

# Učinak pandemije COVID-19 na izloženost stanovništva buci u okolici Zračne luke Split

---

Marković, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:776753>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-31**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Ana Marković**

**UČINAK PANDEMIJE COVID-19 NA IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA  
BUCI U OKOLICI ZRAČNE LUKE SPLIT**

**DIPLOMSKI RAD**

Zagreb, 2021.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 11. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Zrakoplovne emisije**

**DIPLOMSKI ZADATAK br. 6391**

Pristupnik: **Ana Marković (0135241824)**  
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Učinak pandemije COVID-19 na izloženost stanovništva buci u okolici  
Zračne luke Split**

Opis zadatka:

Definirati osnovne parametre buke zrakoplova karakteristične za dolazne i odlazne procedure te izloženost stanovništva buci. Modelirati realizirane prilazne i odlazne letove za vršni dan u 2019. i 2020. godini za ZL Split. Grafički prikazati karakteristične rezultate. Usporediti utjecaj na izloženost stanovništva buci za oba slučaja. Diskutirati rezultate te promjenu izloženosti stanovništva buci u okolici Zračne luke Split uslijed pandemije COVID-19.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

doc. dr. sc. Jurica Ivošević

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**DIPLOMSKI RAD**

**UČINAK PANDEMIJE COVID-19 NA IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA BUCI U  
OKOLICI ZRAČNE LUKE SPLIT**

**IMPACT OF THE COVID-19 PANDEMIC ON POPULATION NOISE EXPOSURE IN  
THE VICINITY OF SPLIT AIRPORT**

Mentor: doc. dr. sc. Jurica Ivošević

Student: Ana Marković  
JMBAG: 0135241824

Zagreb, rujan 2021.

# UČINAK PANDEMIJE COVID-19 NA IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA BUCI U OKOLICI ZRAČNE LUKE SPLIT

## SAŽETAK

Rastom svjetske populacije i prihoda povećava se potražnja za zračnim prijevozom što u konačnici rezultira povećanjem zrakoplovnih emisija. Glavni utjecaji na okoliš u zrakoplovstvu su: buka zrakoplova, emisija plinova zrakoplovnih motora te onečišćenje zemlje i vode u zračnim lukama. Donošenjem propisa i regulativa nastoji se smanjiti negativan utjecaj buke zrakoplova na okoliš i na stanovništvo. S obzirom da se 2020. godine pojavila pandemija COVID-19, zračni promet doživio je veliki krah. Izradom karata buke za vršni dan 2019. i 2020. godine prikazuje se pad zračnog prometa što u konačnici rezultira manjom emisijom buke zrakoplova. U ovom diplomskom radu analiziran je učinak pandemije COVID-19 na izloženost stanovništva buci u okolici Zračne luke Split. Broj jako ugroženih stanovnika tijekom dana za vršni dan 2020. godine smanjio se za 14,7%, dok se broj jako ugroženih stanovnika tijekom noći smanjio za 62,3% u odnosu na vršni dan 2019. godine.

**KLJUČNE RIJEČI:** buka zrakoplova; zračni promet; zračna luka Split; COVID-19; INM; karta buke

## SUMMARY

World population growth and revenues are increasing with the demand for air transport which ultimately results in an increase in air emissions. The main environmental impacts in aviation are: aircraft noise, aircraft engine emissions, and soil and water pollution at airports. The adoption of rules and regulations seeks to reduce the negative impact of aircraft noise on the environment and the population. Since the COVID-19 pandemic broke out in 2020, air traffic has experienced a major crash. The development of noise maps for the peak day in 2019 and 2020 shows the decline in air traffic, which ultimately results in lower noise emissions from aircraft. In this thesis, the impact of the COVID-19 pandemic on the exposure of the population to aircraft noise in the vicinity of Split Airport is analyzed. The number of highly annoyed people during the peak day in 2020 decreased by 14.7%, while the number of highly sleep-disturbed people decreased by 62.3% compared to the peak day in 2019.

**KEYWORDS:** aircraft noise; air traffic; Split airport; COVID-19; INM; noise map

## Sadržaj

1.	Uvod	1
2.	Zrakoplov kao izvor buke	3
2.1.	Uvod	3
2.2.	Buka pogonske skupine	4
2.3.	Aerodinamička buka zrakoplova	7
3.	Fizikalne veličine koje opisuju izloženost stanovništva buci	9
3.1.	Zvuk	9
3.2.	Rasprostiranje zvuka	11
3.3.	Brzina zvuka	12
3.4.	Zvučni tlak	13
3.5.	Zvučni intenzitet	14
3.6.	Zvučna snaga	15
4.	Utjecaj pandemije COVID-19 na zračni promet	16
4.1.	Zračni promet 2019. godine	17
4.2.	Zračni promet tijekom pandemije COVID-19	18
4.3.	Prognoze za zračni promet	23
5.	Karakteristike studije slučaja za zračnu luku Split	27
6.	Modeliranje buke zrakoplova u programu INM	35
6.1.	<i>Integrated Noise Model</i>	35
6.2.	Meteorološki podaci i tipovi zrakoplova	36
6.3.	Uvoženje podataka o promatranom terenu	37
6.4.	Metrika buke	38
6.5.	Postavke populacije	40
6.6.	Kreiranje ruta	40
6.7.	Proceduralni profili	42
6.8.	Kreiranje operacija i postavke rešetke	43
7.	Analiza utjecaja pandemije COVID-19 na izloženost stanovništva buci	47
7.1.	Konture buke	47
7.2.	Buka u točkama od javnog značaja	49
7.3.	Utjecaj buke na stanovništvo okolice Zračne luke Split	51
8.	Zaključak	56
	Napomena	58
	LITERATURA	59

POPIS SLIKA	62
POPIS TABLICA	63
POPIS GRAFIKONA	63
POPIS KRATICA	64

## 1. Uvod

Zračni promet, pri čemu i zračne luke negativno utječu na okoliš stvaranjem emisija iz zrakoplovnih motora i bukom. Buka zrakoplova dostiže tolike razmjere da je kvaliteta života u okolini zračne luke znatno manja. Postoje razni načini smanjenja buke u zračnom prometu od kojih su neki redukcije na izvoru, prostorno planiranje i operativne procedure smanjivanja buke. Uvođenjem restriktivnih mjera i novih tehnologija dobiveni su rezultati koji ukazuju da zrakoplovstvo ide prema održivom razvoju. Kako bi se ocijenila izloženost stanovništva buci zrakoplova kreiraju se strateške karte buke koje prikazuju podatke o postojećem ili predviđenom stanju buke uz korištenje indikatora buke. Cilj istraživanja te u konačnici diplomskog rada jest analiza utjecaja COVID-19 na izloženost stanovništva buci pomoću izrađene karte buke u programu INM (*Integrated Noise Model*). Na temelju dobivenih rezultata provest će se analiza koja će se bazirati na usporedbi karte buke za vršni dan 2019. godine i karte buke za vršni dan 2020. godine. Također će se objasniti na koji način je pandemija COVID-19 utjecala na smanjenje izloženosti stanovništva buci. Uključujući uvodno poglavlje, rad je podijeljen u osam cjelina.

U drugom poglavlju objašnjene su vrste, podjela i utjecaj buke zrakoplova na stanovništvo. Također su analizirani izvori buke zrakoplova koji uvelike utječu na konačne vrijednosti emisije buke.

S obzirom da je u radu analiziran utjecaj buke na stanovništvo u okolini Zračne luke Split, u trećem poglavlju objašnjene su fizikalne veličine koje opisuju izloženost stanovništva buci.

Četvrtim poglavljem objašnjen je utjecaj pandemije COVID-19 na zračni promet u EU. Poglavlje je podijeljeno na tri potpoglavlja: zračni promet 2019. godine, zračni promet tijekom pandemije COVID-19 i prognoze za zračni promet.

Praktični dio diplomskog rada započinje u petom poglavlju gdje su prikazane karakteristike studije slučaja za Zračnu luku Split. Statistički su prikazani i analizirani meteorološki podaci za vršni dan 2019. i 2020. godine te su navedene osnovni podaci o zračnoj luci. Također su navedeni tipovi zrakoplova koji su operirali u promatranom vremenskom razdoblju.



U šestom poglavlju pobliže je objašnjen proces modeliranja buke zrakoplova u programu INM. Analiza učinka pandemije COVID-19 na izloženost stanovništva buci u okolini Zračne luke Split prikazana je u sedmom poglavlju te su dobiveni rezultati statistički obrađeni te tablično i grafički prikazani. Zaključna razmatranja dana su u osmom poglavlju.

## 2. Zrakoplov kao izvor buke

### 2.1. Uvod

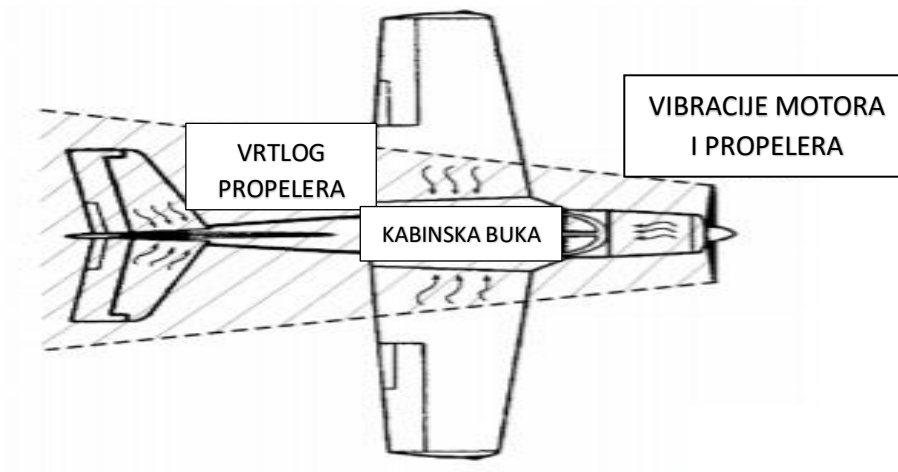
Buka predstavlja svaki neželjeni zvuk tj. svaku zvučnu pojavu koja može ometati rad ili odmor čovjeka. Ona mijenja normalno stanje okoliša na određenom području kroz izazivanje neugodnog osjećaja. Zvuk može biti proglašen bukom ako ima dovoljnu razinu intenziteta, ako je izdvojen od ostalih zvukova te dovoljno čujan [1].

Buku karakteriziraju tri obilježja:

1. izvor buke,
2. smjer rasprostiranja,
3. okoliš u kojem se nalazi prijateljnik.

Svaki od navedenih obilježja sadrži svoje karakteristike. Tako dakle karakteristike izvora buke mogu biti prostorne, vremenske i akustičke, dok smjer rasprostiranja može biti stacionaran ili promjenjiv. Okoliš u kojem se nalazi prijateljnik predstavlja mjesto na kojem se nalazi organ sluha (promatrač ili mjerni instrument). Ono može biti slobodan prostor ili prostor konačnih dimenzija [1].

Buka zrakoplova predstavlja svaki neželjeni zvuk koji proizvodi zrakoplov. Buku zrakoplova uzrokuje lokalna fluktuacija tlaka uzrokovana diskontinuiranim protokom zraka te lokalna fluktuacija tlaka koja je uzrokovana kontinuiranim protokom zračne struje. Vrste buke, s obzirom na izvor, mogu se podijeliti u dvije skupine: zračna buka te strukturna buka. Zračna buka se širi zrakom od izvora do promatrača uzdužnim tj. longitudinalnim valovima. Posjeduje najveći doprinos ukupnoj zvučnoj slici karte buke zrakoplova. Strukturna buka nastaje mehaničkim naprezanjima u strukturi. Izvori strukturne buke zrakoplova su vibracije pogonske grupe i aerodinamički tlakovi na dijelovima strukture zrakoplova [1]. Na Slici 1 prikazani su izvori strukturne buke.



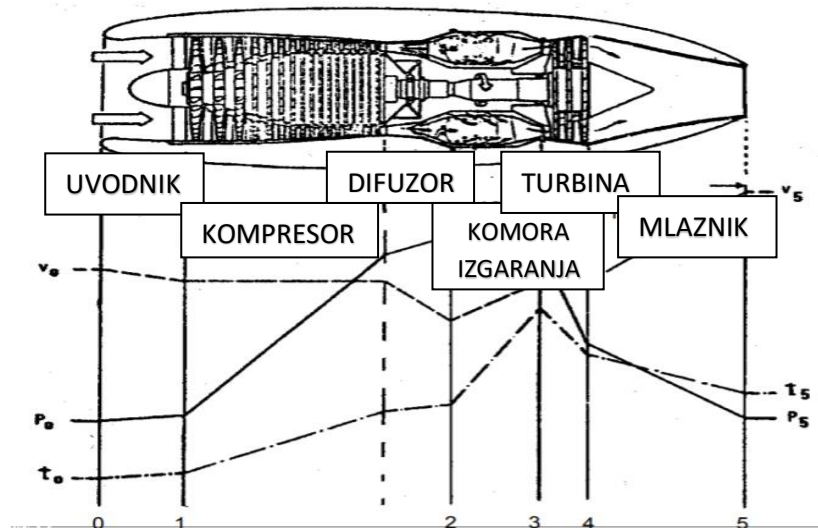
Slika 1 Prikaz izvora strukturne buke, IZVOR: [1]

## 2.2. Buka pogonske skupine

Pogonska skupina zrakoplova pokreće zrakoplov te mu osigurava dovoljnu brzinu koja je potrebna za ostvarivanje uzgona [2]. U pogonsku skupinu spadaju elisni i mlazni motori. Buka pogonskih skupina uzrokovana je svim dijelovima zrakoplova kojim se ostvaruje opstrujavanje zraka oko uzgonskih površina. Uspoređujući buku zrakoplova s elisnim pogonom te zrakoplova s mlaznim motorima dolazi se do zaključka da zrakoplovi s elisnim pogonom stvaraju nižu razinu buke [3].

Glavni dijelovi mlaznog motora su:

1. uvodnik,
2. kompresor,
3. komora izgaranja,
4. turbina,
5. mlaznik [4].

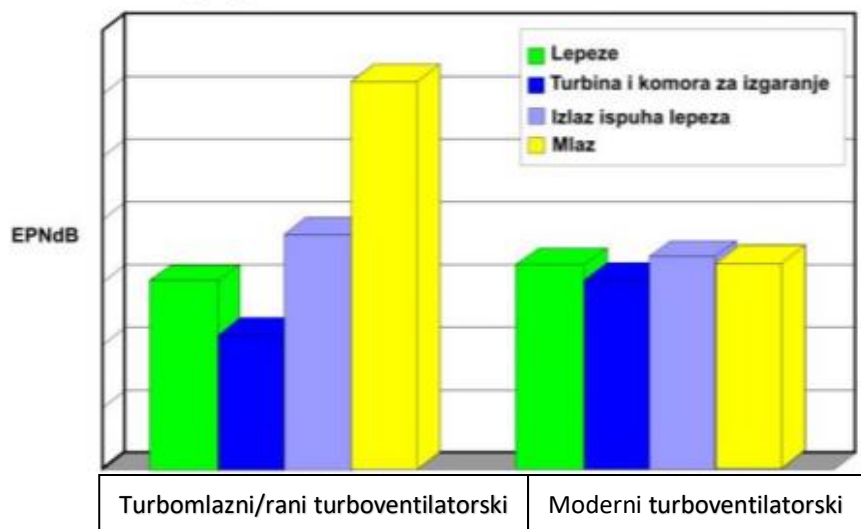


Slika 2 Prikaz glavnih dijelova mlaznog motora, IZVOR: [4]

Zrak prvotno ulazi u uvodnik koji svojim oblikom difuzora utječe na smanjenje brzine i povećanje statičkog tlaka. U kompresoru se tlak značajno povećava čime se povećava i temperatura. Kako bi se dodatno smanjila brzina potrebna za stabilno izgaranje, zrak prolazi kroz difuzor neposredno prije ulaska u komoru izgaranja. U komoru izgaranja se ubrizgava gorivo koje se raspršuje i izgara. Samo kod pokretanja za paljenje smjese goriva i zraka koristi se svjećica za inicijalizaciju izgaranja. U komori izgaranja povećava se radna temperatura, a tlak pada zbog otpora strujanja. Dio oslobođene toplinske energije se iskoristi na lopaticama turbine gdje se pretvara u mehanički rad koji se koristi za pokretanje kompresora. Produkti izgaranja poslije turbine prolaze kroz mlaznik gdje im se povećava brzina, a produkti izgaranja ekspandiraju do približno tlaka okoline. U mlazniku se dakle preostali dio potencijalne energije produkata izgaranja pretvara u kinetičku energiju [4].

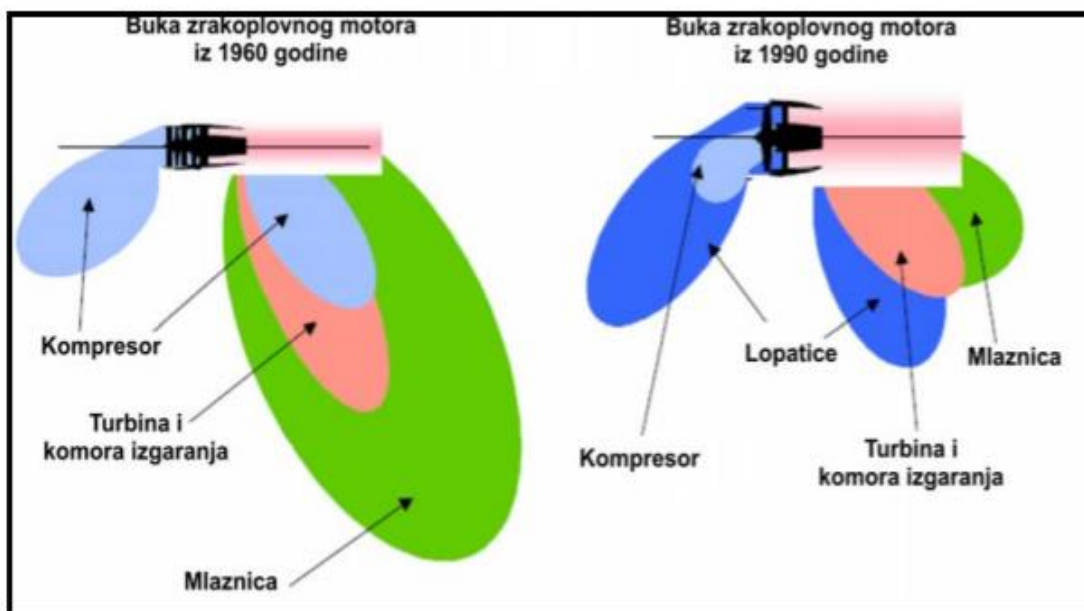
Buka motora uzrokovana je vrtloženjem prilikom kojeg dolazi zbog miješanja brzih i toplih izlaznih plinova iz motora s mirnim i hladnim zrakom okoline. Buka koja je uzrokovana turbo-mlaznim motorom sastoji se od: buke uzrokovane vibracijama kućišta motora, buke kompresora i buke izlaznog mlaza. Komponenta koja se ističe s aspekta buke je buka usisa. Ona se sastoji od širokopolasne buke i tonskih komponenata kojima su izvor lopatice kompresora. Razina buke mlaza u letu je niža za 3 dB - 5 dB od razine za isti režim rada uz mirovanje na tlu. To je posljedica manje relativne brzine izlaznog mlaza u odnosu na zrak okoline [3].

Kao rezultat nastojanja da se smanji razina buke i poveća stupanj iskorištenja turboblaznog motora nastao je turbo ventilatorski ili turbolepezasti motor. Sastoji od lopatica i manjeg turboblaznog motora koji pokreće lopatice. Većina komercijalnih zrakoplova koristi turboventilatorske motore upravo zato što su učinkovitiji i relativno tihi. Razlikuju se od turboblaznog motora po tome što turboventilatorski motor sadrži lepezu koja proizvodi potisak te proizvodi nižu brzinu mlaznog ispuha [5]. Na Slici 3 prikazana je usporedba buke mlaznice u ranijim godinama i danas.



Slika 3 Usporedba buke mlaznice turboblaznih motora u ranijim godinama i danas, IZVOR: [5]

Na Slici 4 prikazan je presjek dvaju turboventilatorska motora iz različitih vremenskih područja. Može se uočiti da su najveći izvori buke na zrakoplovnom motoru iz 1960-ih mlazni ispuh, turbina i kompresor. Kod zrakoplovnog motora iz 1990. godine buka se reducirala te ušla u granice praga tolerancije. Prilikom polijetanja i slijetanja kod svakog zrakoplova postoji razlika u stvaranju buke. Kod polijetanja izvori buke su buka lopatice i komore izgaranja te buka koja nastaje miješanjem potisnog zraka. Tijekom slijetanja glavni izvori buke su buka turbine, buka strukture koja nastaje zbog otpora te buka lopatica [5].

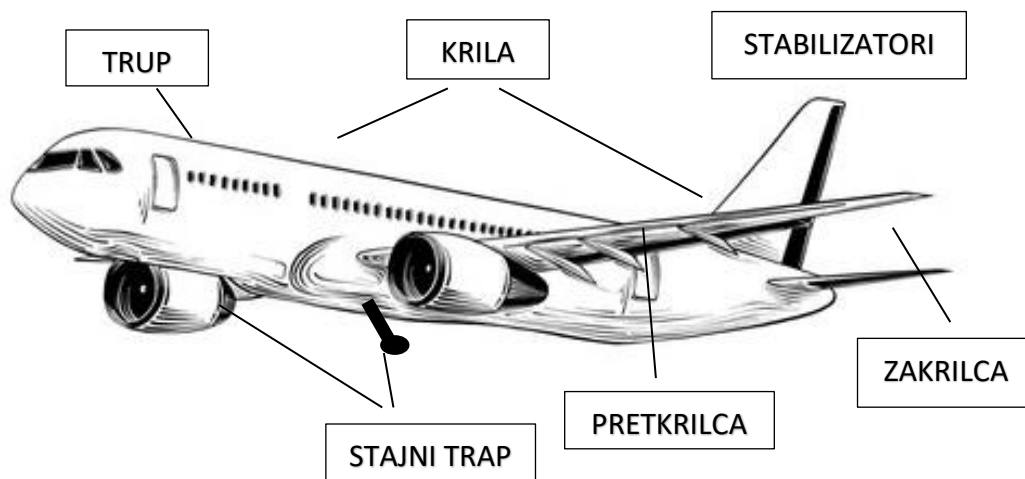


Slika 4 Usporedba buke zrakoplovnog motora iz 1960. i 1990. godine, IZVOR: [5]

Propellerski pogon uglavnom se koristi kod pogona malih zrakoplova. Propeler ili elisa se definira kao rotor s najmanje dva kraka koji mogu imati fiksni i promjenjivi korak. Krakovi propelera su izrađeni tako da se omogući stvaranje područja niskog tlaka s jedne i područja povišenog tlaka s druge strane. Nastanak propellerske buke povezan je s debljinom krakova propelera i aerodinamičnim tlakovima na krakovima koji stvaraju zaokretni moment. Turbulencija koja nastaje na graničnom sloju krakova također predstavlja izvor buke. Čimbenici koji utječu na spektar buke su: broj krakova, oblik aeroprofila kraka, obodna brzina vrha kraka te udaljenost promatrača [5].

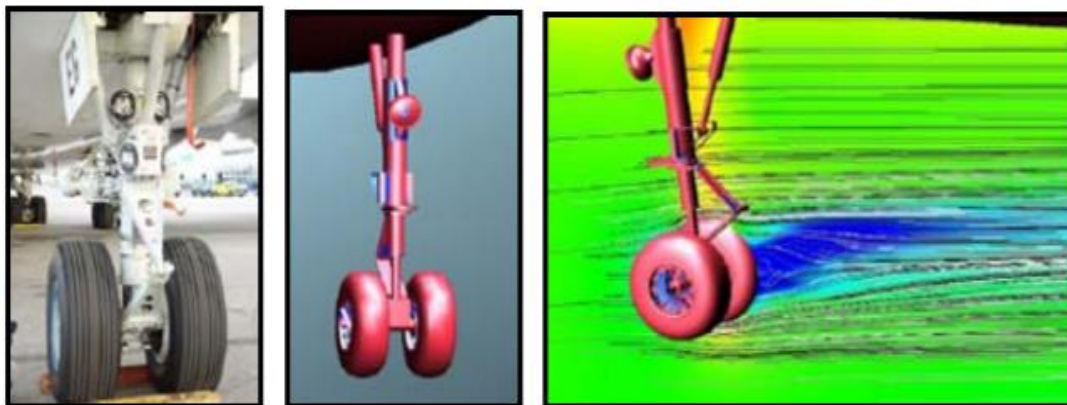
### 2.3. Aerodinamička buka zrakoplova

Aerodinamička buka zrakoplova nastaje zbog opstrujavanja nadolazeće struje zraka oko strukture zrna [1]. Glavni dijelovi aeroprofila koji stvaraju buku su pokretni sustavi koji se nalaze na krilima te stajni trap. Buka aeroprofila zrakoplova posljedica je pulsiranja aerodinamičnih sila na krilu koje nastaju zbog turbulentnog graničnog sloja i vrtloga koji nastaje pri opstrujavanju trupa, repnih površina i površine krila. Na Slici 5 prikazani su izvori buke koji čine strukturnu buku: pretkrilca, stajni trap, zakrilca te vertikalni stabilizator zrakoplova. Svi elementi koji djeluju u fazi polijetanja i slijetanja te su isto tako pomični proizvode manju buku kod manjih i srednjih zrakoplova te veću kod većih zrakoplova [5].



*Slika 5 Prikaz izvora strukturne buke zrakoplova*

Stajni trap je jedan od važnih izvora buke strukture zbog protoka zraka koji opstrujava oko njega. Prethodno navedeni ima neaerodinamičan geometrijski oblik koji generira veliki turbulentni trag. Dijelovi nosnog kotača koji najviše utječu na stvaranje buke su: oplata nakon izvlačenja kotača, glavna noga, potpornik, osovina, kočnice i kotači [5].



*Slika 6 Prikaz analize opstrujavanja zraka oko nosnog kotača Boeing-a 747, IZVOR: [5]*

### 3. Fizikalne veličine koje opisuju izloženost stanovništva buci

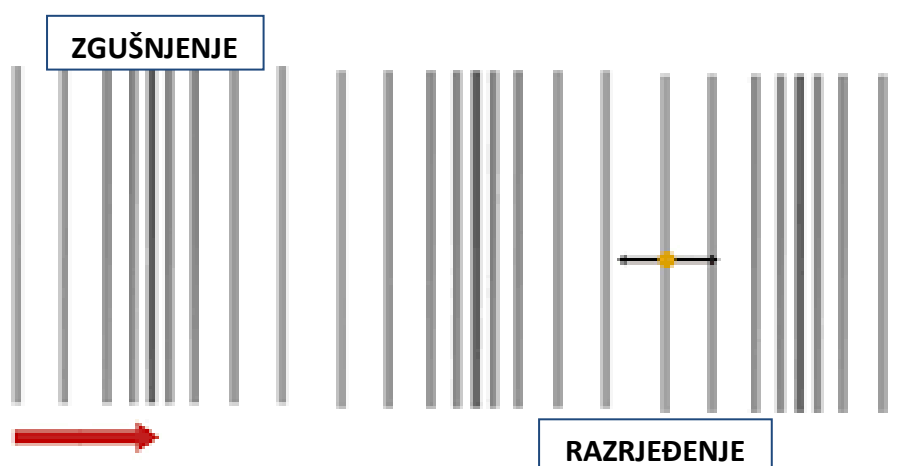
#### 3.1. Zvuk

Grana fizike koja se bavi proučavanjem nastajanja, širenja i osjetom zvuka naziva se akustika. Ona također proučava vibriranje materijala te zvučne valove iz različitih izvora što se nadalje može primijeniti u arhitekturi, dizajniranju kazališta, glazbenih dvorana i slično [5]. Zvuk je pojava promjene tlaka, napona ili brzine čestice koja se širi određenom brzinom nekim elastičnim medijem, a koje ljudsko uho može zamijetiti. Zvuk je, također, longitudinalno titranje čestica tvari oko ravnotežnog položaja što se može vidjeti na Slici 7 [1]. Između uha promatrača te izvora zvuka mora postojati neki medij koji će prenijeti titranje kako bi se zvuk čuo. Medij u kojem se najčešće rasprostire zvuk je zrak, ali može biti i čvrsto tijelo [7].

Razlikuju se tri vrste zvuka:

1. čisti zvuk ili ton – sinusoidalna oscilacija jedne frekvencije,
2. složeni ton – sastoji se od osnovnog čistog tona i harmonika koji predstavljaju niz tonova višestruko više i niže frekvencije od osnovnog tona,
3. šum – nepravilno neperiodičko titranje u kojem nema stalnih amplituda niti stalnih frekvencija [8].

Zvučni valovi su valovi koji se sastoje od molekula fluida koje se gibaju unaprijed i unatrag u smjeru propagacije. Sukladno s tom pojavom dolazi do promjene tlaka gustoće i temperature. Titranje čestica se prenosi na susjedne čestice poput takozvanog 'domino efekta' [1].



Slika 7 Prikaz longitudinalnog vala, IZVOR: [9]



Zvučni valovi karakterizirani su sljedećim parametrima:

- amplituda – najveći otklon od srednje vrijednosti veličine kojom se opisuje val ili titranje,
- valna duljina – najmanja udaljenost između dvije čestice koje titraju u fazi. Može se definirati kao udaljenost koju zvučni val prođe za vrijeme dok izvor vala izvrši jednu oscilaciju [5]. Formula za izračunavanje valne duljine glasi:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

gdje je:

$\lambda$  – duljina zvučnog vala u metrima

$c$  – brzina njegova širenja u metrima po sekundi,

$f$  – frekvencija osciliranja izvora vala u hercima,

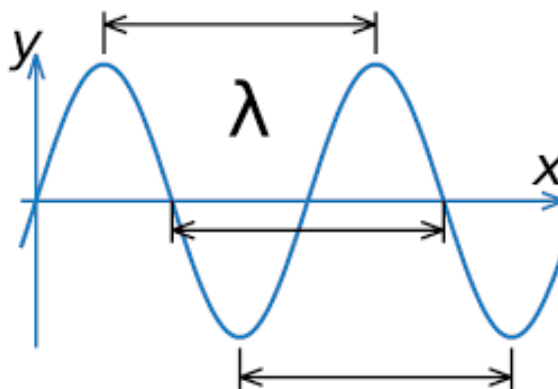
- frekvencija – broj ciklusa promjene tlaka u mediju po jedinici vremena, tj. broj ciklusa u sekundi izražen u hercima

$$f = \frac{1}{T} \quad (2)$$

gdje je:

$T$  – period osciliranja,

- period osciliranja – vrijeme koje je potrebno čestici na mediju da napravi jedan potpuni ciklus [5].

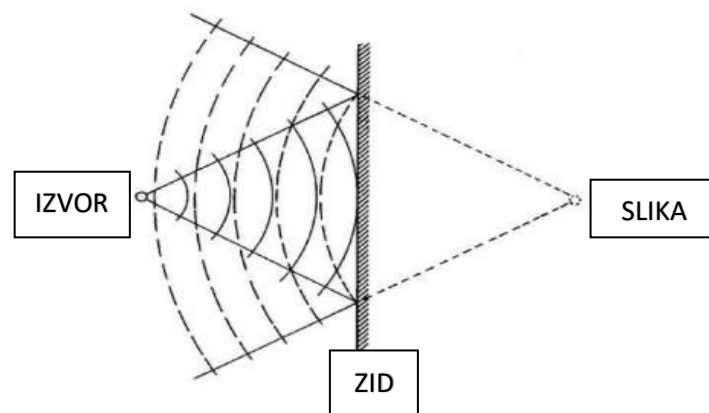


Slika 8 Prikaz zvučnog vala, IZVOR: [10]

### 3.2. Rasprostiranje zvuka

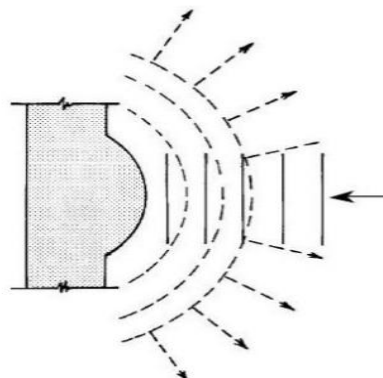
Prilikom rasprostiranja zvuka u prirodi se događaju sljedeće fizikalne pojave:

- refleksija - površina koju pogađa sferni val mnogo je veća od valne duljine upadnog zvučnog vala, pa se reflektirani val vraća u izvor zvuka što je prikazano na Slici 9. Čini se da odbijeni val dolazi iz virtualnog izvora iza površine reflektiranog vala. Ako se druga paralelna ploča postavi na istu stranu upadnog vala, može doći do višestruke refleksije i stojnih valova [1]. Postoje tri oblika refleksije, a to su refleksija u ravnini, refleksija u kosoj incidenciji te refleksija od neravnih površina [5].



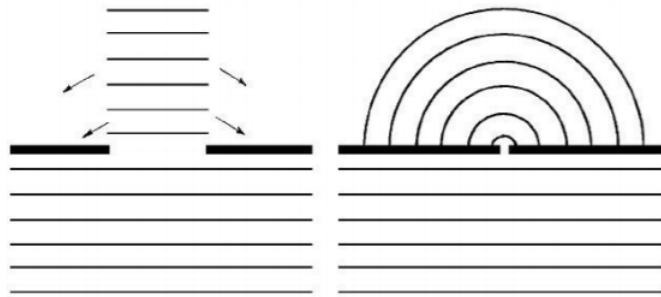
Slika 9 Refleksija zvučnog vala, IZVOR: [1]

- disperzija – pojava raspršenja zvučnog vala nailaskom na određenu površinu prikazana na Slici 10.



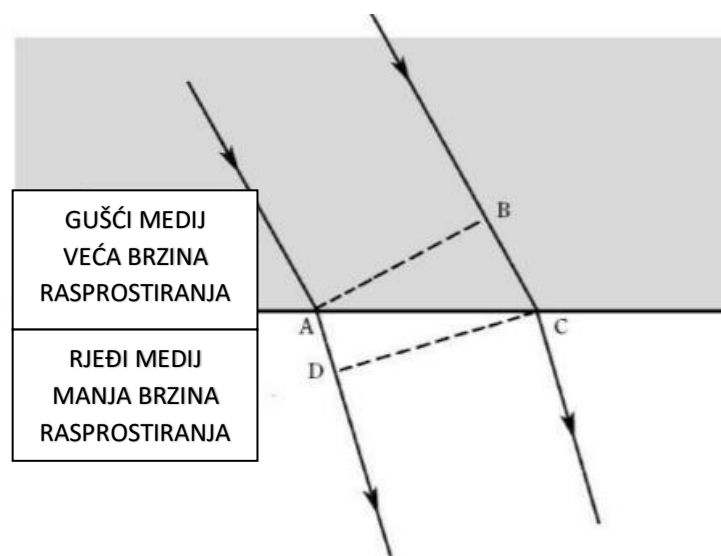
Slika 10 Prikaz disperzije na konveksnoj površini, IZVOR: [1]

- difrakcija – promjena smjera širenja vala prilikom prelaska zapreke ili kroz otvor koja je prikazana na Slici 11. Dio energije vala dopijeva iza prepreke te ulazi u zonu koja se naziva "zvučna sjena". Difrakcija je veća što je veći omjer valne duljine prema dimenzijama prepreke, povećanjem difrakcije povećava se prigušenje [5].



Slika 11 Difrakcija na otvoru za dva različita omjera valne duljine i dimenzija otvora, IZVOR: [1]

- **refrakcija** – pojava promjene smjera rasprostiranja zvučnog vala uzrokovana različitim brzinama prostiranja te različitim gustoćama medija [1]. Nastaje prilikom pojave različitih brzina rasprostiranja zvuka unutar određenog medija. Posljedica su pojave gradijenta temperature po visini od tla ili pri pojavi vjetra. Na Slici 12 prikazana je pojava refrakcije.



Slika 12 Refrakcija zvučnih valova, IZVOR: [1]

### 3.3. Brzina zvuka

Brzina zvuka je brzina kojom se zvučni val širi u nekom mediju ili sredstvu. Sredstva kojima se zvuk širi mogu biti u čvrstom, tekućem ili plinovitom stanju. Brzina zvučnih valova ovisi o elastičnosti i gustoći promatranog sredstva. Može se odrediti mjerenjem vremena koje je zvuku potrebno da prijeđe neku udaljenost. Brzina zvučnih valova ovisi o sredstvu kojim se šire valovi te vrijednosti brzina zvuka za pojedina sredstva prikazani su u Tablici 1. Pri atmosferskim uvjetima, tj. pri tlaku od 101.325 Pa i temperaturi 0° C brzina zvuka u zraku iznosi 331 m/s [11].

Tablica 1 Brzina zvuka u sredstvu uz odgovarajuću gustoću sredstva, IZVOR: [10]

Sredstvo	Brzina [m/s]	Gustoća [kg/m <sup>3</sup> ]
Zrak	343	1,204
Ugljikov dioksid	266	1,98
Helij	981	0,17
Vodik	1.280	0,089
Voda	1.485	1.000
Krv	1.570	1.050
Etanol	1.170	789
Benzen	1.320	876
Guma	150	1.145
Olovo	1.250	11.340
Bukovo drvo	3.300	500
Beton	3.750	2.100
Bakar	4.700	8.940
Željezo	5.170	7.870
Staklo	5.500	2.600
Aluminij	6.300	2.700

### 3.4. Zvučni tlak

Zvučni tlak su periodične oscilacije tlaka zraka oko vrijednosti atmosferskog tlaka uzrokovane longitudinalnim titranjem molekula oko ravnotežnog položaja [1]. Prethodno navedena fizikalna veličina izražava se mjernom jedinicom paskal (Pa). Najmanji zvučni tlak kojeg ljudsko uho može zamijetiti iznosi 20 μPa što je još poznato kao referentni zvučni tlak. Gornja granica zvučnog tlaka kojeg ljudsko uho može podnijeti bez oštećenja iznosi 100 Pa [5]. Razina zvučnog tlaka izražava se u decibelima te se mjeri pomoću mjerača razine zvuka. Na Slici 13 ilustrativno je prikazana usporedba zvučnog tlaka i razine zvučnog tlaka. Formula za izračun razine zvučnog tlaka glasi:

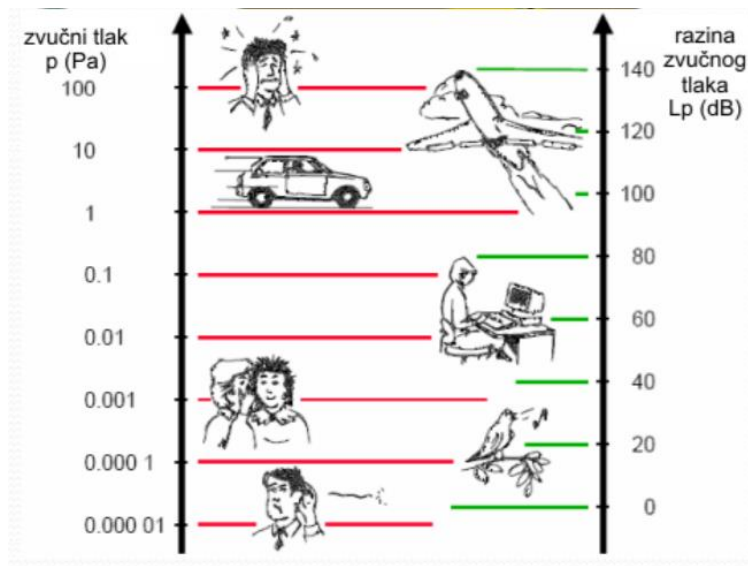
$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0}, \quad (3)$$

gdje je:

$L_p$  – razina zvučnog tlaka,

$p$  – stvarni zvučni tlak u paskalima,

$p_0$  – referentni zvučni tlak:  $9,76 \cdot 10^{-13} \text{ W/m}^2$ .



Slika 13 Usporedba zvučnog tlaka i razine zvučnog tlaka, IZVOR: [11]

### 3.5. Zvučni intenzitet

Zvučni intenzitet ili jakost zvuka predstavlja količinu energije koja u određenom vremenu prostruji kroz plohu od  $1 \text{ m}^2$  postavljenu okomito na smjer rasprostiranja [1]. Računa se prema formuli:

$$I = \frac{p^2}{\rho_0 c}, \quad (4)$$

gdje je:

$I$  – jakost zvuka ili zvučni intenzitet,

$p$  – zvučni tlak,

$\rho_0$  – gustoća zraka,

$c$  – brzina zvuka.

Ako se u prethodno navedenu formulu umjesto zvučnog tlaka  $p$  uvrsti referentni zvučni tlak, može se izračunati referentni zvučni intenzitet. Razina zvučnog intenziteta je zvučni intenzitet izražen u decibelima iznad referentne razine od  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  [1]. Računa se prema formuli:

$$L_I = 10 \log \left( \frac{I}{10^{-12}} \right), \quad (5)$$

gdje je:

$L_I$  – razina zvučnog intenziteta.

### 3.6. Zvučna snaga

Zvučna snaga je količina energije koja u sekundi prostruji kroz površinu veličine  $S$  [5]. Definirana je sljedećom formulom:

$$P = Sp^2 / \rho c, \quad (6)$$

gdje je:

$P$  – zvučna snaga,

$S$  – površina,

$\rho$  – gustoća zraka,

$c$  – brzina zvuka.

Razina zvučne snage je zvučna snaga iznad referentne razine za zdrav sluh te se računa putem rezultata mjerenja zvučnog intenziteta ili tlaka [1]. Računa se prema formuli:

$$L_P = 10 \log\left(\frac{P}{10^{-12}}\right), \quad (7)$$

gdje je:

$L_P$  – razina zvučne snage,

$p$  – zvučna snaga.

## 4. Utjecaj pandemije COVID-19 na zračni promet

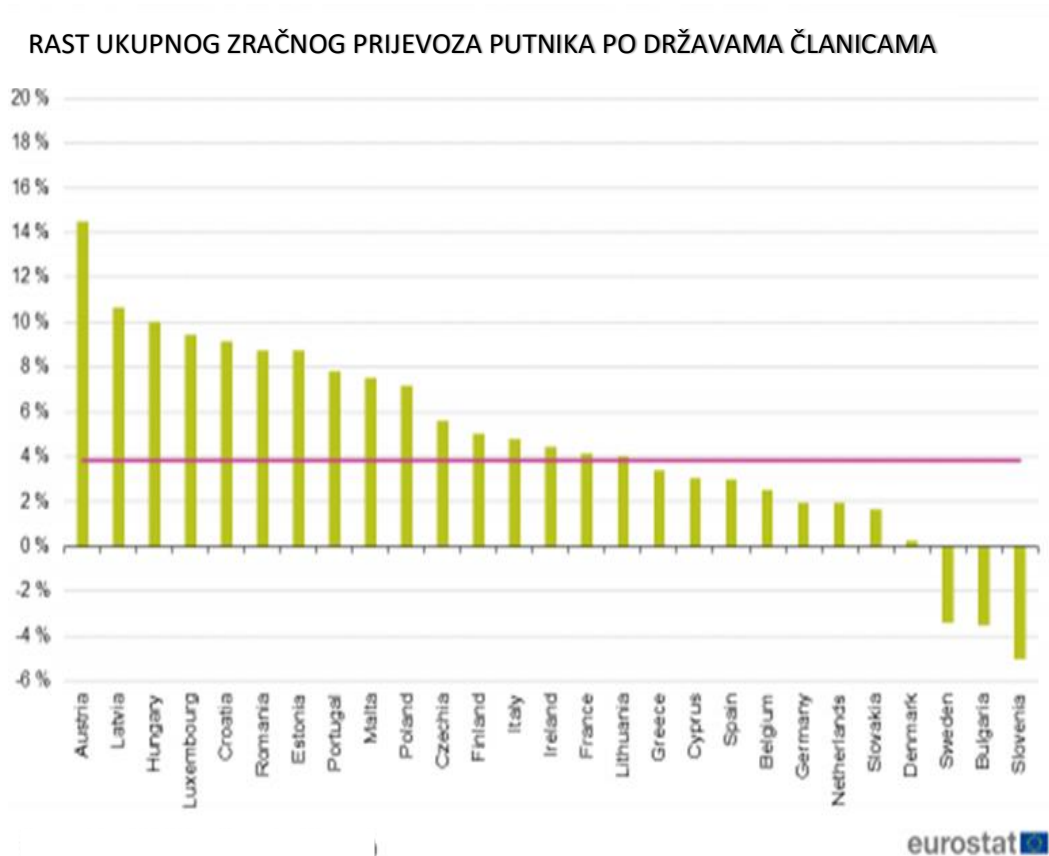
Pandemija Covid-19, poznata pod nazivom pandemija koronavirusa, jest pandemija koja trenutno obuhvaća sve zemlje svijeta te se zbog toga naziva i globalnom pandemijom. Uzrokovana je teškim akutnim respiratornim sindromom koronavirus 2 koji je prvi puta identificiran u prosincu 2019. godine u Wuhanu u Kini. Potvrđeno je više od 184 milijuna slučajeva iako se ta brojka svakim danom povećava. Brojka umrlih prelazi preko 4 milijuna što opravdava činjenicu da je pandemija COVID-19 najsmrtonosnija pandemija u povijesti čovječanstva [12]. Nedavna istraživanja pokazuju kako je svijet izgubio otprilike 20,5 milijuna godina života zbog preranih smrti uzorkovanih koronavirusom [13].

Uz ljudsku tragediju, ova je kriza nanijela i ogromnu štetu globalnoj ekonomiji, trgovini i likvidnosti. Zbog ozbiljnosti situacije većina država svijeta bile su prisiljene uvesti zabranu kretanja te je taj način suzbijanja pandemije uvelike utjecao na gospodarstvo, a samim time i na zračni promet. Zračni promet čini mali dio BDP-a, ali je usko povezan s aktivnostima drugih sektora, posebno zračnih luka i proizvodnje zrakoplova. Zrakoplovna industrija glavni je pokretač mnogih drugih gospodarskih djelatnosti. Zbog pandemije i ograničenja COVID-19, potražnja za zračnim prijevozom putnika (i tereta u manjoj mjeri) naglo je opala, prijeteći održivosti mnogih tvrtki u sektoru zračnog prometa i drugim sektorima zrakoplovne industrije. Iako je zrakoplovna industrija često meta vladine politike, kriza COVID-19 pokrenula je niz novih zajmova, subvencija plaća i ubrizgavanja kapitala, što izaziva zabrinutost zbog konkurencije i učinkovite upotrebe javnih resursa [14].

Zdravlje, sigurnost i dobrobit putnika i zaposlenika glavni je prioritet zrakoplovne industrije. Zračna luka uvela je mnogo novih zdravstvenih i biosigurnosnih mjera kako bi osigurala zdravlje i sigurnost putnika, a iskustvo korisnika zračne luke odražava njihova promjenjiva očekivanja i rješava njihove zabrinutosti. Zračne luke i zrakoplovne tvrtke surađuju s industrijom kako bi se pripremile za ponovno pokretanje globalne povezanosti ako to epidemiološka situacija dopušta. Jedan od ključeva za potporu kontinuiranom oporavku je uspostava interoperabilnog okvira povjerenja zdravstvenih podataka za promicanje sigurnog ponovnog otvaranja granica i prekograničnog putovanja [13].

#### 4.1. Zračni promet 2019. godine

Prije pandemije uzrokovane koronavirusom, 2019. godina jest najprometnija godina u zračnom prometu. Ukupan broj putnika koji su putovali zrakom u Europskoj Uniji jest 1.034 milijuna, što je povećanje od 3,8 % u odnosu na 2018. godinu [15].



Slika 14 Grafički prikaz rasta ukupnog zračnog prijevoza putnika po državama članicama, IZVOR: [15]

Slika 14 prikazuje ukupan rast broja putnika u zračnom prometu između država članica Europske Unije u razdoblju između 2018. i 2019. godine. Nerazmjern rast uočljiv je posebice na državnoj razini. Primjerice, dok Austrija unutar razdoblja od jedne godine broji porast od 14,5 % ukupnog broja putnika u zračnom prometu, Slovenija je u gubitku od 5,1 % u odnosu na 2018. godinu [15].

Nadalje, Paris Charles De Gaulle, aerodrom u Parizu, postao je u 2019. godini najprometniji aerodrom unutar Europske Unije po broju putnika, ali i prijevoza tereta i pošte [15]. Područje koje Eurocontrol proučava, naspram 2018., u 2019. mjeri pozitivan trend rasta broja letova od



0,8 % što nije velik porast odnosu na godišnji rast u zadnjih nekoliko godina. Međutim, usporedimo li 2013. godinu kada je počeo rast broja putnika u zračnom prometu, u 2019. broji se 1,5 milijuna letova više ili drugim riječima rast za 15,4 %. Uz porast broja letova, važno je napomenuti i druge varijable rasta u zračnom prometu. Primjerice, prosječna veličina zrakoplova u odnosu na 2018. god. veća je za 1,7 % te je prijeđena udaljenost također narasla za 1,7 % u 2019. godini. Posljedično tome, iako je broj letova narastao za samo 0,8 %, broj putnika u zračnom prometu u 2019. godini jest za 3,2 % veći u odnosu na 2018. godinu [16].

Od sveukupno 42 pružatelja usluga zračne navigacije, 32 su u analizi objavila podatke koji uključuju porast u zračnom prometu u 2019. godini. Sveukupno, najveći porast u 2019. godini imale su Italija (ENAV), Hrvatska (CroatiaControl), Španjolska (ENAIRES), Grčka (HCAA), Srbija i Crna Gora (SMATSA) i Austrija (Austro Control). S obzirom da je potražnja u zračnom prometu porasla u 2019. godini, ne začuđuju podaci o porastu i u kvaliteti samih usluga. U 2018. godini točnost dolaska iznosila je 75,7 %, dok je u 2019. godini bila 77,8 %. Istovremeno je i kašnjenje polaska umanjeno za 1,6 minuta po letu, odnosno prosjek kašnjenja leta iznosio je 12,8 minuta u 2019. godini [16].

U prilog činjenici da je 2019. godina bila najprometnija godina u zračnom prometu govori i podatak da je 24. srpnja 2019. godine zabilježen rekordan broj letova u svijetu u iznosu od 225.000 u jednom danu [17].

#### 4.2. Zračni promet tijekom pandemije COVID-19

Promjene u ponašanju putnika u zračnom prometu uzrokovane COVID-19 krizom, zabrane i ograničenja putovanja te posljedično i ekonomska kriza diljem svijeta, uzrokovale su drastičan pad potražnje u zračnom prometu. Međunarodna udruga za zračni promet (engl. International Air Transport Association - IATA) je u travnju 2020. godine zabilježila pad prihoda kilometraže zračnih putnika u iznosu od 90 % unutar razdoblja od jedne godine. Spomenuti pad je u kolovozu 2020. godine također bio veoma visok u odnosu na prošlu godinu, točnije 75 % veći [14].

S obzirom na navedeno, sa sigurnošću se može tvrditi kako je 2019. godina označila kraj desetljeća konstantnog rasta u globalnom zračnom prometu. Globalna pandemija je

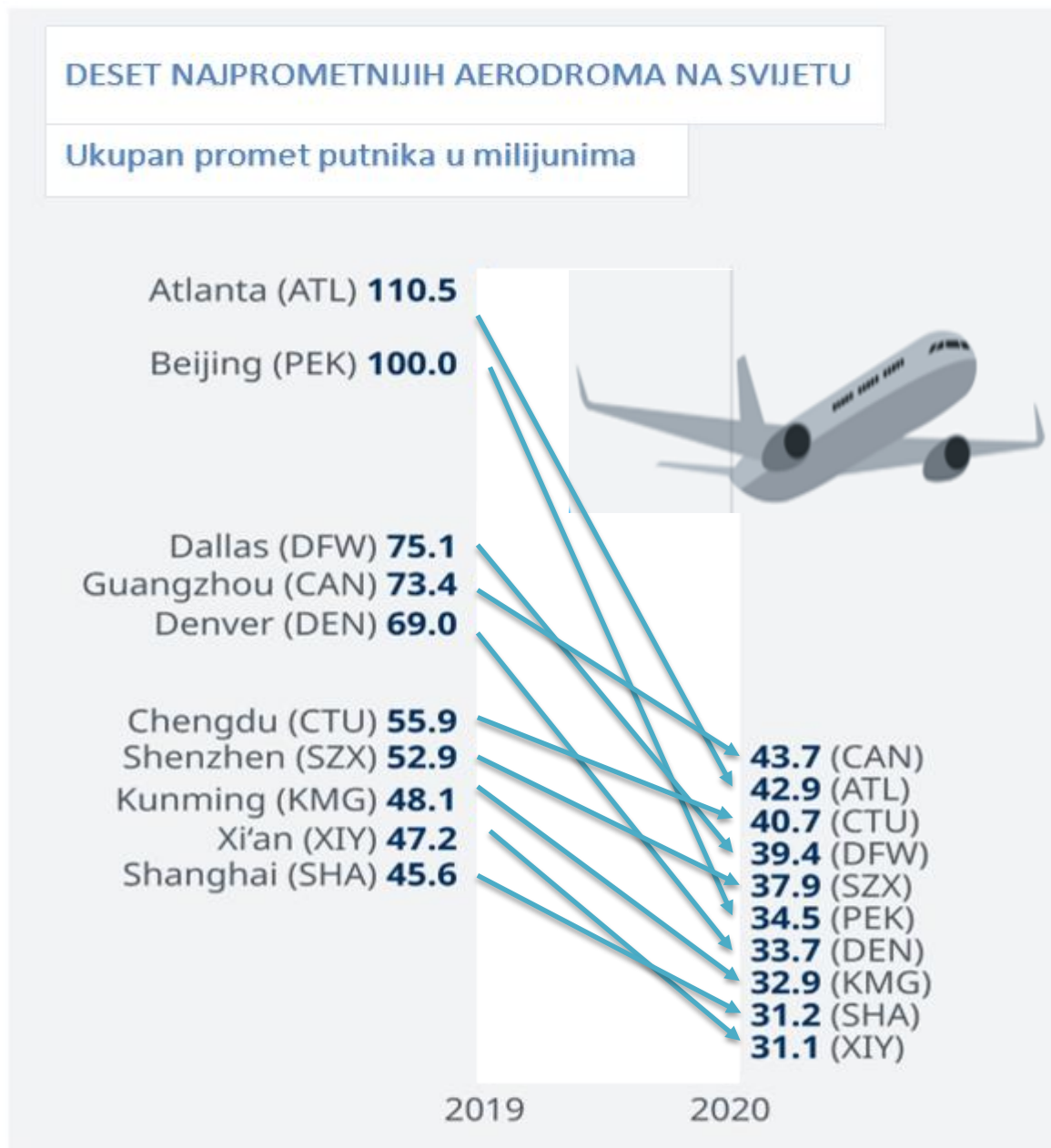
uzrokovala zaustavljanje aerodroma diljem svijeta, a samim time i gubitke u broju zračnih putnika i prihodima u svim regijama. Iako su mnoge države započele postepeno otvaranje mnogih grana ekonomije što izravno utječe na zračni promet, od početka pandemije, nažalost neke su države bile primorane suočiti se sa nekoliko valova zaraze te se velik broj država odlučilo na ponovno uvođenje djelomičnih ili potpunih karantena. Kao primjer spomenutih država, Francuska, Poljska, Kanada, Indija i Čile su samo neke od država koje su morale povećati mjere sprječavanja širenja zaraze ili primijeniti ponovno uvođenje karantena kako bi pod kontrolu stavile drugi, treći ili u nekim državama četvrti val zaraze koronavirusom [13].

Iako se većina zemalja trudi izbjeći potpuno zaključavanje granica i karantene, odnosno zarazu pokušavaju spriječiti ciljanim i manje invazivnim mjerama i ograničenjima, većina je država i dalje zadržala poprilično restriktivne propise prilikom međunarodnih putovanja te je često propisana i samoizolacija pri dolasku u državu, što svakako utječe na smanjenje putnika u zračnom prometu [13]. Ako uspoređujemo prognoziranu baznu liniju za 2020. godinu koja je nastala prije pandemije koronavirusa, ona ukazuje na gubitak od 1 bilijun putnika u zračnom prometu. Drugim riječima, promet putnika u zračnom prometu je u stvarnosti manji za 64,6 % od prognozirane brojke za 2020. godinu. Usporedi li se ostvareni broj putnika 2020. godine sa rezultatima u 2019. godini, bilježi se pad za 63,3 % [13].

Iako je pandemija koronavirusa započela na tim područjima, regija Azija - Pacifik je svoj oporavak započela brže i ranije od ostalih regija. Razlog tomu može se pronaći u veličini domaćeg tržišta. Posljedično, u spomenutoj regiji u 2020. godini bilježi se najmanji pad u zračnom prometu u odnosu na prognoze, a to je pad od 61,3 %. U odnosu na 2019. godinu, taj pad iznosi 59,8 %. Unatoč tome, ova regija bilježi najveći pad putnika u zračnom prometu, odnosno 2,15 bilijuna putnika manje od prognoziranog [13].

S obzirom na navedeno, ne začuđuje činjenica da nijedan europski aerodrom nije u 2020. godini u deset najprometnijih aerodroma u svijetu, iako su London Heathrow i Paris Charles De Gaulle svrstani u deset najprometnijih u 2019. godini. Slika 15 prikazuje podatke za 2020. godinu u deset najprometnijih aerodroma u svijetu. Jasno se vidi kako je Guangzhou Bai Yun International Airport u Kini najprometniji aerodrom u 2020. godini. Od deset najprometnijih aerodroma u svijetu, čak sedam se nalazi u Kini, što potvrđuje prijašnje navode kako je Azija -

Pacifik regija najbrže i najranije započela oporavak od pandemije što je podrazumijevalo i oporavak zračnog prometa [18].



Slika 15 Usporedba ukupnog prometa putnika 10 najprometnijih aerodroma, IZVOR: [18]

Da je pandemija koronavirusa značajno utjecala na zračni promet, govori i podatak kako je prijašnji najprometniji aerodrom na svijetu Hartsfield-Jackson Atlanta Internacionalni Aerodrom u 2020. godini pao na drugo mjesto, nakon što je dvadeset godina za redom bio na prvom. Suprotno padu, Hongjao Internacionalni Aerodrom u Kini je u 2020. godini svrstan kao deveti najprometniji aerodrom u svijetu, dok je godinu prije bio na 46. mjestu [18].

Tablica 2 Prikaz deset najprometnijih aerodroma unutar Europske Unije, IZVOR: [19]

AERODROM	BROJ PUTNIKA		PAD 2019.–2020.	
	2020.	2019.	%	BROJ PUTNIKA
<b><u>Charles de Gaulle Airport</u></b> (Pariz, Francuska)	22.257.469	76.150.007	▼70,8 %	▼53.892.538
<b><u>Amsterdam Airport Schiphol</u></b> (Amsterdam, Nizozmska)	20.887.174	71.707.144	▼70,9 %	▼50.819.970
<b><u>Frankfurt am Main Airport</u></b> (Frankfurt, Njemačka)	18.768.601	70.560.987	▼73,4 %	▼51.792.386
<b><u>Adolfo Suárez Madrid–Barajas Airport</u></b> (Madrid, Španjolska)	17.111.389	61.734.944	▼72,3 %	▼44.622.555
<b><u>Josep Tarradellas Barcelona–El Prat Airport</u></b> (Barcelona, Španjolska)	12.739.259	52.688.455	▼75,8 %	▼39.949.196
<b><u>Munich Airport</u></b> (Minhen, Njemačka)	11.120.224	47.959.885	▼76,81 %	▼36.839.661
<b><u>Orly Airport</u></b> (Pariz, Francuska)	10.797.105	31.853.049	▼66,1 %	▼21.055.944
<b><u>Leonardo da Vinci–Fiumicino Airport</u></b> (Rim, Italija)	9.830.957	43.532.573	▼77,4 %	▼33.701.616
<b><u>Lisbon Airport</u></b> (Lisabon, Portugal)	9.268.000	31.172.774	▼70,3 %	▼21.904.774
<b><u>Athens International Airport</u></b> (Atena, Grčka)	8.078.383	25.573.993	▼68,4 %	▼17.495.610

Tablica 2 prikazuje deset najprometnijih aerodroma unutar Europske Unije. Usporedbe radi, već spomenuti pariški aerodrom, Paris Charles De Gualle, najprometniji aerodrom u EU posljednje dvije godine, u 2020. godini bilježi pad u prometu za 70,8 % [19]. Nasuprot tome, najprometniji aerodrom na svijetu, Guangzhou u istom periodu broji pad od samo 40 % u odnosu na 2019. godinu [18].

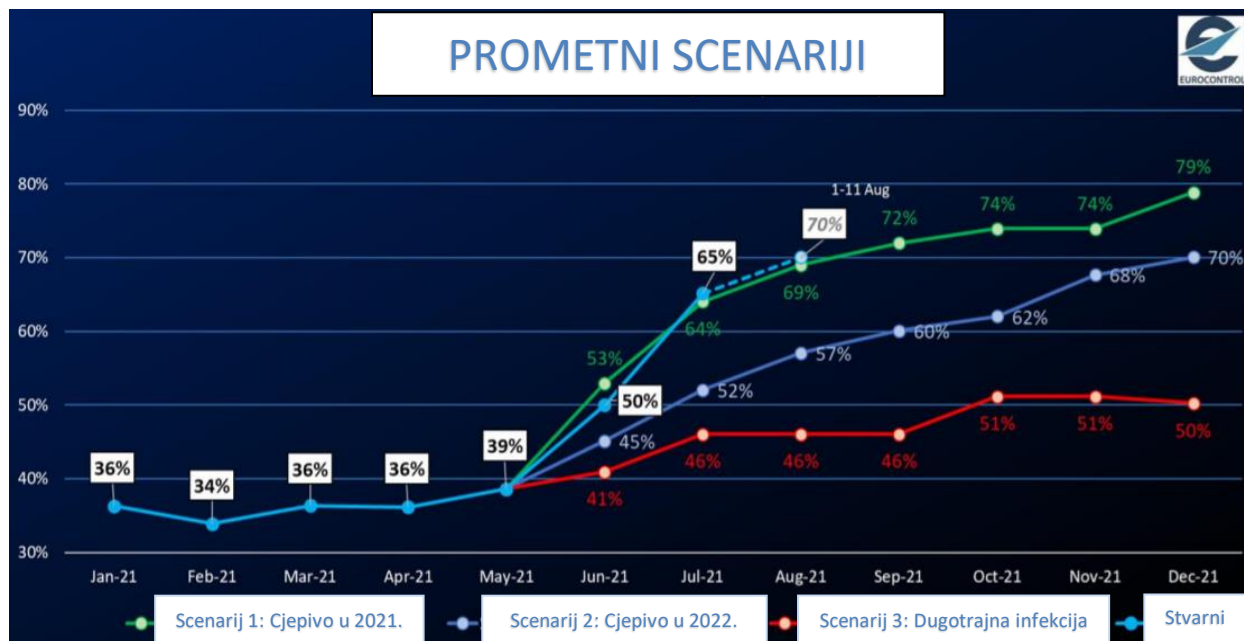
U Tablici 3 prikazani su statistički podaci o broju prevezenih putnika na aerodromima u Republici Hrvatskoj. Najveći pad broja prevezenih putnika očituje se na zračnoj luci Pula te ono iznosi 89,94 %. Odmah nakon se nalazi zračna luka Dubrovnik koja u 2019. godini broji 2.880.505 prevezenih putnika, a 2020. čak 326.789. Najmanji pad broja prevezenih putnika nosi zračno pristanište Mali Lošinj.

*Tablica 3 Statistički podaci o prometu na aerodromima u Republici Hrvatskoj, IZVOR:[20]*

AERODROM	BROJ PREVEZENIH PUTNIKA		PAD 2019. - 2020.
	2019. GODINA	2020. GODINA	%
ZL Zagreb	3.419.338	920.069	▼ 73,09 %
ZL Split	3.271.731	659.351	▼ 79,85 %
ZL Dubrovnik	2.880.505	326.780	▼ 88,66 %
ZL Pula	764.871	78.493	▼ 89,74 %
ZL Zadar	777.662	110.227	▼ 85,83 %
ZL Osijek	46.361	6.625	▼ 85,71 %
ZL Rijeka	200.184	27.190	▼ 86,42 %
Aerodrom Brač	25.339	4.250	▼ 86,23 %
Z.p. Mali Lošinj	6.495	3.214	▼ 50,52 %
<b>UKUPNO</b>	<b>11.392.486</b>	<b>2.136.199</b>	<b>▼ 81,25 %</b>

Europska Unija, kao i ostatak Europe, po već iskazanim brojkama zaista kasni za Azija - Pacifik regijom. Iako je 2020. godina bila najkritičnija godina u povijesti zračnog prometa, podaci za 2021. godinu ipak izgledaju više pozitivni. Tako je aerodrom u Amsterdamu, u razdoblju od

petog do jedanaestog kolovoza 2021. godine, prosječno imao 1063 leta u danu, što je u odnosu na isti period u 2019. godini pad od svega 28 %. Nadalje, aerodrom u Parizu, Charles De Gualle, u navedenom periodu 2021. godine je na drugom mjestu, sa prosječno 943 leta u danu, te je to pokazatelj pada od 37 % koji je isti i u Frankfurtu gdje je prosječan dnevni broj letova 932. Od svih država članica Europske Unije, najmanji pad u zračnom prometu bilježi aerodrom u Ateni, sa prosječno 706 letova u danu ili padom od samo 15 % [20].



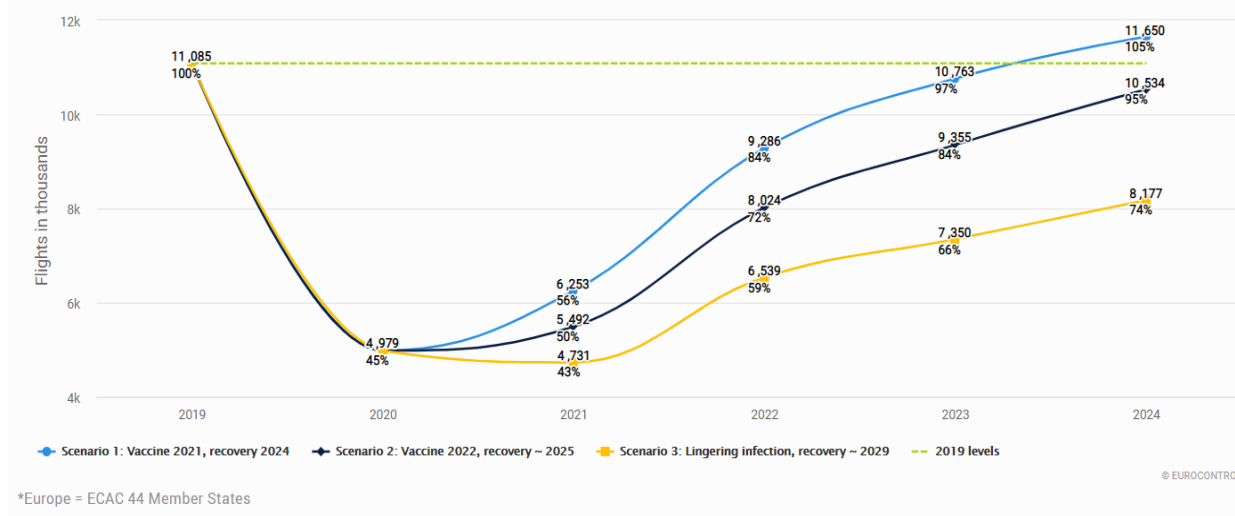
Slika 16 Eurocontrol-ova usporedba predviđanja s realnim stanjem u 2021. godini, IZVOR: [20]

Slika 16 prikazuje usporedbu realnog stanja zračnog prometa za period od 1. do 11. kolovoza 2021. godine i tri Eurocontrol scenarija predviđena za to razdoblje objavljena 1. lipnja 2021. godine. Trenutne brojke su u rangu s najoptimističnijem scenarijem, odnosno na 70 % prometa predviđenog do kraja 2021. godine [20].

#### 4.3. Prognoze za zračni promet

Oporavak zračnog prometa i zrakoplove industrije još uvijek je okružen s mnogo neizvjesnosti, a osmišljavanje puta do oporavka u ovom trenutku zahtijeva razboritost i stručnost. Eurocontrol je objavio tri scenarija koja sadrže određene pretpostavke potrebne za formiranje mogućih putanja oporavka zrakoplovne industrije.

## ČETVEROGODIŠNJA STATFOR PROGNOZA ZA EUROPU



Slika 17 Četverogodišnja prognoza za zračni promet, IZVOR: [21]

Tri scenarija koriste se za sagledavanje moguće putanje oporavka koristeći sljedeće pretpostavke.

### 1. OPTIMISTIČNI SCENARIJ

Prvi i optimistični scenarij jest potpuni oporavak do 2024. godine koji je ostvariv ako su cjepiva učinkovita i koliko ljudi je primilo ista ta cjepiva u drugoj polovici 2021. godine. Nadalje, ovaj scenarij uvelike ovisi o sposobnosti vlada da spriječe nove valove zaraze i ograniče širenje koronavirusa. Naravno, veliku ulogu u oporavku zračnog prometa ima i sam entuzijazam putnika za ponovnim zračnim putovanjem. Ovaj scenarij oslanja se na napregnutim pretpostavkama efekta potražnje, odnosno na potrebu putnika da posjete prijatelje i rodbinu. S obzirom na broj cijepljenih ljudi te brzinu kojom cjepivo postaje dostupno, ovaj scenarij je okarakteriziran kao optimističan jer postoji velika vjerojatnost da se ne ostvari u navedenom razdoblju.

### 2. NAJVJEROJATNIJI SCENARIJ

Drugi scenarij podrazumijeva procijepljenost čovječanstva u 2022. godini, odnosno da zračni promet u 2024. godini dosegne 95 % prometa 2019. godine. Realizacija ovog scenarija uvelike ovisi o cijepljenju u Europi i koordinaciji putovanja. Drugim riječima,

ovise o mjerama koje će određene države implementirati kako bi se olakšalo putovanje na svjetskoj razini. Navedeni scenarij uzima se kao scenarij koji će najvjerojatnije uspjeti jer su pretpostavke za ostvarenje istog postavljene u realnim mogućnostima.

### 3. PESIMISTIČNI SCENARIJ

Zadnji i pesimistični scenarij pretpostavlja da će zračni promet u 2024. godini doseći samo 74 % prometa 2019. godine, te da potpuni oporavak zračnog prometa neće biti moguć prije 2029. godine. Ovaj scenarij predviđa ustrajna ograničenja u nadolazećim godinama, nove valove širenja zaraze, pojavu novih sojeva virusa, nejednako cijepjenje, te naposljetku i gubljenje povjerenja putnika i entuzijazma za putovanjem [21].

Srednjoročno gledano, za ostvarenje bilo kojeg prethodno navedenog scenarija, aviokompanije će se svakako suočiti sa nekoliko neizvjesnosti koje će na kraju oblikovati put oporavka zračnog putovanja. Jedna od neizvjesnosti zasigurno jest trošak zdravstvenih mjera koje već jesu ili će se morati implementirati tokom zračnih putovanja. Ovi troškovi zasigurno će se kratkoročno povećati za zračne luke i prijevoznike jer su potrebne mjere kao mjerenje temperature, osobna zaštitna oprema zaposlenika, ali i putnika, dezinfekcija, testovi na koronavirus i slično. Uz spomenuto, aviokompanije i zračni promet su opterećeni i mjerama socijalnog distanciranja, što umanjuje i broj sjedala koja mogu biti zauzeta tijekom leta i izravno utječe na novčani dohodak [14].

Jedna od neizvjesnosti s kojom će se putnički zračni prijevoz susresti i već se i susreće jest zasigurno promjena u ponašanju putnika. Drugim riječima, promjena u potražnji za komercijalnim letovima zbog opreznosti putnika uzorkovane globalnom pandemijom. Ovaj primjer najviše se očituje u letovima dužeg trajanja koji ukazuju na to da putnici pristupaju putovanjima koja duže traju sa većim oprezom. Nadalje, ova neizvjesnost mogla bi uzrokovati i potrebu za strukturalnim promjenama u ponudi komercijalnih letova. U obzir treba uzeti i razvoj tehnologije koja danas omogućava video konferencije umjesto putovanja što će svakako utjecati i na zračni promet po završetku pandemije [14].



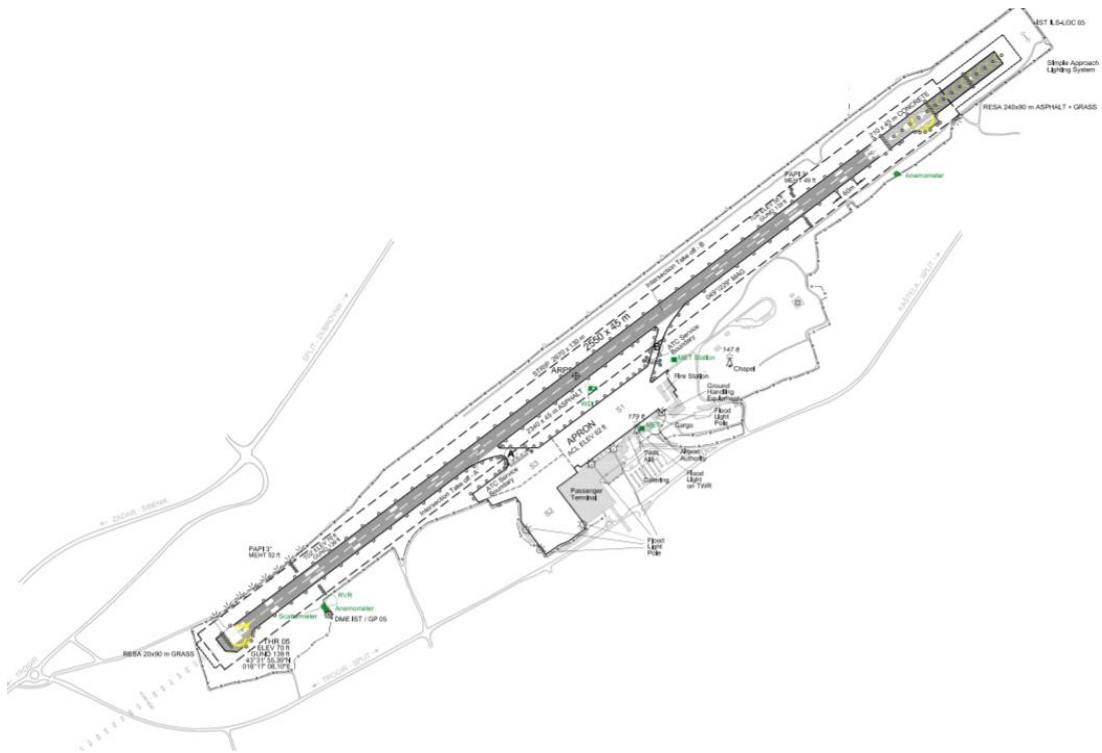
Ukoliko optimistični scenarij postane stvarnost, očekuje se trend povećanja zračnog prometa što za posljedicu ima povećanje razina buke u okolici zračnih luka. Samim tim će se i povećati broj ugroženih stanovnika. No, ukoliko se obistini pesimistični scenarij, brojka stanovnika izloženih buci svejedno će rasti, ali tijekom dužeg vremenskog razdoblja te će se time dati prostora implementaciji novih regulativa, tehnoloških metoda za smanjenje buke ili unaprijeđenoj opremi. Zaključno, koji god da scenarij na kraju postane i stvarno stanje zračnog prometa, vlade će svakako biti suočene sa izazovom olakšavanja prelaska iz jednog stanja u drugi. Najvažnije je, osim opstanka samih aviokompanija, da se vlade usredotoče i na radnike kojima prijeti nezaposlenost [14].

## 5. Karakteristike studije slučaja za zračnu luku Split

Praktični dio diplomskog rada u konačnici analizira utjecaj pandemije COVID-19 na izloženost stanovništva buci. Promatrano stanovništvo odnosi se na stanovništvo okolice Zračne luke Split. Zračna luka Split smještena je u središtu srednje-dalmatinske regije te pokriva potrebe zračnog prometa priobalja, od Makarske pa sve do Šibenika, otoka Hvara, Brača, Šolte i dr. Od grada Trogira udaljena je šest kilometara, a od grada Splita dvadeset kilometara. Otvorena je 25. studenog 1966. godine te je planirani broj od 150.000 putnika godišnje premašen već 1968. godine. Pad prometa uzrokovan političkom krizom uslijedio je 1988. godine, a 1991. godine zračna luka Split zatvorena je za sav promet zbog Domovinskog rata. Milijuntog putnika ostvaruje 2006. godine, a 2019. ukupan broj putnika iznosio je 3.301.930 [22]. Na Slici 18 prikazana je zračna luka Split fotografirana iz zraka dok je na Slici 19 prikazana ICAO karta zračne luke Split.

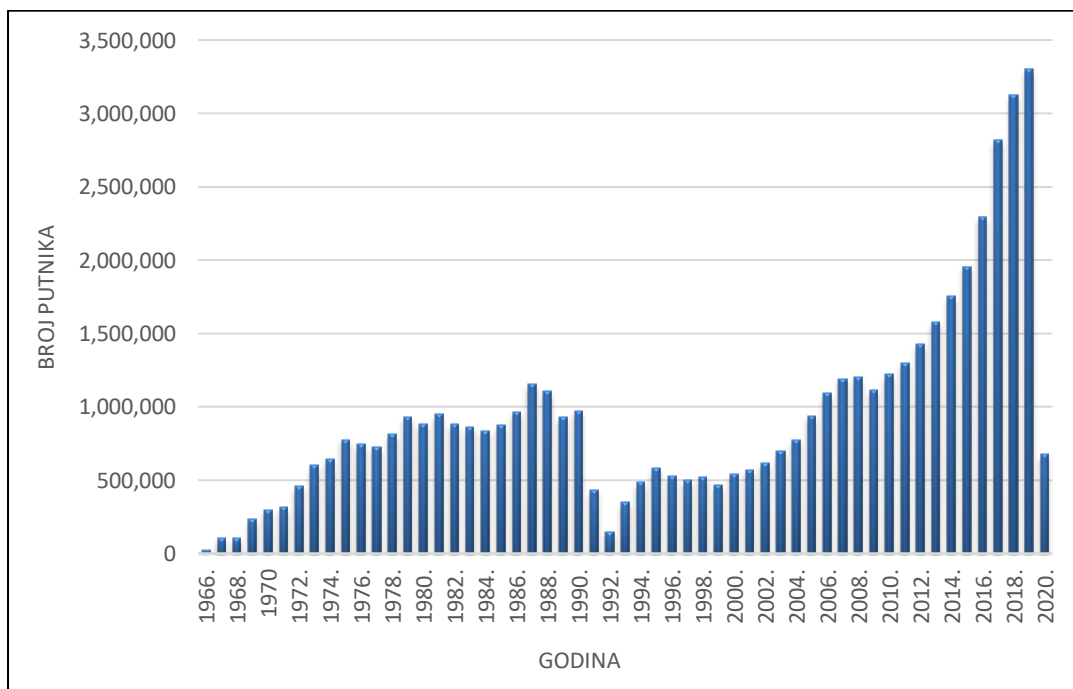


*Slika 18 Zračna luka Split iz zraka, IZVOR: [23]*



Slika 19 ICAO karta zračne luke Split, IZVOR: [25]

Vizija same zračne luke je da postane najuspješnija zračna luka u ovom dijelu Europe uz postizanje najviše razine i kvalitete usluga [22]. Sukladno trendu povećanja zračnog prometa, zračna luka Split iz godine u godinu bilježi rast prometa, točnije broja putnika. Na Grafikonu 1 prikazan je ukupan broj putnika od 1966. godine pa sve do 2020. godine.



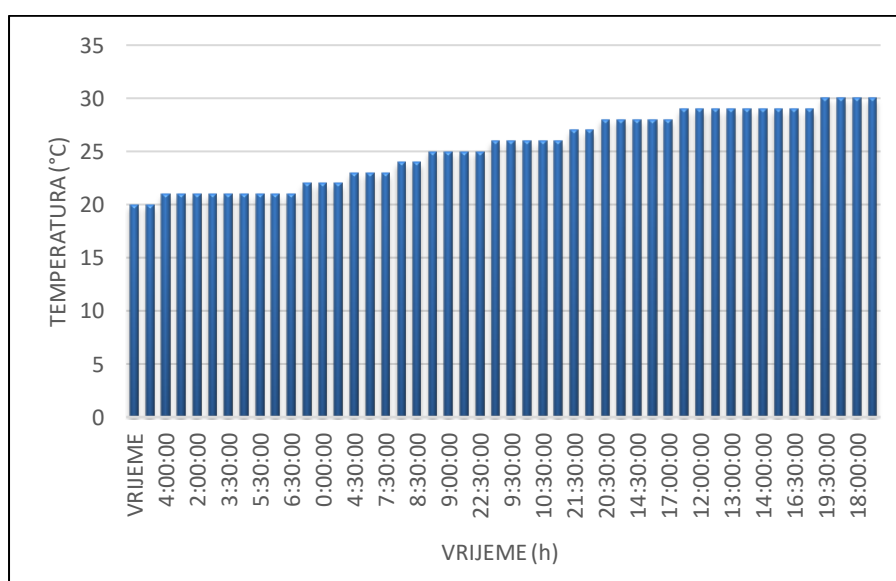
Grafikon 1 Ukupan broj putnika od 1966. do 2020. godine, IZVOR:[24]

Zračna luka Split smještena je na 43,538889° sjeverne geografske širine i 16,297778° istočne geografske dužine. Uzletno-sletna staza pozicionirana je u smjeru 052,57° i 232,59° te su samim time dodijeljeni pragovi USS-e 05 i 23. Dimenzije USS-e iznose 2550 m · 45 m. S obzirom da je kasnije u radu analiziran utjecaj pandemije COVID-19 na izloženost stanovništva buci, bitno je istaknuti vršni dan 2019. i 2020. godine. Vršni dan 2019. godine bio je 3. kolovoza dok je 2020. godine bio 8. kolovoza. Modeliranje buke također iziskuje određene meteorološke podatke koji su prikupljeni s internetske stranice *Iowa State Univeristy* [26]. Meteorološki podaci koji su potrebni su: temperatura zraka, tlak zraka, vlažnost zraka te čeonij vjetar. U Tablici 4 prikazana je usporedba prosječnih vrijednosti meteoroloških podataka za vršni dan 2019. i 2020. godine.

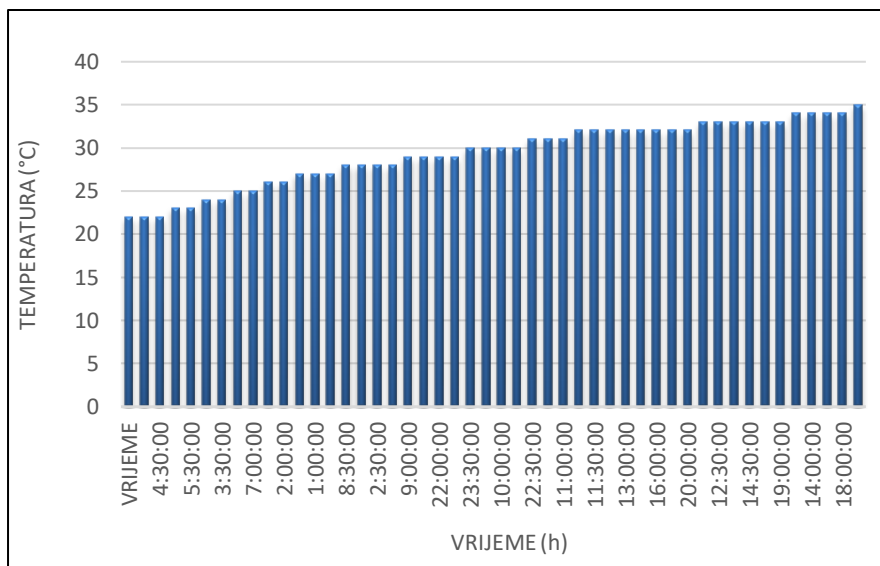
Tablica 4 Meteorološki podaci za 3. kolovoz 2019. i 8. kolovoz 2020. godine za ZL Split, IZVOR: [25]

GODINA	TEMPERATURA (°C)	TLAK ZRAKA (Pa)	VLAŽNOST ZRAKA (%)	ČEONI VJETAR (kt)
2019.	25,66	101.334,7	53,59	3,11
2020.	29,35	100.900,4	42	7,93

Na Grafikonu 2 i 3 prikane su vrijednosti temperature zraka na vršni dan 2019. i 2020. godine. Najviša temperatura 2019. godine iznosila je 30 °C, a najmanja 20 °C, dok je za 2020. godinu najviša temperatura iznosila 35 °C, a najniža 22 °C.

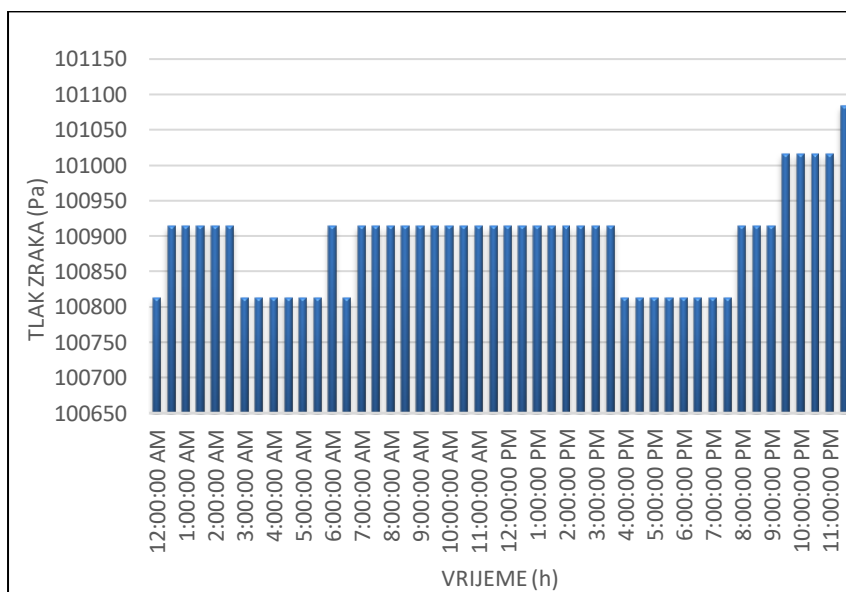


Grafikon 2 Temperatura zraka 3.8.2019. godine, IZVOR: [26]

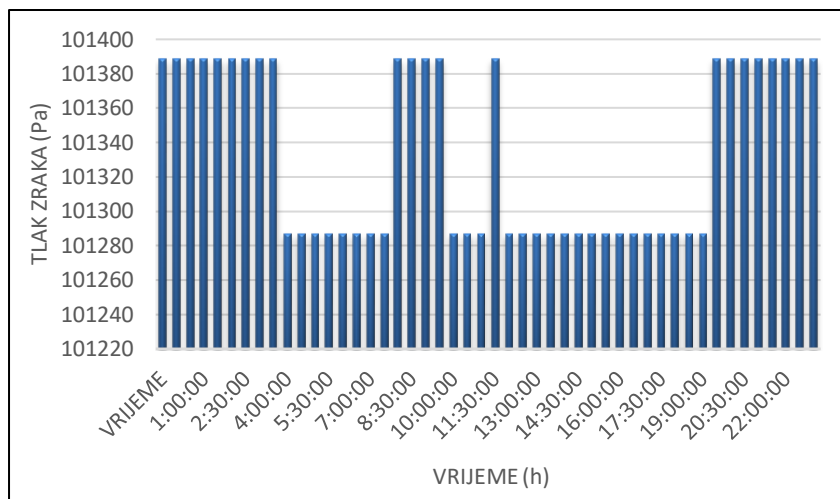


Grafikon 3 Temperatura zraka 8.8.2020. godine, IZVOR: [26]

Najviši tlak zraka izmjeren 3. kolovoza 2019. godine iznosio je 101.083 Pa, dok je najniži iznosio 100.802 Pa. Osmog kolovoza 2020. godine najviši tlak iznosio je 101.388 Pa, a najniži 101.286 Pa. Na Grafikonima 4 i 5 prikazane su vrijednosti tlaka zraka izmjerene svakih trideset minuta.

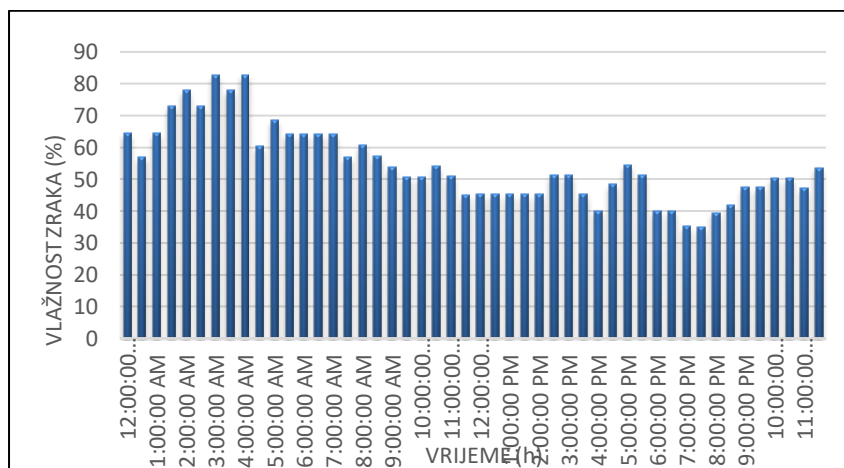


Grafikon 4 Tlak zraka 3.8.2019. godine, IZVOR: [26]

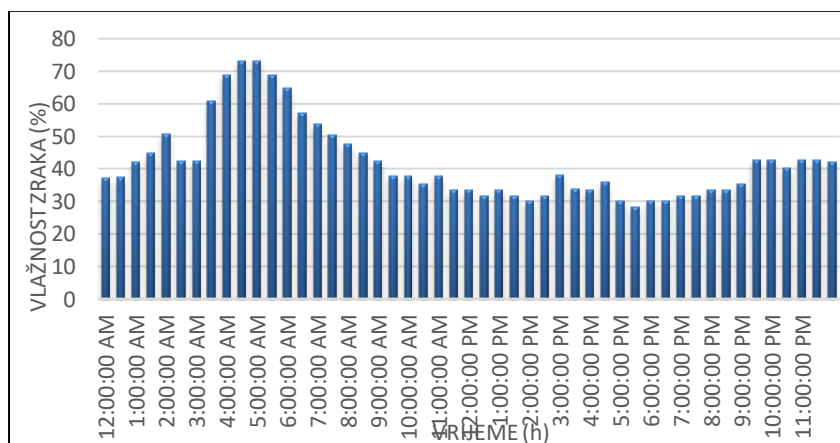


Grafikon 5 Tlak zraka 8.8.2020. godine, IZVOR: [26]

Na vršni dan 2019. godine vlažnost zraka kretala se u vrijednostima od 34,97 % do 82,86 %, dok su se vrijednosti za vršni dan 2020. godine kretale od 28 % do 73 %. Podaci su prikazani u Grafikonima 6 i 7.

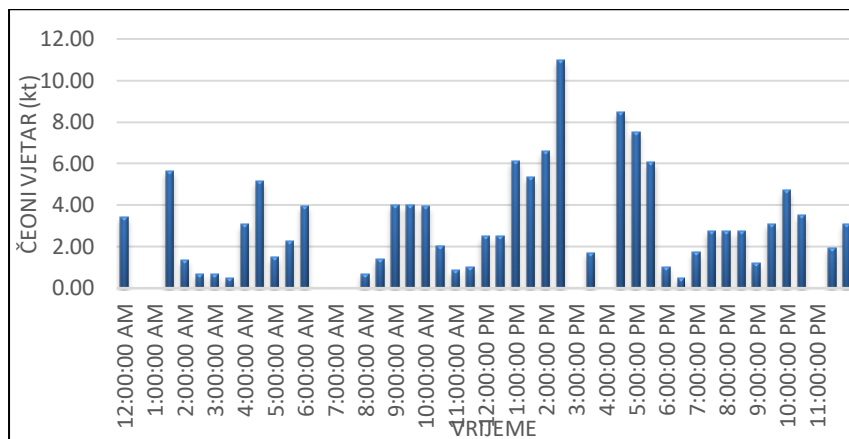


Grafikon 6 Vlažnost zraka 3.8.2019. godine, IZVOR: [26]

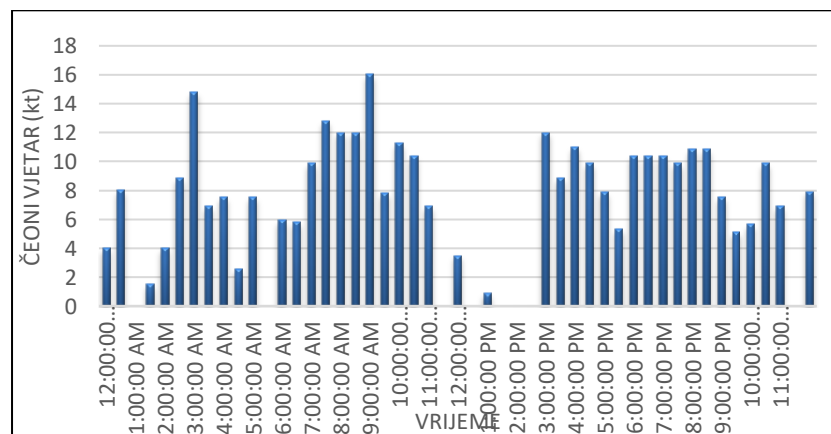


Grafikon 7 Vlažnost zraka 8.8.2020. godine, IZVOR: [26]

Posljednji meteorološki podatak potreban za modeliranje buke zrakoplova jest čeonni vjetar, izražen u čvorovima te su podaci prikazani na Grafikonima 8 i 9.



Grafikon 8 Čeonni vjetar 3.8.2019. godine, IZVOR: [26]



Grafikon 9 Čeonni vjetar 8.8.2020. godine, IZVOR: [26]

Dana 3. kolovoza 2019. godine prema realiziranom redu leta, koji je isporučen od same zračne luke Split, bilo je sveukupno 212 operacija od kojih je 107 operacija polijetanja, a 105 operacija slijetanja. S druge strane, dana 8. kolovoza 2020. godine bilo je 171 operacija od kojih je 86 operacija polijetanja, a 85 operacija slijetanja. Već na prvi pogled očit je pad prometa od 19,3 % uspoređujući 2019. i 2020. godinu. Obzirom da svaki tip zrakoplova ima drugačije performanse, što u konačnici utječe na samu buku zrakoplova, bitno je istaknuti koji je zrakoplov imao najviše operacija u promatranom vršnom danu. Tako dakle, na vršni dan 2019. godine zrakoplov Airbus A320 ima najveći broj operacija te doseže vrijednost od 74 operacija u danu. Zatim slijedi Boeing 737-800 koji ima 37 operacija u promatranom vremenu. Na Grafikonu 10 prikazani su svi tipovi zrakoplova uz dodijeljene vrijednosti broja operacija. U Tablici 5 prikazani su zrakoplovi koji su navedeni u redu letenja za vršni dan 2019. i 2020. godine, pripadajući INM kod, puni naziv zrakoplova te oznaka kvačice koje pokazuju ukoliko je

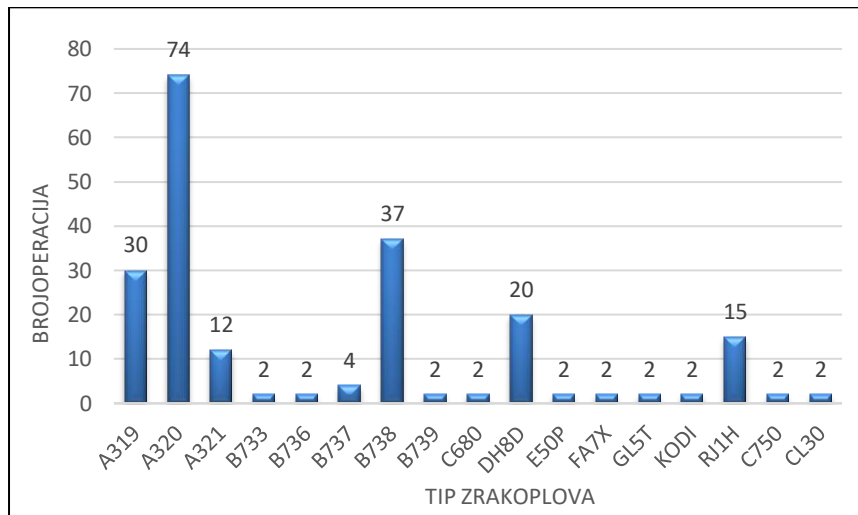
pojedini tip zrakoplova korišten u 2019. ili 2020. godini. Uspoređujući vršne dane 2019. i 2020. godine može se uočiti da postoje sličnosti u tipovima zrakoplova. Tako se dakle, Airbus-i, Boeing, pojedine Cessna-e, Bombardier Dash i Dassault Falcon mogu pronaći u redu letenja za 2019. i za 2020. godinu.

Tablica 5 Lista zrakoplova na ZL Split za vršne dane u 2019. i 2020. godini

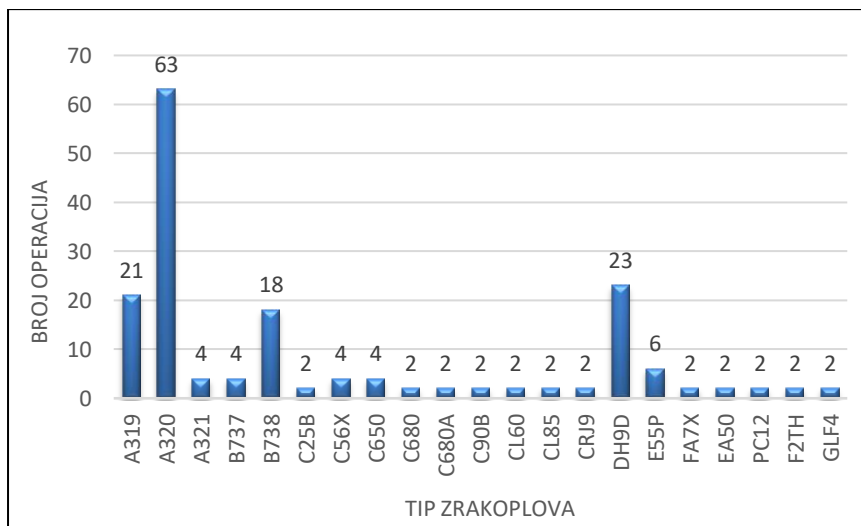
TIP ZRAKOPLOVA	NAZIV	INM KOD	2019.	2020.
A319	Airbus A319	A319-131	✓	✓
A320	Airbus A320	A320-211	✓	✓
A321	Airbus A321	A321-232	✓	✓
B733	Boeing 737-300	737300	✓	
B736	Boeing 737-600	737600	✓	
B737	Boeing 737-700	737700	✓	✓
B738	Boeing 737-800	737800	✓	✓
B739	Boeing 737-900	737800	✓	
C25B	Cessna 52B Citation	CNA525C		✓
C56X	Cessna 560XL Citation Excel	CNA560XL		✓
C650	Cessna 650 Citation	CNA650		✓
C680	Cessna 680 Citation Sovereign	CNA680	✓	✓
C68A	Cessna 680 Citation Sovereign	CNA680		✓
C90B	Beech King Air 100	CNA441		✓
CL60	Bombardier CL-600 Challenger	CL601		✓
CL85	Bombardier Challenger 850	CL601		✓
CRJ9	Bombardier CRJ900	CRJ9-ER		✓
DH8D	Bombardier Dash 8 Q400	DHC8	✓	✓
E55P	EMBRAER EMB 500 Phenom 100	CNA510		✓
EA50	Eclipse 500	ECLIPSE500		✓
F2TH	Falcon 2000	FAL20A		✓
FA7X	Dassault Falcon 7X	FAL900	✓	✓
GLF4	Gulfstream Aerospace Gulfstream IV	GIV		✓
PC12	Pilatus PC-12	PC12		✓
CL30	Bombardier BD-100 Challenger 300	BD100		✓
E50P	Embraer Phenom 100	CNA510	✓	
GL5T	Bombardier BD-700	BD700	✓	
KODI	Quest Kodiak	CNA208	✓	
RJ1H	British Aerospace BAE 146-300	BAE300	✓	
C750	Cessna 750 Citation X	CNA750	✓	



Na Grafikonu 10 prikazani su svi tipovi zrakoplova uz dodijeljene vrijednosti broja operacija. Na Grafikonu 11 prikazan je broj operacija po tipu zrakoplova za vršni dan 2020. godine. Airbus A320, kao i 2019. godine, prednjači s 63 operacija. Na drugom mjestu, za razliku od 2019. godine gdje je na toj poziciji bio Boeing 737-800, nalazi se Bombardier Dash 8 Q400 s 23 operacije. Nadalje slijede Airbus A319 te Boeing 737-800. Ostali tipovi zrakoplova imaju četiri ili manje operacija u promatranom vremenu.



Grafikon 10 Broj operacija po tipu zrakoplova za 3.8.2019.



Grafikon 11 Broj operacija po tipu zrakoplova za datum 8.8.2020.

## 6. Modeliranje buke zrakoplova u programu INM

### 6.1. *Integrated Noise Model*

Analiza utjecaja pandemije COVID-19 na izloženost stanovništva buci vršit će se na temelju rezultata dobivenih modeliranjem buke zrakoplova. Kako bi se u konačnici izradila karta buke koristio se program *Integrated Noise Model* (INM). To je program koji predstavlja standardnu metodologiju Savezne uprave za zrakoplovstvo (engl. FAA - *Federal Aviation Administration*) za procjene buke zrakoplova od 1978. godine. INM je računalni program koji koristi preko tisuću organizacija u više od 65 zemalja, međutim u svibnju 2015. godine zamijenjen je AEDT programom [27]. Koristi se u sljedeće svrhe:

- za procjenu trenutnih utjecaja buke zrakoplova oko određene zračne luke ili heliodroma,
- za procjenu promjene utjecaja buke radi implementacije novih konfiguracija ili proširenja USS-e,
- za procjenu promjene utjecaja buke zbog povećanja prometne potražnje ili u ovome slučaju za procjenu promjene utjecaja buke zbog smanjenja prometne potražnje uzrokovanom pandemijom COVID-19,
- za procjenu utjecaja buke koristeći nove operativne postupke,
- za procjenu utjecaja buke zbog zrakoplovnih operacija unutar ili u okolini nacionalnih parkova [28].

Modeliranje buke zrakoplova u INM-u za rezultat će dati kartu buke 2019. godine i kartu buke 2020. godine. U analizi, statistički će se obraditi dobiveni podaci i pobliže objasniti razlika dobivenih rezultata. Važno je napomenuti da će se proces modeliranja buke zrakoplova za okolicu Zračne luke Split odvijati postepeno uz mnoštvo koraka. Prvotno je bilo potrebno kreirati novu studiju u INM-u. Prilikom kreiranja iste, uvedene su koordinate referentne točke zračne luke Split koje iznose 43,538889° sjeverne geografske širine i 16,297778° istočne geografske dužine. Također je unesena vrijednost elevacije koja iznosi 78 ft tj. 23,74 m. Prethodno navedeni podaci, u postupku kreiranja studije, prikazani su na Slici 20.

Units: English Created: 17-Aug-21 16:04

Description: Your description

Origin of Coordinates:

Latitude (deg): 43.538889 Longitude (deg): 16.297778 Elevation (ft): 78.0

Airport: LDSP View Airports

OK

Slika 20 Kreiranje studije

## 6.2. Meteorološki podaci i tipovi zrakoplova

Meteorološki podaci koji su grafički prikazani u prethodnoj cjelini potrebni su za kreiranje tzv. slučaja (engl. *Case*). Kreiran je novi slučaj pod imenom *Case\_STANDARD* koji predstavlja vršni dan 2019. godine te *Case\_STANDARD2020* koji predstavlja vršni dan 2020. godine. Unesene su prosječne vrijednosti temperature zraka, tlaka zraka, vlažnosti zraka te čeonog vjetra. Na Slici 21 prikazan je izrađeni slučaj za 2019. godinu, a na Slici 22 slučaj za 2020. godinu.

Cases

- Case\_CLOSEIN\_CDA
- Case\_DISTANT\_CDA
- Case\_STANDARD
- Case\_STANDARD2020

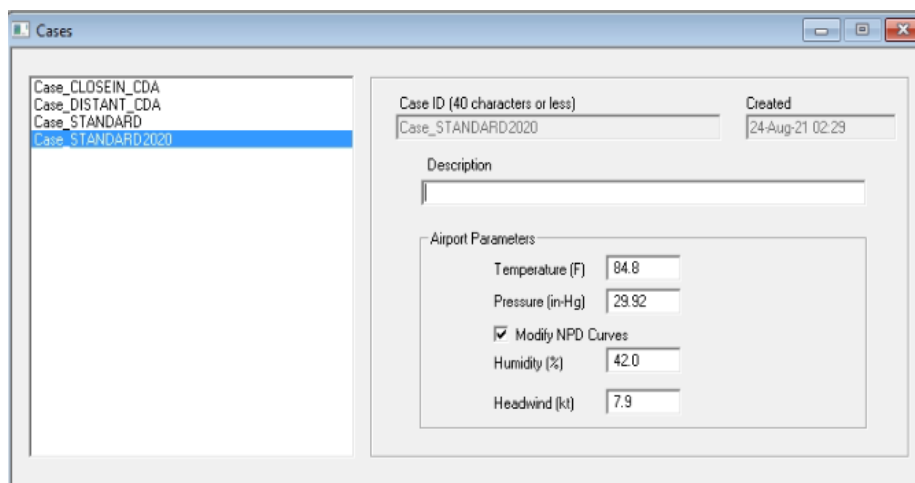
Case ID (40 characters or less): Case\_STANDARD Created: 17-Aug-21 16:39

Description:

Airport Parameters:

Temperature (F): 78.2  
 Pressure (in-Hg): 29.79  
 Modify NPD Curves  
 Humidity (%): 53.6  
 Headwind (kt): 3.1

Slika 21 Kreiranje slučaja za vršni dan 2019. godine

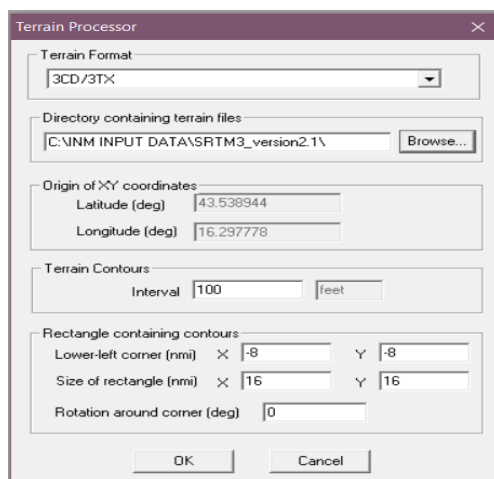


Slika 22 Kreiranje slučaja za vršni dan 2020. godine

Već spomenute geografske širine i geografske dužine praga 05 i 23 također su unijete u INM. U realiziranom redu letenja prikazani su tipovi zrakoplova koji su te dane operirali. U programu postoji baza zrakoplova i baza supstitucije zrakoplova, no to ne mora nužno značiti da će se unutar baze moći pronaći svaki tip zrakoplova. Prilikom sortiranja podataka o tipovima zrakoplova važno je izabrati valjanju supstituciju istog. Odabir supstitucije temeljio se na performansama zrakoplova. U obzir su uzeti MTOW (engl. Maximum Take-off Weight), broj i tip motora, kao i potisak.

### 6.3. Uvoženje podataka o promatranom terenu

Ova funkcija uvozi podatke o elevaciji terena kako bi se osigurao sloj konture terena koji INM koristi za prilagodbu udaljenosti promatrača od zrakoplova pri izračunavanju razine buke. Sve postavke terena prikazane su na Slici 23. Ulazni podaci mogu biti u jednom od sljedećih formata: 3CD binarni format tvrtke *Micropath Corporation*, 3TX tekstualni format koji sadrži elevaciju terena pokrivajući svaki stupanj geografske širine i geografske dužine, *NED GridFloat* te DEM format digitalnog elevacijskog modela. Za početak potrebno je odabrati željeni format terena. U ovom slučaju izabran je format 3CD/3TX. U postavci za pravokutnik koji sadrži konture (engl. *Rectangle containing contours*) potrebno je unijeti parametre koji definiraju pravokutnik unutar kojeg će se izračunavati konture terena. Donji lijevi kut X, Y odnosi se na ishodište studije, a širina X i visina Y definiraju samu veličinu pravokutnika [27].



Slika 23 Postavke terena

## 6.4. Metrika buke

Nadalje, postavke metrike buke prikazane su na Slikama 24 i 25. INM pruža šesnaest unaprijed definiranih standardnih metrika raspoređene pod parametrom *Family*. To su A-ponderirana metrika buke, C-ponderirana metrika buke te opažena metrika buke korigirane tonom (engl. *Perceived tone-corrected noise metrics*). Za potrebe ovog praktičnog rada odabrana je A-ponderirana metrika buke koja zapravo predstavlja metriku za standardnu analizu buke gdje se spektri buke zrakoplova A-ponderiranjem modificiraju te se samim time smanjuje buka u niskim i visokim područjima frekvencija [27]. Također, postoje tri tipa metrike buke: izloženost (engl. *Exposure*), maksimalna razina (engl. *MaxLevel*) i vrijeme iznad (engl. *Time-Above*). U ovom slučaju odabran je *Exposure* (istinska izloženost buci). Parametri pomoću kojih se također definira metrika buke su: množitelj za dan (engl. *Day Multiplier*), množitelj za večer (engl. *Evening Multiplier*), množitelj za noć (engl. *Night Multiplier*) te vremenski parametar  $10\log(T)$ .  $L_{den}$  i  $L_{night}$  nisu svrstani u šesnaest unaprijed definiranih standardnih metrika te se zbog toga moraju definirati. Prethodno navedeni parametri računaju se po formuli:

$$L_{den} = 10\log_{24} \left( 12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \quad (8)$$

gdje je:

$L_{den}$  – razina buke dan-večer-noć,

$L_{day}$  – A-ponderirana dugoročna prosječna razina zvuka određena za razdoblje od 7:00 do 19:00,

$L_{evening}$  - A-ponderirana dugoročna prosječna razina zvuka određena za razdoblje od 19:00 do 23:00,

$L_{night}$  - A-ponderirana dugoročna prosječna razina zvuka određena za razdoblje od 23:00 do 7:00 [29].

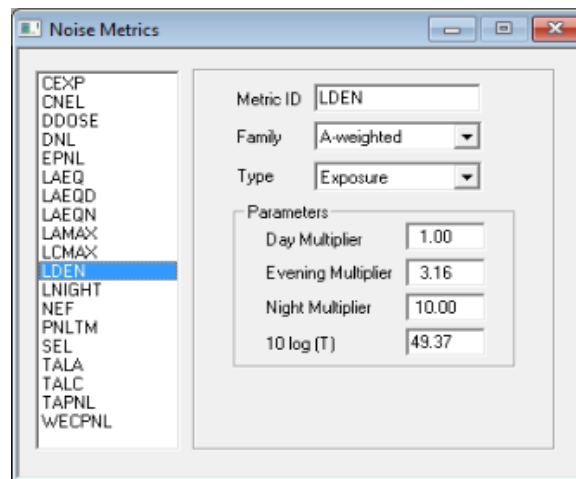
$L_{night}$  parametar opisuje razinu buke tijekom noći, određuje se kao prosjek svih noći u jednoj godini pri čemu noć traje 8 sati [8]. Formula za  $L_{night}$  razinu buke je:

$$L_{night} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{T_n} \left( \sum_i 10^{\frac{SEL_i}{10}} \right) \right), \quad (9)$$

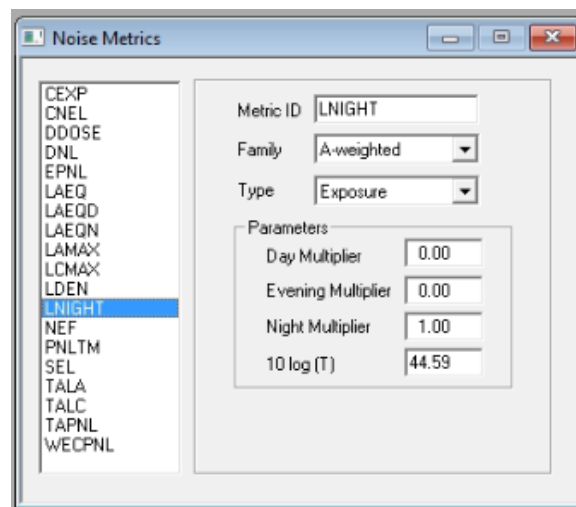
gdje je:

$SEL_i$  = razina izloženosti zvuku za i-tu operaciju zrakoplova,

$T_n$  = trajanje perioda noći u sekundama.



Slika 24 Metrika buke ( $L_{den}$ )



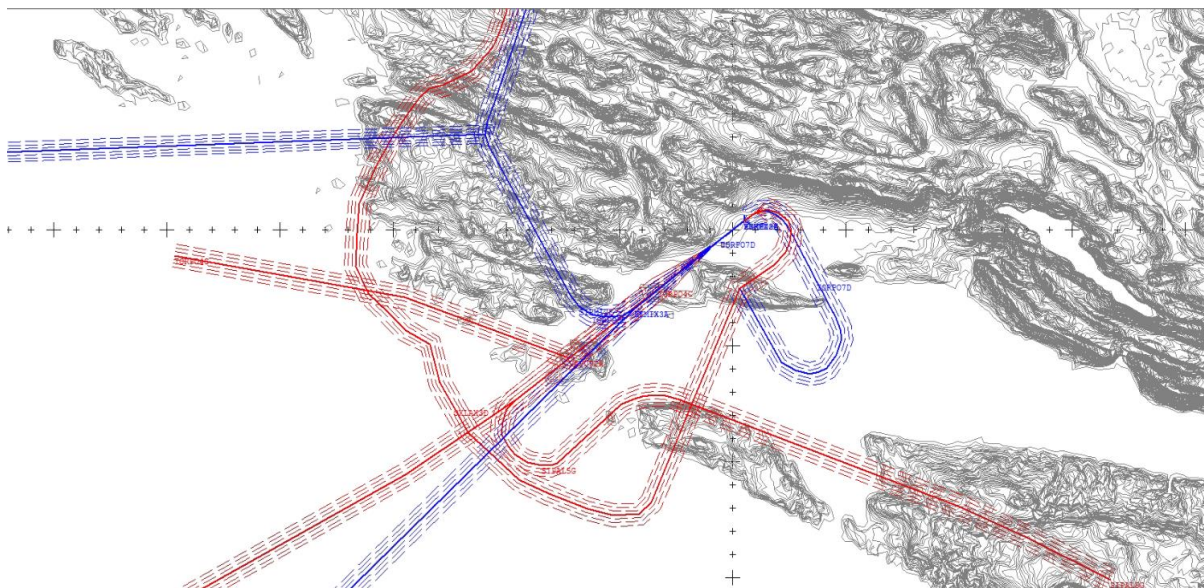
Slika 25 Metrika buke ( $L_{night}$ )

## 6.5. Postavke populacije

Kako bi se opisala i analizirala izloženost buci stanovništva važno je postaviti postavke populacije odnosno *Population points*. Za početak preuzet je skup rasterskih podataka s raspodjelom i gustoćom naseljenosti koji je izražen kao broj ljudi na određenoj površini koja ovisi od rezolucije rasterskih podataka. Podaci su preuzeti sa popisa EUROSTAT-a (2011. god.) i ESM R2016 [29]. Zatim je unutar QGIS-a raster sloj smanjen na interesno područje koje je obuhvaćalo radijus od 50 km s centrom u zračnoj luci Split. Radijus je odabran proizvoljno jer se smatra da izvan tog područja buka zrakoplova nema značajnijeg utjecaja na stanovništvo te nije potrebno prikupljati i računati razine buke. Raster sloj pretvoren je u vektorski sloj te su iz prethodno navedenog izdvojeni samo centriodi. Točke populacije predstavljaju mrežu površina od 100 m<sup>2</sup> te izdvojene lokacije u kojima se proračunava buka predstavljaju centroide tih površina. Svakom centroidu dodijeljene su pripadajuće koordinate. U konačnici izračunato je da se u promatranom interesnom području nalazi 372.727 stanovnika. Podaci su naposljetku uneseni u INM.

## 6.6. Kreiranje ruta

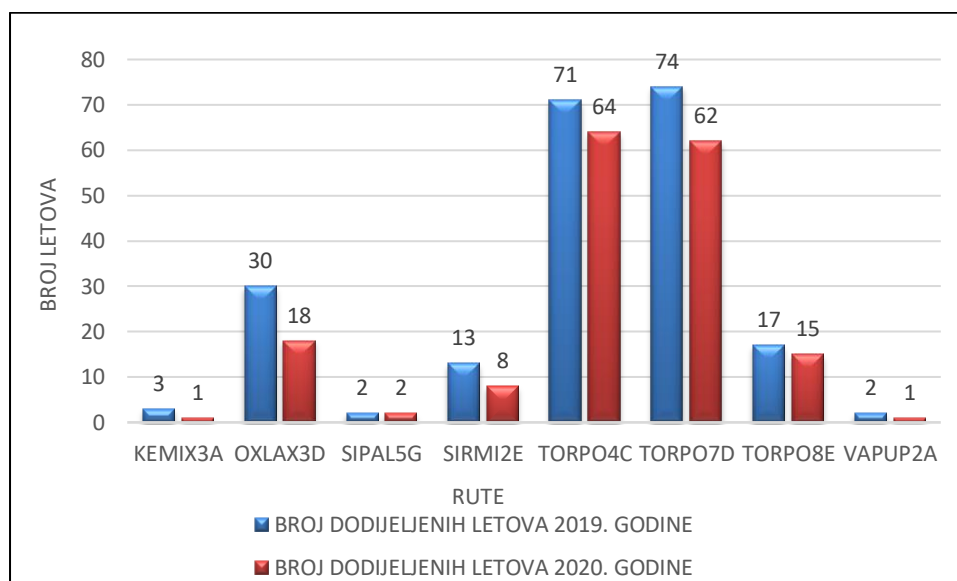
Sljedeći korak iziskuje kreiranje ruta koji će biti sukladni rutama propisanim u eAIP-u. Prvobitno je kreiranje ruta pokušano unutar NEST programa, no zbog nepreciznih rezultata kao predstavnici ruta koje su korištene za modeliranje izabrane su četiri prilazne i četiri odlazne rute iz eAIP-a. Četiri izabrane prilazne rute su: TORPO4C, OXLAX3D, SIPAL5G te VAPUP2A, a četiri odlazne rute su: TORPO7D, TORPO8E, KEMIX3A i SIRMI2E. Svaka od tih prilaznih i odlaznih ruta ima dodijeljenu aktivnu stazu. Tako dakle TORPO4C, SIPAL5G, VAPUP2A i TORPO7D pripadaju stazi 05, a OXLAX3D, TORPO8E, KEMIX3A i SIRMI2E pripadaju stazi 23. Pomoću *track segments* datoteke unutar programa kreirane su rute na način da su svakoj točki na ruti dodijeljene pripadajuće koordinate. Pored toga, u INM je automatski izvršena disperzija kreiranih ruta koja se koristi za modeliranje odstupanja od nominalne putanje leta, čime se buka distribuira na većoj površini nego što pruža jedna putanja. Na Slici 26 prikane su kreirane prilazne i odlazne rute.



Slika 26 Prikaz kreiranih ruta u INM-u

Nakon kreiranja ruta potrebno je pojedinom letu dodijeliti pripadajuću rutu ovisno o geografskoj poziciji zračne luke iz koje zrakoplov dolazi na ili odlazi sa Zračne luke Split. Tako dakle, odlazećoj ruti TORPO7D pridodani su letovi koji su dolazili iz sljedećih zemalja: Ujedinjeno Kraljevstvo, Italija, Francuska, Švicarska, Austrija, Irska, Češka, Rusija, Norveška, Finska te Njemačka. TORPO8E je odlazeća ruta kojoj su pridodane sljedeće odredišne zemlje: Nizozemska, Ujedinjeno Kraljevstvo, Italija i Francuska. Nadalje, KEMIX3A rutu karakteriziraju odlazni letovi prema Španjolskoj i Italiji. Letovi prema Češkoj, Njemačkoj, Švedskoj i hrvatskim gradovima Zagreb i Zadar dodijeljeni su ruti SIRMIZ2. SIPAL5G- u dodijeljeni su letovi iz Turske, Rumunjske i hrvatskog grada Dubrovnika. OXLAX3D je jedina prilazeća ruta s aktivnom stazom 23 tako da svi zrakoplovi koji slijeću u pravcu USS-e 23 pripadaju prethodno navedenoj ruti. VAPUP2A sadrži letove iz Italije i Francuske, točnije Rima, Napulja i Cannesa. Sve navedene zemlje koje pripadaju odlaznoj ruti TORPO7D također pripadaju i prilazećoj ruti TORPO4C. Na Grafikonu 12 prikazana je usporedba broja letova na vršni dan 2019. i 2020. godine dodijeljene prethodno navedenim rutama.





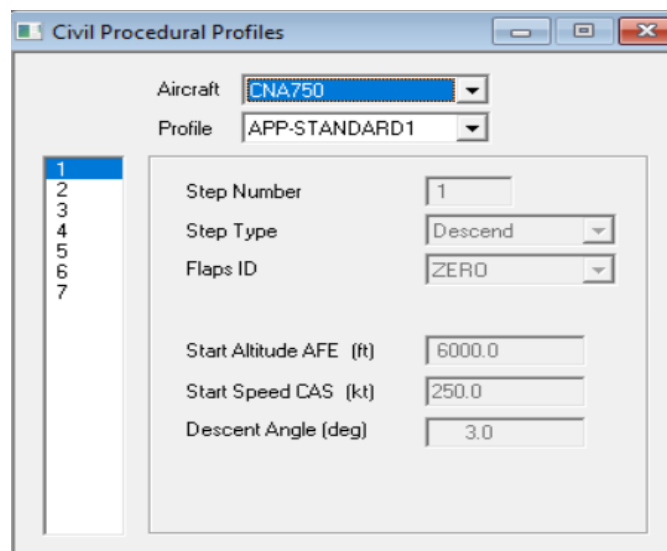
Grafikon 12 Broj letova dodijeljenih na SID i STAR rute za vršni dan u 2019. i 2020. godini

## 6.7. Proceduralni profili

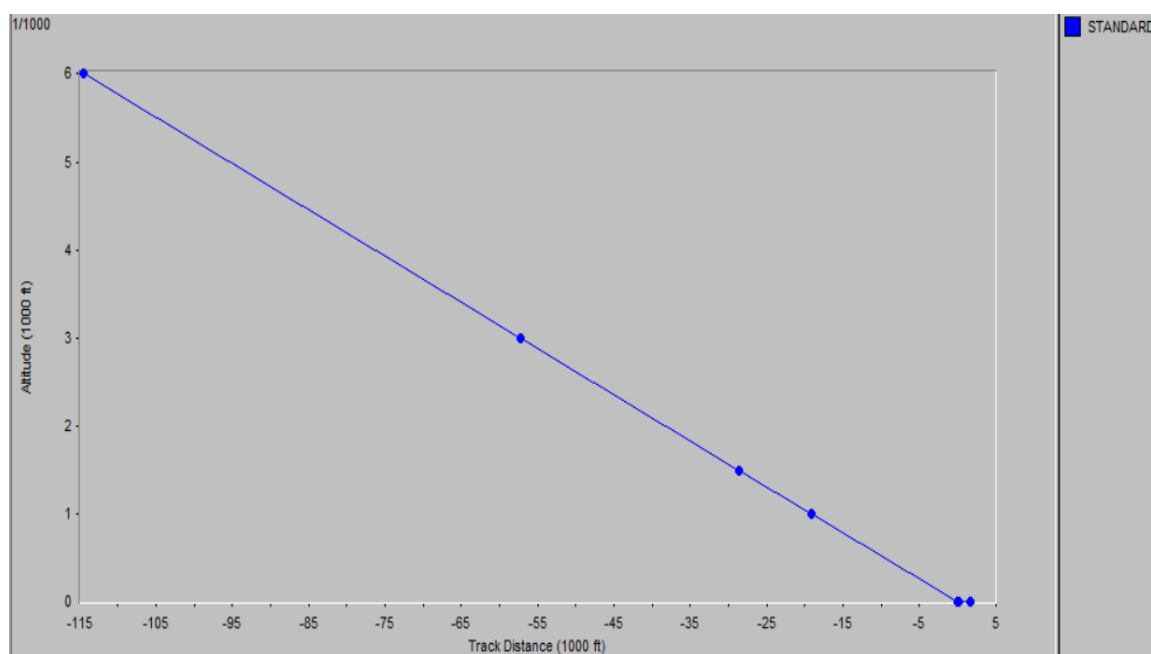
INM nudi opciju kreiranja proceduralnih profila. Funkcija izrade proceduralnih profila definira operativne postupke za pojedine faze leta. Upravo proceduralni profili definiraju profile zrakoplova te se oni mogu prilagoditi podacima studije i pripadajućih slučajeva. Razvoj proceduralnih profila uključuje i zahtijeva poznavanje procedura letenja. Razlikuju se pet vrsta procedura letenja (prilazne operacije, odlazne operacije, operacije kružnog leta, operacije preleta i *touch-and-go* operacije) koji su kreirani pomoću četrnaest koraka unutar samog postupka od kojih su neki:

- polijetanje,
- penjanje,
- krstarenje-penjanje,
- akceleracija,
- slijetanje [27].

Za potrebe ovog diplomskog rada korišteni su standardni profili. Kao primjer, na Slici 27 prikazana je postavka proceduralnih profila za zrakoplov Cessna Citation 750 X, a na Slici 28 prikazan je graf visine prethodno navedenog zrakoplova.



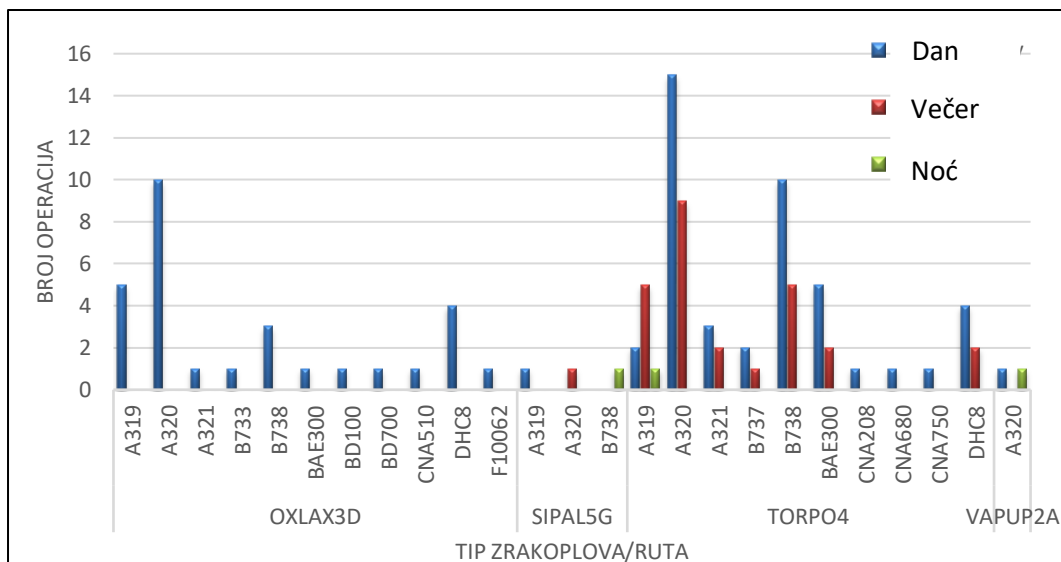
Slika 27 Proceduralni profil za zrakoplov CNA750



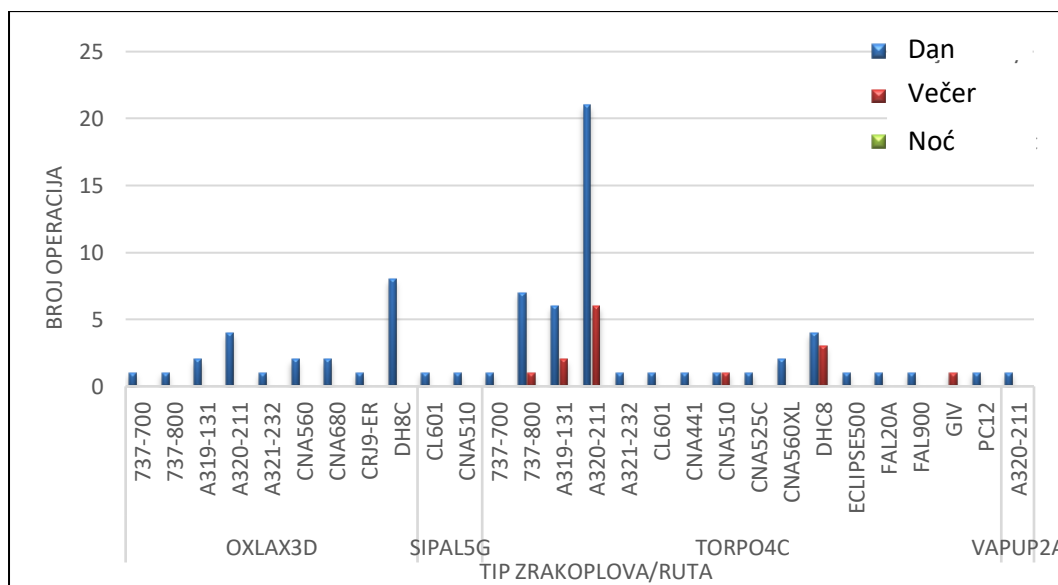
Slika 28 Graf visine slijetanja na stazu 05 za CNA750

## 6.8. Kreiranje operacija i postavke rešetke

Prilikom kreiranja datoteke operacija, svakom letu dodijeljena je ruta, proceduralni profil, uzletno-sletna staza te broj dnevnih, večernjih i noćnih letova za svaki zrakoplov. Također je potrebno stvoriti nove scenarije te su za 2019. godinu kreirana dva scenarija: Lden\_STANDARD i Lnight\_STANDARD. Za 2020. godinu nazivaju se: Lden\_STANDARD\_2020 i Lnight\_STANDARD\_2020. Na grafikonu 13 prikazan je broj operacija slijetanja za svaki zrakoplov s pripadajućom STAR-om za periode dana, večeri i noći za vršni dan 2019. godine, a na Grafikonu 14 za vršni dan 2020. godine.

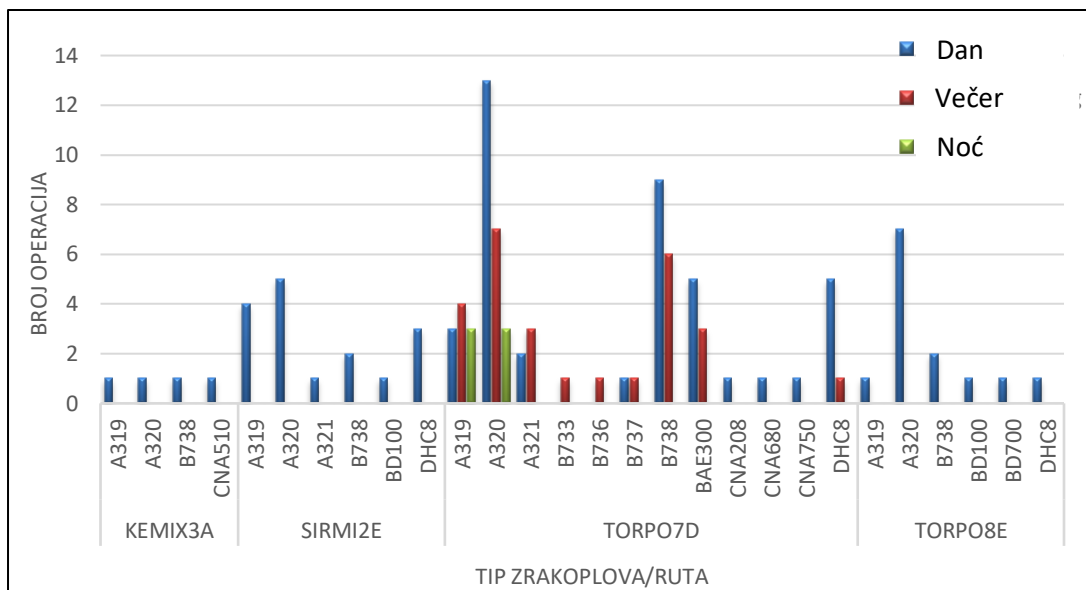


Grafikon 13 Broj operacija po tipu zrakoplova za svaki STAR i period dana (vršni dan 2019. godine)

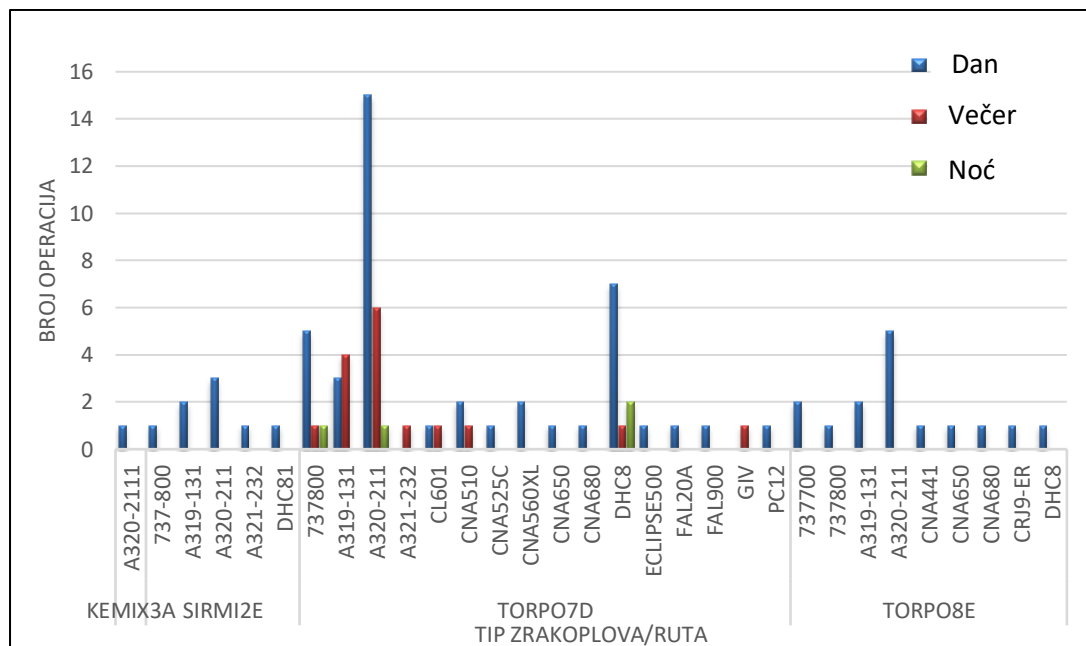


Grafikon 14 Broj operacija po tipu zrakoplova za svaki STAR i period dana (vršni dan 2020. godine)

Na prethodnim grafikonima uočava se razlika u samom broju operacija ovisno o promatranom vremenu. Tako dakle, na vršni dan 2019. godine operiralo je: 75 dnevnih letova, 27 večernjih i 3 noćna leta. Na vršni dan 2020. godine te brojke su nešto manje; 74 dnevnih letova, 13 večernjih letova i niti jedan noćni let. Na Grafikonima 15 i 16 prikazan je broj operacija polijetanja s pripadajućim SID-om za periode dana, večeri i noći za 2019. i 2020. godinu. Tijekom vršnog dana 2019. godine operiralo je: 74 dnevnih, 27 večernjih i 6 noćnih letova. U 2020. godini bilo je: 66 dnevnih, 16 večernjih i 4 noćnih odlaznih operacija.

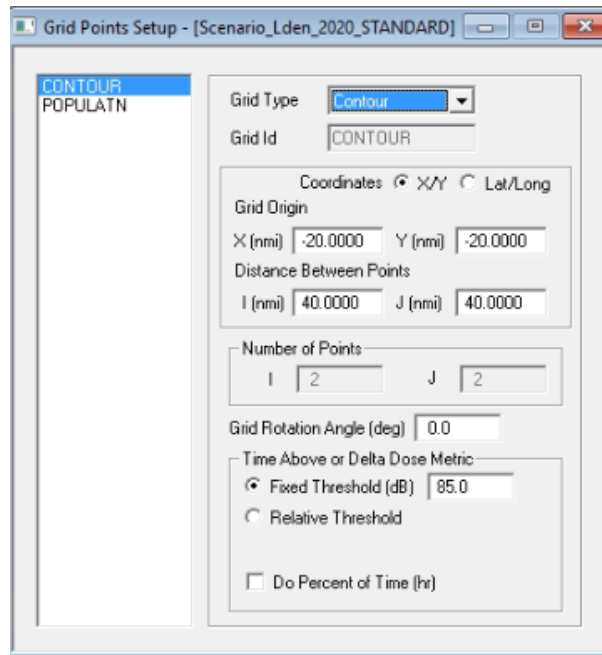


Grafikon 15 Broj operacija po tipu zrakoplova za svaki SID i period dana (vršni dan 2019. godine)



Grafikon 16 Broj operacija po tipu zrakoplova za svaki SID i period dana (vršni dan 2020. godine)

Posljednji koraci iziskuju definiranje različitih vrsta rešetki (engl. *Grid*). Mrežne točke definiraju lokacije na kojima se izračunava buka te ono zahtijeva ishodište, broj točaka u rešetkastom nizu i udaljenost između točaka što je prikazano na Slici 29 [27]. Nakon odabira tipa rešetke i prethodno navedenih stavki potrebno je izabrati kojom će se veličinom mjeriti buka, u ovom slučaju izabrani su  $L_{den}$  i  $L_{night}$ . Ovim posljednjim korakom program je spreman za računske i grafičke rezultate.

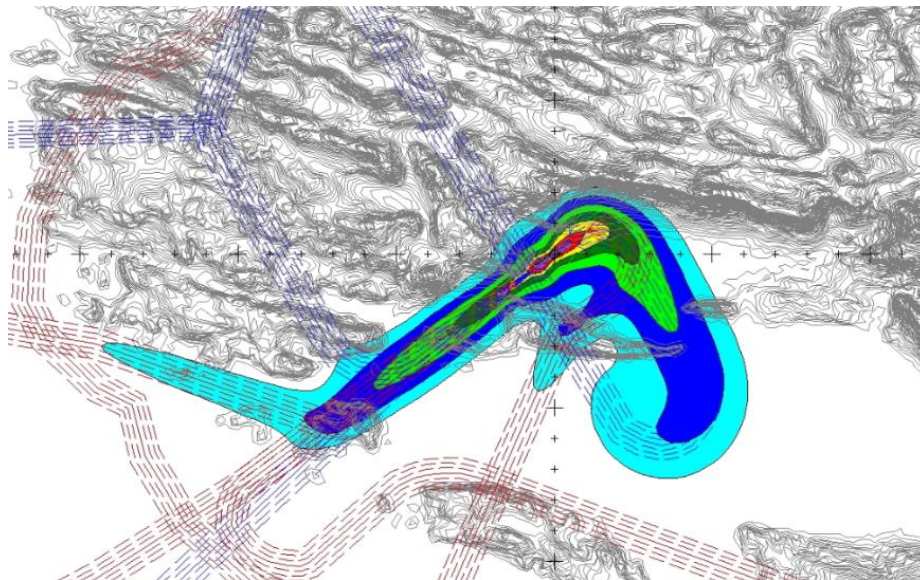


Slika 29 Postavke rešetaka

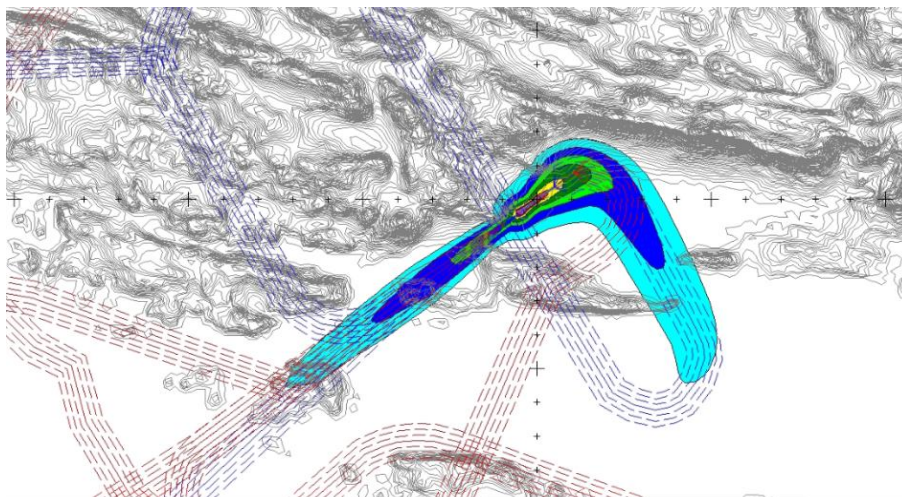
## 7. Analiza utjecaja pandemije COVID-19 na izloženost stanovništva buci

### 7.1. Konture buke

Analiza utjecaja pandemije COVID-19 na izloženost stanovništva buci temeljit će se na usporedbi dobivenih rezultata konture buke i buke na populacijskim točkama interesnog područja, u ovom slučaju okolica zračne luke Split. U prethodnom poglavlju je opisan sami proces dobivanja kontura buke koji je podijeljen u dva scenarija. Prvi scenarij predstavlja razinu buke za cijeli dan, a drugi u razdoblju od 23:00 do 07:00 sati. Tako dakle, na Slici 30 prikazane su konture buke na vršni dan 2019. godine za  $L_{den}$  parametar. S druge strane, Slika 31 prikazuje konturu buke za parametar  $L_{night}$ .



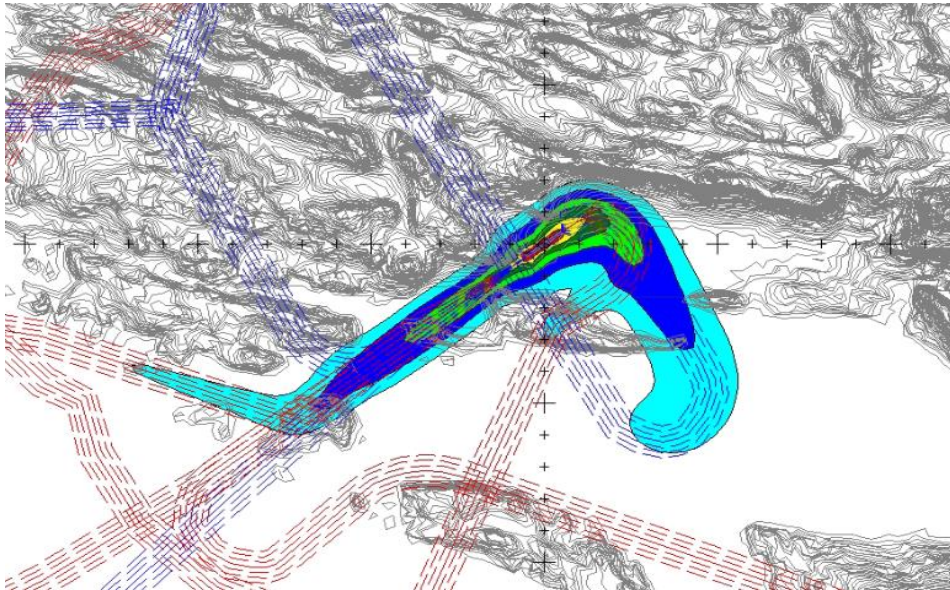
Slika 30 Kontura buke za  $L_{den}$  (vršni dan 2019. godine)



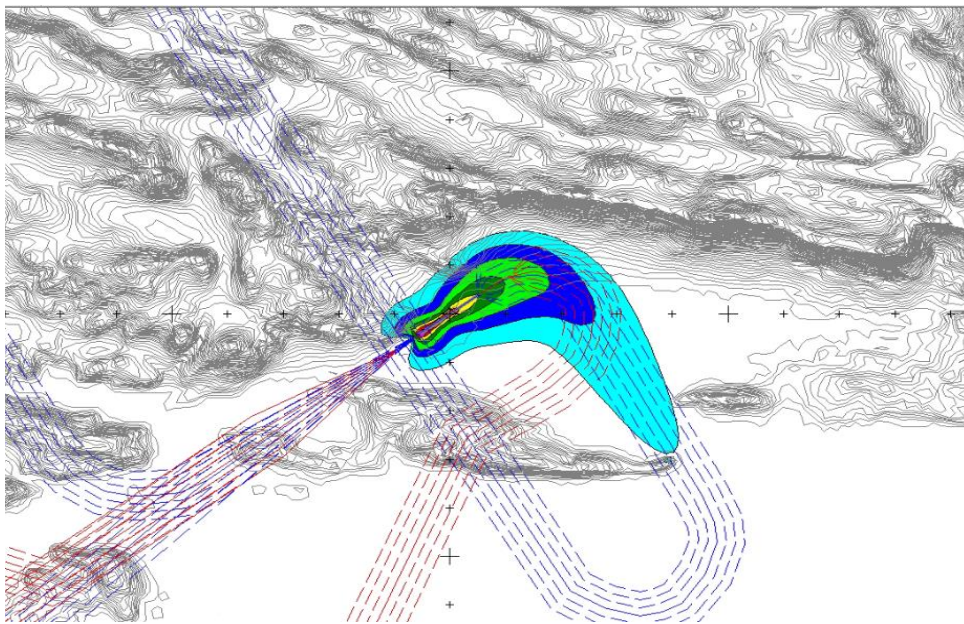
Slika 31 Kontura buke za  $L_{night}$  (vršni dan 2019. godine)



Na vršni dan 2020. godine bilo je manje operacija zrakoplova od vršnog dana 2019. godine. To se može pridodati aktualnoj pandemiji COVID-19. Brojčano je očekivana veća razlika, no s obzirom da je vršni dan u mjesecu kolovozu, koji predstavlja srce turističke sezone, opravdana je manja razlika u broju operacija. Razlika se može uočiti samom usporedbom slika, no kasnije je tablično i grafički pobliže objašnjeno. Na Slici 32 prikazana je kontura buke za  $L_{den}$ , a na Slici 33 za parametar  $L_{night}$  za vršni dan 2020. godine.



Slika 32 Kontura buke za  $L_{den}$  (vršni dan 2020. godine)



Slika 33 Kontura buke za  $L_{night}$  (vršni dan 2020. godine)

## 7.2. Buka u točkama od javnog značaja

Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi donijelo je pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave. U pravilniku su pojašnjeni izrazi kao što su: izvor buke, boravišni prostor, radni prostor, osnovna razina buke, ocjenska razina i slično. Ocjenska razina služi za ocjenu udovoljavanja dopuštenim razinama buke uz dodatak prilagođenja. U Tablici 6 prikazane su najviše dopuštene ocjenske razine buke u otvorenom prostoru [31].

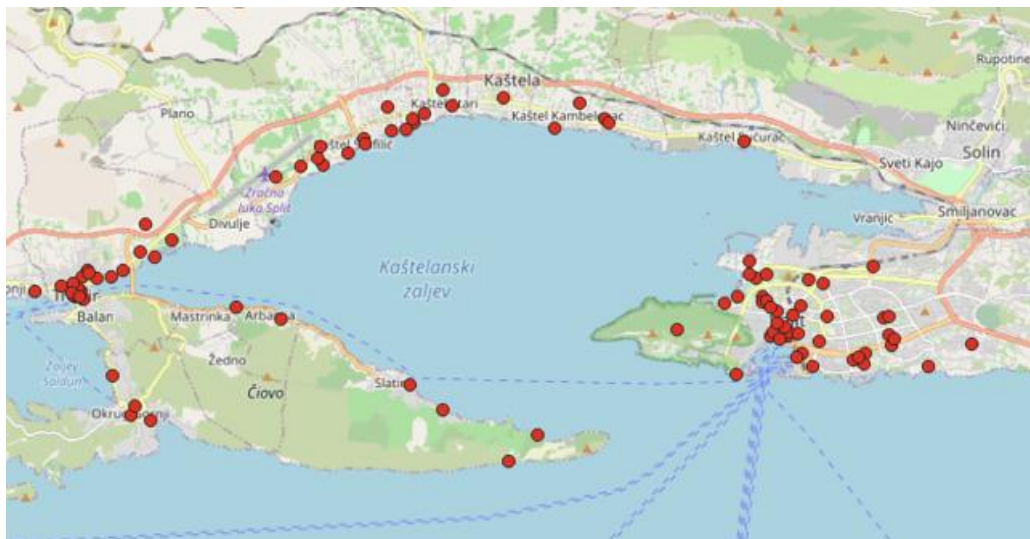
Tablica 6 Prikaz najviših dopuštenih razina buke na otvorenom prostoru, IZVOR: [31]

Zona buke	Namjena prostora	Najviše dopuštene ocjenske razine buke imisije $L_{RAeq}$ u dB(A)	
		za dan ( $L_{day}$ )	noć ( $L_{night}$ )
1.	Zona namijenjena odmoru, oporavku i liječenju	50	40
2.	Zona namijenjena samo stanovanju i boravku	55	40
3.	Zona mješovite, pretežito stambene namjene	55	45
4.	Zona mješovite, pretežito poslovne namjene sa stanovanjem	65	50
5.	Zona gospodarske namjene (proizvodnja, industrija, skladišta, servisi)	– Na granici građevne čestice unutar zone – buka ne smije prelaziti 80 dB(A) – Na granici ove zone buka ne smije prelaziti dopuštene razine zone s kojom graniči	

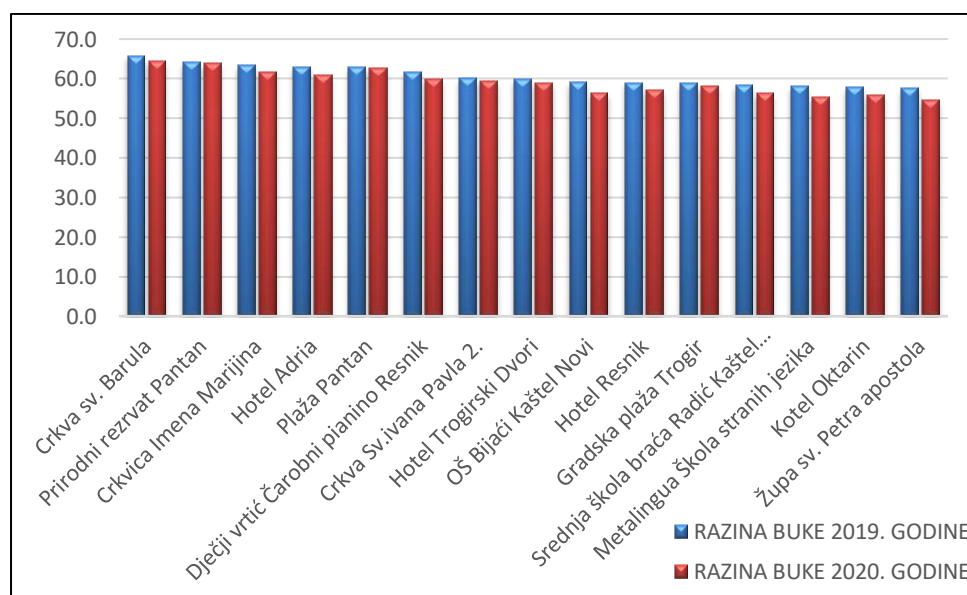
Za potrebe analize buke u točkama od javnog značaja prije svega je potrebno izabrati ustanove u kojima se očekuje dulji boravak čovjeka. To su prije svega ustanove u kojima se obavljaju specifične aktivnosti ili borave grupe ljudi veoma osjetljive na buku kao što su bolnice, domovi zdravlja, škole, vrtići itd. Veoma je bitno da se takve ustanove nalaze u područjima gdje nema štetnog utjecaja buke. Tako dakle, izabrano je 113 točaka, koje su prikazane na Slici 34, od javnog značaja od kojih su neke: Dioklecijanova palača, Dom zdravlja Split, Pravni fakultet Split, stadion Poljud, park Marjan, OŠ Petra Berislavića, Crkva sv. Ivana Pavla II. te Katolički bogoslovni fakultet. Kao i do sad, usporedit će se razine buke na vršni dan 2019. godine i na vršni dan 2020. godine. Na Grafikonu 17 prikazane su lokacijske točke s najvišim pripadajućim



razinama buke na vršni dan 2019. i 2020. godine. Tako dakle, sve lokacije prikazane na Grafikonu 17 prelaze granične vrijednosti propisanih razina buke. Primjerice, u osnovnoj školi Bijaći Kaštel Novi 2019. godine izmjerena razina buke iznosila je 60,1 dB što prelazi graničnu propisanu vrijednost, a 2020. godine iznosila je 57,1 dB. Taj se očitovani pad može pripisati isključivo padu prometa tijekom pandemije COVID-19, no vrijednosti izmjerene buke na toj lokaciji 2020. godine i dalje nisu prihvatljive. Isto tako na lokaciji Hotel Resnik razina buke na vršni dan 2019. godine iznosi 62 dB, a 2020. godine 58,3 dB. Samim time može se zaključiti da za neke lokacije u blizini zračne luke vrijednosti razine buke nisu postale prihvatljive čak ni tijekom pandemije COVID-19.

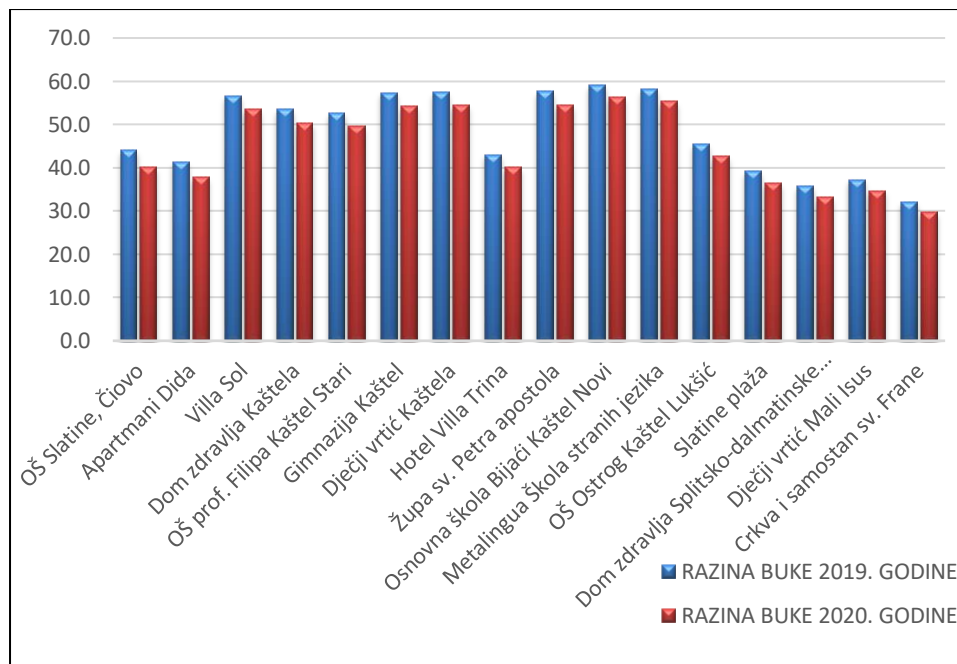


Slika 34 Prikaz geografskog smještaja promatranih lokacijskih točaka



Grafikon 17 Lokacijske točke s najvišim pripadajućim razinama buke na vršni dan 2019. i 2020. godine

Na Grafikonu 18 prikaze su lokacijske točke koje imaju najveće razlike razine buke uspoređujući vršni dan 2019. godine i vršni dan 2020. godine. U OŠ Slatine 2019. godine razina buke iznosila je 44 dB, a 2020. godine 40,1 dB. Župa sv. Petra apostola 2019. godine bila je izložena buci od 57,6 dB, a 2020. god. 54,6 dB.



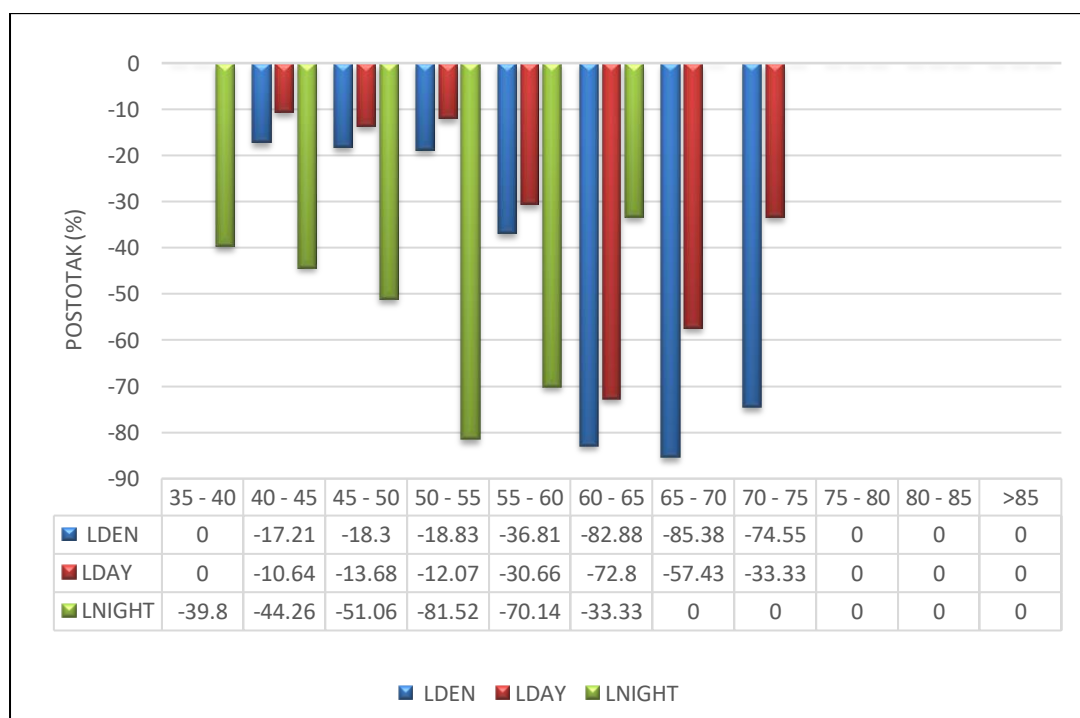
Grafikon 18 Lokacijske točke s najvećom razlikom u izmjerenim razinama buke na vršni dan 2019. i 2020. godine

### 7.3. Utjecaj buke na stanovništvo okolice Zračne luke Split

Za potrebe analize utjecaja buke na stanovništvo koristit će se rezultati funkcije *Contour Area and Population* u programu INM. Ova funkcija sadrži sljedeće važne parametre: razinu buke mjerene u dB te populaciju odnosno zbroj svih stanovnika unutar promatranog područja. Za scenarij u kojem je izabran parametar  $L_{den}$  uzeta je donja granica 40 dB, a gornja 85 dB, dok su za parametar  $L_{night}$  uzete granice 35 dB i 80 dB. U Tablici 7 prikazane su brojke stanovnika izloženih različitim razinama buke na vršni dan 2019. i 2020. godine.

Tablica 7 Broj stanovnika izloženih različitim razinama buke na vršni dan 2019. i 2020. godine

RAZINA BUKE (dB)	BROJ STANOVNIKA 2019. GODINA			BROJ STANOVNIKA 2020. GODINA		
	L <sub>den</sub>	L <sub>day</sub>	L <sub>night</sub>	L <sub>den</sub>	L <sub>day</sub>	L <sub>night</sub>
35 - 40	/	/	25.453	/	/	15.338
40 - 45	40.942	37.673	18.742	33.896	33.664	10.446
45 - 50	30.293	28.630	11.938	24.750	24.712	5.842
50 - 55	22.086	20.465	3.940	17.927	17.995	728
55 - 60	15.699	13.866	144	9.920	9.614	43
60 - 65	6.202	2.015	15	1.062	548	10
65 - 70	465	148	4	68	63	0
70 - 75	55	21	0	14	14	0
75 - 80	10	0	0	0	0	0
80 - 85	0	0	0	0	0	0
>85	0	0	/	0	0	/



Grafikon 19 Postotna promjena broja stanovnika izloženih buci uspoređujući vršni dan 2019. i 2020. godine

Na grafikonu 19 prikazana je promjena broja stanovnika izloženih buci uspoređujući podatke iz Tablice 7. Najveća promjena broj stanovnika koji su izloženi buci na vršni dan 2019. godine očituje se u području razine buke od 65 dB do 70 dB gdje se ta vrijednost smanjuje za čak 85,38 %. S druge strane, najveća razlika tijekom noći očituje se u područjima od 50 dB do 55 dB te doseže vrijednost -81,522 %. Nadalje, prikazana je usporedba broja stanovnika izloženih buci tijekom noći koji su dobiveni za 2019. i 2020. godinu. Iz priloženog može se uočiti veći pad broja stanovnika što je posljedica manjeg broja operacija tijekom noći na vršni dan 2020. godine.

Izloženost buci zrakoplova ne samo da izaziva smetnju, već dugotrajna i konstantna izloženost visokim razinama buke može dovesti do pogoršanja slušnog sustava, gubitka sluha, kardiovaskularnih bolesti, poremećaja sna i smanjene sposobnosti učenja. Rezultati istraživanja kojim se proučavao utjecaj buke zrakoplova na zdravlje čovjeka u okolici zračne luke Heathrow, ukazuju da je izloženost visokim razinama buke povezana s povećanim rizikom od moždanog udara, koronarne bolesti srca i kardiovaskularnih bolesti. Nadalje, otkriveno je da su prekomjerni rizici od hipertenzije povezani s dugotrajnom izloženosti buci, prvenstveno tijekom noći [32].

Kako bi se procijenio broj ugroženih stanovnika koji kasnije mogu osjetiti prethodno navedene posljedice, Direktiva 2002/49/EZ Europskog parlamenta postavila je opći okvir za procjenu i upravljanje bukom u životnoj sredini. Prema direktivi ograničeno je trenutno dostupno znanje o štetnim učincima industrijskog pogona i tvorničke buke, pa je nemoguće predložiti opću metodu procjene. Iako je uspostavljena veza između buke iz okoliša i sljedećih štetnih učinaka, trenutno nema dovoljno dokaza za uspostavu opće metode za procjenu ovih štetnih učinaka kao što su moždani udar, hipertenzija, dijabetes i druge posljedice na zdravlje metabolizma, kognitivno oštećenje u djece, mentalno zdravlje i dobrobit, oštećenje sluha, zujanje u ušima, negativni učinci na nerođenu djecu. Pojava štetnog učinka među stanovništvom izloženim određenoj razini buke tijekom dana uz apsolutni rizik od štetnog učinka računa se po sljedećoj formuli:

$$AR_{HA,air} = \frac{(-50.9693 + 1.0168 * L_{den} + 0.0072 * L_{den}^2)}{100} \quad (8)$$

gdje je:

$AR_{HA,air}$  – pojava štetnog učinka među stanovništvom izloženim određenoj razini buke uz apsolutni rizik od štetnog učinka [31].

Za potrebe analize prethodno navedenih podataka pomoću tablice uneseni su sljedeći parametri:  $POINT\_ID$ ,  $population$  te metrika koja predstavlja razinu buke tijekom cijelog dana. Važno je napomenuti da se unutar interesnog područja nalazilo 372.727 stanovnika no taj je broj zapravo višestruko veći jer je buka promatrana na vršni dan koji se nalazi u srcu turističke sezone. Na vršni dan 2019. godine broj jako ugroženih stanovnika iznosio je 8.859, a na vršni dan 2020. godine 7.594. Razlika ovih vrijednosti iznosi 1.265 ili -14,27 %. Prethodno spomenuta direktiva je definirala i pojam pojave štetnog učinka među stanovništvom izloženim određenoj razini buke tijekom noći uz apsolutni rizik od štetnog učinka koji se računa po sljedećoj formuli:

$$AR_{HSD,air} = \frac{(16.7885 - 0.9293 * L_{night} + 0.0198 * L_{night}^2)}{100} \quad (9)$$

gdje je:

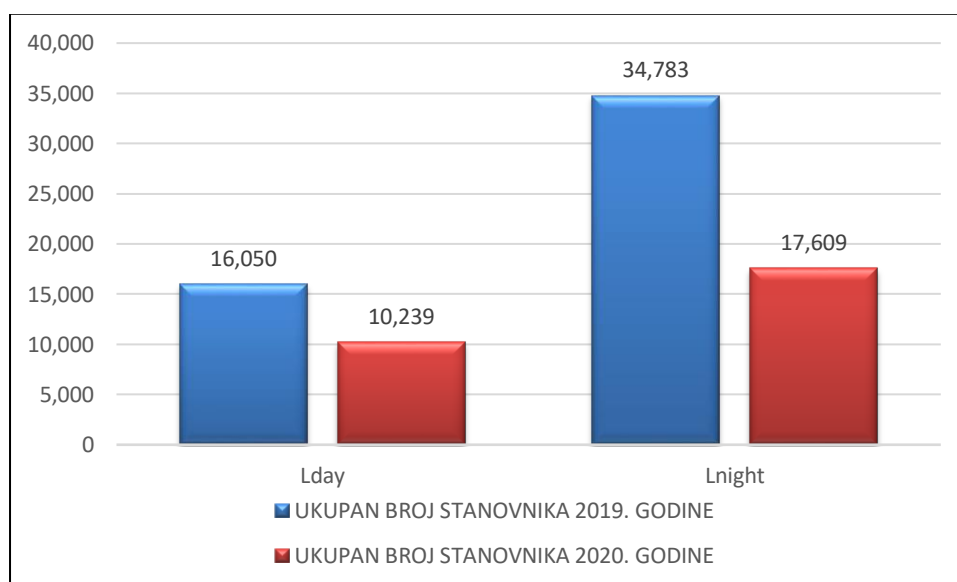
$AR_{HSD,air}$  - pojava štetnog učinka među stanovništvom izloženim određenoj razini buke uz ozbiljan poremećaj sna [31].

Proces proračuna je isti kao za izračun broja stanovnika ugroženih tijekom dana. Tako dakle, na vršni dan 2019. godine broj jako ugroženih stanovnika iznosio je 3.776, a na vršni dan 2020. godine 1.422. Razlika ovih vrijednosti iznosi 2.254 ili -62,341 %. Veliki pad broja ugroženih stanovnika tijekom noći potkrepljuje činjenica da je 2020. godine bilo znatno manje noćnih operacija. Ona se očituje i usporedbom samih karata buke za 2019. i 2020. godinu. Konturno područje buke zrakoplova tijekom noći na vršni dan 2019. godine površinski je daleko manje od konturnog područja na vršni dan 2020. godine. Konačni rezultati prikazani su u Tablici 8.

Tablica 8 Usporedba ugroženog broja stanovnika na vršni dan 2019. i 2020. godine

GODINA	L <sub>DEN</sub>	RAZLIKA	L <sub>NIGHT</sub>	RAZLIKA
2019.	8859	-14,27 %	3776	-62,34%
2020.	7594		1422	

U konačnici, za potrebe analize učinka pandemije na izloženost stanovništva buci također su korišteni podaci koji sadrže vrijednosti razine buke kojoj je stanovništvo izloženo tijekom dana. Tako je, dakle, izvršena usporedba vršnog dana 2019. godine i vršnog dana 2020. godine. Ovim načinom može se saznati postoji li problem koji zahtijeva primjenu mjera povezanih sa bukom zrakoplova.



Grafikon 20 Ukupan broj stanovnika izloženih nedozvoljenim razinama buke na vršni dan 2019. i 2020. godine

Obzirom da su granične vrijednosti dozvoljene razine buke za pojedinu zonu poznate, na Grafikonu 20 prikazano je koliki je broj stanovnika izložen nedozvoljenim razinama buke. Važno je napomenuti da se granične vrijednosti odnose na prosječan dan za cijelu godinu, a za ovu analizu u razmatranje je uzet vršni dan. Iz tog razloga, realno je očekivati da će razine buke za prosječan dan biti niži. Tako dakle, tijekom vršnog dana 2019. godine 16.050 stanovnika izloženo je razinama buke iznad 55 dB, a 2020. godine 10.239 što je 36,2 % manje. Tijekom noći 2019. godine 34.783 stanovnika izloženo je razinama buke iznad 40 dB, a 2020. godine 17.609 što je u konačnici 49,4 % manje.

## 8. Zaključak

Buka zrakoplova uz emisiju plinova zrakoplovnih motora štetno utječu na okoliš te se njihov negativan učinak pokušava reducirati raznim metodama. Kao što loše utječu na okoliš tako i imaju negativan utjecaj na čovjeka. Taj negativan utjecaj može se manifestirati u psihičkom i fizičkom aspektu njegova života. Zbog prethodno navedenih tvrdnji, u prošlosti su inicirana razna istraživanja i njihovim rezultatima nastoji se stvoriti idealna rješenja. Jedan od načina prikaza ocjenjivanja izloženosti stanovništva buci zrakoplova je izrada strateških karata buke. Uspoređujući stratešku kartu buke interesnog područja i konfliktne karte buke mogu se osmisliti načini smanjenja buke.

Za potrebe analize utjecaja pandemije COVID-19 na izloženost stanovništva buci u okolici zračne luke Split korišteni su podaci pomoću kojih su se dobile konture buke interesnog područja i broj jako ugroženih stanovnika. S obzirom da je dana 3. kolovoza 2019. godine bilo 212 operacija, a 8. kolovoza 2020. godine 171, pad prometa postotno iznosi 19,3 %. Broj jako ugroženih stanovnika tijekom dana za vršne dane 2019. i 2020. godine smanjio se za 14,7 %, dok se broj jako ugroženih stanovnika tijekom noći smanjio za 62,3 %. Analizom rezultata istraživanja vidljivo je da je broj jako ugroženih stanovnika tijekom dana i noći na vršni dan 2020. godine znatno manji od broja ugroženih stanovnika na vršni dan 2019. godine zbog pandemije COVID-19.

Pored toga što je broj ugroženih stanovnika na vršni dan 2020. godine znatno manji u odnosu na 2019. godinu zbog pandemije COVID-19, analiza je pokazala da određeni broj stanovnika živi u naseljima koja su izložena buci iznad graničnih vrijednosti. Tijekom vršnog dana 2019. godine 16.050 stanovnika izloženo je razinama buke iznad 55 dB, a 2020. godine 10.239 što je 22,7 % manje. Tijekom noći 2019. godine 34.783 stanovnika izloženo je razinama buke iznad 40 dB, a 2020. godine 17.609 što je u konačnici 49,4 % manje. Granične vrijednosti se odnose na prosječan dan za cijelu godinu, a za ovu analizu u razmatranje je uzet vršni dan. Iz tog razloga, očekivano je da je broj stanovnika izloženih nedozvoljenim razinama buke manji. Buduća se istraživanja mogu bazirati na određivanju kontura buke na osnovu prosječnog dana za cijelu godinu.

Neke europske zračne luke ulažu mnogo sredstava u istraživanja i razvijanja aktivnosti s ciljem smanjenja smetnji od buke stanovnicima koji žive u blizini zračne luke. Pasivne mjere poput zvučnih izolacija ili kupnja kuća iznad kojih zrakoplovi polijeću ili slijeću pri malim nadmorskim visinama učinkovite su mjere koje doprinose smanjenju smetnji. Uključivanjem zajednice zračne luke mogu detaljnije istražiti nastali problem. Zbog toga se preporučuje da vlasti bolje komuniciraju s građanima dajući uživo podatke o zrakoplovima koji lete, izmjerenu razinu buke te posljedicama utjecaja buke zrakoplova na zdravlje.



## Napomena

Ovaj diplomski rad podržalo je Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske i Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije kroz projekt bilateralne znanstvene i tehnološke suradnje između Republike Srbije i Republike Hrvatske za razdoblje 2019. - 2020. pod nazivom „Podrška održivom razvoju sustava zračnog prometa“.

U suradnji s mentorom doc. dr. sc. Juricom Ivoševićem, kao komentor na radu sudjelovao je dr. sc. Emir Ganić, znanstveni suradnik na Saobraćajnom Fakultetu Univerziteta u Beogradu i član projektnog tima iz Republike Srbije.

## LITERATURA

- [1] Bucak, T.: Buka zrakoplova. Nastavni materijali. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb: 2019.
- [2] Enciklopedija. Preuzeto sa: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=67455#poglavlje35471> (Pristupljeno: lipanj 2021.)
- [3] Živaljić, Denis, Analiza unutarnje (kabinske) buke zrakoplova CL-415, , Fakultet prometnih znanosti, Zagreb: 2015. Preuzeto sa: <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:142/datastream/PDF/view> (Pristupljeno: lipanj 2021.)
- [4] Domitrović, A. Mlazni motori. Nastavni materijali. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb: 2016.
- [5] Štimac, I.: Implementacija sustava praćenja i analiza buke na Zračnoj luci Zagreb, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009., p. 11
- [6] Franjić, Andrea, Utjecaj buke zrakoplova na stanovništvo u okruženju zračne luke, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb: 2020. Preuzeto sa: <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A1993/datastream/PDF/view>
- [7] Predravec, Valentina, Zvučna rezonancija, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku, Osijek: 2018. Preuzeto sa: <https://repositorij.fizika.unios.hr/islandora/object/fizos%3A79/datastream/PDF/view> (Pristupljeno: lipanj 2021.)
- [8] Osnovni pojmovi o zvuku. Fakultet prometnih znanosti. Preuzeto sa: <https://www.fpz.unizg.hr/ztos/PRSUS/Informacija.pdf> (Pristupljeno: lipanj 2021.)
- [9] Profil Klett. Preuzeto sa: <https://hr.izzi.digital/DOS/16185/16210.html> (Pristupljeno: lipanj 2021.)
- [10] Valovi. Preuzeto sa: <https://sites.google.com/site/valoviosnovnaskola/opis-vala> (Pristupljeno: lipanj 2021.)
- [11] Mikulić, Martina Ljudski sluh, , Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku, Osijek: 2017. Preuzeto sa: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fizos:56/preview> (Pristupljeno: lipanj 2021.)
- [12] Wikipedia. Preuzeto sa: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Pandemija\\_COVID-19#Gospodarstvo](https://hr.wikipedia.org/wiki/Pandemija_COVID-19#Gospodarstvo) (Pristupljeno: lipanj 2021.)
- [13] ACI Advisory Bulletins, The impact of COVID-19 on the airport business and the path to recovery, Montreal, 25 March 2021 Preuzeto sa: <https://aci.aero/news/2021/03/25/the-impact-of-covid-19-on-the-airport-business-and-the-path-to-recovery/> (Pristupljeno: srpanj 2021.)
- [14] OECD.org. Preuzeto sa: <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/covid-19-and-the->

[aviation-industry-impact-and-policy-responses-26d521c1/](#) (Pristupljeno: srpanj 2021.)

[15] EUROSTAT. Preuzeto sa: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Air transport statistics#Progressive growth in air transport of passengers in the course of 2019](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Air_transport_statistics#Progressive_growth_in_air_transport_of_passengers_in_the_course_of_2019) (Pristupljeno: lipanj 2021.)

[16] EUROCONTROL, Performance Review Report An Assessment of Air Traffic Management in Europe during the Calendar Year 2019, Performance Review Commission, June 2020. Preuzeto sa: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-06/eurocontrol-prr-2019.pdf> (Pristupljeno: srpanj 2021.)

[17] Insider. Preuzeto sa: <https://www.businessinsider.com/most-flights-ever-225000-flightradar24-flight-tracking-2019-7> (Pristupljeno: lipanj 2021.)

[18] DW. Preuzeto sa: <https://www.dw.com/en/covid-pandemic-reshuffles-list-of-busiest-airports/a-57286903> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)

[19] Wikipedia: Preuzeto sa: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_the\\_busiest\\_airports\\_in\\_the\\_European\\_Union](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_busiest_airports_in_the_European_Union) (Pristupljeno: lipanj 2020.)

[20] EUROCONTROL, COVID 19 Impact on European Aviation, EUROCONTROL Comprehensive Assessment, 12 August 2021 Preuzeto sa: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-08/covid19-eurocontrol-comprehensive-air-traffic-assessment-12082021.pdf> (Pristupljeno: lipanj 2020.)

[21] EUROCONTROL Forecast Update 2021-2024 European Flight Movements and Service Units Three Scenarios for Recovery from COVID-19, STATFOR - May 2021. Preuzeto sa: <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-forecast-update-2021-2024> (Pristupljeno: kolovoz 2020.)

[22] Zračna luka Split. Preuzeto sa: [http://www.split-airport.hr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=209&Itemid=202&lang=en](http://www.split-airport.hr/index.php?option=com_content&view=article&id=209&Itemid=202&lang=en) (Pristupljeno: srpanj 2021.)

[23] SeeNews. Preuzeto sa: <https://seenews.com/news/croatias-split-airport-to-open-new-passenger-terminal-on-july-13-661517> (Pristupljeno: srpanj 2021.)

[24] Wikipedia. Preuzeto sa: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Zračna\\_luka\\_Split](https://hr.wikipedia.org/wiki/Zračna_luka_Split) (Pristupljeno: srpanj 2021.)

[25] eAIP. Preuzeto sa: <https://www.crocontrol.hr/UserDocsImages/AIS%20produkti/eAIP/2021-08-12-AIRAC/html/index-en-HR.html> (Pristupljeno: srpanj 2021.)

[26] Iowa State University. Preuzeto sa: [https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml?network=HR\\_ASOS](https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml?network=HR_ASOS) (Pristupljeno: kolovoz 2021.)

[27] FAA. INM User's Guide. 2007.

[28] FAA. Preuzeto sa:

[https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/apl/research/models/inm\\_model/](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/models/inm_model/)

(Pristupljeno: kolovoz 2021.) [29] EC, 2002. Directive 2002/49/EC of the European parliament and the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. Official Journal of the European Communities. Preuzeto sa:

<https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:189:0012:0025:EN:PDF>

(Pristupljeno: kolovoz 2021.)

[30] European Commission. Preuzeto sa: [https://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/jrc-ghsl-ghs\\_pop\\_eurostat\\_europe\\_r2016a](https://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/jrc-ghsl-ghs_pop_eurostat_europe_r2016a) (Pristupljeno: kolovoz 2020.)

[31] European Commission, 2020, Commission Directive (EU) 2020/367 of 4 March 2020 amending Annex III to Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council as regards the establishment of assessment methods for harmful effects of environmental noise. Preuzeto sa:

[https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/14caf5ee-5ead-11ea-b735-01aa75ed71a1/language-en\\_\(Pristupljeno: kolovoz 2021.\)](https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/14caf5ee-5ead-11ea-b735-01aa75ed71a1/language-en_(Pristupljeno: kolovoz 2021.))

[32] Studija Europskog Parlamenta, Impact of aircraft noise pollution on residents of large cities, September 2020. Preuzeto sa:

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/650787/IPOL\\_STU\(2020\)650787\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/650787/IPOL_STU(2020)650787_EN.pdf) (Pristupljeno: kolovoz 2021.)

## POPIS SLIKA

Slika 1 Prikaz izvora strukturne buke, IZVOR: [1]	4
Slika 2 Prikaz glavnih dijelova mlaznog motora, IZVOR: [4]	5
Slika 3 Usporedba buke mlaznice turbomlaznih motora u ranijim godinama i danas, IZVOR: [5]	6
Slika 4 Usporedba buke zrakoplovnog motora iz 1960. i 1990. godine, IZVOR: [5]	7
Slika 5 Prikaz izvora strukturne buke zrakoplova	8
Slika 6 Prikaz analize opstrujavanja zraka oko nosnog kotača Boeing-a 747, IZVOR: [5]	8
Slika 7 Prikaz longitudinalnog vala, IZVOR: [9]	9
Slika 8 Prikaz zvučnog vala, IZVOR: [10]	10
Slika 9 Refleksija zvučnog vala, IZVOR: [1]	11
Slika 10 Prikaz disperzije na konveksnoj površini, IZVOR: [1]	11
Slika 11 Difrakcija na otvoru za dva različita omjera valne duljine i dimenzija otvora, IZVOR: [1]	12
Slika 12 Refrakcija zvučnih valova, IZVOR: [1]	12
Slika 13 Usporedba zvučnog tlaka i razine zvučnog tlaka, IZVOR: [11]	14
Slika 14 Grafički prikaz rasta ukupnog zračnog prijevoza putnika po državama članicama, IZVOR: [15]	17
Slika 15 Usporedba ukupnog prometa putnika 10 najprometnijih aerodroma, IZVOR: [18]	20
Slika 16 Eurocontrol-ova usporedba predviđanja s realnim stanjem u 2021. godini, IZVOR: [20]	23
Slika 17 Četverogodišnja prognoza za zračni promet, IZVOR: [21]	24
Slika 18 Zračna luka Split iz zraka, IZVOR: [23]	27
Slika 19 ICAO karta zračne luke Split, IZVOR: [25]	28
Slika 20 Kreiranje studije	36
Slika 21 Kreiranje slučaja za vršni dan 2019. godine	36
Slika 22 Kreiranje slučaja za vršni dan 2020. godine	37
Slika 23 Postavke terena	38
Slika 24 Metrika buke ( $L_{den}$ )	39
Slika 25 Metrika buke ( $L_{night}$ )	39
Slika 26 Prikaz kreiranih ruta u INM-u	41
Slika 27 Proceduralni profil za zrakoplov CNA750	43
Slika 28 Graf visine slijetanja na stazu 05 za CNA750	43
Slika 29 Postavke rešetaka	46
Slika 30 Kontura buke za $L_{den}$ (vršni dan 2019. godine)	47
Slika 31 Kontura buke za $L_{night}$ (vršni dan 2019. godine)	47
Slika 32 Kontura buke za $L_{den}$ (vršni dan 2020. godine)	48
Slika 33 Kontura buke za $L_{night}$ (vršni dan 2020. godine)	48
Slika 34 Prikaz geografskog smještaja promatranih lokacijskih točaka	50

## POPIS TABLICA

Tablica 1 Brzina zvuka u sredstvu uz odgovarajuću gustoću sredstva, IZVOR: [10]	13
Tablica 2 Prikaz deset najprometnijih aerodroma unutar Europske Unije, IZVOR: [19]	21
Tablica 3 Statistički podaci o prometu na aerodromima u Republici Hrvatskoj, IZVOR:[20]	22
Tablica 4 Meteorološki podaci za 3. kolovoz 2019. i 8. kolovoz 2020. godine za ZL Split, IZVOR: [25]	29
Tablica 5 Lista zrakoplova na ZL Split za vršne dane u 2019. i 2020. godini	33
Tablica 6 Prikaz najviših dopuštenih razina buke na otvorenom prostoru, IZVOR: [31]	49
Tablica 7 Broj stanovnika izloženih različitim razinama buke na vršni dan 2019. i 2020. godine	52
Tablica 8 Usporedba ugroženog broja stanovnika na vršni dan 2019. i 2020. godine	55

## POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1 Ukupan broj putnika od 1966. do 2020. godine, IZVOR:[24]	28
Grafikon 2 Temperatura zraka 3.8.2019. godine, IZVOR: [26]	29
Grafikon 3 Temperatura zraka 8.8.2020. godine, IZVOR: [26]	30
Grafikon 4 Tlak zraka 3.8.2019. godine, IZVOR: [26]	30
Grafikon 5 Tlak zraka 8.8.2020. godine, IZVOR: [26]	31
Grafikon 6 Vlažnost zraka 3.8.2019. godine, IZVOR: [26]	31
Grafikon 7 Vlažnost zraka 8.8.2020. godine, IZVOR: [26]	31
Grafikon 8 Čeoni vjetar 3.8.2019. godine, IZVOR: [26]	32
Grafikon 9 Čeoni vjetar 8.8.2020. godine, IZVOR: [26]	32
Grafikon 10 Broj operacija po tipu zrakoplova za 3.8.2019.	34
Grafikon 11 Broj operacija po tipu zrakoplova za datum 8.8.2020.	34
Grafikon 12 Broj letova dodijeljenih na SID i STAR rute za vršni dan u 2019. i 2020. godini	42
Grafikon 13 Broj operacija po tipu zrakoplova za svaki STAR i period dana (vršni dan 2019. godine)	44
Grafikon 14 Broj operacija po tipu zrakoplova za svaki STAR i period dana (vršni dan 2020. godine)	44
Grafikon 15 Broj operacija po tipu zrakoplova za svaki SID i period dana (vršni dan 2019. godine)	45
Grafikon 16 Broj operacija po tipu zrakoplova za svaki SID i period dana (vršni dan 2020. godine)	45
Grafikon 17 Lokacijske točke s najvišim pripadajućim razinama buke na vršni dan 2019. i 2020. godine	50
Grafikon 18 Lokacijske točke s najvećom razlikom u izmjerenim razinama buke na vršni dan 2019. i 2020. godine	51
Grafikon 19 Postotna promjena broja stanovnika izloženih buci uspoređujući vršni dan 2019. i 2020. godine	52
Grafikon 20 Ukupan broj stanovnika izloženih nedozvoljenim razinama buke na vršni dan 2019. i 2020. godine	55

## POPIS KRATICA

AIP	Aeronautical Information Publication
APP	Approach operation
CIR	Circuit flight operation
DEM	Digital Elevation Model
ESM	European Stability Mechanism
EU	Europska unija
FAA	Federal Aviation Administration
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
INM	Integrated Noise Model
MTOW	Maximum Take-off Weight
OVF	Overflight operation
QGIS	open source Geographic Information System
SID	Standard Instrument Departure Route
STAR	Standard Terminal Arrival Route
TGO	Touch-and- go operation
USS	Uzletno-sletna staza



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ diplomski rad  
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na  
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

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

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ diplomskog rada  
pod naslovom \_\_\_\_\_

**Učinak pandemije COVID-19 na izloženost stanovništva buci u okolici Zračne luke Split**

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

U Zagrebu, 8/27/2021 \_\_\_\_\_

Student/jca: \_\_\_\_\_  
*[Handwritten signature]*  
(potpis)