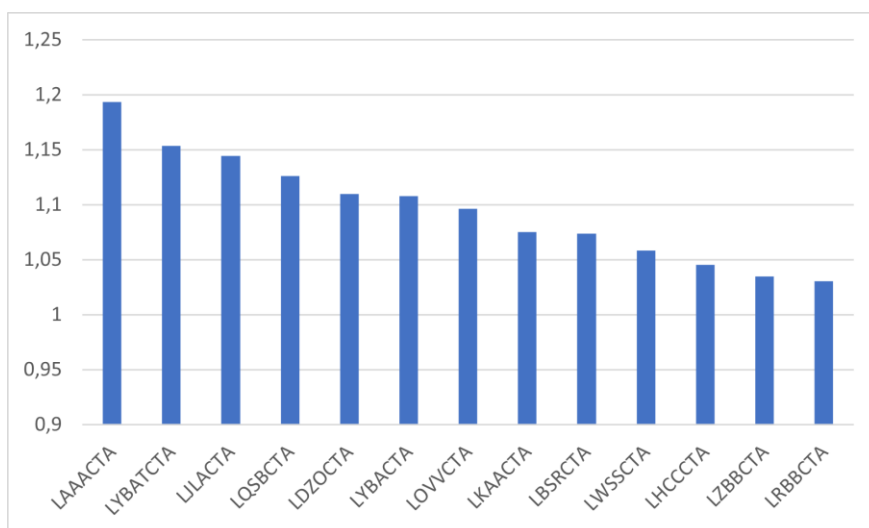
Pri računanju varijabilnosti, koristi se program NEST u svrhe dobivanja podataka o broju operacija u danu za interesne zemlje. Pod pojmom operacije se u ovom radu u tom kontekstu podrazumijeva kao broj zrakoplova koji je prošao kroz zračni prostor određene države. Kao što je vidljivo na slici_ u sučelju pretraživanja podataka (engl. *Data Browser*) odabere se kartica promet (engl. *Traffic*), zatim se odabere jedan od dva načina filtriranja podataka, u ovom slučaju je to prilagođeni filter protoka (engl. *Custom Flow Filter*). Iz padajućeg izbornika se odabere ACC, te se u polju pokraj napiše točan naziv ACC-a. Odabere se uvjet da se radi o letovima koji prolaze kroz zračni prostor (engl. *Crossing*), te pritiskom na strelicu smjera prema dolje, pojavi se filter u prozoru ispod. Pritiskom na gumb ispod toga, da se učitaju letovi (engl. *Load Flights*), pojavi se broj letova, a prije toga se treba uvjeriti da je izabran željeni dan u donjem dijelu sučelja programa te da je izabran stvaran tip prometa (engl. *Traffic Type: Actual*).



Slika 8 - Prikaz sučelja NEST-a za računanje broja operacija
izvor: [9]

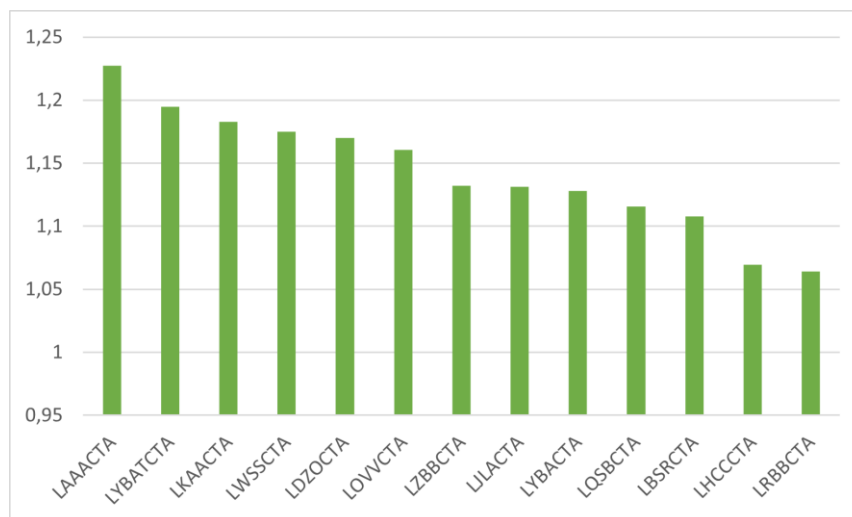
Slika prikazuje da su na dan 29. svibnja kroz LDZOCTA prošla 2224 leta. Isti postupak se ponavlja za sve države, uz važnu napomenu da se prije učitavanja novog filtera, prethodni mora ukloniti desnim klikom na njega, te klikom na naredbu ukloni filter (engl. *Remove Filter*).

Primjenom činjenice da se varijabilnost u tjednom periodu dobiva omjerom najprometnijeg dana i prosječnog dana, dobiju se vrijednosti prikazane na *Grafikonu 4*. Varijabilnost ponajviše predstavlja razliku prometnih vikenda naspram radnih dana s manjim prometom. Razlika u vrijednostima države s najvećom varijabilnosti (Albanija) te one s najmanjom (Rumunjska) iznosi tek 0,16, što u usporedbi s varijabilnostima na većim periodima ne predstavlja velik „hod“, iz razloga što većina država koje se uspoređuju imaju pojačane vikende.



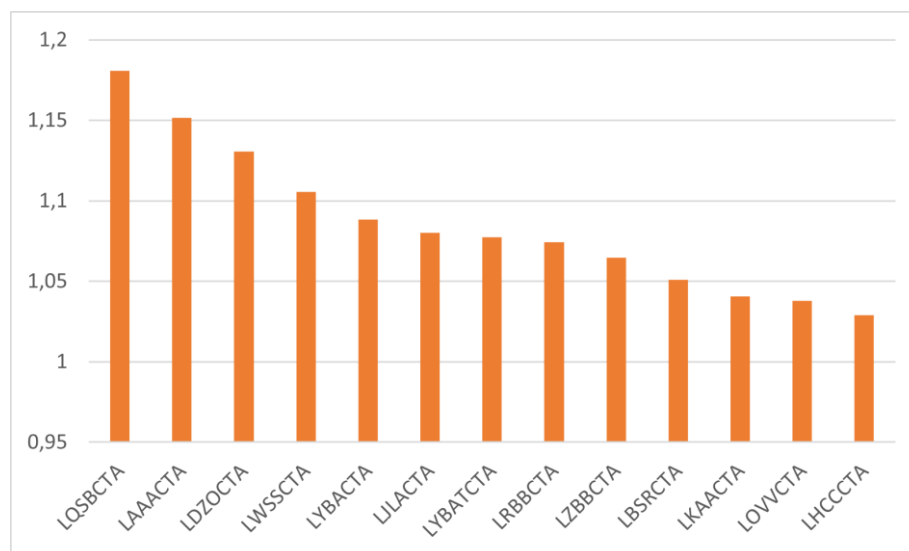
*Grafikon 4 - Prikaz varijabilnosti država za period 22.-28.2. veljače 2019.
izvor: [Excel]; [9]*

Najprometniji tjedan svibnja bilježi porast u maksimalnoj vrijednosti, dok minimalna vrijednost bilježi pad, što se može uočiti na *Grafikonu 5* te da se ujedno radi o istim državama kao u veljači. Pored toga i za ostale države se primijeti porast brojki, što znači da u usporedbi sa veljačom, države bilježe veće razlike u količini prometa u danima kroz tjedan.



Grafikon 5 - Prikaz varijabilnosti država za period 23.-29. svibnja 2019.
izvor: [Excel]; [9]

Rezultati izračuna na *Grafikonu 6* pokazuju da su vrijednosti varijabilnosti u najprometnijem tjednu kolovoza bliže vrijednostima veljače nego svibnja. U ljetnom periodu razlike u broju operacija za dane u tjednu su za većinu država manje, iz razloga što se ljeti promet povećava za svaki dan. BiH kao država s najvećom vrijednosti te Albanija na drugom mjestu, odnosno države u razvoju, variraju zbog generalno slabijeg prometa koji je aktivan samo u određenim danima tjedna tj. bilježi veće tjedne oscilacije.



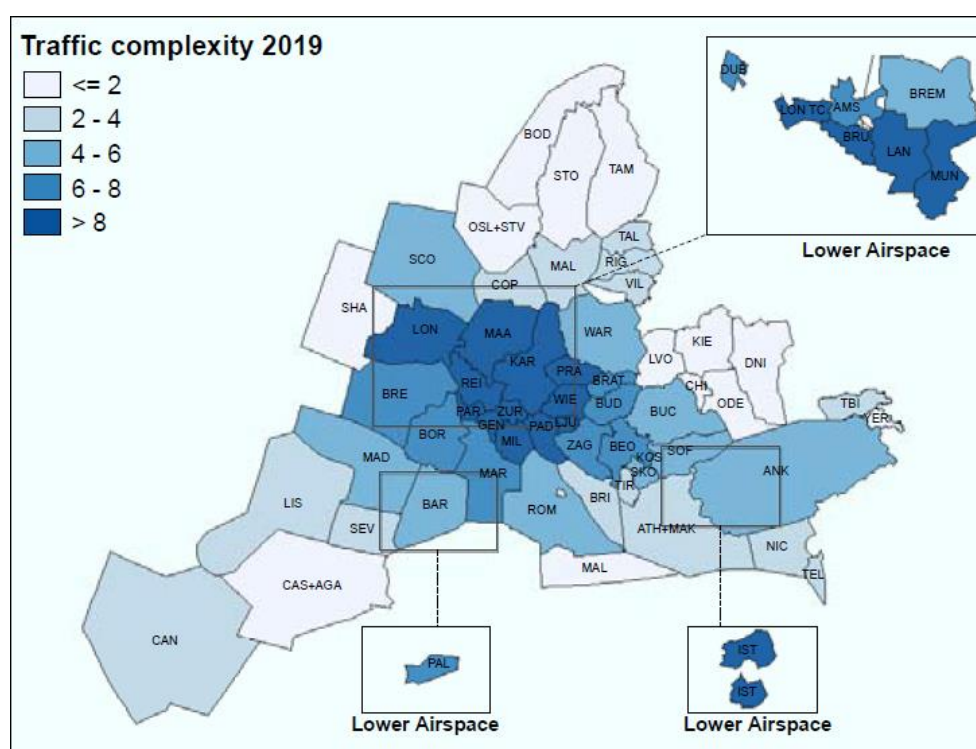
Grafikon 6 - Prikaz varijabilnosti država za period 1.-7. kolovoza 2019.
izvor: [Excel]; [9]

6. Usporedba dobivenih rezultata

Pored iznošenja rezultata i „kretanja“ podataka kompleksnosti i varijabilnosti na razini dana u tjednu za navedene mjesece i usporedbi vrijednosti među mjesecima, potrebno je međusobno usporediti vrijednosti među državama.

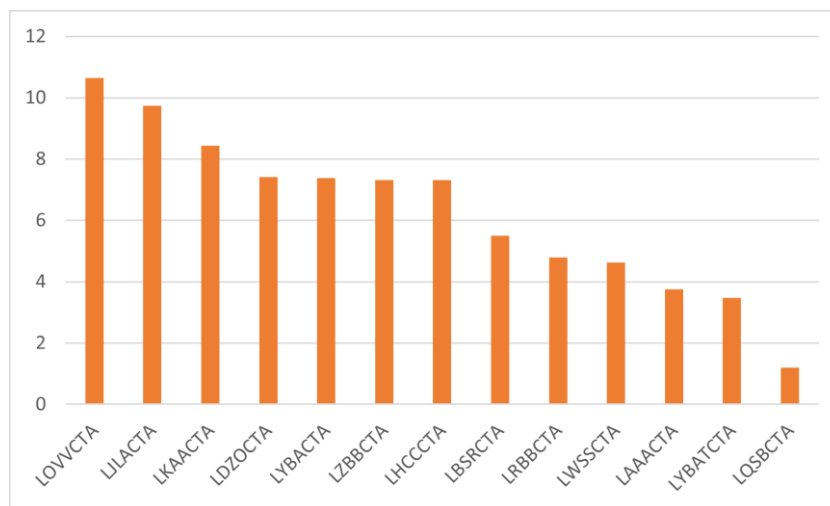
6.1 Rezultati kompleksnosti zračnog prometa

Iako veza između kompleksnosti prometa i izvedbe ANSP-a nije direktna, ipak predstavlja neizostavan faktor za uzimanje u obzir pri analiziranju izvedbe. EUROCONTROL u svom dokumentu PRR objavljuje sliku Europe gledanu kroz filter kompleksnosti zračnog prometa na godišnjoj razini za 2019. godinu



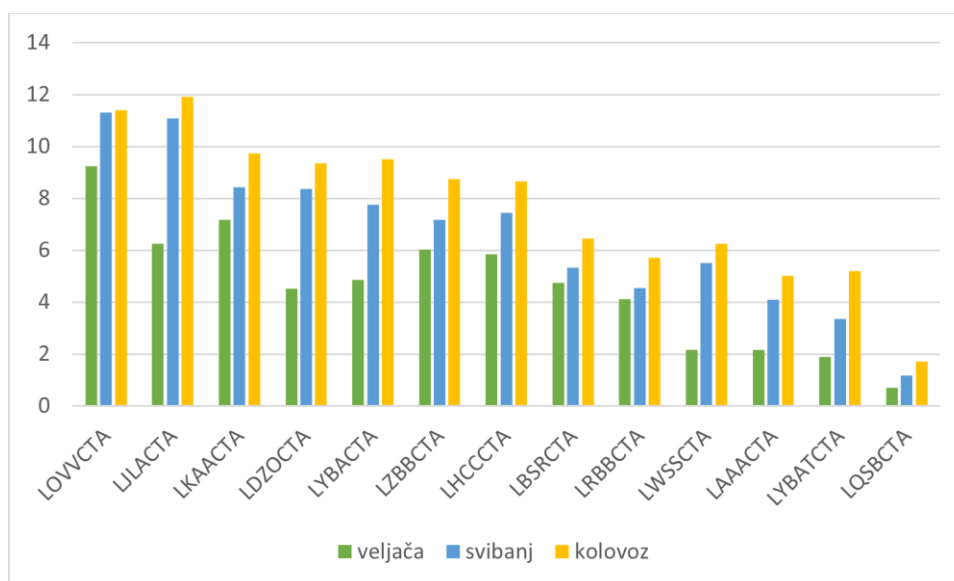
Slika 9 - Kompleksnost zračnog prometa na razini Europe po ACC-ovima za 2019. godinu
izvor: [19]

. Iz Slike 9 primjećuje se da vrijednosti jugoistočnih zemalja tj. Sjeverne Makedonije, Rumunjske i Bugarske se kreću od 4 do 6, s Albanijom jedinom u nižem rangi od 2 do 4. Države zapadnije i sjevernije od tih tj. Srbija, Hrvatska, Mađarska i Slovačka su u rangi vrijednosti od 6 do 8, dok sve ostale zemlje Srednje Europe tj. Slovenija, Austrija i Češka imaju vrijednosti veće od 8. Rezultati podataka obrađivanih u radu na razini najprometnija tri tjedna veljače, svibnja i kolovoza tj. srednja vrijednost od tjednih prosječnih vrijednosti navedenih mjeseci, pokazuju blago odstupanje rezultata Crne Gore i BiH od prethodno navedenih službenih za prosjek podataka iz cijele godine, odnosno Crnu Goru se smješta u rang



Grafikon 7 - Prosječna kompleksnost zemalja za tri karakteristična tjedna 2019. godine
izvor: [Excel]; [9]

od 2 do 4, a BiH od 0 do 2. Time se donekle potvrđuje vjerodostojnosti svih prikazanih podataka u *Grafikonu 7*, iz razloga što su te obje države prikazane pod nadležnošću Hrvatske i Srbije, koje imaju veće vrijednosti. Preuzimanje kontrole nad vlastitim višim zračnim prostorom se dogodilo tek kasnije, za BiH, a Crna Gora i dalje ima poseban sporazum sa Srbijom o zajedničkom pružatelju usluga (SMATSA).

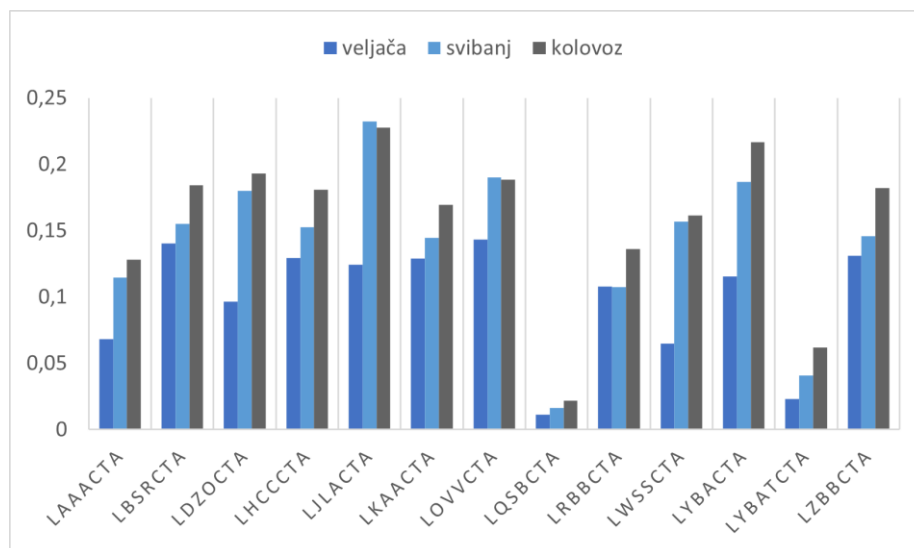


Grafikon 8 - Kompleksnost zemalja za tri najprometnija tjedna u tri mjeseca 2019. godine
izvor: [Excel]; [9]

Iz *Grafikona 8* koji prikazuje prosječne vrijednosti najprometnijeg tjedna u karakterističnim mjesecima svih zemalja, poredanih od najveće prosječne vrijednosti sva tri mjeseca, do najmanje. Iz usporedbe prethodna dva grafikona vidimo da je maksimalna vrijednost grafa kolovoz za Sloveniju, ali se nalazi na drugom mjestu zbog manje prosječne

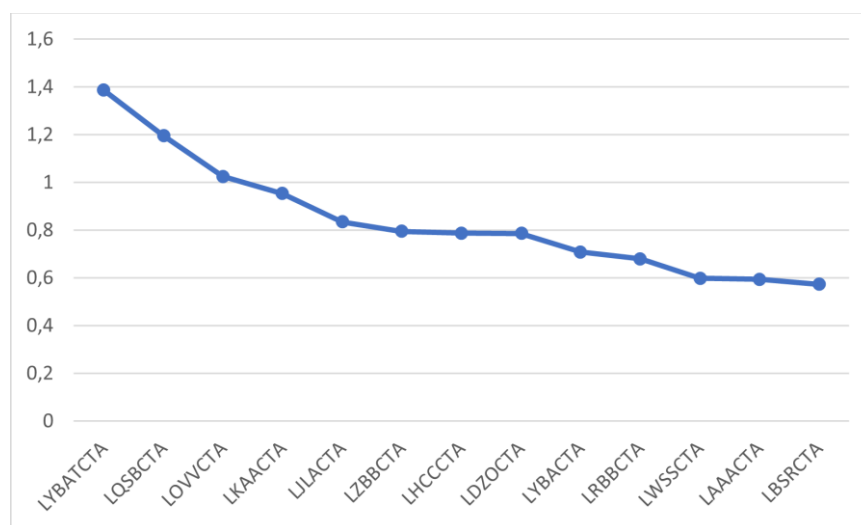
vrijednosti, koja je manja od Austrijske. Države koje ne bilježe „velike skokove“ između vrijednosti mjeseci su one koje ujedno imaju i manju varijabilnost.

Kako se vrijednost kompleksnosti oblikuje od umnoška dvaju neovisnih faktora odnosno prilagođene gustoće i strukturalnog indeksa, te vrijednosti se mogu zasebno prikazati po državama te usporediti koja više utječe na formiranje konačnog rezultata..



Grafikon 9 - Prikaz prosječne prilagođene gustoće država za tri mjeseca 2019. godine
izvor: [Excel]; [9]

Na Grafikonu 9 se vidi kretanje vrijednosti prilagođene gustoće, koje je jako slično onom za kompleksnost. Interesantno je primijetiti da prosječna vrijednost svibnja za Sloveniju veća od one kolovoza, što znači da su volumen i gustoća prometa bile veće za taj period. Po toj karakteristici BiH i Crna Gora opet zauzimaju najmanje vrijednosti

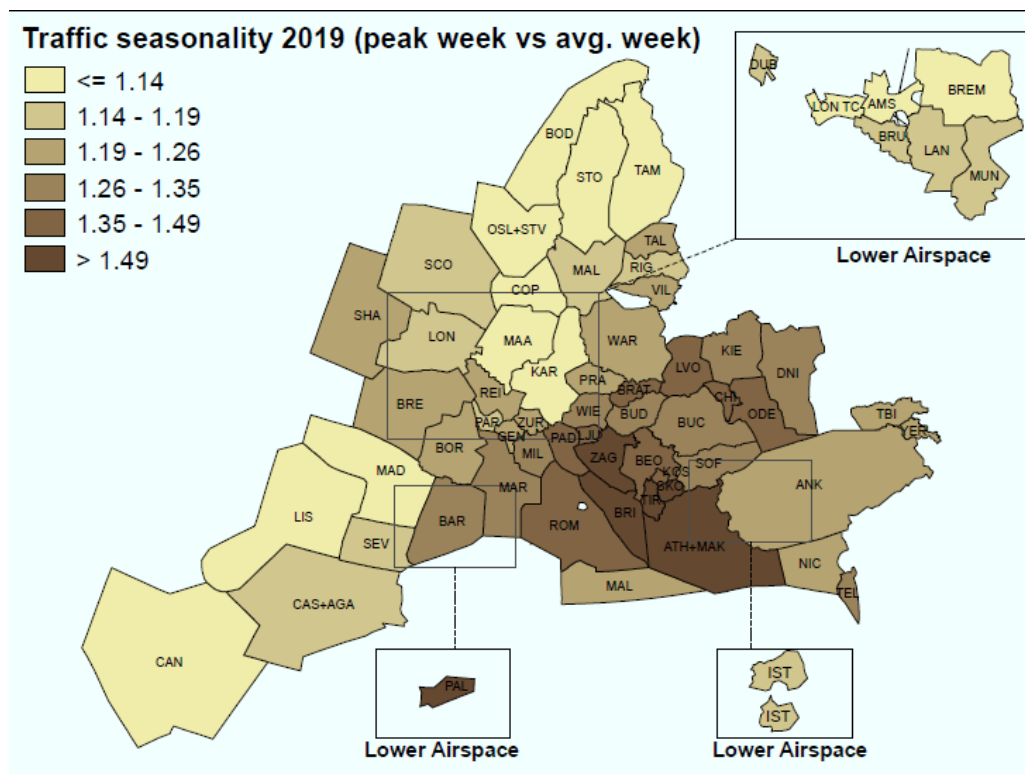


Grafikon 10 - Prikaz prosječnog strukturalnog indeksa za tri karakteristična tjedna 2019. godine
izvor: [Excel]; [9]

. Dok na *Grafikonu 10*, koji prikazuje prosječni strukturalni indeks zemalja za tri karakteristična tjedna u tri mjeseca vidi da upravo te zemlje zauzimaju prva dva mjesta sa najvećom strukturiranosti protoka prometa odnosno intenzitetom potencijalnih interakcija. Osim tih iznimki, vrijednosti ostalih zemalja se slično kreću vrijednostima kompleksnosti.

6.2 Rezultati varijabilnosti zračnog prometa

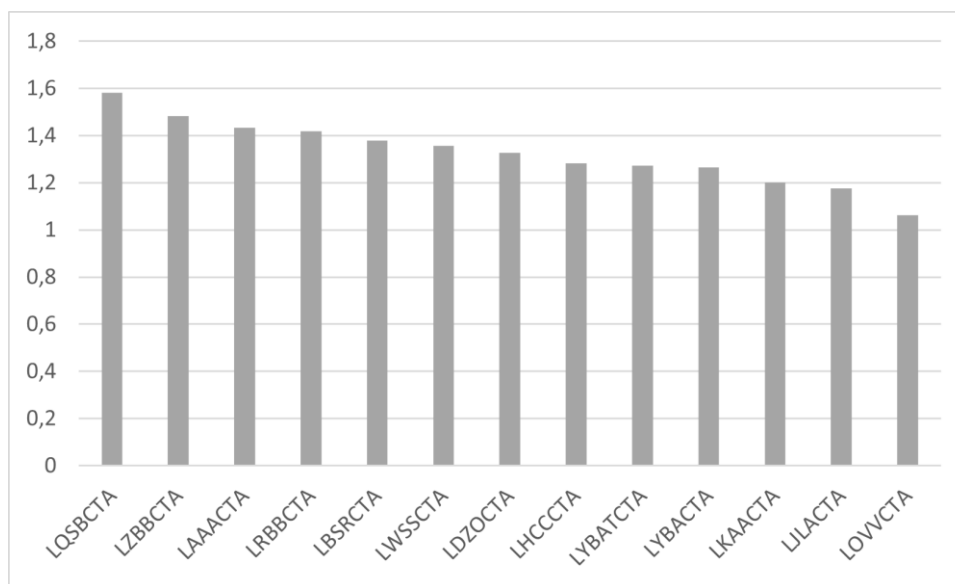
Službeni rezultati za ACC-ove Europe prikazani na *Slici 10* daju prikaz varijabilnosti na godišnjoj razini tj. dobivenu omjerom broja operacija najprometnijeg tjedna godine i onog prosječnog.



Slika 10 - Kompleksnost zračnog prometa na razini Europe po ACC-ovima za 2019. godinu
izvor: [19]

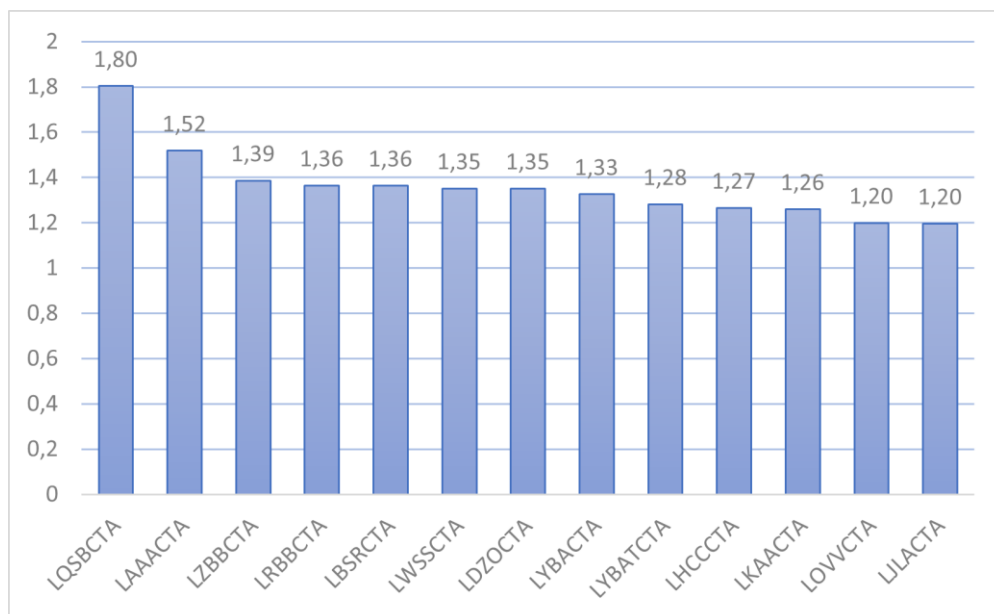
U prvom planu se uočava da su u zemljama, s pojačanim prometom za vrijeme godišnjih odmora (engl. *holiday traffic*) u ljetnim periodima, najveće vrijednosti varijabilnosti. Konkretno u Hrvatskoj, Albaniji, Sjevernoj Makedoniji, Slovačkoj i Grčkoj vrijednosti su veće od 1.49. Ispod njih se nalaze vrijednosti od 1.26 do 1.35 u čiji rang spadaju Srbija i Slovenija, dok manje vrijednosti od 1.19 do 1.26 imaju Bugarska, Rumunjska, Mađarska i Austrija.

Prikaz varijabilnosti, koji daje rezultate približne onim službenim se vidi na *Grafikonu 11*. Prikazuje se varijabilnost dobivena na osnovu više podataka odnosno kao omjer zbroja svih operacija u najprometnijem tjednu kolovoza i zbroja svih operacija u prosječnom tjednu svibnja (periodu od 1.-7.). Iako se radi o većoj perspektivi iz koje se gleda ukupna varijabilnost prometa neke države, podaci se opet razlikuju od službenih iz razloga uzete pretpostavke da je svibanj prosječan mjesec u godini za sve zemlje, što u potpunosti nije točno.



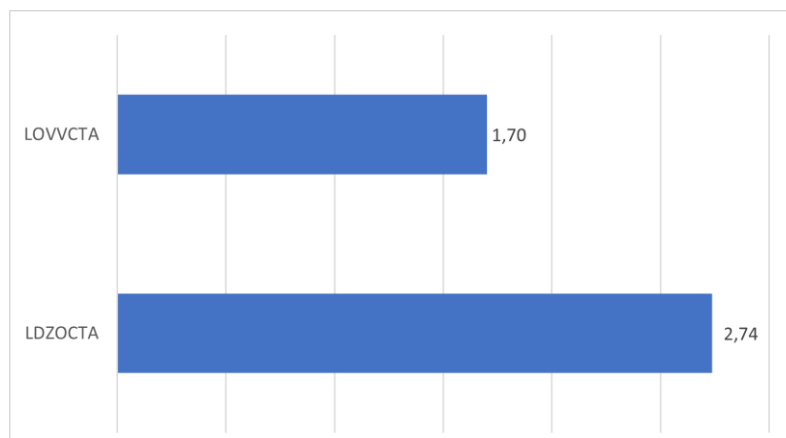
Grafikon 11- Prikaz varijabilnosti na osnovu tjednih podataka kolovoza i svibnja 2019. godine
 izvor: [Excel]; [9]

Podaci uzeti za izradu *Grafikona 12* su za najprometniji tjedan kolovoza (1.-7.) maksimalne vrijednosti operacija u jednom danu, koje su podijeljene s prosječnom vrijednosti dnevnih operacija u najprometnijeg tjedna svibnja (23.-29.) za svaku državu. Podaci za neke zemlje odstupaju od službenih, iz razloga što se već u svibnju promet povećava te zapravo ne predstavlja prosječnu vrijednost za cijelu godinu. Uočljive su velike vrijednosti BiH i Albanija tj. nerazvijenijih država, a manje vrijednosti razvijenijih odnosno Austrije i Slovenije. Ujedno se usporedbom s podacima kompleksnosti tih država primijeti obrnuta proporcionalnost tih vrijednosti i vrijednosti varijabilnosti zračnog prometa. Sve ostale države imaju slične vrijednosti



Grafikon 12 - Prosječna varijabilnost na osnovu dnevnih podataka kolovoza i svibnja 2019. godine
izvor: [Excel]; [9]

Na *Grafikonu 13* se vidi razlika u varijabilnosti kada se usporede brojke kolovoza i veljače. Predstavlja varijabilnost dobivenu kao omjer dana s maksimalnim brojem operacija u kolovozu i dana s prosječnim brojem operacija za veljaču. Za usporedbu su uzete Hrvatska, koja predstavlja državu s većom sezonalnom varijabilnosti, te Austrija, koja ima manju. Brojke na grafu pokazuju da vrijednost varijabilnosti na razini godine, ne daje jasnu sliku za države kojima je više izražena sezonalnost prometa, tj. njihov prosječan mjesec i tjedan nije svibanj jer pripada u prometniju dijelu godine. Karakteristika takvih država je nagli skok prometa s početkom polovice godine koja predstavlja turističku sezonu te države.



Grafikon 13 - Varijabilnost Hrvatske i Austrije s podacima iz kolovoza i veljače
izvor: [Excel]; [9]

7. Zaključak

Kompleksnost i varijabilnost uzimaju se kao jedni od važnijih pokazatelja stanja zračnog prometa određene države. Stručnjaci pri definiranju indikatora kompleksnosti su vodili računa da se veličina na koju direktno utječe volumen prometa (prilagođena gustoća) može matematički neovisno prikazati i uzimati u obzir kao i druga veličina na koju utječe sama strukturiranost protoka prometa (strukturalni indeks). Prilikom usporedbe kompleksnosti zračnog prometa nekih zemalja, moraju se uzeti u obzir te zasebne veličine, koje međusobnim množenjem formiraju finalnu vrijednost kompleksnosti.

Konkretno na datom primjeru u završnom radu, Hrvatske i Austrije, ili generalno usporedbom varijabilnosti zračnog prometa određenih država može se dobiti odgovor na pitanje je li ta zemlja ustvari ima neki stupanj sezonalnosti prometa odnosno velikih razlika u količini operacija u ljetnom i zimskom periodu godine. Na taj način se takve države odvajaju od onih koje nemaju pretjerane „skokove brojki“, koji direktno utječu na radno opterećenje kontrolora, odnosno neravnomjernu raspodjelu istog, kroz godinu

Najveća raznolikost odnosno variranje vrijednosti konačnih podataka kompleksnosti i varijabilnosti zračnog prometa se pronalazi u FAB CE. Shodno tome, možemo zaključiti kako svaka država rezultate može uzeti u svrhe individualnog uspoređivanja sa drugim državama u identičnim uvjetima računanja rezultata, te to ujedno predstavlja cilj i korisnost ovoga završnog rada.

Prosječna kompleksnost država, dobivena kao srednja vrijednost prosječnih vrijednosti najprometnijih tjedana veljače, svibnja i kolovoza, je u rasponu vrijednosti od 1,19 (Bosna i Hercegovina) do 10,64 (Austrija). Hrvatska, 4. po redu od zemalja uspoređenih, sa vrijednosti 7,4 više teži državama sa najvećim vrijednostima.

Dobiveni rezultati pokazuju da maksimalne vrijednosti kompleksnosti na razini najprometnijih tjedana veljače, svibnja i kolovoza, za jedan dan, dosežu respektivno brojeve 10,15 (Austrija), 12,91 (Slovenija) i 12,75 (Slovenija). Tim podatkom se može zaključiti ne samo da vrijednosti svibnja spadaju u ljetni način rada, nego da čak premašuju brojeve u kolovozu, u nekim državama. Maksimalne vrijednosti za Hrvatsku svibnja (9,71) i kolovoza (10,06) isto tako naglašavaju sezonalnost zračnog prometa.

Varijabilnost zračnog prometa za svaku državu, dobivena kao omjer broja operacija najprometnijeg tjedna u kolovozu i broja operacija prosječnog tjedna u svibnju, daje vrijednosti od 1,06 (Austrija) do 1,58 (Bosna i Hercegovina), čime te dvije države u odnosu na kompleksnosti mijenjaju mjesta u ljestvici, po pitanju ekstremnih vrijednosti. Hrvatska s vrijednosti 1,32 zauzima mjesto u sredini.

Na tjednoj razini za sva tri mjeseca pojedinačno, najveća vrijednost varijabilnosti pripada Albaniji sa 1,15 u kolovozu, 1,22 u svibnju i 1,19 u veljači.

Dobivanjem varijabilnosti kao omjera dana s maksimalnim brojem operacija u kolovozu i dana s prosječnim brojem operacija u svibnju, dobiva se znatno veći raspon vrijednosti odnosno najveća za je Bosnu i Hercegovinu (1,80), a najmanja za Sloveniju (1,19). Vrijednost Hrvatske se neznatno razlikuje od one računane na tjednoj razini te iznosi 1,35.

U obzir se moraju uzeti ograničenja ovog rada u vidu količine podataka odnosno dana u godini koji su uzeti, koji daju samo približan prikaz realne situacije, polaženjem od mikro razine.

Popis literature

- [1] EUROCONTROL. Available: <https://www.eurocontrol.int/about-us>. [Pokušaj pristupa srpanj 2021.].
- [2] »European FABs,« [Mrežno]. Available: https://www.skybrary.aero/index.php/File:European_FABs.jpg.
- [3] »Europa,« [Mrežno]. Available: https://ec.europa.eu/transport/modes/air/ses_en. [Pokušaj pristupa srpanj 2021.].
- [4] »Regulation 549/2004 - SES Framework,« [Mrežno]. Available: https://www.skybrary.aero/index.php/Regulation_549/2004_-_SES_Framework.
- [5] »FAB,« [Mrežno]. Available: [https://www.skybrary.aero/index.php/Functional_Airspace_Block_\(FAB\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Functional_Airspace_Block_(FAB)). [Pokušaj pristupa srpanj 2021.].
- [6] [Mrežno]. Available: https://www.skybrary.aero/index.php/File:European_FABs.jpg. [Pokušaj pristupa kolovz 2021.].
- [7] »FAB CE,« [Mrežno]. Available: <https://www.fab-ce.eu/airspace/free-route>. [Pokušaj pristupa kolovoz 2021.].
- [8] »Complexity Metrics for ANSP Benchmarking Analysis. Report by the ACE Working Group on complexity,« EUROCONTROL, 2006..
- [9] *NEST - Network Strategic Tool*.
- [10] P. R. Commision, »EUROCONTROL,« Kolovoz 2008. [Mrežno]. Available: https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/modes/air/studies/doc/traffic_management/evaluation_of_fabs_final_report.pdf. [Pokušaj pristupa kolovoz 2021.].
- [11] »DANUBE FAB,« [Mrežno]. Available: <http://www.danubefab.eu/airspace>. [Pokušaj pristupa kolovoz 2021.].

- [12] »Europa - ECAA,« [Mrežno]. Available: https://ec.europa.eu/transport/modes/air/international_aviation/country_index/ecaa_en. [Pokušaj pristupa kolovoz 2021.].
- [13] »M-NAV,« [Mrežno]. Available: <https://mnavigation.m-nav.info/?p=6997&lang=en>. [Pokušaj pristupa kolovoz 2021.].
- [14] I. Miljak, 2013.. [Mrežno]. [Pokušaj pristupa kolovoz 2021.].
- [15] »Eurocontrol PRC,« Svibanj 2018. [Mrežno]. Available: <https://www.eurocontrol.int/ACE/ACE-Reports/ACE2016.pdf>. [Pokušaj pristupa srpanj 2021.].
- [16] ANS Performance [Mrežno]. Available: <https://ansperformance.eu/reference/dataset/traffic-complexity-score/>. [Pokušaj pristupa kolovoz 2021.].
- [17] Varijabilnost [Mrežno]. Available: https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/PREDAVANJE7.pdf. [Pokušaj pristupa kolovoz 2021.].
- [18] [Mrežno]. Available: <https://study.com/academy/lesson/variability-in-statistics-definition-measures-quiz.html>. [Pokušaj pristupa kolovoz 2021.].
- [19] Performance Review Report 2019. [Mrežno]. Available: <https://www.eurocontrol.int/publication/performance-review-report-prr-2019>. [Pokušaj pristupa srpanj 2021.].
- [20] EUROCONTROL -NEST[Mrežno]. Available: <https://www.eurocontrol.int/model/network-strategic-modelling-tool>. [Pokušaj pristupa kolovoz 2021.].
- [21] »Control Area,« [Mrežno]. Available: https://www.skybrary.aero/index.php/Control_Area. [Pokušaj pristupa kolovoz 2021.].

Popis slika

Slika 1- Prikaz FAB-ova u Europi izvor: [6].....	5
Slika 2 - Prikaz prekograničnog pružanja usluge zračne plovidbe (CBS) u DANUBE FAB- u izvor: [11]	7
Slika 3 - Prostor SECSI FRA izvor: [13]	8
Slika 4- Podjela faktora kompleksnosti zračnog prometa izvor: [8]	9
Slika 5 - Izgled dijaloškog okvira Export Data u NEST softveru izvor: [9]	Error!
Bookmark not defined.	
Slika 6 - Prikaz dijaloškog okvira PRU Complexity u NEST softveru izvor: [9]	16
Slika 7- Prikaz dijela izvezenih podataka iz NEST-a u program Excel za Crnu Goru Izvor: [Excel]; [9]	16
Slika 8 - Prikaz sučelja NEST-a za računanje broja operacija izvor: [9]	19
Slika 9 - Kompleksnost zračnog prometa na razini Europe po ACC-ovima za 2019. godinu izvor: [19].....	22
Slika 10 - Kompleksnost zračnog prometa na razini Europe po ACC-ovima za 2019. godinu izvor: [19].....	25

Popis grafikona

Grafikon 1- Prikaz vrijednosti kompleksnosti država za period 22.-28. veljače 2019. izvor: [Excel]; [9]	17
Grafikon 2 - Prikaz vrijednosti kompleksnosti država za period 23.-29. svibnja 2019. izvor: [Excel]; [9]	18
Grafikon 3 - Prikaz vrijednosti kompleksnosti država za period 1.-7. kolovoza 2019. izvor: [Excel]; [9]	18
Grafikon 4 - Prikaz varijabilnosti država za period 22.-28.2. veljače 2019. izvor: [Excel]; [9]	20
Grafikon 5 - Prikaz varijabilnosti država za period 23.-29. svibnja 2019. izvor: [Excel]; [9]	21
Grafikon 6 - Prikaz varijabilnosti država za period 1.-7. kolovoza 2019. izvor: [Excel]; [9]	21
Grafikon 7 - Prosječna kompleksnost zemalja za tri karakteristična tjedna 2019. godine izvor: [Excel]; [9]	23
Grafikon 8 - Kompleksnost zemalja za tri najprometnija tjedna u tri mjeseca 2019. godine izvor: [Excel]; [9]	23
Grafikon 9 - Prikaz prosječne prilagođene gustoće država za tri mjeseca 2019. godine izvor: [Excel]; [9]	Error! Bookmark not defined.
Grafikon 10 - Prikaz prosječnog strukturalnog indeksa za tri karakteristična tjedna 2019. godine izvor: [Excel]; [9].....	24
Grafikon 11 - Prikaz varijabilnosti na osnovu tjednih podataka kolovoza i svibnja 2019. godine izvor: [Excel]; [9].....	27
Grafikon 12 - Prikaz varijabilnosti na osnovu dnevnih podataka kolovoza i svibnja 2019. godine izvor: [Excel]; [9].....	Error! Bookmark not defined.
Grafikon 13 - Varijabilnost Hrvatske i Austrije s podacima iz kolovoza i veljače izvor: [Excel]; [9]	27

Popis tablica

Tablica 1- Države FAB CE-a i njihovi ANSP-ovi s nazivima ACC-ova i CTA.....	5
Tablica 2 - Države DANUBE FAB-a i njihovi ANSP-ovi s nazivima ACC-ova i CTA izvor: [8] [9]	6
Tablica 3- Države jugoistočne Europe i njihovi ANSP-ovi s nazivima ACC-ova i CTA izvor: [8] [9]	8



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

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

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ završnog rada

pod naslovom **Usporedba kompleksnosti i varijabilnosti zračnog prometa**

u zemljama Srednje i Jugoistočne Europe

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

Student/ica:

U Zagrebu, 9/6/2021

Josipa Mustapić
(potpis)