

# Utjecaj rutnih operacija na kompleksnost zračnog prometa za zračni prostor Republike Hrvatske

---

Žilić, Mario

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:240277>

*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  
ZAGREB

**ZAVRŠNI RAD**

**UTJECAJ RUTNIH OPERACIJA NA KOMPLEKSNOŠĆ ZRAČNOG PROMETA ZA ZRAČNI  
PROSTOR REPUBLIKE HRVATSKE**

**EFFECT OF EN-ROUTE OPERATIONS ON THE AIR TRAFFIC COMPLEXITY FOR THE AIRSPACE  
OF THE REPUBLIC OF CROATIA**

Mentor: dr. sc. Bruno Antulov-Fantulin

Student: Mario Žilić

JMBAG: 0246078633

Zagreb, kolovoz 2022.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
**ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD**

Zagreb, 1. travnja 2022.

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

**ZAVRŠNI ZADATAK br. 6777**

Pristupnik: **Mario Žilić (0246078633)**  
Studij: **Aeronautika**  
Smjer: **Kontrola leta**

Zadatak: **Utjecaj rutnih operacija na kompleksnost zračnog prometa za zračni prostor Republike Hrvatske**

**Opis zadatka:**

Opis značajki i karakteristika hrvatskog zračnog prostora i prometa te opisati i objasniti metodologiju rada i određivanja kompleksnosti zračnog prometa. Napraviti statističku obradu podataka koristeći Pearsonov koeficijent korelacije i analizirati iste.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

dr. sc. Bruno Antulov-Fantulin

## **UTJECAJ RUTNIH OPERACIJA NA KOMPLEKSNOŠT ZRAČNOG PROMETA ZA ZRAČNI PROSTOR REPUBLIKE HRVATSKE**

### **SAŽETAK**

Kompleksnost zračnog prometa jedna je od ključnih tematika koje se proučavaju u kontroli zračnog prometa. Veličina koja utječe na volumen prometa naziva se prilagođena gustoća, a utjecajna veličina na strukturiranost protoka prometa naziva se strukturalni indeks. U ovom radu opisane su sve veličine koje utječu na kompleksnost prema PRU modelu kojeg je razvio istraživački tim EUROCONTROL-a. Sve navedene veličine se mogu matematički formulirati i opisati kako bi se dobile ostale značajne veličine. Kompleksnost je jedan od važnijih pokazatelja stanja zračnog prometa. Analiza oblasnih operacija leta i kompleksnosti zračnog prometa se radila statističkim proračunima korelacija na osnovu Spearmanovih i Pearsonovih koeficijenata korelacije. Sav proces proračuna je objašnjen u radu, a korišteni podaci su navedeni u radu. Za potrebe proračuna i statističke obrade korišteni su podaci od 2017. do 2019. godine. U periodu od te tri godine obrađeno je svih 36 mjeseci. Konačni rezultati kompleksnosti i oblasnih operacija leta su opisani te međusobno uspoređeni.

**KLJUČNE RIJEČI:** rutne ili oblasne operacije leta; kompleksnost zračnog prometa; zračni prostor Republike Hrvatske; korelacija; broj letova; kašnjenja; DIF indikatori

### **SUMMARY**

Air traffic complexity is one of the key topics studied in air traffic control. The size that affects the volume of air traffic is called adjusted density and other size that affects the structure of the air traffic flow is known as structural index. In this paper, all parameters affecting complexity are described according to the PRU model developed by the EUROCONTROL research team. All the mentioned quantities can be mathematically formulated and described in order to obtain other significant quantities. Complexity is one of the most important indicators of the state of air traffic. The analysis of en-route operations and the complexity of air traffic was done with statistical correlation calculations based on Spearman's and Pearson's correlation coefficients. The entire calculation process is explained in the paper, and the data used are listed in the paper. For the purposes of calculation and statistical processing, data from 2017 to 2019 were used. In the period of those three years, all 36 months were processed. The final results of the complexity and en-route operations of the flight are described and compared with each other.

**KEYWORDS:** en-route flight operations; air traffic complexity; Republic of Croatia airspace; correlation; delays; DIF indicators

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. Karakteristike hrvatskog zračnog prostora i prometa.....	3
2.1. Vertikalna raspodjela hrvatskog zračnog prostora.....	8
2.2. Horizontalna raspodjela hrvatskog zračnog prostora .....	10
2.2.1. Kontrolirani zračni prostor .....	10
2.2.2. Nekontrolirani zračni prostor .....	14
2.2.3. Zračni prostor u kojem je letenje posebno regulirano .....	15
2.3. Reduced Vertical Separation Minima (RVSM) zračni prostor .....	19
3. METODOLOGIJA ODREĐIVANJA KOMPLEKSNOSTI ZRAČNOG PROMETA .....	21
3.1. Dimenzije kompleksnosti.....	24
3.1.1. Karakteristike prometa .....	24
3.1.2. Kompleksnost zračnog prometa .....	25
3.1.3. Vanjska ograničenja u dimenziji kompleksnosti .....	25
3.2. Indikatori kompleksnosti .....	26
3.2.1. Rešetkaste dimenzije ( <i>Grid dimensions</i> ) .....	26
3.2.2. Interakcije.....	28
3.2.3. Prilagođena gustoća ( <i>Adjusted density</i> ).....	29
3.2.4. Vertikalne interakcije .....	31
3.2.5. Horizontalne interakcije.....	32
3.2.5. Interakcije brzinama .....	33
3.3. Utjecaj kompleksnosti na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa.....	33
4. Podaci o prometu.....	38
4.1. Podaci o broju zrakoplova i en-route ATFM kašnjenju.....	38
4.2. Podaci o rezultatima kompleksnosti prometa .....	47
5. Statistička obrada podataka .....	60
5.1. Pearsonov koeficijent korelacije .....	62
5.2. Spearmanov koeficijent korelacije .....	65
6. Analiza rezultata .....	67
6.1. Analiza statističke korelacije broja letova i iznosa kompleksnosti .....	67
6.2. Statistička analiza kašnjenja i kompleksnosti .....	72
6.3. Statistička analiza broja letova i kašnjenja .....	74
6.4. Statistička analiza broja letova i DIF indikatora .....	80
7. Zaključak.....	87

Popis literature .....	89
Popis slika .....	91
Popis grafikona .....	93
Popis tablica .....	94

# 1. UVOD

Republika Hrvatska se zbog svog geografskog položaja suočava s porastom broja letova iz dana u dan jer zračni prostor Republike Hrvatske čini sjecište puteva s jugo i jugoistoka prema Europi i obrnuto. Kako bi se osigurao siguran i efikasan let, nadležna kontrola leta Republike Hrvatske koja se naziva Hrvatska kontrola zračne plovidbe to mora pružiti jer su oni ti koji pružaju usluge kontrole leta u RH. Kako ne bi došlo do zagušenja u zračnom prostoru RH ili prevelikog uvođenja regulacija koje su nusproizvod kašnjenja mora se obratiti pažnja na čimbenike koji utječu na to. Svemu ovome prethodi kompleksnost koja se definira kao težina obavljanja nekog zadatka koja se interpretira nekim razinama ili egzaktnije putem brojčane vrijednosti koja je dobivena količnikom određenih vrijednosti. Prva stvar oko kompleksnosti na koju se obraća pažnja je radno opterećenje kontrolora zračnog prometa, s naglaskom na proučavanje vanjskih čimbenika koji utječu na težinu zadatka kontrolora zračnog prometa i njegovog radno opterećenje. Tako su ustanovljeni indikatori i dimenzije kompleksnosti u svrhu sustavnog vrednovanja, no pri tome se ne gleda na unutarnje čimbenike koji utječu na kontrolore zračnog prometa, poput proceduralno povezanih čimbenika u kontroli zračnog prometa. Dimenzije kompleksnosti su zapravo dio okoline upravljanja zračnim prometom, odnosno svaka od njih tri uzima značajku ATM okoline za koju se vjeruje da utječe na kompleksnost koju osjećaju kontrolori zračnog prometa. Te tri značajke predstavljaju vanjska ograničenja, ograničenja zračnog prometa i karakteristike prometa. Stoga, u ovom završnom radu svrha je otkriti i prikazati usporedbu između kompleksnosti i oblasnih (rutnih) operacija leta te njihovo međusobno ponašanje putem korelacija kako bi se što lakše došlo do nekih odgovora na koji način su oni međusobno povezani te kako se ponašaju kroz period od tri godine. Uz usporedbu kompleksnosti i oblasnih operacija, obrađene su i uspoređene veličine poput kašnjenja, DIF indikatora, prilagođene gustoće i svih ostalih čimbenika koji su direktno ili indirektno povezani s kompleksnošću.

Rad se dijeli na sedam cjelina:

1. Uvod
2. Karakteristike hrvatskog zračnog prostora i prometa
3. Metodologija određivanja kompleksnosti zračnog prometa
4. Podaci o prometu
5. Statistička obrada podataka
6. Analiza rezultata
7. Zaključak.

U drugom poglavlju je opisan zračni prostor Republike Hrvatske, vertikalna i horizontalna podjela kao i sektorska podjela prostora. Opisana je podjela na klase i koji promet može operirati u određenim klasama, kao i vrste prostora gdje je letenje posebno regulirano. Također, definiran je RVSM prostor i njegovo uvođenje u RH.

U trećem poglavlju opisana je metodologija određivanja kompleksnosti zračnog prometa prema PRU modelu računanja koje je kreirao istraživački tim EUROCONTROL-a koji je zadužen za proračune kompleksnosti za svaku ANSP državu članicu. Opisano je stvaranje tog modela, definiranje kompleksnosti, što utječe na samu kompleksnost, razni indikatori i čimbenici preko kojih se može računati kompleksnost na bazi podataka za sve ANSP države članice. Objasnjen je i ljudski faktor u tome svemu, utjecaj kompleksnosti na kontrolore zračnog prometa i radno opterećenje. Objasnjen je psihološki model odlučivanja prema Wickensu.

U četvrtom poglavlju navedeni su podaci za period od tri godine o prometu u oblasnim fazama leta (en-route) putem karakterističnih slika, grafova i tablica.

U petom poglavlju objašnjen je način na koji se podaci statistički obrađuju putem Pearsonovih ili Spearmanovih koeficijenata korelacije. Prikazano je sučelje u programu MS Excel koji je služio za obradu podataka. Definiran je način računanja i testiranja statističkih proračuna putem Spearmanove ili Pearsonove metode određivanja koeficijenta korelacija.

U šestom poglavlju obavljena je analiza rezultata koji su proračunati u petom poglavlju. Za svaki statistički zadatak napisano je rješenje, testiranje hipoteze i prikazani su karakteristični grafovi i tablice zbog što lakšeg prikaza podataka. Statistički su obrađeni podaci kompleksnosti, broja letova, kašnjenja i DIF indikatora kako bi se utvrdila povezanost između varijabli.

U sedmom poglavlju se nalazi zaključak ovog završnog rada.



## 2. Karakteristike hrvatskog zračnog prostora i prometa

Zračni prostor je dio atmosfere definiranih horizontalnih i vertikalnih granica koji se prostire iznad kopna i mora određene države. Zračni prostor kontrolira država iznad njezinog teritorija, uključujući njezine teritorijalne vode. Po internacionalnom zakonu država ima kompletan suverenitet nad zračnim prostorom iznad teritorija te države. Teritorijalne vode neke države su 12 NM od obale, a sve preko pripada otvorenom moru. Zračni prostor se općenito dijeli na kontrolirani i nekontrolirani. Nekomolirani zračni prostor se može nazvati i prostorom slobodnog letenja, a u kontroliranom zračnom prostoru se pruža usluga kontrole letenja svim letovima u tom području. Krovna organizacija za zrakoplovstvo ICAO je 1991. godine definirala sedam različitih klasa zračnog prostora u Dodatku 11 (*Annex 11*) s pripadajućim regulacijama i uslugama. Države članice su samostalno u dogovoru odredile kako će izgledati njihov zračni prostor prateći direktive i savjete iz dodatka 11 te na kojim aerodromima će se davati usluga kontrole leta. Zračni prostor svake države je utemeljen prema različitim čimbenicima poput geografskih, nacionalnih, ekonomskih, strukturalnih, a standardizacija zračnog prostora je omogućila pilotima iz svih krajeva svijeta da provode letove pod uniformiranim uvjetima kako bi se povećala sigurnost, učinkovitost i ekonomičnost letova. [1] Tako države članice su prema njihovim potrebama ustanovile zračni prostor u skladu sa sljedećom podjelom/klasifikacijom zračnog prostora i u skladu sa SERA<sup>1</sup> *Appendix 4*. [2] Ta podjela se može proširiti na klasifikaciju zračnog prostora koja se dijeli na:

- klasa A – U toj klasi dozvoljeni su samo IFR (*Instrument Flight Rules*) letovi, svima se pruža usluga kontrole zračne plovidbe i svi se razdvajaju jedni od drugih [1]. Kontinuirana komunikacija zrak-zemlja je potrebna za sve letove. Ova klasa se ne koristi u Zagreb FIR-u.

- klasa B – U toj klasi dozvoljeni su IFR i VFR (*Visual Flight Rules*) letovi, svima se pruža usluga kontrole zračne plovidbe i svi se razdvajaju jedni od drugih. Kontinuirana komunikacija zrak-zemlja je potrebna za sve letove [3]. Klasa B se ne koristi u Zagreb FIR-u [1].

- klasa C - Dozvoljeni su IFR i VFR letovi, usluga kontrole zračne plovidbe se pruža svima, IFR promet se razdvaja od IFR prometa i od VFR prometa. VFR letovi se razdvajaju od IFR letova, a dobivaju informaciju o prometu (*engl. Traffic Information*) u odnosu na ostali VFR promet te savjet o izbjegavanju prometu (*engl. Traffic Avoidance Advice*) prometa ako zatraže. Kontinuirana komunikacija zrak-zemlja je potrebna za sve letove. U ovoj klasi primjenjuju se i brzinska ograničenja koja vrijede za VFR promet. VFR zrakoplovi se mogu kretati indiciranom brzinom (IAS) do 250 čvorova ispod 10 000 stopa

---

<sup>1</sup> Standardised European Rules of the Air

iznad srednje razine mora, odnosno 3050 metara. Ovo ne vrijedi za zrakoplove koji ne mogu održavati ovu brzinu zbog tehničkih ili sigurnosnih razloga [3]. Ovakvo odobrenje izdaje ovlaštena agencija za tipove zrakoplova. Svi letovi su podložni odobrenjima kontrole leta [1].

- klasa D – Dopušteni su IFR i VFR letovi, svi letovi dobivaju usluge kontrole leta. IFR letovi se razdvajaju od drugih IFR letova i primaju informaciju o prometu za VFR letove te po potrebi/na zahtjev savjet o izbjegavanju prometa. VFR letovi dobivaju informaciju o prometu za sve letove i po potrebi savjet o izbjegavanju prometa. Mora se održavati kontinuirana glasovna komunikacija zrak-zemlja koja vrijedi za sve letove. Za sve letove do 10 000 stopa iznad srednje razine mora vrijedi ograničenje brzine od maksimalno 250 čvorova IAS, osim ako nije drukčije propisano od strane ovlaštene agencije za vrste zrakoplova iz istog razloga kao i kod klase C [3]. Svi letovi su subjekti odobrenjima nadležne kontrole leta.

- klasa E – Dopušteni VFR i IFR letovi. IFR letovima se pruža usluga kontrole leta i razdvajaju se od drugih IFR letova. Svi letovi dobivaju informaciju o prometu dok god je praktično. Kontinuirana glasovna komunikacija zrak-zemlja se zahtijeva svim IFR letovima. Za VFR letove ovaj zračni prostor klase E je *Radio Mandatory Zone* (RMZ). Pravilo za ograničenje brzine vrijedi i u ovoj klasi kao i za prošle dvije klase. Logika koja leži iza ovog zakona je ta kako bi se lakše mogli odvajati lagani spori zrakoplovi od velikih brzih zrakoplova. Klasa E se ne bi trebala koristiti za kontrolirane zone (*engl. CTRs*) [3]. Svi IFR letovi su podložni odobrenjima nadležne kontrole leta. Klasa E se ne koristi u Zagreb FIR-u [1].

- klasa F - Dozvoljeni IFR i VFR letovi, IFR letovima se pruža savjetodavna usluga (*engl. Air Traffic Advisory Service*), a svim ostalim letovima usluga letnih informacija ako zatraže (*Flight Information Service-FIS*). Zahtijeva se potpuna glasovna zrak-zemlja komunikacija za IFR letove koji sudjeluju u savjetodavnim uslugama i svi IFR letovi trebaju biti sposobni uspostaviti zrak-zemlja glasovnu komunikaciju. Ova klasa je označena kao RMZ<sup>2</sup> za VFR i IFR zrakoplove. Ograničenje brzine također vrijedi kao i u klasama C, D i E. U ovoj klasi ne zahtijevaju se odobrenja kontrole leta. Klasa F treba biti implementirana tamo gdje su usluge kontrole leta neadekvatne s pružanjem usluga kontrole leta. Implementacija ove klase se smatra privremenom mjerom sve dok se ne zamijeni alternativnom klasifikacijom, dakle uvedu se usluge kontrole leta ili u slučaju kada se situacija u prometu mijenja na tako da savjetodavne usluge nisu više potrebne, onda se trebaju uspostaviti usluge letnih informacija (FIS) [3]. Trajanje klase F kao privremene mjere ne smije trajati duže od tri godine i njena zamjena mora biti definirana u AIP-u. Ova klasa se ne koristi u Zagreb FIR-u [1].

---

<sup>2</sup> Radio Mandatory Zone-predstavlja zračni prostor definiranih dimenzija u kojem je neophodno potrebno nositi adekvatnu opremu i koristiti radio opremu za komunikaciju.

- klasa G - Dozvoljeni IFR i VFR letovi, svima se pruža FIS po potrebi. Pravilo za ograničavanje brzine postoji i u ovoj klasi, a jednako je kao i u klasama C, D, E i F [3]. Odobrenje nadležne kontrole leta se ne zahtijeva. Hrvatskoj se koriste klase C,D i G [4].

Dakle, sada o klasifikaciji zračnog prostora može se zamijetiti kako je klasa B zračnog prostora manje restriktivna od klase A pa tako redom ide da je klasa C manje restriktivnija od klase B, klasa D manje restriktivnija od klase C i tako redom. Što se tiče ograničenja brzine od 250 čvorova do 10 000 stopa AMSL (u Republici Hrvatskoj je to FL100 jer predstavlja prijelaznu visinu i tako se koristi kao FL100 umjesto 10 000 stopa) za VFR letove u klasama C, D, E, F, G i za IFR letove u klasama zračnog prostora D, E, F, G za cilj ima olakšati vizualno stjecanje letova koji nisu odvojeni [3]. Ublaženje ovog ograničenja se treba prvenstveno bazirati na procjeni sigurnosti i uvjeti koji dopuštaju ublažavanje ovog ograničenja trebaju biti detaljizirani u zborniku zrakoplovnih informacija države članice (AIP). Sigurnosna procjena se vodi od strane pružatelja usluge kontrole leta [4].

U ovom paragrafu objasniti će se minimalni vizualni meteorološki uvjeti (VMC) i horizontalna udaljenost od baze oblaka što je i prikazano tablicom 1.

Tablica 1 Minimalna VMC vidljivost i udaljenost od baze oblaka [4]

VISINA	KLASA ZRAČNOG PROSTORA	VIDLJIVOST	UDALJENOST OD BAZE OBLAKA
Na i iznad FL100	A <sup>(*)</sup> , B, C, D, E, F, G	8 km	1500 m horizontalno; 300 m vertikalno
Ispod FL100 i iznad 900 m (3000 stopa) ili iznad 300 m (1000 stopa) iznad terene, što god je više	A <sup>(*)</sup> , B, C, D, E, F, G	5 km	1500 m horizontalno; 300 m (1000 stopa) vertikalno
Na i ispod 900 m (3000 stopa) AMSL, ili 300 m (1000 stopa) iznad terena, što god je više	A <sup>(*)</sup> , B, C, D, E	5 km	1500 m horizontalno; 300 m (1000 stopa) vertikalno
	F, G	5 <sup>(**)</sup> km	Bez oblaka i sa površinom na vidiku

<sup>(\*)</sup> VMC minimumi u zračnom prostoru klase A uključeni su za navođenje pilota i ne podrazumijevaju prihvaćanje VFR letova u zračnom prostoru klase A [4].

<sup>(\*\*)</sup> Kada je propisano od strane nadležnog tijela [4]:

- a) Vidljivost leta smanjena na najmanje 1500 m može biti dopuštena za letovi koji obavljaju:

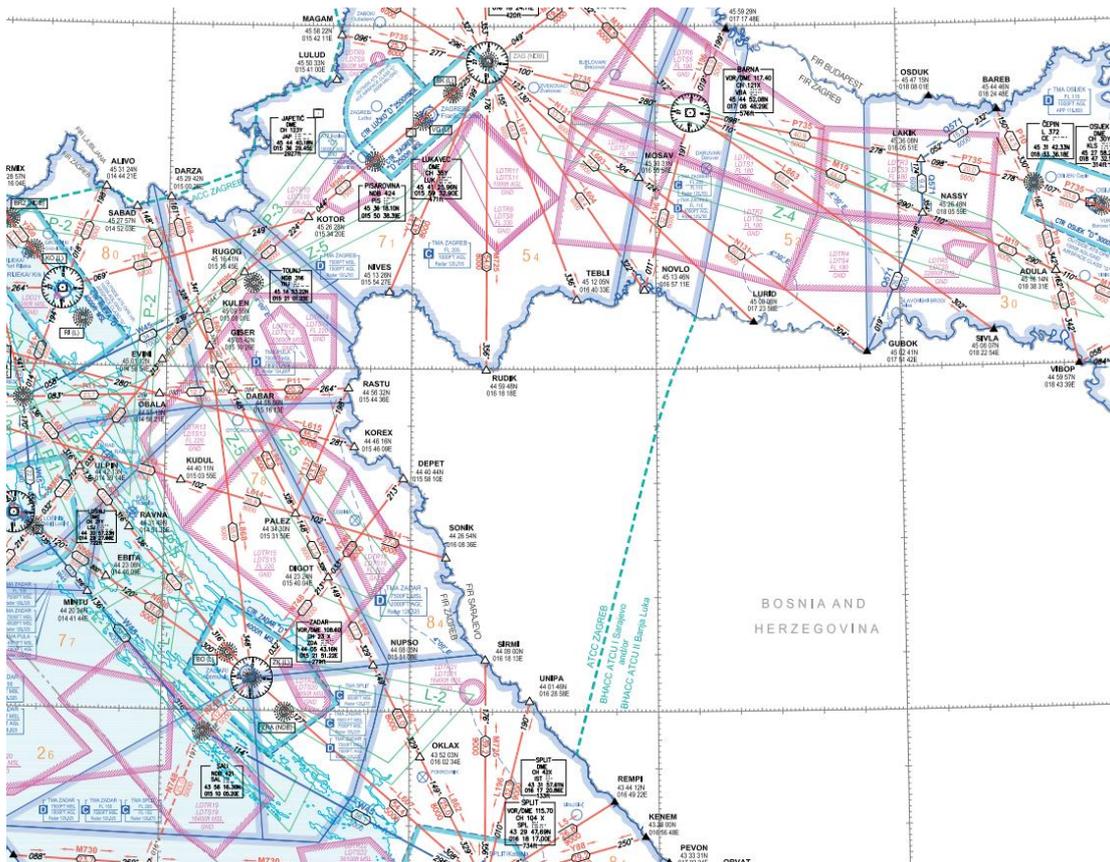
1. Pri brzinama od 140 čvorova indicirane brzine ili manje kako bi se pružila odgovarajuća prilika za promatranje drugog prometa ili bilo koje prepreke na vrijeme kako bi se izbjegao sudar; ili
2. U drugim okolnostima u kojima je vjerojatnost susreta s drugim prometom veoma niska (tipa u područjima malog volumena prometa).

b) Helikopterima se može odobriti operacije pri vidljivosti manjoj od 1500 m, no ne manje od 800 m vidljivosti ako se manevrira brzinom koja će dati odgovarajuću priliku za promatranje drugog prometa ili prepreke na vrijeme kako bi se izbjegao sudar.

Određivanje klasifikacije zračnog prostora ovisi o potrebama države članice. Jedina stvar koja je unaprijed određena je ta da sav prostor iznad FL195 označava kao klasa C. U skladu s dodatkom 11 (*engl. Annex 11*), zračni prostor se razgraničava na [5]:

1. Područja letnih informacije (*Flight Information Regions*) i gornja područja letnih informacija (*Upper Flight Information Regions*). U Republici Hrvatskoj postoji samo jedan FIR , a to je Zagreb FIR.
2. Kontrolirana područja (*Control Areas*) i gornja kontrolirana područja (*Upper control areas*).
3. Kontrolirane zone (*Control zones*).
4. Kontrolirani aerodromi (*Controlled aerodromes*).
5. Aerodromske prometne zone (*Aerodrome traffic zones*)
6. Nekontrolirani zračni prostor (*Uncontrolled airspace*).

Kada se govori o razgraničavanju definiranog zračnog prostora, tada na prvom mjestu je naglasak na strukturu rutnih mreža i ruta te potreba za vođenjem sigurne i efikasne usluge kontrole leta. Prilikom ovoga, dolazi do promjene nacionalnog teritorija u odnosu na zračni prostor budući da se ravnim linijama razgraničavaju prostori kako bi se usluge kontrole leta što bolje mogle pružati. Ako neka država ne postupa tako onda moraju biti postavljene transferne točke kako bi se postigao neki kompromis za što lakše pružanje usluga, a time se osigurava i sigurnije provođenje letova. Takav primjer linearnog razgraničenja nalazi se na granici RH s BiH gdje je zapadni dio države pod nadležnošću HKZP-a, odnosno Hrvatske kontrole zračne plovidbe. Sporazumno RH koristi taj zračni prostor zbog rute koje ide od Splita prema Zagrebu i obrnuto, a prikaz te situacije se slikovno može vidjeti na slici 1.



Slika 1 Prikaz teritorijalnog dijela BiH koji sporazumno koristi RH zbog rute ZAG-SPU [4]

Unutar područja letnih informacija Zagreb (FIR Zagreb) nadležna kontrola leta je Hrvatska kontrola zračne plovidbe. HKZP je odgovoran za pružanje kontrole letenja, uzbunjivanje za traganje i spašavanje (SAR<sup>3</sup>) te pružanje letnih informacija u zračnom prostoru Republike Hrvatske i dijela zračnog prostora u Bosni i Hercegovini [6].

Pored pružanja usluge u zračnom prostoru RH, HKZP pruža uslugu kontrole leta određenog dijela zračnog prostora Bosne i Hercegovine. Sporazumno taj dio BiH HKZP kontrolira, a ti dijelovi su [6]:

- granica Republike Hrvatske sve do FL660
- između tzv. „Komar linije“ i tzv. „Bosna linije“ iznad FL325 do FL660
- zapadni dio FIR Sarajeva iznad 9500ft.

Za hrvatski zračni prostor definiraju pravci kojima se on želi učiniti još pouzdanijim za korištenje, efikasnijim za upravljanje pritom držeći sigurnost na istoj ili još većoj razini [1]. Stoga hrvatski zračni prostor se može analizirati sa stajališta jedinstvenog europskog neba

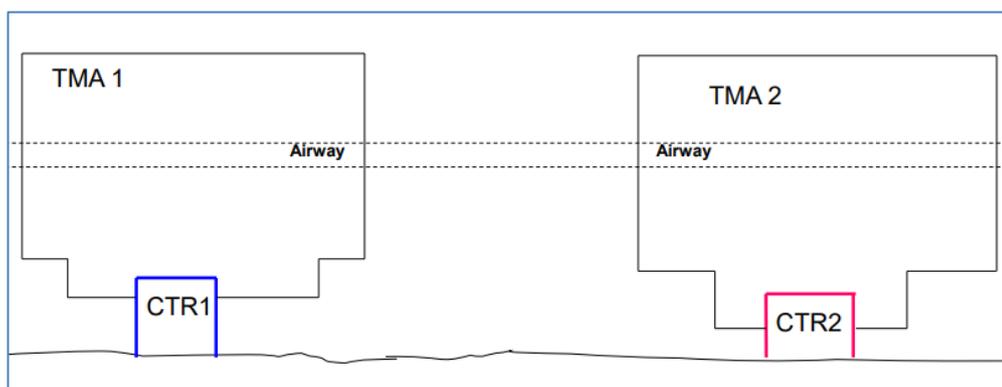
<sup>3</sup> Search and rescue

(SES<sup>4</sup>), funkcionalnih zračnih blokova (FAB<sup>5</sup>), zračnog prostora slobodnih ruta (FRA<sup>6</sup>) i COOPANS<sup>7</sup>-a.

## 2.1. Vertikalna raspodjela hrvatskog zračnog prostora

Hrvatski zračni prostor vertikalno se dijeli na više slojeva. Tako najniži sloj se proteže od tla pa do 1000 stopa visine i u tom sloju se ne kontrolira promet već se samo pružaju usluge letnih informacije (FIS<sup>8</sup>). Taj sloj se naziva klasom G u kojem su dopušteni VFR letovi. Nakon ovog sloja dolazi kontrolirana zona (CTR) koja se nalazi oko područja aerodroma i do određene visine koja u Hrvatskoj varira od 2000 stopa do 4000 stopa iznad srednje razine mora (AMSL<sup>9</sup>) [4]. Tako CTR Zagreb i CTR Lučko imaju granice od tla (GND<sup>10</sup>) pa do 2500 stopa iznad srednje razine mora.

Područje iznad CTR-a ili više CTR-ova se nazivaju terminalna područja kroz koje prolaze zračni koridori koji ujedno rutno povezuju više aerodroma. Slika 2 prikazuje kako izgledaju zračni koridori koji prolaze kroz TMA, a ispod se nalazi kontrolirane zone aerodroma [1]. Terminalna područja (TMA<sup>11</sup>) u Hrvatskoj mogu biti klase C ili klase D, visine od FL115 pa sve do FL205. U klasi C prometuje IFR i VFR promet te razdvaja se IFR od IFR i IFR od VFR i njima se pruža usluga kontrole leta. Također se pruža usluga kontrole leta prilikom razdvajanja VFR od IFR prometa, a usluga prometnih informacija se daje kada se razdvaja VFR od VFR. Dakle, sav promet u klasi C je podložan ATC odobrenjima. U klasi D se razdvaja samo IFR od IFR pružajući pritom usluge kontrole leta i prometnih informacija oko VFR prometa pa čak i savjet za izbjegavanje prometa na zahtjev. VFR promet se ne razdvaja, nego im se daje samo prometna informacija [4]. Također, u klasi D, svi subjekti su podložni ATC odobrenjima.



Slika 2 Prikaz TMA i zračnih koridora između dva CTR-a [1]

<sup>4</sup> Single European Sky

<sup>5</sup> Functional Airspace Block

<sup>6</sup> Free Route Airspace

<sup>7</sup> Cooperation between ANS providers

<sup>8</sup> Flight Information Service

<sup>9</sup> Above Mean Sea Level

<sup>10</sup> Ground

<sup>11</sup> Terminal Area

Gornji dio TMA koincidira s donjom granicom kontroliranog područja (CTA<sup>12</sup>). CTA je kontrolirano područje klase C u kojem se pruža usluga oblasne kontrole koja kontrolira sav promet do FL660. U Hrvatskoj usluge kontrole zračne plovidbe pruža Hrvatska kontrola zračne plovidbe (HKZP) i FL660 predstavlja gornju granicu nadležnosti HKZP-a [1].

Oblasna kontrola leta u Hrvatskoj vertikalno se dijeli na četiri sloja (prikaz na slici 3) i to su [4]:

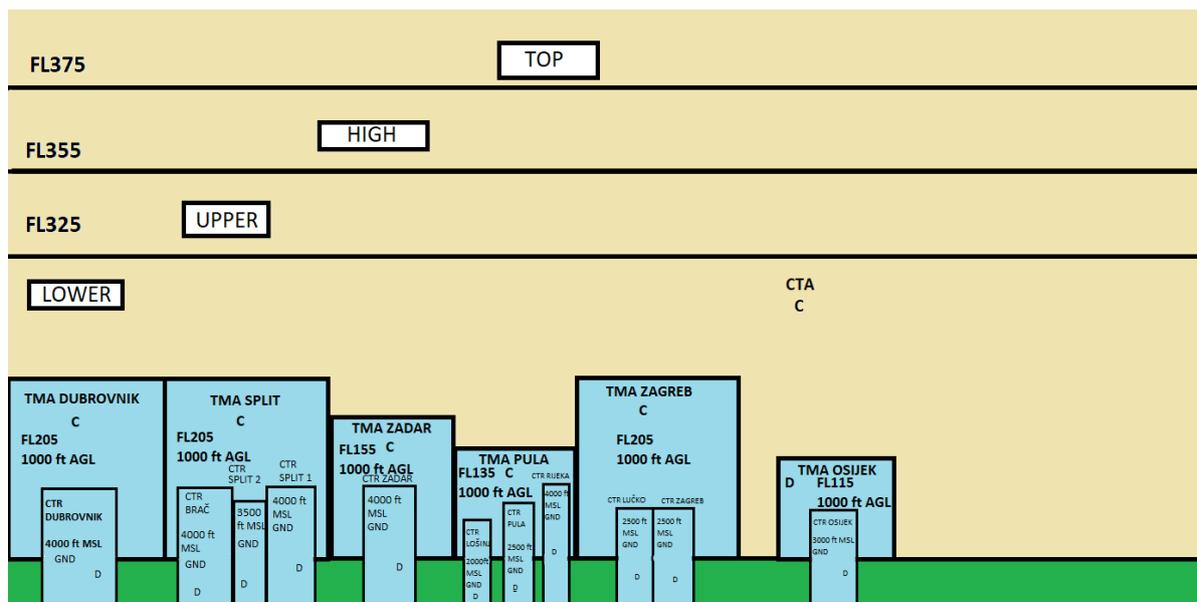
- 1.) *Lower* sektor koji je ispod FL325
- 2.) *Upper* sektor koji je od FL325 do FL355
- 3.) *High* sektor koji je od FL355 do FL375
- 4.) *Top* sektor koji je od FL375 do FL660.

Klasifikacija zračnog prostora Republike Hrvatske se sastoji od [2]:

1. Zračnog prostora klase C koji se odnosi na:
  - a) CTA Zagreb koji se proteže od visine leta 11500 stopa (FL115) do visine leta 66 000 stopa (FL660)
  - b) zračni prostor unutar lateralnih granica TMA Zagreb između 1000 ft AGL i FL205
  - c) zračni prostor unutar lateralnih granica TMA Split između 9500 ft AMSL/FL115 i FL205
  - d) zračni prostor unutar lateralnih granica TMA Dubrovnik između 9500 ft AMSL/FL145 i FL205.
2. Zračnog prostora klase G koji se odnosi na:
  - a) CTA Zagreb od FL 115 do 1 000 ft AGL
  - b) Terminalna područja Pula, Dubrovnik, Rijeka, Zadar i Osijek (TMA) unutar njihovih lateralnih i vertikalnih granica
  - c) dio zračnog prostora TMA Split između 1 000 ft AGL i 4 500 ft AGL
  - d) dio zračnog prostora TMA Dubrovnik između 1 000 ft AGL i FL 155
  - e) svi hrvatski CTR-ovi unutar njihovih lateralnih i vertikalnih granica.
3. Zračnog prostora klase G koji se odnosi na lateralne granice FIR Zagreb ne uključujući CTR-ove od tla do 1000 ft AGL [7].

---

<sup>12</sup> Control Area



Slika 3 Vertikalna podjela zračnog prostora u Republici Hrvatskoj [1]

## 2.2. Horizontalna raspodjela hrvatskog zračnog prostora

Zračni prostor Republike Hrvatske podijeljen je operativno na vertikalni dio i horizontalni dio. Pored te podjele veoma je bitna podjela na osnovne sektore. Sektori zračnog prostora moraju biti dizajnirani kako bi kontrolori zračnog prometa imali dovoljno vremena za opskrbljivanje pilota važnim informacijama i upravljanjem zračnim prometom. Sektori unutar RH su *South*, *West*, *North*, *Adria* (koju čine povezivanja *West+South* sektora) i *High* ili *Top Central* sektor. Pored ovih sektora još se koriste sektori *Q* (*Quebec* koje čine *North+Central*) i *Z* (*Zulu* koji čine *West+Central*) [4]. Konfiguracija samih sektora ovisi o trenutnoj prometnoj potražnji koja za sobom povlači definiranu razinu kompleksnosti prometa unutar samog sektora. Unutar ovih sektora pruža se usluga oblasne kontrole leta.

Pored operativne podjele zračnog prostora Republike Hrvatske, pod horizontalnom raspodjelom podrazumijeva se podjela zračnog prostora na kontrolirani zračni prostor, nekontrolirani zračni prostor te prostor u kojem je letenje posebno regulirano [1].

### 2.2.1. Kontrolirani zračni prostor

Kontroliranim zračnim prostorom se smatra onaj zračni prostor u kojem se pružaju usluge kontrole leta u skladu s ICAO klasifikacijom zračnog prostora, a dijeli se na FIR, CTA, TMA, CTR, AWY<sup>13</sup> te granično ulazno-izlazne koridore.

<sup>13</sup> Airways-zračni koridori



FIR<sup>14</sup> predstavlja zračni prostor definiranih dimenzija unutar kojeg se pružaju usluge FIS<sup>15</sup>-a i ALRS<sup>16</sup>-a. FIR uključuje sve zračne prostore uključujući i kontrolirane i nekontrolirane unutar njihovih lateralnih granica, osim UIR-a. FIR može biti postavljen i za gornje i donje zračne prostore. U RH, FIR ide do FL285 do kojeg je ujedno i donji dio zračnog prostora, a iznad FL285 do FL660 postavljen je UIR u gornjem zračnom prostoru [1]. Općenito granice FIR-a su državne granice, no može biti dogovoreno između država da je granica FIR-a ravna linija budući da je to praktično za što lakšu koordinaciju i obradu letnih informacija koju vrše određeni računalni procesni sustavi. Dakle, FIR je područje unutar kojeg se svim zrakoplovima pružaju usluge informiranja i usluge uzbunjivanja za sigurnu provedbu leta. Usluge FIS-a daju kontrolori zračnog prometa ili FIS specijalisti kako bi se radno opterećenje kontrolora smanjilo [1]. U Hrvatskoj postoji samo jedan FIR, a to je Zagreb FIR koji daje usluge informiranja i uzbunjivanja unutar teritorija cijele države.

CTA predstavlja kontrolirano područje u kojem djeluju službe kontrole zračnog prometa. Općenito to je zračni prostor definiranih dimenzija koji uključuje zračne koridore i terminalna kontrolna područja. Koristi se za IFR letove koji zahtijevaju usluge kontrole leta. Područja kontrole zračnog prometa su dijelovi zračnog prostora koji se nalaze iznad terminalnih područja, kontroliranih zona te iznad ili oko područja koja se vode kao zabranjena, opasna ili ograničena. Oblik i dimenzije ATC područja nisu standardizirane, već ovise o konfiguraciji AWY, mreži aerodroma i frekvenciji prometa [8]. Donja granica CTA iznosi 1000 stopa iznad razine tla, a gornja granica je FL660. Donja granica ne smije biti manja od 700 stopa iznad razine tla. Ako kontrolno područje CTA prekriva kontroliranu zonu onda njegova donja granica je gornja granica kontrolne zone CTR. Ne postoji gornja granica CTA, odnosno ne može biti ustanovljena zato se uvijek stavlja kratica UNL<sup>17</sup> što predstavlja neograničeno. Kontrolna područja mogu biti sektorizirana po potrebi. FIR/UIR i CTA/UTA su identificirane imenom jedinice koja ima nadležnost nad zračnim prostorom, a to je FIR Zagreb-Zagreb ACC<sup>18</sup>. Gornja granica kontrolnog područja treba biti ustanovljena kada se usluga kontrole leta neće pružati iznad tolike granice ili kada je kontrolno područje ispod UTA i u tom slučaju gornja granica koincidira s donjom granicom gornjeg kontrolnog područja. Ako se to ustanovi, onda takva gornja granica bi trebala koincidirati s VFR razinama krstarenja. Kako je vidljivo sa slike 3, CTA je u klasi C. Oblik i dimenzija ATC područja nisu standardizirane jer ono ovisi o frekventnosti prometa, mreži ruta i zračnim koridorima [5].

TMA ili terminalno kontrolno područje je područje definiranih dimenzija koje obuhvaća jedan ili više aerodroma i CTR-ova te unutar sadrži veliki broj zračnih koridora te dolaznih i odlaznih ruta (što se vidi iz priložene slike 4). Dosta ruta se križa unutar TMA zbog aerodroma na koje zrakoplovi slijeću, polijeću ili prilaze. Van CTR-a donja granica je 1000 ft iznad terena, a iznad CTR-a donja granica koincidira sa gornjom granicom CTR-a [1]. Oblik

---

<sup>14</sup> Flight Information Region-područje letnih informacija

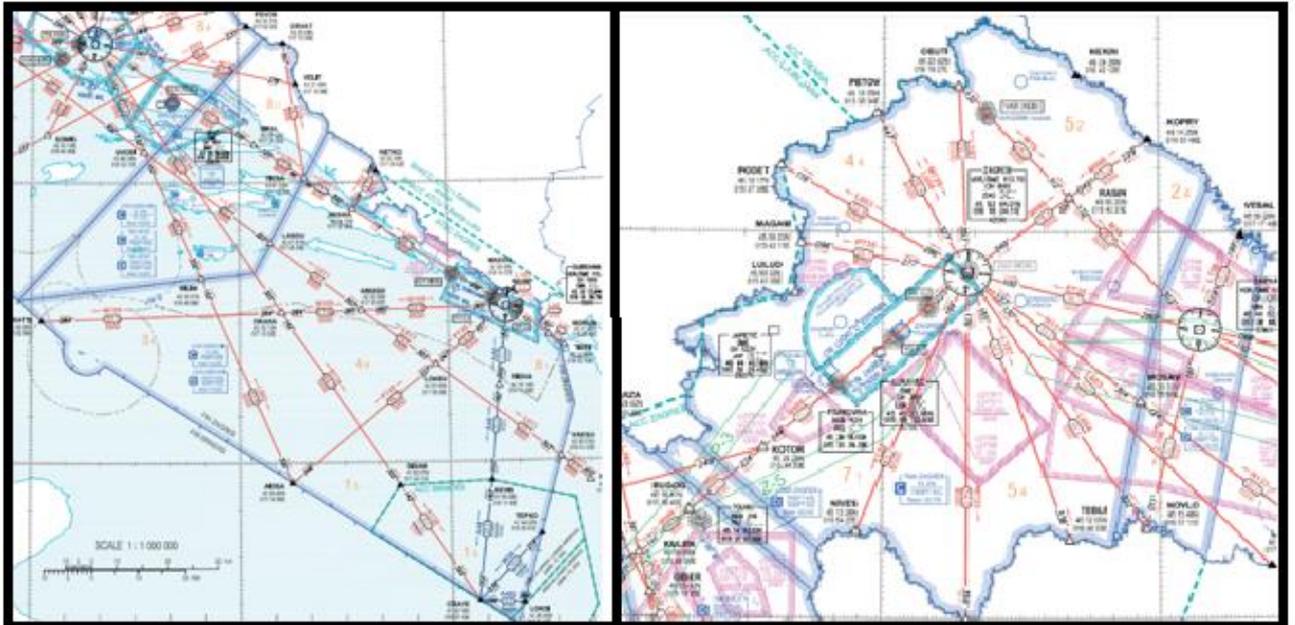
<sup>15</sup> Flight Information Service

<sup>16</sup> Alerting Service

<sup>17</sup> UNLIMITED

<sup>18</sup> Area Control Centre

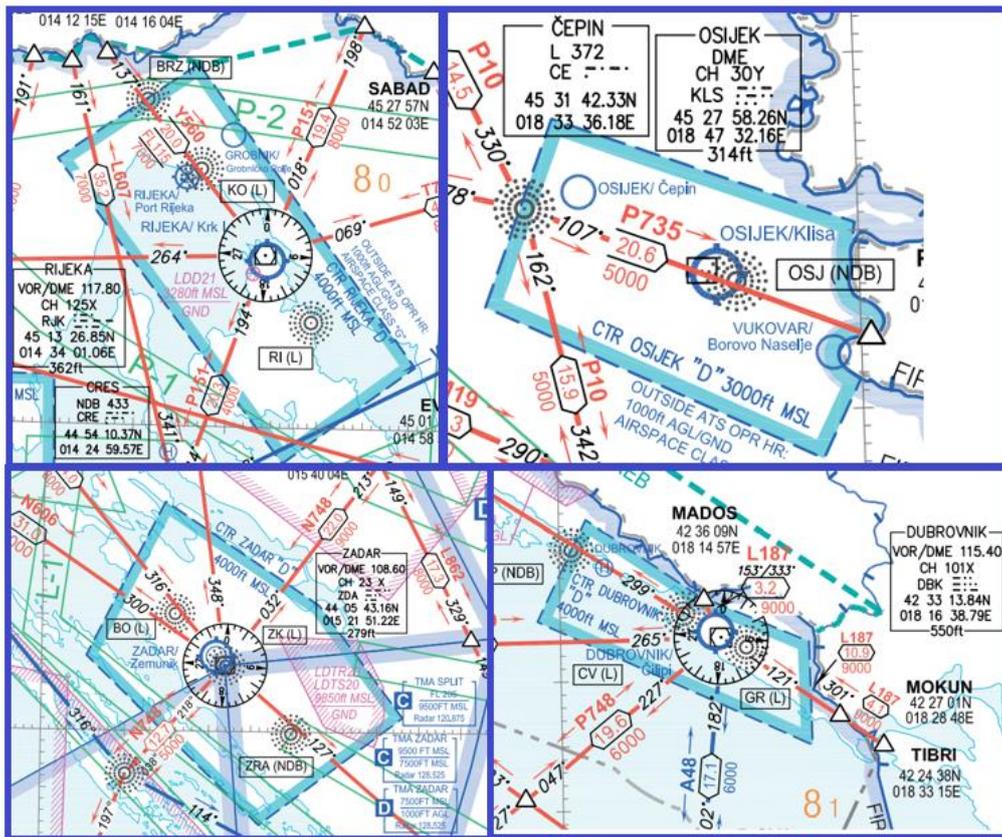
TMA ovisi o: broju i poziciji ulaznih i izlaznih točaka, visokom terenu, nacionalnim granicama, radio-navigacijskim sredstvima, broju aerodroma koje pokriva, broju ruta, ATC procedura itd [3].



Slika 4 Prikaz završnih kontroliranih oblasti (TMA) zračnih luka Dubrovnik i Zagreb [4]

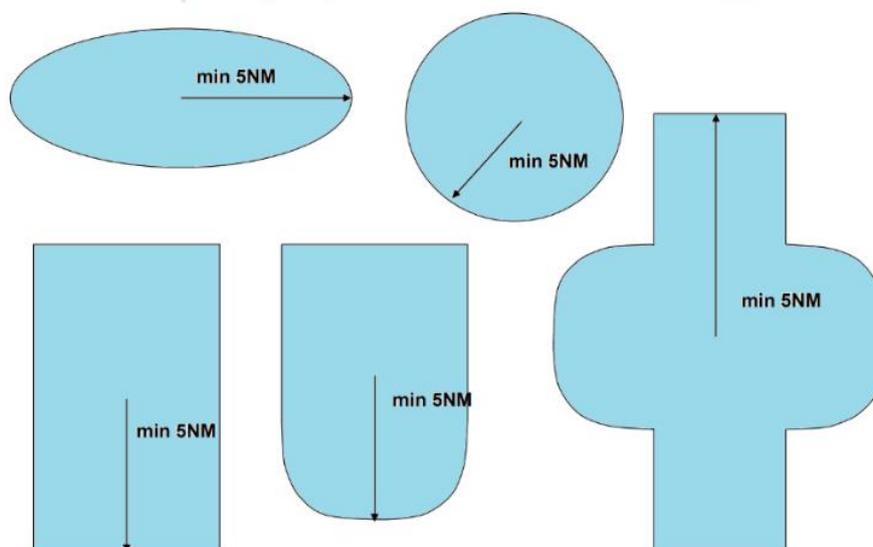
CTR ili kontrolna zona je zračni prostor definiranih dimenzija koji se proteže od tla pa do definirane gornje granice. Gornja granica CTR nije striktno određena, no za svaki aerodrom je upisana gornja granica CTR-a u AIP-u. CTR nije dio CTA. CTR sadrži letne puteve dolaznih i odlaznih IFR letova s aerodroma koji se može koristiti u IMC<sup>19</sup> uvjetima [1]. Kroz povijest kako je rastao promet pa time i broj aerodroma, ustanovljen je CTR kao zona koja pruža zaštitu prometu koji ide prema i od aerodroma. Stoga, on se pruža vertikalno prema gore do određene visine koja mu je gornja granica, pretežno do 2500 ft AGL, a lateralne granice CTR-ova minimalno moraju iznositi 5 nautičkih milja, odnosno 9620 metara gledajući od centra aerodroma prema smjeru iz kojeg dolaze zrakoplovi na prilaz pri slijetanju [4]. Zbog smjerova iz kojega dolaze zrakoplovi, CTR-ovi se mogu pronaći u raznim oblicima kao što se može vidjeti na slici 6, a slika 5 prikazuje različite CTR-ove u FIR Zagreb.

<sup>19</sup> Instrument Meteorological Conditions

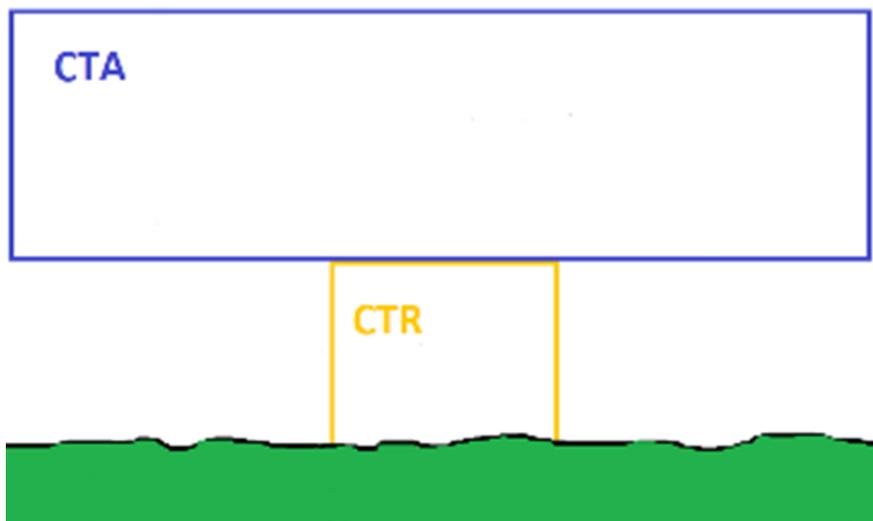


Slika 5. CTR Rijeka, Osijek, Zadar i Dubrovnik [4]

Ako se dogodi da se CTR nalazi unutar lateralnih granica CTA, onda se CTR mora proširiti od razine tla do donje granice CTA. Takav primjer je prikazan na slici 7. Ako je poželjno, moguće je da je gornji dio CTR viši od donje granice CTA. Na kartama granice kontrolirane zone CTR su prikazane točkastim linijama [3]. Zanimljivo je to da se u Sjedinjenim Američkim Državama više ne koristi CTR iz razloga jer je zamijenjen klasom D.



Slika 6. Razni oblici CTR-ova [1]



Slika 7 CTA i CTR [1]

Kada su udaljenosti između odlaznih i dolaznih aerodroma i letjelišta postajale sve duže i duže, njih su spajali zračni koridori (engl. *airways*). Time je postignuta mogućnost letenja između aerodroma bez napuštanja kontroliranog zračnog prostora. [1] Što se tiče definicije samog zračnog puta, spominju se dvije definicije prema ICAO *Annex 11* i EUROCONTROL *EATM Glossary of Terms*. Zračni put (engl. *Airway*) je kontrolno područje ili njegov dio uspostavljen u obliku koridora.“ To bi bila definicija prema ICAO *Annex 11*, a prema EUROCONTROL-ovom rječniku pojmova : „Zračni put je kontrolno područje ili njegov dio uspostavljen u obliku koridora opremljenog radionavigacijskim sredstvima/pomagalima [9].“ Općenito govoreći o zračnim koridorima, to je označena ruta dizajnirana za kanaliziranje protoka prometa prema potrebama za pružanje usluga zračnog prometa. Zračni putevi ili koridori su generički pojam koji se koristi u kontekstu ruta, a neki od primjera su savjetodavne rute, kontrolirane i nekontrolirane rute, dolazne i odlazne rute itd. Dakle, sve u svemu zračni putevi su jedna vrsta ATS ruta. Dakle, zračni put ili koridor je dio zračnog prostora u kojem se odvija plovdba zrakoplova i daju im se ATS usluge. Zračni put je širine 10 NM, dakle zrakoplov leti središtem zračnog puta, no zbog dodatne zaštite dodaje se prostor od po 2.5 NM sa svake strane, što rezultira ukupnom širinom od 15 NM [5].

### 2.2.2. Nekontrolirani zračni prostor

Nekontroliranim zračnim prostorom (engl. *Unmanaged Airspace (UMAS)*) se smatra onaj prostor koji je ispod ili van granica CTA odnosno kontroliranog područja. Na Također ovaj zračni prostor se naziva i slojem slobodnog letenje koji se prostire od površine zemlje do 900 metara apsolutne visine ili 450 metara iznad neke prepreke ovisi što je veće [1]. U Republici Hrvatskoj klasa G zračnog prostora spada u nekontrolirani zračni prostor koji se prostire do visine 1000 stopa iznad razine tla. Kada se ovaj prostor nalazi oko nekontrolirani aerodroma

(za aerodrom se kaže da je nekontroliran kada nema kontrolnog tornja), on se tada može definirati kao aerodromska prometna zona. Aerodromska prometna zona<sup>20</sup> je zračni prostor definiranih dimenzija oko aerodroma koja se proteže od tla do definirane gornje granice, ali ne sadrži zračne putove dolazećih i odlazećih IFR zrakoplova s aerodroma koji se mogu koristiti u IMC uvjetima [1]. Ova zona se koristi za VFR letove.

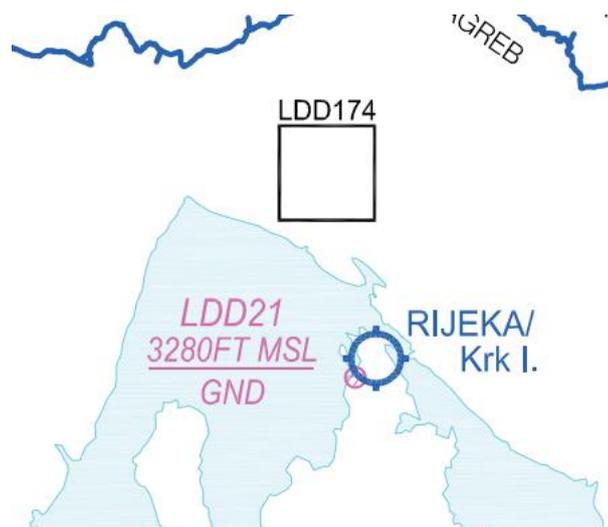
### 2.2.3. Zračni prostor u kojem je letenje posebno regulirano

Svaka država ima pravo ograničiti i zabraniti upotrebu dijela zračnog prostora iz sigurnosnih razloga. Jedan od najpoznatijih primjera je permanentna zabrana letenja iznad Bijele kuće u Washington DC-ju jer letovi iznad predstavljaju opasnost za državnu sigurnost. Tako u ovom potpoglavlju se govori o posebnom reguliranom letenju, a pod time se podrazumijevaju P, D i R zone i TAA. Također se mogu uključiti i RMZ, TMZ i FRA u prostor posebnog reguliranja letenja. Zabranjena zona (*P-Prohibited zone*) je zračni prostor definiranih dimenzija iznad tla ili teritorijalnih voda unutar kojeg je letenje zabranjeno. Sveukupne dimenzije i sati trajanja operacije se objavljuju u nacionalnom AIP-u [4]. Općenito ovakva zona se uspostavlja iznad državnih i vladinih objekata, industrijskih zona koje su opasne (petrokemijske, nuklearne...) kako bi se spriječile potencijalne katastrofalne nesreće i time se ugrozila državna sigurnost.

U Republici Hrvatskoj više ne postoji niti jedna zabranjena zona, prije je postojala jedna jedina zabranjena zona LDP39 ZAGREB-Žitnjak, radijusa 0.5 NM koja je bila petrokemijsko postrojenje i predstavljala je opasnost koja bi u slučaju pada zrakoplova izazvala katastrofalne posljedice. Opasna zona (*D-Danger zone*) je najmanje restriktivna zona i to je zračni prostor definiranih dimenzija unutar kojeg mogu postojati aktivnosti koje su opasne po zrakoplov u neko vrijeme [1]. Primjer mogu biti vulkanske aktivnosti. U zračnom prostoru Republike Hrvatske najviše ovih područja se nalazi na otvorenom moru gdje se vrše vojne vježbe i takva područja većinom sadrže sufiks CRIT, kao npr. LI/LD D35A-CRIT, LI/LD D35B-CRIT i LI/LD D35C-CRIT [4]. Obavezno se moraju javno objaviti razlozi zašto je opasno letjeti unutar takvog prostora kako bi pilot samostalno onda mogao uzeti rizik i odlučiti hoće li ili ne letjeti tim. Na slici 8 prikazana je opasna zona Rijeka-Omišalj u kojoj se nalazi petrokemijska industrija.

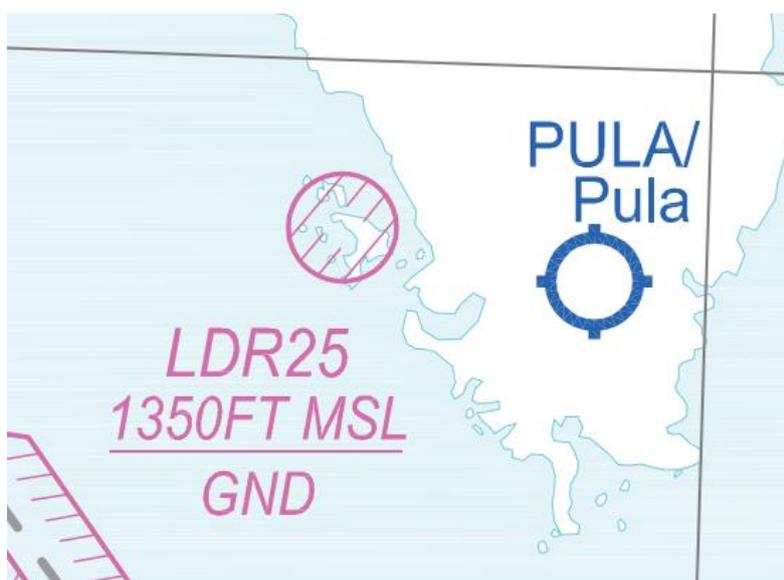
---

<sup>20</sup> Aerodrome Traffic Zone-ATZ



Slika 8. Opasna zona LDD21 [4]

Ograničene zone (*R-Restricted zones*) su dio zračnog prostora u kojem su letovi zrakoplova ograničeni ili uvjetno zabranjeni pod posebnim uvjetima. Dakle u ovakvoj zoni su zabranjeni letovi primjerice u točno određeno vrijeme i na točno određenim visinama [1]. Većinom ovakve zone služe za vojne vježbe ili ostale manifestacije gdje se zauzme dio zračnog prostora, naravno ako nadležne vlasti to dopuste te onda se objave podaci preko AIP-a ili NOTAM-a. Na slici 9 je prikazana uvjetno zabranjena zona radijusa 1.62 NM, s gornjom granicom 1350 stopa i donjom granicom koja je tlo. Ova zona predstavlja *AMC MANAGEABLE AREA* koja je aktivna samo ako se objavi u NOTAM-u i ima posebno upotrebu [4].



Slika 9. Uvjetno zabranjena zona LDR25 [4]

Permanentno aktivno uvjetno zabranjeno područje LDR49 SLANO kraj Dubrovnika i to prikazuje slika 10.



Slika 10. Permanentno uvjetno zabranjeno područje LDR49 SLANO [4]

Na slici 11 je prikaz objave LDR49 i LDR25 u zborniku letnih informacija (AIP) Republike Hrvatske.

Oznaka, naziv i bočne granice	Gornja granica / Donja granica	Primjedbe (vrijeme aktivnosti, tip restrikcije, priroda opasnosti, rizik presretanja)
1	2	3
<b>UVJETNO ZABRANJENA PODRUČJA</b>		
<b>LDR25</b> A circle radius 1.62 NM centered on 445459.00N 0134444.00E	1350 FT ALT / <u>GND</u>	AMC MANAGEABLE AREA Active only as notified by NOTAM. Special use.
<b>LDR49 SLANO</b> LOZNICA SLANO GROMACA RAVNI VRH Along FIR boundary Zagreb/Sarajevo LOZNICA	1000 FT AGL / GND	Permanently active - H24. Penetration possible after prior permission from APP Dubrovnik.
424836N 0175328E 424709N 0175326E 424336N 0180049E 424430N 0180308E  424836N 0175328E		

Slika 11. Jedine dvije ograničene zone u RH [4]

Pod zračni prostor u kojem je letenje posebno regulirano pripada i stavka privremena dodjela zračnog prostora ili na engl. *The Temporary Airspace Allocation-TAA*. TAA je proces u dodjeli zračnog prostora definiranih dimenzija dodijeljenog za privremenu rezervaciju. Privremena rezervacija se naziva TRA<sup>21</sup>/TSA<sup>22</sup>. Ovakav prostor se općenito identificira kao AMC<sup>23</sup>-*Manageable* područje, koje se već spominjalo na primjeru LDR25 uvjetno zabranjenog područja. AMC je zajednička civilno-vojna ćelija odgovorna za svakodnevno upravljanje i privremenu dodjelu nacionalnog ili subregionalnog zračnog prostora pod jurisdikcijom jedne ili više ECAC država. Dakle, u RH zajednički civilni i vojni AMC upravljaju svakodnevno zračnim prostorom iznad otvorenog mora unutra Zagreb FIR-a. Ovo se događa u pred taktičkoj fazi-ASM 2 prilikom organizacije upravljanja zračnim prostorom u RH. Postoje dvije različite vrste rezervacije zračnog prostora, a to su [4]:

1. Privremeno rezervirano područje (TRA) predstavlja zračni prostor koji je privremeno rezerviran i dodijeljen za posebnu upotrebu određenog korisnika tijekom određenog vremenskog perioda i kroz koji se drugom prometu može dopustiti tranzit ako je odobreno od strane kontrole zračnog prometa. TRA je obično pod jurisdikcijom jednog zrakoplovnog tijela ovlaštenog od strane ASM 1<sup>24</sup>. Kako bi se ovaj prostor koristio, korisnik mora ispuniti plan leta u skladu s ispravnim regulacijama, registrirati se na AMC portal te korisnik mora imati transponder i dvosmjernu radiokomunikaciju.
2. Privremeno odvojeno područje (TSA) predstavlja odvojeni zračni prostor koji je dodijeljen za ekskluzivnu upotrebu točno određenog korisnika kroz određeni vremenski period i taj prostor nitko drugi ne smije koristiti, dakle nije dopušten tranzit kao kod TRA.

Postoji još jedan prostor kojim se može upravljati, a usko je vezan uz maloprije spomenuto, a to je *Danger Area AMC Manageable D-AMA*. D-AMA je definirani volumen zračnog prostora koji je privremeno izuzet iz kontroliranog zračnog prostora i unutar kojeg se primjenjuju zračna pravila za VFR letove u nekontroliranom zračnom prostoru (zračni prostor G klase) [4]. Zahtjevi opreme su isti kao i za korištenje nekontroliranog zračnog prostora (zračni prostor G klase). Operativni uvjet za korisnika zračnog prostora je registracija na web AMC portalu i poštivanje pravila i postupaka utvrđenih u odjeljku Pravila i postupci za rezervacije i korištenje zračnog prostora putem sustava AMC portala na web AMC portalu.

---

<sup>21</sup> Temporary Reserved Areas

<sup>22</sup> Temporary Segregated Areas

<sup>23</sup> Airspace Management Cell

<sup>24</sup> ASM se provodi/primjenjuje kroz tri faze: strateška ASM 1, pred-taktička ASM 2 i taktička ASM 3.



### 2.3. Reduced Vertical Separation Minima (RVSM) zračni prostor

Program oko uvođenja RVSM visina je pokrenuo ICAO i vršio je svjetske studije izvodljivosti kako bi se smanjila vertikalna norma separacija s 2000 stopa na 1000 stopa iznad FL290. Prednosti ovog programa su teoretsko duplo povećanje kapaciteta zračnog prostora između FL290 i FL410 te mogućnost za zrakoplov da operira na optimalnim razinama leta kako bi let bio što ekonomičniji. Stvarno povećanje kapaciteta iznosi oko 20% do 30% [9]. Ovakav način podjele se oslanja na opremu zrakoplova i određenih operativnih procedura kako bi osigurali da rizik gubitka separacije nije ništa veći od onog van RVSM zračnog prostora, dakle ispod FL290. U periodu od 1997 do 2005, RVSM je implementiran u cijeloj Europi, Sjevernoj Africi, Jugoistočnoj Aziji, Sjevernoj Americi i po Atlantskom i Tihom oceanu.

Unutar RVSM zračnog prostora (između FL290 i FL410 uključujući) minimum vertikalne separacije iznosi [9]:

1. 1000 stopa (300m) između RVSM dopuštenih zrakoplova.
2. 2000 stopa (600m) između ne-RVSM dopuštenog *state* zrakoplova i bilo kojeg drugog zrakoplova unutar RVSM.
3. 2000 stopa (600m) između ne-RVSM zrakoplova koji operira kao generalni zračni promet (GAT) i bilo koji drugi zrakoplov unutar RVSM zračnog prostora.

Kako bi zrakoplov dobio dopuštenje za RVSM operacije, državna agencija za plovidbenost mora utvrditi da li zrakoplov ispunjava odgovarajuće zahtjeve koji su vezani za visinomjerske sustave unutar zrakoplova. Također, posada mora biti trenirana za odgovarajuće procedure u RVSM zračnom prostoru . Ako je ispunjen svaki zahtjev onda se dobije *RVSM Operational Approval* [4]. Operatori označavaju RVSM dopuštenje stavljajući slovo W u polje 10 ICAO modela plana leta. Na slici 12 može se vidjeti prikaz visina ne-RVSM i RVSM za IFR i VFR promet.

RVSM											
Od 000 stupnjeva do 179						Od 180 stupnjeva do 359					
IFR letovi			VFR letovi			IFR letovi			VFR letovi		
Razina			Razina			Razina			Razina		
FL	Stope	Metri	FL	Stope	Metri	FL	Stope	Metri	FL	Stope	Metri
010	1 000	300	–	–	–	020	2 000	600	–	–	–
030	3 000	900	035	3 500	1 050	040	4 000	1 200	045	4 500	1 350
050	5 000	1 500	055	5 500	1 700	060	6 000	1 850	065	6 500	2 000
070	7 000	2 150	075	7 500	2 300	080	8 000	2 450	085	8 500	2 600
090	9 000	2 750	095	9 500	2 900	100	10 000	3 050	105	10 500	3 200
110	11 000	3 350	115	11 500	3 500	120	12 000	3 650	125	12 500	3 800
130	13 000	3 950	135	13 500	4 100	140	14 000	4 250	145	14 500	4 400
150	15 000	4 550	155	15 500	4 700	160	16 000	4 900	165	16 500	5 050
170	17 000	5 200	175	17 500	5 350	180	18 000	5 500	185	18 500	5 650
190	19 000	5 800	195	19 500	5 950	200	20 000	6 100	205	20 500	6 250
210	21 000	6 400	215	21 500	6 550	220	22 000	6 700	225	22 500	6 850
230	23 000	7 000	235	23 500	7 150	240	24 000	7 300	245	24 500	7 450
250	25 000	7 600	255	25 500	7 750	260	26 000	7 900	265	26 500	8 100
270	27 000	8 250	275	27 500	8 400	280	28 000	8 550	285	28 500	8 700
290	29 000	8 850				300	30 000	9 150			
310	31 000	9 450				320	32 000	9 750			
330	33 000	10 050				340	34 000	10 350			
350	35 000	10 650				360	36 000	10 950			
370	37 000	11 300				380	38 000	11 600			
390	39 000	11 900				400	40 000	12 200			
410	41 000	12 500				430	43 000	13 100			
450	45 000	13 700				470	47 000	14 350			
490	49 000	14 950				510	51 000	15 550			

ne-RVSM											
Od 000 stupnjeva do 179						Od 180 stupnjeva do 359					
IFR letovi			VFR letovi			IFR letovi			VFR letovi		
Razina			Razina			Razina			Razina		
FL	Stope	Metri	FL	Stope	Metri	FL	Stope	Metri	FL	Stope	Metri
010	1 000	300	–	–	–	020	2 000	600	–	–	–
030	3 000	900	035	3 500	1 050	040	4 000	1 200	045	4 500	1 350
050	5 000	1 500	055	5 500	1 700	060	6 000	1 850	065	6 500	2 000
070	7 000	2 150	075	7 500	2 300	080	8 000	2 450	085	8 500	2 600
090	9 000	2 750	095	9 500	2 900	100	10 000	3 050	105	10 500	3 200
110	11 000	3 350	115	11 500	3 500	120	12 000	3 650	125	12 500	3 800
130	13 000	3 950	135	13 500	4 100	140	14 000	4 250	145	14 500	4 400
150	15 000	4 550	155	15 500	4 700	160	16 000	4 900	165	16 500	5 050
170	17 000	5 200	175	17 500	5 350	180	18 000	5 500	185	18 500	5 650
190	19 000	5 800	195	19 500	5 950	200	20 000	6 100	205	20 500	6 250
210	21 000	6 400	215	21 500	6 550	220	22 000	6 700	225	22 500	6 850
230	23 000	7 000	235	23 500	7 150	240	24 000	7 300	245	24 500	7 450
250	25 000	7 600	255	25 500	7 750	260	26 000	7 900	265	26 500	8 100
270	27 000	8 250	275	27 500	8 400	280	28 000	8 550	285	28 500	8 700
290	29 000	8 850	300	30 000	9 150	310	31 000	9 450	320	32 000	9 750
330	33 000	10 050	340	34 000	10 350	350	35 000	10 650	360	36 000	10 950
370	37 000	11 300	380	38 000	11 600	390	39 000	11 900	400	40 000	12 200
410	41 000	12 500	420	42 000	12 800	430	43 000	13 100	440	44 000	13 400
450	45 000	13 700	460	46 000	14 000	470	47 000	14 350	480	48 000	14 650
490	49 000	14 950	500	50 000	15 250	510	51 000	15 550	520	52 000	15 850

Slika 12 RVSM i ne-RVSM visine [10]

### 3. METODOLOGIJA ODREĐIVANJA KOMPLEKSNOSTI ZRAČNOG PROMETA

Kada govorimo o kompleksnosti, sama riječ kaže da je to nešto složeno, višeslojno, zamršeno, odnosno sastavljeno od više međusobno povezanih dijelova. Prema hrvatskom jezičnom portalu kada se za nešto govori da je kompleksno ono ima tri konotacije: 1. koje je sastavljeno od više dijelova, materijala i sl. [kompleksan stroj] složen; 2. koje je krajnje zamršeno [kompleksna situacija] zapleten; 3. koji uzima u obzir sve detalje [kompleksno rješenje]; cjelovit [11]. Shodno tome može se onda reći da ta sama kompleksnost predstavlja težinu obavljanja nekog zadatka ili neko stanje koje je veoma teško za analizirati, separirati ili riješiti. Meckiff je definirao kompleksnost kao mjera težine koju određena prometna situacija predstavlja kontrolorima zračnog prometa [12]. Mogford definira kompleksnost kao multidimenzionalni koncept koji uključuje statičke sektorske karakteristike i dinamične prometne uzorke [12]. S druge strane, Paul Cilliers opisuje dva pojma u svom filozofsko-znanstvenom radu o kompleksnosti, a to su pojam kompleksnih i kompliciranih sustava [12]. Tako on tvrdi kako sustav može imati mnogo dijelova, sastojati se od dosta komponenti, no on nužno ne mora biti kompleksan nego kompliciran jer se takav sustav može potpuno opisati kao npr. svemirska letjelica ili neki drugi višekomponentni sustavi. S druge strane, u kompleksnom sustavu postoje mnoge interakcije koje su takve prirode da se cijeli sustav ne može potpuno odrediti ili opisati analizom samog podskupa [12]. Primjeri takvih sustava su ponašanje ljudi odnosno sociološki sustavi, ljudski mozak itd. Takve sustave Cilliers opisuje sljedećim karakteristikama [12]:

1. Ogroman broj elemenata čije interakcije prkose tradicionalnom pristupu matematičkih analiza.
2. Dinamička interakcija između elemenata koja uključuje prijenos energije ili informacija.
3. Redundancija koja dopušta podskupu sustava da obavlja zadaće cijelog sustava.
4. Lokalizirana samostalnost i manjak dijeljenje informacija između svih elemenata.
5. Ne linearne interakcije između elemenata koje omogućuju da male smetnje imaju visoke utjecaje na sustav.

Ove karakteristike se ne odnose samo na ATC budući da ATC nije u potpunosti jedinstven kao kompleksan sustav u smislu odnosa čovjek-stroj.

Istraživanja oko kompleksnosti u kontroli leta dovela su do zaključka kako kompleksnost pokreće radno opterećenje kontrolora zračnog prometa i za koje se smatra da na koncu potpuno utječe na ograničavanja kapaciteta sektora. Pojedini znalci su govorili kako ATC kompleksnost generira radno opterećenje, no to su pojedini demantirali i naglasili kako funkcionalan odnos između ovo dvoje je u velikoj mjeri nepoznat. Od početaka kontrole leta

kompleksnost se proučavala i nije se došlo do svih odgovora na pitanja same kompleksnosti i njezinih uzročno posljedičnih veza na radno opterećenje. Mnogi faktori su nabrojani kao razno razni uzroci pa u ovom radu će se spomenuti dosta takvih čimbenika koji su od velikog značaja i koje su proučavale razne ATC zajednice i znanstvenici. Stoga najviše se spominje gustoća prometa koja je najviše povezana s kompleksnošću, ali ona je nedovoljan indikator težine s kojom se suočavaju kontroli zračnog prometa. Anegdotski dokazi upućuju na to kako kontrolori zračnog prometa sve više govore ne o težini dane gustoće prometa već o povezanosti kompleksnosti samog prometa. Prošli pokušaji procjene kompleksnosti odnosili su se većinom na geometrijske odnose između zrakoplova, opservacijske fizičke aktivnosti, Kasnije je shvaćeno kako ovi faktori kompleksnosti međusobno mogu interaktivirati, a s druge strane primijećeno je kako individualne sposobnosti kontrolora zračnog prometa se mogu razlikovati na istu konstelaciju čimbenika kompleksnosti [12]. Dakle, došlo se do zaključka kako različiti kontrolori zračnog prometa odgovaraju drukčije na pojedine situacije u prometu koje su sastavljene od različitih faktora kompleksnosti (što spada u kognitivnu psihologiju čovjeka-ljudski faktor).

U ovom paragrafu opisivat će se definicija ATC kompleksnosti i sektorske kompleksnosti kojom su se bavili američki znanstvenici, a sljedeći paragraf opisuje EUROCONTROL-ove opservacije na ovu temu. Tako je primijećeno kako se termini kompleksnost, sektorska kompleksnost i prometna kompleksnost katkad koriste naizmjenično što je dovodilo do konfuzije pri novim istraživanjima oko područja kompleksnosti. Primjer ovog problema je kako FAA objašnjava sektorsku kompleksnost, a to je broj dolazaka, odlazaka, en-route zrakoplova, specijalnih letova, hitnih slučajeva i koordinacija povezana sa sektorom. Ova definicija je zbunjujuća jer je pomiješala i sektorske i prometne značajke. Stoga, pojedini istraživači su dali korisne razlike između pojedinih odnosa, kao npr. Grossberg koji je napravio korisnu razliku između atributa sektora i njihovih utjecaja na kontrolore zračnog prometa. On opisuje kompleksnost kao konstrukt koji ima dinamične i statične karakteristike koje utječu na brzinu rasta radnog opterećenja za kontrolore leta jer radno opterećenje kontrolora zračnog prometa su aktivnosti koje uključuju fizički i mentalni dio koji rezultira rukovanjem zračnim prometom. Maloprije se spominje pojam konstrukt, a on predstavlja proces koji se ne može promatrati direktno, ali ima veliki značaj na stvaranje mjerljivi pojava. Ovakav pristup koji opisuje Reber želi reći kako je koncept ATC kompleksnosti izričito definiran subjektivnošću samog kontrolora leta jer on je stvoren percepcijom kontrolora leta i interakcijom sa sektorom i zračnim prometom unutar njega [12]. Može se reći kako je ATC kompleksnost definirana kao konstrukt koji je sastavljen od broja sektora i prometnih kompleksnosti dimenzija ili faktora. Takvi faktori su primjerice fizički aspekti sektora (izgled i veličina te konfiguracija zračnih puteva), faktori koji se tiču pokreta prometa kroz zračni prostor (broj penjanja, spuštanja, krstarenja zrakoplova). Kompleksnost ne postoji kada nema nijednog zrakoplova u sektoru. Interakcije sektorske i prometne kompleksnosti uzrokuju ATC kompleksnost. One mogu uzrokovati veću ili manju kompleksnost ovisno o strukturi sektora, razini gustoće prometa te karakteristikama zrakoplova [12]. Bitno je naglasiti kako sama prometna gustoća ne definira ATC

kompleksnost, ali je ona jedna od varijabli koja utječe na kompleksnost i kao taka čini komponentu kompleksnosti.

*EUROCONTROL* je shvatio značaj kompleksnosti zračnog prostora i zbog toga su se predstavnici glavnih europskih ANSP-ova i *EUROCONTROL*-a sastali čak devet puta. Njihov zadatak je bio da definiraju i odrede indikatore visoke razine kompleksnosti za *en-route* zračni prostor koji bi se mogli koristiti za sustavno vrednovanje i analizu. Stoga, radna grupa sastavljena od predstavnika već gore navedenih institucija je morala ustanoviti metode i načine određivanja te kompleksnosti. Shvatili su kako to samo određivanje kompleksnosti ovisi o različitim predviđenim primjenama i namjenama. Prva stvar na koju su obratili pažnju je radno opterećenje kontrolora zračnog prometa, no oni su tu gledali vanjske čimbenike koji utječu na težinu zadatka kontrolora leta i njegovo radno opterećenje. Tako su ustanovili indikatore kompleksnosti u svrhu sustavnog vrednovanja, no pri tome nisu gledali na unutarnje čimbenike koji utječu na kontrole zračnog prometa, poput proceduralno povezanih čimbenika u kontroli zračnog prometa [12]. Studije su pokazale kako struktura samih ruta, koja spada u grupu unutarnjih čimbenika je svojstveno prirođena zračnom prometu i strukturi protoka zračnog prometa te kako ona se ne smije apsolutno isključiti iz analize kompleksnosti zračnog prometa.

Utvrđeni/identificirani su sljedeći aspekti kompleksnosti [12]:

- 1. Unutarnji ANSP čimbenici kompleksnosti povezani s ATC procedurama.** Izvor povećanja radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa su ATC procedure u operaciji, struktura ruta, koncept operacije i organizacija zračnog prostora.
- 2. Vanjski ANSP čimbenici kompleksnosti karakteristika zračnog prometa.** Izvor povećanja radnog opterećenja ili zadataka su vrste prometa, interakcija prometa, pad koncentracije.
- 3. Vanjska kompleksnost** - dodatno radno opterećenje zbog strukture zračnog prostora i prirode zračnog prostora kroz koju prometuje zračni promet. Pripada vanjskim ANSP čimbenicima.

Stoga, uz navedene uvjete, kompleksnost se može definirati kao vanjski čimbenici koji direktno utječu na povećanje radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa ili razine težine ATC zadatka, ne uzimajući pritom unutarnje čimbenike, odnosno čimbenike koji su povezani s ATC procedurama.

### 3.1. Dimenzije kompleksnosti

Dimenzije kompleksnosti su zapravo dio okoline upravljanja zračnim prometom, odnosno svaka od njih tri uzima značajku ATM<sup>25</sup> okoline za koju se vjeruje da utječe na kompleksnost koju osjećaju kontrolori zračnog prometa.

Dimenzije kompleksnosti se dijele na tri kategorije [12]:

- vanjska ograničenja
- ograničenje zračnog prostora
- karakteristike prometa.

#### 3.1.1. Karakteristike prometa

1. **Gustoća prometa** (engl. *traffic density*) je dimenzija koja obuhvaća raspodjelu zrakoplova u zračnom prostoru. Zrakoplovi mogu biti geografski koncentrirani u određenim dijelovima zračnog prostora ili mogu biti koncentrirani u vremenskim vrhuncima ili u određenom vremenskom periodu [12]. Kompleksnost izravno utječe na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa i ono raste kada zrakoplovi nisu jednoliko raspoređeni jer kontrolor onda mora kontrolirati mnogo više zrakoplova u manjem volumenu zračnog prostora u što manje vremena. Također, struktura rute utječe na gustoću prometa i sa utemeljenjem FRA, studije su pokazale kako se kontrolorima zračnog prometa smanjilo radno opterećenje iako se broj zrakoplova nije smanjio. Dva unutarnja čimbenika koja uveliko utječu na gustoću prometa su [12]:
  - a) fundamentalna prometna potražnja koja može biti fokusirana u određenim dijelovima zračnog prostora ili u određenom vremenskom periodu dana,
  - b) vojna područja koja su zabranjena civilnom zrakoplovstvu vremenski (*restricted areas*).
2. **Promet u penjanju ili spuštanju** (engl. *traffic in climb or descent – evolution*) je dimenzija koja obuhvaća vertikalno kretanje prometa. Općenito, smatra se kako je kompleksnije kontrolirati promet u penjanju, spuštanju i krstarenju nego samo u penjanju i spuštanju. Na razmjer prometa u penjanju i spuštanju ovisi vanjski čimbenik - neposredna blizina glavnih zračnih luka, a i transferni uvjeti gdje se zrakoplov mora prebaciti na drugu frekvenciju na unaprijed dogovorenim visinama [12].
3. **Struktura toka prometa** (engl. *flow structure*) je dimenzija koja uzima u obzir horizontalno kretanje prometa. Pretpostavlja se kako je promet u križanju mnogo kompleksniji za kontrolirati u odnosu na promet koji se kreće u paralelnim tokovima. Jedan od unutarnjih čimbenika koji utječe na strukturu toka prometa je ponajviše

---

<sup>25</sup> ATM – Air Traffic Management (Upravljanje zračnim prometom)

interna promjena rutne mreže jer ako se jednoj točki promjeni položaj iz jednog oblasnog kontrolnog centra u drugi, to će dovesti do povećanja kompleksnosti zračnog prometa, a time i povećanja radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa [12]. Struktura ruta u susjednim ili graničnim ANSP-ovima također utječe na postojanje i položaj točki koje se križaju (vanjski čimbenik).

- 4. Mješoviti promet** (engl. *traffic mix*) je dimenzija koja se prvenstveno bazira na različitim brzinama između zrakoplova te pritom želi utvrditi kako različitosti u performansama zrakoplova utječe na kompleksnost zračnog prostora. Tako se smatra kako je zračni prostor manje kompleksan ako zrakoplovi lete sličnim brzinama [12]. Naravno, ogromna razlika u brzinama između zrakoplova ovisi o vrsti zrakoplova, odnosno o njihovim performansama (vanjski čimbenik).

### 3.1.2. Kompleksnost zračnog prometa

- 1. Sektorizacija** (engl. *sectorisation*) je dimenzija koja gleda kakav utjecaj sektorizacija ima na kompleksnost zračnog prostora. Kompleksnost zračnog prostora se može ili povećati ili smanjiti u ovisnosti kako se zračni prostor raspodijelio, ovaj slučaj je blizak sa slučajem struktura rute. Na sektorizaciju utječu suverene državne granice i vojni zračni prostor koji snižavaju mogućnost optimizacije sektora, no ANSP može mijenjati sektorizaciju koja može dovesti do snižavanja kompleksnosti zračnog prostora. Susjedne države dogovorno mogu prilagoditi svoj zračni prostor neovisno o državnoj granici što također doprinosi optimizaciji sektora [12].
- 2. Struktura rute** (engl. *route structure*) je dimenzija koja se temelji na strukturi rute unutar zračnog prostora. Budući da struktura rute u samom zračnom prostoru reflektira potražnju koju uvjetuju zrakoplovi jer po tom uzorku su rute i osmišljene što predstavlja vanjski faktor, no sama optimizacija rute je unutarnji faktor jer ANSP-ovi mogu smišljati rute pa one mogu biti kompleksne bi-direkcionalne rute i jednodirekcionalne odnosno uni-direkcionalne rute u kojima se zrakoplovi mogu lakše kontrolirati. Na optimiziranje ruta dosta utječu vojne aktivnosti što predstavlja veliku prepreku prilikom potpune zamisli optimiziranja zračnog prostora [12].

### 3.1.3. Vanjska ograničenja u dimenziji kompleksnosti

#### 1. Vojna područja

Ovo područje se odnosi na zračni prostor koji koristi vojska za svoje letačke potrebe, školovanje budućih vojnih pilota ili neke nacionalne i međunarodne vježbe. Kompleksnost se može povećati jer kontrolori zračnog prometa imaju manje prostora za kontroliranje zrakoplova ili moraju koristiti alternativne rute na koje se nisu navikli što može stvoriti dodatni stres i utjecati na radno opterećenje operatora [12]. Pored

ovih stvari dodatno što utječe na kontrolore zračnog prometa jest sama vrsta koordinacije i njena kvaliteta između civilnih i vojnih organizacijskih jedinica.

## 2. Povezivanje i koordinacija između susjednih oblasnih centara kontrola leta

Ova dimenzija se bavi pitanjem kakav je međusobni odnos između susjednih ACC-ova i kakav utjecaj taj odnos ima na kompleksnost [12]. Kompleksnost se povećava ako dolazi do prijelaza s radarske separacije na proceduralnu ili s RVSM-a na ne-RVSM.

### 3.2. Indikatori kompleksnosti

Istraživanja su dovela do zaključka kako određena grupa indikatora prikazuje glavne dimenzije en-route kompleksnosti u odnosu na neke prometne karakteristike. Pojedinačno, svaki indikator odgovara jednoj od prometnih karakteristika kompleksnosti dimenzija. Sljedeća tablica prikazuje dimenzije kompleksnosti i njima odgovarajuće indikatore.

Tablica 2 Prikaz dimenzija kompleksnosti i njima pripadajući indikatora [12]

DIMENZIJA KOMPLEKSNOŠTI	INDIKATORI
<i>Traffic density</i> -Gustoća prometa	<i>Adjusted density</i> -Prilagođena gustoća
<i>Traffic in evolution</i> -Promet u razvoju	<i>Potential vertical interactions (VDIF)</i> -Moguće vertikalne interakcije
<i>Flow structure</i> -Struktura toka	<i>Potential horizontal interactions (HDIF)</i> -Moguće horizontalne interakcije
<i>Traffic mix</i> -Mješavina prometa	<i>Potential speed interactions (SDIF)</i> -Moguće interakcije brzina

Bitno je spomenuti kako se u ovom istraživanju upotreba ovih indikatora nije izričito istražena u terminalnim zonama [12].

#### 3.2.1. Rešetkaste dimenzije (*Grid dimensions*)

Indikatori kompleksnosti se računaju tako da se koriste takozvane četverodimenzionalne ćelije koje se dijele unutar cijelog ECAC<sup>26</sup> područja. Indikatori se računaju zasebno unutar svih tih ćelija i to pruža ogromnu fleksibilnost prilikom kombiniranja i gomilanja odnosno skupljanja podataka na razini ACC<sup>27</sup>-ova i ANSP<sup>28</sup>-ova. Na slici 13

<sup>26</sup> ECAC-European Civil Aviation Conference

<sup>27</sup> ACC-Area Control Center



prikazano je područje na kojem se proteže ECAC. Područje sive boje koje je prikazano na slici 13 predstavlja države koje nisu članice ECAC-a. Ispod slike se nalazi legenda koja prikazuje sve članice ECAC područja i države članice koje su u Europskoj Uniji, EUROCONTROL-u ili ECAA<sup>29</sup> [12]. Republika Hrvatska je postala članicom ECAC područja u srpnju 1992. godine.



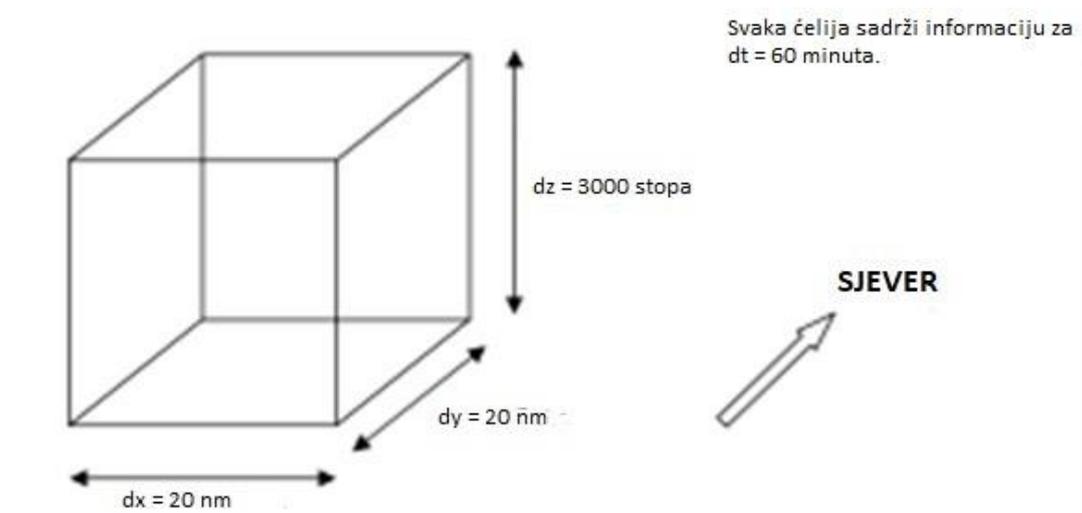
*Slika 13 ECAC područje [13]*

Prilikom računanja podataka iz ćelije bitno je odrediti pravu projekciju karata koja će se koristiti jer dolazi do devijacija zbog zakrivljenosti Zemlje. Iz toga razloga najadekvatnija kartografska projekcija je Albersova konusna projekcija jednakog područja [12]. Ona je najadekvatnija iz razloga što ona osigurava jednak volumen svim ćelijama. Na slici 14 prikazan je izgled ćelije.

---

<sup>28</sup> ANSP-Air navigation service provider

<sup>29</sup> European Common Aviation Area

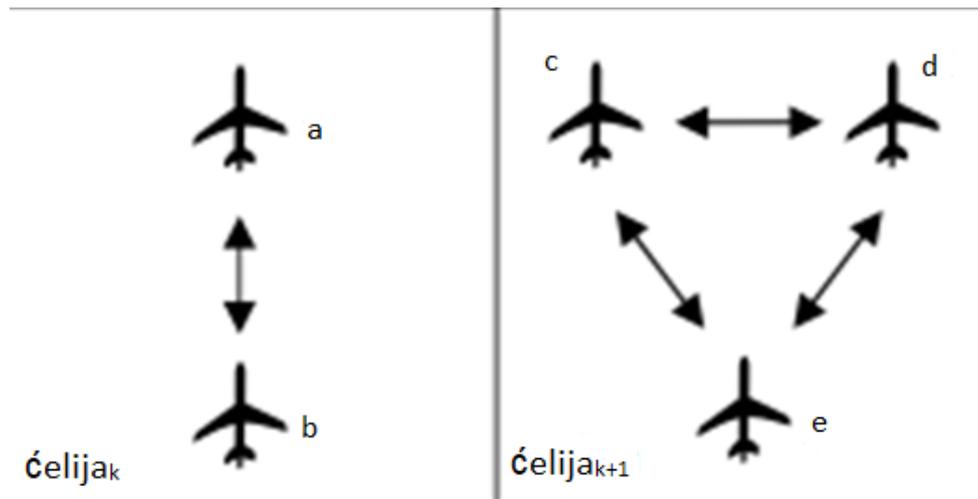


Slika 14 Prikaz ćelije [12]

Na slici su prikazani vremenski i prostorni parametri ćelije. Prostorni parametri imaju točke  $dx$  i  $dy$  koje iznose po 20 nautičkih milja i  $dz$  točku koja predstavlja 3000 stopa visinu. Svaka ćelija sadrži informaciju za vremenski period  $dt$  koji iznosi jedan sat odnosno 60 minuta. Stoga, podaci o prometu unutar svake ćelije se skupljaju na bazi jednog sata što na kraju dana donosi set od 24 podatka za svaku ćeliju, dakle jedna ćelija po satu. Ove vrijednosti se računaju za svaki ANSP pritom koristeći podatke od bitnih ćelija. Prilikom kalkulacija zna se javiti greška zbog utjecaja granice koji nastaje korištenjem rešetki, no ta greška se rješava korištenjem 12 različitih rešetki. Tako postoje četiri horizontalna pomaka rešetke. Veličina tih pomaka u  $x$  i  $y$  smjeru iznose od 0 do 10 nautičkih milja, a vertikalno do 3000 ft. Prve rešetke počinju na FL085 I protežu se do FL415 [12].

### 3.2.2. Interakcije

Pojam interakcije predstavlja ključni pojam za koncept rada koji se bavi pitanjem kompleksnosti zračnog prostora, a poznato je kako je kompleksnost preteško za objasniti iz razloga što postoji previše nekontroliranih varijabli koji imaju utjecaj na samu kompleksnost. Interakcija, jednostavno rečeno je prisutnost više zrakoplova u istom području u istom vremenskom periodu koji izaziva kompleksnost, a ona je još veća ako su zrakoplovi u drukčijim fazama leta, kursovima ili brzinama [12]. Istraživanje koje vrši EUROCONTROL, definiralo je interakciju kao međusobnu prisutnost dva zrakoplova u istoj ćeliji gledano sa perspektive ostalih zrakoplova.



Slika 15 Prikaz interakcija [12]

Tako na slici 16 su prikazana dva slučaja interakcija. Stoga, na lijevoj strani slike vide se dvije interakcije u toj ćeliji, dok s desne strane nalaze se tri zrakoplova sa međusobno 6 interakcija. U ćeliji „k“ zrakoplov A ima interakciju sa zrakoplovom B te zrakoplov B ima interakciju sa zrakoplovom A. U ćeliji „k+1“ postoji šest parova interakcija, a to su parovi zrakoplova C i D, C i E, D i C, D i E, E i C te E i D. Bitno je naglasiti kako svaka interakcija zauzima mjesto između dva i samo dva zrakoplova [12]. No, pri računanju interakciju uzimaju se u obzir samo potencijalne interakcije, a ne stvarne jer se gleda makroskopska slika problema. Indikatori ne gledaju ciljano na stvarni broj interakcija koje se događaju na dnevnoj bazi nego gledaju na vjerojatnost interakcija koje rastu ili padaju ovisno o protoku zračnog prometa.

### 3.2.3. Prilagođena gustoća (*Adjusted density*)

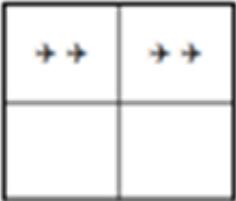
Gustoća prometa pokazuje koliko zapravo ima prometa unutar jedinice vremena i volumena. Pored gustoće prometa, zbog što boljeg izračuna problema koristi se prilagođena gustoća koja je omjer sati interakcije između zrakoplova i sati leta [12].

$$\text{prilagođena gustoća} = \frac{\text{sati interakcije}}{\text{sati leta}}$$

Općenito problem kod obične gustoće je to što ona ne prikazuje kako i gdje su zrakoplovi koncentrirani, gdje su zagušenja tijekom dana i u kojim satima, stoga se pribjegava prilagođenoj gustoći. U maloprije spomenutoj formuli prilagođene gustoće, sati interakcije se računaju tako da se dodaje trajanje svih interakcija unutar ćelija koje pripadaju određenom ANSP-u ili ACC-u. Onda sati interakcije se dijele s ukupnim satima leta unutar nekog ACC-a ili ANSP-a i tako se dobije indikator prilagođene gustoće. Na primjer u Europi taj indikator iznosi 0,11 sati interakcije po satu leta. Drugi način prezentacije rezultata je interakcija po letu [12]. Ta vrijednost predstavlja prosjek zrakoplova koji međusobno imaju

interakcije te za koje se pretpostavlja da bi mogli imati susret prelazeći zračni prostor nekog ANSP-a ili ACC-a.

Prilikom izračuna prilagođene gustoće ne koriste se ćelije u kojima nema zrakoplova jer one ne doprinose nikakvom rezultatu budući da ne sadrže niti interakcije niti sate leta, a u ćelijama koje imaju samo jedan zrakoplov to postoje sati leta, no ne interakcije. Dakle, kada se jedan zrakoplov nalazi u ćeliji njegovi sati leta jedino doprinose izračunu i konačnom rezultatu [12]. Na slici 17 prikazana je kalkulacija za indikator prilagođene gustoće.

 <p>Središte 1</p>		 <p>Središte 2</p>	
2+2+2+2 = 8	Broj interakcija	2+2 = 4	
Za postizanje rezultata u smislu očekivanog trajanja, vrijeme potrošeno u ćeliji (tri minute u ovom primjeru) mora se uzeti u obzir. Prilagođena gustoća = Sati interakcije / Sati leta			
8 x (1/400) = 0.02	Sati interakcije	4 x (1/400) = 0.01	
8 x (1/20) = 0.4	Sati leta	4 x (1/20) = 0.2	
(0.02/0.4) = 0.05	Prilagođena gustoća	(0.01/0.2) = 0.05	

Slika 16 Prikaz izračuna za indikator prilagođene gustoće [12]

U prethodno navedenoj slici vidi se prikaz izračuna prilagođene gustoće za dva zamišljena centra. U centru 1 se nalazi 8 zrakoplova, a u drugom upola manje, no ipak broj interakcija po letu je jednak za oba centra. Stoga ova slika pokazuje kako prilagođena gustoća opisuje gustoću koju zrakoplov doživljava. Sljedeća bitna stvar je koncentracija zrakoplova. Koncentracija zrakoplova je omjer prilagođene gustoće i sirove gustoće<sup>30</sup> [12]. Koncentracija može ovisiti o zemljopisnoj raspodjeli zahtjeva prometa, distribuciji prometa po satu tijekom dana ili kada je zračni prostor zatvoren zbog vojne aktivnosti.

$$\text{koncentracija} = \frac{\text{prilagođena gustoća}}{\text{sirova gustoća}}$$

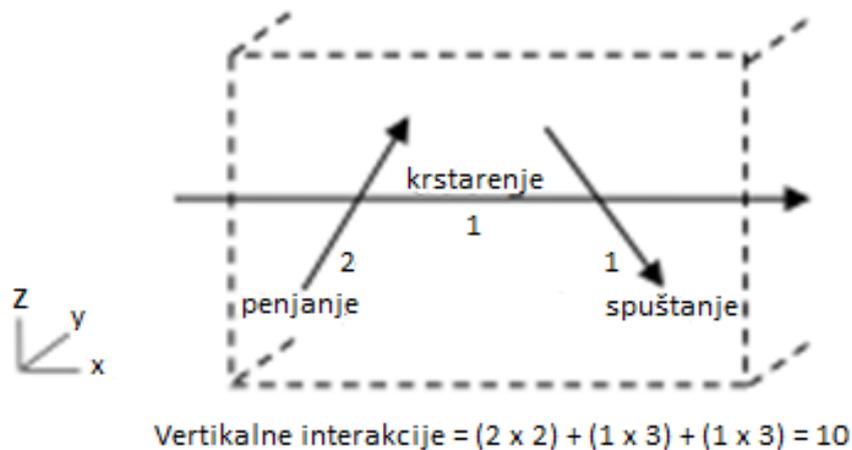
<sup>30</sup> Sirova gustoća ili neprilagođena gustoća (engl. *Un-adjusted density*) je omjer broja zrakoplova ili sati leta i određenog volumena.

### 3.2.4. Vertikalne interakcije

Ovakva vrsta interakcija pripada dimenziji kompleksnosti promet u evoluciji, odnosno spuštanje, penjanje ili krstarenje zrakoplova. Mjeru kompleksnosti koja je rezultat interakcija između zrakoplova u različitim fazama leta predstavlja indikator VDIF<sup>31</sup>. VDIF predstavlja trajanje potencijalne vertikalne interakcije u satima po satu leta [12]. VDIF u Europi iznosi oko 0.03 sata vertikalnih interakcija po satu leta.

$$\text{VDIF} = \frac{\text{sati vertikalne interakcije}}{\text{sati leta}}$$

Na primjer, dva zrakoplova međusobno vertikalno interaktiviraju ako su prisutni u ćeliji i u različitim su fazama leta te to se naziva stav zrakoplova i on se odmah definira prilikom ulaska zrakoplova u ćeliju. Za zrakoplov se kaže da je u krstarenju ako penje ili spušta s manje od 500 stopa po minuti [12]. Na slici 18 su prikazani 4 zrakoplova, dva su u penjanju, jedan u krstarenju i jedan u spuštanju.



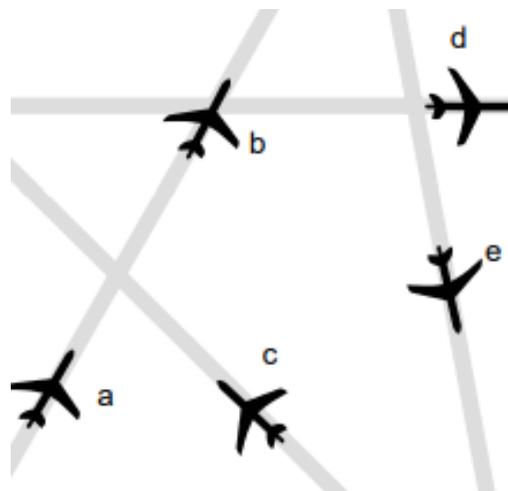
Slika 17 Prikaz vertikalnih interakcija [12]

Svaki od zrakoplova ima interakciju s još dva druga zrakoplova. Zrakoplov u krstarenju i spuštanju međusobno interaktiviraju, no ne s drugim zrakoplovom koji je u penjanju. Krstareći zrakoplov interaktivira s dva zrakoplova u penjanju i jednim u spuštanju, dakle sveukupno interaktivira s tri zrakoplova. Zrakoplov koji je u spuštanju interaktivira s preostala tri zrakoplova. Bitno je naglasiti kako ne postoje interakcije između zrakoplova koji imaju isti stav osim ako im razlika u kursu leta nije veća od 20 stupnjeva [12]. Ukupan broj potencijalnih interakcija unutar ćelije je 10, a sami izračun je napisan ispod slike 5. Ovo se naziva potencijalna interakcija iz razloga jer zrakoplov može biti prisutan u ćeliji u različito vrijeme tijekom sata.

<sup>31</sup> VDIF- Vertical Different Interacting Flows

### 3.2.5. Horizontalne interakcije

Ova vrsta interakcije spada u dimenziju kompleksnosti struktura protoka zračnog prometa. Opisuje se indikatorom HDIF<sup>32</sup>. HDIF je mjera za kompleksnost koja proizlazi iz interakcija zrakoplova koji imaju različite kursove leta i izražava se kao trajanje potencijalne horizontalne interakcije u satima po satu leta. Dakle, horizontalna interakcija postoji ako se u istoj ćeliji nalaze minimalno dva zrakoplova s različitim kursovima leta i ona zapravo postoji ako razlika između kursova iznosi 20 stupnjeva [12]. Iz ovog razloga u već spomenutoj vertikalnoj interakciji, ako zrakoplovi imaju isti stav, no kurs im je različit za 20 stupnjeva, onda postoji vertikalna interakcija, a u obrnutom slučaju ne. Slika 19 prikazuje potencijalnu horizontalnu interakciju zrakoplova.



Slika 18 Potencijalna horizontalna interakcija [12]

Kada se želi detektirati potencijalna horizontalna interakcija između zrakoplova, mora se gledati da li je razlika u kursovima leta veća od 20 stupnjeva jer tako nalaže model proračuna kompleksnosti. Na tablici 3 su prikazane interakcije zrakoplova na primjeru sa Slike 19. Indikator HDIF uzima u obzir očekivano trajanje interakcije [12].

Tablica 3 Prikaz potencijalnih horizontalnih interakcija između zrakoplova na primjeru slike 19 [12]

Zrakoplov	Zrakoplov je u interakcija sa zrakoplovom	Broj potencijalnih interakcija
a	c & d & e	3
b	c & d & e	3
c	a & c & d & e	4
d	a & c & b & e	4
e	a & b & c & d	4
$\Sigma$	-	18

<sup>32</sup> HDIF-Horizontal Different Interaction Flows

### **3.2.5. Interakcije brzinama**

Indikator interakcije brzinama se naziva SDIF. On je mjera kompleksnosti ako postoje zrakoplovi koji su u interakciji na osnovu različitih brzina. SDIF se izražava kao trajanje potencijalne interakcije brzine u satima po satu leta zrakoplova. Ova interakcija se očituje ako su razlike između zrakoplova više od 35 čvorova. SDIF na području Europe iznosi oko 0.03 sata interakcije brzinama po satu leta [12]. Dakle, jednake vrijednosti imaju indikatori VDIF I SDIF.

### **3.3. Utjecaj kompleksnosti na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa**

U ovom odlomku govorit će se o mentalnom radnom opterećenju vezano uz kontrolu leta. Psihologija definira radno opterećenje kao cijenu koju operator nekog složenog sustava plaća kada su zadaci izvršeni. Mentalno radno opterećenje je omjer kapaciteta zahtijevanih da bi izvedba zadatka zadovoljila očekivanja i kapaciteta koji su operatoru dostupni u dano vrijeme. Odnosno, mentalno radno opterećenje predstavlja omjer zahtijevanih kapaciteta i dostupnih kapaciteta [14]. Već se zna kako sama izvedba kontrolora zračnog prometa ovisi od čovjeka do čovjeka te kako oni pojedinačno doživljavaju kompleksnost jer očekivani resursi pažnje su ti koji uzrokuju razlike između očekivane i stvarne izvedbe. Ovo je veoma bitno jer zahtjevi zadataka često uključuju očekivanja u pogledu kvalitete izvedbe koji se temelje na znanju o zadatku te prirodi ljudskih kapaciteta i vještina.

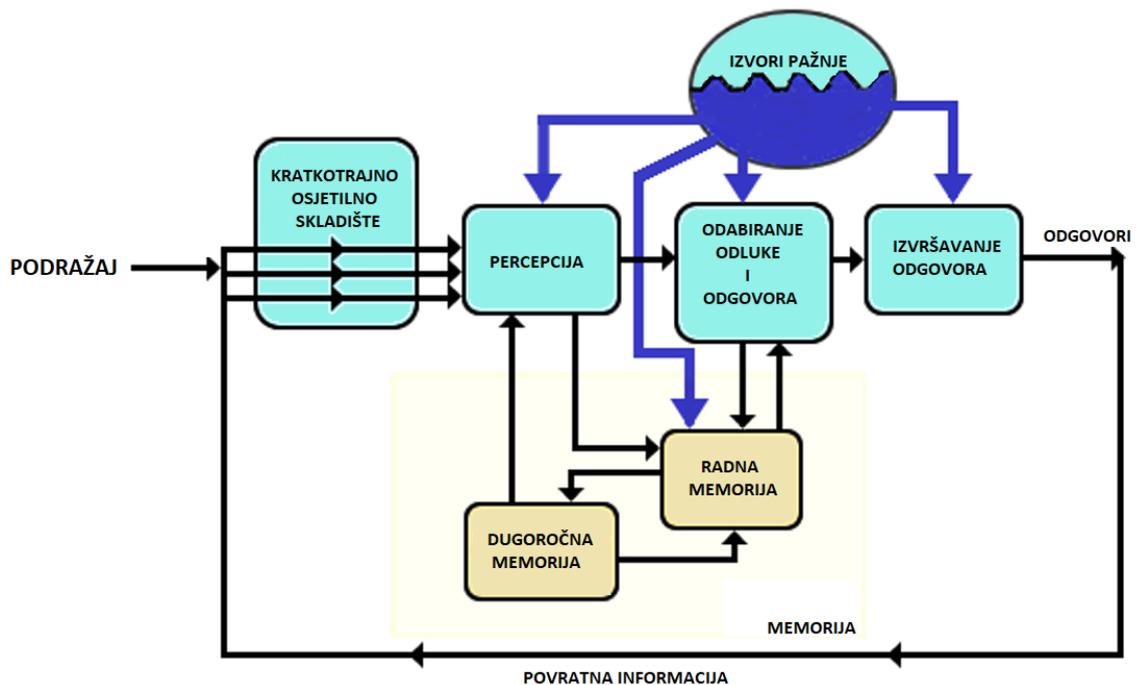
Istraživanja oko kompleksnosti kontrole leta su dokazala kako kompleksnost igra ključnu ulogu u stvaranju radnog opterećenja kontrolora zračnog prostora. Stavka koja se mora naglasiti je ta kako kompleksnost nije gustoća prometa kako ne bi došlo do zabune, no očito je kako broj zrakoplova u sektoru izravno utječe na kompleksnost u zračnom prometu. Dokazano je kako npr. kapacitet zračnog prostora utječe na povećanje radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa što dovodi do povećanja kompleksnosti. Stoga se provode istraživanja koja pružaju uvid u kompleksnost putem subjektivnih i objektivnih matematičkih formula te nelinearnim modelima koji su na bazi umjetne inteligencije. Sve nabrojano predstavlja modele koji nam služe kao alat pri proračunu kompleksnosti, a u ovom radu će biti opisan jedan od takvih modela koji se naziva PRU model kompleksnosti. On daje podatke o ovoj problematici i putem kojih povezujemo niti između problema kompleksnosti koji uveliko utječe na mentalno radno opterećenje. Pojedini čimbenici koji utječu na povećanje kompleksnosti su struktura i karakteristike zračnog prometa i oni izravno utječu na povećanje mentalnog radnog opterećenje kontrolora zračnog prometa koji za posredne čimbenike ima kvalitetu opreme, individualne razlike i kognitivne strategije (subjektivne

ocjene operatora nisu dosljedne) kontrolora zračnog prometa koji idu u prilog povećanju kompleksnosti. Općenito govoreći, kompleksnost je teško podjednako odrediti za sve jer postoji previše nekontroliranih varijabli [15]. Ova tema je veoma bitna zato što uloga kontrolora zračnog prometa je osigurati siguran i ubrzan protok zračnog prometa kroz zračni prostor unutar kojeg oni imaju odgovornost. Stoga kontrolori zračnog prometa tijekom svoje smjene moraju biti oprezni, odlučni i imati visoku točnost prilikom neočekivanih i nepredvidljivih situacija koje mogu biti posljedice loših vremenskih uvjeta, velike prometnosti, umora ili nekih drugih izvanrednih stanja (otmice zrakoplova, kvar motora, prirodne nepogode itd.). Iz tih razloga radno opterećenje kontrolora zračnog prometa mora biti točno procijenjeno kako bi se omogućila optimalna učinkovitost. To je veoma važno jer ako je kontrolor zračnog prometa izložen dugoročnom velikom opterećenju, može doći do preopterećenja. S druge strane, ako je opterećenje prenisko duže vremena, dolazi do neučinkovite primjene resursa i povećavanja šanse odvratanja kontrolora zračnog prometa od glavnog zadatka. Prekomjerno radno opterećenje predstavlja one vidove interakcije KL i njegovog zadatka koji je uzrokovan kada zahtjevi zadataka nadilaze kontrolorove kapacitete za izvršavanje, a to može biti netočna reakcija, produljeno vrijeme izvedbe, omaške, pogreške. Preopterećenje kontrolora zračnog prometa dovodi do poteškoća pri održavanju situacijske svjesnosti, omaški pri razvijanju nesigurnih situacija, pogrešaka prilikom odluka, zbunjenosti i nemogućnosti nošenja s naglim porastom opterećenja [16]. Značajno dugi periodi premalog opterećenja tijekom određene smjene dovode kontrolora zračnog prometa do dosadivanja i odvlačenja njegove pažnje od glavnog zadatka. Ako to ponavlja više puta zaredom, to može dovesti do stanja ugodnosti te pojave visokih razina pojedinih hazarda koji uzrokuju rizik. Tad kontrolori zračnog prometa moraju biti podvrgnuti *briefingsima* i *refresherima* radi ublažavanja rizika (engl. *risk mitigation*) [16].

Prvi puta se interes za definiranje i razvijanje metrike mentalnog radnog opterećenja pojavio tijekom 70.-ih godina prošlog stoljeća, a najistaknutiji psiholozi u počecima bili su Sanders, McCormick i Wickens. Nedostatak jasne definicije posljedica je kompleksnosti samog multi-dimenzionalnog koncepta mentalnog radnog opterećenja koji uključuje težinu zadatka i uloženi psihički i mentalni napor [16]. Budući da se govori o mentalnom i radnom opterećenju od velike važnosti je spomenuti Wickensov model višestruke teorije resursa koji objašnjava kako ljudski operater nema jedan nego više grupa izvora koje može prisluškivati. No, tu dolazi i do problema iz razloga jer ljudi se opisuju kao na ograničene mogućnosti obrade informacija. Kognitivni resursi su ograničeni, a problem ponude i potražnje se može dogoditi kada operator izvrši više zadataka koji zahtijevaju jedan izvor. Te tako radno opterećenje uzrokovano tim zadatkom koji koristi jedan te isti resurs najčešće rezultira pogreškom ili sporijom izvedbom zadatka. Wickens kaže kako nije uvijek istinito da se s povećanjem radnog opterećenja performanse izvedbe smanjuje. U ovom radu već se spominjalo kako na izvedbu može utjecati preveliko i prenisko opterećenje (podopterećenje) te kako prenisko opterećenje dovodi do dosade, gubitka situacijske svjesnosti i općenito svjesnosti te smanjenja budnosti. S druge strane, ako se povećava radno opterećenje ne mora značiti da će se izvedba smanjiti jer operatore, u ovom slučaju kontrolor zračnog



prometa može imati veoma dobru strategiju za rješavanje zahtijeva zadataka [16]. Dakle, bitna stavka je odluka, a na slici 21 je prikazan Wickensov model donošenja odluka. Koraci u procesu donošenja odluke su: 1.) traženje informacija iz okoline, 2.) procjena situacije odnosno tumačenje informacija, 3.) razmišljanje o različitim mogućnostima ili opcijama, 4.) procjena mogućnosti (dobre i loše strane), 5.) izbor odnosno odlučivanje o najboljoj opciji, 6.) povratna informacija (procjena rezultata donesene odluke i novi proces donošenja odluke od 1.koraka [14].

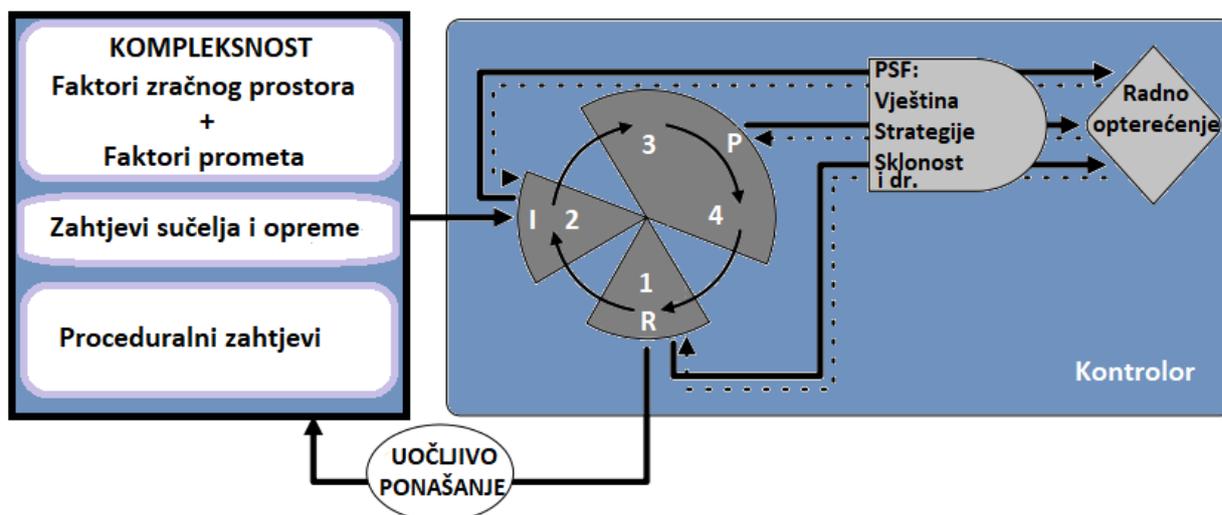


Slika 19 Wickensov model donošenja odluke [14]

Radi se o interakciji zadatka i operatora ovisnoj o vremenskom pritisku, buci, stresu i pažnji koji utječu na izvršavanje danog zadatka. Koliko je kontrolor zračnog prometa podložan tih utjecajima, ovisi o njegovim vještinama, iskustvima, sposobnosti, osobinama i operativnom načinu rada, što je sve subjektivni aspekt radnog opterećenja. Očito je da subjektivna težina zadatka ovisi o samom kontroloru zračnog prometa, pa tako jedan te isti zadatak ne predstavlja veliku količinu opterećenja iskusnom kontroloru leta, a s druge strane uvelike nadilazi sposobnosti početnika. Postoji razlika između opterećenja zadatka (engl. *taskload*) koji predstavlja objektivne zahtjeve zadatka i radnog opterećenja (engl. *workload*), tj. subjektivnih zahtjeva s kojima se kontrolor zračnog prometa susreće tijekom njegovog rješavanja. Pojam mentalnog opterećenja bio je svojstven konceptu da ljudski operater ima ograničenu sposobnost obrade informacija [16]. Najbolji primjer te pojave je fenomen koktel zabave (engl. *cocktail party phenomena*), koji dokazuje da se ljudi mogu usredotočiti samo na jedan izvor informacija osim ako je u pitanju određeni istaknuti podražaj (engl. *salient stimulus*) kao što su jarke boje, brzi pokreti, glasni zvukovi, dozivanje osobnog imena, poziv u pomoć i sl [16].

Kao što je već navedeno, razlikuju se opterećenje zadatka (engl. *taskload*) i radno opterećenje (engl. *workload*). Razna istraživanja su pokušala identificirati ATC faktore opterećenja zadatka vezane uz promet. Potpuno je dokazano kako se pomoću gustoće prometa ne može potpuno obuhvatiti pojam kompleksnosti zračnog prometa, no postoje ATC čimbenici opterećenje zadatka koji su povezani s konfiguracijom zračnog prometa, a neki od njih su organizacija sektora, broj prometnih problema, broj tranzicije letova po visinama, separacija aviona, mješovitost zrakoplova (razlike performansnih ovojnica zrakoplova koja predstavlja ograničenje leta promatrane letjelice koje se tiče ostvarive brzine i visine leta [17]), vremenski uvjeti, neposredna blizina zrakoplova i mogućih konflikata blizu granica sektora [16]. Pored čimbenika koji se tiču zračnog prostora, na opterećenje ATC zadacima predstavljaju pozicije ATC-a (oceanske naspram terminalnih) i sučelje kontrolorske radne pozicije. Mnogi prečaci i dodatni alati na sučelju mogu još više nadodati opterećenju zadatka poput nekih automatiziranih alati koji imaju tendenciju nenamjernog utjecaja na povećanje opterećenja zadatka. Potreban je pronaći optimalan odnos čovjek-stroj kako ne bi došlo do toga da stroj vodi nas, a ne čovjek njega. Naravno, ovakva sučelja su napravljena na smislen način da postoji što lakši menadžment upravljanja sučeljem, no katkad dolazi do tog povećanja opterećenja zadatka iz razloga jer računalo daje ponekad savjete što utječe na odluku donesenu od strane kontrolora zračnog prometa pa obje te solucije mora obraditi u glavi i donijeti odluku jer kontrolorova odluka je glavna osim u posebnim slučajevima poput TCAS-a gdje on ima glavnu i zadnju odluku na koju kontrolor zračnog prometa nema utjecaja niti ju smije promijeniti. Na radno opterećenje utječu strategije kontrolora zračnog prometa (prioritizacija zadataka, odgovor na promjene radnog opterećenja, koje zadatke prve rješavati, opreznost pri lošim meteorološkim uvjetima), opservacije i skeniranje prometa, donošenje odluka, planiranje itd [16]. Veliki problem u svakodnevnom radu KL predstavljaju razni stresori koji posreduju u odnosu između zahtijevanih zadataka i radnog opterećenja KL.

Funkcionalni model koji je prikazan na slici 22 prikazuje integraciju istraživanja o kompleksnosti i ljudskom procesuiranju informacija. Model razlikuje čimbenike opterećenja zadataka ili sustava koji predstavljaju vanjske faktore i unutarnje procese kontrolora zračnog prometa [16]. Na slici 22 s lijeve strane prikazano je od čega se sastoji opterećenje zadataka.



Slika 20 Predloženi model ATC kompleksnosti i radnog opterećenja [16]

Oni predstavljaju input odnosno ulazne podatke kontroloru zračnog prometa. Kotačić koji se nalazi na slici 22 predstavlja kontrolorsku aktivnost i ona se sastoji od četiri dijela: 1.) Implementacija odluka, 2.) Monitoriranje ili promatranje odluka, 3.) Evaluacija odluka, 4.) Formulacija odluka. Ova kontrolorska aktivnost koja se sastoji od četiri već navede stavke, odnosno tzv. mapa aktivnosti odgovara tradicionalnom pogledu na ljudsku obradu informacija koju je proučavao psiholog Wickens. Tako na ovom kotačiću se vide slova I, P i R koja predstavljaju *Input* (ulaz ili percepcija ili podražaj), *Processing* (obrada koja obuhvaća evaluaciju i formulaciju odluke) i *Response* (odgovor) [16]. Svaki od ovih I-P-R ciklusa ima dva ishoda koji se mogu ticati djelovanja kontrolora zračnog prometa na opterećenje zadatka ili nastavlja neuočljiv proces promatranja, evaluacije ili dr. Uglavnom, radno opterećenje kontrolora zračnog prometa je odgovor informacijsko-obrađujući kotačić. Odgovor je posredovan ovim performansno-oblikovanim čimbenicima (*PSF-Performance Shaping Factors*) koji mogu utjecati na krajnje radno opterećenje. Neki od PSF faktora su trening, vještina, umor, sklonost ka anksioznosti, depresija itd. Bitna stavka na ovom modelu je prikazana strelicama koje idu od radnog opterećenje unazad kroz dodjelu pažnje prema I-P-R ciklusima [16]. To predstavlja primjer kada kontrolor zračnog prometa iz nekog razloga odgodi rutinske zadatke i to ne dovodi nikakvom ublažavanju kompleksnosti zadatka. Ova karika u modelu ne obuhvaća samo sistematske pristranosti već i individualne razlike. PSF-ovi su buka u transformaciji kompleksnosti-opterećenja zadatka-radnog opterećenja [16]. Rezultat cijelog procesa u ovom modelu je radno opterećenje kontrolora zračnog prometa koje je funkcija zahtjevnosti zadataka i kontrolorski unutarnji i subjektivni odgovora na te kojekakve zahtjeve.

## 4. Podaci o prometu

Podaci o prometu koji su bitni za proračunski dio ovog završnog rada odnose se na godine 2017, 2018 i 2019. Isti su preuzeti sa EUROCONTROL-*Performance Review Unit* (PRU) stranice. Navedene godine za obradu podataka koristit će se jer poslije 2019. vladala je pandemija COVID-19 koja je dovela do kraha zrakoplovstva te zbog toga se neće obrađivati zbog malog broja operacija zrakoplova te time se ne može dobiti adekvatna usporedba utjecaja en-route operacija na kompleksnost zračnog prometa prostora Republike Hrvatske. Stoga, u ovom dijelu bit će prikazani parametri poput broj letova zrakoplova, en-route kašnjenja i razlozi koji su doveli do toga poput utjecaj manjka ATC i ne-ATC ljudstva na operacije zrakoplova i mnogi drugi koji su objašnjeni u potpoglavlju 4.1. Pored ovog još će biti prikazana ATC kompleksnost i razne interakcije koje se povećavaju ili smanjuju. Naravno, svi navedeni podatci će biti unutar vremenskih intervala kako dnevnih tako i mjesečnih kako bi prikaz bio što jasniji.

### 4.1. Podaci o broju zrakoplova i en-route ATFM kašnjenju

ATFM kašnjenje se definira kao trajanje između zadnjeg procijenjenog vremena za uzlijetanje (ETOT<sup>33</sup>) i kalkuliranog vremena za uzlijetanje (CTOT<sup>34</sup>=EOBT<sup>35</sup>+TAXI+DELAY) dodijeljenog od strane Network Manager-a. ATFM kašnjenja ili odgode uključuju i kašnjenja u zračnoj luci i na ruti. Kašnjenja se izražavaju u minutama. Kašnjenja nema kada su idealni uvjeti, a to se događa kada ponuda (*capacity*) odgovara potražnji (*demand*) te tada regulacije nisu potrebne. U konačnici, rezultat tih regulacije je izdavanje SLOT<sup>36</sup> vremena u polijetanju (*delay*) ili promjena rute, odnosno zahtijeva se novi plan leta [17]. Regulacije su svakodnevna pojava, a najčešći razlozi za uvođenje regulacija su [17]: C-ATC kapacitet, I-industrijske radnje, S-ATC osoblje, T-ATC oprema, A-Nesreća/incident, G-aerodromski kapacitet, D- odleđivanje (*de-icing*), E-ne-ATC oprema, N-individualne ne-ATC radnje, M-vojna aktivnost, P-posebni događaji, W-meteorološki uvjeti, O-drugo.

Za potrebe korelacije podataka kako bi se utvrdilo koje varijable imaju veći ili manji utjecaj na samu kompleksnost, koristit će se pripadne tablice i grafikoni koje je PRU jedinica unutar EUROCONTROL-a proračunala za sve države članice te pripadno tome tablica 4 i grafikon 1 prikazuju podatke o broju letove, en-route ATFM kašnjenju i prosječno en-route ATFM kašnjenje po letu za godinu 2017. Sve je prožeto kroz vremenski period po mjesecima kako bi pregled bio što jasniji i pregledniji.

---

<sup>33</sup> Estimated Take-Off Time

<sup>34</sup> Calculated Take-Off Time

<sup>35</sup> Estimated Off Block Time-predviđeno vrijeme pokretanja motora, osnovni podatak iz plana leta za izračun parametara leta.

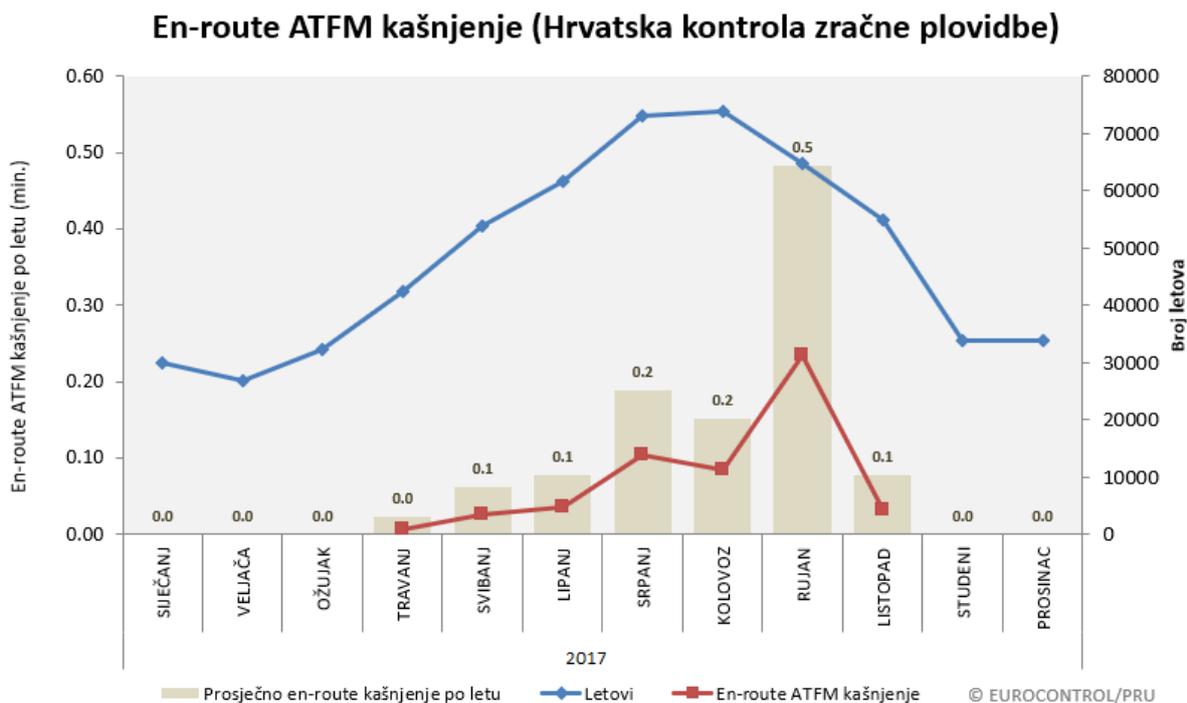
<sup>36</sup> Zrakoplov treba poletjeti 5 minuta prije CTOT ili najkasnije 10 minuta nakon CTOT vremena. SLOT se izdaje kako ne bi došlo do zagušenja u protoku zračnog prometa. Ako zrakoplov ne uzleti unutar okvira -5 CTOT +10, dodjeljuje mu se novi SLOT što dovodi do kašnjenja u polijetanju.

Tablica 4 Pregled vrijednosti broja letova i kašnjenja za 2017. godinu u zračnom prostoru Republike Hrvatske. [17]

GODINA 2017.	MJESECI	Letovi	En-route ATFM kašnjenje (min.)	Prosječno en-route kašnjenje po letu
	SIJEČANJ	29903	0	0,00
	VELJAČA	26976	0	0,00
	OŽUJAK	32395	0	0,00
	TRAVANJ	42340	984	0,02
	SVIBANJ	53908	3375	0,06
	LIPANJ	61633	4835	0,08
	SRPANJ	73047	13793	0,19
	KOLOVOZ	73778	11214	0,15
	RUJAN	64739	31271	0,48
	LISTOPAD	55027	4314	0,08
	STUDENI	33772	0	0,00
	PROSINAC	33809	0	0,00
<b>Ukupno</b>		<b>581327</b>	<b>69786</b>	<b>0,12</b>

Iz tablice 4 očito je kako je najveći broj letova bio u kolovozu sa sveukupnim kašnjenjem od 11214 minuta, no ipak najveće kašnjenje je bilo u rujnu 2017. godine. Više o tome bit će u poglavlju statistička obrada podataka i analiza.

Grafikon 4 prikazuje grafički en-route ATFM kašnjenja za 2017. godinu za područje nadležnosti Hrvatske kontrole zračne plovidbe.



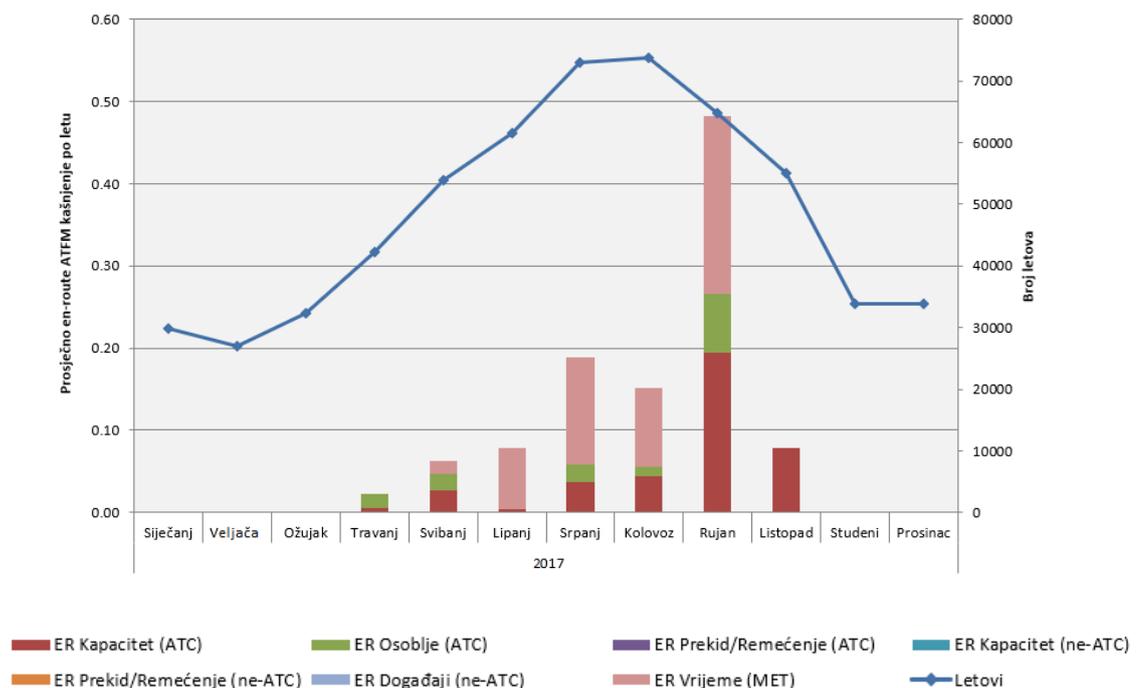
Grafikon 1 En-route ATFM kašnjenje za hrvatsku kontrolu zračne plovidbe (2017.) [17]

Tablica 5 Prikaz vrijednosti kašnjenja po grupi kašnjenja. [17]

GODINA 2017.	Mjeseci	Letovi	ER Kapacitet (ATC)	ER Osoblje (ATC)	ER Prekid/Remećenje (ATC)	ER Kapacitet (ne-ATC)	ER Prekid/Remećenje (ne-ATC)	ER Događaji (ne-ATC)	ER Vrijeme (MET)
	Siječanj	29903	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Veljača	26976	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ožujak	32395	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Travanj	42340	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Svibanj	53908	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	Lipanj	61633	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
	Srpanj	73047	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13
	Kolovoz	73778	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
	Rujan	64739	0,19	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
	Listopad	55027	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Studeni	33772	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Prosinac	33809	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ukupno</b>		<b>581327</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,06</b>

Tablica 5 prikazuje kašnjenje po grupi kašnjenja, odnosno prikazuje općenito kašnjenje po grupama en-route kapaciteta, osoblja bilo ono ATC ili ne-ATC osoblje. Dakle, ove grupe ne sadrže određene kodove koji detaljnije objašnjavaju što je dovelo do kašnjenja. Sve brojke iz tablice 5 prikazane su grafički na grafikonu 2.

Prosječno en-route ATFM kašnjenje po letu zbog uzroka (HKZP)



Grafikon 2 Prosječno en-route ATFM kašnjenje po letu zbog uzroka za godinu 2017. [17]

Tablica 6 Vrijednosti kašnjenja po kategorijama za 2017. godinu (HKZP) [17]

MJESECI (2017.)	LETOVI	ER ATFM KAŠNJENJA	ATC KAPACITETI	ATC OSOBLJE	VRIJEME (MET)
Siječanj	29903	0	0	0	0
Veljača	26976	0	0	0	0
Ožujak	32395	0	0	0	0
Travanj	42340	984	254	730	0
Svibanj	53908	3375	1439	1069	867
Lipanj	61633	4835	207	0	4628
Srpanj	73047	13793	2686	1607	9500
Kolovoz	73778	11214	3221	825	7168
Rujan	64739	31271	12561	4628	14082
Listopad	55027	4314	4314	0	0
Studen	33772	0	0	0	0
Prosinac	33809	0	0	0	0
<b>UKUPNO</b>	<b>581327</b>	<b>69786</b>	<b>24682</b>	<b>8859</b>	<b>36245</b>

Tablica 6 prikazuje en-route ATFM kašnjenje po kategorijama za godinu 2017. Ova tablica govori što je sve uzrokovalo kašnjenje pa tako vidi se kako u ovoj godini najviše kašnjenja se dogodilo zbog meteoroloških uvjeta koji nosi kod W (*Weather*). Bitno je naglasiti kako ovo nisu sve moguće kategorije kašnjenja, nego nisu navedene jer u ovoj godini nisu dovele niti do minute kašnjenja, a to su [17]: A-Nesreća/Incident, D-de-icing, E-Oprema (ne-ATC), G-Kapacitet aerodroma, I-Industrijske radnje (ATC), N-Industrijske radnje (ne-ATC), M-Upravljanje zračnim prostorom, O-Drugo, P-Posebni događaj, R-ATC rutiranje, T-Oprema (ATC), V-Okolišni problemi i NA-Neodređeno.

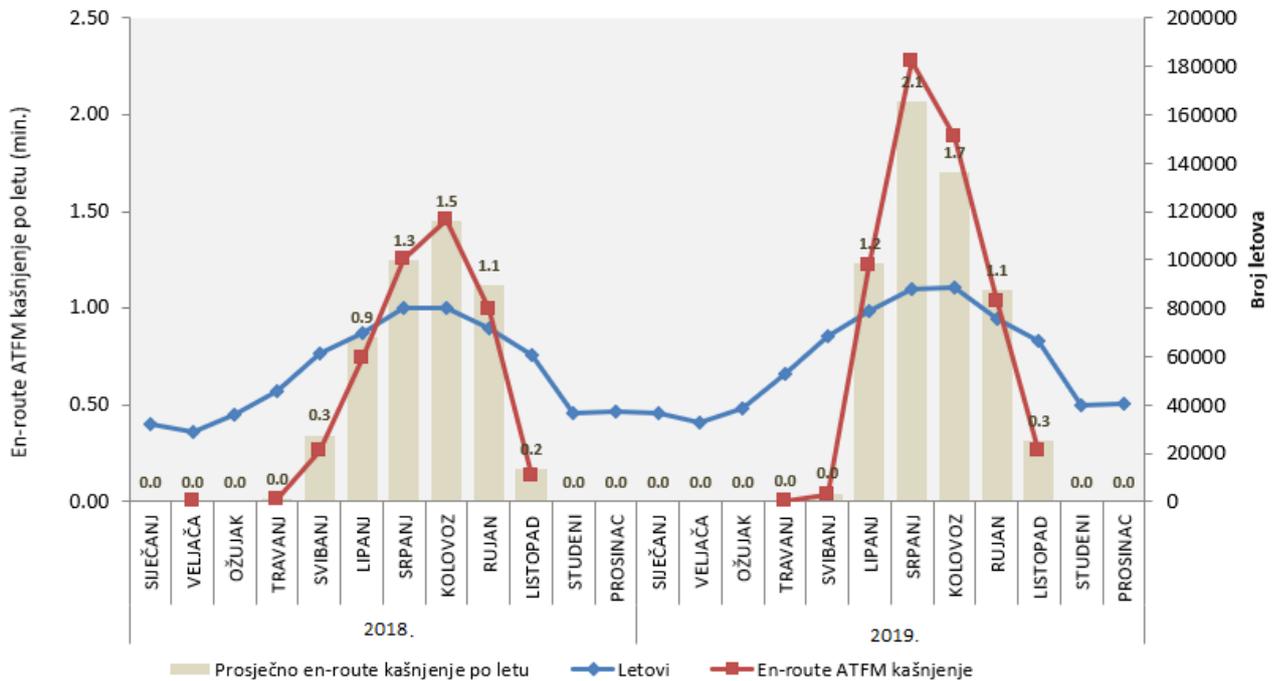
U nastavku poglavlja 4.1. prikazat će se 2018. i 2019. godina zajedno kako bi se što više pružio vizualno-komparativni izgled tih dviju godina, a na kraju grafički će biti prikazano sve tri godine zajedno. Tako tablica 7 prikazuje vrijednosti broja letova i kašnjenja za 2018. i 2019. godinu po mjesecima kao i izračunato prosječno en-route kašnjenje po letu, a sve to je grafički prikazano na grafikonu 3. Kašnjenja su izražena u minutama.

Tablica 7 Pregled vrijednosti broja letova i kašnjenja za 2018. i 2019. godinu u zračnom prostoru Republike Hrvatske. [17]

GODINA	MJESECI	Letovi	En-route ATFM kašnjenje	Prosječno en-route kašnjenje po letu
2018.	SIJEČANJ	32370	0	0,00
	VELJAČA	29007	0	0,00
	OŽUJAK	36169	0	0,00
	TRAVANJ	45944	624	0,01
	SVIBANJ	61046	21013	0,34
	LIPANJ	70030	59676	0,85
	SRPANJ	80091	100248	1,25
	KOLOVOZ	80167	116736	1,46
	RUJAN	71469	79765	1,12
	LISTOPAD	60388	10472	0,17
	STUDENI	36377	0	0,00
	PROSINAC	37326	0	0,00
<b>Ukupno (2018.)</b>		<b>640384</b>	<b>388534</b>	<b>0,61</b>
2019.	SIJEČANJ	36469	0	0,00
	VELJAČA	32759	0	0,00
	OŽUJAK	38702	0	0,00
	TRAVANJ	53193	310	0,01
	SVIBANJ	68749	3025	0,04
	LIPANJ	79135	97651	1,23
	SRPANJ	87877	182042	2,07
	KOLOVOZ	88764	151054	1,70
	RUJAN	75766	82982	1,10
	LISTOPAD	66202	21007	0,32
	STUDENI	40125	0	0,00
	PROSINAC	40254	0	0,00
<b>Ukupno (2019.)</b>		<b>707995</b>	<b>538071</b>	<b>0,76</b>
<b>Sveukupno</b>		<b>1348379</b>	<b>926605</b>	<b>0,69</b>



### En-route ATFM kašnjenje (Hrvatska kontrola zračne plovidbe)



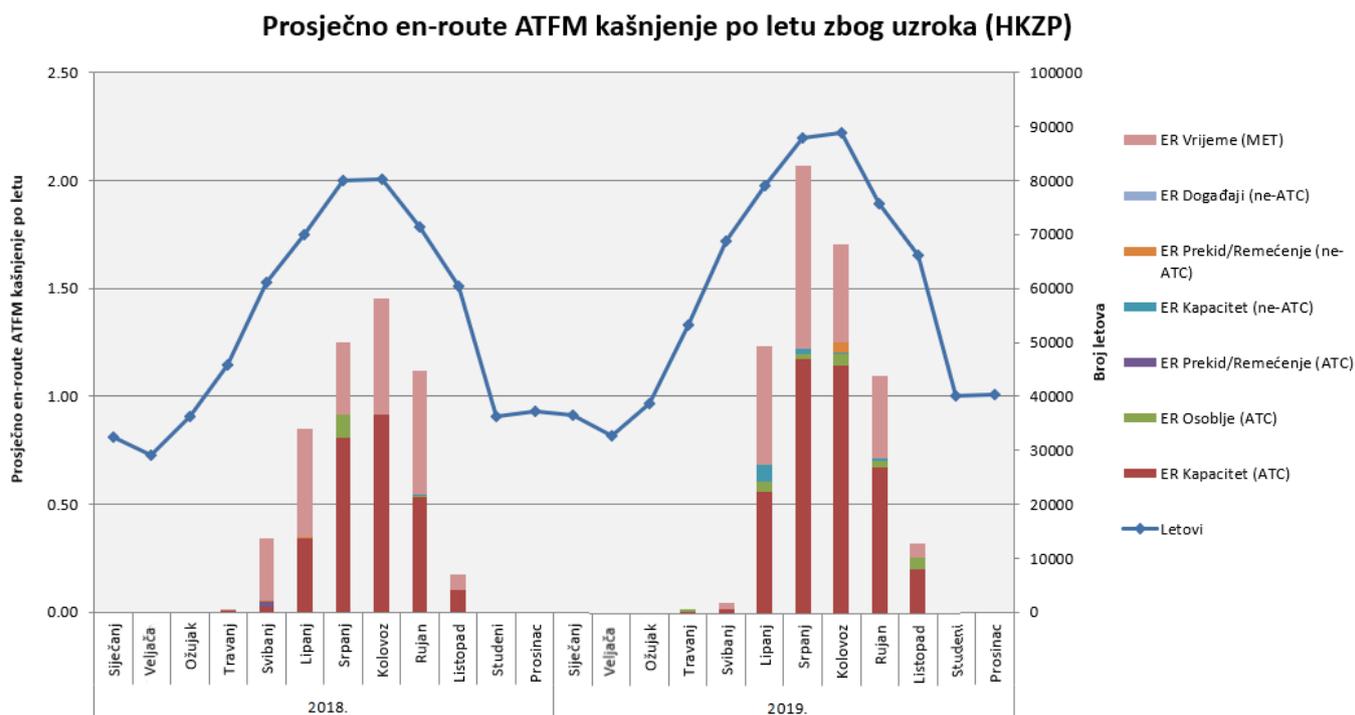
Grafikon 3 En-route ATFM kašnjenje za hrvatsku kontrolu zračne plovidbe (2018. i 2019.) [17]

Sljedeći podaci odnose se na kašnjenje po grupama kašnjenja koje su prikazane tablicom 8 i grafikonom 4.

Tablica 8 Prikaz vrijednosti kašnjenja po grupi kašnjenja za 2018. i 2019. godinu [17]

Godina	Mjesec	Broj letova	En-route ATFM kašnjenje	Prosječno ER ATFM kašnjenje po letu
2018.	SIJEČANJ	32370	0	0,00
	VELJAČA	29007	0	0,00
	OŽUJAK	36169	0	0,00
	TRAVANJ	45944	624	0,01
	SVIBANJ	61046	21013	0,34
	LIPANJ	70030	59676	0,85
	SRPANJ	80091	100248	1,25
	KOLOVOZ	80167	116736	1,46
	RUJAN	71469	79765	1,12
	LISTOPAD	60388	10472	0,17
	STUDENI	36377	0	0,00
	PROSINAC	37326	0	0,00
<b>2018. Ukupno</b>		<b>640384</b>	<b>388534</b>	<b>0,61</b>

2019.	SIJEČANJ	36469	0	0,00
	VELJAČA	32759	0	0,00
	OŽUJAK	38702	0	0,00
	TRAVANJ	53193	310	0,01
	SVIBANJ	68749	3025	0,04
	LIPANJ	79135	97651	1,23
	SRPANJ	87877	182042	2,07
	KOLOVZ	88764	151054	1,70
	RUJAN	75766	82982	1,10
	LISTOPAD	66202	21007	0,32
	STUDENI	40125	0	0,00
PROSINAC	40254	0	0,00	
<b>2019. Ukupno</b>		<b>707995</b>	<b>538071</b>	<b>0,76</b>
<b>Sveukupno</b>		<b>1348379</b>	<b>926605</b>	<b>0,69</b>



Grafikon 4 Prosječno en-route ATFM kašnjenje po letu zbog uzroka za godine 2018. i 2019 [17]

Tablica 9 Vrijednosti kašnjenja po kategorijama za 2018. godinu (HKZP) [17]

MJS.	LETOVI	ER ATFM KAŠNENJE	ATC KAPACITET	ASM <sup>37</sup>	DR.	ATC RUTIRANJE	ATC OSOBLJE	OPREMA (ATC)	VRIJEME (MET)
1.	32370	0	0	0	0	0	0	0	
2.	29007	0	0	0	0	0	0	0	0
3.	36169	0	0	0	0	0	0	0	0
4.	45944	624	361	0	0	0	0	0	263
5.	61046	21013	1438	0	214	0	0	1764	17597
6.	70030	59676	24039	0	163	0	135	0	35339
7.	80091	100248	64769	0	0	0	8560	0	26919
8.	80167	116736	73341	0	0	16	16	0	43363
9.	71469	79765	38003	206	0	0	611	0	40945
10.	60388	10472	6143	0	0	0	0	0	4329
11.	36377	0	0	0	0	0	0	0	0
12.	37326	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ	<b>640384</b>	<b>388534</b>	<b>208094</b>	<b>206</b>	<b>377</b>	<b>16</b>	<b>9322</b>	<b>1764</b>	<b>168755</b>

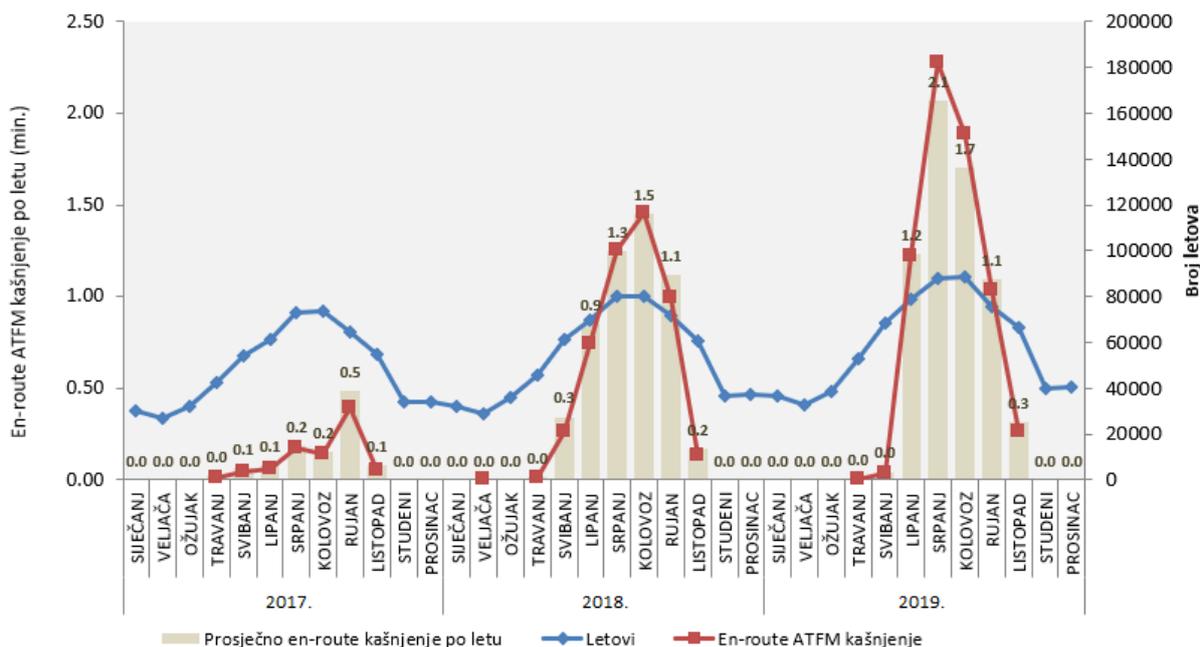
Tablice 9 i 10 prikazuje vrijednosti kašnjenja po kategorijama za 2018. i 2019. godinu koji će se koristiti za statističku obradu podataka.

Tablica 10 Vrijednosti kašnjenja po kategorijama za 2019. godinu (HKZP) [17]

MJS.	LETOVI	ER ATFM KAŠNENJE	ATC KAPACITET	KAPACITET AD	ASM	DR.	ATC OSOBLJE	VRIJEME (MET)
1.	36469	0	0	0	0	0	0	0
2.	32759	0	0	0	0	0	0	0
3.	38702	0	0	0	0	0	0	0
4.	53193	310	271	0	0	0	39	0
5.	68749	3025	823	0	0	0	0	2202
6.	79135	97651	44271	0	6386	0	3516	43478
7.	87877	182042	103264	0	2001	0	2096	74681
8.	88764	151054	101363	0	0	4210	5094	40330
9.	75766	82982	50764	786	0	0	2452	28980
10.	66202	21007	13224	0	0	0	3468	4315
11.	40125	0	0	0	0	0	0	0
12.	40254	0	0	0	0	0	0	0
Σ	<b>707995</b>	<b>538071</b>	<b>313980</b>	<b>786</b>	<b>8444</b>	<b>4210</b>	<b>16665</b>	<b>193986</b>

<sup>37</sup> Airspace Management-Upravljanje zračnim prostorom

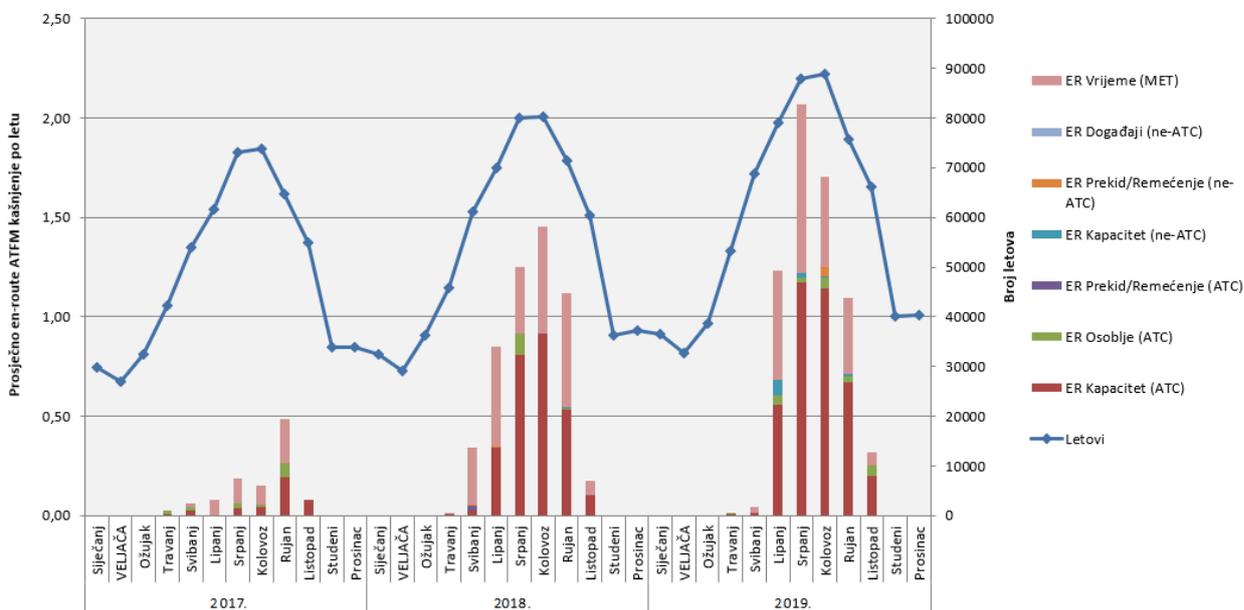
### En-route ATFM kašnjenje (Hrvatska kontrola zračne plovidbe)



Grafikon 5 En-route ATFM kašnjenje za hrvatsku kontrolu zračne plovidbe (2017./2018./2019) [17]

Na grafikonu 5 prikazano je en-route ATFM kašnjenja za sve tri godine kako bi prikaz bio što zorniji i kako bi se moglo sve što lakše usporediti.

### Prosječno en-route ATFM kašnjenje po letu zbog uzroka (HKZP)



Grafikon 6 Prosječno en-route ATFM kašnjenje po letu zbog uzroka za godine 2017./2018. i 2019. [17]

Na grafikonu 6 prikazano je kašnjenje po letu zbog uzroka koji se mogu vidjeti sa desne strane grafikona. Sve je prožeto kroz period od 12 mjeseci kako bi se mogle što lakše promatrati promjene kašnjenja po letu, povećani ili smanjeni broj letova te regulacije koje dovode do kašnjenja.

## 4.2. Podaci o rezultatima kompleksnosti prometa

U ovom dijelu četvrtog poglavlja priloženi su podaci o rezultatima kompleksnosti prometa za zračni prostor Republike Hrvatske po godinama 2017., 2018. i 2019. Svi objavljeni podaci su preuzeti od PRU jedinice koja pripada EUROCONTROL-u. PRU model kompleksnosti je obrađen u trećem poglavlju ovog završnog rada. Iz EUROCONTROL-ove jedinice za PRU istraživanja dokazano je kako rezultati ili iznosi kompleksnosti dvaju ANSP-ova koji su veoma slični ili identični, su bili pod djelovanjem strukture protoka zračnog prometa (tzv. DIF indikatori), dok drugi je bio pod utjecajem volumena protoka (prilagođena gustoća) [12]. DIF indikatori su visoko korelirajući sa prilagođenom gustoćom zbog vertikalnih, horizontalnih i brzinskih interakcija koji čine podskup prilagođene gustoća koja sadrži sve interakcije. Kako bi se razdvojila struktura protoka prometa i prometni volumen koriste se  $r\_DIF$  indikatori.  $r\_DIF$  indikator je relativni indikator koji predstavlja količnik indikatora interakcija i iznosa prilagođene gustoće [12]. Ove vrijednosti se mogu prikazati kao postotak interakcija koje su vertikalne, horizontalne ili interakcije zbog razlike u brzinama. Treba napomenuti da jedna interakcija prilagođene gustoće može pripadati vertikalnoj, horizontalnoj i brzinskoj kategorije ovisno o položajima, visinama i brzinama zrakoplova. Zbog ovog razloga zbroj postotaka ne iznosi 100%. Maksimum bi bio 300% kad bi svaka interakcija zadovoljila sve kriterije. Stoga je bitno spomenuti strukturalni indeks jer prilagođena gustoća reflektira volumen prometa dok strukturalni indeks predstavlja strukturu protoka prometa. Strukturalni indeks je predstavljen formulom [12]:

$$\text{Strukturalni Indeks} = r\_VDIF + r\_HDIF + r\_SDIF$$

Budući da prilagođena gustoća i strukturalni indeks utječu na sveukupnu kompleksnost, oni su spojeni u formulu za iznos/rezultat kompleksnosti [12]:

$$\text{Iznos kompleksnosti} = \text{Prilagođena gustoća} \times \text{Strukturalni Indeks}$$

U nastavku ovog dijela slijedi prikaz podataka koje su vezane uz iznos kompleksnosti i njima pripadajuće formule pomoću kojih su dobiveni. Ovi podaci će se koristiti prilikom statističke obrade podataka. Tako tablica 11 prikazuje stavke i njima pripadajuće formule koje su prijeko potrebne za proračun kompleksnosti i rješavanje problematike prilikom određivanja kompleksnosti. Komputacije odnosno proračunske formule su opisane u tablici 12.

Tablica 11 Karakteristične formule za proračun glavnih stavki [17]

Proračuni	
Prilagođena gustoća	$= (\text{CPLX\_INTER}/\text{CPLX\_FLIGHT\_HRS}) * 60$
Vertikalne interakcije	$= (\text{VERTICAL\_INTER\_HRS}/\text{CPLX\_FLIGHT\_HRS}) * 60$
Horizontalne interakcije	$= (\text{HORIZ\_INTER\_HRS}/\text{CPLX\_FLIGHT\_HRS}) * 60$
Interakcije brzinama	$= (\text{SPEED\_INTER\_HRS}/\text{CPLX\_FLIGHT\_HRS}) * 60$
Vertikalni iznos	$= \text{VERTICAL\_INTER\_HRS} / \text{CPLX\_INTER}$
Horizontalni iznos	$= \text{HORIZ\_INTER\_HRS} / \text{CPLX\_INTER}$
Iznos brzine	$= \text{SPEED\_INTER\_HRS} / \text{CPLX\_INTER}$
Strukturalni indeks	$= (\text{VERTICAL\_INTER\_HRS} + \text{HORIZ\_INTER\_HRS} + \text{SPEED\_INTER\_HRS}) / \text{CPLX\_INTER}$
Iznos kompleksnosti	$= ((\text{VERTICAL\_INTER\_HRS} + \text{HORIZ\_INTER\_HRS} + \text{SPEED\_INTER\_HRS}) / \text{CPLX\_FLIGHT\_HRS}) * 60$

Tablica 12 Opis oznaka iz tablice 11 [17]

OZNAKA	OPIS
CPLX_FLIGHT_HRS	Sati leta kompleksnosti
CPLX_INTER	Interakcije kompleksnosti
VERTICAL_INTER_HRS	Sati vertikalnih interakcija
HORIZ_INTER_HRS	Sati horizontalnih interakcija
SPEED_INTER_HRS	Sati interakcija brzinama

Tablica 13 sadrži pretpregled podataka koji su bitni za proračun iznosa kompleksnosti. To su konačni podaci za svaku godinu počevši od 2017. do 2019. Iz priloženog se vidi kako je najveći iznos kompleksnosti bio za 2019. godinu i iznosi 6,87. Slovom A je predstavljena prilagođena gustoća koja je pod utjecajem volumena protoka, a s druge strane pod slovima B, C i D su prikazani DIF indikatori koji su pod utjecajem strukture protoka zračnog prometa. Zbrojem tih DIF indikatora dobivena je strukturalni indeks, a sveukupni iznos kompleksnosti je umnožak prilagođene gustoće i strukturalnog indeksa.

Tablica 13 Prikaz karakterističnih podataka redom za 2017./2018./2019. za zračni prostor RH iznad FL100 [17]

Godina	Prilagođena gustoća (A)	Vertikalni iznos (B)	Horizontalni iznos (C)	Iznos brzine(D)	Strukturalni indeks (E=B+C+D)	Iznos kompleksnosti (F= A*E)	Broj dana (N)
2017.	7,19	0,07	0,62	0,05	0,75	5,36	365
2018.	7,93	0,07	0,65	0,06	0,77	6,13	365
2019.	8,64	0,07	0,65	0,08	0,80	6,87	365

Tablica 14 predstavlja prikaz strukturalnog indeksa, iznosa kompleksnosti i prilagođene gustoće za 2017. godinu po mjesecima.

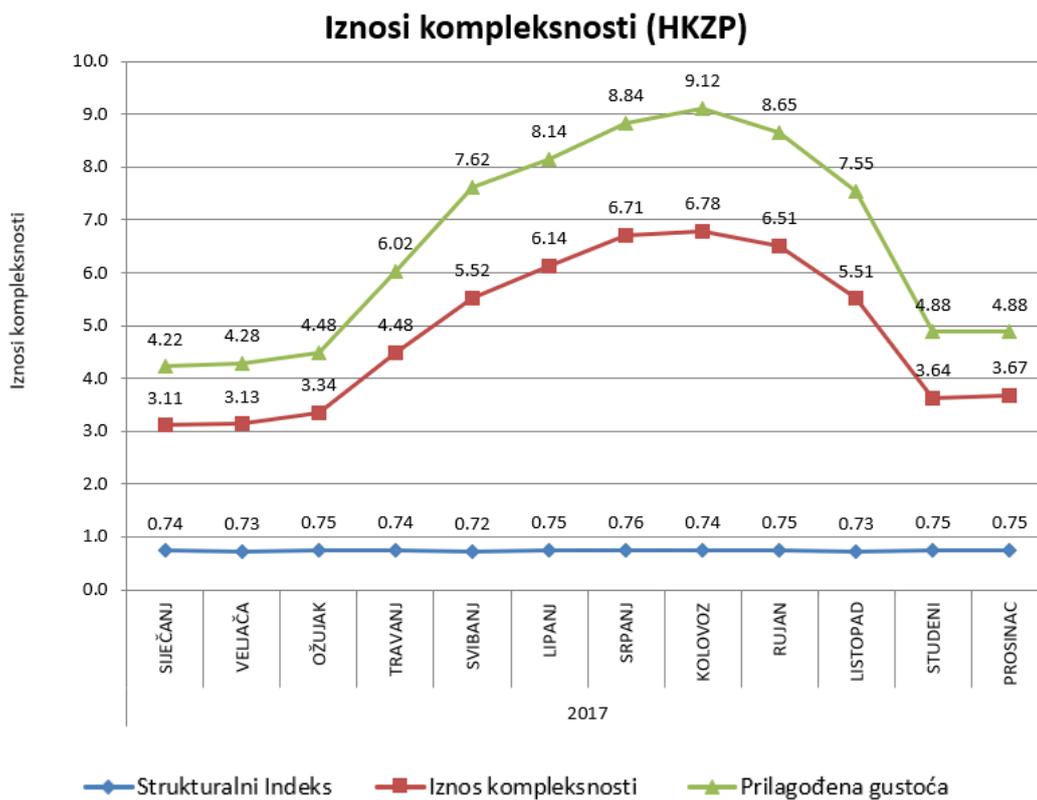
Tablica 14 Prikaz vrijednosti strukturalnog indeksa, iznosa kompleksnosti i prilagođene gustoće za 2017. godinu [17]

Godina/Mjesec	Strukturalni Indeks (E)	Iznos kompleksnosti (F)	Prilagođena gustoća (A)
<b>Ukupno 2017.</b>	<b>0,75</b>	<b>5,36</b>	<b>7,19</b>
SIJEČANJ	0,74	3,11	4,22
VELJAČA	0,73	3,13	4,28
OŽUJAK	0,75	3,34	4,48
TRAVANJ	0,74	4,48	6,02
SVIBANJ	0,72	5,52	7,62
LIPANJ	0,75	6,14	8,14
SRPANJ	0,76	6,71	8,84
KOLOVOZ	0,74	6,78	9,12
RUJAN	0,75	6,51	8,65
LISTOPAD	0,73	5,51	7,55
STUDENI	0,75	3,64	4,88
PROSINAC	0,75	3,67	4,88

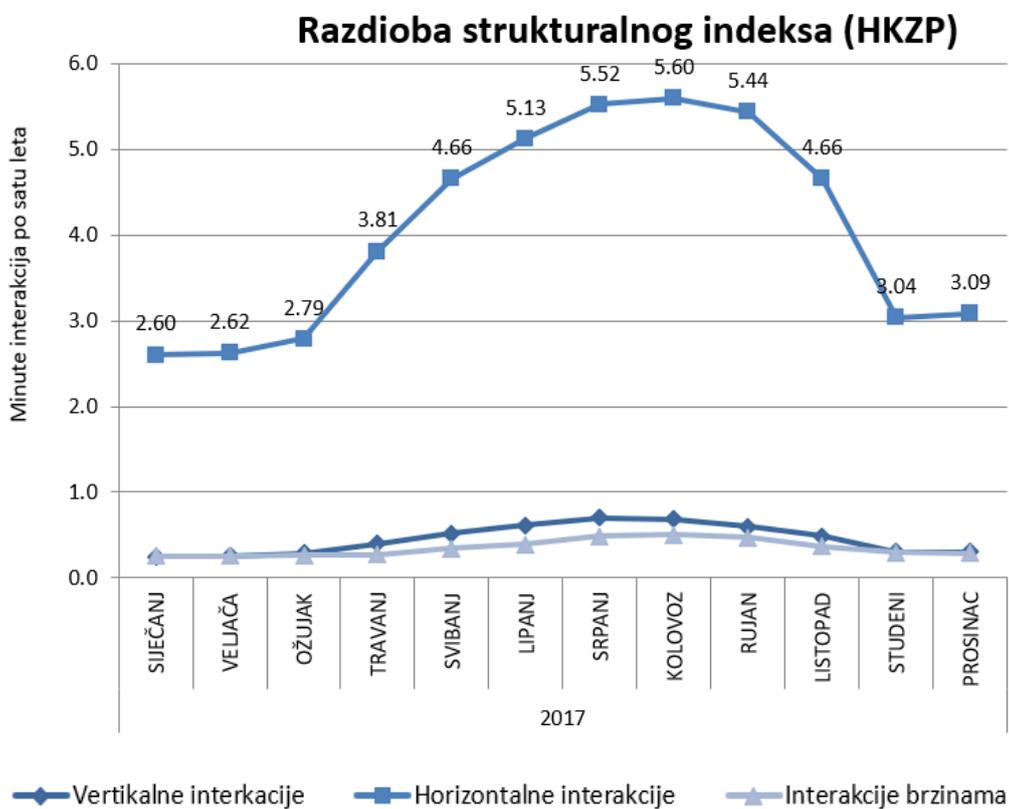
Tablica 15 Prikaz strukturalnih vrijednosti kompleksnosti po mjesecima za 2017.godinu [17]

Godina/Mjesec	Vertikalne interakcije (B)	Horizontalne interakcije (C)	Interakcije brzinama (D)
<b>Ukupno 2017.</b>	<b>0,51</b>	<b>4,47</b>	<b>0,38</b>
SIJEČANJ	0,25	2,60	0,26
VELJAČA	0,26	2,62	0,25
OŽUJAK	0,29	2,79	0,27
TRAVANJ	0,40	3,81	0,27
SVIBANJ	0,52	4,66	0,34
LIPANJ	0,62	5,13	0,39
SRPANJ	0,70	5,52	0,48
KOLOVOZ	0,68	5,60	0,50
RUJAN	0,60	5,44	0,47
LISTOPAD	0,48	4,66	0,37
STUDENI	0,30	3,04	0,29
PROSINAC	0,30	3,09	0,29

Koristeći podatke iz tablice 14 i tablice 15 koje prikazuju strukturalne vrijednosti odnosno DIF indikatore, moguće je izračunati iznose strukturalnog indeksa i kompleksnosti. Na primjeru kolovoza 2017. godine, strukturalni indeks se dobije zbrojem vertikalnih, horizontalnih i brzinskih interakcija, odnosno  $E=B+C+D \rightarrow 0,68+5,60+0,50$  što iznosi 6,78. Vrijednost 6,78 podijeli se prilagođenom gustoćom za kolovoz iz tablice 14 (9.12) i tako se dobiva iznos strukturalnog indeksa za kolovoz koji iznosi  $0,74342 \approx 0,74$ . Iznosi kompleksnosti i strukturalnog indeksa su prikazani grafikonima 7 i 8 kako bi sama promjena kompleksnosti i strukturalnog indeksa vizualno bila što uočljivija.



Grafikon 7 Prikaz vrijednosti iznosa kompleksnosti za godinu 2017. [17]



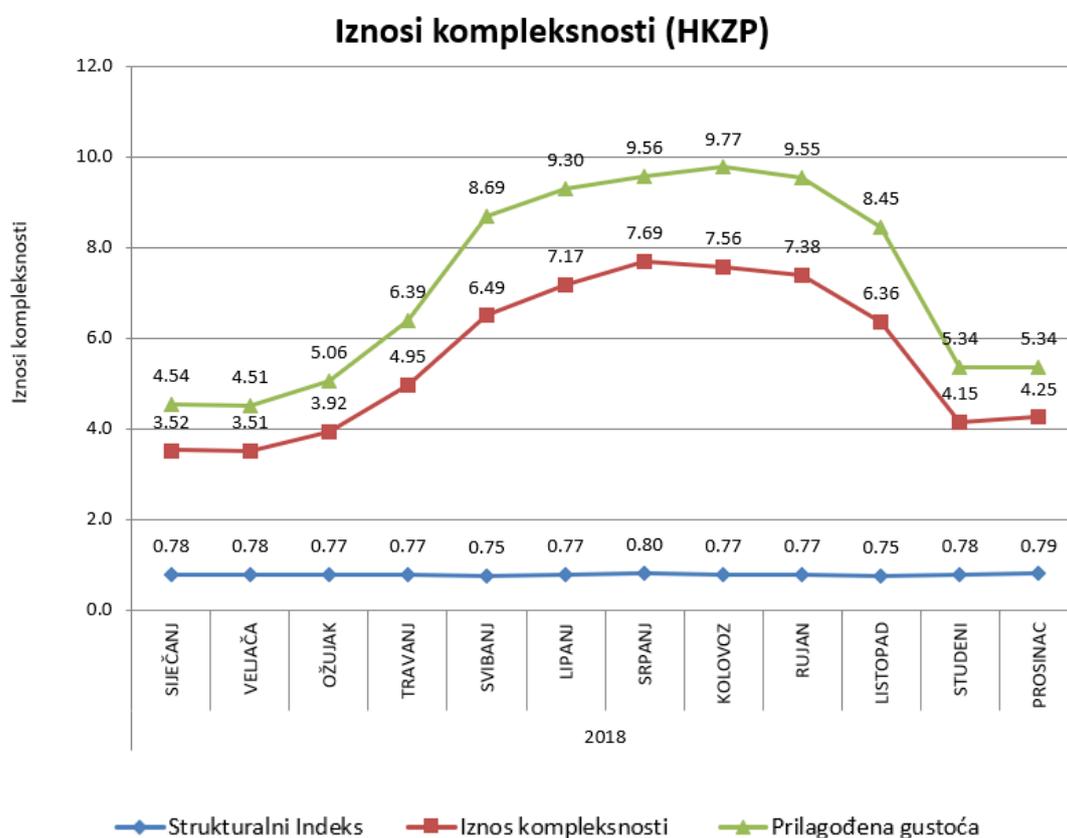
Grafikon 8 Razdioba strukturalnog indeksa po mjesecima za godinu 2017. [17]



U nastavku ovog potpoglavlja prikazati će se karakteristične tablice i grafikoni za 2018. i 2019. godinu. Potpuno isti način prikazivanja kao i za 2017. godinu, no ono što je od glavnog interesa jesu podaci koji se mijenjaju i koji su prijeko potrebni za statističku obradu podataka što slijedi odmah nakon ovoga u poglavlju broj 5.

Tablica 16 Prikaz vrijednosti strukturalnog indeksa, iznosa kompleksnosti i prilagođene gustoće za 2018. godinu. [17]

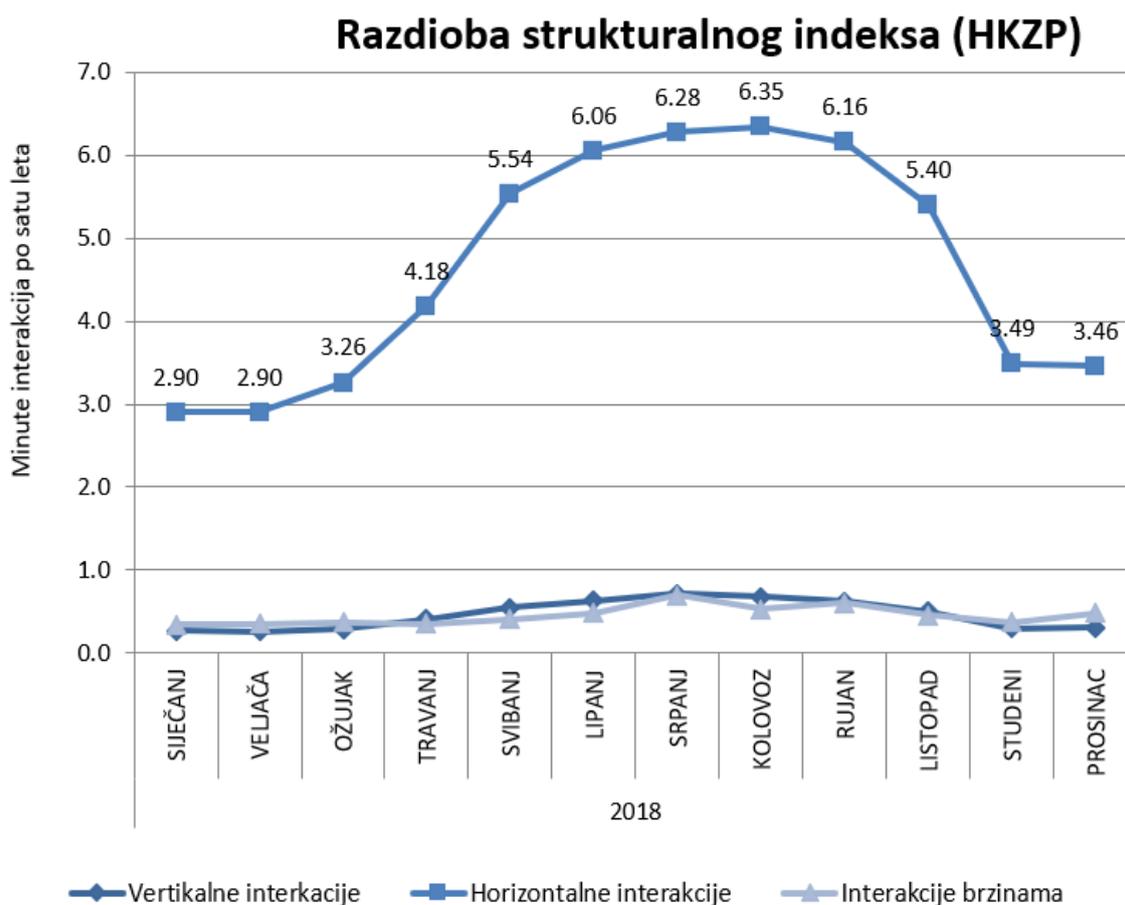
Godina/Mjesec	Strukturalni Indeks (E)	Iznos kompleksnosti (F)	Prilagođena gustoća (A)
<b>Ukupno 2018.</b>	<b>0,77</b>	<b>6,13</b>	<b>7,93</b>
SIJEČANJ	0,78	3,52	4,54
VELJAČA	0,78	3,51	4,51
OŽUJAK	0,77	3,92	5,06
TRAVANJ	0,77	4,95	6,39
SVIBANJ	0,75	6,49	8,69
LIPANJ	0,77	7,17	9,30
SRPANJ	0,80	7,69	9,56
KOLOVOZ	0,77	7,56	9,77
RUJAN	0,77	7,38	9,55
LISTOPAD	0,75	6,36	8,45
STUDENI	0,78	4,15	5,34
PROSINAC	0,79	4,25	5,34



Grafikon 9 Prikaz vrijednosti iznosa kompleksnosti za godinu 2018. [17]

Tablica 17 Prikaz strukturalnih vrijednosti kompleksnosti po mjesecima za 2018.godinu [17]

Godina/Mjesec	Vertikalne interakcije (B)	Horizontalne interakcije (C)	Interakcije brzinama (D)
<b>Ukupno 2018</b>	<b>0,52</b>	<b>5,13</b>	<b>0,48</b>
SIJEČANJ	0,27	2,90	0,34
VELJAČA	0,26	2,90	0,35
OŽUJAK	0,29	3,26	0,37
TRAVANJ	0,41	4,18	0,35
SVIBANJ	0,55	5,54	0,41
LIPANJ	0,63	6,06	0,48
SRPANJ	0,71	6,28	0,69
KOLOVOZ	0,68	6,35	0,53
RUJAN	0,62	6,16	0,60
LISTOPAD	0,50	5,40	0,46
STUDENI	0,30	3,49	0,37
PROSINAC	0,31	3,46	0,48

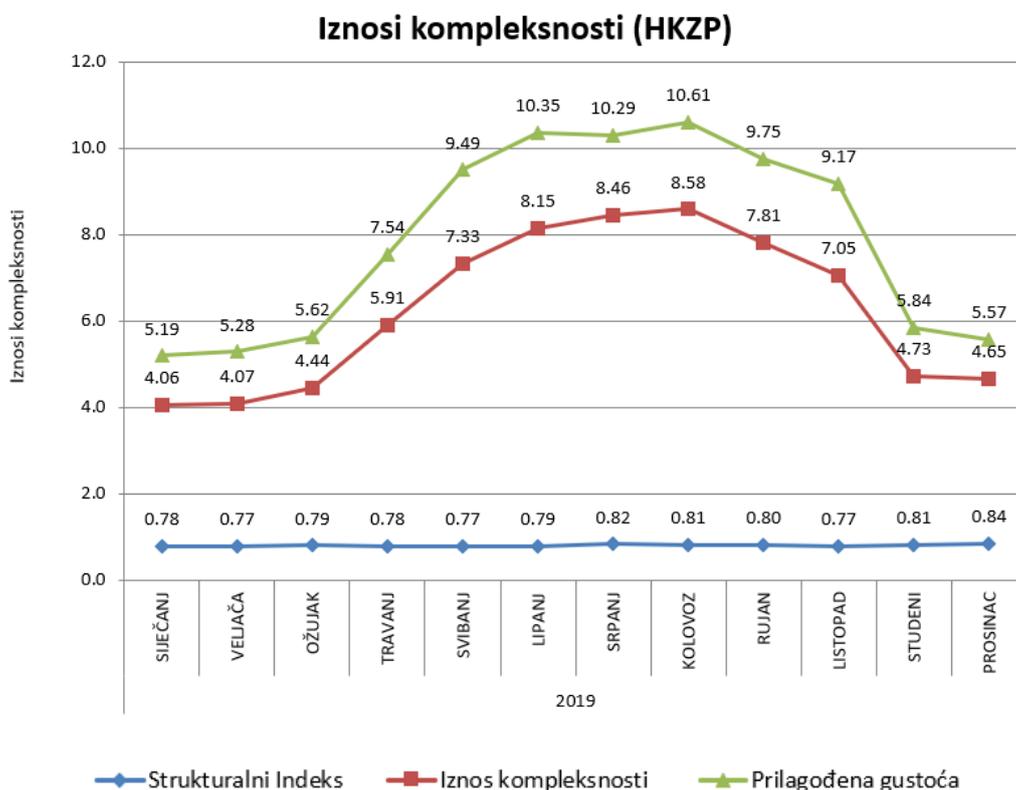


Grafikon 10 Razdioba strukturalnog indeksa po mjesecima za godinu 2018. [17]

Na tablici 16 su prikazani proračunati parametri iznosa kompleksnosti i strukturalnog iznosa koji su dobiveni iz tablice 17 preko strukturalnih vrijednosti (DIF) i svi ti podaci su prikazani na grafikonu 9, a razdioba strukturalnog indeksa po mjesecima u odnosu na minute interakcija po letu je prikazana grafikonom 10.

Tablica 18 Prikaz vrijednosti strukturalnog indeksa, iznosa kompleksnosti i prilagođene gustoće za 2019. godinu. [17]

Godina/Mjesec	Strukturalni Indeks (E)	Iznos kompleksnosti (F)	Prilagođena gustoća (A)
<b>Ukupno 2019.</b>	<b>0,80</b>	<b>6,87</b>	<b>8,64</b>
SIJEČANJ	0,78	4,06	5,19
VELJAČA	0,77	4,07	5,28
OŽUJAK	0,79	4,44	5,62
TRAVANJ	0,78	5,91	7,54
SVIBANJ	0,77	7,33	9,49
LIPANJ	0,79	8,15	10,35
SRPANJ	0,82	8,46	10,29
KOLOVOZ	0,81	8,58	10,61
RUJAN	0,80	7,81	9,75
LISTOPAD	0,77	7,05	9,17
STUDENI	0,81	4,73	5,84
PROSINAC	0,84	4,65	5,57

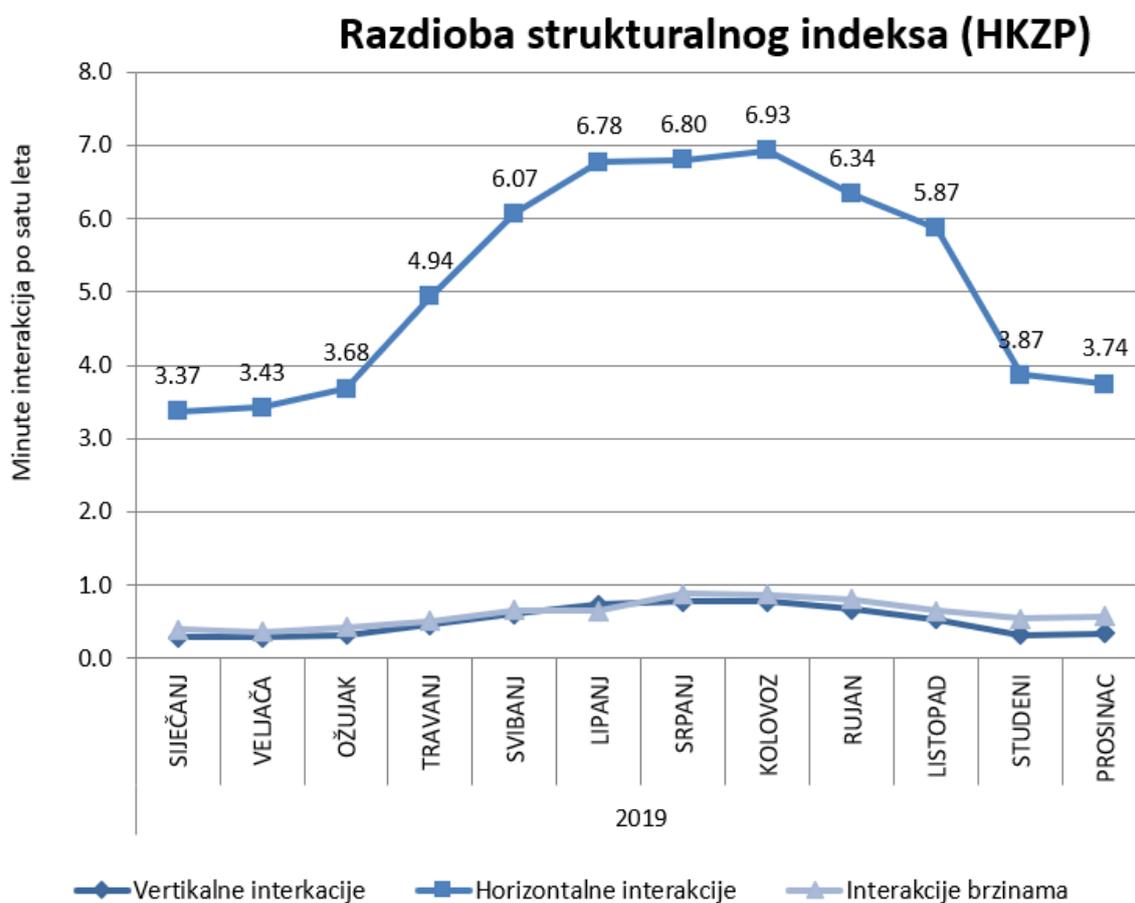


Grafikon 11 Prikaz vrijednosti iznosa kompleksnosti za godinu 2019. [17]

Tablicom 18 su prikazani podaci strukturalnog indeksa, iznosa kompleksnosti i prilagođene gustoće za zračni prostor RH, a na grafikonu 11 su ti podaci prikazani grafički.

Tablica 19 Prikaz strukturalnih vrijednosti kompleksnosti po mjesecima za 2019.godinu. [17]

Godina/Mjesec	Vertikalne interakcije (B)	Horizontalne interakcije (C)	Interakcije brzinama (D)
<b>Ukupno 2019.</b>	<b>0,57</b>	<b>5,63</b>	<b>0,66</b>
SIJEČANJ	0,29	3,37	0,40
VELJAČA	0,28	3,43	0,37
OŽUJAK	0,32	3,68	0,43
TRAVANJ	0,46	4,94	0,51
SVIBANJ	0,60	6,07	0,66
LIPANJ	0,73	6,78	0,65
SRPANJ	0,77	6,80	0,88
KOLOVOZ	0,77	6,93	0,87
RUJAN	0,66	6,34	0,81
LISTOPAD	0,53	5,87	0,65
STUDENI	0,32	3,87	0,54
PROSINAC	0,34	3,74	0,57



Grafikon 12 Razdioba strukturalnog indeksa po mjesecima za godinu 2019. [17]

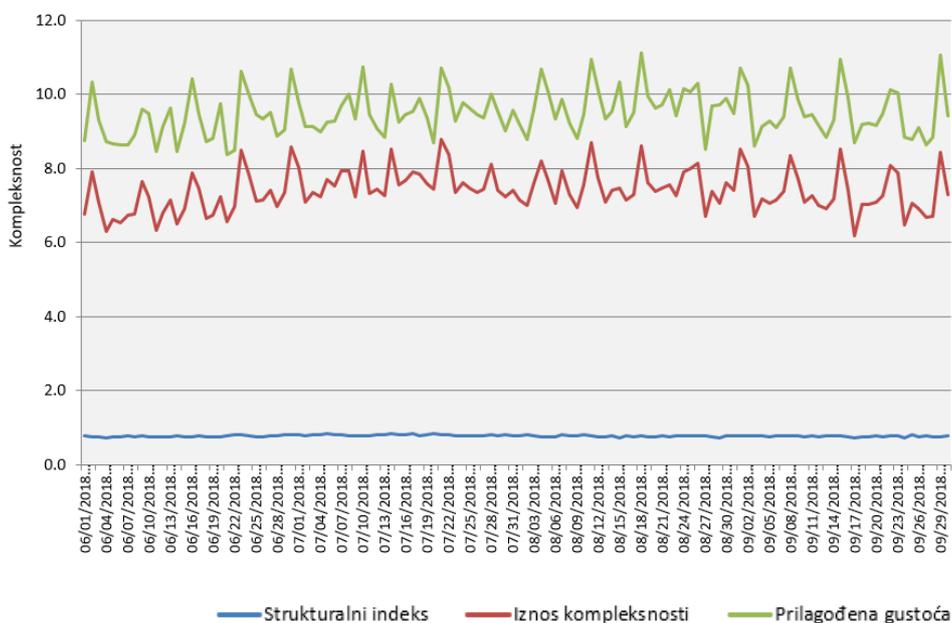
Iz ovih tablica i grafova može se zaključiti kako je najveći iznos kompleksnosti za sve tri godine bio od lipnja do rujna što je naravno i za očekivati kada počinje turistička sezona u Republici Hrvatskoj. Stoga, sljedeće tablice će prikazati dnevne iznose kompleksnosti za ta četiri mjeseca iz razloga jer su oni posebice zanimljivi za proračun u ovom završnom radu.

**Dnevni iznosi kompleksnosti za lipanj, srpanj, kolovoz i rujna (2017.)**



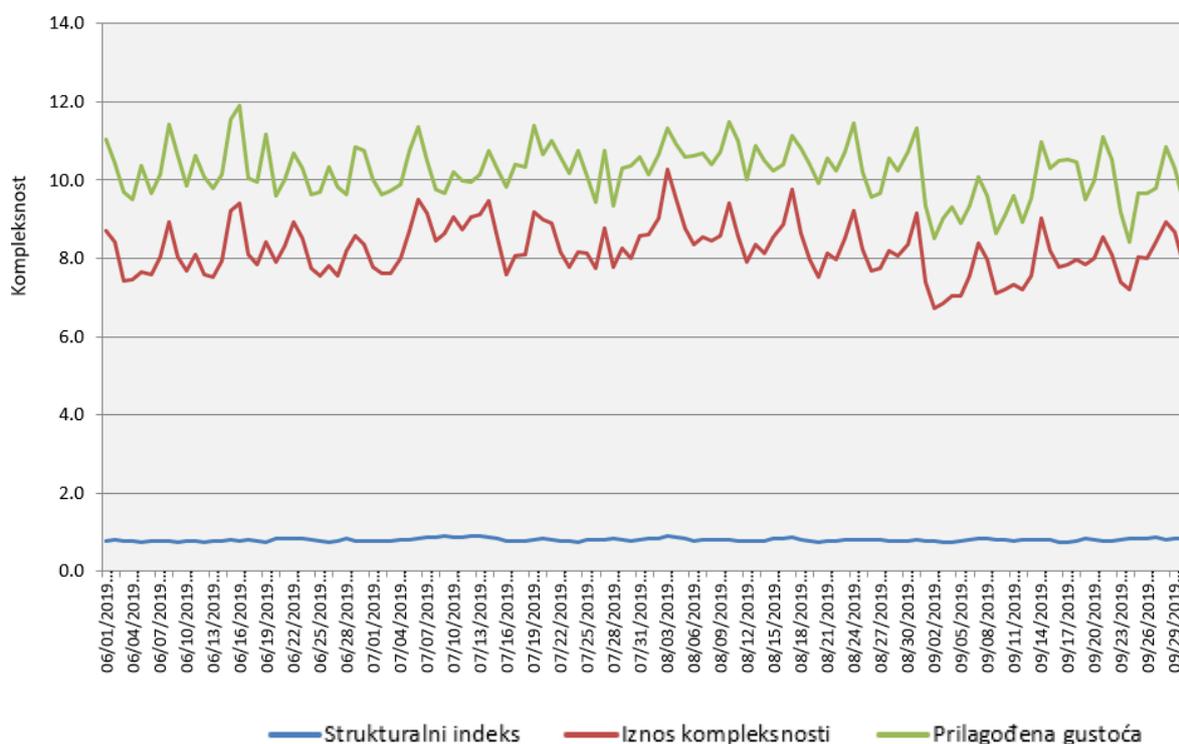
*Grafikon 13 Prikaz dnevnih vrijednosti iznosa kompleksnosti za najprometnije mjesece u 2017. godini. [17]*

**Dnevni iznosi kompleksnosti za lipanj, srpanj, kolovoz i rujna (2018.)**



*Grafikon 14 Prikaz dnevnih vrijednosti iznosa kompleksnosti za najprometnije mjesece u 2018. godini. [17]*

### Dnevni iznosi kompleksnosti za lipanj, srpanj, kolovoz i rujanj (2019.)



Grafikon 15 Prikaz dnevnih vrijednosti iznosa kompleksnosti za najprometnije mjesece u 2019. godini [17]

Na grafikonima 13, 14 i 15 prikazani su iznosi kompleksnosti za najprometnije mjesece u 2017./2018./2019. godini u zračnom prostoru Republike Hrvatske. Budući da ovi grafovi sadrže mnoštvo podataka pa njihov prikaz kao takav bi bio dosta nepregledan pa tako grafikon 16 prikazuje 2019. godinu iz razloga jer ima najveći iznos kompleksnosti od 6,78 za razliku od 2018. i 2017. koje imaju manje.

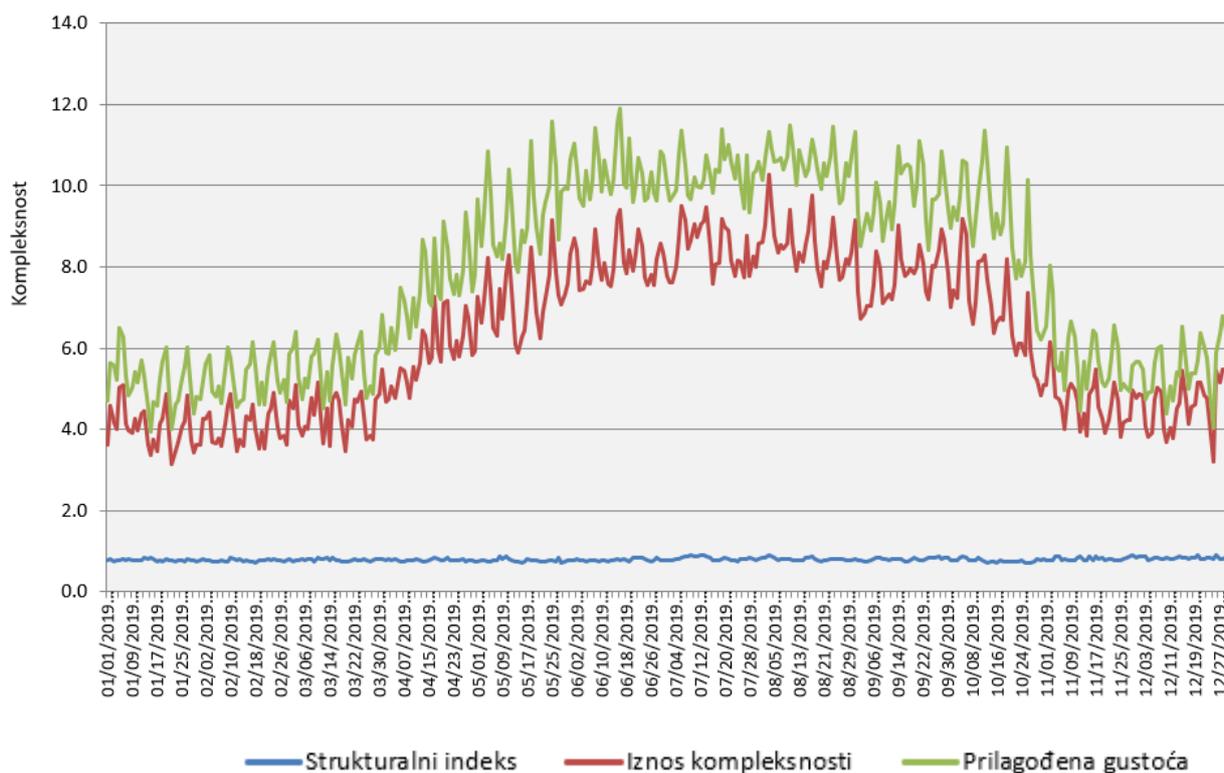
Tablica 20 prikazuje podatke koji su korišteni u grafikonu 15 kako bi prikazali dnevne iznose kompleksnosti, no također tablica 20 prikazuje podatke za dva najopterećenija mjeseca u 2019. godini, a to su srpanj i kolovoz te zbog toga je i dodana u ovaj završni rad. Trećeg kolovoza 2019. iznos kompleksnosti je iznosio čak 10,28, dok u srpnju te iste godine maksimalni iznos kompleksnosti je bio 9,51. Prosjek iznosa kompleksnosti za srpanj je iznosio 8,46 dok je za kolovoz bio 8,58.

Tablica 20 Prikaz podataka za srpanj i kolovoz 2019. [18]

Mjesec/Dan/Godina	Vertikalne interakcije	Horizontalne interakcije	Interakcije brzinama
07/01/2019 00:00:00	0,75	6,56	0,47
07/02/2019 00:00:00	0,72	6,47	0,45
07/03/2019 00:00:00	0,77	6,26	0,58
07/04/2019 00:00:00	0,74	6,49	0,77
07/05/2019 00:00:00	0,78	7,14	0,79
07/06/2019 00:00:00	0,88	7,59	1,04
07/07/2019 00:00:00	0,79	7,06	1,32
07/08/2019 00:00:00	0,78	6,40	1,26
07/09/2019 00:00:00	0,76	6,55	1,32
07/10/2019 00:00:00	0,77	6,87	1,43
07/11/2019 00:00:00	0,74	6,59	1,40
07/12/2019 00:00:00	0,80	6,78	1,46
07/13/2019 00:00:00	0,82	6,88	1,41
07/14/2019 00:00:00	0,83	6,97	1,68
07/15/2019 00:00:00	0,75	6,79	0,97
07/16/2019 00:00:00	0,70	6,34	0,53
07/17/2019 00:00:00	0,70	6,82	0,56
07/18/2019 00:00:00	0,71	6,73	0,65
07/19/2019 00:00:00	0,78	7,57	0,82
07/20/2019 00:00:00	0,88	7,22	0,88
07/21/2019 00:00:00	0,74	7,17	0,98
07/22/2019 00:00:00	0,74	6,81	0,62
07/23/2019 00:00:00	0,73	6,48	0,58
07/24/2019 00:00:00	0,79	6,71	0,66
07/25/2019 00:00:00	0,80	6,77	0,57
07/26/2019 00:00:00	0,73	6,41	0,60
07/27/2019 00:00:00	0,84	7,29	0,63
07/28/2019 00:00:00	0,78	6,33	0,65
07/29/2019 00:00:00	0,72	6,80	0,73
07/30/2019 00:00:00	0,77	6,67	0,57
07/31/2019 00:00:00	0,84	6,96	0,75
08/01/2019 00:00:00	0,84	6,76	1,01
08/02/2019 00:00:00	0,69	7,25	1,10
08/03/2019 00:00:00	0,90	7,39	1,98
08/04/2019 00:00:00	0,87	7,12	1,50
08/05/2019 00:00:00	0,80	6,70	1,26
08/06/2019 00:00:00	0,72	6,89	0,73
08/07/2019 00:00:00	0,81	7,00	0,73
08/08/2019 00:00:00	0,79	6,87	0,79
08/09/2019 00:00:00	0,84	6,92	0,83
08/10/2019 00:00:00	0,95	7,56	0,89
08/11/2019 00:00:00	0,80	7,11	0,66
08/12/2019 00:00:00	0,71	6,60	0,59
08/13/2019 00:00:00	0,72	6,95	0,68
08/14/2019 00:00:00	0,69	6,82	0,61
08/15/2019 00:00:00	0,74	6,70	1,11
08/16/2019 00:00:00	0,71	6,83	1,32

08/17/2019 00:00:00	0,82	7,23	1,72
08/18/2019 00:00:00	0,83	7,04	0,77
08/19/2019 00:00:00	0,71	6,70	0,55
08/20/2019 00:00:00	0,67	6,26	0,58
08/21/2019 00:00:00	0,71	6,73	0,71
08/22/2019 00:00:00	0,70	6,51	0,76
08/23/2019 00:00:00	0,77	7,12	0,62
08/24/2019 00:00:00	0,91	7,67	0,63
08/25/2019 00:00:00	0,80	6,86	0,55
08/26/2019 00:00:00	0,72	6,36	0,61
08/27/2019 00:00:00	0,67	6,29	0,79
08/28/2019 00:00:00	0,70	6,78	0,71
08/29/2019 00:00:00	0,67	6,70	0,68
08/30/2019 00:00:00	0,68	7,08	0,59
08/31/2019 00:00:00	0,86	7,55	0,75

### Cjelogodišnji dnevni iznosi kompleksnosti (2019.)

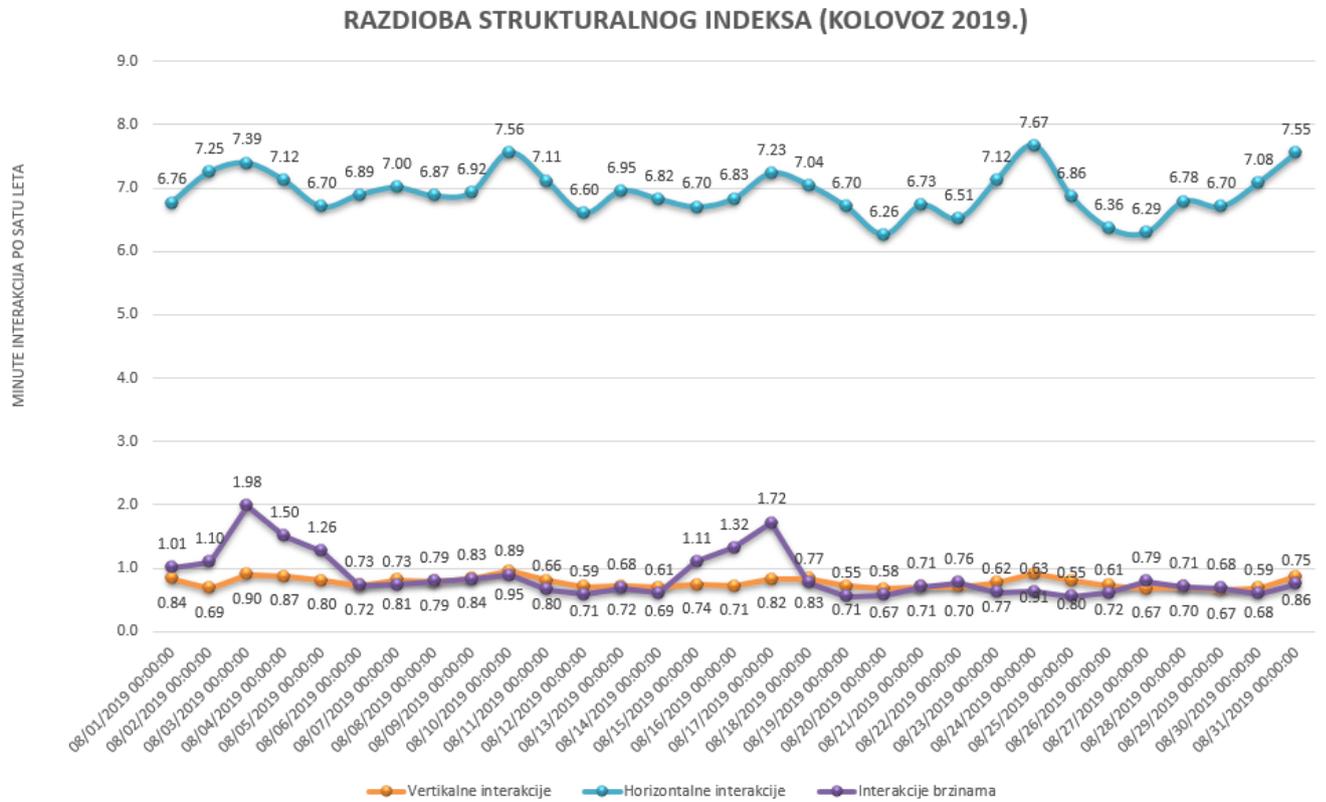


Grafikon 16 Prikaz iznosa kompleksnosti za cijelu 2019. godinu. [17]

Grafikon 17 prikazuje razdiobu strukturalnog indeksa za najopterećeniji mjesec u 2019. godini. Općenito je ovaj mjesec naveden iz razloga jer je imao najveći iznos kompleksnosti u usporedbi sa svim ostalim godinama koje se obrađuju u ovom završnom



radu, a to su 2017./2018. i 2019. godina. Strukturalni indeks je bitno navesti jer on je dobiven zbrojem svih DIF-ova koji su podijeljeni sa prilagođenom gustoćom. Nadalje, prilagođena gustoća reflektira volumen prometa dok strukturalni indeks predstavlja strukturu prometa što čini veliku razliku.



Grafikon 17 Razdioba strukturalnog indeksa za kolovoz 2019. [17]

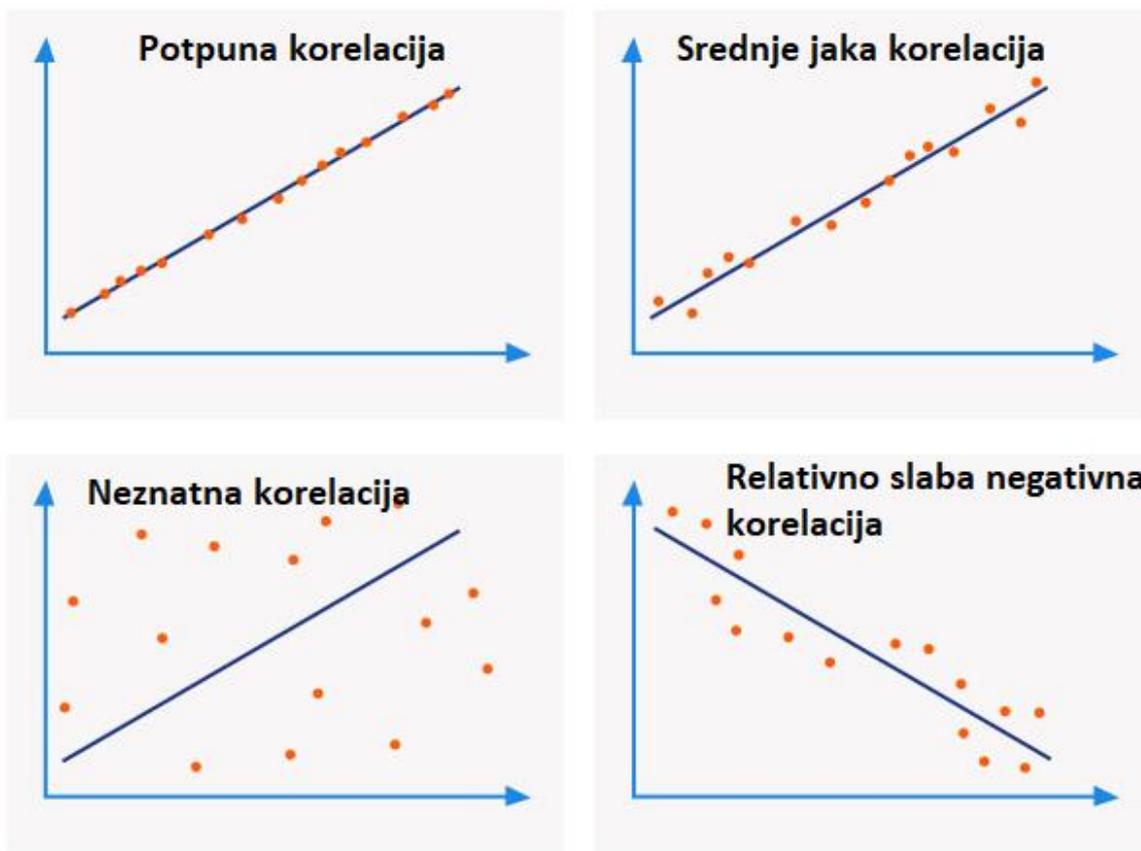
## 5. Statistička obrada podataka

Statistička obrada podataka koji su navedeni u poglavlju četiri bazira se na korelacijama. Korelacije služe kako bi se mogla izračunati povezanost između varijabli. Korelacija se izražava brojčano, pomoću broja koji se naziva koeficijent korelacije. Dakle, takav broj nema mjernu jedinicu i kreće se u rasponu od -1 do 1. Koeficijent korelacije pokazuje smjer korelacije (+/-) i jačinu korelacije (raspon od -1 do 1). Koeficijent korelacije pokazuje u kojoj su mjeri promjene vrijednosti jedne varijable povezane sa s promjenama u vrijednosti druge varijable [18]. Dva najčešća modela ispitivanja korelacija su Pearsonov i Spearmanov model određivanja koeficijenta korelacije koji će se koristiti u ovom radu. Koeficijent korelacije prikazuje u kojoj su mjeri promjene vrijednosti jedne varijable povezane s promjenama vrijednosti druge varijable [19].

Prilikom određivanja i tumačenja koeficijenta korelacije treba se odrediti da li je koeficijent korelacije statistički značajan ili ne. Kako bi koeficijent bio značajan on mora zadovoljiti prag od 95% značajnosti, odnosno dopušta se 5% greške [18]. Tih 5% se uzima kao granica između statistički značajnih i neznačajnih koeficijenata korelacije. Ako je  $p$ -vrijednost (engl. *p-value*)  $>0,05$  ( $p$ -vrijednost  $>0,05$ ) koeficijent korelacije nije značajan i statističko tumačenje se odbacuje, odnosno ne smije se tumačiti. S druge strane, ako je  $p$ -vrijednost  $<0,05$  onda se koeficijent smatra značajnim i hipoteza se smije tumačiti [18]. Sljedeća tablica 20 prikazuje jačinu povezanosti između varijabli s obzirom na koeficijent korelacije  $r$ , odnosno navedeni su intervali koeficijenta korelacije  $r$  i njima pripadan opis jačine povezanosti varijabli. Respektivno sa tablicom 21, prikazan je i grafički prikaz odnosa varijabli i korelacije na slici 21.

Tablica 21 Prikaz jačina povezanosti između varijabli i apsolutne vrijednosti koeficijenta korelacije [19]

APSOLUTNA VRIJEDNOST KOEFIJENTA KORELACIJE	JAČINA POVEZANOSTI IZMEĐU VARIJABLI
$ r =1$	Potpuna korelacija
$0,8 \leq  r  < 1$	Jaka korelacija
$0,5 \leq  r  < 0,8$	Srednje jaka korelacija
$0,2 \leq  r  < 0,5$	Relativno slaba korelacija
$0 <  r  < 0,2$	Neznatna korelacija
$ r =0$	Potpuna odsutnost korelacije



Slika 21 Prikaz jačine povezanosti varijabli i pripadne korelacije [20]

Tako na slici 21 vide se raspršene točke i ako se te točke mogu aproksimirati ravnom linijom tada postoji korelacija. Ako postoji preveliko raspršenje, poput primjera na slici 22 u donjem lijevom kutu onda je tu korelacija 0 ili blizu 0. Prilikom statističke obrade podataka koristiti će se raspršeni/točkasti odnosno *scatter*<sup>38</sup> dijagrami koji dobro prikazuju odnos između varijabli i pripadajuće korelacije. Tijekom proračuna vrlo jednostavno će se dobiti jednadžba krivulje koja se još naziva linija regresije R, koja je opisana jednadžbom  $y=ax*b$ . Bitna stavka prilikom prikazivanja korelacije na grafovima je ta kako nezavisna varijabla se postavlja na os apscisa (x-os), a zavisna na os ordinata (y-os). Razlog tomu je pretpostavka kako nezavisna varijabla koja je na x-osi uzrokuje promjene u zavisnoj varijabli koja je na y-osi, no za pojedine zadatke to nije bilo potrebno jer x utječe na y i y na x jednako pa se to može zanemariti.

Bitno je naglasiti kako statističke metode određivanja koeficijenta korelacije pokazuju međusobnu povezanost između varijabli, no nikako uzročno-posljedične veze između varijabli [19].

<sup>38</sup> Scatter dijagram se još naziva i dijagramom razmještanja.

## 5.1. Pearsonov koeficijent korelacije

Pearsonov koeficijent korelacije je računski postupak za izračunavanje stupnja povezanosti između varijabli koji se izražava koeficijentom korelacije  $r$ . On predstavlja parametarski koeficijent korelacije i koristi se za izračun realno izmjerenih podataka, što je i slučaj u ovom radu jer se koriste podaci koji su realno izmjereni. Pearsonov model određivanja korelacije koristi se za varijable koje su intervalne ljestvice i to su većinski podaci u ovom radu [18]. Prilikom izračuna podataka za Pearsonov  $r$ , treba se provjeriti da li su podaci u linearnom odnosu, a to je najlakše preko točkastih dijagrama. Tada se može vidjeti jesu li podaci uopće u korelaciji ili ne, ili u kojoj mjeri koreliraju.

Vrijednosti korelacije mogu biti od -1 do 1. Dakle, u slučaju kada je  $r$  pozitivno, odnosno vrijednost je u rasponu od 0 do +1, to prikazuje sukladan rast obje varijable, ako jedna raste i druga raste. U slučaju kada je koeficijent korelacije  $r$  u rasponu od 0 do -1, onda to pokazuje sukladan porast jedne varijable, a pad druge varijable [18]. Ako je vrijednost  $r=0$ , onda između varijabli ne postoji nikakva korelacija niti se poznavanjem jedne varijable može išta zaključiti za drugu varijablu.

Pearsonov koeficijent korelacije koji je predstavljen slovom „ $r$ “ računa se na temelju podataka iz pripadnog uzorka, a prikazan je sljedećim izrazom [18]:

$$r = \frac{\sum \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{\sum x^2 \times \sum y^2}}$$

gdje su  $X$  i  $Y$  vrijednosti varijabli.

Pearsonov koeficijent korelacije se može koristiti i za veće uzorke ( $N > 30$ ). Uvjeti za korištenje ovog modela su: normalna raspodjela podataka barem jednog dijela podataka, ljestvica mjerenja bi trebala biti intervalna ili omjerna (odnosno realno izmjereni podaci), linearan odnos između varijabli i odsutnost *outlier*<sup>39</sup>-a. Pearsonov koeficijent korelacije se još naziva produkt moment koeficijent korelacije. Ovisno o prirodi uzorka, koristit će se Pearsonov koeficijent korelacije ili Spearmanov koeficijent korelacije [18]. U ovom radu Pearsonove korelacije su proračunate u MS Excel programu na više načina. Jedan od načina je putem samostalno izrađenih tablica iz koje se uzimaju podaci i ubacuju u formulu za Pearsonov koeficijent korelacije. Ostala dva načina su preko gotovih formula koje MS Excel posjeduje. Promatrajući sliku 23 koja prikazuje izgled proračunskih tablica za Pearsonov koeficijent korelacije, u par rečenica bit će objašnjeno kako su se vrijednosti „ $r$ “ dobile na

---

<sup>39</sup> To su točke na grafu koje previše odstupaju od ostalih točaka pa ih je potrebno ukloniti kako bi izračun  $r$  bio što precizniji. Više o ovome u poglavlju *Analiza podataka*.

više načina. Pod rednim brojevima 1.), 2.) i 3.) prikazani su dobiveni koeficijenti korelacije r na sljedeće načine: 1.) Samostalno izrađenim tablicama i naredbama čiji su podaci ubačeni u Excel formulu  $= (G19 / (\text{SQRT}(E19 * F19)))$ ; 2.) Preko gotove Excel formule za Pearsonov koeficijent korelacije  $= \text{PEARSON}(A2:A16, B2:B16)$ ; 3.) Ova tablica je dobivena Excel-ovim alatom za analizu podataka na sljedeći način: *File* → *Options* → *Add ins* → *Manage add ins* → *Go*. Nakon toga na alatnoj traci se klikne na: *Data* → *Data Analysis* → *Correlation* → *Go*. Na sva tri načina dobiven je isti Pearsonov koeficijent korelacije.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M
1	X	Y	x=X- $\bar{X}$	y=Y- $\bar{Y}$	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	xy	Broj uzoraka		<p>Pearsonov koeficijent korelacije</p> $r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \times \sum y^2}}$		
2	92	7	56	1.8	3136	3.24	100.8	15				
3	16	2	-20	-3.2	400	10.24	64					
4	19	1	-17	-4.2	289	17.64	71.4					
5	62	8	26	2.8	676	7.84	72.8					
6	83	4	47	-1.2	2209	1.44	-56.4					
7	47	2	11	-3.2	121	10.24	-35.2					
8	15	7	-21	1.8	441	3.24	-37.8					
9	36	8	0	2.8	0	7.84	0					
10	26	4	-10	-1.2	100	1.44	12	1.)	r			
11	40	7	4	1.8	16	3.24	7.2		0.12970928			
12	0	10	-36	4.8	1296	23.04	-172.8	2.)	r			
13	36	1	0	-4.2	0	17.64	0		0.12970928			
14	25	5	-11	-0.2	121	0.04	2.2					
15	40	10	4	4.8	16	23.04	19.2	3.)	Odnosi Pearsonovih korelacija na X i Y		X	Y
16	3	2	-33	-3.2	1089	10.24	105.6		X		1	
17									Y	0.12971	1	
18	$\bar{X}$	$\bar{Y}$	$\sum x$	$\sum y$	$\sum x^2$	$\sum y^2$	$\sum xy$					
19	36	5.2	0	0	9910	140.4	153					
20												
21										R <sup>2</sup>		
22										0.016824497		
23												
24										t-TEST		
25										0.471657996		
26										p-vrijednost		
27										0.644988929		

Slika 22 Prikaz proračuna Pearsonovog koeficijenta korelacije u programu MS Excel [18]

Na slici 22 prikazuju se vrijednosti R<sup>2</sup>, t-test i p-vrijednost. R<sup>2</sup> predstavlja koeficijent određenosti ili determinacije koji je dobiven kvadriranjem Pearsonovog koeficijenta korelacije [18]. On predstavlja apsolutnu vrijednost između 0 i 1 te prikazuje količinu varijance koju dijele x i y varijable [18], u ovom slučaju R<sup>2</sup> iznosi 0,0168≈0,017 što iznosi 1,7%. Tih 1,7% pokazuje kako 1,7% promjene u varijabli X je objašnjeno promjenom u varijaciji Y. Nadalje, ako se oduzme 100%-1,7%=98,3%, što znači kako 98,3% varijance je objašnjeno nekim nepoznatim čimbenicima (greške u mjerenju).

T-test se koristi za testiranje hipoteza kako bi se utvrdila statistička značajnost dobivenih koeficijenata korelacije [18]. U ovom primjeru t-test je izračunat formulom  $= K11 * \text{SQRT}(H2-2) / \text{SQRT}(1-K11^2)$ . Ovaj t-test se koristi dalje kako bi se izračunala p-vrijednost, odnosno vrijednost vjerojatnosti.

P-vrijednost predstavlja statističku značajnost koeficijenta korelacije. Najčešće se koristi razina značajnosti od 0,05 (5%) i ta vrijednost od 5% se uspoređuje sa dobivenom p-vrijednošću. Ako je p-vrijednost veća ili jednaka 0,05 nul-hipoteza se ne odbacuje i rezultati

se proglašavaju statistički neznačajnim. Ako je p-vrijednost manja od 0,05 onda se nul-hipoteza odbacuje i rezultati se smatraju statistički značajnim. Dakle, ovisno o ovim jednakostima, p-vrijednost govori da li je rezultat statistički značajan ili ne, ako nije statistički značajan onda se takvi podaci statistički ne obrađuju dalje. Pored ovakve provjere, za podatke kojih je manje od 30 ( $N < 30$ ) preporuča se provjera značajnosti putem tablica. Na slici 23 prikazane su kritične vrijednosti za Pearsonov r sa stupnjevima slobode ( $df = N - 2$ ) i sa razinama značajnosti od 95% i 99%. Dobiveni Pearsonov koeficijent korelacije se uspoređuje s kritičnom vrijednošću ovisno o stupnjevima slobode i razinama značajnosti te ako je Pearsonov r veći ili jednak odgovarajućom kritičnom vrijednošću tada se može zaključiti kako je rezultat statistički značajan, u ostalim slučajevima rezultati su statistički neznačajni i prihvaća se  $H_0$  nul-hipoteza koja nalaže da je  $r = 0$  [18].

$df(N - 2)$	.05	.01	$df(N - 2)$	.05	.01
1	.997	1.000	31	.344	.442
2	.950	.990	32	.339	.436
3	.878	.959	33	.334	.430
4	.812	.917	34	.329	.424
5	.755	.875	35	.325	.418
6	.707	.834	36	.320	.413
7	.666	.798	37	.316	.408
8	.632	.765	38	.312	.403
9	.602	.735	39	.308	.398
10	.576	.708	40	.304	.393
11	.553	.684	41	.301	.389
12	.533	.661	42	.297	.384
13	.514	.641	43	.294	.380
14	.497	.623	44	.291	.376
15	.482	.606	45	.288	.372
16	.468	.590	46	.285	.368
17	.456	.575	47	.282	.365
18	.444	.562	48	.279	.361
19	.433	.549	49	.276	.358
20	.423	.537	50	.273	.354
21	.413	.526	60	.250	.325
22	.404	.515	70	.232	.302
23	.396	.505	80	.217	.283
24	.388	.496	90	.205	.267
25	.381	.487	100	.195	.254
26	.374	.479	200	.138	.181
27	.367	.471	300	.113	.148
28	.361	.463	400	.098	.128
29	.355	.456	500	.088	.115
30	.349	.449	1000	.062	.081

Slika 23 Pearsonove kritične vrijednosti koeficijenta korelacije r [21]

## 5.2. Spearmanov koeficijent korelacije

Spearmanov koeficijent korelacije je ne-parametarski test koji se koristi za utvrđivanje povezanosti između dvije varijable. Ovakav test je ne-parametarski iz razloga jer se koriste rangirani podaci odnosno rangovi. To se postiže na način da se poredaju podaci uzorka po redu, dakle najmanji podatak u uzorku se označava sa 1, drugi najmanji sa 2 i tako dalje do kraja uzorka. Podaci se čak mogu i rangirati obrnutim redoslijedom od najvećeg ka najmanjem ako se poštuje pravilo da obje varijable budu tako rangirane. Ovaj test se koristi kada ne postoji linearna povezanost između varijabli ili kada skup podataka slijedi ordinalnu ljestvicu [18].

Spearmanov koeficijent korelacije  $r_s$  ili  $\rho$  („ro“) se računa putem sljedeće formule [18]:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n(n^2 - 1)}$$

gdje je n broj uzoraka,  $D^2$  kvadrat razlike između rangova prve i druge varijable ( $rx_1 - ry_1$ ).

Statistički podaci poput p-vrijednosti, t-testa i samih granica korelacije vrijede potpuno isto za Spearmanov koeficijent korelacije kao i za Pearsonov r.

U ovom radu proračuni za Spearmanov  $r_s$  su rađeni u programu MS Excel. Izrađene su proračunske formule prema pripadajućoj formuli koja je prikazana iznad.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M					
1	X	Y	R <sub>x</sub> (x rang)	R <sub>y</sub> (y rang)	D	D <sup>2</sup>	N	Spearmanov koeficijent korelacije										
2	52	65	8	8	0	0	10	$r_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n(n^2 - 1)}$										
3	53	68	9	9	0	0	0											
4	42	43	6	5	1	1												
5	60	38	10	4	6	36												
6	45	77	7	10	-3	9												
7	41	48	5	6	-1	1												
8	37	35	3	3	0	0												
9	38	30	4	2	2	4												
10	25	25	1	1	0	0												
11	27	50	2	7	-5	25												
12					$\sum D^2 =$	76								6* $\sum D^2$	456	t-test	1.811805	
														N*(N <sup>2</sup> -1)	990	p-vrijednost	0.107593	
								r <sub>s</sub>	0.539393939									

Slika 24 Prikaz proračuna Spearmanovog koeficijenta korelacije u programu MS Excel

Slika 24 prikazuje izgled proračunskih tablica za Spearmanov koeficijent korelacije koje su korištene za proračune u ovom radu. Rx i Ry su rangirani podaci po veličini iz stupaca A (x varijabla) i B (y varijabla), a rangirani su formulom =RANK.AVG(A2, \$A\$2:\$A\$11,1). S desne strane je korelacija proračunata putem formule koja je podijeljena na brojnik i nazivnik te na kraju se dobije količnik brojnika i nazivnika koji daje  $r_s$ . T-test je izračunat

formulom  $=\frac{ABS(J11)*SQRT(G2-2)}{(SQRT(1-ABS(J11)^2))}$ , a p-vrijednost  $=T.DIST.2T(M9,G2-2)$ . Za provjeru značajnosti koristi se razina značajnosti od 0,05 (5%) i ako je p-vrijednost manja od nje, rezultati uzorka se smatraju statistički značajnim. Ako je p-vrijednost veća ili jednaka od 0,05 onda se rezultati smatraju statistički neznačajnim. Drugi način testiranja je putem tablica kritičnih vrijednosti [18]. Proces testiranja je isti kao i za Pearsonov koeficijent korelacije, dakle dobivena vrijednost  $r_s$  se uspoređuje sa kritičnom vrijednošću iz tablice koja je prikazana slikom 25 te ako je  $r_s$  veći ili jednak kritičnoj vrijednosti, onda je rezultat statistički značajan i može se tumačiti.

$\alpha(2):$	0.50	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001
$\alpha(1):$	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025	0.001	0.0005
n									
4	0.600	1.000	1.000						
5	0.500	0.800	0.900	1.000	1.000				
6	0.371	0.657	0.829	0.886	0.943	1.000	1.000		
7	0.321	0.571	0.714	0.786	0.893	0.929	0.964	1.000	1.000
8	0.310	0.524	0.643	0.738	0.833	0.881	0.905	0.952	0.976
9	0.267	0.483	0.600	0.700	0.783	0.833	0.867	0.917	0.933
10	0.248	0.455	0.564	0.648	0.745	0.794	0.830	0.879	0.903
11	0.236	0.427	0.536	0.618	0.709	0.755	0.800	0.845	0.873
12	0.217	0.406	0.503	0.587	0.678	0.727	0.769	0.818	0.846
13	0.209	0.385	0.484	0.560	0.648	0.703	0.747	0.791	0.824
14	0.200	0.367	0.464	0.538	0.626	0.679	0.723	0.771	0.802
15	0.189	0.354	0.446	0.521	0.604	0.654	0.700	0.750	0.779
16	0.182	0.341	0.429	0.503	0.582	0.635	0.679	0.729	0.762
17	0.176	0.328	0.414	0.485	0.566	0.615	0.662	0.713	0.748
18	0.170	0.317	0.401	0.472	0.550	0.600	0.643	0.695	0.728
19	0.165	0.309	0.391	0.460	0.535	0.584	0.628	0.677	0.712
20	0.161	0.299	0.380	0.447	0.520	0.570	0.612	0.662	0.696
21	0.156	0.292	0.370	0.435	0.508	0.556	0.599	0.648	0.681
22	0.152	0.284	0.361	0.425	0.496	0.544	0.586	0.634	0.667
23	0.148	0.278	0.353	0.415	0.486	0.532	0.573	0.622	0.654
24	0.144	0.271	0.344	0.406	0.476	0.521	0.562	0.610	0.642
25	0.142	0.265	0.337	0.398	0.466	0.511	0.551	0.598	0.630
26	0.138	0.259	0.331	0.390	0.457	0.501	0.541	0.587	0.619
27	0.136	0.255	0.324	0.382	0.448	0.491	0.531	0.577	0.608
28	0.133	0.250	0.317	0.375	0.440	0.483	0.522	0.567	0.598
29	0.130	0.245	0.312	0.368	0.433	0.475	0.513	0.558	0.589
30	0.128	0.240	0.306	0.362	0.425	0.467	0.504	0.549	0.580
31	0.126	0.236	0.301	0.356	0.418	0.459	0.496	0.541	0.571
32	0.124	0.232	0.296	0.350	0.412	0.452	0.489	0.533	0.563
33	0.121	0.229	0.291	0.345	0.405	0.446	0.482	0.525	0.554
34	0.120	0.225	0.287	0.340	0.399	0.439	0.475	0.517	0.547
35	0.118	0.222	0.283	0.335	0.394	0.433	0.468	0.510	0.539
36	0.116	0.219	0.279	0.330	0.388	0.427	0.462	0.504	0.533
37	0.114	0.216	0.275	0.325	0.383	0.421	0.456	0.497	0.526
38	0.113	0.212	0.271	0.321	0.378	0.415	0.450	0.491	0.519
39	0.111	0.210	0.267	0.317	0.373	0.410	0.444	0.485	0.513
40	0.110	0.207	0.264	0.313	0.368	0.405	0.439	0.479	0.507
41	0.108	0.204	0.261	0.309	0.364	0.400	0.433	0.473	0.501
42	0.107	0.202	0.257	0.305	0.359	0.395	0.428	0.468	0.495
43	0.105	0.199	0.254	0.301	0.355	0.391	0.423	0.463	0.490
44	0.104	0.197	0.251	0.298	0.351	0.386	0.419	0.458	0.484
45	0.103	0.194	0.248	0.294	0.347	0.382	0.414	0.453	0.479
46	0.102	0.192	0.246	0.291	0.343	0.378	0.410	0.448	0.474
47	0.101	0.190	0.243	0.288	0.340	0.374	0.405	0.443	0.469
48	0.100	0.188	0.240	0.285	0.336	0.370	0.401	0.439	0.465
49	0.098	0.186	0.238	0.282	0.333	0.366	0.397	0.434	0.460
50	0.097	0.184	0.235	0.279	0.329	0.363	0.393	0.430	0.456

Slika 25 Spearmanove kritične vrijednosti koeficijenta korelacije [21]

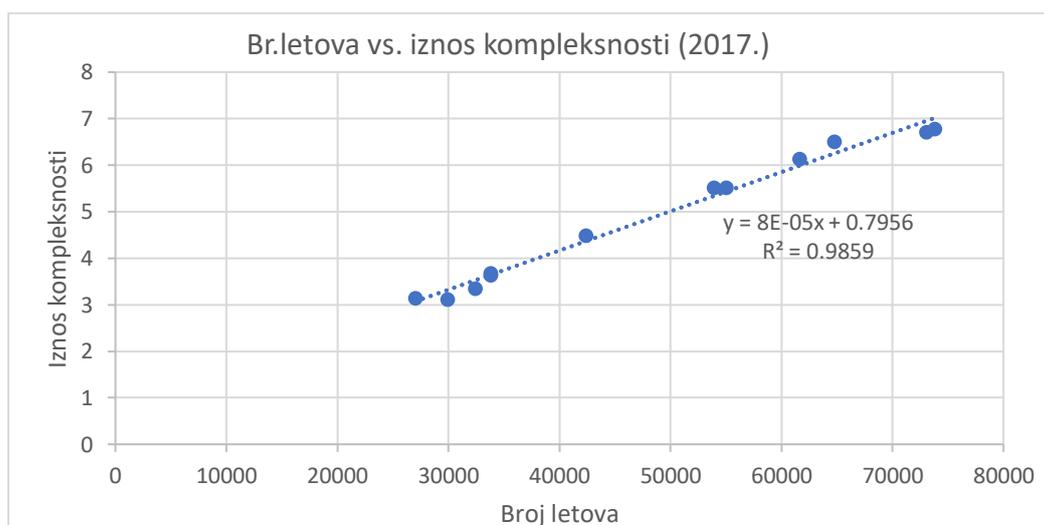


## 6. Analiza rezultata

Koristeći podatke koje je pružio EUROCONTROL iz svoje PRU jedinice koja se bavi proučavanjem kompleksnosti u analizi rezultata na temelju tih podataka su proračunate korelacije između odabranih stavki. Karakteristični podaci su navedeni u poglavlju 4. *Podaci o prometu*, a način proračuna je objašnjen u poglavlju 5. *Statistička obrada podataka*. Podatci se odnose na godine 2017., 2018. i 2019. Godine poslije 2019. nisu odabrane zbog epidemije COVID-19 koja je zahvatila cijeli svijet i umalo dovela do potpunog kraha zrakoplovstva. Tako zbog malih letnih operacija te godine dok je vladala pandemija COVID-19 nisu značajne za proračunski dio ovog rada koji se većinom bavi pitanjem kompleksnosti i rutnih operacija letova.

### 6.1. Analiza statističke korelacije broja letova i iznosa kompleksnosti

Prva vrsta podataka koja je prikazan u ovom dijelu je analiza rezultata statističke korelacije broja letova i iznosa kompleksnosti za 2017. godinu za Hrvatsku kontrolu zračne plovidbe (HKZP) koja je pružatelj usluga kontrole zračne plovidbe za zračni prostor Republike Hrvatske. Statističkom obradom podataka (Pearsonovim koeficijentom korelacije) utvrđeno je kako povezanost varijabli broja letova i kompleksnosti izrazito jaka (snažna) budući da koeficijent korelacije iznosi 0,99 ( $r=0,9929$ ). Pritom je izračunat koeficijent određenosti (determinacije)  $R^2$  koji iznosi 0,9859 i pokazuje kako 98,59% promjenljivosti u broju letova je objašnjeno promjenom u kompleksnosti i obrnuto. Kada se oduzme  $100-R^2$  (%), u ovom slučaju što daje iznos od 1,41%. Tih 1,41% govori kako 1,41% od varijance<sup>40</sup> je objašnjeno nepoznatim čimbenicima koji su najčešće greške pri mjerenju. Naravno, prilikom ovakvih proračuna uvijek postoje greške koje su neizbježne.

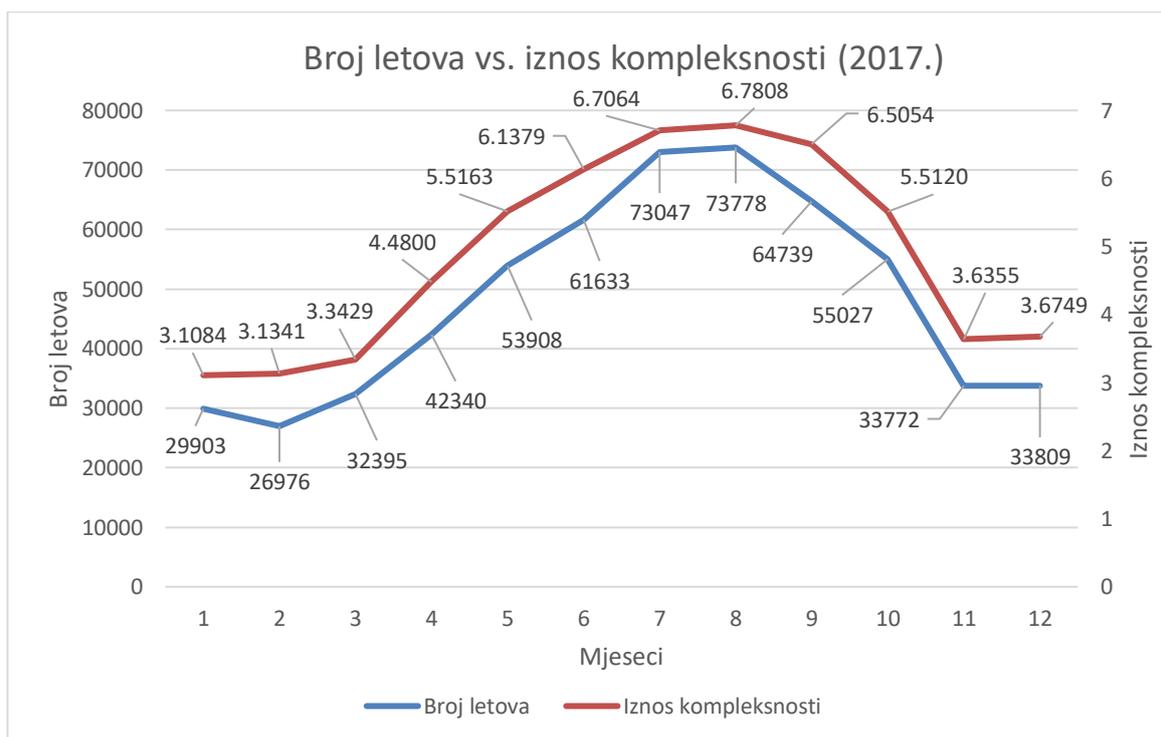


Slika 26 Prikaz linearnosti podataka broja letova i kompleksnosti za 2017. godinu

<sup>40</sup> Mjera disperzije mjerenih ili slučajnih varijabli

Na slici 26 prikazana je linearnost podataka koja je potrebna za proračun Pearsonovog koeficijenta korelacije sa pripadajućom jednačbom pravca koja je dobivena metodom linearne regresije. Statistička značajnost ove korelacije je izrazito značajna iz razloga jer dobivena p-vrijednost iznosi  $1,37E-10$  što je mnogo manje od  $0,05$  ( $1,37E-10 < \alpha=0,05$ ). Zbog toga sa sigurnošću se odbacuje  $H_0$  hipoteza koja govori kako ne postoji korelacija između varijabli  $r=0$  i prihvaća se  $H_A$  (alternativna) hipoteza koja tvrdi kako postoji korelacija budući da je vrijednost korelacije  $r$  veća od kritične vrijednosti iz Pearsonove tablice na slici 24.

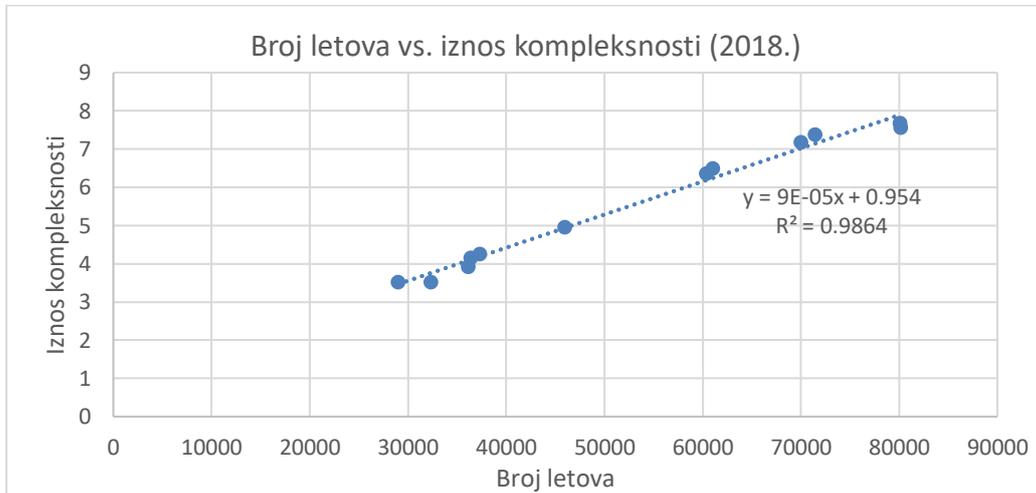
Graf linearnosti sa slike 26 prikazuje veoma visoku linearnost podataka broja letova i kompleksnosti za godinu 2017., no ako prikažemo linijski odnos tih dviju varijabli, kao što je prikazano na slici 27, tada se također može vidjeti jaka povezanost između broja letova i iznosa kompleksnosti. Takav zaključak je i točan jer korelacija između tih dviju varijabli je  $+0,99$  što označava sukladan rast vrijednosti obje skupine podataka, a jačinu povezanosti opisuje koeficijent determinacije ( $R^2$ ) koji iznosi  $98,6\%$ .



Slika 27 Prikaz broja letova i iznosa kompleksnosti

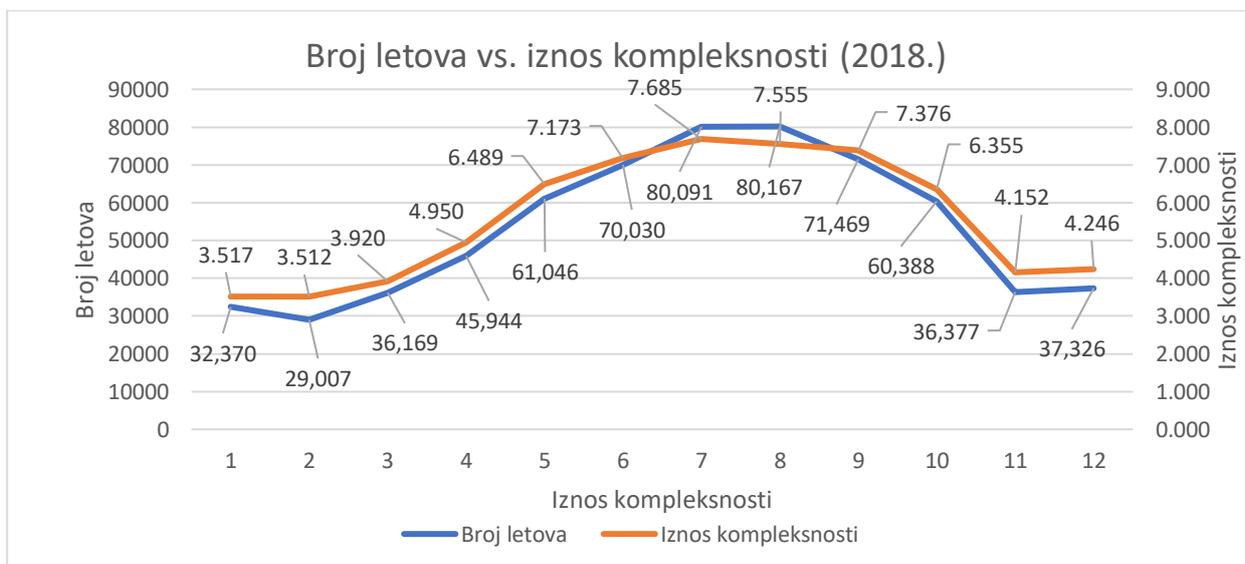
U sljedećem primjeru statističkom korelacijom je obrađen broj letova i iznos kompleksnosti za 2018. godinu. Na slici 28 vidljiv je linearan odnos između varijabli broja letova i kompleksnosti. Pearsonovom korelacijom utvrđen je koeficijent korelacije od  $0,99$  ( $r=0,9931$ ). Takva korelacija je iznimno jaka budući da je skoro  $+1$  (pozitivan smjer povezanosti) i to govori u kojoj su mjeri promjene vrijednosti jedne varijable povezane s promjenama vrijednosti druge varijable. Udio zajedničkih vrijednosti između broja letova i

kompleksnosti iznosi 0,986 ( $R^2$ ). Dakle, jačina linearne povezanosti iznosi 98,6% između broja letova i kompleksnosti, a dobije se metodom linearne regresije (vidi se na slici 29 s lijeve strane) ili kvadriranjem Pearsonovog koeficijenta korelacije  $r$ . Što je veći koeficijent korelacije, to će i koeficijent određenosti biti veći. Bitno je naglasiti kako se koeficijent determinacije ( $R^2$ ) može računati samo za Pearsonov koeficijent korelacije.



Slika 28 Prikaz linearnosti podataka broja letova i kompleksnosti za 2018. godinu

Kako bi se provjerila statistička značajnost ovog primjera, dobivena p-vrijednost se uspoređuje sa iznosom značajnosti od 0,05 i zbog dodatne provjere tablicom kritičnih vrijednosti Pearsonovog koeficijenta korelacije. P-vrijednost je izračunata preko pripadajućih formula i sami postupak je objašnjen u poglavlju 5. Dobivena p-vrijednost iznosi 1,135E-10 što je mnogo manje od 0,05 pa budući da je  $p\text{-vrijednost} < 0,05$  zaključuje se kako je koeficijent korelacije značajan i smije se tumačiti budući da se odbacuje nulta hipoteza i prihvaća alternativna hipoteza koja kaže kako postoji korelacije između broja letova i kompleksnosti.

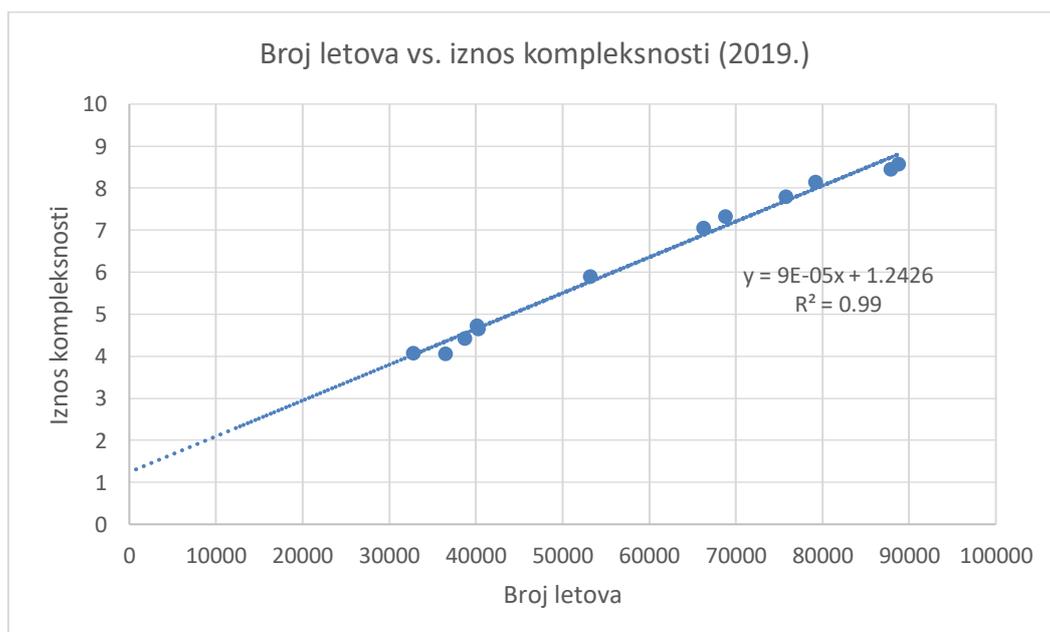


Slika 29 Prikaz broja letova i iznosa kompleksnosti za 2018. godinu

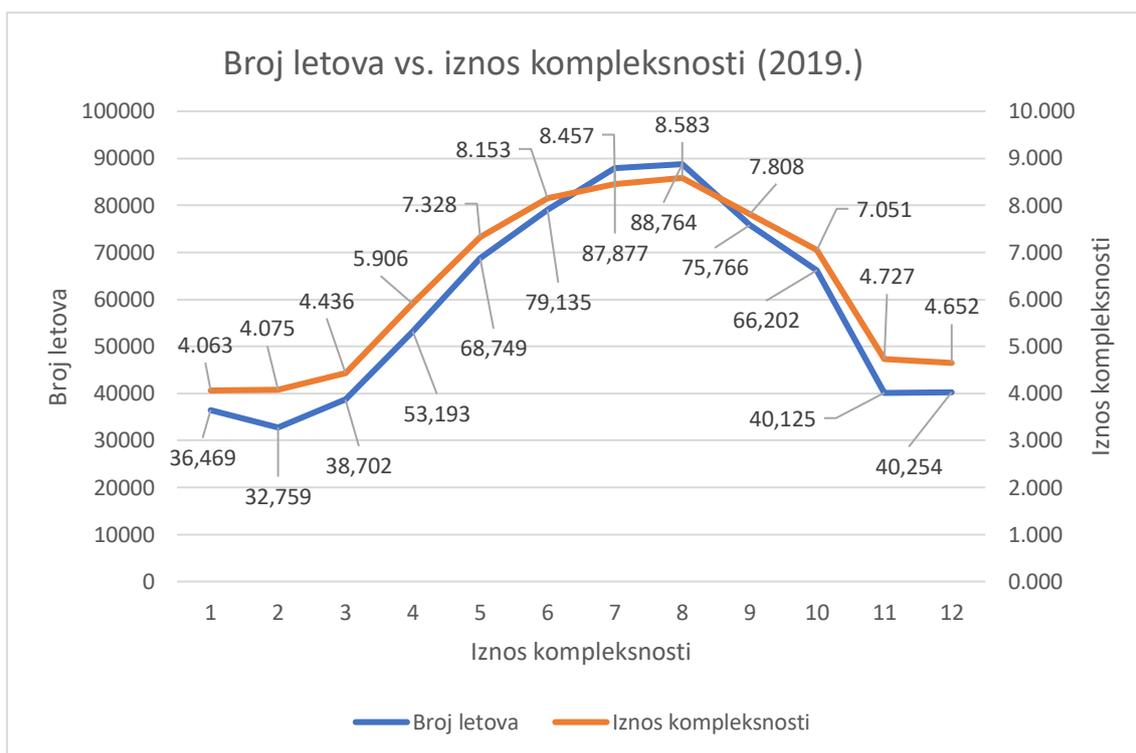
Dokazano je kako broj letova i iznos kompleksnosti izrazito jako korelira te imaju snažnu povezanost što je dokazano koeficijentom determinacije. Budući da je koeficijent korelacije skoro +1, tj. ima pozitivan smjer i iznos koji indicira sukladan rast podataka. Stoga, na slici 28 s lijeve strane vidi se linearan rast podataka, a na slici 29 prikazan je rast i pad broja letova i kompleksnosti pomoću krivulje sa označenim maksimumima i minimumima svake varijable. Iz priloženih slika vidi se kako rast jedne varijable utječe na rast druge varijable. Isto vrijedi i za pad funkcije.

Sljedeća korelacija odnosi se na 2019. godinu. Ova godina je imala najveći broj letova koji iznosi 707995 zatim 2018. godina koja je imala ukupan broj letova 640384 i 2017. sa 581327 letova. Budući da se u ovom potpoglavlju koreliraju i statistički obrađuje broj letova i iznos kompleksnosti, a slučajevi iz 2017. i 2018. godine su pokazali vrlo visoku razinu pozitivne korelacije kao i sljedeći slučaj iz 2019. godine. Dakle, onda ne čudi podatak kako redom 2017.godina koja je imala najmanji broj letova ima i najmanji godišnji iznos kompleksnosti od 5,36 pa 2018. ima 6,13 i 2019. je imala iznos kompleksnosti 6,87.

Stoga na isti način su prikazani podaci na slikama 30 i 31 kao i za 2017. i 2018. godinu. Iz maloprije navedenog za očekivati je kako će ova godina imati i najveći koeficijent korelacije što i jest. Pearsonov koeficijent korelacije iznosi 0,99 (0,9949) sa pripadnim koeficijentom determinacije  $R^2$  koji iznosi 0,989. Iz  $R^2$  se može zaključiti kako je jačina povezanosti između varijabli skoro 99%. Proračun je statistički značajan jer odbacuje se nulta hipoteza na osnovu tabličnih vrijednosti iz Pearsonovih kritičnih tablica i iz razloga jer p-vrijednost  $(2,52E-11) < 0,05$  pokazuje statistički značajnu korelaciju i rezultat se smije tumačiti.



Slika 30 Prikaz linearnosti podataka broja letova i kompleksnosti za 2019. godinu



Slika 31 Prikaz broja letova i iznosa kompleksnosti za 2019. godinu

Tablica 22 prikazuje kratki presjek glavnih podataka koji su dobiveni Pearsonovom korelacijom. Iz ove tablice može se vidjeti porast broja zrakoplova kroz period od tri godine i iznos kompleksnosti koji je također rastao.

Tablica 22 Prikaz glavnih podataka korelacije za broj letova i kompleksnost

Godina	Pearsonov r	R <sup>2</sup>	P-vrijednost	Iznos kompleksnosti	Broj letova	Statistička značajnost
2017.	0,9929	0,9859	1,36E-10	5,36	581327	DA
2018.	0,9931	0,9864	1,13E-10	6,13	640384	DA
2019.	0,9949	0,9889	2,52E-11	6,87	707995	DA

Na kraju ovog potpoglavlja bitno je naglasiti kako svako mjerenje ima grešku, dakle ne postoji takav model koji bi u potpunosti dao egzaktno rezultate. Prema koeficijentu određenosti može se vidjeti postotak greški koje nastaju zbog nepoznatih razloga, a ti nepoznati razlozi ili nepoznati čimbenici su većinom greške u mjerenju, greške u proračunu zbog velikih decimalnih mjesta itd. Uglavnom, greške su prisutne i ne postoji način za potpuno odstranjivanje. Proračunskim tablicama koje su napravljene u MS Excelu preko pripadajućih formula dokazana je snažna povezanost između broja letova i iznosa kompleksnosti, a pritom rezultat korelacije je provjeren i putem gotove formule za korelaciju koja se nalazi u MS Excel programu.

## 6.2. Statistička analiza kašnjenja i kompleksnosti

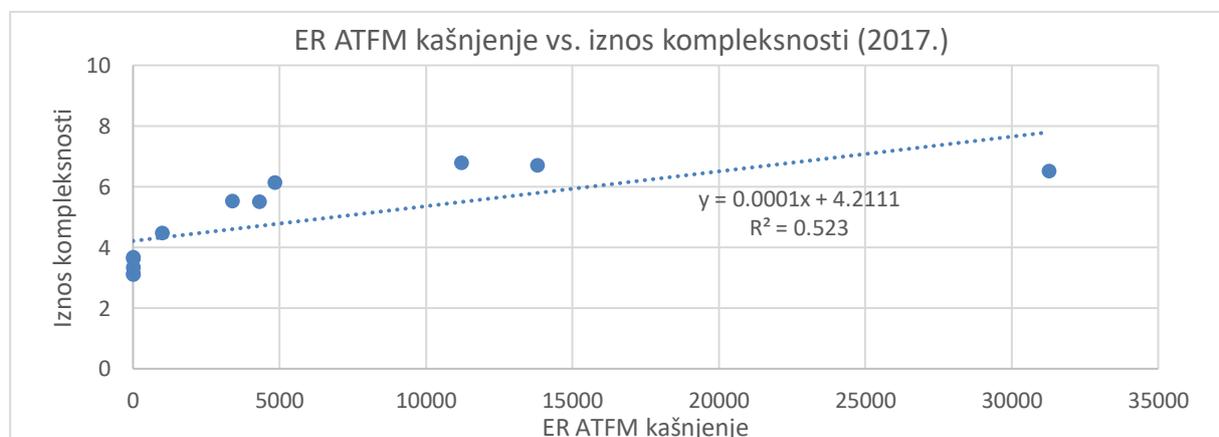
U ovom dijelu završnog rada statistički će se analizirati oblasna faza (en-route) ATFM kašnjenja (engl. *en-route ATFM delay*) za iste godine kao i u prošlom dijelu 6.1. Obratit će se također pozornost na pitanje: „Povećava li se kompleksnost sa ER ATFM kašnjenjem?“ Također u postotcima će biti prikazan rast i pad kašnjenja u karakterističnim mjesecima. Zbog mnoštva podataka na početku ovog proračuna prikazana je tablica 23 koja pokazuje rezultate statističke obrade analize kašnjenja i kompleksnosti.

Tablica 23 Prikaz statistički značajnih Pearsonovih i Spearmanovih koeficijenata korelacije ER ATFM kašnjenja i kompleksnosti za sve tri godine

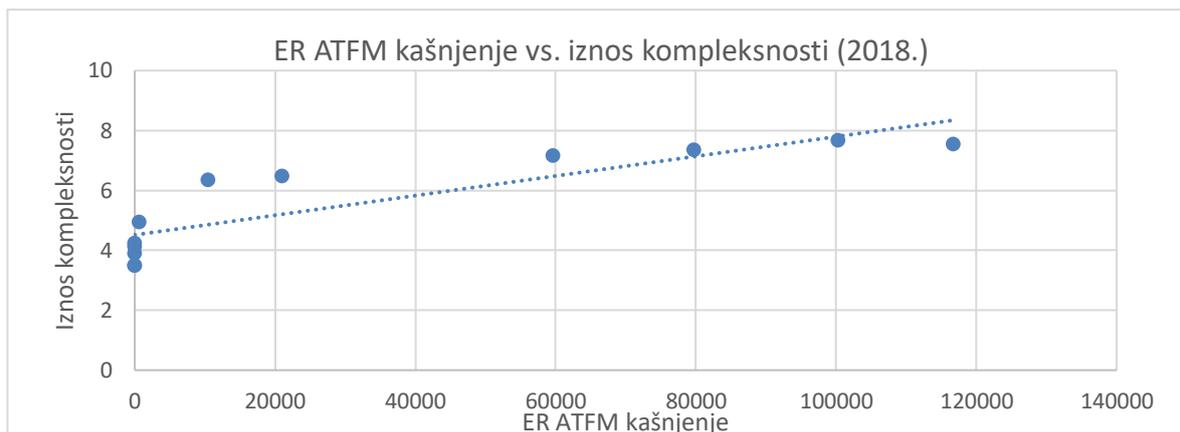
Godina	Pearsonov r	P-vrijednost	Statistička značajnost	Spearmanov r	P-vrijednost	Statistička značajnost
2017.	0,7231	0,007867134	DA	0,9281	1,336E-05	DA
2018.	0,8650	0,000279816	DA	0,9571	1,059E-06	DA
2019.	0,8150	0,001238534	DA	0,9498	2,285E-06	DA

U 2017. godini ukupno godišnje kašnjenje je iznosilo 69786 minuta. Prilikom izračuna korelacije uopće nije bitno je li kašnjenje izraženo u satima, minutama ili sekundama, to uopće ne utječe na korelaciju. Ova godina je imala najmanju kompleksnost i najmanju količinu ukupnog kašnjenja. Za potrebu korelacije korišten je Pearsonov model izračuna korelacije, no također izračunat je i Spearmanov koeficijent korelacije jer pojedini grafovi su na prijelazu između monotone i linearne funkcije. Naravno, oba koeficijenta su izračunata također i zbog same provjere jer cilj je otkriti povećava li se kompleksnost sa kašnjenjem.

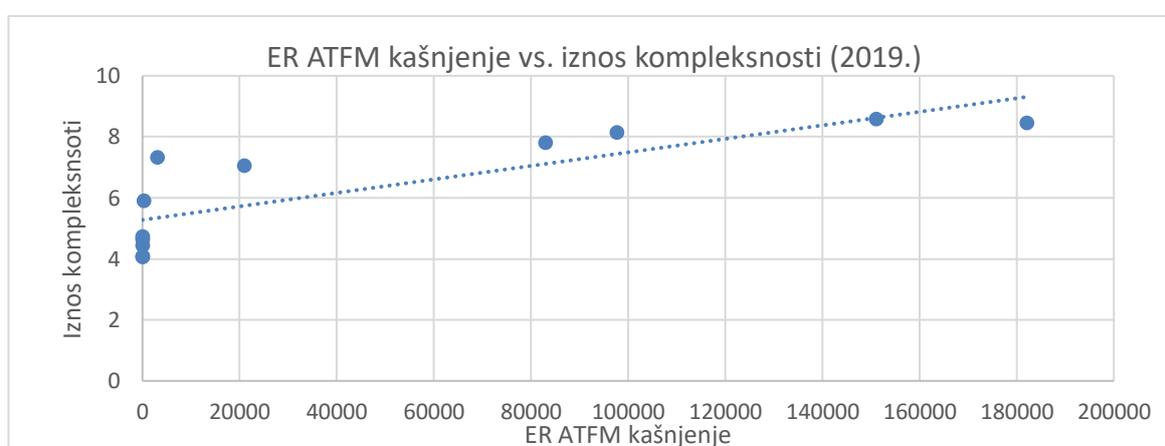
Na sljedećoj stranici nalaze se slike 32, 33 i 34 koje prikazuje grafove linearnosti sa pripadajućom jednadžbom i iznosom koeficijenta determinacije.



Slika 32 Prikaz linearnosti podataka ER ATFM kašnjenja i kompleksnosti za 2017. godinu



Slika 33 Prikaz linearnosti podataka ER ATFM kašnjenja i iznosa kompleksnosti za 2018. godinu



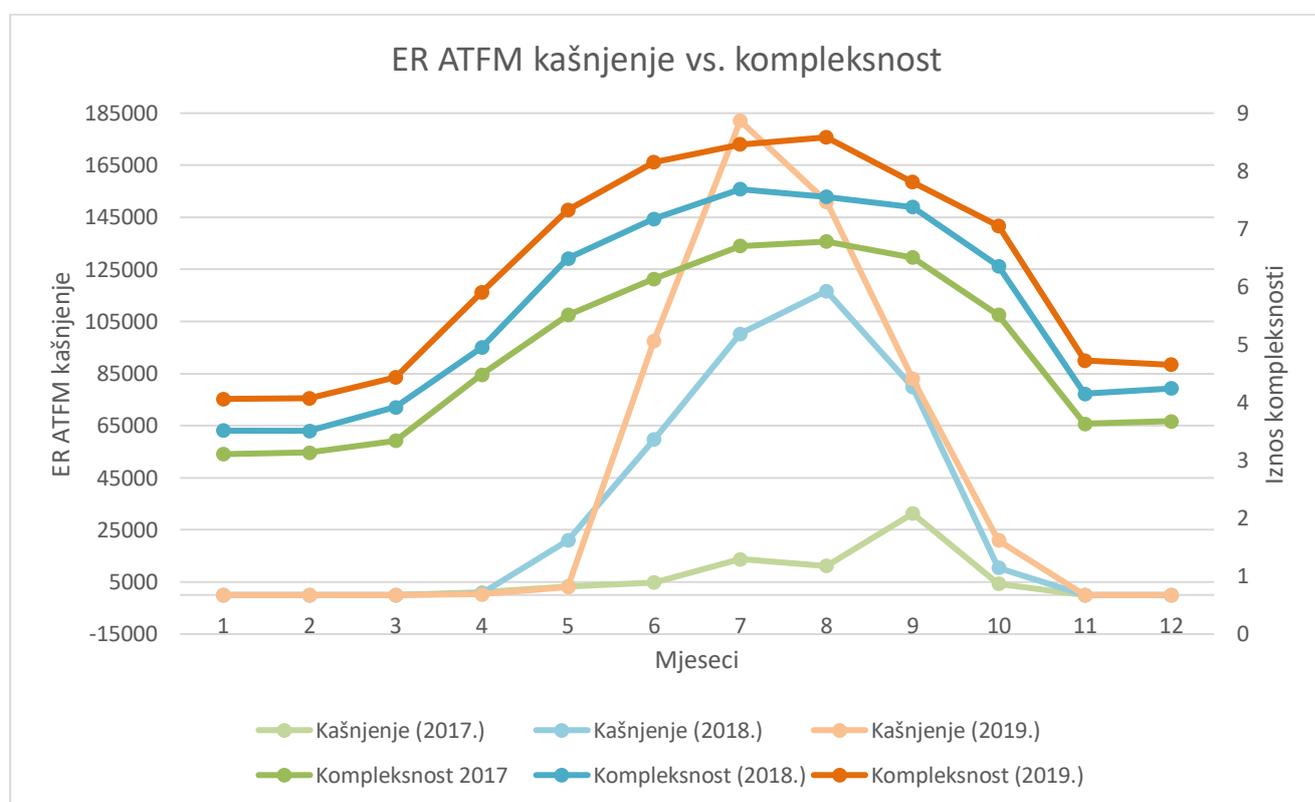
Slika 34 Prikaz linearnosti podataka ER ATFM kašnjenja i iznosa kompleksnosti za 2019. godinu

Rezultati za sve tri ove godine su se pokazali statistički značajnim i za Spearmanov i Pearsonov koeficijent korelacije. Dakle, svaki koeficijent korelacije je bio veći od kritične vrijednosti koeficijenta korelacije koji se mogu vidjeti na slikama 23 i 25 koje predstavljaju kritične tablične vrijednosti Pearsonovog i Spearmanovog koeficijenta korelacije. Nadalje, korištena je provjera putem p-vrijednosti, odnosno dobivena p-vrijednost je u svakom slučaju bila manja od granice značajnosti koja iznosi 0,05 i time je dokazano kako su rezultati statistički značajni i smiju se tumačiti, odnosno nulta hipoteza se odbacuje. Proračuni su pokazali veoma snažnu pozitivnu povezanost varijabli kompleksnosti i ER ATFM kašnjenja.

Razlog zbog kojeg je uz Spearmanov koeficijent korelacije proračunat i Pearsonov koeficijent (osim razloga kvantificiranih odnosno realno izmjerenih podataka i intervalne ljestvice) korelacije je taj kako bi se dobio koeficijent određenosti koji govori u kojoj mjeri nezavisna varijabla (ER ATFM kašnjenje) objašnjava što se dogodilo sa zavisnom varijablom (kompleksnost). Tako redom za 2017. godinu  $R^2$  iznosi 52,3 %, za 2018. 74,8% i za 2019. iznosi 66,5%. Uz ovaj podatak, imajući na umu da kako je 2017.godina imala najmanji broj kašnjenja (69786 minuta), 2018. je imala 388534 i 2019. naposljetku je imala 538071. Uzimajući to u obzir, evidentno je kako je kašnjenje raslo iz godine u godinu i također uz porast kašnjenja rasla je i kompleksnost koja je bila najmanja za 2017. godinu, a najveća za

2019. godinu. Porast kašnjenja sa 2017. godine na 2018. godinu iznosio je 456,75% (porast kompleksnosti je bio 14,4%), a porast sa 2018. na 2019. godinu iznosio je 38,49% (porast kompleksnosti je iznosio 12,07%). Dakle, korelacije su pokazale snažne povezanosti između kašnjenja i kompleksnosti, također koeficijent determinacije pokazuje veliki utjecaj kašnjenja na kompleksnost (najveći za 2018. godinu pa 2019. pa 2017.), postotci kašnjenja su redom najveći za 2018. godinu pa 2019. pa 2017., a takav trend redom prati i porast kompleksnosti.

Budući da koeficijent korelacije ne pokazuje uzročno-posljedične veze, ne smije se reći da na osnovu toga ER ATFM kašnjenje uzrokuje povećanje kompleksnosti nego time smo dokazali kako u velikoj mjeri ove dvije varijable su povezane. Sa pripadnih grafova i izračuna postotaka kompleksnosti i kašnjenja sa sigurnošću se može reći kako u velikoj mjeri kašnjenje uzrokuje porast kompleksnosti. Sa slike 35 zorno se može vidjeti porast kompleksnosti sa porastom kašnjenja i takav trend je u svakoj od ove tri godine koje se proučavaju u ovom završnom radu.



Slika 35 Prikaz kompleksnosti i kašnjenja za godine 2017., 2018. i 2019. [17]

### 6.3. Statistička analiza broja letova i kašnjenja

Na osnovu podataka o prometu koji su preuzeti od EUROCONTROL-ove PRU jedinice koja se bavi kompleksnošću obradit će se korelacija između broja letova i ER ATFM kašnjenja. Zbog što jednostavnijeg i zornijeg prikaza, na tablici 24 su napisani dobiveni iznosi korelacija za navedene godine i njihova statistička značajnost.

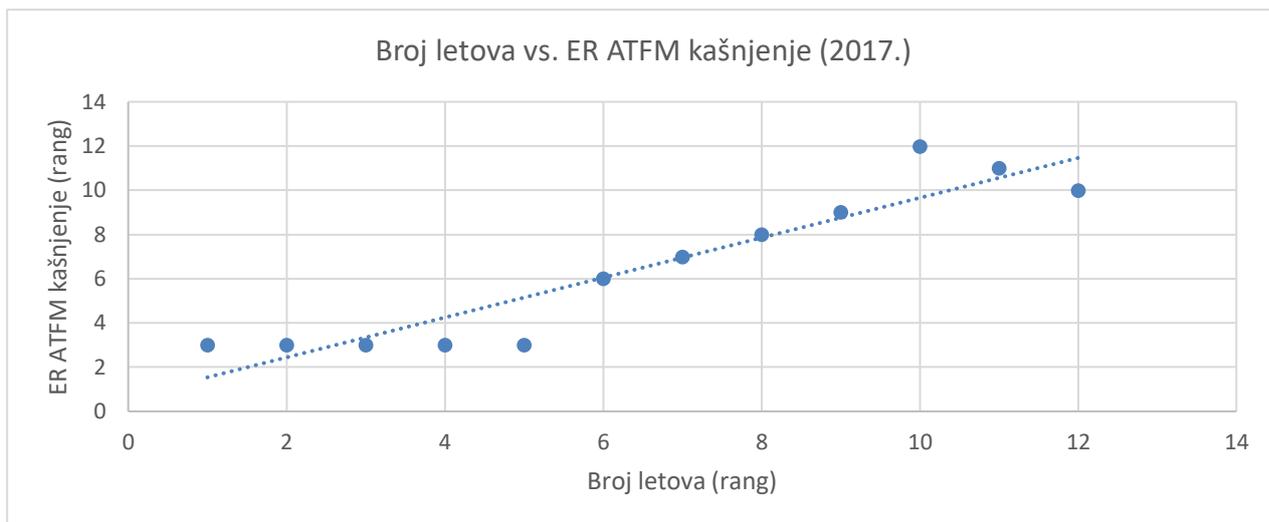


Tablica 24 Prikaz statistički značajnih Pearsonovih i Spearmanovih koeficijenata korelacije broja letova i ER ATFM kašnjenja za sve tri godine

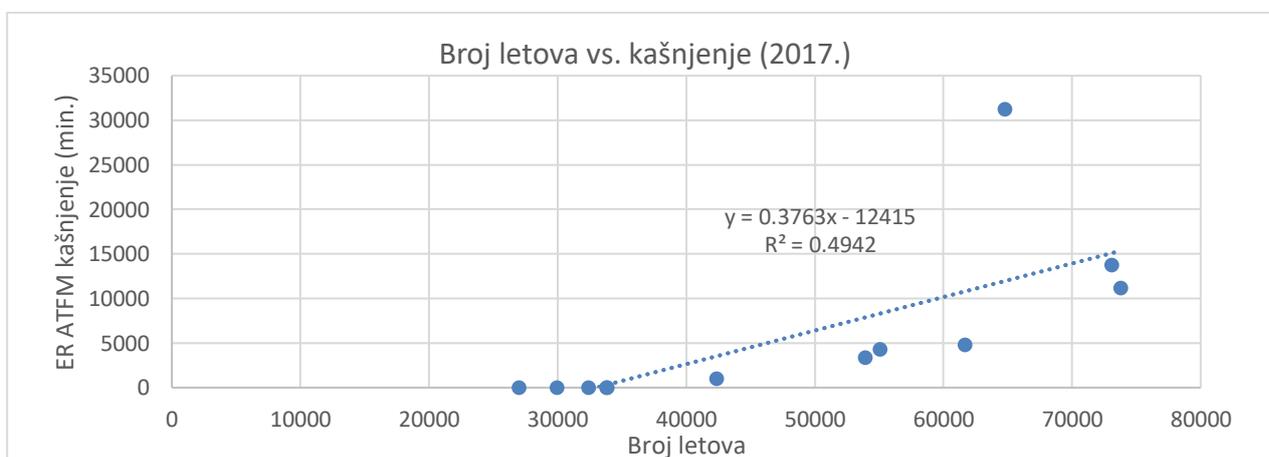
Godina	Pearsonov r	P-vrijednost	Statistička značajnost	Spearmanov r	P-vrijednost	Statistička značajnost
2017.	0,703	0,010765131	DA	0,935	7,946E-06	DA
2018.	0,904	5,493E-05	DA	0,964	4,241E-07	DA
2019.	0,860	0,000332997	DA	0,959	2,285E-06	DA

Analogijom iz potpoglavlja 6.2., koristeći isti način određivanja korelacija prikazani su pripadajući grafovi varijabli broja letova i ER ATFM kašnjenja na slikama 36, 37 i 38 redom za godine 2017., 2018. i 2019. godinu. Prilikom proračuna broja letova i kašnjenja korištene su obje metode određivanja korelacije, no zbog veće vjerodostojnosti prikazani grafovi na slikama 36, 38 i 40 su oni koji se odnose na Spearmanovu korelaciju pa zbog toga nema prikaza koeficijenta determinacije ( $R^2$ ) jer se on ne može prikazati za Spearmanovu metodu korelacije. Grafovi za Pearsonov koeficijent korelacije sa pripadajućom jednadžbom linearnosti i  $R^2$  su prikazani slikama 37, 39 i 41.

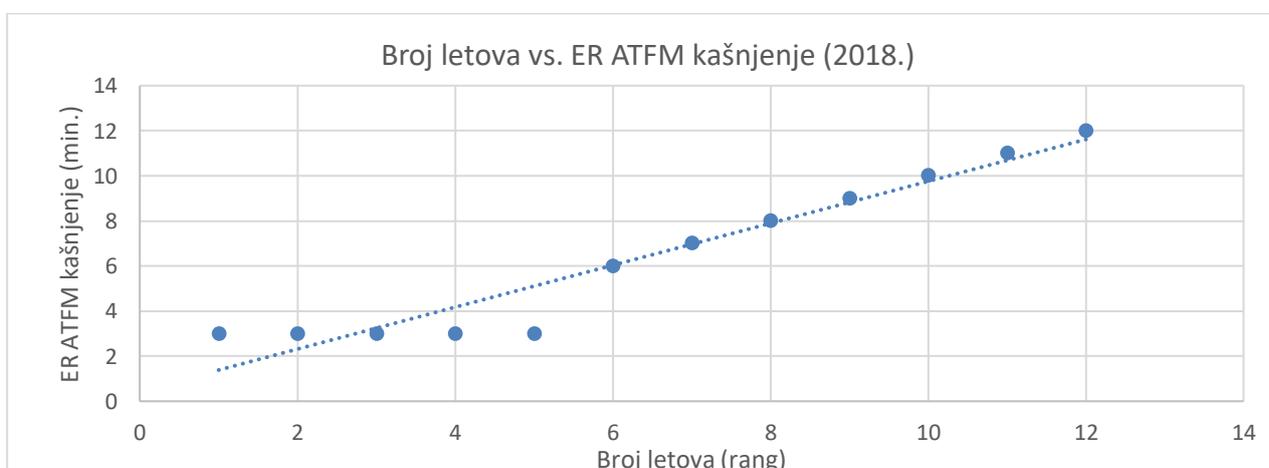
Što se tiče proračuna i dokazivanja hipoteza to se ovdje radilo na isti način kao i prije. Dobiveni koeficijent korelacije je uspoređen sa kritičnim vrijednostima iz tablica (slika 23 i 25) na osnovu granice značajnosti ( $\alpha=0,05$ ) i stupnjeva slobode ( $N-2$ ). Svaki dobiveni koeficijent korelacije je bio veći od pripadajuće kritične vrijednosti na osnovu čega se odbacuje nulta hipoteza  $H_0$  ( $r=0$ ) i prihvaća se alternativna hipoteza ( $r \neq 0$ ). Drugi način koji se također koristi je usporedba p-vrijednosti sa granicom značajnosti ( $\alpha=0,05$ ) i ako je p-vrijednost manja od 0,05 rezultat se proglašava statistički značajnim. Što je p-vrijednost manja, to je veća vjerojatnost da se ne može napraviti greška prvog stupnja, odnosno sigurnije je odbaciti nultu hipotezu koja kaže kako ne postoji međusobna povezanost odnosno korelacija.



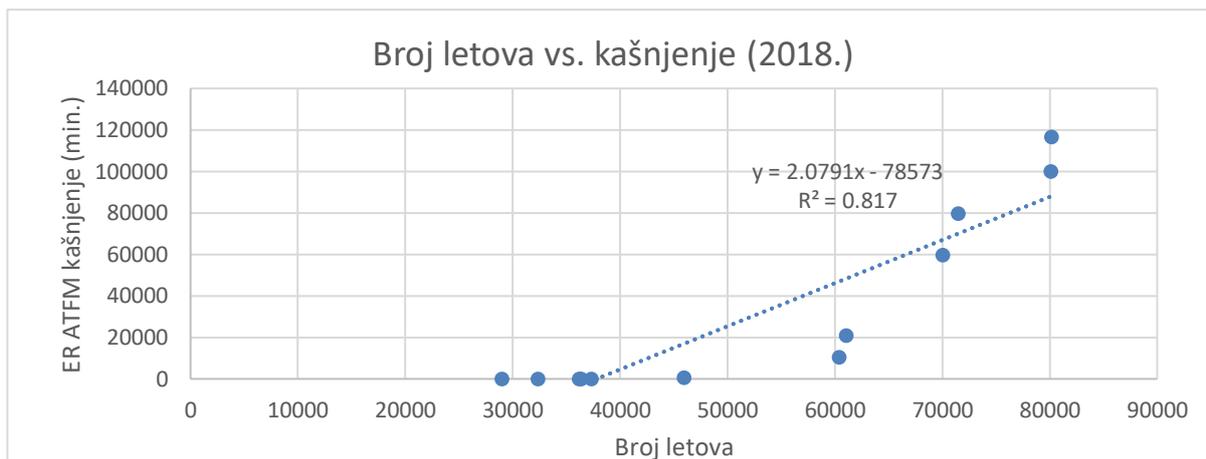
Slika 36 Prikaz linearnosti rangiranih podataka (Spearmanov koeficijent korelacije) broja letova i ER ATFM kašnjenja za 2017. godinu



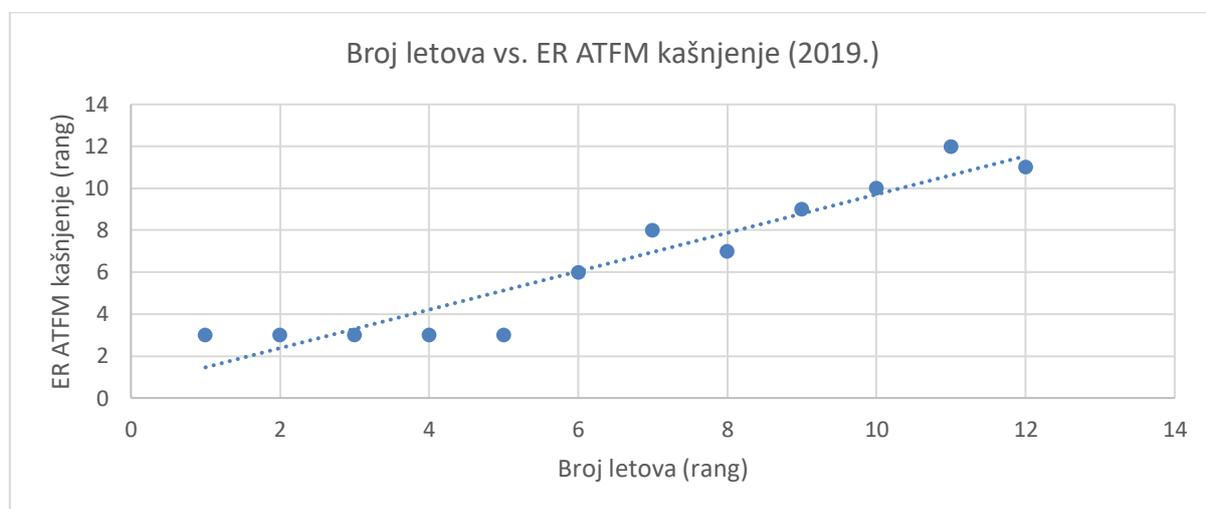
Slika 37 Graf linearnosti korišten za Pearsonov koeficijent korelacije broja letova i ER ATFM kašnjenja za 2017. godinu.



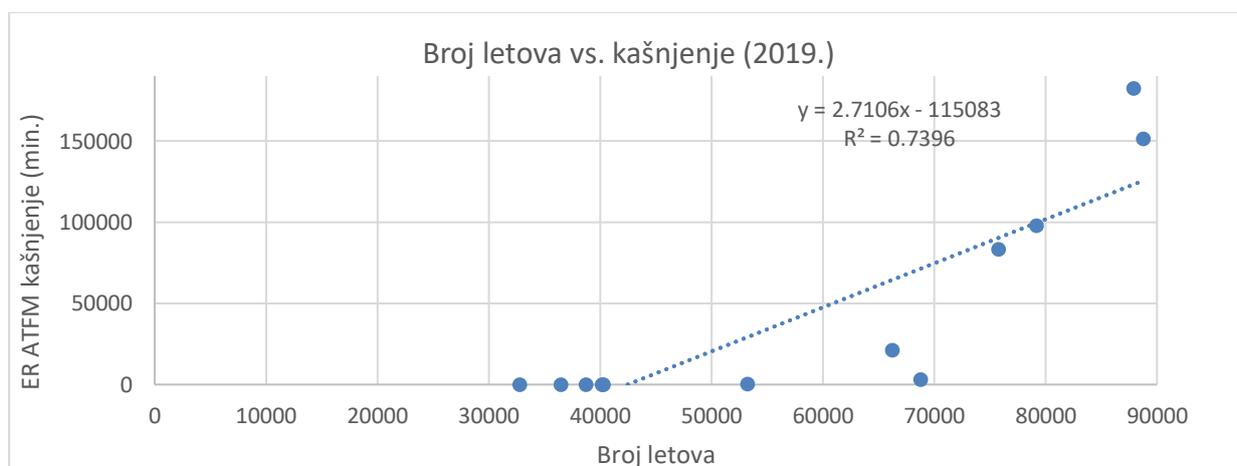
Slika 38 Prikaz linearnosti rangiranih podataka (Spearmanov koeficijent korelacije) broja letova i ER ATFM kašnjenja za 2018. godinu



Slika 39 Graf linearnosti za Pearsonov koeficijent korelacije broja letova i ER ATFM kašnjenja za 2018. godinu



Slika 40 Prikaz linearnosti rangiranih podataka (Spearmanov koeficijent korelacije) broja letova i ER ATFM kašnjenja za 2019. godinu

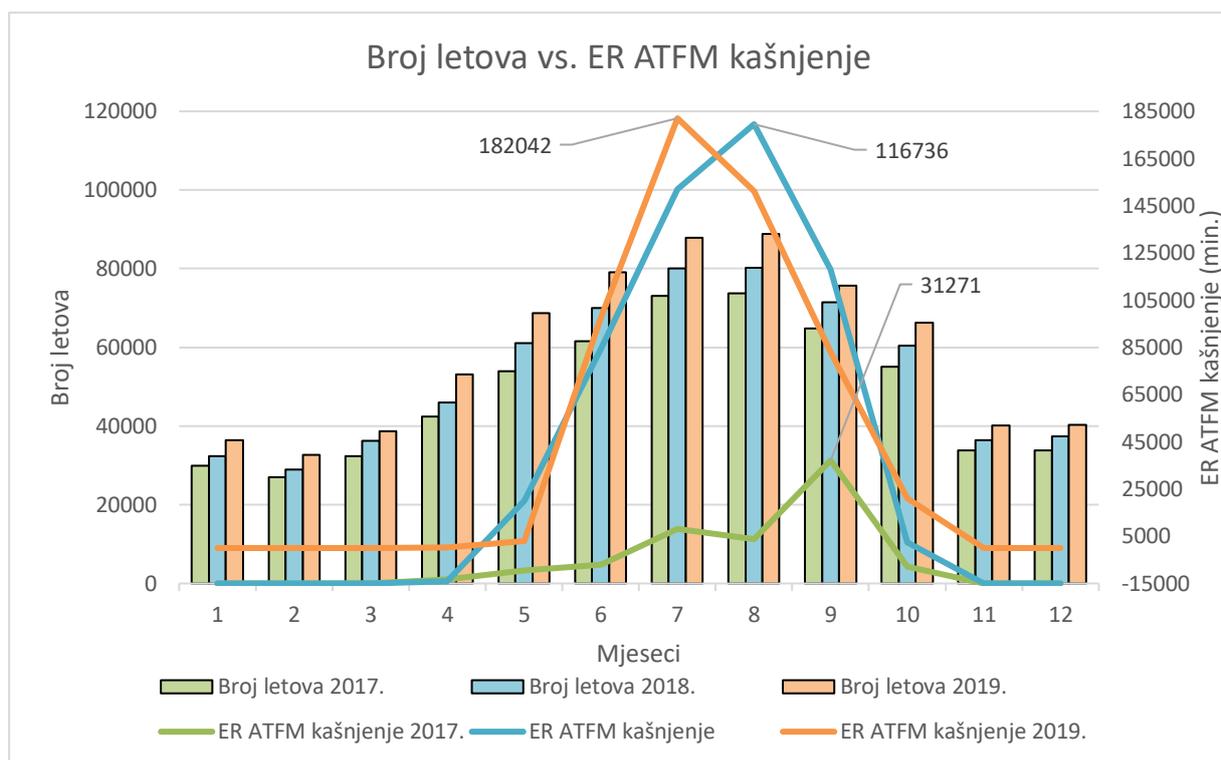


Slika 41 Graf linearnosti za Pearsonov koeficijent korelacije broja letova i ER ATFM kašnjenja za godinu 2019.

Dobiveni podaci na osnovu korelacija kažu kako je statistički značajna povezanost između varijabli broja letova i kašnjenja. Prilikom tumačenja statističkih podataka ne smije se zaboraviti na greške koje su prisutne i zbog kojih rezultati nisu identični onim dobivenim. Svakako to je normalna stvar u svakoj statističkoj obradi podataka jer postoje greške mjerenja, greške prilikom korištenja različitih instrumenata prilikom proračuna (u ovom slučaju alatni program MS Excel). No, bitna stavka je ta da su proračuni statistički značajni i smiju se tumačiti, a u ovom slučaju to glasi kako vrlo pozitivno korelira broj letova zrakoplova i ER ATFM kašnjenje. Dakle, promjene u broju zrakoplova su vrlo pozitivno povezane sa kašnjenjem, što će reći da se kašnjenje mijenja zbog toga. U većini slučajeva sa povećanjem broja letova povećava se kašnjenje iako postoji par iznimaka gdje to nije slučaj. Neki od takvih primjera su npr. kolovoz 2017. (vidi tablica 6) gdje je broj letova veći u odnosu na prošli mjesec, no ipak su imali manji broj kašnjenja u minutama. Postoje naravno i obrnuti primjeri gdje je prethodilo povećanje kašnjenja, a manji broj letova u odnosu na druge mjesece.

Korelacija je pokazala kako postoji određena povezanost između varijabli broja letova i kašnjenja, no ne smije se tumačiti uzročno-posljedična veza tih odnosa na osnovu korelacije nego može se iz nekih drugih ispitivanja ili testova koji mogu biti vođeni. Sada će se navesti nekoliko uzročnih razloga koji su utjecali na iznos kašnjenja. Već je navedeno kako se kašnjenja mogu kategorizirati u 16 kategorije od kojih su neke A-ATC kapacitet, S-ATC osoblje, W-Vrijeme i dr. Budući da je naveden primjer kašnjenja u kolovozu 2017., ne može se reći da je to u potpunosti zbog utjecaja broja letova. Iako je srpanj 2017. imao više kašnjenja sa manjim brojem letova taj mjesec, ne može se potpuni odgovor pronaći u korelaciji broja letova i kašnjenja. Ako se želi pronaći taj uzrok, gledajući podatke iz 2017. za kašnjenje može se vidjeti uzrok koji je doveo do povećanja kašnjenja iako je manji broj letova tad bio u odnosu na kolovoz, a to je manjak ATC osoblja, loše vrijeme, zauzeće kapaciteta zbog lošeg vremena i mnogi drugi razlozi. Krajnji zaključak je taj kako broj letova je veoma pozitivno povezan sa brojem kašnjenja, no postoje i drugi razlozi koji u još većoj mjeri dovode do kašnjenja, no naglašava se to kako zaključak oko drugih razloga nije proizišao iz Pearsonovih ili Spearmanovih korelacija već ih pripadajućih podataka.

Na grafikonu 18 može se vidjeti međusobni odnos broja letova i kašnjenja gdje se vidi kako kašnjenje prati trend rasta broja letova. To se pogotovo očituje u mjesecima koji čine sezonu u Hrvatskoj pa se vidi osjetni nagli rast broja zrakoplova. Kako bi se taj trend što lakše prikazao proračunati su postotci povećanja i smanjenja kašnjenja ovisno o mjesecima za sve tri godine. Takav prikaz se može vidjeti na tablicama 25, 26 i 27. Urađen je proračun povećanja sa lipnja na srpanj te smanjenje kašnjenja sa rujna na listopad i tu se mogu vidjeti ogromni postotci porasta sa lipnja na srpanj, pogotovo za 2017.godinu.



*Grafikon 18 Odnos broja letova i ER ATFM kašnjenja za sve godine*

*Tablica 25 Prikaz kašnjenja u minutama po karakterističnim mjesecima zbog povećanja ili smanjenja kašnjenja*

MJESECI/ER ATFM KAŠNJENJE (GODINA)	2017 (min.)	2018 (min.)	2019 (min.)
Lipanj	4835	59676	97651
Srpanj	13793	100248	182042
Kolovoz	11214	116736	151054
Rujan	31271	79765	82982
Listopad	4314	10472	21007

*Tablica 26 Porast kašnjenja sa lipnja na srpanj za sve godine*

POVEĆANJE SA LIPNJA NA SRPANJ	2017	2018	2019
Razlika (min.):	8958	40572	84391
% povećanja:	185,274	67,9871305	86,42102999
%:	185,270	67,99	86,42

*Tablica 27 Pad kašnjenja sa rujna na listopad*

SMANJENJE SA RUJNA NA LISTOPAD	2017	2018	2019
Razlika (min.):	26957	69293	61975
% smanjenja:	-86,204	-86,87143484	-74,68487142
%:	-86,200	-86,87	-74,68

Analogno sa tablicama povećanja i smanjenja kašnjenja ovisno o mjesecima, tablica 27 prikazuje povećanja i smanjenje broja letova ovisno o mjesecima.

*Tablica 28 Postotci porasta/pada broja letova ovisno o mjesecima*

Godina/Mjesec	2017.	2018.	2019.
Sa lipnja na srpanj	18,52%	14,36%	11,04%
Sa rujna na listopad	-15,01%	-15,51%	-12,62%

Dakle, sve u svemu vidljivo je kako broj letova je povezan sa kašnjenjem, no ta povezanost dolazi do izričaja u mjesecima koji predstavljaju špicu sezone. Već je bilo govora o tome kako na kašnjenje utječe mnoštvo drugih varijabli koje nisu statistički obrađene u ovom radu<sup>41</sup>.

#### 6.4. Statistička analiza broja letova i DIF indikatora

Statističkom analizom broja letova i DIF indikatora kroz period od tri godine utvrđena je veoma jaka povezanost između varijabli broj letova i DIF indikatora. Što se tiče samog odnosa između DIF-ova, oni također međusobno koreliraju što prikazuje tablica 28. Postupak proračuna je isti kao i za sve ostale primjere i tablicom 29 su prikazani statistički rezultati. Navedeni su rezultati obje korelacije koji su se pokazali statistički značajnima. Rezultati Pearsonovg koeficijenta korelacije su tu navedeni iz razloga jer u većini slučajeva pri korelaciji broja letova i DIF-ova graf linearnosti je prikazivao vrlo dobru linearnost. Pored dobre linearnosti podataka, Pearsonov koeficijent korelacije se uzima u obzir jer su svi podaci realno izmjereni, prate omjernu ljestvicu. Iako distribucija podataka pokazuje donekle normalnu razdiobu, ne može se proračun u potpunosti osloniti na Pearsonov koeficijent podataka jer je potrebno malo više podataka kako bi testovi dokazali potpunu normalnu razdiobu podataka, a ne djelomičnu.

*Tablica 29 Korelacije između DIF-ova za period od tri godine*

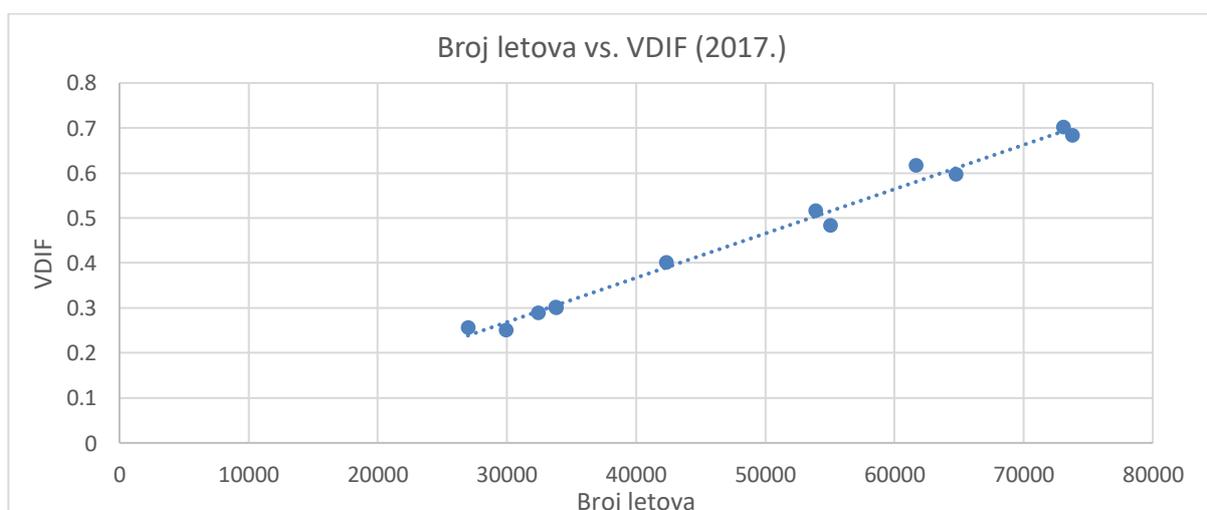
GODINA	VDIF vs. HDIF	VDIF vs. SDIF	HDIF vs. SDIF
2017.	r=0,9867	r=0,9402	r=0,9357
2018.	r=0,9887	r=0,8111	r=0,7803
2019.	r=0,9876	r=0,9119	r=0,8943

Dobiveni podaci prikazuju kako je korelacije između broja letova i DIF indikatora iznimno značajna, odnosno postoji jaka povezanost između varijabli.

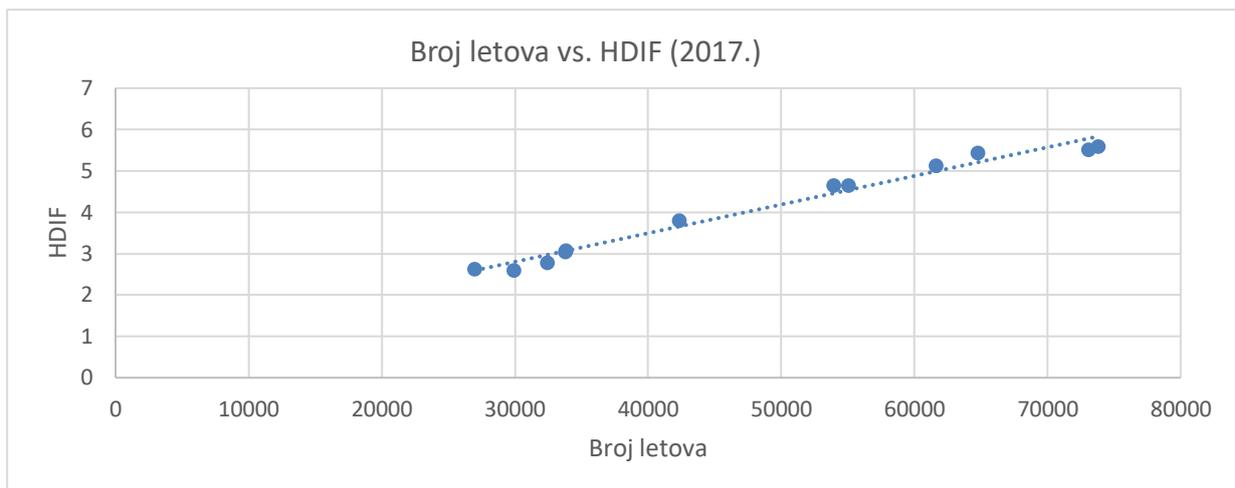
<sup>41</sup> Takav zaključak je donesen na osnovu EUROCONTROLO-ovih statističkih izvještaja [23]

Tablica 30 Rezultati statističke analize broja letova i DIF indikatora za period od tri godine

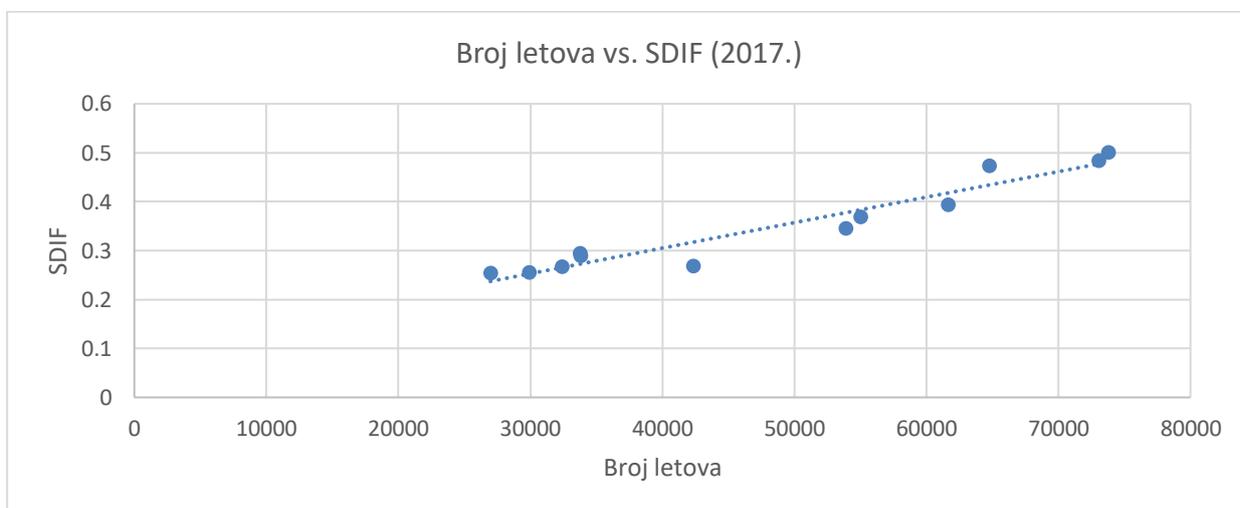
GODINA	2017.			STATISTIČKA ZNAČAJNOST
BROJ LETOVA VS.	VDIF	HDIF	SDIF	
Pearsonov r	0,994072764	0,989257809	0,961983	
p-vrijednost	5,70449E-11	1,10643E-09	5,86674E-07	DA
Spearmanov r	0,965034965	0,993007	0,972028	
p-vrijednost	3,88099E-07	1,3E-10	1,29E-07	DA
GODINA	2018.			STATISTIČKA ZNAČAJNOST
BROJ LETOVA VS.	VDIF	HDIF	SDIF	
Pearsonov r	0,994923	0,989063	0,816461395	
p-vrijednost	2,63369E-11	1,21027E-09	0,001194536	DA
Spearmanov r	0,986014	0,993007	0,818182	
p-vrijednost	4,12E-09	1,3E-10	0,001143	DA
GODINA	2019.			STATISTIČKA ZNAČAJNOST
BROJ LETOVA VS.	VDIF	HDIF	SDIF	
Pearsonov r	0,994786	0,990053	0,928435568	
p-vrijednost	3,00968E-11	7,54253E-10	1,30984E-05	DA
Spearmanov r	0,986014	0,986014	0,93007	
p-vrijednost	4,1169E-09	4,12E-09	1,17E-05	DA



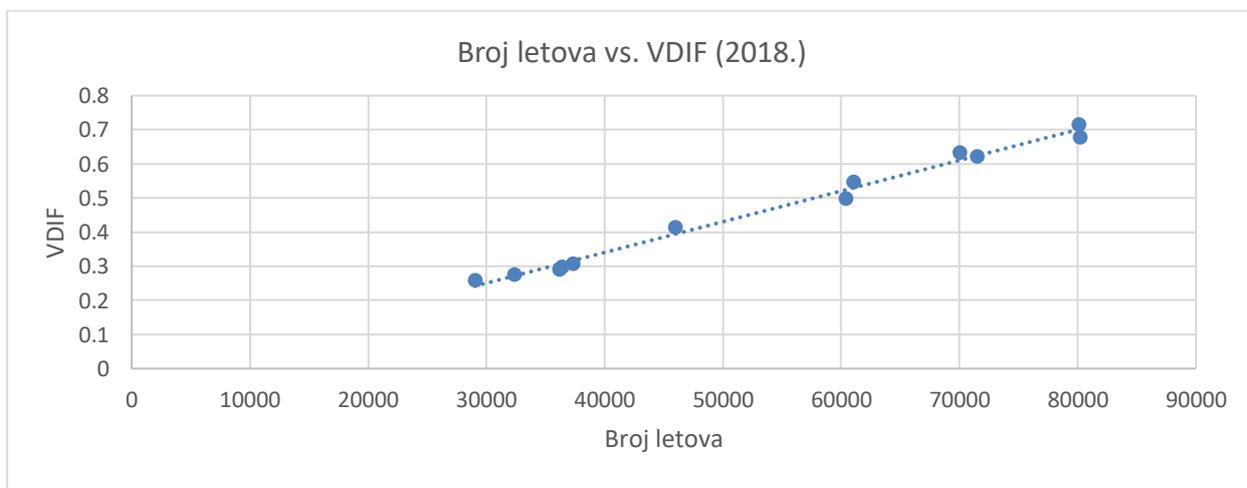
Slika 42 Prikaz grafa linearnosti (lijevo) za 2017. godinu između broja letova i VDIF



Slika 43 Prikaz grafa linearnosti za 2017. godinu između broja letova i HDIF

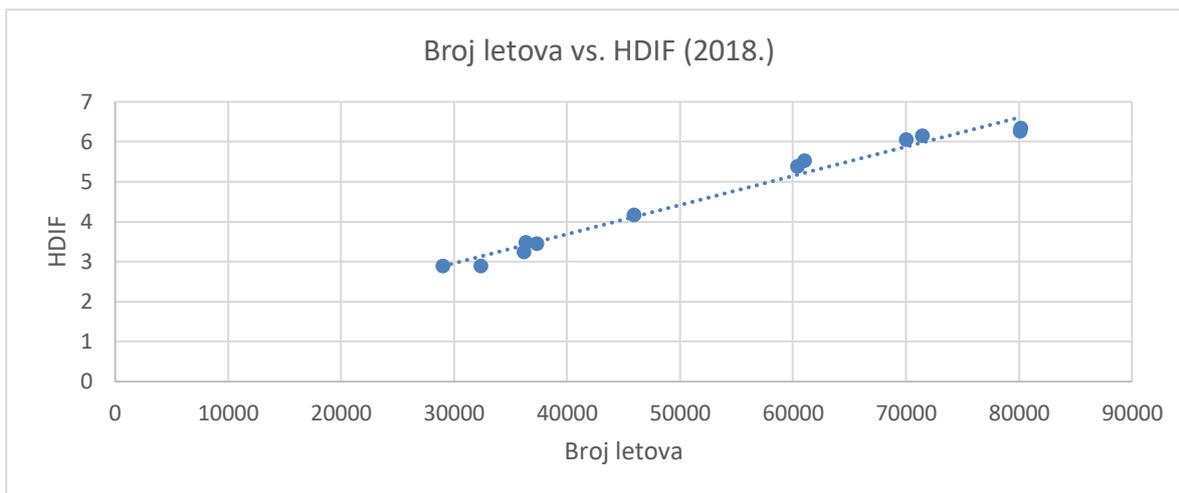


Slika 44 Prikaz grafa linearnosti za 2017. godinu između broja letova i SDIF

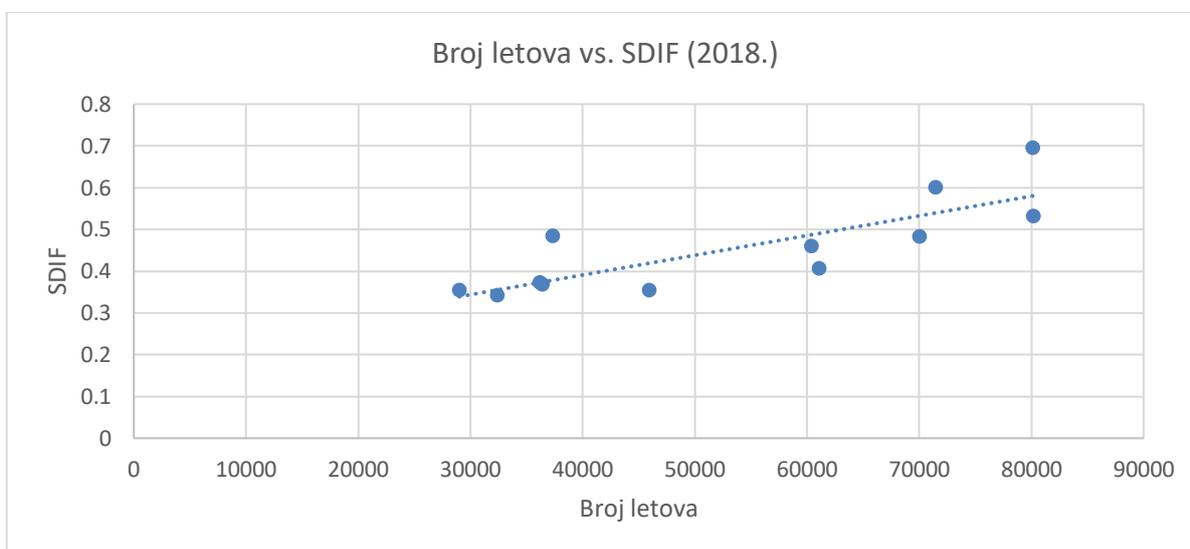


Slika 45 Prikaz grafa linearnosti za 2018. godinu između broja letova i VDIF

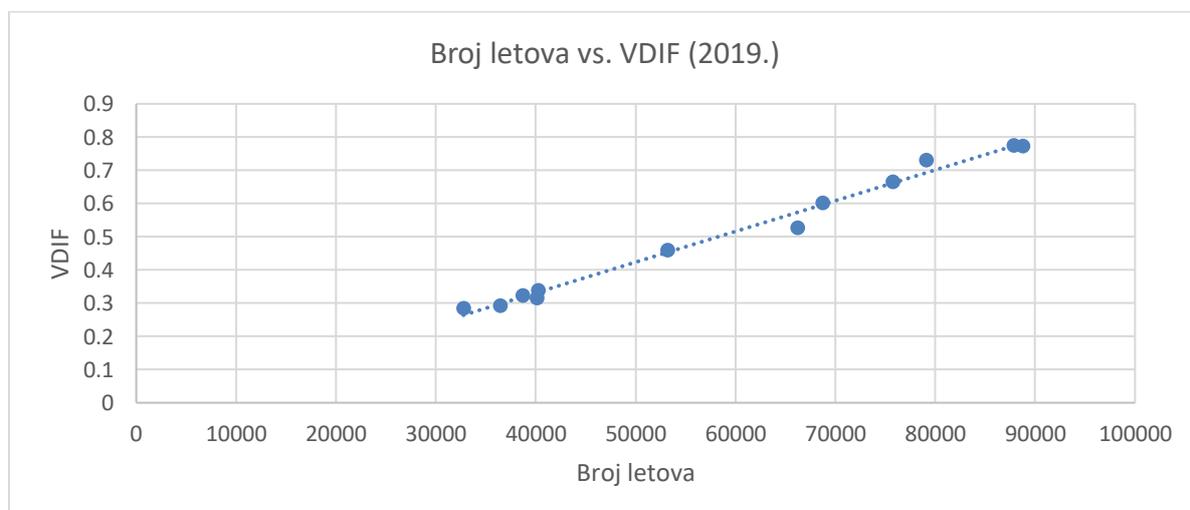




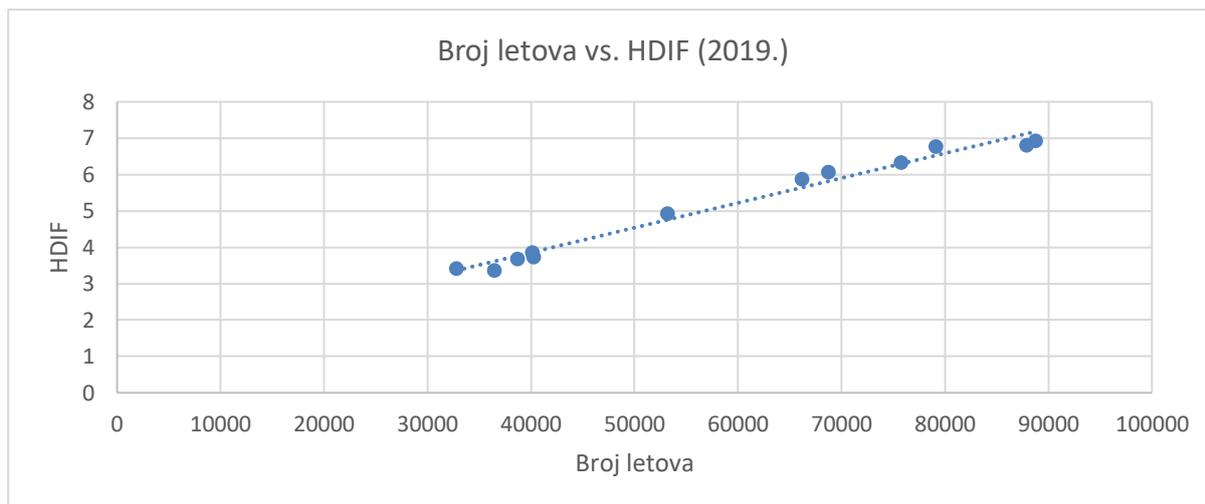
*Slika 46 Prikaz grafa linearnosti za 2018. godinu između broja letova i HDIF*



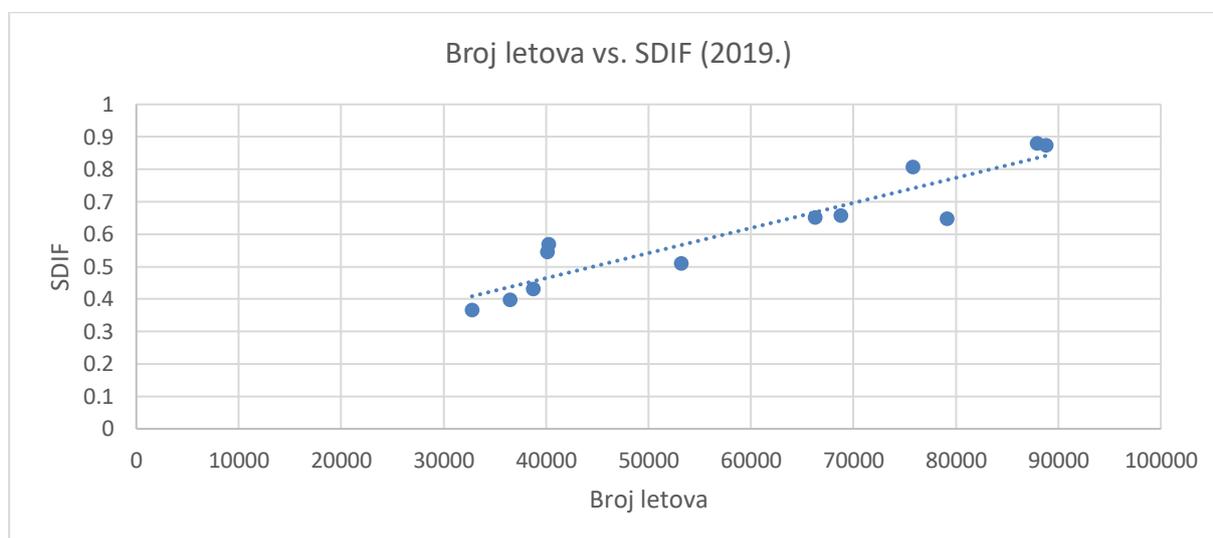
*Slika 47 Prikaz grafa linearnosti za 2018. godinu između broja letova i SDIF*



*Slika 48 Prikaz grafa linearnosti za 2019. godinu između broja letova i VDIF*

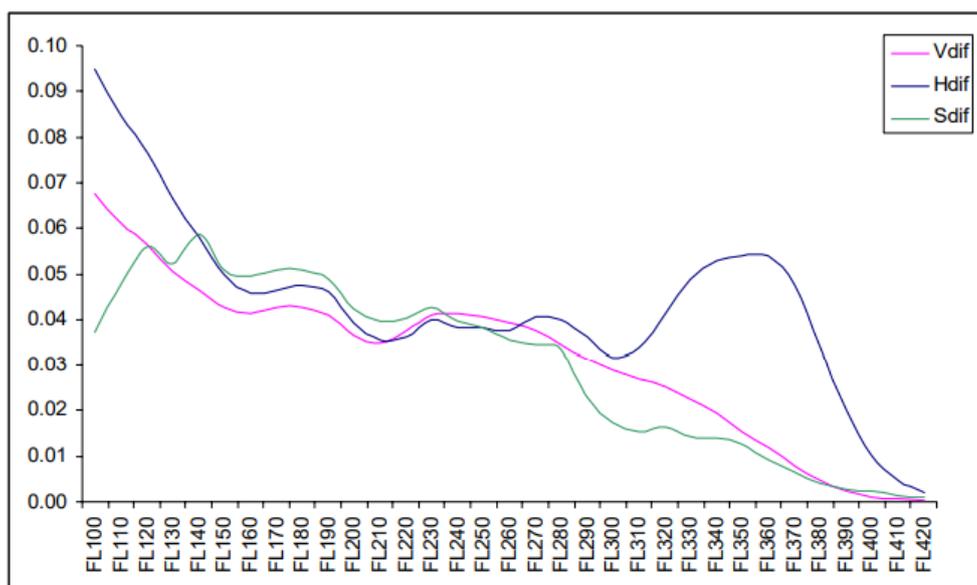


Slika 49 Prikaz grafa linearnosti za 2019. godinu između broja letova i HDIF

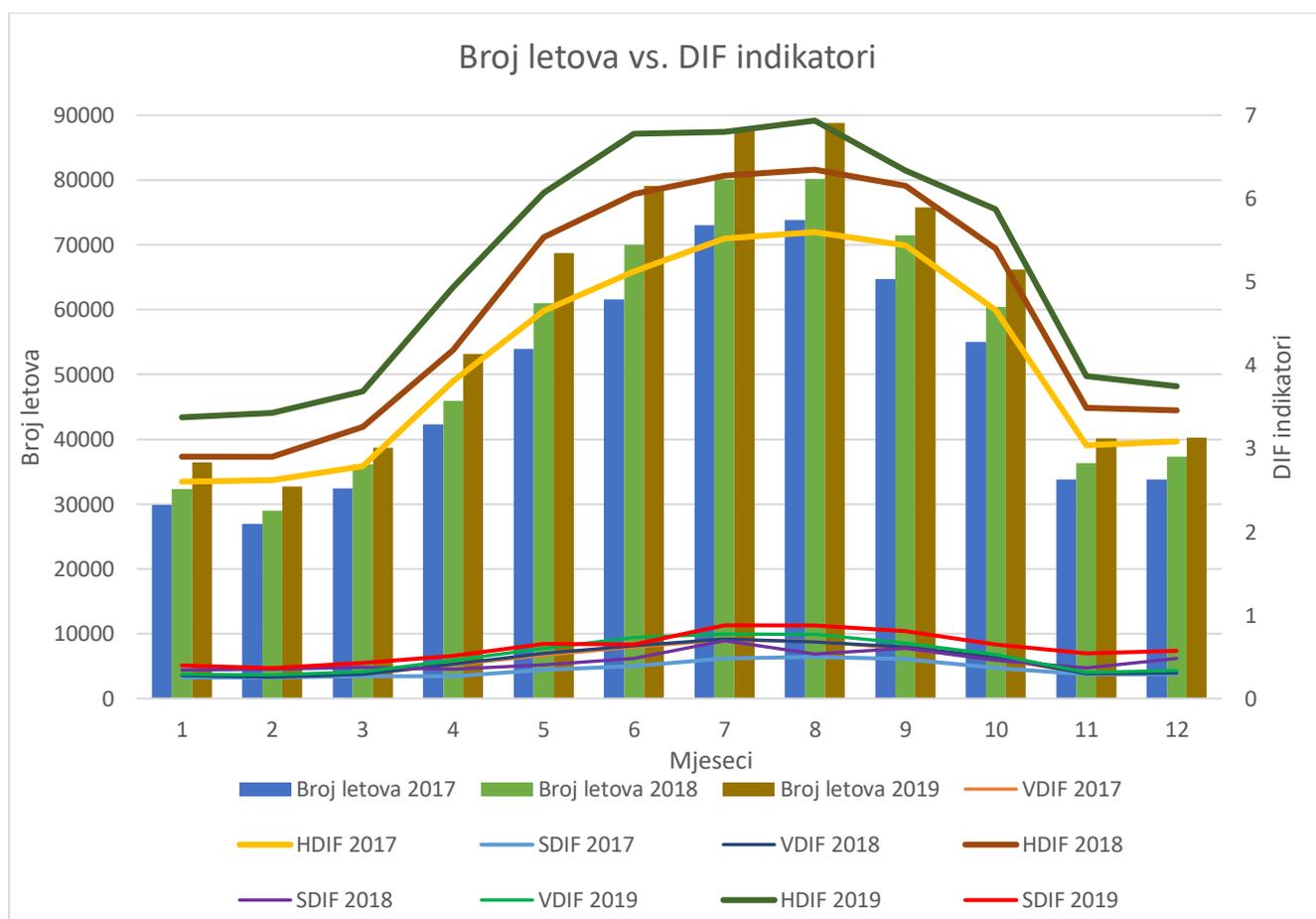


Slika 50 Prikaz grafa linearnosti za 2019. godinu između broja letova i SDIF

Grafički pregled korelacije broja letova i DIF-ova može se vidjeti sa slika od slike 40 do slike 48, a rezultate proračuna prikazuje tablica 28. Kada se promotre rezultati sa tablice i pripadajući grafovi vidi se kako je najmanja korelacija između broja letova i SDIF indikatora. S lijeve strane se mogu vidjeti grafovi linearnosti i uočeno je kako je linearnost najmanja između broja letova i SDIF-ova (vidi slike 42, 45 i 48). Vidljivo je i sa tablice 28 kako HDIF i VDIF imaju jaču sukladnu povezanost od kombinacija HDIF i SDIF te VDIF i SDIF. Iz PRU jedinice tvrde kako vrlo vjerojatan razlog tomu leži u razlici u prometnom uzorku i većoj koncentraciji prometa u zračnom prostoru ili najvjerojatnije u vremenu. Još jedna bitna stavka je ta kako HDIF, SDIF i VDIF imaju tendenciju smanjenje do FL300, a poslije te razine leta enormno se bilježi porast HDIF dok VDIF i SDIF nastavljaju se smanjivati. Takav slučaj prikazuje slika 49 gdje se vidi kako HDIF indikator bilježi ogroman rast poslije FL300.



Slika 51 Odnos DIF indikatora i razina leta [17]



Grafikon 19 Prikaz svih DIF indikatora i broja letova za period od tri godine

Grafikon 19 prikazuje sumirane podatke broja letova za period od 2017. do 2019. godine i uz to sve DIF indikatore također za sve te navedene godine. Korelacije između DIF indikatora su prikazane tablicom 28, a korelacije broja letova i DIF-ova tablicom 29.

Dakle, iz korelacija DIF-ova može se vidjeti kako svi su jako povezani. Iz statističkog proračuna može se vidjeti kako su VDIF i HDIF snažno povezani. Jaku povezanost također pokazuju VDIF i SDIF, dok također jaku povezanost prikazuju i SDIF i HDIF, no u manjoj mjeri nego ostale dvije korelacije. Također, bitno je naglasiti kako svi DIF indikatori visoko koreliraju sa prilagođenom gustoćom iz razloga jer su DIF indikatori podskup prilagođene gustoće koja sadrži sve interakcije.

## 7. Zaključak

Zračni prostor Republike Hrvatske se nalazi na pogodnom mjestu iz razloga jer čini granični zračni prostor između četiri glavne europske regije. Republika Hrvatska ima izrazito povoljan geoprometni položaj zračnog prostora. Zbog toga postoji mnoštvo preleta iznad RH i često dolazi do velikih povećanja u broju letova zbog povoljnog položaja zračnog prostora RH i turističke sezone ljeti. Kako bi se odvijao siguran, efikasan i ubrzan let, zračni prostor Republike Hrvatske je podijeljen operativno na vertikalni i horizontalni dio te pored toga na sektore koji se otvaraju ili zatvaraju ovisno o ponudi i potražnji kako bi kašnjenje bilo što manje. Posebno zahtjevno je ljetno razdoblje jer je povećan broj letova, a i česte su vojne vježbe koje ograničavaju upotrebu prostora za civilne operacije. Time se povećava kompleksnost.

Kompleksnost predstavlja težinu obavljanja nekog zadatka ili neko stanje koje je veoma teško za analizirati, separirati ili riješiti. Kompleksnost se može gledati kao multidimenzionalni koncept koji uključuje statičke sektorske karakteristike i dinamične prometne uzorke. Dokazano je kako kompleksnost pokreće radno opterećenje kontrolora zračnog prometa i smatra se kako to utječe na ograničavanje kapaciteta sektora. Budući da je istraživanje kompleksnosti od velikog značaja, EUROCONTROL je osmislio numerički način vrednovanja kompleksnosti (PRU model) jer je shvaćeno kako postoje indikatori kompleksnosti koji međusobno interagiraju. Indikatori od kojih se sastoji kompleksnost su prilagođena gustoća, VDIF, HDIF i SDIF. Do velikog povećanja prilagođene gustoće dolazi najviše kada se fundamentalna prometna potražnja fokusira u određenim dijelovima zračnog prostora ili u određenom vremenskom periodu dana te vojna područja koja su zabranjena civilnom zrakoplovstvu u nekom vremenskom periodu. Kompleksnije je kontrolirati promet u spuštanju, penjanju i krstarenju (povećanje VDIF) nego samo u penjanju ili spuštanju. Struktura toka prometa uzima u obzir HDIF te kompleksnije je kada promet ide unakrsno nego kada ide paralelno, a najveća kompleksnost iz ovog primjera proizlazi kada se promjeni rutna mreža. Svaki pojedini od ovih indikatora predstavlja mjeru kompleksnosti i međusobno interagiraju. Interakcija, jednostavno rečeno je prisutnost više zrakoplova u istom području u istom vremenskom periodu koji izaziva kompleksnost, a ona je još veća ako su zrakoplovi u drukčijim fazama leta, kursovima ili brzinama.

Budući da se ovaj rad temelji na usporedbi oblasnih operacija leta i kompleksnosti, analizom se došlo do zaključka kako kompleksnost je veoma jako povezana sa ER ATFM kašnjenjem i brojem letova. Korelacijom je zaključeno kako za period od tri godine odnosno 36 mjeseci, statistička analiza broja letova i iznosa kompleksnosti je rezultirala jakom korelacijom. To se može tvrditi jer granica značajnosti je dosta manja od vrijednosti vjerojatnosti (p-vrijednost) koja je dobivena koristeći t-test. Rezultat je uspoređen i sa kritičnom tabličnom vrijednošću koja je dokazala kako je rezultat statistički značajan. Budući da se korištenjem korelacija ne smije uspostavljati nikakva uzročno-posljedična veza, drugim znanstvenim pokusima bi se trebao ispitati uzrok i posljedica značaja između dvije varijable.

Uglavnom, putem grafova i jednadžbi koje se temelje na metodi linearne regresije pokazano je kako porast broja letova izaziva porast kompleksnosti.

Korelacijom kašnjenja i kompleksnosti također je utvrđeno kako te dvije varijable međusobno jako koreliraju. Zapaženo je putem analiziranja grafova i jednadžbi linearne regresije kako postoji povećanje kompleksnosti sa kašnjenjem. Izračunom postotaka utvrđeno je kako trend povećanja kašnjenja prati i povećanje kompleksnosti. Tako kašnjenje je bilo najveće za 2018. godinu pa 2019. i najmanje za 2017. godinu. Isti trend prati i povećanje kompleksnosti. Statistička analiza između varijabli broja letova i kašnjenja također potvrđuje jaku vezu korelacije između varijabli. Dokazano je kako vrlo pozitivno broj zrakoplova korelira sa kašnjenjem. Općenito, kako se povećavao broj zrakoplova u pojedinim mjesecima kašnjenje se također povećavalo. Takav trend je bio za vrijeme sezone, dakle od srpnja do rujna, uključujući. Zanimljiv podatak je kako je porast kašnjenja sa lipnja na srpanj 2017. iznosio 185,3% (dok je porast broja letova iznosio 18,52%), a smanjenje kašnjenja sa rujna na listopad 2017. je iznosilo 86,2% (smanjenje broja letova je iznosilo 15,01%). Uspoređujući broj letova i kašnjenje mora se naglasiti kako na kašnjenje utječe mnoštvo drugih varijabli te za krajnji zaključak bi se trebali provesti dodatni znanstveni pokusi sa naglaskom na unutarnje faktore nadležnih kontrola leta, meteorološke nepogode, ratovi i mnogi drugi utjecajni faktori. Korelacijom DIF indikatora i broja letova utvrđena je jaka korelacija koja je statistički značajna. Takva hipoteza se mogla i pretpostaviti jer DIF indikator su mjera kompleksnosti interakcija zrakoplova. Rezultati korelacije između VDIF, HDIF i SDIF su pokazali kako najviše koreliraju indikator VDIF i HDIF pa nadalje VDIF i SDIF i na kraju u manjoj mjeri nego ostali indikator SDIF i HDIF. Svi DIF indikator općenito su jako povezani sa četvrtim indikatorom, a to je prilagođena gustoća. Razlog tomu je jer su DIF indikator podskup prilagođene gustoće koja sadrži sve interakcije.

Korelacije su vršene između navedenih varijabli su pokazale visoke razine korelacije. Takva hipoteza je i pretpostavljena na početku ovo završnog rada jer svaka varijabli sadrži nešto što upotpunjava drugu varijablu. To je dokazano Pearsonovim i Spearmanovim korelacijama, a takav zaključak nije proizišao iz samih korelacija jer veoma je bitno da se uzrok ne traži u korelacijama jer to korelacije ne dokazuju. Porast svih brojki je bio za vrijeme ljetne sezone gdje su se računali postotci povećanja i smanjenja kašnjenja te broja letova.

Naglašava se kako svaka statistička obrada sadrži greške koje su neizbježne. Većinom su to greške mjerenje i greške korištenja različitih instrumenata (u ovom slučaju MS Excel) za statistički proračun. Svaka analiza se pokazala statistički značajnom i sukladno s tim odbacivala se nulta hipoteza i prihvaćala alternativna hipoteza. Rezultati analiza raznih varijabli nisu se koristili za utvrđivanje uzročno-posljedične veze jer to korelacije ne mogu pokazati niti dokazati. Svaki uzrok što je iznesen temelji se na pripadnim grafičkim prikazima i jednadžbi koje se temelje na metodi linearne regresije.

## Popis literature

- [1] B. Juričić, *TKZP1\_Airspace\_ATSRoutes\_2018.pdf*, Zagreb, 2018.
- [2] EASA, SERA.6001 Classification of Airspace, EASA.
- [3] E. U. A. S. Agency, »Easy Access Rules for Standardised European Rules of the Air,« March 2022. [Mrežno]. Available: <https://www.easa.europa.eu/document-library/easy-access-rules/online-publications/easy-access-rules-standardised-european?page=13>. [Pokušaj pristupa 25 5 2022].
- [4] C. Control, »eAIP Republic of Croatia,« [Mrežno]. Available: <https://www.crocontrol.hr/UserDocsImages/AIS%20produkti/eAIP/2022-06-16-AIRAC/html/index-en-HR.html>. [Pokušaj pristupa 10 5 2022].
- [5] ICAO, »Annex 11-Air Traffic Services«.
- [6] C. Control, »Cro Control,« [Mrežno]. Available: <https://www.crocontrol.hr/usluge/upravljanje-zracnim-prometom/>. [Pokušaj pristupa 10 5 2022].
- [7] EUROCONTROL, Local Single Sky Implementation (LSSIP) CROATIA – Year 2015 -, EUROCONTROL, 2016.
- [8] I. Mihetec, Upravljanje zračnom plovidbom, FPZ.
- [9] EUROCONTROL, »SkyBrary,« [Mrežno]. Available: <https://skybrary.aero/articles/reduced-vertical-separation-minima-rvsm>.
- [10] B. Juričić, *Pravila letenja*, Zagreb, 2019.
- [11] »Hrvatski jezični portal,« [Mrežno]. Available: [https://hjp.znanje.hr/index.php?show=search\\_by\\_id&id=eltuXBI%25253D](https://hjp.znanje.hr/index.php?show=search_by_id&id=eltuXBI%25253D). [Pokušaj pristupa 22 7 2022].
- [12] B. Hillburn, *Cognitive Complexity in Air Traffic Control*, Bruxelles: EUROCONTROL, 2003/2004.
- [13] A. W. G. o. Complexity, »Complexity metrics for ANSP Benchmarking Analysis,« Eurocontrol, Brussels, 2006.
- [14] »Wikiwand,« [Mrežno]. Available: [https://www.wikiwand.com/en/European\\_Civil\\_Aviation\\_Conference](https://www.wikiwand.com/en/European_Civil_Aviation_Conference). [Pokušaj pristupa 18 8 2022].
- [15] M. Žebec, *Motivacija i donošenje odluka-Zrakoplovna fiziologija i psihologija*.
- [16] B. Antulov-Fantulin i B. Juričić, *Air Traffic Control Complexity Workload*, FPZ.
- [17] B. Juričić, R. Tomislav, I. Francetić, D. Novak, D. Franjković, B. Pivčić, R. Babić-Škurla, M. Bratanić i T. Bošnjak, »Struna,« 2015. [Mrežno]. Available:

[https://bib.irb.hr/datoteka/932665.Hrvatsko\\_zrakoplovno\\_nazivlje\\_Struna.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/932665.Hrvatsko_zrakoplovno_nazivlje_Struna.pdf). [Pokušaj pristupa 3 9 2022].

- [18] E. -. P. R. U. (PRU), »EUROCONTROL - Performance Review Unit (PRU),« EUROCONTROL, 15 5 2018. [Mrežno]. Available: [https://ansperformance.eu/methodology/ATFM\\_delay\\_calculation.html](https://ansperformance.eu/methodology/ATFM_delay_calculation.html). [Pokušaj pristupa 12 5 2022].
- [19] B. Petz, Petzova statistika-osnovne statističke metode za nematematičare, Zagreb: Naklada Slap, 2012.
- [20] K. B. L. B.-Z. M. P. Martina Udovičić, »Što treba znati kada izračunavamo koeficijent korelacije?,« 2007..
- [21] »Shutterstock,« [Mrežno]. Available: <https://www.shutterstock.com/search/correlation-diagram>. [Pokušaj pristupa 18 8 2022].
- [22] »Biology for life,« [Mrežno]. Available: <https://www.biologyforlife.com/pearson-correlation.html>. [Pokušaj pristupa 13 7 2022].
- [23] EASA, »Easy Access Rules for Standardised European,« EASA, 2022..
- [24] EUROCONTROL, »CODA DIGEST ANNUAL,« EUROCONTROL, Brussel, 2021., 2020., 2019., 2018., 2017..
- [25] S. E. Network, »Aviation,« [Mrežno]. Available: <https://aviation.stackexchange.com/questions/36112/how-does-vertical-separation-work-above-fl400>. [Pokušaj pristupa 18 8 2022].
- [26] EASA, »SERA-Section 5«.



## Popis slika

Slika 1 Prikaz teritorijalnog dijela BiH koji sporazumno koristi RH zbog rute ZAG-SPU [4].....	7
Slika 2 Prikaz TMA i zračnih koridora između dva CTR-a [1] .....	8
Slika 3 Vertikalna podjela zračnog prostora u Republici Hrvatskoj [1] .....	10
Slika 4 Prikaz završnih kontroliranih oblasti (TMA) zračnih luka Dubrovnik i Zagreb [4].....	12
Slika 5. CTR Rijeka, Osijek, Zadar i Dubrovnik [4] .....	13
Slika 6. Razni oblici CTR-ova [1] .....	13
Slika 7 CTA i CTR [1] .....	14
Slika 8. Opasna zona LDD21 [4] .....	16
Slika 9. Uvjetno zabranjena zona LDR25 [4].....	16
Slika 10. Permanentno uvjetno zabranjeno područje LDR49 SLANO [4] .....	17
Slika 11. Jedine dvije ograničene zone u RH [4] .....	17
Slika 12 RVSM i ne-RVSM visine [10] .....	20
Slika 13 ECAC područje [13] .....	27
Slika 14 Prikaz ćelije [12].....	28
Slika 15 Prikaz interakcija [12].....	29
Slika 16 Prikaz izračuna za indikator prilagođene gustoće [12].....	30
Slika 17 Prikaz vertikalnih interakcija [12].....	31
Slika 18 Potencijalna horizontalna interakcija [12].....	32
Slika 19 Wickensov model donošenja odluke [14] .....	35
Slika 20 Predloženi model ATC kompleksnosti i radnog opterećenja [16].....	37
Slika 21 Prikaz jačine povezanosti varijabli i pripadne korelacije [20].....	61
Slika 22 Prikaz proračuna Pearsonovog koeficijenta korelacije u programu MS Excel [18].....	63
Slika 23 Pearsonove kritične vrijednosti koeficijenta korelacije r [21] .....	64
Slika 24 Prikaz proračuna Spearmanovog koeficijenta korelacije u programu MS Excel.....	65
Slika 25 Spearmanove kritične vrijednosti koeficijenta korelacije [21] .....	66
Slika 26 Prikaz linearnosti podataka broja letova i kompleksnosti za 2017. godinu .....	67
Slika 27 Prikaz broja letova i iznosa kompleksnosti .....	68
Slika 28 Prikaz linearnosti podataka broja letova i kompleksnosti za 2018. godinu .....	69
Slika 29 Prikaz broja letova i iznosa kompleksnosti za 2018. godinu.....	69
Slika 30 Prikaz linearnosti podataka broja letova i kompleksnosti za 2019. godinu .....	70
Slika 31 Prikaz broja letova i iznosa kompleksnosti za 2019. godinu.....	71
Slika 32 Prikaz linearnosti podataka ER ATFM kašnjenja i kompleksnosti za 2017. godinu.....	72
Slika 33 Prikaz linearnosti podataka ER ATFM kašnjenja i iznosa kompleksnosti za 2018. godinu .....	73
Slika 34 Prikaz linearnosti podataka ER ATFM kašnjenja i iznosa kompleksnosti za 2019. godinu .....	73
Slika 35 Prikaz kompleksnosti i kašnjenja za godine 2017., 2018. i 2019. [17] .....	74
Slika 36 Prikaz linearnosti rangiranih podataka (Spearmanov koeficijent korelacije) broja letova i ER ATFM kašnjenja za 2017. godinu .....	76
Slika 37 Graf linearnosti korišten za Pearsonov koeficijent korelacije broja letova i ER ATFM kašnjenja za 2017. godinu.....	76
Slika 38 Prikaz linearnosti rangiranih podataka (Spearmanov koeficijent korelacije) broja letova i ER ATFM kašnjenja za 2018. godinu .....	76
Slika 39 Graf linearnosti za Pearsonov koeficijent korelacije broja letova i ER ATFM kašnjenja za 2018. godinu .....	77

Slika 40 Prikaz linearnosti rangiranih podataka (Spearmanov koeficijent korelacije) broja letova i ER ATFM kašnjenja) za 2019. godinu .....	77
Slika 41 Graf linearnosti za Pearsonov koeficijent korelacije broja letova i ER ATFM kašnjenja za godinu 2019.....	77
Slika 42 Prikaz grafa linearnosti (lijevo) za 2017. godinu između broja letova i VDIF .....	81
Slika 43 Prikaz grafa linearnosti za 2017. godinu između broja letova i HDIF.....	82
Slika 44 Prikaz grafa linearnosti za 2017. godinu između broja letova i SDIF .....	82
Slika 45 Prikaz grafa linearnosti za 2018. godinu između broja letova i VDIF .....	82
Slika 46 Prikaz grafa linearnosti za 2018. godinu između broja letova i HDIF.....	83
Slika 47 Prikaz grafa linearnosti za 2018. godinu između broja letova i SDIF .....	83
Slika 48 Prikaz grafa linearnosti za 2019. godinu između broja letova i VDIF .....	83
Slika 49 Prikaz grafa linearnosti za 2019. godinu između broja letova i HDIF.....	84
Slika 50 Prikaz grafa linearnosti za 2019. godinu između broja letova i SDIF .....	84
Slika 51 Odnos DIF indikatora i razina leta [17] .....	85

## Popis grafikona

Grafikon 1 En-route ATFM kašnjenje za hrvatsku kontrolu zračne plovidbe (2017.) [17] .....	39
Grafikon 2 Prosječno en-route ATFM kašnjenje po letu zbog uzroka za godinu 2017. [17] .....	40
Grafikon 3 En-route ATFM kašnjenje za hrvatsku kontrolu zračne plovidbe (2018. i 2019.) [17].....	43
Grafikon 4 Prosječno en-route ATFM kašnjenje po letu zbog uzroka za godine 2018. i 2019 [17].....	44
Grafikon 5 En-route ATFM kašnjenje za hrvatsku kontrolu zračne plovidbe (2017./2018./2019) [17].	46
Grafikon 6 Prosječno en-route ATFM kašnjenje po letu zbog uzroka za godine 2017./2018. i 2019. [17] .....	46
Grafikon 7 Prikaz vrijednosti iznosa kompleksnosti za godinu 2017. [17] .....	50
Grafikon 8 Razdioba strukturalnog indeksa po mjesecima za godinu 2017. [17] .....	50
Grafikon 9 Prikaz vrijednosti iznosa kompleksnosti za godinu 2018. [17] .....	51
Grafikon 10 Razdioba strukturalnog indeksa po mjesecima za godinu 2018. [17] .....	52
Grafikon 11 Prikaz vrijednosti iznosa kompleksnosti za godinu 2019. [17] .....	53
Grafikon 12 Razdioba strukturalnog indeksa po mjesecima za godinu 2019. [17] .....	54
Grafikon 13 Prikaz dnevnih vrijednosti iznosa kompleksnosti za najprometnije mjesece u 2017. godini. [17].....	55
Grafikon 14 Prikaz dnevnih vrijednosti iznosa kompleksnosti za najprometnije mjesece u 2018. godini [17].....	55
Grafikon 15 Prikaz dnevnih vrijednosti iznosa kompleksnosti za najprometnije mjesece u 2019. godini [17].....	56
Grafikon 16 Prikaz iznosa kompleksnosti za cijelu 2019. godinu. [17] .....	58
Grafikon 17 Razdioba strukturalnog indeksa za kolovoz 2019. [17].....	59
Grafikon 18 Odnos broja letova i ER ATFM kašnjenja za sve godine.....	79
Grafikon 19 Prikaz svih DIF indikatora i broja letova za period od tri godine .....	85

## Popis tablica

Tablica 1 Minimalna VMC vidljivost i udaljenost od baze oblaka [4].....	5
Tablica 2 Prikaz dimenzija kompleksnosti i njima pripadajući indikatora [12].....	26
Tablica 3 Prikaz potencijalnih horizontalnih interakcija između zrakoplova na primjeru slike 19 [12] ..	32
Tablica 4 Pregled vrijednosti broja letova i kašnjenja za 2017. godinu u zračnom prostoru Republike Hrvatske. [17] .....	39
Tablica 5 Prikaz vrijednosti kašnjenja po grupi kašnjenja. [17] .....	40
Tablica 6 Vrijednosti kašnjenja po kategorijama za 2017. godinu (HKZP) [17] .....	41
Tablica 7 Pregled vrijednosti broja letova i kašnjenja za 2018. i 2019. godinu u zračnom prostoru Republike Hrvatske. [17] .....	42
Tablica 8 Prikaz vrijednosti kašnjenja po grupi kašnjenja za 2018. i 2019. godinu [17] .....	43
Tablica 9 Vrijednosti kašnjenja po kategorijama za 2018. godinu (HKZP) [17] .....	45
Tablica 10 Vrijednosti kašnjenja po kategorijama za 2019. godinu (HKZP) [17] .....	45
Tablica 11 Karakteristične formule za proračun glavnih stavki [17] .....	48
Tablica 12 Opis oznaka iz tablice 11 [17] .....	48
Tablica 13 Prikaz karakterističnih podataka redom za 2017./2018./2019. za zračni prostor RH iznad FL100 [17].....	48
Tablica 14 Prikaz vrijednosti strukturalnog indeksa, iznosa kompleksnosti i prilagođene gustoće za 2017. godinu [17].....	49
Tablica 15 Prikaz strukturalnih vrijednosti kompleksnosti po mjesecima za 2017.godinu [17].....	49
Tablica 16 Prikaz vrijednosti strukturalnog indeksa, iznosa kompleksnosti i prilagođene gustoće za 2018. godinu. [17].....	51
Tablica 17 Prikaz strukturalnih vrijednosti kompleksnosti po mjesecima za 2018.godinu [17].....	52
Tablica 18 Prikaz vrijednosti strukturalnog indeksa, iznosa kompleksnosti i prilagođene gustoće za 2019. godinu. [17].....	53
Tablica 19 Prikaz strukturalnih vrijednosti kompleksnosti po mjesecima za 2019.godinu. [17].....	54
Tablica 20 Prikaz podataka za srpanj i kolovoz 2019. [18] .....	57
Tablica 21 Prikaz jačina povezanosti između varijabli i apsolutne vrijednosti koeficijenta korelacije [19].....	60
Tablica 22 Prikaz glavnih podataka korelacije za broj letova i kompleksnost.....	71
Tablica 23 Prikaz statistički značajnih Pearsonovih i Spearmanovih koeficijenata korelacije ER ATFM kašnjenja i kompleksnosti za sve tri godine .....	72
Tablica 24 Prikaz statistički značajnih Pearsonovih i Spearmanovih koeficijenata korelacije broja letova i ER ATFM kašnjenja za sve tri godine .....	75
Tablica 25 Prikaz kašnjenja u minutama po karakterističnim mjesecima zbog povećanja ili smanjenja kašnjenja .....	79
Tablica 26 Porast kašnjenja sa lipnja na srpanj za sve godine.....	79
Tablica 27 Pad kašnjenja sa rujna na listopad .....	79
Tablica 28 Postotci porasta/pada broja letova ovisno o mjesecima .....	80
Tablica 29 Korelacije između DIF-ova za period od tri godine .....	80
Tablica 30 Rezultati statističke analize broja letova i DIF indikatora za period od tri godine .....	81

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Utjecaj rutnih operacija na kompleksnost zračnog prometa za zračni prostor Republike Hrvatske, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 5.9.2022.

Mario Žilić,

(ime i prezime, *potpis*)