

# Utjecaj prometne potražnje na kompleksnost zračnog prometa

---

Markulin, Dora

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:231863>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-03**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

# **UTJECAJ PROMETNE POTRAŽNJE NA KOMPLEKSNOŠĆ ZRAČNOG PROMETA THE IMPACT OF TRAFFIC DEMAND ON THE AIR TRAFFIC COMPLEXITY**

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

Student: Dora Markulin

JMBAG: 0135254338

Zagreb, srpanj 2022.

Zagreb, 6. svibnja 2022.

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

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 6737

Pristupnik: **Dora Markulin (0135254338)**  
Studij: **Aeronautika**  
Smjer: **Kontrola leta**

Zadatak: **Utjecaj prometne potražnje na kompleksnost zračnog prometa**

### Opis zadatka:

Uvodno navesti cilj i strukturu rada. Analizirati prometne podatke od 2018. do 2021. godine. Proučiti i analizirati podatke o prometnoj potražnji STATFOR-a od 2018. nadalje. Objasniti metodologiju odrađivanja kompleksnosti zračnog prometa u NEST-u. Izračunati kompleksnost zračnog prometa za definirane vremenski uzorke prometa za hrvatski zračni promet. Simulirati povećanje prometne potražnje od 5, 10 i 15 % te izračun kompleksnosti u tim uvjetima. Usporedba i analizirati dobivene rezultate. Dati zaključna razmatranja.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

izv. prof. dr. sc. Biljana Juričić

## SAŽETAK

Analizom prometnih podataka objavljenih od strane HKZP-a vidljivo je povećanje prometa i prometne potražnje zadnjih nekoliko godina. Prometne prognoze prometne potražnje koje je objavio EUROCONTROL predviđaju rast prometa bez obzira na zadnje dvije godine koje su zabilježile veliki pad prometa zbog pandemije uzrokovane virusom SARS Covid-19. Prometna potražnja povezana je s kompleksnosti koja ovisi o različitim indikatorima. Pomoću programa NEST mogu se izračunati ti indikatori i napraviti konačan rezultat kompleksnosti pomoću formula za izračun kompleksnosti. U programu NEST mogu se napraviti različite simulacije prometa. U ovom radu su napravljene simulacije povećanja prometne potražnje prometa 2018. godine za 5, 10 i 15 % te je uspoređen promet i kompleksnost u odnosu na 2018. i 2019. godinu. Konačni rezultati pokazuju kako je prometna potražnja utjecala na kompleksnost zračnog prometa.

KLJUČNE RIJEČI: povećanje prometa; prometna potražnja; prognoze prometa; kompleksnost zračnog prometa; program NEST

## SUMMARY

An analysis of traffic data published by HKZP shows an increase in traffic and traffic demand over the past few years. Traffic demand forecasts published by EUROCONTROL predict traffic growth regardless of the last two years, which have seen a large drop in traffic due to the pandemic caused by the SARS Covid-19 virus. Traffic demand is associated with complexity that depends on different indicators. Using the NEST program, these indicators can be calculated and a final complexity result can be made using formulas for calculating complexity. Various traffic simulations can be made in the NEST program. In this paper, simulations of the increase in traffic demand in 2018 by 5, 10 and 15% were made, and traffic and complexity were compared to 2018 and 2019. The final results show how traffic demand affected the complexity of air traffic.

KEYWORDS: increase in traffic; traffic demand; traffic forecasts; complexity of air traffic; NEST program

# SADRŽAJ

SAŽETAK.....	3
SUMMARY .....	3
1. UVOD .....	1
2. ANALIZA PROMETNIH PODATAKA OD 2018. DO 2021. GODINE.....	3
2.1. Podaci o zračnom prometu 2018. godine.....	3
2.2. Podaci o zračnom prometu 2019. godine.....	6
2.3. Podaci o zračnom prometu 2020. godine.....	10
2.4. Podaci o zračnom prometu 2021. godine.....	14
3. ANALIZA PROMETNE POTRAŽNJE STATFOR-a OD 2018. NADALJE .....	17
4. METODOLOGIJA ODREĐIVANJA KOMPLEKSNOSTI U NEST-u I IZRAČUN ZA HRVATSKU .....	21
4.1. Dimenzije kompleksnosti .....	21
4.1.1. Dimenzije kompleksnosti prometnih karakteristika .....	21
4.1.2. Dimenzije kompleksnosti zračnog prostora .....	22
4.1.3. Dimenzije kompleksnosti vanjskih ograničenja .....	23
4.2. Indikatori kompleksnosti .....	23
4.2.1. Dimenzije ćelija.....	23
4.2.2. Interakcije.....	24
4.2.3. Prilagođena gustoća.....	26
4.2.4. Vertikalne interakcije .....	27
4.2.5. Horizontalne interakcije .....	28
4.2.6. Interakcije brzine .....	29
4.3. Rezultati kompleksnosti.....	30
4.4. Program NEST i izračun kompleksnosti .....	31
5. SIMULACIJA POVEĆANJA PROMETNE POTRAŽNJE OD 5, 10 I 15 % I IZRAČUN KOMPLEKSNOSTI.....	37
5.1. Simulacija prometa .....	37
5.2. Izračun kompleksnosti za simulirani promet .....	40
6. USPOREDBA REZULTATA .....	41
6.1. Usporedba prometa .....	41
6.2. Usporedba kompleksnosti.....	42
7. ZAKLJUČAK .....	47
Bibliografija.....	48

Popis slika.....	50
Popis tablica .....	51
Popis grafikona.....	52

## 1. UVOD

Zračni promet, iako je najmlađa prometna grana, bilježi veliki napredak te postaje jedan od glavnih oblika prijevoza. Zračni prostor zbog sve veće prometne potražnje postaje zagušeniji te je potrebno promatrati tokove prometa da bi se unaprijedila usluga. Kontrolori zračnog prometa mogu iskusiti opterećenje koje je uzrokovano složenim zadaćama s kojima se susreću tijekom obavljanja svog posla. Zbog povećanja prometne potražnje upravljanje zračnim prometom može predstavljati izazov za pružatelje usluga. Povećanje broja letova i ograničenost prostora neki su od prometnih pokazatelja prometne potražnje, dok složenost upravljanja zračnim prometom koje je povezano s opterećenjem kontrolora predstavlja kompleksnost. Povezanost prometnih pokazatelja, prometne potražnje i kompleksnosti objašnjeni su u ovom radu. Svrha ovog rada je prikazati utjecaj potražnje na samu kompleksnost zračnog prometa pomoću programa NEST. Cilj ovog rada je na temelju izračuna i simulacija prometa proučiti kako povećanje/smanjenje različitih indikatora utječe na kompleksnost.

Rad je podijeljen na sedam cjelina:

1. Uvod
2. Analiza prometnih podataka od 2018. do 2021. godine
3. Analiza prometne potražnje STATFOR-a od 2018. nadalje
4. Metodologija određivanja kompleksnosti u NEST-u i izračun za Hrvatsku
5. Simulacija povećanja prometne potražnje od 5, 10 i 15 % i izračun kompleksnosti
6. Usporedba rezultata
7. Zaključak

U drugom poglavlju analiziran je promet u hrvatskom zračnom prostoru na temelju izvješća koja je objavio pružatelj usluga kontrole zračnog prometa u Hrvatskoj – Hrvatska kontrola zračne plovidbe.

Treće poglavlje analizira prometnu potražnju za buduće godine s obzirom na prognoze koje je objavio EUROCONTROL. Postoje tri vrste prognoza koje omogućuje STATFOR zbog različitih rizika koji se mogu dogoditi, a nisu bili predviđeni poput pandemije uzrokovane virusom SARS Covid-19.

Kompleksnost je definirana u četvrtom poglavlju, zajedno s indikatorima koji utječu na kompleksnost. U tom poglavlju je objašnjeno kako se određuje kompleksnost u programu NEST te je napravljen izračun za Hrvatsku za definirani vremenski uzorak.

Peto poglavlje objašnjava provedbu simulacije prometa u programu NEST te izračun kompleksnosti za promet koji je napravljen u simulaciji.

U šestom poglavlju napravljena je usporedba rezultata koji su dobiveni iz četvrtog i petog poglavlja.

U sedmom poglavlju nalazi se zaključak ovog rada.



## 2. ANALIZA PROMETNIH PODATAKA OD 2018. DO 2021. GODINE

Zračni promet podrazumijeva prijevoz putnika i tereta u zračnom prostoru. Korisnici zračnog prostora dijele se na civilne i vojne. U civilne korisnike pripadaju opći zračni promet (*General Air Traffic - GAT*) i civilni zračni promet. U opći zračni promet pripadaju svi letovi civilnih zrakoplova, te državnih i vojnih zrakoplova ukoliko se obavljaju prema postupcima koje je propisao ICAO. Civilni zračni promet čini sav zračni promet, izuzev vojnog. U vojne korisnike pripadaju operativni zračni promet (*Operational Air Traffic - OAT*) te vojni zračni promet. Operativni zračni promet čine svi letovi civilnih, državnih te vojnih zrakoplova čiji postupci odstupaju od pravila za opći zračni promet i djeluju po posebno utvrđenim postupcima, dok vojni zračni promet čine svi hrvatski i inozemni vojni zrakoplovi [1]. Zračni promet se može podijeliti i prema prostoru djelovanja pa tako postoje lokalni, regionalni, domaći, međunarodni i međukontinentalni promet. Zračni promet u Republici Hrvatskoj napredovao je kroz godine te je postao jedan od glavnih oblika prijevoza.

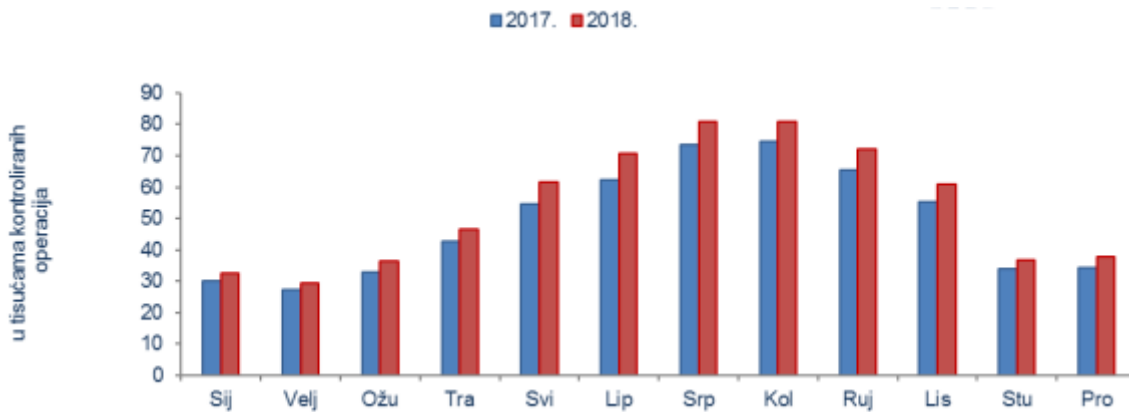
### 2.1. Podaci o zračnom prometu 2018. godine

Zračni promet iskazan kroz ostvareni broj kontroliranih operacija je jedan od pokazatelja iskorištenosti kapaciteta kontrole zračnog prometa. Ostvareni promet odnosi se na letove koji se obavljaju prema pravilima instrumentalnog letenja (IFR – GAT). Ostvareni broj kontroliranih operacija u 2018. godini iznosio je 646 656, dok je tijekom 2017. godine ostvareno 586 684 kontroliranih operacija. Tijekom 2018. godine ostvareno je 10,2 % više letova u odnosu na 2017. godinu, te 8,3 % više od planiranih letova za 2018 [2]. Na slici 1. prikazan je broj kontroliranih operacija.

Kontrolirane operacije (IFR-GAT)					
	I-XII 2017.	I-XII 2018.	Indeks 2018. / 2017.	Plan 2018.	% ostvarenja Plana
Kontrolirane operacije	586.684	646.656	110,2	597.000	108,3

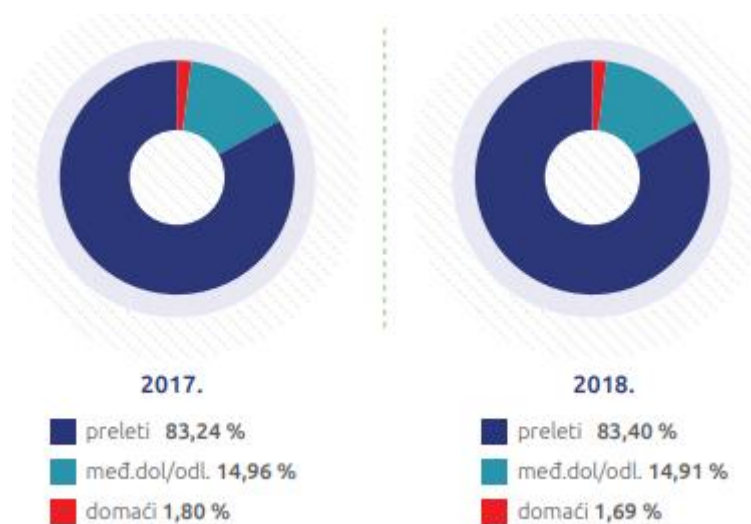
Slika 1. Kontrolirane operacije - IFR GAT (FIR Zagreb) 2018. [2]

Tijekom ljetnog razdoblja (od 5. do 10. mjeseca) promet je porastao za 10,7 % u odnosu na isto razdoblje 2017., u zimskom razdoblju taj porast je iznosio 9,1 %. Prosječni dnevni broj letova u ljetnom razdoblju bio je veći za 222 leta, dok je u zimskom bio veći za 100 letova [3]. Broj kontroliranih operacija po mjesecima prikazan je na slici 2.



Slika 2. Ostvareni broj kontroliranih operacija u 2018. godini [2]

Broj preleta povećan je za 10,4 % u odnosu na 2017., broj međunarodnih polijetanja i slijetanja na hrvatskim aerodromima povećan za 9,9 %, a domaći promet za 3,4 %. Prema udjelima u ukupnom prometu udio preleta povećan je za 0,16 %, udio međunarodnih dolazaka i odlazaka smanjen je za 0,5 %, dok je udio domaćeg prometa smanjen za 0,11% [3]. Usporedba udjela u ukupnom prometu 2018. u odnosu na 2017. prikazan je na slici 3.

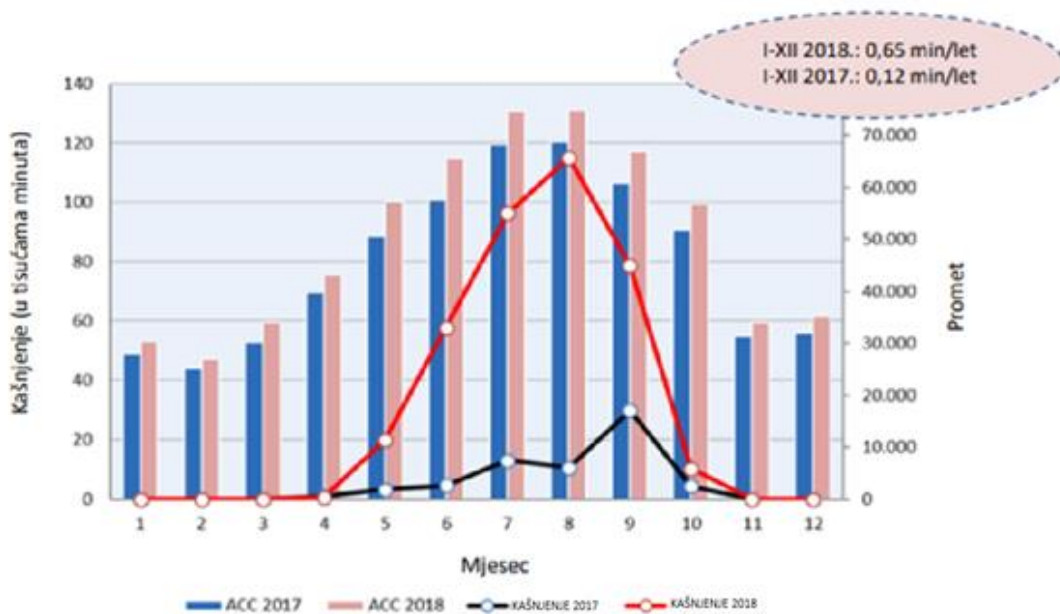


Slika 3. Struktura kontroliranih operacija 2017./2018. [3]

Povećanjem prometne potražnje u 2018. godini povećala su se i kašnjenja. Plan rutnog kašnjenja za 2018. godinu bio je 0,21 minuta po letu. Po EUROCONTROL-ovoj metodologiji izračuna vrijednost kašnjenja na ruti iznosi 388 534 minuta, te tako ostvareno rutno kašnjenje u 2018. iznosi 0,65 min/ let. Uzroci ostvarenih rutnih kašnjenja bili su [2]:

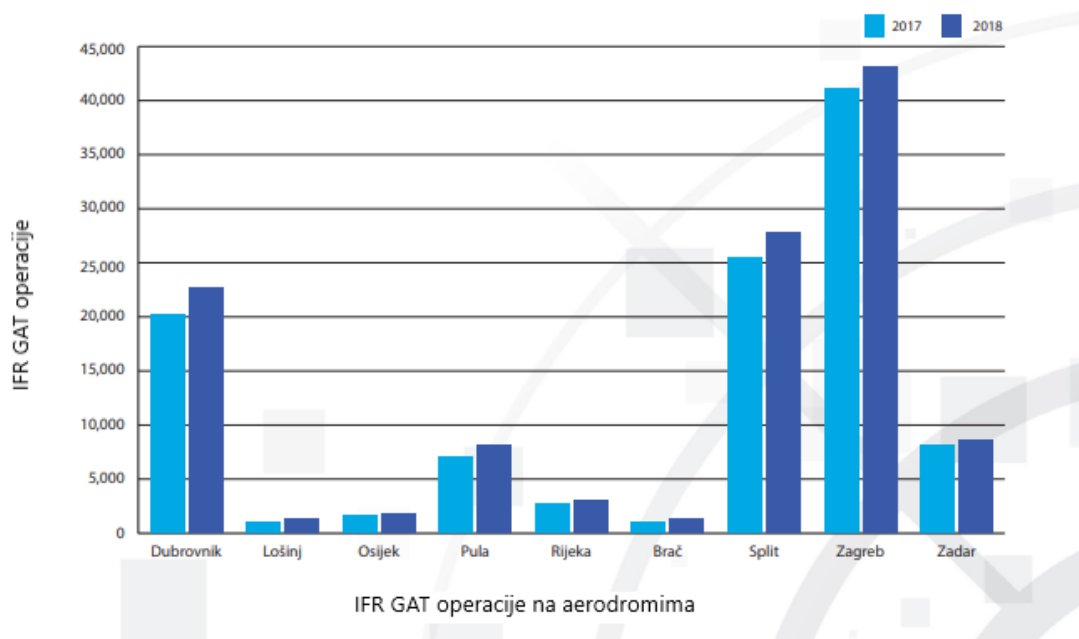
- Kapacitet (55,7%)
- Vremenski uvjeti (41,6 %)
- Nedostatak operativnog osoblja (2,2 %).

Promet i rutno kašnjenje u 2018. u odnosu na 2017. prikazani su na slici 4.

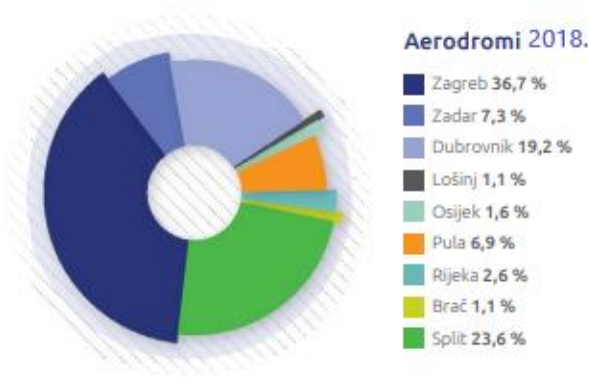


Slika 4. Usporedba prometa i kašnjenja 2017./2018. [2]

Promet na hrvatskim aerodromima se odnosi na polijetanja i slijetanja, a ukupni promet na aerodromima u 2018. godini je porastao za 8,4 % s obzirom na 2017. godinu [3]. Promet IFR GAT operacija na aerodromima u Republici Hrvatskoj prikazan je na slici 5., dok je udio pojedinih aerodroma u ukupnom prometu prikazan na slici 6.



Slika 5. Promet na hrvatskim aerodromima 2017./2018. [4]



Slika 6. Prikaz udjela prometa na hrvatskim aerodromima 2018. [3]

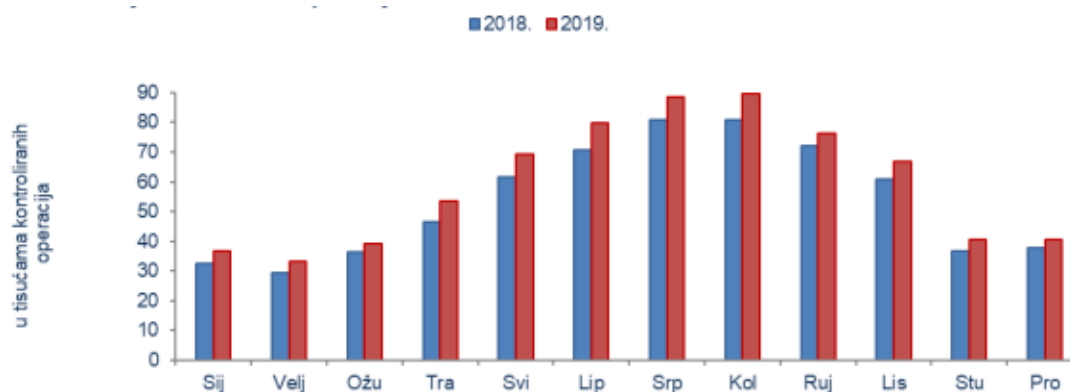
## 2.2. Podaci o zračnom prometu 2019. godine

Broj kontroliranih operacija jedan je glavnih pokazatelja prometnog kapaciteta. U 2019. godini dosegnut je vrhunac kontroliranih operacija u hrvatskom zračnom prostoru te je iznosio 714 216 letova. U odnosu na 2018., ostvareno je 10,4 % više letova te 4,7 % više letova nego je bilo planirano, što je prikazano na slici 1 [5].

Kontrolirane operacije (IFR-GAT)					
	I-XII 2018.	I-XII 2019.	Indeks 2019. / 2018.	Plan 2019.	% ostvarenja Plana
Kontrolirane operacije	646.656	714.216	110,4	682.000	104,7

Slika 7. Kontrolirane operacije - IFR GAT (FIR Zagreb) 2019. [5]

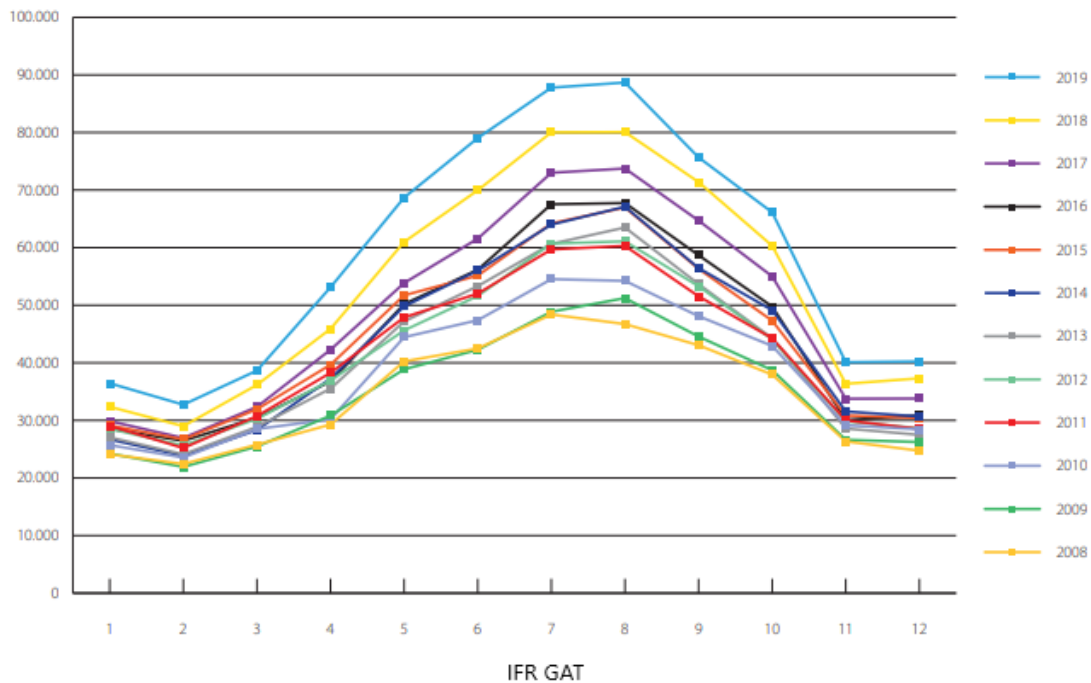
Na slici 2. se može primijetiti kako se porast letova ostvario tokom cijele godine, a ne samo tijekom ljetnog razdoblja. U kolovozu je ostvaren najveći broj operacija (oko 90 000), dok je u 2018. broj letova u istom tom mjesecu bio oko 80 000.



Slika 8. Ostvareni broj kontroliranih operacija u 2019. godini [5]

Povećanje prometa rezultat je uspostave Jedinственog europskog neba i zračnog prostora slobodnih ruta. Zajedničko jugoistočno nebo (SECSI) nastalo je spajanjem dva

prostora, a to su: SAXFRA ( Slovenija i Austrija) te SEAFRA (Hrvatska, Bosna i Hercegovina, Srbija te Crna Gora). Uspostavom takvog prostora korisnicima zračnog prostora ponuđene su mnoge pogodnosti poput korištenja najkraćih ruta, smanjenje udaljenosti, ušteda goriva te manje emisije CO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> [5]. Do uspostave Jedinственog europskog neba godišnje povećanje prometa iznosilo je od 2 000 do 5 000 operacija u najprometnijem mjesecu, a nakon uspostave taj broj se povećao do 10 000 operacija. Usporedbu IFR-GAT prometa po mjesecima od 2008. do 2019. godine prikazano je na slici 3.



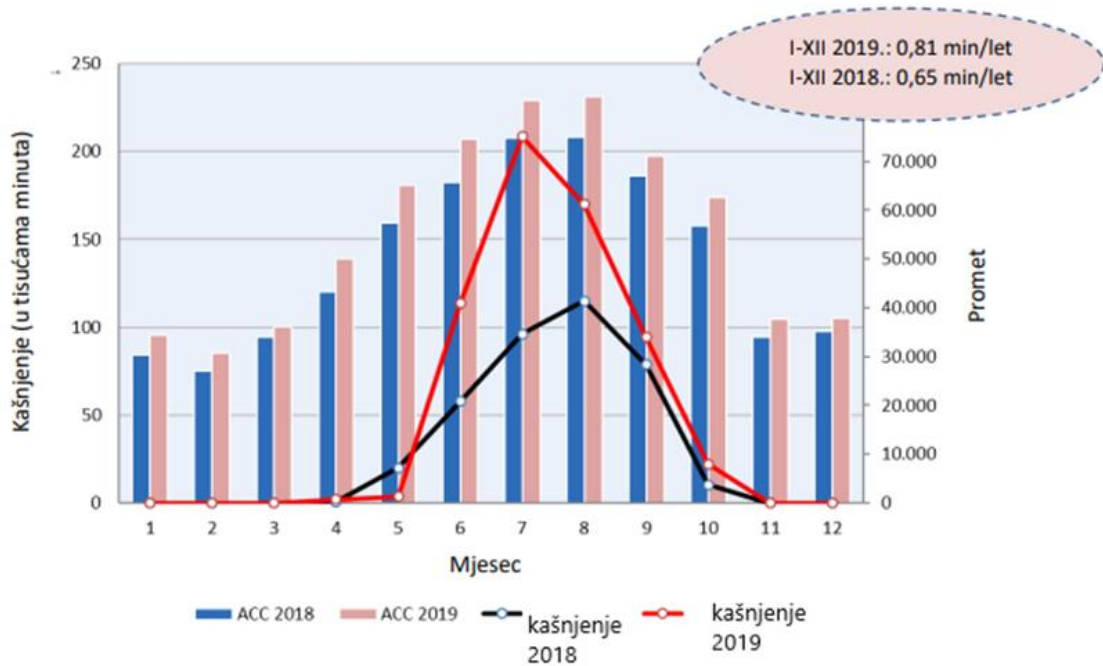
Slika 9. Usporedba IFR - GAT prometa 2008. - 2019. [6]

Toliko povećanje prometa rezultiralo je povećanjem kašnjenja te je prema EUROCONTROL-ovim mjerenjima evidentirano 625 814 minuta kašnjenja, odnosno 0,94 minute kašnjenja po letu. Najčešći uzroci ATFM rutnog kašnjenja bili su:

- Kapacitet (55,3 %)
- Vremenski uvjeti (40,8 %)

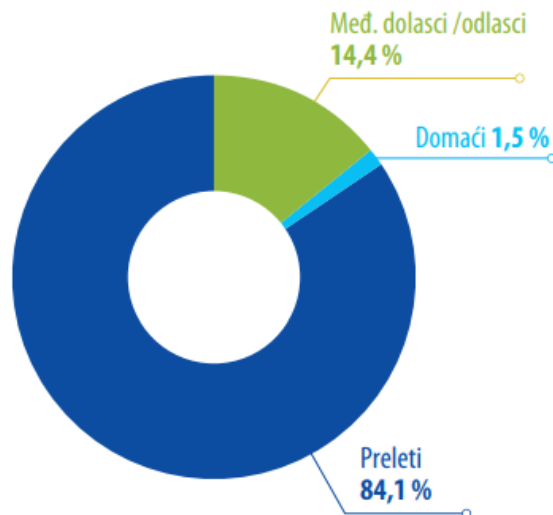
Određena količina kašnjenja pripisana je Upravitelju mreže (NM), odnosno postupcima koje je primijenio kako bi rasteretio preopterećene dijelove. Ti postupci su imali utjecaj na performanse Hrvatske kontrole zračne plovidbe te je ukupno kašnjenje umanjeno na 539 897 minuta, tj. 0,81 minuta po letu. Iako je kapacitet u razvoju, sporije napreduje od razvoja

prometne potražnje i visokog rasta prometa te se javljaju kašnjenja [5]. Na slici 4. se može primijetiti kako u zimskom razdoblju letenja nisu toliko izražena kašnjenja kao što je to tijekom ljetnog razdoblja.



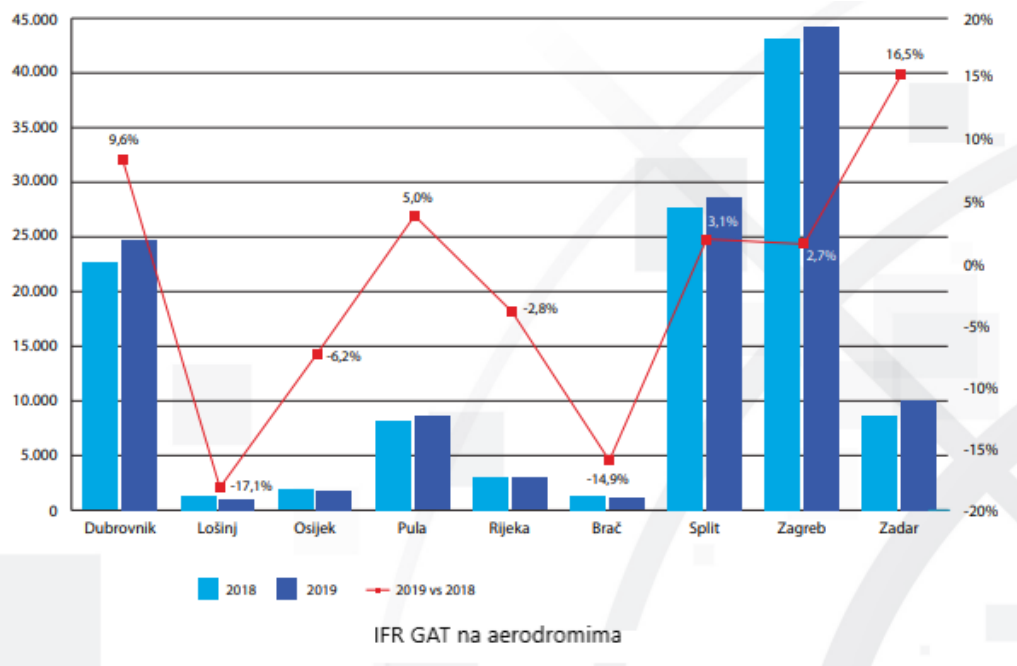
Slika 10. Usporedba prometa i kašnjenja 2018./2019. [5]

Najviše operacija ostvareno je u preletima (84,1%), a kompanije s najviše preleta u 2019. godini bili su Wizz Air, Ryanair, easyJet, Eurowings te Turkish Airlines. Prema udjelima u ukupnom prometu u odnosu na 2018. godinu, udio preleta povećan je za 0,70 %, udio međunarodnih dolazaka i odlazaka je smanjen za 0,51 %, a domaći promet je smanjen za 0,19 % [7]. Usporedba udjela u ukupnom prometu 2018./2019. prikazano je na slikama 5. i 6.



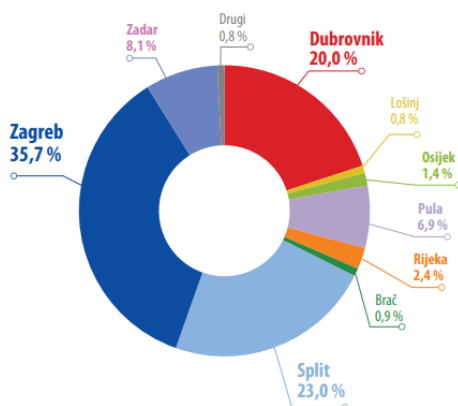
Slika 11. Struktura kontroliranih operacija 2019. [7]

Promet na hrvatskim aerodromima je tijekom 2019. godine zabilježio blagi porast za 5,1 %. Najveći porast ostavila je Zračna luka Zadar, a slijede Zračna luka Dubrovnik, Zračna luka Pula, Zračna luka Split i Zračna luka Zagreb. Manje zračne luke poput Lošinja, Brača, Osijeka i Rijeke su u zabilježile pad prometa u odnosu na 2018. godinu [7]. Na slici 7. prikazana je usporedba broja operacija za 2018. i 2019.godinu te porast/pad prometa u postocima.



Slika 12. Usporedba broja operacija na aerodromima 2018./2019. [6]

Zračna luka Zagreb ima najveći udio u ukupnom prometu (35,7 %), međutim Split tijekom ljetnih mjeseci (srpnja i kolovoza) ima oko 25 % više prometa nego Zagreb, a Dubrovnik približno kao Zagreb [7]. Udio svih aerodroma u ukupnom prometu prikazan je na slici 8.



Slika 13. Prikaz udjela prometa na hrvatskim aerodromima 2019. [7]

### 2.3. Podaci o zračnom prometu 2020. godine

Na samom početku 2020. godine zračni promet je doživio ogroman pad uslijed pandemije uzrokovanom bolesti COVID-19. U travnju je započeo povijesni pad prometa u cijeloj Europi jer su mnoge države zatvorile svoje granice. Zbog donesenih mjera radi pandemije komercijalno zrakoplovstvo je ostvarilo mnoge gubitke. Iako je bilo očekivano kako će 2020. godina biti godina obaranja rekorda u zračnom prometu to se nije dogodilo, već je zabilježen pad prometa za više od 50 %. između Velike Britanije i Grčke, koje pripadaju u najprometnije pravce, ostvareno je tek oko 40 % prometa iz 2019., dok je na relaciji Turska – Njemačka ostvareno 27 % prometa iz 2019 [8].

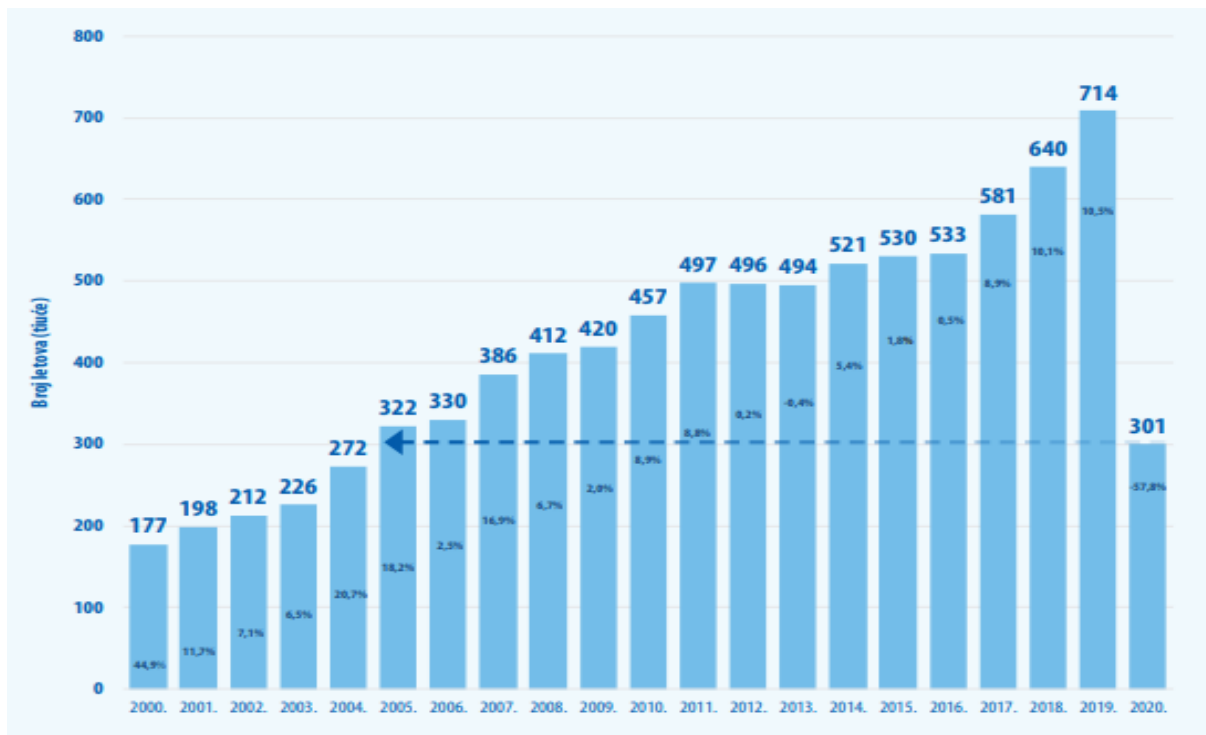
Tijekom 2020. zabilježeno je tek 301 099 letova na području Hrvatske, odnosno tek 42,2 % prometa iz rekordne 2019 [9]. Usporedba kontroliranih operacija tijekom 2019. i 2020. godine prikazana je na slici 1.

Kontrolirane operacije (IFR-GAT)					
	I-XII 2019.	I-XII 2020.	Indeks 2020. / 2019.	Reb. Plana 2020.	% ostvarenja Reb. Plana
Kontrolirane operacije	714.219	301.099	42,2	283.029	106,4

Slika 14. Kontrolirane operacije - IFR GAT (FIR Zagreb) 2020. [9]

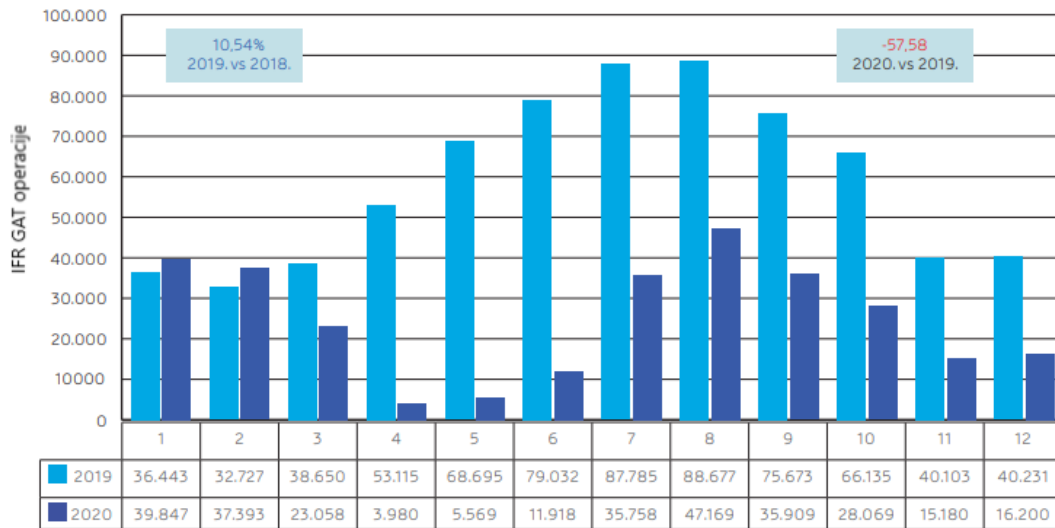


Mjere koje su donesene da bi se suzbila zaraza te smanjio broj oboljelih imale su ogroman utjecaj na zračni promet. Uspoređujući promet u zadnjih 20 godina, prikazan na slici 2., može se primijetiti kako je s prometom od 301 099 letova 2020. odgovara prometu iz 2004./2005 [9].



Slika 15. Prikaz broja letova po godinama [8]

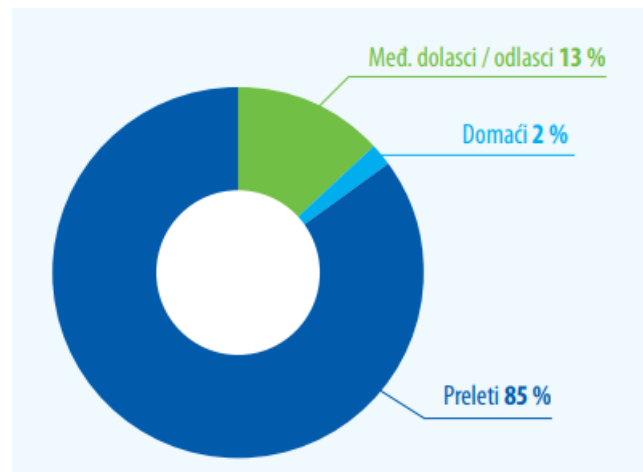
Prije početka proglašenja pandemije (siječanj i veljača) očekivano je bilo kako će 2020. oboriti sve rekorde u zračnom prometu. Međutim, pojavom bolesti COVID-19 i zatvaranjem granica promet je pao s preko 50 000 letova u na manje od 4 000 letova tijekom travnja (slika 4.). U najprometnijem mjesecu (kolovozu) broja letova se smanjio sa 87 785 na 35 758 letova, što je približno mjesecu s najmanje prometa tijekom 2019. (veljača).



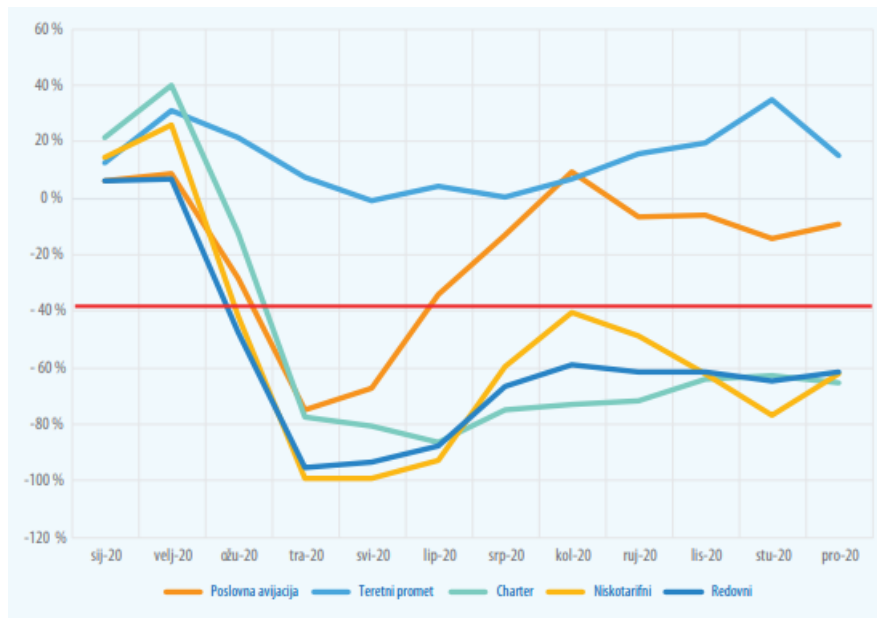
IFR GAT operacije 2019 vs. 2020

Slika 16. Ostvareni broj kontroliranih operacija u 2020. godini [10]

Najveći pad prometa imali su međunarodni dolasci i odlasci, odnosno oko 38 % prometa iz 2019.. domaći promet je ostvario 64,4 % prometa, a preleti 42,8 % iz 2019. udio domaćeg prometa u ukupnom prometu iznosio je oko 2 % (slika 5.), udio međunarodnih dolazaka i odlazaka oko 13 %, dok je udio preleta u 2020. godini iznosio 85 %, a to se najviše odnosilo na teretni promet (slika 6.) [8].

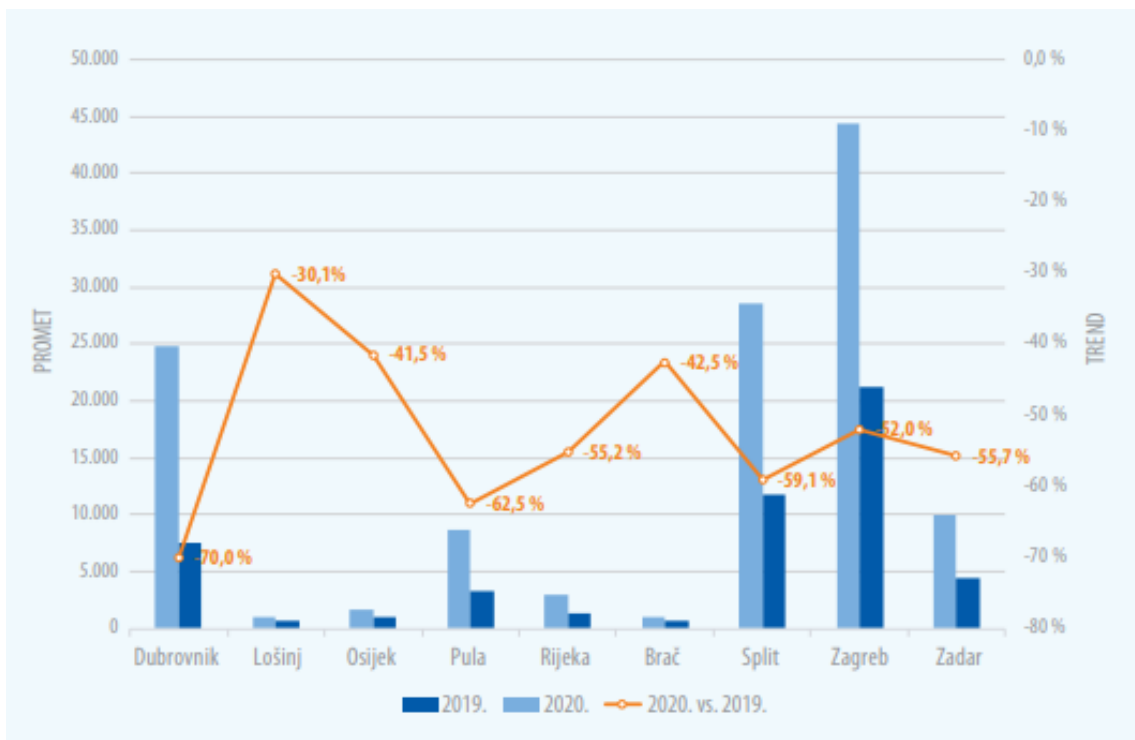


Slika 17. Struktura kontroliranih operacija 2020. [8]



Slika 18. Prikaz podjele prometa prema namjeni 2020. [8]

Aerodromi u Republici Hrvatskoj ostvarili su ogromne gubitke zbog nedolazaka turista u ljetnim mjesecima. Jedina zračna luka koja je radila cijelu godinu je Zračna luka „Franjo Tuđman“ koja je služila za prihvat teretnih aviona i letova humanitarne pomoći. Dan s najmanje prometa u 2020. godini bio je 19. travnja s tek 94 leta. Najveći gubitak u 2020. godini ostvarila je zračna luka Dubrovnik (oko 70 %), potom slijede Pula, Split i Zadar [8]. Promet na hrvatskim zračnim lukama prikazan je na slici 7.



Slika 19. Usporedba broja operacija na aerodromima 2019./2020. [8]

## 2.4. Podaci o zračnom prometu 2021. godine

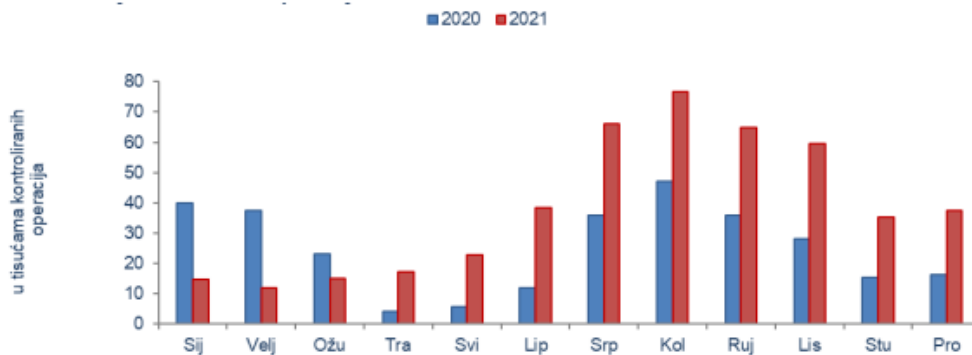
Pandemija uzrokovana virusom COVID – 19 utjecala je na zračni promet i tijekom 2021. godine. Iako je u usporedbi s 2020. godinom promet povećan, zrakoplovstvu će trebati još mnogo vremena kako bi se opravilo od takvih gubitaka i vratilo na promet 2019. kada je zračni promet dosegao svoj vrhunac. U drugoj godini pandemije ostvareno je 53,1 % više letova nego tijekom 2020.godine (slika 1). Na početku 2021. godine predviđanja za oporavak zračnog prometa bila su izrazito niska, međutim početkom sezone i popuštanjem mjera protiv pandemije zračni promet se počeo oporavljati. Do kraja godine ostvareno je 460 914 letova te je ostvareno 35 % manje prometa u odnosu na 2019. godinu [11].

Kontrolirane operacije (IFR-GAT)					
	I-XII 2020.	I-XII 2021.	Indeks 2021./2020.	Plan 2021.	% ostvarenja Plana
Kontrolirane operacije	301.099	460.914	153,1	347.000	132,8

Slika 20. Kontrolirane operacije - IFR GAT (FIR Zagreb) 2021. [11]

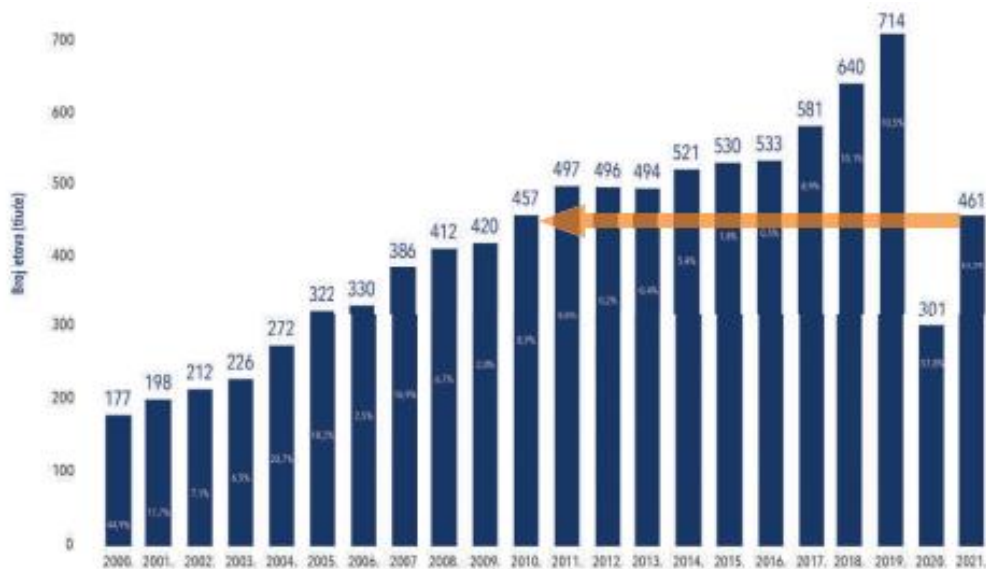
U prva tri mjeseca 2021. godine zračni promet je bio u padu, ali kako su mjere početkom ljeta popuštale tako je prometna potražnja porasla. Tijekom kolovoza ostvareno je oko 77 000 letova, što je samo 14 % manje nego u 2019 [12]. Približavanjem kraja godine te početku

proglašenja kraja epidemije zračni promet se polako oporavio. Ostvareni broj kontroliranih operacija po mjesecima za 2020. i 2021. godinu prikazan je na slici 2.



Slika 21. Ostvareni broj kontroliranih operacija u 2021. godini [11]

Ukupni promet u 2021. godini približno je jednak prometu iz 2010. godine (slika 3). U 2021. godini većina zemalja je još uvijek imala mjere za suzbijanje širenja zaraze, ali krajem godine neke zemlje su proglasile kraj epidemije što je putovanje zračnim prometom olakšalo i povećalo samu potražnju. Najviše prometa ostvareno je u preletima (oko 84,0 %), zatim slijede međunarodni dolasci i odlasci (oko 13,9 %) te domaći promet (oko 2,0 %) [12].

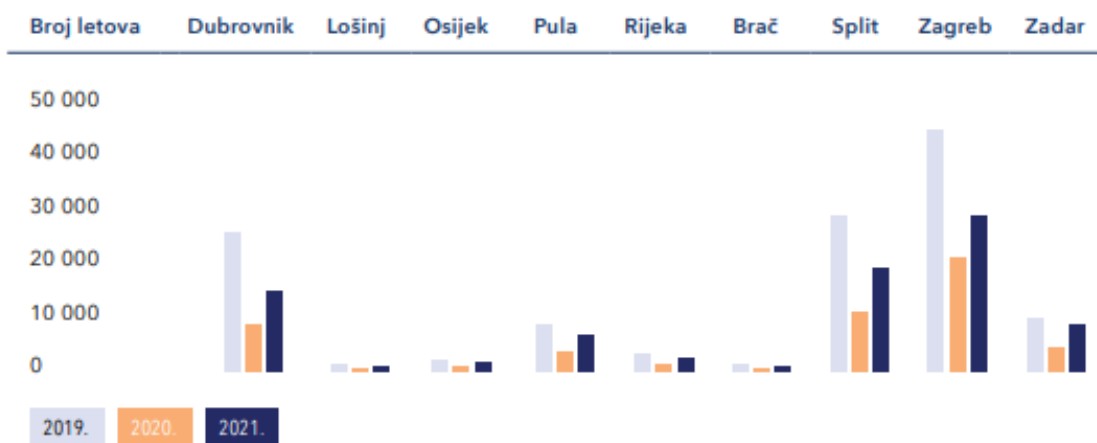


Slika 22. Prikaz broja letova po godinama [12]

Popuštanje mjera i povećanje prometne potražnje tijekom ljetnih mjeseci rezultiralo je s 20 000 minuta kašnjenja, odnosno 0,07 minuta kašnjenja po letu. Kašnjenje je uzrokovano [11]:

- Kapacitetom (44 %)
- Vremenskim uvjetima (35 %)
- Nedostatak osoblja (15 %)
- Ostali razlozi (6 %).

Promet na hrvatskim aerodromima je ostvario dvostruko bolje rezultate u odnosu na godinu prije, odnosno 56 % porast u odnosu na 2020., ali smanjenje 33 % u odnosu na 2019. Zračna luka s najvećim postotkom prometa je Međunarodna zračna luka Zagreb s ukupno 35 % ukupnog aerodromskog prometa [12]. Zračne luke na Jadranu također bilježe porast u odnosu na 2020. godinu, što je prikazano na slici 4.



Slika 23. Usporedba broja operacija na aerodromima 2019./2020./2021. [12]

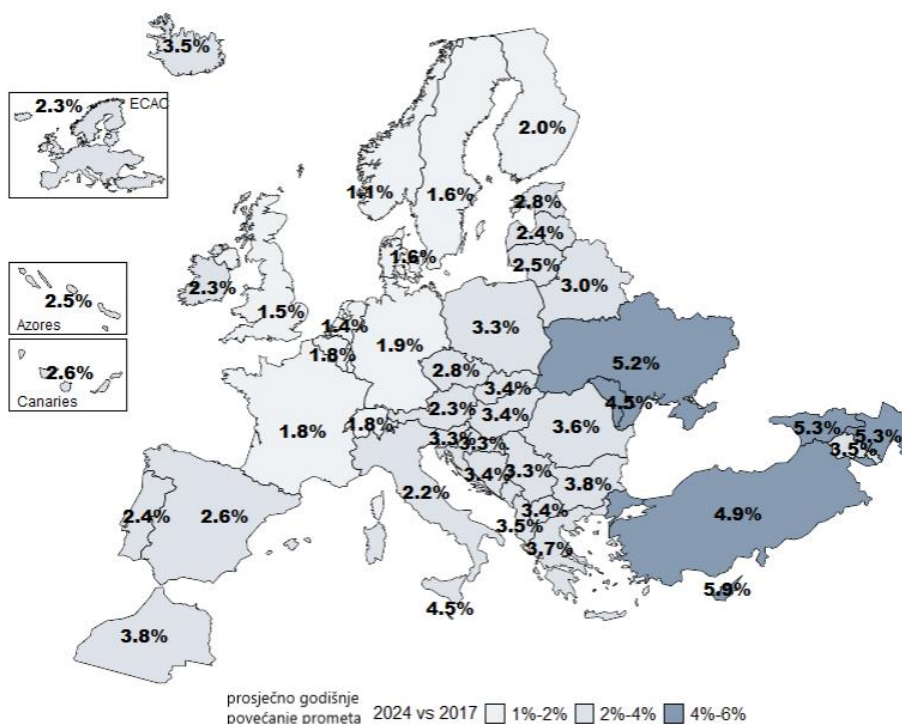
### 3. ANALIZA PROMETNE POTRAŽNJE STATFOR-a OD 2018. NADALJE

Prognoziranje prometa omogućava bolje planiranje i organizaciju kapaciteta zračnog prostora. S obzirom na prometnu potražnju EUROCONTROL za svaku državu Europe pruža statistike i prognoze prometa. Usluga unutar EUROCONTROL-a koja je zadužena za pružanje tih podataka naziva se *STATFOR (Statistics and forecasts)*.

Pri izračunu prognoza prometa koriste se različiti elementi koji utječu na sam promet poput ekonomije, demografije, trendova putovanja, cijena usluga, faktor punjenja, kapacitet zračnih luka te utjecaj na okoliš. Zbog mogućih rizika, koji mogu biti nepredvidivi, planiraju se tri različita scenarija. Scenariji mogu biti osnovni (*base*), pesimistični (*low*) te optimistični (*high*). Osnovni scenarij je onaj koji će se najvjerojatnije i ostvariti te daje prognozu koja se nalazi između pesimističnog i optimističnog scenarija. Pesimistični scenarij prognozira lošu ekonomiju, smanjeni kapacitet te ograničeno kretanje putnika što bi rezultiralo manjim brojem letova i smanjenjem zračnog prometa. Optimistični scenarij prognozira najbolji promet i najveći broj letova uz dobru ekonomiju te povećani kapacitet. STATFOR omogućuje 3 vrste prognoze prometa:

- kratkoročna – jedna do dvije godine unaprijed
- srednjoročna – sedam godina unaprijed
- dugoročna – 20 godina unaprijed.

2018. godine EUROCONTROL je objavio srednjoročnu prognozu prometa za period od 2018. do 2024. godine. Ta prognoza temelji se na prostoru Europske konferencije civilnog zrakoplovstva (*European Civil Aviation Conference – ECAC*) koja obuhvaća 44 države članice. Na temelju tih država članica nastalo je EUROCONTROL-ovo statističko referentno područje (*EUROCONTROL Statistical Reference Area – ESRA*). Na slici 24. je prikazano prosječno godišnje povećanje prometa za svaku državu članicu. Na slici se može primijetiti kako je prognoza da će Republika Hrvatska 2024. imati povećanje od 3,3 % u odnosu na 2017. godinu [13].



Slika 24. Prosječno godišnje povećanje prometa od 2017. do 2024. [13]

Na slici 25. prikazana su sva tri scenarija od 2018. do 2024. godine, dok je stvarni promet prikazan od 2014. do 2017. godine. Promet je prikazan u tisućicama IFR letova. Može se primijetiti kako se po osnovnom scenariju prognozira oko 736 000 IFR letova, što je povećanje od 3,3 % u odnosu na 2017. Po optimističnom scenariju prognozira se povećanje prometa od 5,0 %, dok se po pesimističnom scenariju očekuje povećanje prometa od 1,7 % [13].

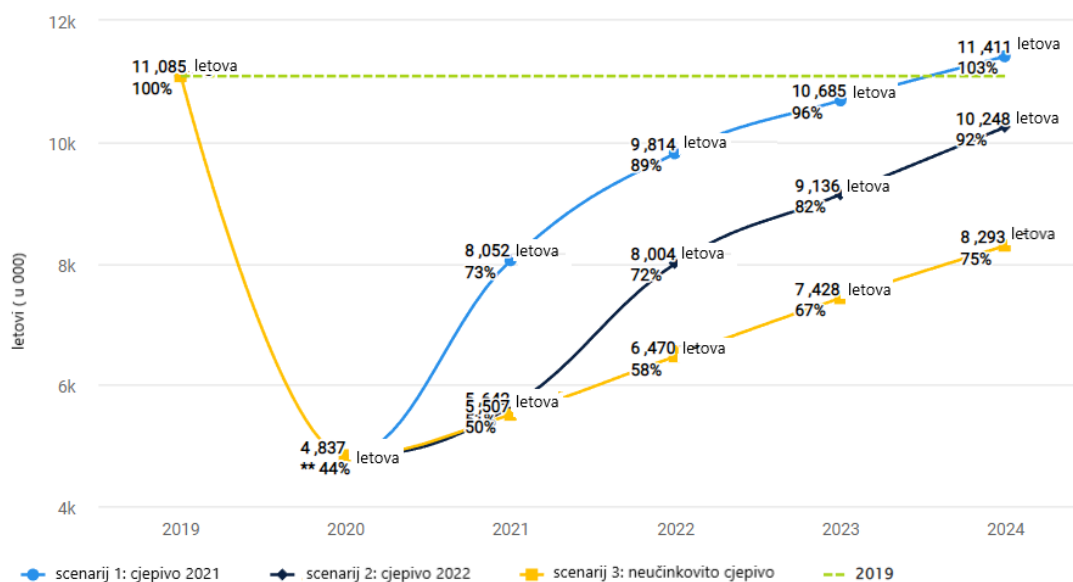
IFR (u 000)		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	AAGR 2018-2024
Hrvatska	H	.	.	.	.	628	661	701	729	761	794	826	5.0%
	B	520	535	540	587	619	643	665	682	700	717	736	3.3%
	L	.	.	.	.	610	626	632	638	645	651	659	1.7%

Slika 25. Prognoza prometa za Republiku Hrvatsku [13]

Međutim, zbog pojave virusa COVID – 19 nijedan od tih scenarija se nije ostvario. Zbog pandemije koja je uvelike utjecala na zračni promet, bilo je prijeko potrebno napraviti prognoze za oporavak prometa. Prognozirana su tri različita scenarija (slika 26.). Prvi scenarij pretpostavlja da će cjepivo biti učinkovito ili proglašen kraj epidemije do ljeta 2021. te da će se



do 2024. godine zračni promet vratiti na onaj iz 2019. Drugi scenarij pretpostavlja da će cjepivo biti učinkovito ili proglašen kraj epidemije do ljeta 2022. te da će 2024. promet biti na oko 92 % onog iz 2019., a potpuni povratak na onaj iz 2019. se očekuje do 2026. godine. Zatim treći scenarij, koji pretpostavlja da cjepivo neće biti učinkovito, prognozira da će 2024. promet biti na 75 % onog iz 2019. uz povratak na potpuni promet 2029.godine [14].



Slika 26. Prognoza prometa za Europu za period od 2020. do 2024. [14]

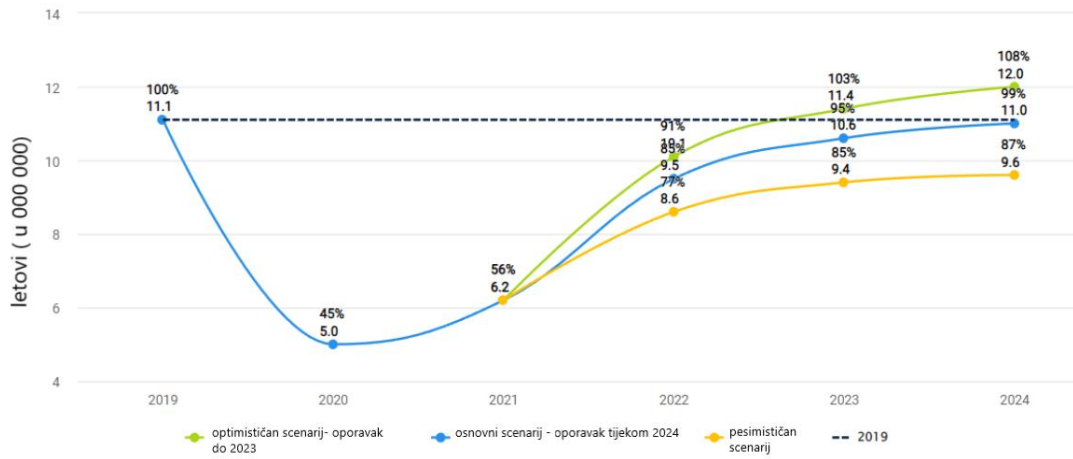
Na slici 27. prikazan je stvarni promet od 2014. do 2019. te prognoze po scenarijima od 2020. do 2024. godine. Na slici je vidljivo kako se uz scenarij 1 očekuje povećanje prometa od 1,2 %, dok je prije pandemije taj postotak iznosio 5,0 %. Uz scenarij 2 se očekuje 1,0 % manje prometa, a uz scenarij 3 5,5 % manje prometa nego rekordne 2019.

IFR ( u 000)		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	AAGR 2020-2024 (vs 2019)
Hrvatska	scenarij 1	.	.	.	.	.	.	294	506	635	702	758	1,2%
	scenarij 2	520	535	540	587	647	714	293	347	517	599	680	-1,0%
	scenarij 3	.	.	.	.	.	.	293	339	406	475	537	-5,5%

Slika 27. Prognoza prometa od 2020. do 2024. za Republiku Hrvatsku [15]

Kako je u većini zemalja proglašen kraj pandemije uzrokovane virusom COVID -19, tako su se prognoze STATFOR-a promijenile. Nova prognoza objavljena je 3. lipnja 2022. te se u toj prognozi očekuje 9,5 milijuna letova tijekom ove godine (85 % iz 2019.), bez obzira na rat u Ukrajini i ekonomsku krizu. Osnovni scenarij prognozira povratak prometa iz 2019. tijekom 2024., dok optimistična prognoza očekuje oporavak do 2023. pesimistični scenarij

uzima u obzir rizike poput rata u Ukrajini te ekonomske krize koji bi mogli utjecati na zračni promet. Prema tom scenariju očekuje se povratak prometa tek nakon 2027. godine [16]. Na slici 28. prikazana su sva tri scenarija za kratkoročnu prognozu od 2022. do 2024.



Slika 28. Prognoza prometa od 2022. do 2024. [16]

## 4. METODOLOGIJA ODREĐIVANJA KOMPLEKSNOSTI U NEST-u I IZRAČUN ZA HRVATSKU

Svake godine Jedinica za procjenu učinka (*Performance Review Unit – PRU*) provodi analize učinkovitosti sigurnosti, kapaciteta, utjecaja na okoliš te troškovne učinkovitosti. Podaci koji se koriste u analizi dostavljeni su od svakog pružatelja usluge u zračnoj plovidbi (*Air Navigation Services Provider – ANSP*) unutar EUROCONTROL-a [17]. Kompleksnost zračnog prometa može se definirati kao složenost promatranja i upravljanja zračnim prometom te je povezana s radnim opterećenjem kontrolora, iako ne postoji točno određena i prihvaćena definicija. Kompleksnost će ovisiti o karakteristikama prometnog toka te karakteristikama sektora. Kompleksnost uzima u obzir vanjske i unutarnje čimbenike koji će imati utjecaja na radno opterećenje kontrolora zračnog prometa te na razinu obavljanja ATC zadaća [18].

### 4.1. Dimenzije kompleksnosti

Svaka od dimenzija kompleksnosti obuhvaća značajke upravljanja zračnim prometom (*Air Traffic Management – ATM*) za koje se smatra da utječu na kompleksnost zračnog prometa s kojim se kontrolor suočava na svom radnom mjestu. Dimenzije kompleksnosti se mogu podijeliti na tri kategorije [18]:

- Dimenzije kompleksnosti povezane uz karakteristike prometa
- Dimenzije kompleksnosti povezane uz zračni prostor
- Dimenzije kompleksnosti povezane uz vanjska ograničenja.

#### 4.1.1. Dimenzije kompleksnosti prometnih karakteristika

Gustoća prometa (*Traffic density*) obuhvaća raspodjelu zrakoplova unutar zračnog prostora. Zrakoplovi mogu biti geografski koncentrirani u određenim dijelovima prostora ili u određenom vremenskom razdoblju. Kompleksnost će biti povećana ukoliko zrakoplovi nisu ravnomjerno raspoređeni unutar prostora te kontrolor mora upravljati sa većim brojem zrakoplova unutar manjeg prostora ili manje vremena. Na gustoću prometa utječu unutarnji i vanjski čimbenici. U vanjske čimbenike se ubrajaju prometna potražnja te vojna područja, dok struktura ruta pripada u unutarnje čimbenike.

Promet u penjanju ili spuštanju (*Traffic in climb or descent (evolution)*) obuhvaća penjanje i spuštanje zrakoplova, odnosno vertikalno kretanje zrakoplova. Unutar ove dimenzije najveći utjecaj će imati vanjski čimbenici poput lokacije glavnih aerodroma.

Struktura prometnog toka (*Flow structure*) obuhvaća horizontalno kretanje zrakoplova unutar zračnog prostora. Zrakoplovi čije se putanje križaju predstavljaju veću kompleksnost nego zrakoplovi čije su putanje paralelne. Križanje prometnih tokova je rezultat prometne potražnje i pripada vanjskim čimbenicima. Unutarnji čimbenik koji utječe na prometni tok su promjene unutar strukture ruta. Dakle, ukoliko dođe do promijene na rutnoj mreži ANSP, odnosno promjene točke križanja iz jednog centra oblasne kontrole (*Area Control Centre – ACC*) u drugi, doći će do povećanja radnog opterećenja i kompleksnosti kod jednog kontrolora zračnog prometa, ali to ne znači da će se nužno drugom kontroloru smanjiti. Pojava novih točaka zbog promjene strukture ruta unutar ANSP je vanjski faktor.

Mješavina prometa (*Traffic mix*) obuhvaća različitosti u brzinama zrakoplova te njegovim performansama. Kompleksnost će biti veća što su više različite brzine zrakoplova. Razlike u brzinama se javljaju zbog različitih tipova zrakoplova te njihovih karakteristika i pripadaju u vanjske čimbenike [18].

#### 4.1.2. Dimenzije kompleksnosti zračnog prostora

Sektorizacija (*Sectorization*) je dimenzija koja obuhvaća učinak sektorizacije na kompleksnost zračnog prometa. ANSP, kao unutarnji čimbenik, može mijenjati svoju sektorizaciju kako bi se smanjila kompleksnost. Međutim, postoje situacije u kojima ANSP ne može promijeniti sektorizaciju zbog vanjskih ograničenja poput prostora gdje se izvode vojne operacije ili zbog suverenih granica država.

Struktura ruta (*Route structure*) promatra strukture ruta unutar zračnog prostora. Iako se strukture ruta definiraju po prometnoj potražnji i pripadaju u vanjski čimbenik, ANSP zbog kompleksnosti može svoje dvosmjerne rute promijeniti u jednosmjerne kako bi se smanjila kompleksnost. Međutim, treba se pripaziti na vanjske čimbenike poput vojnih operacija koje mogu ograničiti prostor [18].

### 4.1.3. Dimenzije kompleksnosti vanjskih ograničenja

Vojna područja (*Military areas*) predstavljaju dimenziju u kojoj se promatra utjecaj vojnih područja na kompleksnost zračnog prometa. Kompleksnost može biti povećana jer kontrolor zračnog prometa ima smanjeni prostor za operacije zrakoplovima.

Suradnja sa susjednim jedinicama kontrole zračnog prometa predstavlja dimenziju koja promatra utjecaj odnosa između susjednih jedinica kontrole zračnog prometa na kompleksnost. Može doći do povećanja kompleksnosti zbog prijelaza zrakoplova s radarske na proceduralnu separaciju ili iz RVSM (Reduced Vertical Separation Minima) na područja koja ne primjenjuju RVSM. Iako je ova dimenzija vanjski čimbenik, mogu se uvesti međusobni sporazumi (*Letters of Agreement*) koji bi pojednostavili transfer zrakoplova između susjednih kontrola zračnog prometa i time bi se manjila kompleksnost [18].

## 4.2. Indikatori kompleksnosti

Za prikaz glavnih dimenzija kompleksnosti definirani su indikatori kompleksnosti. Četiri su glavne dimenzije kompleksnosti pa su onda i četiri indikatora kompleksnosti. [17]. Povezanost indikatora s dimenzijama kompleksnosti prikazano je u tablici 1.

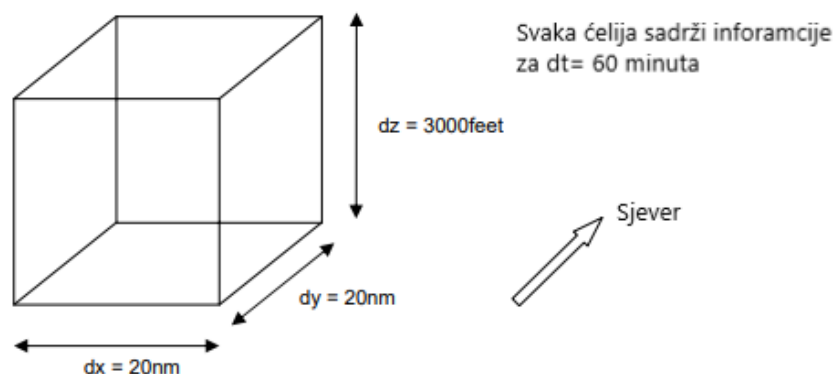
Tablica 1. : Dimenzije i indikatori kompleksnosti

Dimenzije kompleksnosti	Indikator
Gustoća prometa	Prilagođena gustoća
Promet u evoluciji	Potencijale vertikalne interakcije (VDIF)
Struktura prometnog toka	Potencijalne horizontalne interakcije (HDIF)
Mješavina prometa	Potencijalne interakcije brzine (SDIF)

Izvor: [18]

### 4.2.1. Dimenzije ćelija

Indikatori kompleksnosti se izračunavaju pomoću mreže koja dijeli područje ECAC-a. Indikatori se računaju u svakoj ćeliji kako bi se pružila fleksibilnost pri prikupljanju podataka na razini ACC i ANSP. Za potrebe istraživanja korištena je ćelija koja prikazuje prostorne (dx, dy i dz) i vremenske (dt) parametre. Ćelija je dimenzija 20 NM x 20 NM x 3000 ft te sadrži informacije u vremenu od 60 minuta.

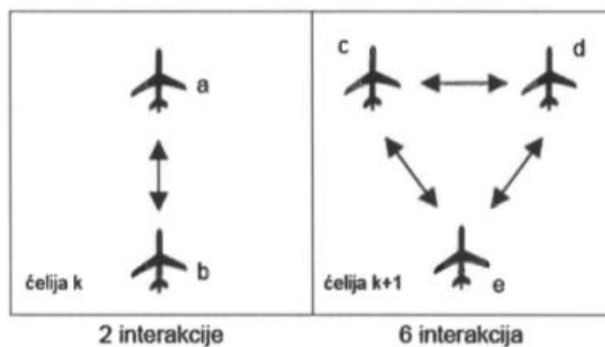


Slika 29. Prikaz dimenzije ćelija  
Izvor: [18]

Podaci o prometu prikupljaju se tijekom razdoblja od 60 minuta (0:00-0:59, 1:00-1:59, 2:00-2:59, itd.), odnosno za promet tijekom jednog dana postoje 24 skupa podataka za svaku ćeliju. Prvo treba identificirati koja ćelija pripada kojem ANSP-u i onda se računaju vrijednosti ćelija za svaki ANSP. Svaka ćelija može pripadati samo jednom ANSP-u, i to onom u čiji prostor pripada centralna točka ćelije. Isti postupak se koristi i pri izračunu prometa za ACC. Kako bi se smanjio utjecaj granica na proračune, koristi se 12 različitih mreža. Iz tog razloga postoje četiri horizontalna pomaka mreže koji su x i y dimenzija s kombinacijama 0 nm i 10 nm, to jest (0,0), (0,10), (10,0) i (10,10). svaka od tih mreža se može pomicati i okomito za 3\*1000 ft. Prva mreža počinje na FL85 te se penje do FL415, odnosno pomaci su FL85, FL115, FL145, FL175, FL205, FL235, FL265, FL295, FL325, FL355, FL385 te FL415 [18].

#### 4.2.2. Interakcije

Interakcija je prisutnost više zrakoplova u istom području u istom vremenu i čini osnovu kompleksnosti. Kompleksnost se povećava ukoliko su zrakoplovi u različitim fazama leta, imaju različitu putanju ili različite brzine. Interakcija se definira kao prisutnost zrakoplova u istoj ćeliji promatrano s pozicije zrakoplova. Dakle, ukoliko su u jednoj ćeliji dva zrakoplova, u toj ćeliji će biti prisutne dvije interakcije. Na slici 30. prikazane su u ćeliji k dva zrakoplova koji imaju dvije interakcije, te u ćeliji k+1 tri zrakoplova unutar koje se nalazi šest interakcija. Svaka interakcija odvija se između samo dva zrakoplova.



Slika 30. Primjer interakcija zrakoplova u ćeliji  
Izvor: [18]

Indikatori određuju potencijalne interakcije koje bi se mogle dogoditi dok zrakoplov prolazi kroz ćeliju, a ne one koje će se stvarno dogoditi. Trajanje interakcije koje se očekuje unutar ćelije će ovisiti o vremenu koje će zrakoplov provesti unutar ćelije. Vrijeme provedeno u ćeliji računa se po formuli:

$$t_i = t_a \times t_b \quad [18]$$

gdje je:

$t_i$  = vrijeme interakcije

$t_a$  = vrijeme zrakoplova a provedenog u ćeliji

$t_b$  = vrijeme zrakoplova b provedenog u ćeliji

Ukoliko zrakoplov a i b provedu u ćeliji 2 minute, odnosno 1/30 sata, vrijeme interakcije računamo po formuli 1.

$$\left(\frac{1}{30} \times \frac{1}{30}\right) = \frac{1}{900} = 0,0011 \text{ sata}$$

0,0011 sata je vrijeme jedne interakcije, za izračun dvije interakcije pomnožimo produkt sa 2.

$$2 \times \left(\frac{1}{30} \times \frac{1}{30}\right) = \frac{2}{900} = 0,0022 \text{ sata}$$

Kada bi računali interakcije ćelije k+1 iz slike 30. morali bi pomnožiti produkt sa 6, dakle dobili bi:

$$6 \times \left(\frac{1}{30} \times \frac{1}{30}\right) = \frac{6}{900} = 0,00667 \text{ sata}$$



Ovi proračuni se računaju za svaki par zrakoplova u ćeliji kako bi se dobile potencijalne interakcije za tu ćeliju [18].

### 4.2.3. Prilagođena gustoća

Gustoća prometa prikazuje količinu prometa unutar određenog volumena i vremena. Indikator koji se koristi pri izračunu je prilagođena gustoća jer prikazuje bolje podatke nego obična gustoća. Obična gustoća prometa ne uzima u obzir raspored prometa u vremenu i prostoru (je li ravnomjerno raspoređen ili ne). Prilagođena gustoća se računa kao omjer između sati interakcije (*Hours of interactions*) i sati leta (*Flight hours*).

$$\text{Prilagođena gustoća} = \frac{\text{sati interakcije}}{\text{sati leta}} \quad [18]$$

Kako bi se dobila prilagođena gustoća, prvo se računa zbroj svih interakcija u ćeliji koji se zatim dijeli sa ukupnim brojem sati leta u ćeliji unutar ANSP/ACC. U Europi prilagođena gustoća iznosi oko 0,11 sati interakcije po satu leta.

 <p>centar 1</p>		 <p>centar 2</p>	
2+2+2+2=8	Broj interakcija	2+2=4	
Za izračun prilagođene gustoće u ovom primjeru pretpostavka je da je svaki zrakoplov proveo 2 minute u ćeliji. Prilagođena gustoća = sati interakcije / sati leta			
$8 \times \frac{1}{900} = 0,0089$	sati interakcije	$4 \times \frac{1}{900} = 0,0044$	
$8 \times \frac{1}{30} = 0,267$	sati leta	$4 \times \frac{1}{30} = 0,133$	
$0,0089 / 0,267 = 0,033$	prilagođena gustoća	$0,0044 / 0,133 = 0,033$	

Slika 31. Primjer izračuna prilagođene gustoće  
Izvor: [18]

Slika 31. prikazuje dva različita centra, u centru 2 se nalazi upola manje zrakoplova nego u centru 1, ali je prilagođena gustoća jednaka zbog toga što je i upola manje interakcija. Prilagođena gustoća prikazuje gustoću koju doživljava zrakoplov.



Koncentracija prikazuje informacije o tome kako se je promet raspoređen unutar prostora i vremena. Koncentracije prikazuje omjer između prilagođene gustoće i obične gustoće prometa.

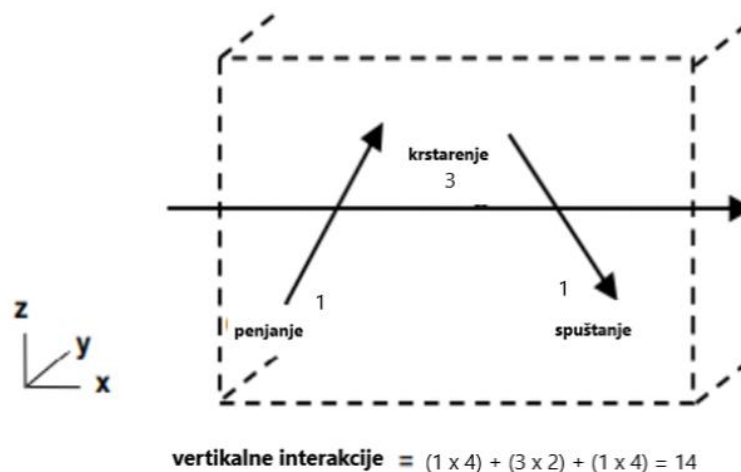
$$\text{koncentracija} = \frac{\text{prilagođena gustoća}}{\text{obična gustoća}} \quad [18]$$

Koncentracija se javlja zbog niza čimbenika poput prometne potražnje, geografije, vojnih područja... [18]

#### 4.2.4. Vertikalne interakcije

Indikator vertikalne interakcije (*Vertical Different Interacting Flows – VDIF*) je indikator kompleksnosti koji se odnosi na promjene koje se događaju u različitim fazama leta. Indikator vertikalne interakcije se izražava kao trajanje potencijalnih vertikalnih interakcija po satu leta. Dva zrakoplova su u interakciji ako se nalaze u istoj ćeliji, ali u različitim fazama leta. Dakle, jedan zrakoplov penje dok je drugi u krstarenju ili spuštanju. Zrakoplov se smatra da je u krstarenju ako njegova brzina penjanja (*Rate of Climb – ROC*) ili spuštanja (*Rate of Descent – ROD*) ne prelazi 500 ft/min.

Na slici 32. je prikazan primjer u kojem 1 zrakoplov penje, 3 su u krstarenju te 1 u spuštanju. Svaki od zrakoplova u krstarenju je u interakciji s onim koji penje i onim koji se spušta, ali ta tri zrakoplova koja krstare nisu međusobno u interakciji. Zrakoplov koji penje je u interakciji sa sva tri zrakoplova koja krstare i s onim koji se spušta, a isto to vrijedi i za zrakoplov koji se spušta.



Slika 32. Primjer vertikalnih interakcija  
Izvor: [18]

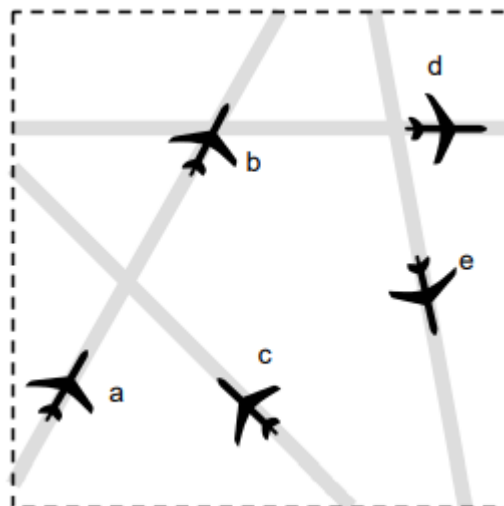
Ukupan broj potencijalnih vertikalnih interakcija iznosi 10. pretpostavlja se da je svaki zrakoplov proveo 2 minute u ćeliji pa vrijeme interakcije iznosi 1/30 sati, a ukupno trajanje vertikalnih interakcije računa se kao  $14 \times 1/900 = 0,0155$  sati. Indikator vertikalnih interakcija dobije se zbrajanjem svih potencijalnih vertikalnih interakcija unutar ANSP/ACC koji se podijeli s ukupnim brojem sati leta unutar ANSP/ACC.

$$VDIF = \frac{\text{sati vertikalne interakcije}}{\text{sati leta}} \quad [18]$$

U Europi VDIF iznosi približno 0,03 sata vertikalne interakcije po satu leta [18].

#### 4.2.5. Horizontalne interakcije

Horizontalne interakcije (*Horizontal Different Interacting Flows – HDIF*) je indikator kompleksnosti koji proučava interakcije kada zrakoplovi imaju različite putanje. Horizontalna interakcija prikazuje zrakoplove u istoj ćeliji, ali s različitim putanjama leta. Putanja leta koja se koristi u izračunu je ona putanja s kojom zrakoplov uđe u ćeliju. Horizontalna interakcija se računa kada se putanje zrakoplova razlikuju za više od  $20^\circ$ .



Slika 33. Primjer horizontalnih interakcija [18]

Na slici 33. prikazano je pet zrakoplova u ćeliji u jednom satu. Izračunima se procjenjuje da li se putanje zrakoplova razlikuju za manje ili više od  $20^\circ$ . Kod zrakoplova a i b putanje se razlikuju za manje od  $20^\circ$  pa se njihova interakcija ne računa. Putanje zrakoplova a i c se razlikuju za više od  $20^\circ$  pa se njihova potencijalna interakcija

računa. Na tablici 2. prikazane su potencijalne interakcije svakog zrakoplova, kao i ukupni zbroj potencijalnih horizontalnih interakcija.

Tablica 2.: Prikaz broja interakcija sa primjera na slici 33.

Zrakoplov	Broj potencijalnih interakcija
a	3
b	3
c	4
d	4
e	4
Ukupno	18

Izvor: [18]

Kao i kod indikatora vertikalne interakcije, HDIF uzima u obzir potencijalno trajanje interakcije. Dakle, ako svaki zrakoplov provede u ćeliji dvije minute potencijalno trajanje horizontalne interakcije računa se:  $18 \times 1/900 = 0,02$  sati. Indikator horizontalnih interakcija dobije se zbrajanjem svih potencijalnih horizontalnih interakcija unutar ANSP/ACC podijeljen s ukupnim brojem sati leta unutar ANSP/ACC.

$$HDIF = \frac{\text{sati vertikalne interakcije}}{\text{sati leta}} \quad [18]$$

U Europi HDIF iznosi oko 0,05 sati horizontalne interakcije po satu leta [18].

#### 4.2.6. Interakcije brzine

Indikator interakcije brzine (*Speed Different Interacting Flows* – SDIF) je indikator kompleksnosti koji se javlja kada zrakoplovi lete različitim brzinama. Indikator interakcije brzine se računa kada se brzine zrakoplova razlikuju za više od 35 kt. Brzina koja se koristi u izračunima je brzina koju daje BADA (*Base of Aircraft Data*) tablica performansi za tip zrakoplova koji se nalazi u ćeliji. BADA je EUROCONTROL-ova baza podataka o performansama zrakoplova. Iz poglavlja 4.2.5. slika 33. može poslužiti kao primjer interakcija brzine. Indikator interakcija brzine dobije se zbrajanjem svih potencijalnih interakcija brzina unutar ANSP/ACC podijeljen s ukupnim brojem sati leta unutar ANSP/ACC.

$$SDIF = \frac{\text{sati interakcije brzine}}{\text{sati leta}} \quad [18]$$

U Europi SDIF iznosi oko 0,03 sata interakcije brzine po satu leta [18].

### 4.3. Rezultati kompleksnosti

Kompleksnost je složen proces koji se može podijeliti na manje dijelove, odnosno na individualne indikatore. Iako dva različita zračna prostora mogu imati jednake rezultate ukupne kompleksnosti to ne znači da su oni identično kompleksni. Na primjer, na kompleksnost jednog zračnog prostora može veći utjecaj imati prilagođena gustoća, dok na drugi mogu više utjecati DIF (*Different Interacting Flows*) indikatori. DIF indikatori su u koleraciji s prilagođenom gustoćom. Vertikalne, horizontalne i interakcije brzine su interakcije koje su podskup prilagođene gustoće. Kako bi se otklonila povezanost s prilagođenom gustoćom, koriste se tzv. Relativni DIF indikatori ( $r\_VDIF$ ,  $r\_HDIF$  i  $r\_SDIF$ ) koji se dobivaju kada se podijeli indikator interakcije za svaki ANSP/ACC s prilagođenom gustoćom. Jedna interakcija prilagođene gustoće može biti dio vertikalne interakcije, dio horizontalne interakcije i dio interakcije brzine zbog različitih faza leta. Pa onda zbroj postotaka ne bi iznosio 100 %, već 300 % ako bi svaka interakcija zadovoljila sve kriterije.

Na ukupnu kompleksnost ANSP-a utječu dva čimbenika, a to su prometni volumen te struktura tokova prometa. Uporabom  $r\_DIF$  indikatora omogućeno je odvajanje tih čimbenika. Prilagođena gustoća je povezana s prometnim volumenom, dok je strukturalni indeks povezan sa strukturom tokova prometa.

$$\text{strukturalni indeks} = r\_VDIF + r\_HDIF + r\_SDIF \quad [18]$$

Međutim oba čimbenika utječu na ukupnu kompleksnost, pa će formula glasiti:

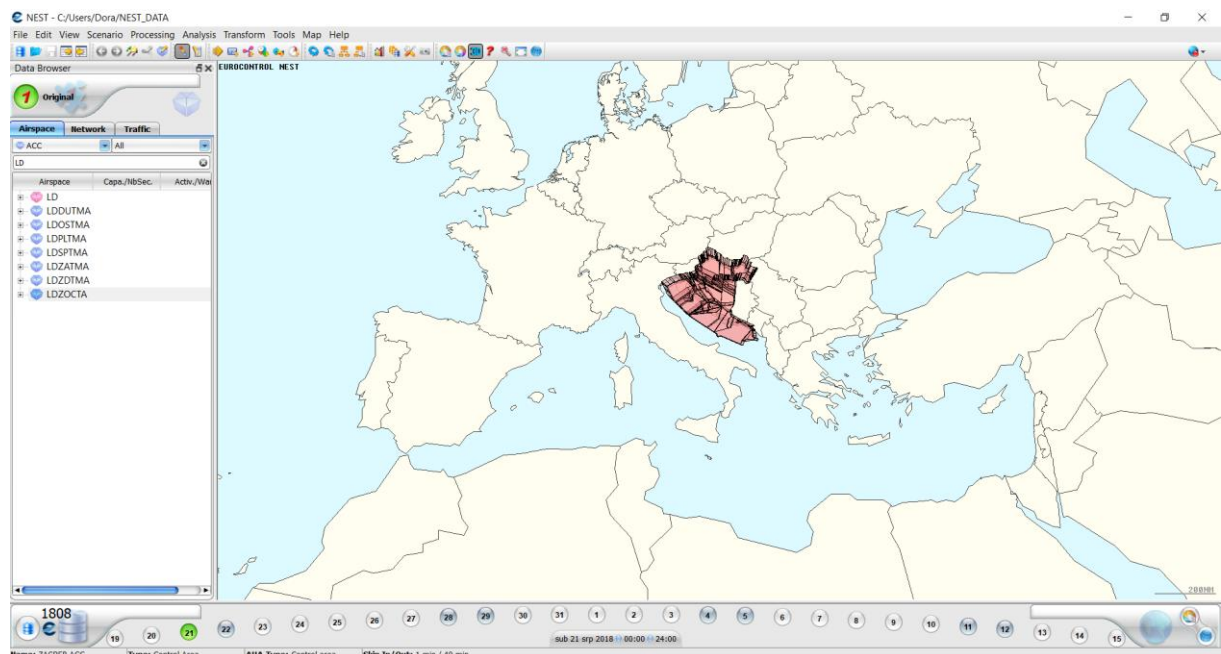
$$\text{Rezultat kompleksnosti} = \text{prilagođena gustoća} \times \text{strukturalni indeks} \quad [18]$$

U Europi rezultat kompleksnosti iznosi oko 0,10. Kada bi se dodali težinski indikatori u izračune, dobili bi se slični rezultati kao i oni bez korištenja težinskih indikatora. Također, razmatrana je ideja o procesu normalizacije indikatora. Na primjer, kada bi rezultat kompleksnosti jednog ANSP-a bio 1, a drugog 1,50 to bi značilo da je ovaj drugi za 50 %

kompleksniji od ovog prvog. Međutim, to nije moguće primijeniti u sustav jer se ne koristi svake godine isti sustav vrijednosti [18].

#### 4.4. Program NEST i izračun kompleksnosti

Za izračun kompleksnosti koristi se program NEST (Network Strategic Tool). NEST je program EUROCONTROL-a koji omogućuje korisnicima razne aktivnosti planiranja i analiziranja prometa. Pomoću NEST programa mogu se raditi razne simulacije prometa, izračuni, analize o prošlom prometu i slično. U ovom završnom radu koristit će se program NEST kako bi se mogla izračunati kompleksnost u zračnom prostoru Republike Hrvatske te će se simulirati povećanje prometne potražnje. Prikaz sučelja programa NEST prikazan je na slici 34. gdje se vidi ljubičastom bojom označen ACC prostor Republike Hrvatske.



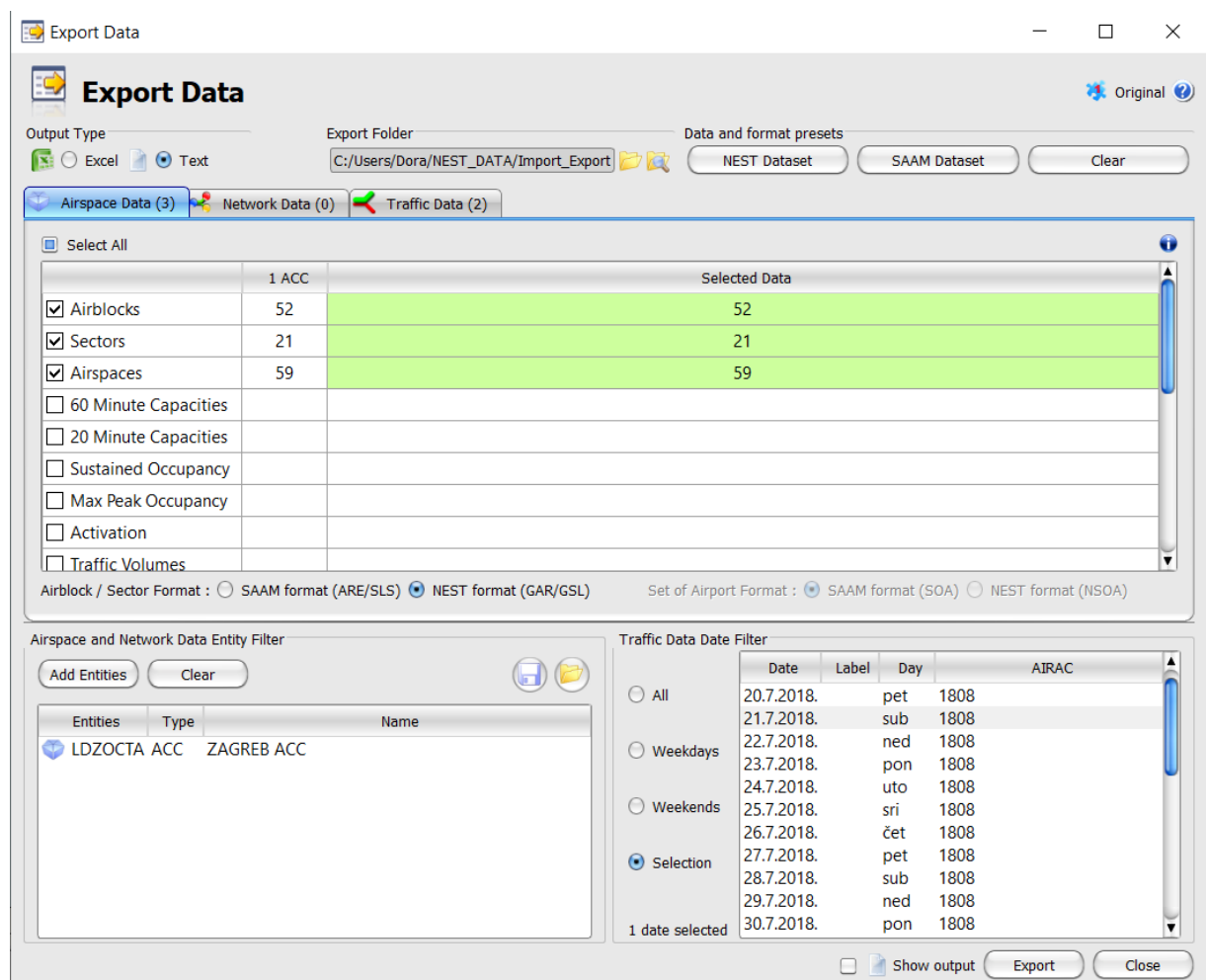
Slika 34. Sučelje programa NEST

Izvor: [19]

Pri izračunu kompleksnosti zračnog prostora Republike Hrvatske izabran je jedan dan koji će se uzeti kao referentni dan pri izračunu. Računat će se kompleksnost za treću subotu u mjesecu srpnju jer je to dan s najvećim prometom. Kako bi se mogli izračunati podaci potrebno je odabrati pravi AIRAC ciklus. AIRAC ciklusi koji se koriste pri ovom izračunu su AIRAC 1808 i AIRAC 1908 jer 2020. i 2021. godina nisu prikladne za promatranje zbog pandemije uzrokovane virusom COVID – 19. Nakon odabira AIRAC-a

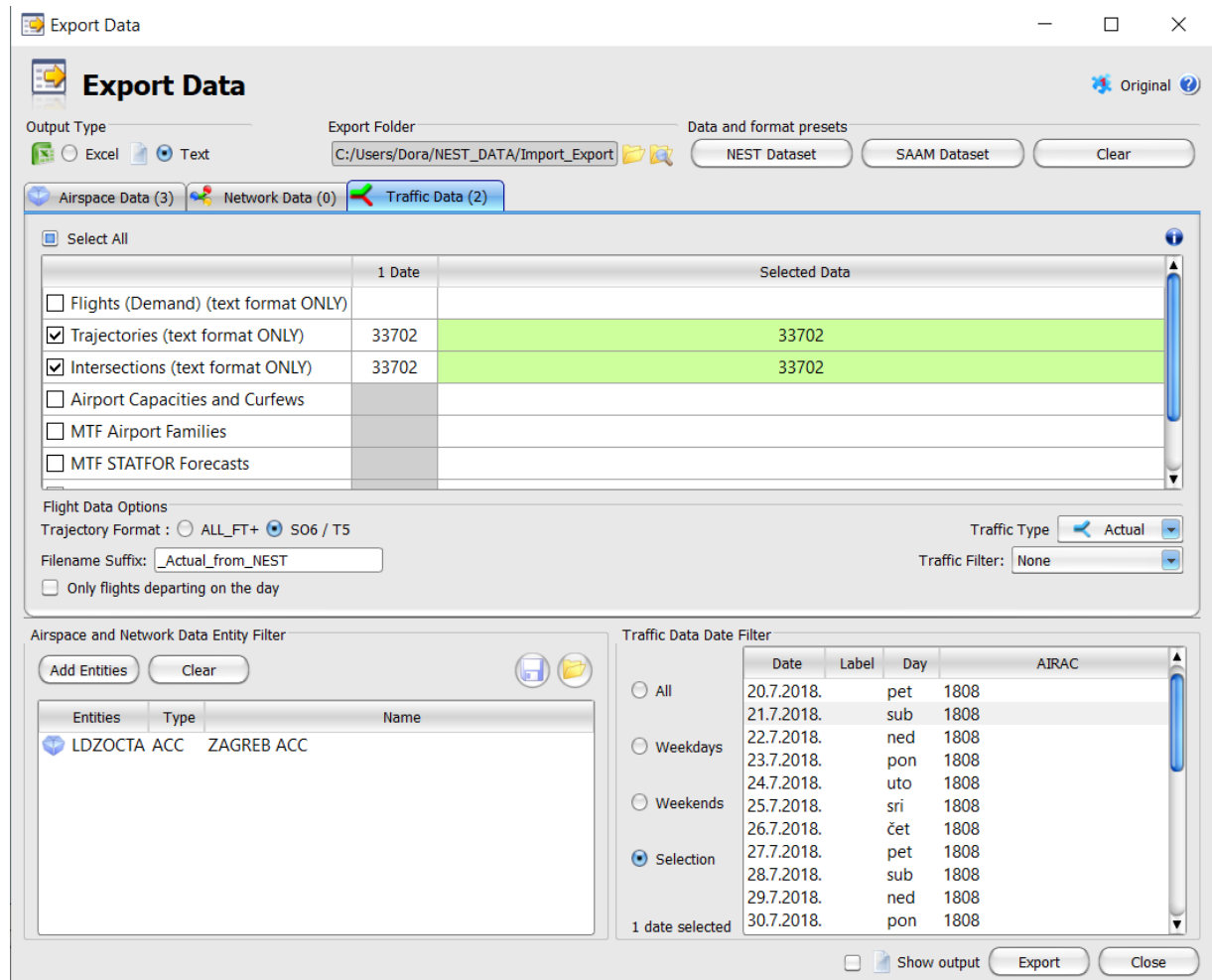
potrebno je odabrati prostor koji će se koristiti u analizi, što je u ovom slučaju ACC Zagreb (LDZOCTA).

Kako bi se mogla izračunati kompleksnost potrebno je izvući podatke s kojima će se raditi. Najprije se odabere izbornik *File* unutar kojeg se odabere opcija *Export Data* kako bi se izvukli podaci iz programa NEST. Kada se otvori prozor *Export Data*, prikazan na slici 35., potrebno je izabrati određene parametre kako bi analiza bila što točnija. Prvi korak je odabrati Tekst kao izlazni format, zatim pod karticom *Airspace Data* se odaberu vrste podataka potrebne za izračun (*Airblocks*, *Sectors*, *Airspaces*). Pod odabirom formata mora biti označen NEST format (GAR/GSL) kako bi podaci bili spremljeni u ispravnom obliku. Za odabir entiteta potrebno je označiti prostor ACC Zagreb (LDZOCTA) te izabrati datum za koji su nam potrebni podaci, što je u ovom slučaju 21.07.2018.



Slika 35. Kartica Airspace Data u prozoru Export Data  
Izvor: [19]

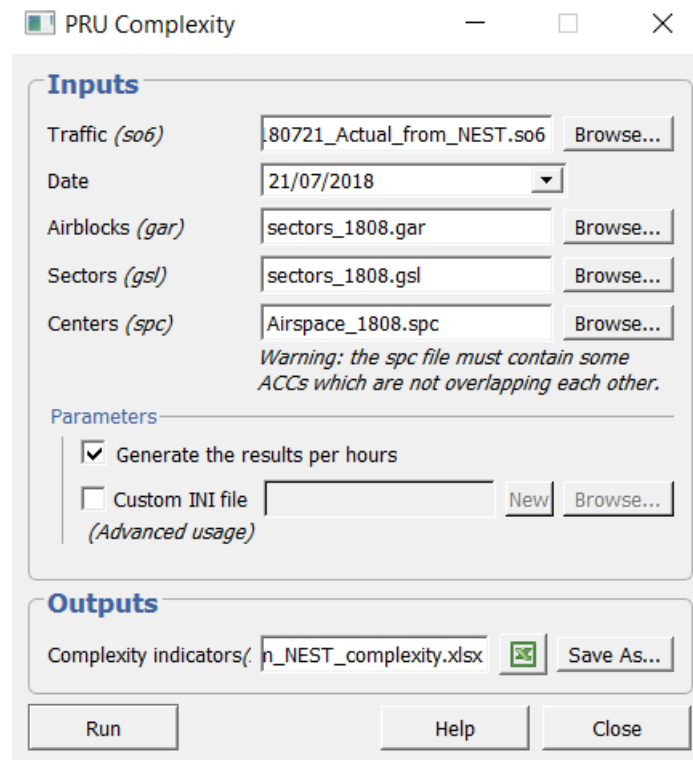
Odabirom kartice *Traffic Data* (slika 36.) određuju se parametri o prometu (*Trajectories, Intersections*), pri formatu mora biti označena opcija *SO6 / T5* te se mora odabrati stvarni (*Actual*) promet. Nakon što se označe svi potrebni parametri, pritiskom na gumb *Export* podaci će se spremiti na računalo u određenu mapu.



Slika 36. Kartica *Traffic Data* u prozoru *Export Dana*  
Izvor: [19]

Kada se učitaju svi potrebni podaci klikom na izbornik *Analysis* otvaraju se nove opcije gdje je potrebno odabrati *PRU Complexity* koji je prikazan na slici 37. Prozor *PRU Complexity* je podijeljen na dva dijela: *Inputs* i *Outputs*. U dijelu *Inputs* se odabiru podaci iz kojih će se računati kompleksnost, međutim NEST nema mogućnost izračuna kompleksnosti za više dana od jednom nego se mora računati dan po dan. Pod opcijom *Traffic* odabere se datoteka u *.so6* formatu s pripadajućim datumom. Zatim odaberemo pripadajuće datoteke *Airblocks, Sectors* i *Centers* u odgovarajućim formatima. Kako bi se dobili što precizniji podaci pod parametre je potrebno izabrati opciju *Generate the results*

per hours koja daje podatke za svaki sat posebno. U dijelu *Outputs* se odabire mjesto i naziv Excel datoteke s podacima koji će se dobiti nakon pritiska gumba *Run*.



Slika 37. Prozor PRU Complexity  
Izvor: [19]

Nakon učitavanja podataka dobije se Excel tablica prikazana na slici 38. U Excel tablici se nalaze dvije kartice od kojih jedna sadrži rezultate unutar 24 sata i to za svaku razinu leta (*Flight level* – FL) posebno. Na drugoj kartici je prikazana legenda s objašnjenjem podataka. Indikatori koji se dobe u tablici su sljedeći:

- *Unit Code* – identifikacija ACC
- *Time* – vrijeme u danu
- FL (*Flight level*) – razina leta
- FT (*Flight hours*) – trajanje leta
- FD (*Flight distance in the cell*) – Duljina leta unutar ćelije
- DH (*Vertical distance in the cell*) – Vertikalna duljina leta unutar ćelije
- TX (*Hours of interactions*) – sati interakcije
- TXH (*Hours of horizontal interactions*) – sati horizontalne interakcije
- TXV (*Hours of vertical interactions*) – sati vertikalne interakcije



- TXS (*Hours of speed interactions*) – sati interakcije brzine
- N (*Number of flight collected*) – broj analiziranih letova
- NCELL (*Total number of active cells, divided by the total number of shifted grid*) – ukupan broj aktivnih ćelija podijeljenih s ukupnim brojem pomaknutih ćelija

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	UNIT_CODE	TIME	FL	FT	FD	DH	TX	TXH	TXV	TXS	N	NCELL
3	LDZOCTA	0:00:00	100	0,01	2,16	7,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0
4	LDZOCTA	0:00:00	110	0,02	4,73	17,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0
5	LDZOCTA	0:00:00	120	0,06	12,36	39,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0
6	LDZOCTA	0:00:00	130	0,12	27,23	77,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0
7	LDZOCTA	0:00:00	140	0,40	92,19	234,85	0,00	0,00	0,00	0,00	4	0
8	LDZOCTA	0:00:00	150	0,18	40,40	92,06	0,00	0,00	0,00	0,00	6	0
9	LDZOCTA	0:00:00	160	0,14	32,83	66,74	0,00	0,00	0,00	0,00	4	0
10	LDZOCTA	0:00:00	170	0,14	31,69	56,74	0,00	0,00	0,00	0,00	4	0
11	LDZOCTA	0:00:00	180	0,09	21,17	36,49	0,00	0,00	0,00	0,00	3	0
12	LDZOCTA	0:00:00	190	0,05	11,92	19,49	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0
13	LDZOCTA	0:00:00	200	0,02	4,33	7,20	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0
14	LDZOCTA	0:00:00	210	0,28	67,62	96,35	0,00	0,00	0,00	0,00	9	0
15	LDZOCTA	0:00:00	220	0,95	259,05	119,24	0,00	0,00	0,00	0,00	21	1
16	LDZOCTA	0:00:00	230	0,83	232,06	88,20	0,00	0,00	0,00	0,00	21	1
17	LDZOCTA	0:00:00	240	0,73	209,25	63,64	0,00	0,00	0,00	0,00	18	1
18	LDZOCTA	0:00:00	250	0,03	13,55	40,18	0,00	0,00	0,00	0,00	4	0
19	LDZOCTA	0:00:00	260	0,04	19,08	56,54	0,00	0,00	0,00	0,00	3	0
20	LDZOCTA	0:00:00	270	0,06	25,61	76,54	0,00	0,00	0,00	0,00	3	0
21	LDZOCTA	0:00:00	280	0,07	31,04	94,20	0,00	0,00	0,00	0,00	3	0
22	LDZOCTA	0:00:00	290	0,05	25,67	72,97	0,00	0,00	0,00	0,00	4	0
23	LDZOCTA	0:00:00	300	0,06	30,70	94,83	0,00	0,00	0,00	0,00	4	0
24	LDZOCTA	0:00:00	310	0,12	54,47	116,95	0,00	0,00	0,00	0,00	5	0
25	LDZOCTA	0:00:00	320	1,79	935,46	119,01	0,00	0,00	0,00	0,00	66	5
26	LDZOCTA	0:00:00	330	5,36	2507,21	195,78	0,20	0,01	0,03	0,01	177	9
27	LDZOCTA	0:00:00	340	10,50	4940,50	191,73	0,36	0,14	0,06	0,01	339	16
28	LDZOCTA	0:00:00	350	9,69	4410,74	199,34	0,30	0,11	0,04	0,00	316	16
29	LDZOCTA	0:00:00	360	13,56	6571,82	226,45	0,46	0,15	0,03	0,00	467	21
30	LDZOCTA	0:00:00	370	9,81	4654,76	245,52	0,32	0,13	0,01	0,00	332	16

Slika 38. Prikaz Excel tablice s rezultatima

Međutim, program neće izračunati indikatore kompleksnosti već je njih potrebno ručno izračunati po formulama iz poglavlja 4.2. i 4.3. Dakle, formule koje se koriste pri izračunu kompleksnosti su sljedeće:

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

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

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

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

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

$$\text{Rezultat kompleksnosti} = \text{sum(TXV + TXH + TXS)} / \text{sum(FT)} = \text{prilagođena gustoća} \times \text{strukturalni indeks}$$

Rezultati kompleksnosti koji se izračunaju pomoću ovih formula nisu konačni rezultati kompleksnosti jer su izraženi u satima interakcije po satu leta. A kako bi se

dobili konačni rezultati koji bi bili vjerodostojni za usporedbu, potrebno je pomnožiti rezultate kompleksnosti sa 60. Nakon što se izračunaju svi parametri, dobiju se rezultati kompleksnosti prikazani u tablici 3.

*Tablica 3.: Prikaz rezultata kompleksnosti*

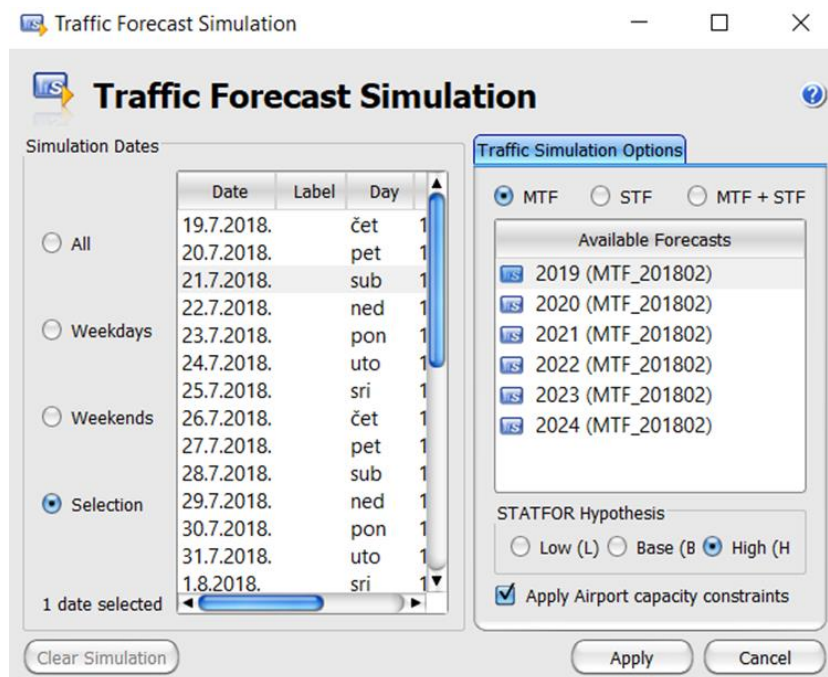
<b>Datum</b>	<b>21.7.2018.</b>	<b>20.7.2019.</b>
<b>Prilagođena gustoća</b>	0,19186621	0,19036864
<b>r_HDIF</b>	0,67712193	0,68190843
<b>r_VDIF</b>	0,09782412	0,10165131
<b>r_SDIF</b>	0,05125902	0,04633751
<b>Strukturalni indeks</b>	0,82620507	0,82989725
<b>Rezultat kompleksnosti</b>	0,158552084	0,15798641
<b>Konačni rezultat kompleksnosti</b>	9,51312504	9,4791846

## 5. SIMULACIJA POVEĆANJA PROMETNE POTRAŽNJE OD 5, 10 I 15 % I IZRAČUN KOMPLEKSNOSTI

Program NEST omogućava korisnicima provedbu raznih simulacija prometa. Promet se može simulirati kako god korisnik to poželi, mogu se smanjiti ili povećati određeni parametri kako bi se dobili različiti prometni scenariji. U ovom radu napravljene su simulacije povećanja prometne potražnje 2018. za 5, 10 i 15 %. Na temelju STATFOR prognoze iz 2018., koju je omogućio EUROCONTROL, moguće je napraviti tri simulacije prometa: *low*, *base* i *high*. *High* scenarij 2019. se može koristiti pri računanju povećanja prometne potražnje od 5 % jer je povećanje prometne potražnje koje prognozira *high* scenarij oko 5 %.

### 5.1. Simulacija prometa

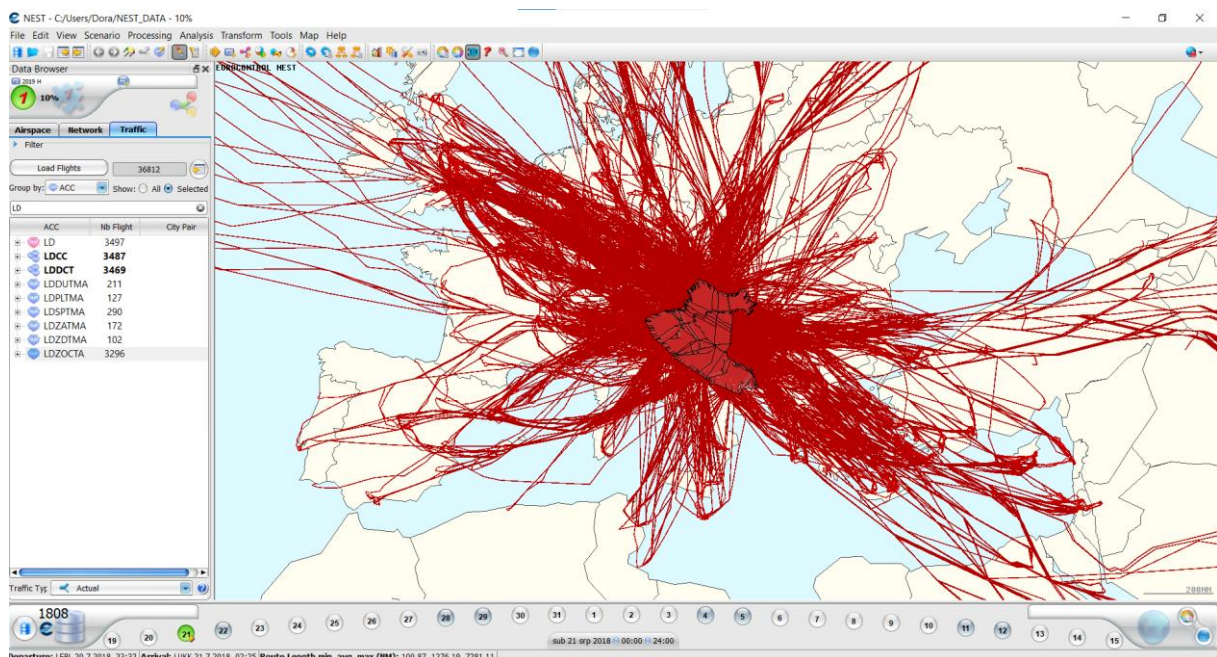
Najprije će se prikazati kako simulirati promet na temelju *high* scenarija. Prvi korak za simulaciju prometa, koji je potrebno napraviti, je u originalnom AIRAC-u 1808 simulirati prognozu. To se može napraviti tako što se u padajućem izborniku *Scenario* odabere opcija *Simulate Traffic Forecast*. Nakon što se odabere ta opcija otvori se prozor sa slike 39.



Slika 39. Prikaz prozora za simulacije prognoza prometa  
Izvor: [19]

Pod opcijom *Simulation Dates* izabere se datum za koji se želi simulirati promet, što je u ovom slučaju treća subota u mjesecu srpnju (21.7.2018.). Pod opcijom *Traffic Simulation Options* se odabere MTF<sup>1</sup>, a STF<sup>2</sup> i MTF + STF se ostave neoznačeni. U prozoru *Available Forecasts* su prikazane prognoze EUROCONTROL-a koje su napravljene u veljači 2018. godine te se odabere prognoza za 2019. (2019 (MTF\_201802)). Zadnji korak koji je potrebno napraviti je izabrati želimo li pesimističnu (*low*), osnovnu (*base*) ili optimističnu (*high*) prognozu. Kada se izaberu svi potrebni parametri pritisne se gumb *Apply* da se napravi simulacija.

Kada se napravi simulacija kreira se novi AIRAC scenarij, a kod dana za koji je napravljen scenarij se pojavi tipka *Play* koja označava simulaciju. Na slici 40. je prikazana simulacija prometa 2018. s povećanjem potražnje prometa od 10 %.



Slika 40. Sučelje programa NEST sa simuliranim prometom

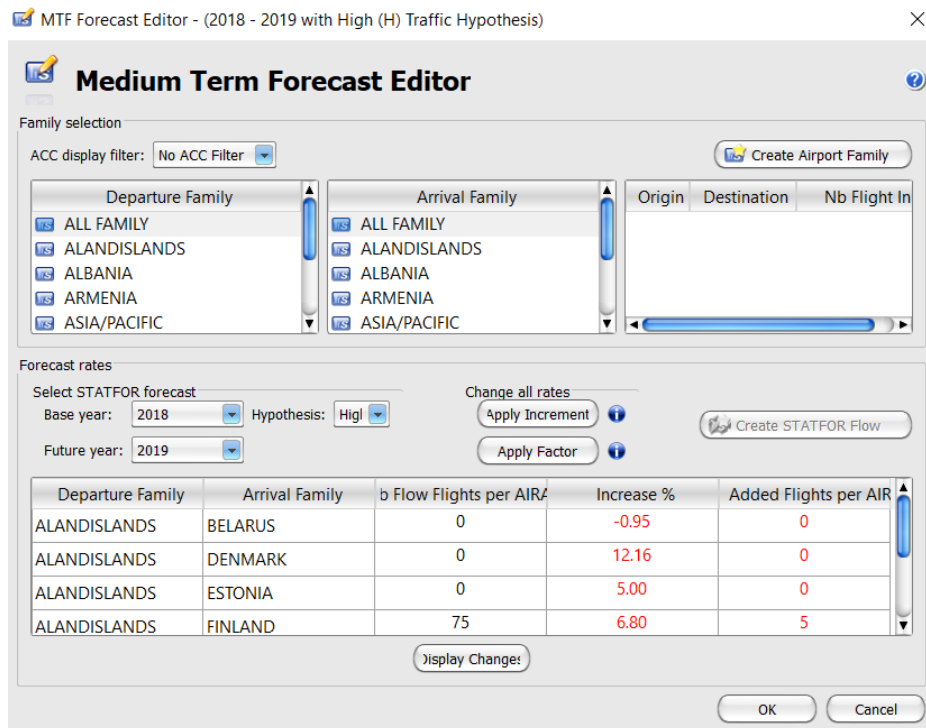
Izvor: [19]

Kako bi simulirali povećanje prometne potražnje od 10 i 15 % potrebno je napraviti još jedan korak prije simulacije prognoze. Potrebno je kreirati vlastitu prognozu povećanja prometne potražnje. U padajućem izborniku *Edit* se odabere opcija *MTF Forecast Editor* nakon čega se dobije prikaz kao na slici 41. pod *Family selection* se ne odabire nikakav filter, nego se ostavi kako je. Pod *Forecast rates* se za *Base year* odabire 2018., za *Future year* 2019., hipoteza se postavi na *high* kako bi se dobila

<sup>1</sup> MTF – Medium-Term Forecast -srednjeročna prognoza

<sup>2</sup> STF – Short-Term Forecast – kratkoročna prognoza

povećanje prometne potražnje 2018. + 5 %. Kako bi se dobilo povećanje od 10 %, potrebno je pod opcijom *Apply Increment* odabrati povećanje od 5 % jer je u hipotezi već odabrano povećanje od 5 %, a s ovih 5 % koji se dodaju preko inkrementa se dobije povećanje od 10 %. Za povećanje prometne potražnje od 15 % postavljaju se isti parametri. Jedina razlika je što se pod inkrementom upisuje broj 10 kako bi se dobilo povećanje od 15 %.



Slika 41. Kreiranje novog prometnog toka  
Izvor: [19]

Nakon što se odaberu svi potrebni parametri pritisne se gumb OK kako bi se kreirala nova prognoza. Kada se kreira prognoza potrebno je ponovno otići na simulacije prometa kao što je prikazano na slici 39., osim što će umjesto kod odabira prognoza biti ponuđene prognoze koje su se kreirale u programu, odnosno umjesto 2019 (MTF\_201802) pisati će 2019 (CustomForecast). Nakon što se tu odabere sve što je potrebno dobije se simulirani promet na temelju povećanja prometne potražnje od 5, 10 ili 15 %.

Da bi se vidio promet ostvaren u ACC Zagreb u simuliranom prometu odabere se kartica *Traffic* te pritisne gumb *Load Flights*, a u padajućem izborniku *Group by* se odabere ACC. Također, pod *Traffic Type* se odabere *Actual* kako bi dobili stvarni broj prometa za taj dan.

## 5.2. Izračun kompleksnosti za simulirani promet

Nakon što se naprave sve simulacije potrebno je izvući podatke pomoću kojih će se računati kompleksnost. Postupak vađenja podataka je identičan onom objašnjenom u poglavlju 4.4. Izračun kompleksnosti također je objašnjen u poglavlju 4.4. ovog rada. Nakon što se obave svi potrebni postupci i izračuni dobiju se rezultati prikazani u tablici 4. Iz tablice 4. je vidljivo kako se s povećanjem prometne potražnje povećala i kompleksnost zračnog prometa.

*Tablica 4.: Prikaz rezultata kompleksnosti*

	<b>2018. + 5 %</b>	<b>2018. + 10%</b>	<b>2018. + 15 %</b>
<b>Prilagođena gustoća</b>	0,20412361	0,21695696	0,22869985
<b>r_HDIF</b>	0,66908576	0,66203479	0,66081659
<b>r_VDIF</b>	0,09656311	0,09531356	0,09499227
<b>r_SDIF</b>	0,04966665	0,04878209	0,04967974
<b>Strukturalni indeks</b>	0,81531552	0,80613045	0,8054886
<b>Rezultat kompleksnosti</b>	0,16642515	0,17489561	0,18421512
<b>Konačni rezultat kompleksnosti</b>	9,98550907	10,4937365	11,0529074

## 6. USPOREDBA REZULTATA

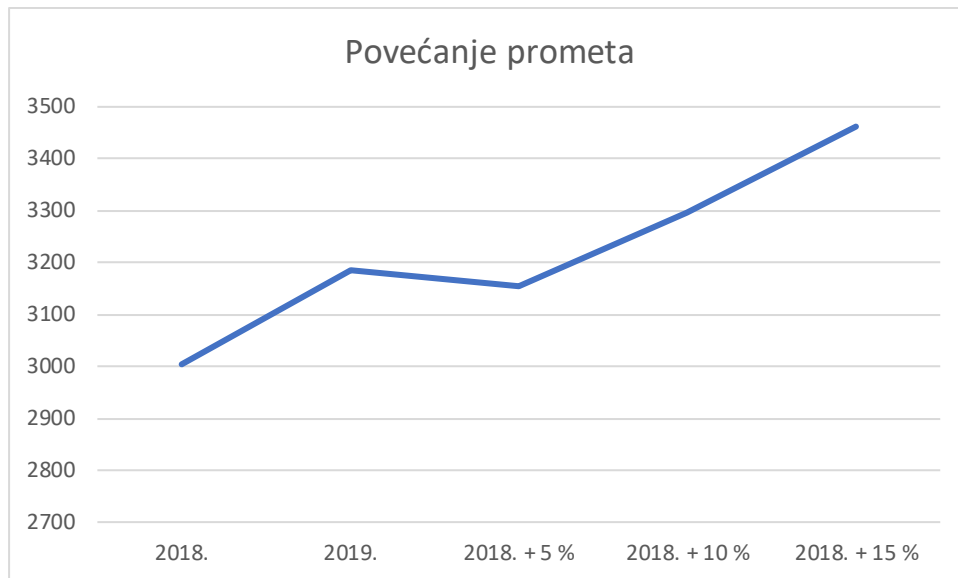
Program NEST omogućio je analize prometa koje su obrađene u ovom radu. Kako bi se vidio utjecaj prometne potražnje na samu kompleksnost zračnog prometa napravljeni su razni izračuni i simulacije prometa.

### 6.1. Usporedba prometa

Zračni promet iz godine u godinu napreduje pa se onda očekuje i povećanje prometne potražnje. Na temelju izračuna i analiza koje su obavljene u ovom radu moguće je napraviti usporedbu prometa za najprometniji dan u srpnju 2018., 2019., 2018. + 5 %, 2018. + 10 % i 2018. + 15 % unutar ACC Zagreb. Povećanje prometa je prikazano na grafikonu 1. gdje je vidljivo koliko je s povećanjem prometne potražnje i sam promet unutar ACC Zagreb povećan. 2018. godine ostvareno je najmanje prometa, dok je 2018. + 15 % po simulaciji ostvareno najviše prometa. U tablici 5. se može vidjeti da je 2019. godine za taj dan ostvareno 6,25 % više letova nego 2018., što je više nego kada se povećala prometna potražnja 2018. za 5 %.

*Tablica 5. Prikaz broja letova i postotak povećanja prometa*

	Broj letova	Povećanje prometa
2018.	3004	/
2019.	3185	181
2018. + 5 %	3153	149
2018. + 10 %	3296	292
2018. + 15 %	3462	458



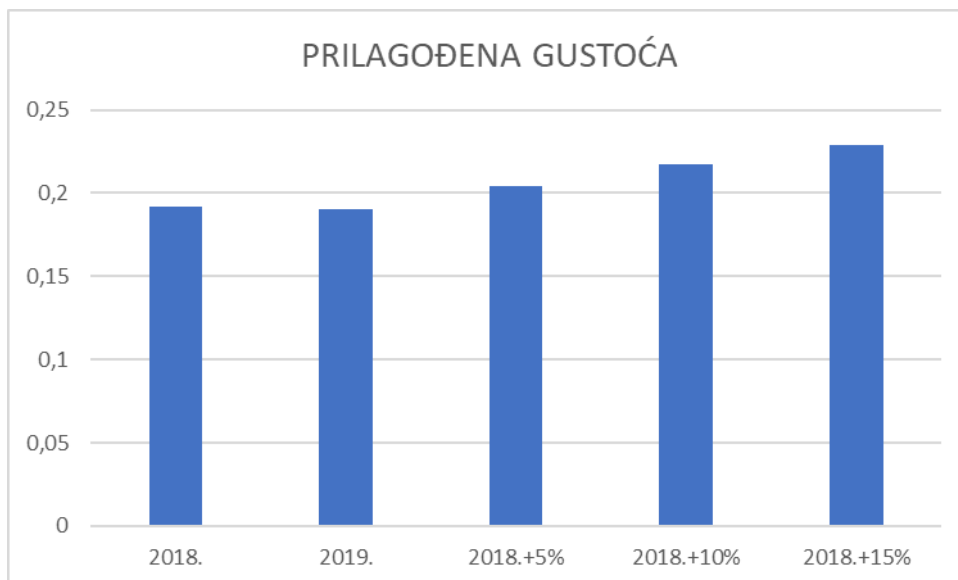
*Grafikon 1. Prikaz povećanja prometa*

## 6.2. Usporedba kompleksnosti

Pri usporedbi kompleksnosti potrebno je usporediti i indikatore koji utječu na kompleksnost jer bez tih indikatora ne bi bilo moguće izračunati kompleksnost.

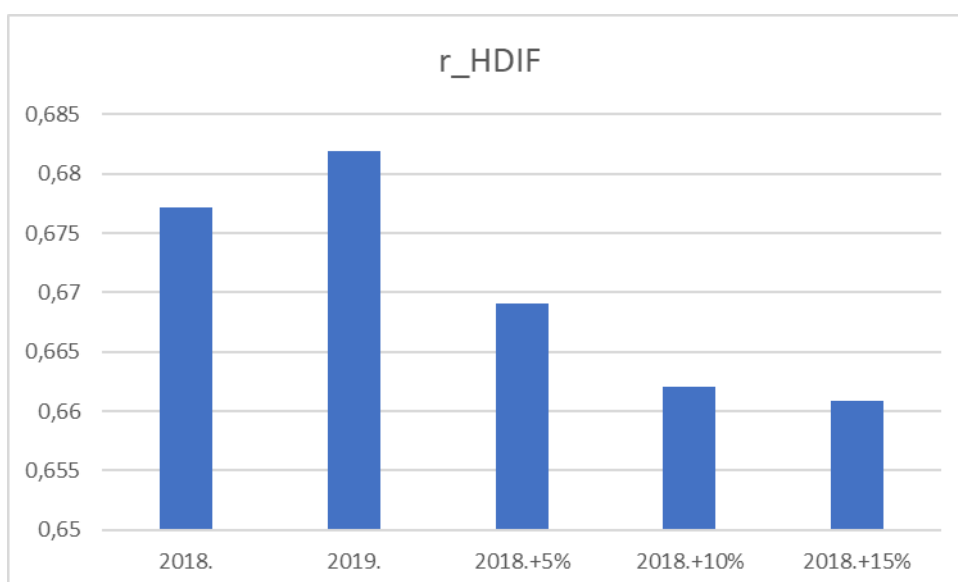
Pomoću prikaza prilagođene gustoće može se vidjeti količina prometa unutar određenog volumena i vremena. Na grafikonu 2. prikazana je prilagođena gustoća po scenarijima. Tako se iz grafikona može iščitati da je najveća gustoća u scenariju 2018. + 15 % jer je tada predviđena najveća količina prometa u određenom volumenu i vremenu.





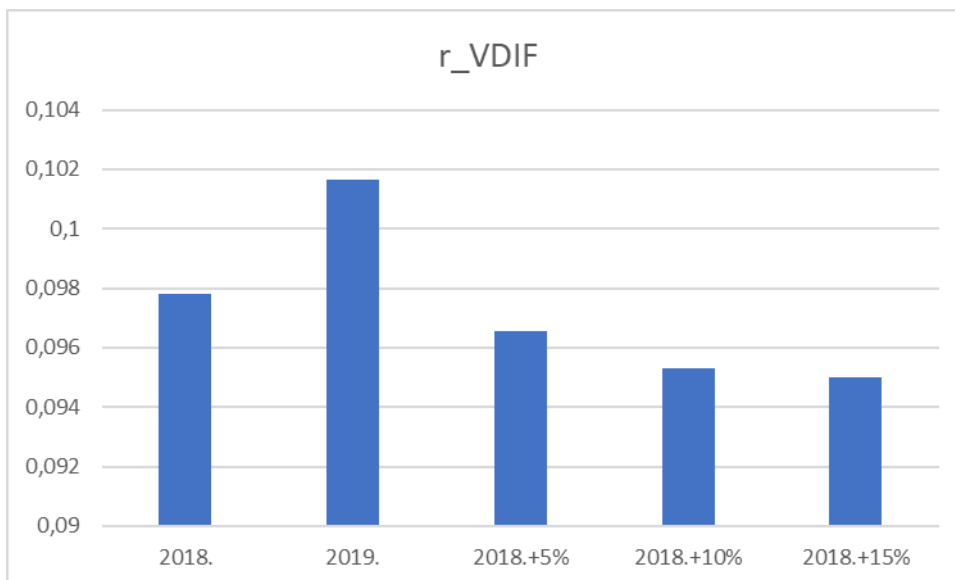
Grafikon 2. Prikaz prilagođene gustoće

Na grafikonu 3. prikazani su iznosi horizontalne interakcije i iz grafikona je vidljivo da je najviše horizontalne interakcije bilo tijekom 2019. godine te da je po simuliranom prometu trebalo biti manje horizontalnih interakcija nego 2018. godine.



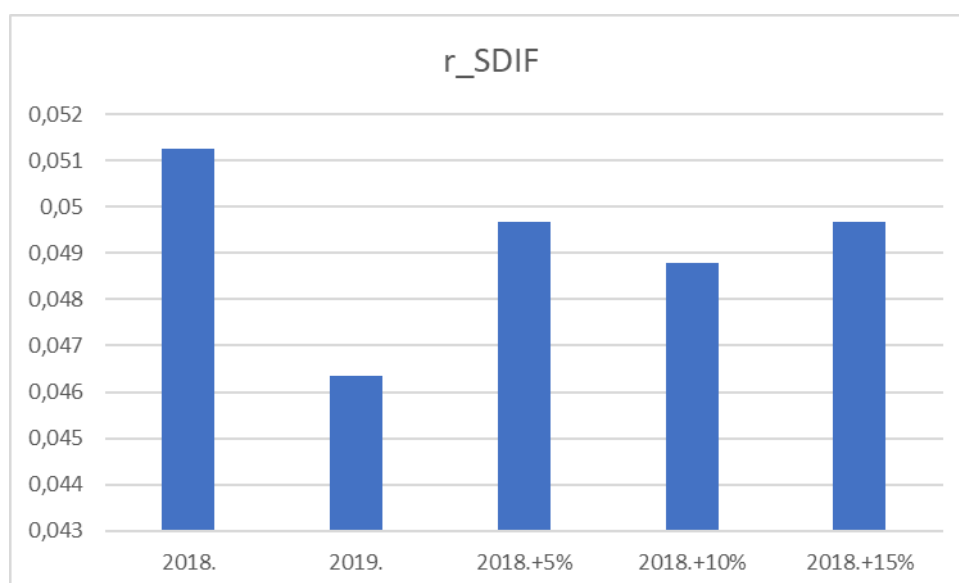
Grafikon 3. Prikaz horizontalnih interakcija

Grafikon 4. prikazuje usporedbu vertikalnih interakcije i može se zaključiti kako su vertikalne interakcije u istom odnosu kao i horizontalne. Najviše je vertikalnih interakcija tijekom 2019., a u simuliranom prometu bi se trebale smanjiti.



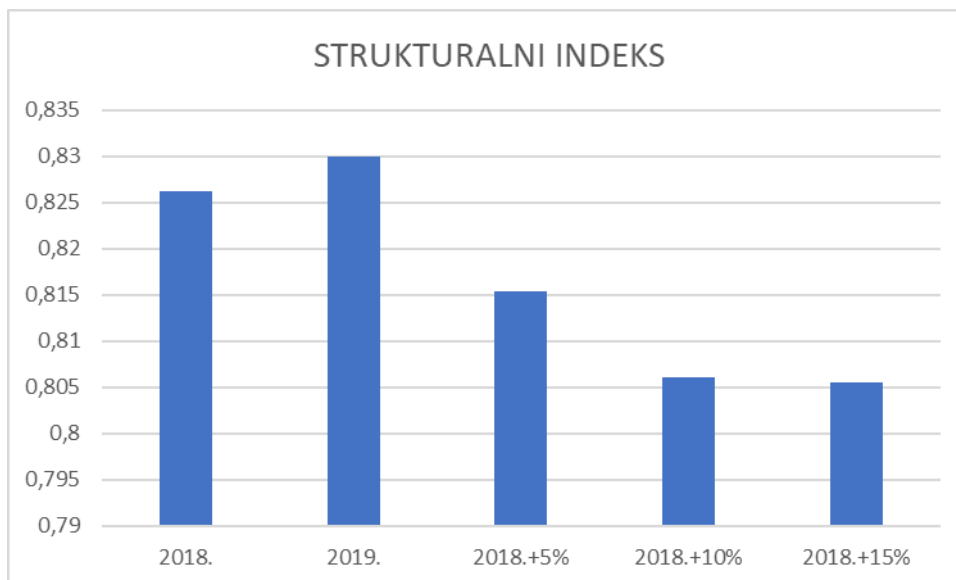
Grafikon 4. Prikaz vertikalnih interakcija

Na grafikonu interakcija brzine (grafikon 5.) se vidi kako su interakcije brzine varirale u različitim simulacijama prometa. 2018. godine je bilo najviše tih interakcija, a 2019. najmanje, dok su za simulirane prometne tokove približne.



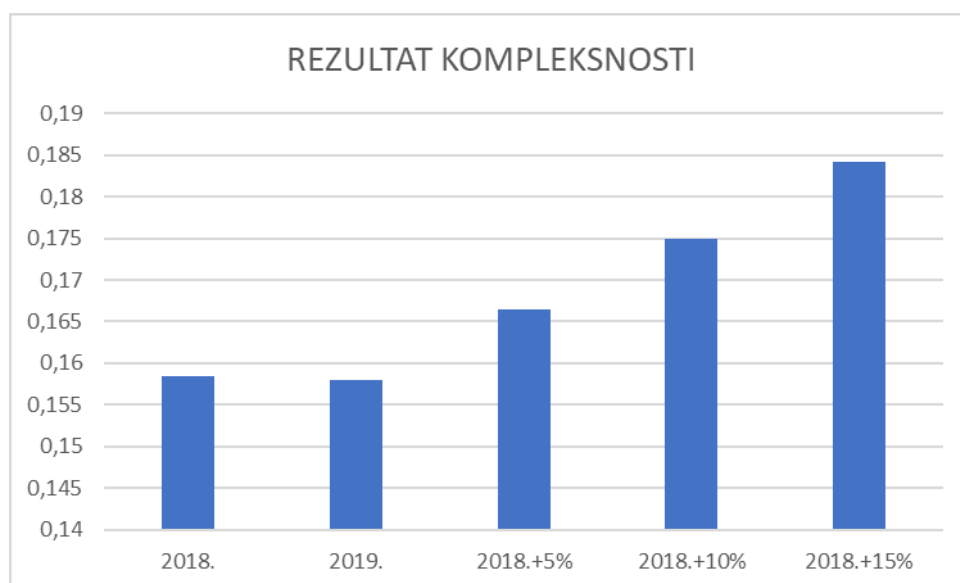
Grafikon 5. Prikaz interakcija brzine

Strukturalni indeks, prikazan na grafikonu 6., povezan je sa strukturom tokova prometa. Tako je vidljivo da su u simuliranom prometu ti tokovi trebali biti bolje strukturirani nego u stvarnom prometu pa je i strukturalni indeks manji nego 2018. i 2019.



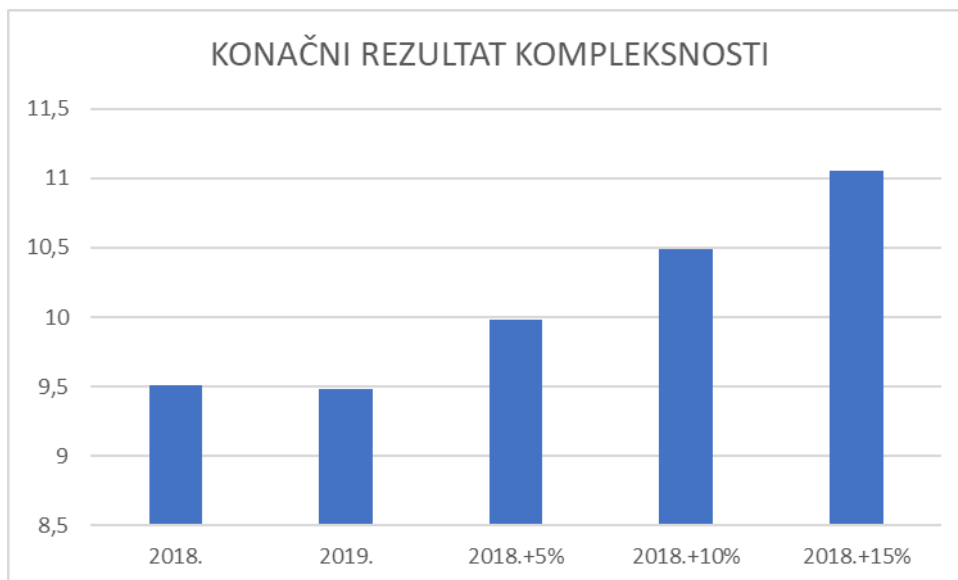
Grafikon 6. Prikaz strukturalnog indeksa

Rezultat kompleksnosti ovisi o prometu, odnosno o indikatorima koji su ranije navedeni. Na grafikonu 7. je vidljivo povećanje rezultata kompleksnosti s povećanjem prometne potražnje. Dakle, što je veća prometna potražnja biti će veća i kompleksnost zračnog prometa. Dobivena kompleksnost se može usporediti s postotkom povećanja prometne potražnje. Povećanje prometne potražnje od 5 % daje približno 5 % povećanja kompleksnosti. Dakle, kompleksnost će se povećati za skoro isti postotak kao i prometna potražnja.



Grafikon 7. Prikaz rezultata kompleksnosti

Konačna kompleksnost, koja bi se mogla uspoređivati s rezultatima iz PRR, prikazana je na grafikonu 8.



*Grafikon 8. Prikaz konačnih rezultata kompleksnosti*

## 7. ZAKLJUČAK

Iz godine u godinu zračni promet bilježi porast, kako u cijelom svijetu pa tako i u Hrvatskoj. Na temelju prometnih podataka koji su analizirani u ovom radu ostvarena su godišnja povećanja od približno 10 %. Najviše prometa ostvareno je preletima, dok manji dio predstavljaju međunarodni dolasci i odlasci te domaći promet. Godina 2019. se uzima kao zadnja referentna godina i predstavlja godinu koja je oborila sve rekorde u zračnom prometu. Godine 2020. i 2021. bilježe pad prometa zbog virusa SARS Covid-19 koji je ograničio putovanja.

Zbog povećanja prometa te ograničenog kapaciteta dolazi do povećanja kompleksnosti zračnog prometa što može utjecati na radno opterećenje kontrolora leta. Kompleksnost zračnog prometa ovisi o gustoći prometa, promjenama visine, strukturom prometnog toka te mješavinom prometa. Što su ti pokazatelji veći, veća će biti i kompleksnost zračnog prometa. Program NEST omogućava razne simulacije prometa kao što su u ovom radu napravljene tri simulacije za povećanje prometne potražnje 2018. za najprometniji dan u srpnju te izračun njihove kompleksnosti.

Kada se usporede rezultati o povećanju prometa, vidljivo je da je s povećanjem prometne potražnje došlo do povećanja prometa unutar ACC Zagreb. Što se tiče kompleksnosti, potrebno je napraviti usporedbu samih indikatora za bolje razumijevanje kompleksnosti zračnog prometa koja je izračunata u ovom radu. Strukturalni indeks ovisi o vertikalnim interakcijama, horizontalnim interakcijama te interakcijama brzine. Strukturalni indeks je u simuliranom prometu bio mnogo manji nego u stvarnom prometu najprometnijeg dana srpnja 2018. i 2019. godine. Da bi se dobio rezultat kompleksnosti, potrebno je pomnožiti strukturalni indeks s prilagođenom gustoćom koja je bila manja u stvarnom prometu, nego u simuliranom. Na kraju se dobiju rezultati kompleksnosti koji se povećavaju s povećanjem prometne potražnje. Povećanje prometne potražnje od 5 %, daje veću kompleksnost nego ona koja je bila 2018., dok povećanje prometne potražnje od 15 % daje najveću kompleksnost za promatrani dan. Povećanje kompleksnosti povećava se za skoro isti postotak kao i povećanje prometne potražnje. Rezultati su na kraju uspoređeni sa stvarnim prometom koji se dogodio tijekom najprometnijeg dana srpnja 2019. godine.

## Bibliografija

- [1] B. Juričić, »Teorija konrole zračnog prometa 1«.
- [2] Hrvatska kontrola zračne plovidbe, »Godišnji izvještaj o stanju Društva za 2018.,« [Mrežno]. [Pokušaj pristupa 3 Lipanj 2022.].
- [3] Hrvatska kontrola zračne plovidbe, »Izvješće o održivosti 2018.,« [Mrežno]. [Pokušaj pristupa 3 Lipanj 2022.].
- [4] Hrvatska kontrola zračne plovidbe, »CCL Annual Report 2018,« [Mrežno]. [Pokušaj pristupa 3 Lipanj 2022.].
- [5] Hrvatska kontrola zračne plovidbe, »Godišnji izvještaj o stanju Društva za 2019.,« [Mrežno]. [Pokušaj pristupa 7 Lipanj 2022.].
- [6] Hrvatska kontrola zračne plovidbe, »CCL Annual Report 2019,« [Mrežno]. [Pokušaj pristupa 7 Lipanj 2022. ].
- [7] Hrvatska kontrola zračne plovidbe, »Izvješće o održivosti 2019.,« [Mrežno]. [Pokušaj pristupa 7 Lipanj 2022.].
- [8] Hrvatska kontrola zračne plovidbe, »Izvješće o održivosti 2020.,« [Mrežno]. [Pokušaj pristupa 8 Lipanj 2022.].
- [9] Hrvatska kontrola zračne plovidbe, »Godišnji izvještaj o stanju Društva za 2020.,« [Mrežno]. [Pokušaj pristupa 8 Lipanj 2022.].
- [10] Hrvatska kontrola zračne plovidbe, »CCL Annual Report 2020,« [Mrežno]. [Pokušaj pristupa 8 Lipanj 2022.].
- [11] Hrvatska kontrola zračne plovidbe, »Godišnji izvještaj o stanju Društva za 2021.,« [Mrežno]. [Pokušaj pristupa 1 Srpanj 2022.].
- [12] Hrvatska kontrola zračne plovidbe, »Izvješće o održivosti 2021.,« [Mrežno]. [Pokušaj pristupa 1 Srpanj 2022.].
- [13] EUROCONTROL, [Mrežno]. Available: seven-year-flights-service-units-forecast-2018-2024-Feb2018. [Pokušaj pristupa 13 Srpanj 2022.].
- [14] EUROCONTROL, [Mrežno]. Available: <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-five-year-forecast-2020-2024>. [Pokušaj pristupa 14 Srpanj 2022.].
- [15] EUROCONTROL, *eurocontrol-forecast-2020-2024-traffic-table*.
- [16] EUROCONTROL, [Mrežno]. Available: <https://www.eurocontrol.int/news/eurocontrol-3-year-forecast-2022-2024>. [Pokušaj pristupa 14 Srpanj 2022.].
- [17] EUROCONTROL, »Performance Review Report,« [Mrežno]. Available: <https://www.eurocontrol.int/publication/performance-review-report-prr-2019>.

[18] EUROCONTROL, »Complexity Metrics for ANSP Benchmarking Analysis,« [Mrežno]. Available: 2006-complexity-metrics-report. [Pokušaj pristupa 31 Srpanj 2022.].

[19] EUROCONTROL, *NEST*.

## Popis slika

Slika 1. Kontrolirane operacije - IFR GAT (FIR Zagreb) 2018. [2].....	3
Slika 2. Ostvareni broj kontroliranih operacija u 2018. godini [2] .....	4
Slika 3. Struktura kontroliranih operacija 2017. /2018. [3] .....	4
Slika 4. Usporedba prometa i kašnjenja 2017./2018. [2].....	5
Slika 5. Promet na hrvatskim aerodromima 2017. /2018. [4] .....	5
Slika 6. Prikaz udjela prometa na hrvatskim aerodromima 2018. [3].....	6
Slika 7. Kontrolirane operacije - IFR GAT (FIR Zagreb) 2019. [5].....	6
Slika 8. Ostvareni broj kontroliranih operacija u 2019. godini [5] .....	6
Slika 9. Usporedba IFR - GAT prometa 2008. - 2019. [6] .....	7
Slika 10. Usporedba prometa i kašnjenja 2018./2019. [5].....	8
Slika 11. Struktura kontroliranih operacija 2019. [7].....	9
Slika 12. Usporedba broja operacija na aerodromima 2018. /2019. [6] .....	9
Slika 13. Prikaz udjela prometa na hrvatskim aerodromima 2019. [7].....	10
Slika 14. Kontrolirane operacije - IFR GAT (FIR Zagreb) 2020. [9] .....	10
Slika 15. Prikaz broja letova po godinama [8] .....	11
Slika 16. Ostvareni broj kontroliranih operacija u 2020. godini [10] .....	12
Slika 17. Struktura kontroliranih operacija 2020. [8].....	12
Slika 18. Prikaz podjele prometa prema namjeni 2020. [8].....	13
Slika 19. Usporedba broja operacija na aerodromima 2019. /2020. [8] .....	14
Slika 20. Kontrolirane operacije - IFR GAT (FIR Zagreb) 2021. [11] .....	14
Slika 21. Ostvareni broj kontroliranih operacija u 2021. godini [11] .....	15
Slika 22. Prikaz broja letova po godinama [12] .....	15
Slika 23. Usporedba broja operacija na aerodromima 2019. /2020. /2021. [12] .....	16
Slika 24. Prosječno godišnje povećanje prometa od 2017. do 2024. [13] .....	18
Slika 25. Prognoza prometa za Republiku Hrvatsku [13].....	18
Slika 26. Prognoza prometa za Europu za period od 2020. do 2024. [14] .....	19
Slika 27. Prognoza prometa od 2020. do 2024. za Republiku Hrvatsku [15] .....	19
Slika 28. Prognoza prometa od 2022. do 2024. [16].....	20
Slika 29. Prikaz dimenzije ćelija .....	24
Slika 30. Primjer interakcija zrakoplova u ćeliji .....	25
Slika 31. Primjer izračuna prilagođene gustoće .....	26
Slika 32. Primjer vertikalnih interakcija .....	27
Slika 33. Primjer horizontalnih interakcija [18] .....	28
Slika 34. Sučelje programa NEST .....	31
Slika 35. Kartica Airspace Data u prozoru Export Data.....	32
Slika 36. Kartica Traffic Data u prozoru Export Dana.....	33
Slika 37. Prozor PRU Complexity .....	34
Slika 38. Prikaz Excel tablice s rezultatima .....	35
Slika 39. Prikaz prozora za simulacije prognoza prometa .....	37
Slika 40. Sučelje programa NEST sa simuliranim prometom.....	38
Slika 41. Kreiranje novog prometnog toka .....	39



## Popis tablica

Tablica 1. : Dimenzije i indikatori kompleksnosti.....	23
Tablica 2.: Prikaz broja interakcija sa primjera na slici 33. ....	29
Tablica 3.: Prikaz rezultata kompleksnosti .....	36
Tablica 4.: Prikaz rezultata kompleksnosti .....	40
Tablica 5. Prikaz broja letova i postotak povećanja prometa .....	41

## Popis grafikona

Grafikon 1. Prikaz povećanja prometa .....	42
Grafikon 2. Prikaz prilagođene gustoće .....	43
Grafikon 3. Prikaz horizontalnih interakcija .....	43
Grafikon 4. Prikaz vertikalnih interakcija.....	44
Grafikon 5. Prikaz interakcija brzine .....	44
Grafikon 6. Prikaz strukturalnog indeksa .....	45
Grafikon 7. Prikaz rezultata kompleksnosti .....	45
Grafikon 8. Prikaz konačnih rezultata kompleksnosti.....	46

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 mojega 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 prometne potražnje na kompleksnost zračnog prometa , u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 5.9.2022.

Dora Markulin