

# Utjecaj primjene procedura za smanjenje buke na izloženost stanovništva buci u okolici Zračne luke Split

---

Vuković, Sara

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:119:872116>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-26**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Sara Vuković

UTJECAJ PRIMJENE PROCEDURA ZA SMANJENJE BUKE 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. 6389**

Pristupnik: **Sara Vuković (0135245407)**  
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Utjecaj primjene procedura za smanjenje buke na izloženost stanovništva buci u okolini Zračne luke Split**

Opis zadatka:

Definirati osnovne parametre buke zrakoplova karakteristične za prilazne i odlazne procedure te izloženost stanovništva buci. Modelirati realizirane dolazne i odlazne letove za vršni dan u 2019. godini za ZL Split te iste letove za slučaj primjene procedura za smanjenje buke. Grafički prikazati karakteristične rezultate. Usporediti utjecaj na izloženost stanovništva buci za oba slučaja. Diskutirati rezultate te mogućnosti smanjenja izloženosti stanovništva buci u okolini Zračne luke Split.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

doc. dr. sc. Jurica Ivošević

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**DIPLOMSKI RAD**

**UTJECAJ PRIMJENE PROCEDURA ZA SMANJENJE BUKE NA  
IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA BUCI U OKOLICI ZRAČNE LUKE  
SPLIT**

**IMPACT OF NOISE ABATEMENT PROCEDURES  
IMPLEMENTATION ON THE POPULATION IN THE VICINITY OF  
SPLIT AIRPORT**

Mentor: doc. dr. sc. Jurica Ivošević

Student: Sara Vuković

JMBAG: 0135245407

Zagreb, rujan 2021.

## **SAŽETAK**

Zračne luke od velike su socijalne i ekonomske važnosti za svaku državu, no porastom zračnog prometa njihov negativan utjecaj na okoliš i stanovništvo sve više raste. Upravo zbog toga, zračne luke sve češće postaju predmet konflikata između korisnika zračnog prostora, operatora aerodroma te gradova i ljudi u okolici zračnih luka. Jedan od problema s kojim se avijacija danas susreće je buka zrakoplova. Organizacije rade na različitim regulacijama, tehničkim ograničenjima i operativnim procedurama kako bi se negativan utjecaj buke smanjio. U ovom radu modelirana je buka zrakoplova oko zračne luke Split, te je kao jedan od načina smanjenja buke analiziran utjecaj primjene procedura za smanjenje buke. Rezultati su pokazali da se primjenom procedura za smanjenje buke površina karte buke poveća za 5% do 6% dok se broj stanovnika veoma ugrožen bukom smanji za 13,6% do 15%.

## **KLJUČNE RIJEČI**

Buka zrakoplova; procedure smanjenja buke; prilazna procedura; odlazna procedura; model buke; INM

## **SUMMARY**

Airports are of crucial social and economic importance for every country, but with the increase in air traffic the negative impact on the environment and population is growing. Precisely because of this, airports are increasingly becoming the subject of conflicts between airspace users, airport operators, cities, and people in the vicinity of airports. One of the problems that aviation still faces today is aircraft noise. Organizations work on various regulations, technical constraints and operational procedures to reduce this impact. In this thesis, aircraft noise around Split Airport was modeled, and as one of the ways to reduce noise, the impact of the noise abatement procedures implementation was analyzed. The results have shown that by implementing noise abatement procedures, noise contours are increased by 5% to 6%, while population highly annoyed by noise is decreased by 13,6% to 15%.

## **KEYWORDS**

Aircraft noise; noise reduction measures; approach procedure; departure procedure; noise model; INM

## SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| 1. Uvod.....   | 1  |
| 2. Zrakoplov kao izvor buke .....  | 3  |
| 2.1. Buka pogonske grupe zrakoplova .....                                    | 4  |
| 2.2. Buka aerodinamike zrakoplova .....                                      | 7  |
| 3. Fizikalne veličine koje opisuju buku .....                                | 9  |
| 3.1. Osnove akustike .....   | 9  |
| 3.2. Fizikalne veličine karakteristične za opisivanje zvuka .....            | 11 |
| 3.3. Zvučni spektar .....  | 14 |
| 3.4. Svojstva sluha .....  | 14 |
| 3.5. Parametri buke .....  | 15 |
| 4. Prilazne i odlazne procedure zrakoplova.....                              | 17 |
| 4.1. Prilazne procedure zrakoplova .....                                     | 17 |
| 4.2. Odlazne procedure zrakoplova .....                                      | 23 |
| 4.3. Postupci smanjenja buke .....   | 26 |
| 5. Karakteristike slučaja za ZL Split.....                                   | 33 |
| 6. Modeliranje buke zrakoplova u programu INM .....                          | 39 |
| 6.1. Kreiranje studije sa osnovnim podacima .....                            | 40 |
| 6.2. Kreiranje scenarija i slučaja.....                                      | 41 |
| 6.3. Unos zrakoplova .....   | 41 |
| 6.4. Podaci o terenu .....   | 41 |
| 6.5. Postavke mjerenja buke .....  | 42 |
| 6.6. Unos podataka o populaciji .....  | 44 |
| 6.7. Kreiranje ruta .....  | 44 |
| 6.8. Kreiranje procedura leta zrakoplova .....                               | 47 |
| 6.9. Dodjeljivanje operacija zrakoplovima .....                              | 52 |
| 6.10. Pokretanje proračuna .....   | 52 |
| 7. Analiza utjecaja promjene procedura na izloženost stanovništva buci ..... | 54 |
| 7.1. Analiza karte buke .....  | 54 |
| 7.2. Analiza izloženosti stanovništva buci .....                             | 59 |
| 7.3. Analiza buke u objektima od javnog značaja .....                        | 61 |
| 8. Zaključak .....   | 67 |
| Napomena.....  | 69 |

|                      |    |
|----------------------|----|
| Literatura .....     | 70 |
| POPIS SLIKA .....    | 74 |
| POPIS TABLICA.....   | 76 |
| POPIS GRAFIKONA..... | 77 |
| POPIS KRATICA .....  | 78 |
| PRILOZI .....        | 80 |

## 1. Uvod

U posljednjih 30 godina buka zrakoplova smanjila se za 75%, no unatoč tome porastom zračnog prometa stanovništvo je i dalje izloženo visokoj razini buke [1]. Kako bi se osigurala održivost zrakoplovstva, mjere za smanjenje i regulaciju buke i dalje su prijeko potrebne u brojnim zračnim lukama. Međutim, mjere povezane s bukom ograničavaju ne samo kapacitet zračne luke, već i sustav u cjelini. Stoga se odluke o mjerama buke moraju uravnotežiti s ukupnim utjecajem na kapacitet. Zbog toga je europska zajednica usvojila Uredbu (EU) br. 598/2014 o postupcima koji se odnose na uvođenje operativnih ograničenja povezanih s bukom. Kako ograničenja utječu i na zračne prijevoznike iz zemalja koje nisu članice EU-a, Uredba je usklađena s međunarodnim načelima o upravljanju bukom, takozvanim "Uravnoteženim pristupom", dogovorenim i preporučenim od Međunarodne organizacije civilnog zrakoplovstva (engl. International Civil Aviation Organization - ICAO). Uravnoteženi pristup sastoji se od četiri glavna elementa:

- smanjenja buke na izvoru,
- planiranja i upravljanja iskoristivosti površine,
- procedura za smanjenje buke i
- operacijskih ograničenja [2].

Jedan od načina za smanjenje buke u okolici zračne luke analiziran je u ovom diplomskom radu. Cilj rada je odrediti i prikazati kako primjena određenih procedura utječe na smanjenje buke i samim time na smanjenje izloženosti stanovništva buci. U ovom radu modelirana je buka zrakoplova u različitim procedurama na zračnoj luci Split.

Rad se sastoji od 8 poglavlja:

- drugo poglavlje, pod nazivom *Zrakoplov kao izvor buke*, objašnjava koji su glavni izvori buke zrakoplova, te kako ona nastaje,
- treće poglavlje, pod nazivom *Fizikalne veličine koje opisuju buku*, definira što je buka i zvuk, te koje su karakteristike i fizikalne veličine kojima se može opisati izloženost stanovništva buci,



- četvrto poglavlje, pod nazivom *Prilazne i odlazne procedure zrakoplova*, opisuje i definira različite segmente prilaznih i odlaznih procedura zrakoplova, kao i procedure za smanjenje buke zrakoplova,
- peto poglavlje, pod nazivom *Karakteristike slučaja za zračnu luku Split*, sadrži osnovne informacije o zračnoj luci Split kao i podatke koji su potrebni za modeliranje buke,
- šesto poglavlje, pod nazivom, *Modeliranje buke zrakoplova u programu INM*, opisuje korake modeliranja buke koji su rađeni u istraživanju,
- sedmo poglavlje, pod nazivom *Analiza utjecaja promjene procedura na izloženost stanovništva buci*, sadrži detaljnu analizu dobivenih rezultata istraživanja,
- osmo poglavlje je *Zaključak* u kojem su ukratko iznijeti najvažniji rezultati istraživanja.

## 2. Zrakoplov kao izvor buke

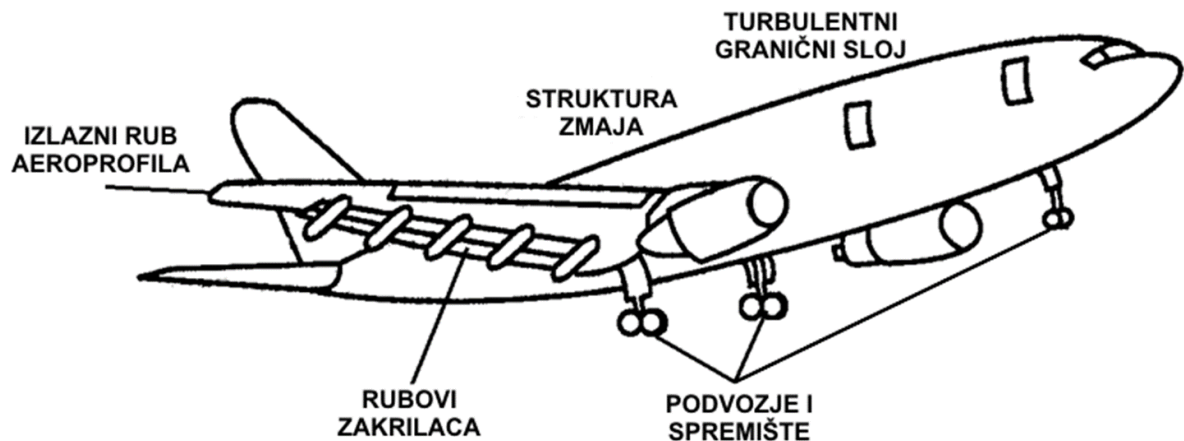
Buka zrakoplova je najznačajniji uzrok negativnih reakcija zajednice povezanih s radom i širenjem zračnih luka. Očekuje se da će to ostati slučaj u većini svjetskih regija u doglednoj budućnosti. Ograničavanje i smanjenje broja ljudi koji su pogođeni značajnom bukom zrakoplova jedan je od glavnih prioriteta Međunarodne agencije za civilno zrakoplovstvo. Buka zrakoplova može se definirati kao svaki neželjeni zvuk proizveden od strane zrakoplova. S obzirom na mjesto promatrača može biti unutarnja ili vanjska. Vanjska ili komunalna buka utječe na širu populaciju, osobito u okolici zračnih luka. Posebno pogađa zrakoplovno osoblje na zemlji, a može postati i medicinski problem ako joj se duže izlaže. Unutarnja ili kabinska buka predmet je ergonomije i medicine, a utječe na zrakoplovno osoblje i putnike. Postoje dvije vrste buke s obzirom na izvor:

- zračna buka i
- strukturna buka [3].

Zračna buka širi se zrakom od izvora do promatrača, bilo da je on u zrakoplovu ili na zemlji, longitudinalnim valovima. Ona je dominantna u ukupnoj zvučnoj slici buke zrakoplova. Dok s druge strane strukturna buka nastaje mehaničkim naprezanjima u strukturi, a rasprostire se različitim načinima i zatim se akustički širi u okolni prostor. Ona je značajna za kabinsku buku. Buku na samoj zračnoj luci možemo podijeliti na buku nastalu tijekom operacija zrakoplova u letu i buku nastalu operacijama zrakoplova na zemlji. Buka zrakoplova u letu nastaje zbog :

- lokalnih fluktuacija tlakova uzrokovanih diskontinuiranom zračnom strujom - pogonske grupe,
- lokalnih fluktuacija tlakova uzrokovanih kontinuiranom zračnom strujom - strukture zrakoplova i
- međusobnog djelovanja pogonske grupe i strukture zrakoplova [3].

Na Slici 1. prikazani su izvori buke zrakoplova zbog aerodinamičkog opstrujavanja.



Slika 1. Izvori buke zbog aerodinamičkog opstrujavanja, IZVOR: [5]

Buku zrakoplova još možemo podijeliti s obzirom na vrstu operacije zrakoplova:

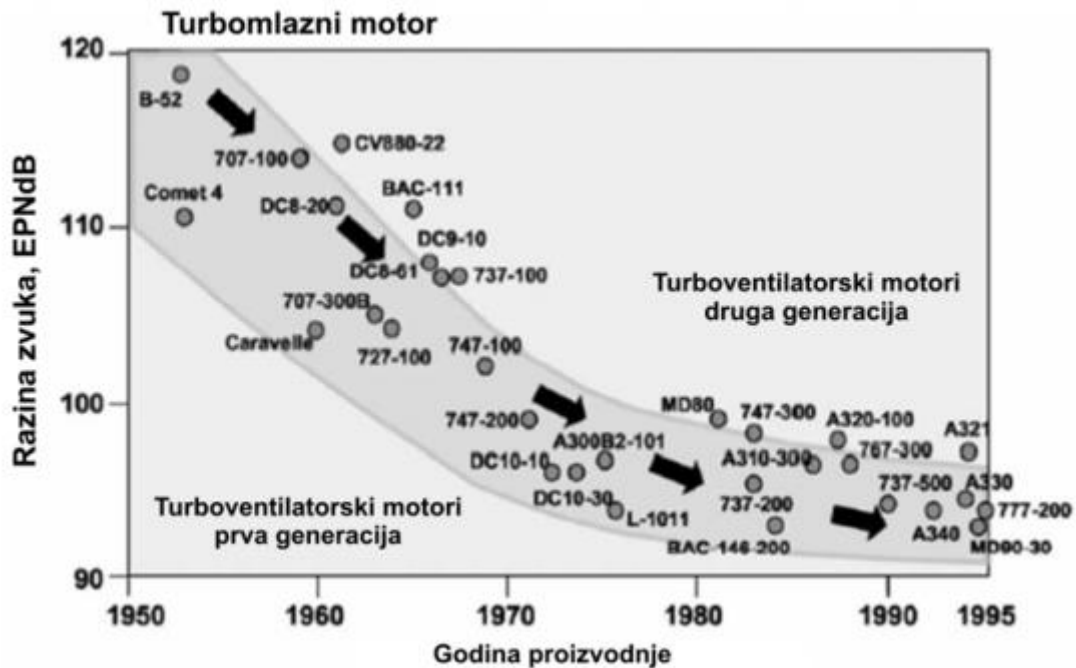
- buka nastala u fazi polijetanja i slijetanja zrakoplova i
- buka nastala na zemlji prilikom kretanja zrakoplova po površinama zračne luke.

Zrakoplov proizvodi najveću razinu buke tijekom polijetanja i slijetanja. Glavne uzroke buke nastale na površinama zračne luke možemo podijeliti na:

- testiranje motora,
- taksiranje zrakoplova između uzletno-sletne staze i stajanke,
- kočenje nakon slijetanja i
- korištenje pomoćnog agregata prilikom prihvata i otpreme zrakoplova [4].

## 2.1. Buka pogonske grupe zrakoplova

Pojavom prvih mlaznih zrakoplova 1950-ih godina, buka zrakoplova postala je veliki problem. Na Slici 2. prikazan je razvoj pogonske grupe zrakoplova u odnosu na razinu zvuka. Porast proizvodnje zrakoplova vidljiv je u razdoblju od 1980. pa sve do danas. Razvojem i istraživanjem područja buke svaki od tih zrakoplova kreiran je na bolji i efikasniji način tako da se negativan utjecaj buke na okolinu smanjuje. Ova tendencija smanjenja buke i dizajniranja zrakoplova da rade na što tiši način nastavlja se i danas [5].

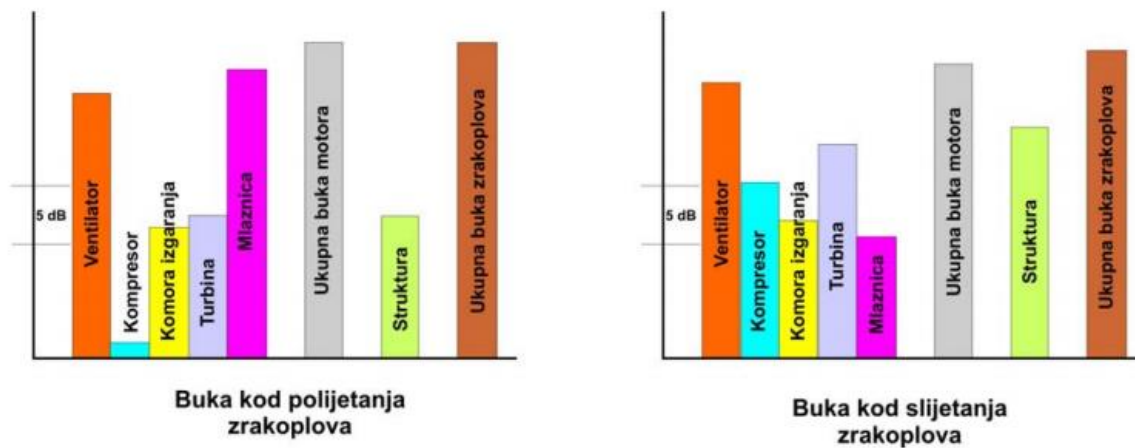


Slika 2. Napredak pogonske grupe zrakoplova od 1950. do 1995. godine, IZVOR: [3]

Jedan od glavnih izvora buke zrakoplova u letu je pogonska skupina zrakoplova. U tu skupinu zrakoplova spadaju elisnoklipni i mlazni motori. Istraživanja su pokazala da zrakoplovi sa elisom stvaraju znatno nižu buku u usporedbi sa ostalima. Uzrok buke pogonske skupine su svi dijelovi i uređaji koji služe za ostvarivanje opstrujavanja zraka oko uzgonskih površina [5].

Način rada turbomlaznog pogona počinje sa ulazom zraka u rotirajući kompresor kroz usisnik zraka. Prije samog ulaska u komoru izgaranja zrak se komprimira i miješa s gorivom. U procesu izgaranja dolazi do porasta temperature. Vrući plinovi, koji se stvaraju gorenjem, prolaze velikom brzinom kroz turbinu i okreću je. Potom izlaze iz motora kroz ispušnu cijev. Turbina preko osovine okreće kompresor. Dijelovi mlaznog motora su: usisnik zraka, kompresor, osovina, komora izgaranja, turbina i mlaznica. Buka nastala turbomlaznim motorom može se podijeliti na buku kompresora, buku nastalu vibracijama kućišta motora i buku izlaznog mlaza. Buka izlaznog mlaza još u sebi sadrži buku turbine i izgaranja goriva. Jedna od najjačih komponenti buke turbomlaznih motora je buka usisa. To je širokopojasna buka čiji su izvor lopatice kompresora. Općenito, buka motora nastaje zbog vrtloženja u području miješanja brzih i vrućih ispušnih plinova u motoru i mirnog i hladnog zraka u okolini. Iz Slike 3. može se isčitati da su najveći izvori buke kod polijetanja zrakoplova upravo mlaznica i ventilator, a kod

slijetanja se uz navedene izvore povećava i razina buke iz izvora strukture, turbine i kompresora [6].



Slika 3. Usporedba izvora buke kod polijetanja i slijetanja zrakoplova, IZVOR: [5]

Kako bi se povećao stupanj iskoristivosti turboblaznog motora i smanjila razina buke nastao je turboventilatorski motor. Glavne razlike između njih su te da turboventilatorski motor sadrži lepezu koja proizvodi potisak i da isti motor proizvodi nižu brzinu mlaznog ispuha. Turboventilatorski pogon sastoji se od lopatica i turboblaznog motora. Zbog visoke učinkovitosti i niže razine buke koju proizvodi, većina komercijalnih zrakoplova koristi upravo ovaj pogon.

Propelerski pogon se uglavnom koristi kod malih zrakoplova, no zbog svoje visoke iskoristivosti ponovo se počinje vraćati kod nekih komercijalnih zrakoplova. Kod propelerskog pogona elisa je glavni izvor buke zrakoplova. Elisa je rotor s najmanje dva kraka koji mogu biti s fiksnim ili promjenjivim korakom. Krakovi su dizajnirani tako da stvaraju područje niskog tlaka s jedne strane rotacije i područje visokog tlaka zraka s druge. Polje buke koje se stvara je frekvencijski tonalno i prostorno usmjereno. Buka elise rezultat je debljine krakova i aerodinamčkih tlakova na krakovima koji stvaraju potisak i moment. Još jedan izvor buke kod propelerskog pogona je turbulentni granični sloj na krakovima, no ta razina buke je nešto niža. Spektar i razina buke propelerskog pogona ovisi o namještenoj snazi tj. potisku, broju, brzini, obliku i debljini lopatica, udaljenosti promatrača, uravnoteženosti segmenta propelera i neujednačenosti dolaska struje zraka na propeler. Buku propelera teško je odvojiti od buke motora [5].

## 2.2. Buka aerodinamike zrakoplova

Zbog negativnog utjecaja koji stvara buka zrakoplova na okoliš i ljude u okolici zračnih luka, ali i unutar zrakoplova, pravi je izazov za sve dizajnere kreirati zrakoplov koji bi svojom strukturom stvarao najmanje buke. Razvoj tehnologije u posljednjih deset godina omogućio je radikalno smanjenje buke. Buka izazvana aerodinamikom zrakoplova još se može nazvati i bukom strukture zrakoplova. Nastaje prilikom protoka zraka uz aeroprofil, gdje su pokretni sustavi i stajni trap glavne komponente aeroprofila koje stvaraju ovu vrstu buke. Buka nastala aerodinamikom zrakoplova rezultat je aerodinamičkih sila koje pulsiraju na krilo, postojanja turbulentnog graničnog sloja i vrtloga koji nastaju zbog opstrujavanja struje zraka oko površine krila, stajnog trapa, repnih površina, zakrilaca i ostalih izbočina na trupu zrakoplova. Kod samog polijetanja razina buke izazvana strukturom zrakoplova je zanemariva, dok je kod prilaza i slijetanja razina buke nešto veća te se po svojoj jačini može usporediti s bukom pogonske skupine. Strukturna buka zrakoplova nije buka pogonske skupine, nego buka stajnog trapa, predkrilca, zakrilca, površine krila te buka vertikalnog stabilizatora zrakoplova.



Slika 4. Izvori strukturne buke zrakoplova, IZVOR: [5]

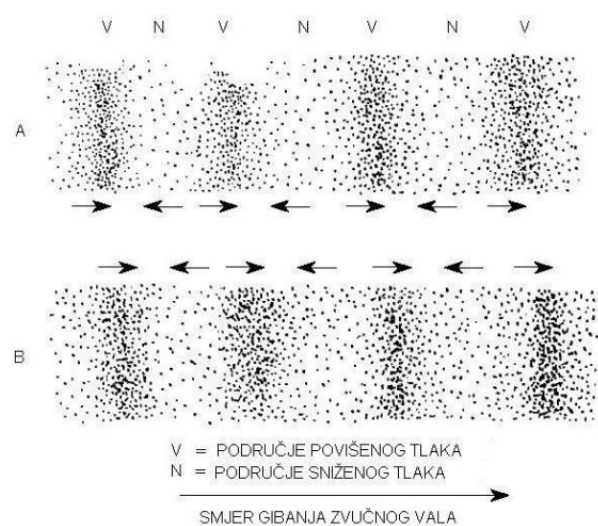
Na Slici 4. prikazani su prethodno navedeni izvori strukturne buke zrakoplova. „Buka koju proizvode zakrilca proizlazi od vanjskih bridova zakrilca i njihovih bočnih rubova. Pojava vrtloga koji je rezultat između otvorenih i zatvorenih zakrilca, glavni je uzročnik za stvaranje buke oko bočnog dijela zakrilca. Iz toga razloga pojavljuje se turbulencija i strujanje tlaka koji povećava buku zrakoplova. Jaki vrtlog formira se oštrim prijelazima u polijetanju između

podignutih i spuštenih zakrilca te je glavni uzročnik buke koja nastaje na krajevima krila. U blizini ruba zakrilca, razdvojeni zrak stvara turbulenciju i otpor pri protoku zraka što stvara dodatnu buku [4].“ Zbog same strukture stajnog trapa koji ima puno izbočina i nepravilnih krivina, kompleksnost protoka zraka oko njega se povećava, a time se povećava i buka. Zbog najvećeg otpora koji se pojavljuje u fazi prilaza i slijetanja buka izazvana stajnim trapom u tom dijelu faze leta je najveća. Istraživanjima je dokazano da sve komponente strukture zrakoplova ne stvaraju jednaku strukturnu buku. Kod srednjih zrakoplova glavni izvori buke su pomični dijelovi krila, dok je kod velikih zrakoplova to stajni trap [5].

### 3. Fizikalne veličine koje opisuju buku

#### 3.1. Osnove akustike

Pojava promjene tlaka, napona, pomaka ili brzine čestice koja se širi određenom brzinom kroz elastično sredstvo, a koje ljudsko uho može zamijetiti naziva se zvuk [3]. Zvuk se rasprostire kroz zrak longitudinalnim valovima, odnosno titranjem čestica koje se postupno prenose na susjedne čestice poput poznatog „domino efekta“. Na Slici 5. prikazan je smjer gibanja zvučnog vala. Kao što je već definirano, zvuk se kroz zrak širi kao longitudinalni val koji se sastoji od zgušnjenja i razrjeđenja. Zgušnjenja predstavljaju područje visokog tlaka, dok razrjeđenja predstavljaju područje niskog tlaka.



Slika 5. Prikaz širenja zvučnog vala, IZVOR: [5]

Fizikalni parametri kojima se zvučni valovi mogu opisati su :

- amplituda zvučnog vala - predstavlja najveću udaljenost neke čestice koja titra od ravnotežnog položaja prilikom prenošenja vala,
- period osciliranja (frekvencija) - predstavlja vrijeme za koje zvučni izvor ili val izvrši jednu oscilaciju. Recipročna vrijednost perioda  $T$  predstavlja frekvenciju vala  $f$ , mjeri se u hercima (Hz) i može se opisati formulom:

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



gdje je:  $f$  = frekvencija;  $T$  = period osciliranja.

- valna duljina - predstavlja udaljenost između dvije susjedne točke sa najvećim zgušnjem i razrjeđenjem, mjeri se u metrima i označuje se oznakom lambda  $\lambda$  pomoću formule:

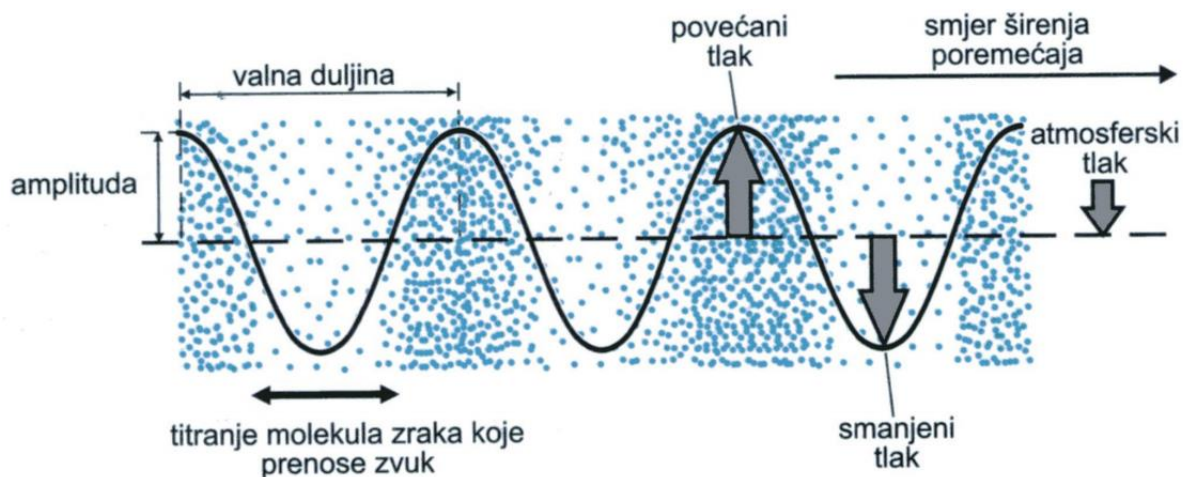
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad , \quad (2)$$

gdje je:  $\lambda$  = valna duljina;  $c$  = brzina zvuka;  $f$  = frekvencija.

- brzina širenja zvuka – ona ovisi o fizikalnim osobinama medija u kojem se širi, te predstavlja omjer puta  $x$  koji zvučni val prijeđe i vremena prostiranja  $t$ . Najmanja je u plinovima, veća je u tekućinama, a najveća u čvrstim tijelima. Za zrak, brzina širenja zvuka iznosi 340 m/s [5].

Fizikalne pojave koje se mogu javiti kod rasprostiranja zvuka su:

- refleksija ili odraz - pojava koja se javlja kada sferni val udara u površinu koja je puno veća od valne duljine upadnog zvučnog vala, pa se reflektirani val vraća prema izvoru,
- difrakcija ili ogib - promjena smjera zvučnog vala pri prolasku kroz otvor ili oko prepreke,
- refrakcija ili lom - pojava savijanja valne fronte, odnosno pojava kada val pri svom širenju odstupa od pravolinijskog kretanja,
- disprezija – pojava raspršenja zvučnog vala nailaskom na neku površinu,
- difuzija - pojava koja nastaje zbog višestruke refleksije upadnoga vala na neravnoj površini, kada je valovitost površine reda veličine valne duljine i
- apsorpcija – pojava prigušenja zvučnog vala prolaskom kroz različite medije uz dodatnu refleksiju i refrakciju na granicama dvaju medija [3].



Slika 6. Fizikalni parametri zvučnog vala, IZVOR: [13]

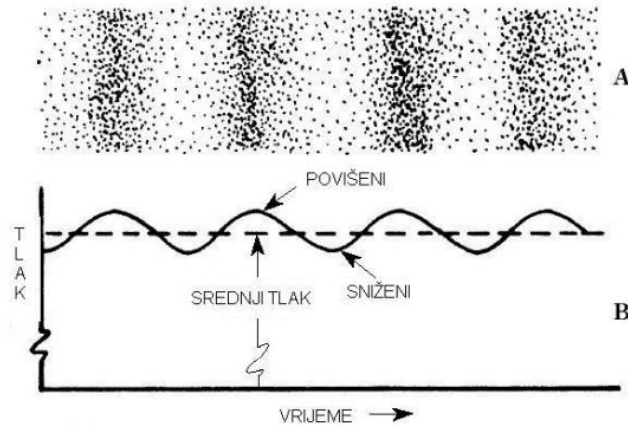
Na Slici 6. prikazani su fizikalni parametri zvučnog vala: amplituda i valna duljina. Prikazan je i smjer širenja poremećaja, kao i područja povećanog i smanjenog tlaka zraka kod zvučnog vala. Ljudsko uho na vanjski zvučni podražaj ne reagira linearno već logaritamski. Zbog toga se za logaritam odnosa dvaju istovrsnih fizikalnih veličina koristi *bel* (B), no iz praktičnih razloga se koristi deset puta manja veličina *decibel* (dB). Zdravo ljudsko uho može čuti zvukove u frekvencijskom rasponu od 16 Hz do 20 kHz. Frekvencije ispod 16 Hz ljudsko uho nije u stanju percipirati kao zvuk nego kao vibracije. Frekvencije u rasponu od 0,1 Hz do 16 Hz zovemo infrazvukom, dok frekvencije veće od 20 kHz nazivamo ultrazvukom [3].

### 3.2. Fizikalne veličine karakteristične za opisivanje zvuka

Prva fizikalna veličina koja je bitna kod opisivanja zvuka je zvučni tlak. Zvučni tlak su periodičke oscilacije tlaka zraka oko referentne vrijednosti atmosferskog tlaka uzrokovane longitudinalnim titranjem molekule zraka oko ravnotežnog položaja. Slikoviti prikaz zvučnog tlaka prikazan je na Slici 7. Za razinu zvučnog tlaka izraženog u decibelima potrebna je referentna vrijednost, prema dogovoru ta je vrijednost 20  $\mu\text{Pa}$ . Za izračun razine zvučnog tlaka koristi se formula:

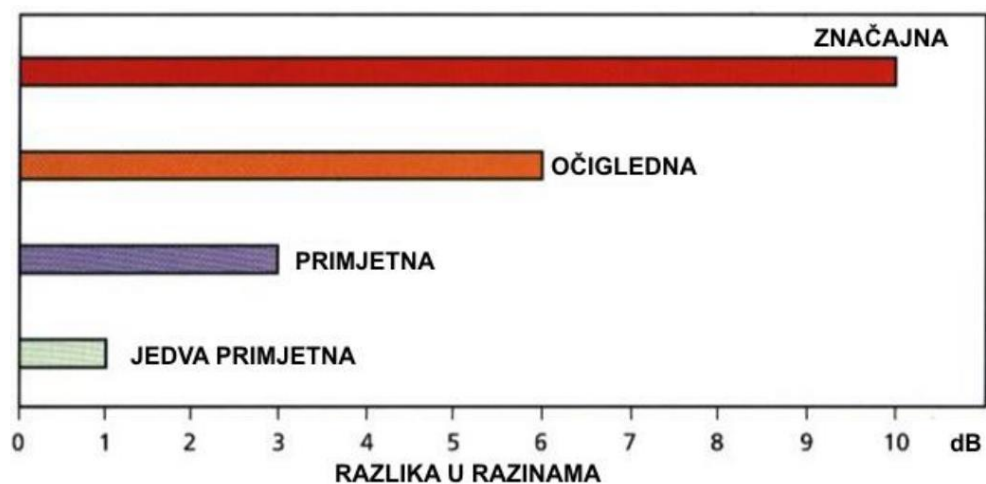
$$L_p = 20 \log \frac{p}{2 \cdot 10^{-5}} \quad , \quad (3)$$

gdje je:  $L_p$  = razina zvučnog tlaka;  $p$  = zvučni tlak.



Slika 7. Zvučni tlak, IZVOR: [5]

Raspon čujnih vrijednosti zvučnog tlaka je od 20  $\mu$ Pa do 100 Pa. Donja granica zvučnog tlaka predstavlja statističku srednju vrijednost praga čujnosti kod ljudi, dok gornja granica predstavlja statističku srednju vrijednost praga boli. Prag čujnosti je ona jačina zvuka koja je potrebna da zvuk određene frekvencije izazove u uhu jedva primjetan osjećaj zvuka kod čovjeka. Prag boli je ona jačina pri kojoj čovjek još jasno čuje uz neprijatan subjektivan osjećaj koji se pretvori u bol ako se jačina zvuka i malo poveća. Razlika minimalne i maksimalne objektivne jačine zvuka, koju čovjek može čuti iznosi 1:10<sup>13</sup> te se naziva dinamička čujnost. Najmanje promjene razine zvučnog tlaka koje su još zamjetne su oko 1 dB, dok je za očiglednu promjenu potrebna razlika od oko 6 dB. Na Slici 8. prikazane su značajne, očigledne, primjetne i jedva primjetne razlike u razinama zvučnog tlaka [3].



Slika 8. Razlika u razinama zvučnog tlaka, IZVOR: [3]

Sljedeća fizikalna veličina je zvučni intenzitet, odnosno jakost zvuka. To je količina energije koja u nekom vremenu prostruji kroz plohu od 1 m<sup>2</sup> postavljenu okomito na smjer rasprostiranja. Formula pomoću koje se izračunava intenzitet zvuka dana je u nastavku:

$$I = p^2 / \rho_0 c, \quad (4)$$

gdje je:  $I$  = jakost zvuka;  $p$  = tlak;  $\rho_0$  = gustoća zraka;  $c$  = brzina zvuka.

Razina zvučnog intenziteta je zvučni intenzitet izražen u decibelima iznad referentne vrijednosti od 10<sup>-12</sup> W/m<sup>2</sup>, te računa prema formuli:

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

gdje je:  $L_I$  = razina zvučnog intenziteta;  $I$  = zvučni intenzitet.

Treća fizikalna veličina za opisivanje zvuka je zvučna snaga. Ona se definira kao zvučna energija koja u jednoj sekundi prostruji kroz plohu okomitu na smjer rasprostiranja, izražena u vatima (W) računa se prema formuli:

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

gdje je:  $P$  = zvučna snaga;  $S$  = površina;  $\rho$  = gustoća zraka;  $c$  = brzina zvuka.

Razina zvučne snage je zvučna snaga iznad referentne razine izražena u dB i 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.

Zvučna snaga jedini je parametar koji je isključivo svojstvo izvora. Izvor će imati istu zvučnu snagu bez obzira na radne uvjete. Bilo da se radi o otvorenom ili zatvorenom prostoru, o udaljenosti od izvora ili smještaj izvora, da li se radi o prigušenom ili neprigušenom prostoru itd. Dok će s druge strane vrijednosti zvučnog intenziteta i zvučnog tlaka ovisiti o nabrojenim uvjetima [3].

### 3.3. Zvučni spektar

Kako bi dublje proanalizirali zvuk potrebno je objasniti i vremensku karakteristiku zvučnog tlaka. Ona može biti periodičan proces, koji se može rastaviti na niz jednostavnih sinusnih titranja i neperiodičan proces. Zvuk prema obliku zvučnog spektra možemo podijeliti na:

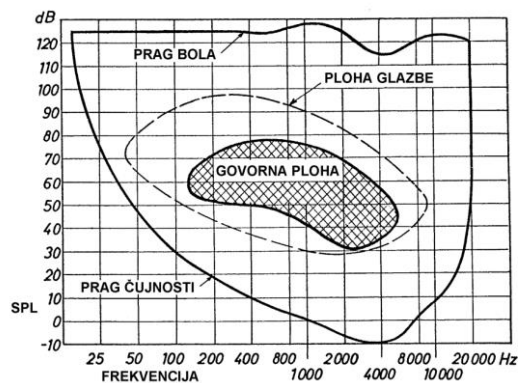
- čisti ton - jednostavno sinusoidno titranje,
- glazbeni ton - sastoji se od osnovnog tona i određenog broja harmoničkih komponenti (nadvalova), koji su cjelobrojni višekratnici osnovnog tona i
- šum - nepravilno titranje [3].

Nepravilno titranje, bez stalnih frekvencija i bez stalnih amplituda naziva se šum. On može biti:

- ružičasti šum - filtriran iz bijelog tako da u svakom pojasu iste relativne širine ima istu energiju,
- bijeli šum - jednolika raspodjela energije u cijelom frekvencijskom području i
- prasak - kratkotrajna akustička pojava visokog intenziteta [3].

### 3.4. Svojstva sluha

Osjet sluha je mogućnost percepcije zvuka. Jedini ljudski organ koji omogućuje taj osjet je uho. Postoje pet svojstava sluha koje ljudsko uho može zamijetiti, a to su osjet visine tona, glasnoća, boja tona, prag boli i prag sluha. Na Slici 9. prikazano je slušno područje ljudskog uha u odnosu na frekvencije i razine zvučnog tlaka.



Slika 9. Slušno područje ljudskog uha, IZVOR: [3]

Glasnoća je definirana kao subjektivni slušni osjet zvučnog tlaka i izražava se u fonima. Ovisi o frekvenciji i jakosti zvuka. Da bi odredili glasnoću nekog zvuka moramo je usporediti s glasnoćom tona frekvencije 1 kHz. Dva tona jednakih zvučnih tlakova a različitih frekvencija nemaju jednaku glasnoću. Visina tona proporcionalna je omjeru promjene frekvencije i izražava se u mel-ima. Ovisi o glasnoći, što je ton glasniji on ujedno djeluje viši. Za boju tona bitna je visina tona, frekvencije i amplitude pojedinih harmonika i njihov raspored [5].

### 3.5. Parametri buke

Zvučna pojava koja ometa rad ili odmor čovjeka, a koja je dovoljnog inteziteta, dovoljno čujna i izdvojena od ostalih zvukova naziva se buka. Razina buke ovisi o više čimbenika. Ovisi o vrsti izvora, o putovima i medijima kroz koje se širi i o okolišu u kojem se nalazi prijarnik. Parametar buke koji je najlakše izmjeriti je ukupna razina zvučnog tlaka (eng. Overall Sound Pressure Level - OASPL). Gledajući vremenski, trajanje razine buke može biti konstantno ili privremeno u nekom razdoblju. Zbog vremenski promjenjivih parametara, procjene štetnog djelovanja buke su složenije i zbog toga je uveden pojam ekvivalentne razine buke  $L_{eq}$ . Ekvivalentna razina buke predstavlja onu stalnu razinu buke u decibelima, koja bi unutar promatranoga vremena imala isti efekt kao i vremenski promjenjiva razina buke niza događaja [3]. Izračunava se prema formuli:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{P_A}{P_0} \right)^2 dt, \quad (8)$$

gdje je:  $L_{eq}$  = ekvivalentna razina buke;  $T$  = razdoblje usrednjavanja;  $P_A$  = trenutačni A-pondenirani zvučni tlak;  $p_0$  = referentni tlak 20  $\mu$ Pa.

Kako bi se izmjerio štetni utjecaj vanjske buke zrakoplova na okolinu koristi se procijenjena razina buke  $L_{PN}$  (PN razina buke). Ona opisuje buku izdvojenog zrakoplova, te se temelji prema bučnosti i stupnju ometanja zrakoplova bukom. Parametri za procijenjenu razinu buke uzimaju se iz Kryterovih krivulja jednakih bučnosti, iz kojih se razine komponenata zrakoplovne buke pretvaraju u jedinice PN bučnosti – noje.  $L_{PN}$  buku moguće je izračunati prema formuli:

$$L_{PN} = 40 + \frac{10 \log N}{\log 2}, \quad (9)$$

gdje je:  $N$  = ukupna vrijednost PN bučnosti izvedena iz tercnih razina pomoću krivulja jednakih bučnosti.

Kada se u obzir uzme i vremenska komponenta uvodi se nova veličina buke, to je efektivna PN razina buke. Koristi se za ocjenu doživljaja ovisno o vremenskom čimbeniku, te se računa prema formuli:

$$L_{EPN} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int 10^{0,1 L_{PN}} dt, \quad (10)$$

gdje je:  $L_{PN}$  = procijenjena razina buke.

Parametar koji je bitan kod analize utjecaja buke na stanovništvo je razina buke tijekom dana, večeri i noći tako zvana  $L_{den}$  (The day–evening–night noise level).  $L_{DEN}$  je europski indikator iz 2002. godine koji izražava razinu buke tijekom cijelog dana. Koristi se za procjenu buke u zračnim lukama, prometnim glavnim cestama, glavnim željezničkim linijama i u aglomeracijama s preko 100.000 stanovnika. Računa se zbog veće percepcije smetnji tijekom mirnijih sati i zbog sprječavanja nedostatka sna za obližnje stanovnike [8]. Formula za  $L_{DEN}$  razinu buke je:

$$L_{DEN} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{24} \left( 12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right) \right), \quad (11)$$

gdje je:  $L_{day}$  = indikator razine buke tijekom dana;  $L_{evening}$  = indikator razine buke tijekom večeri;  $L_{night}$  = indikator razine buke tijekom noći.

$L_{night}$  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:

$$L_{night} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{T_n} \left( \sum_i 10^{\frac{SEL_i}{10}} \right) \right), \quad (12)$$

gdje je:  $SEL_i$  = razina izloženosti zvuku za  $i$ -tu operaciju zrakoplova;  $T_n$  = trajanje perioda noći u sekundama.

## 4. Prilazne i odlazne procedure zrakoplova

Kako bi omogućili sigurnost, red i efikasnost na zračnim lukama propisane su odgovarajuće procedure zrakoplova u prilazu i odlasku. Ovisno o vremenskim uvjetima postoje pravila vizualnog letenja i pravila instrumentalnog letenja. Skup propisa prema kojima pilot upravlja u vremenskim uvjetima koji su dovoljno dobri da pilot jasno vidi kamo zrakoplov leti nazivaju se pravila vizualnog letenja (engl. *Visual flight rules - VFR*). S druge strane, u uvjetima u kojima pilot ne vidi dovoljno jasno i pregledno tada leti prema pravilima instrumenatnog letenja (engl. *Instrument flight rules - IFR*). ICAO je propisao preporuke i kriterije kod izrade prilaznih i odlaznih procedura, te operativne procedure unutar dokumenta ICAO Doc 8168 Procedure za usluge u zračnoj plovidbi – Operacije zrakoplova (engl. ICAO Doc 8168 *Procedures for air navigation services – Aircraft operations, PANS-OPS*). Dokument se sastoji od dva dijela:

- letne procedure (engl. *Volume I – Flight procedures*) [9] i
- izrada procedura za vizualno i instrumentalno letenje (engl. *Volume II - Construction of visual and instrument flight procedures*) [10].

### 4.1. Prilazne procedure zrakoplova

Dizajn instrumentalnog prilaza zrakoplova ovisi o terenu oko zračne luke, vrsti operacije zrakoplova i o samom zrakoplovu. O navedenim faktorima ovisi vrsta i pozicija navigacijskih instrumenata s obzirom na uzletno-sletnu stazu i samu zračnu luku. Ograničenja zračnog prostora također mogu utjecati na poziciju navigacijskih instrumenata. Instrumentalna prilazna procedura može se sastojati od pet segmenata. To su:

- dolazni segment (engl. *Arrival segment*) - predstavlja rutu od napuštanja zračnog puta do preletišta početnog prilaznja, na kojem započinje prilaznje (engl. *Initial Approach Fix - IAF*). U ovom segmentu prilaza kriteriji za nadvisivanje prepreka su isti kao i na ruti,
- segment početnog prilaznja (engl. *Initial segment*) - predstavlja putanju leta od preletišta početnog prilazišta do preletišta međuprilaznja (engl. *Intermediate fix - IF*). U ovom segmentu dopušteni su veliki gradijenti snižavanja od 4% do 8%. Nadvisivanje prepreka mora biti minimalno 300 m,



- međusegment (engl. *Intermediate segment*) - predstavlja putanju zrakoplova na produženoj liniji uzletno-sletne staze do preletišta završnog prilaza (engl. *Final approach fix - FAF*). To je segment u kojem pilot priprema brzinu i konfiguraciju zrakoplova za završni segment prilaza. Gradijent spuštanja mora biti što blaži, dok je visina nadvisivanja prepreka smanjena s 300 m na 150 m,
- završni segment (engl. *Final segment*) - predstavlja putanju zrakoplova od preletišta završnog prilaza do točke neuspjelog prilaza (engl. *Missed approach point - MAP*),
- segment neuspjelog prilaza (engl. *Missed approach segment*) - predstavlja putanju leta zrakoplova koja započinje na točki neuspjelog prilaza, te se nastavlja na horizontalnom letu od najviše 15 sekundi, odnosno do točke koja je udaljena 900 m od praga uzletno-sletne staze [10].

Svaki segment započinje i završava na određenim preletištima (engl. *Fix*), no u određenim uvjetima gdje ni jedno preletišta nije dostupno neki segmenti mogu započeti na specifičnim točkama (engl. *Specific points*). Na primjer, završni segment preciznog prilaza može započeti u točki (engl. *Final approach point - FAP*) u kojoj se sjeku određena visina međusegmenta instrumentalnoga prilaza i nominalna putanja poniranja. Na Slici 10. prikazani su navedeni segmenti instrumentalnog prilaza zrakoplova. Postoje tri kategorije instrumentalnog prilaza zrakoplova:

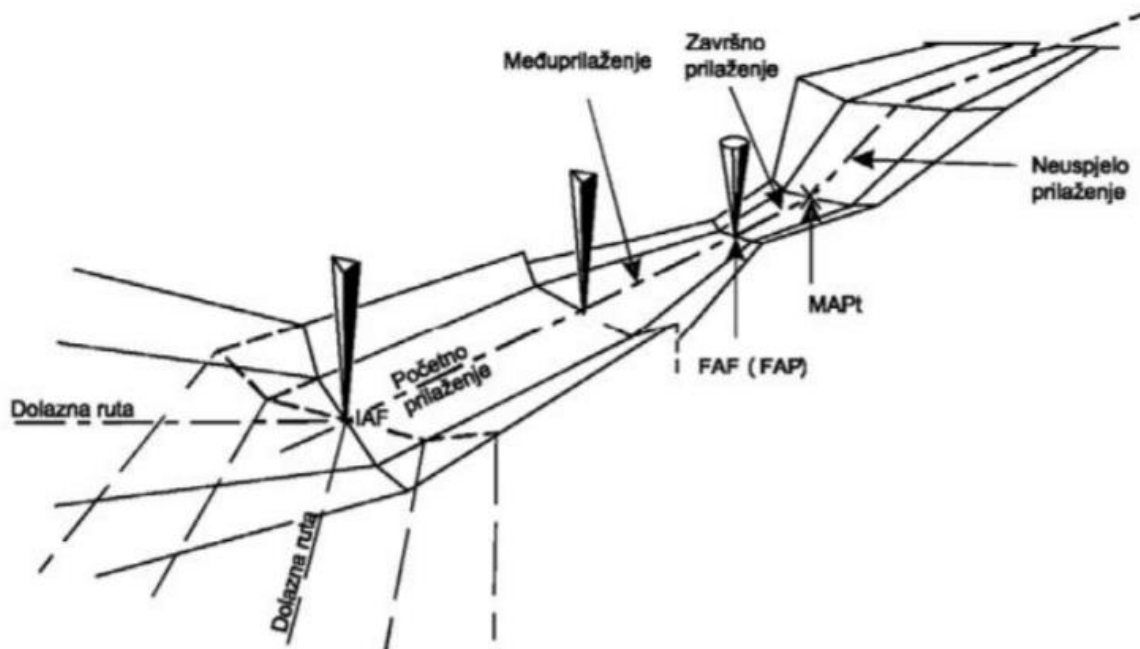
- precizan prilaz,
- neprecizan prilaz i
- prilaz s vertikalnim navođenjem [11].

Precizni prilaz temelji se na navigacijskom sustavu koji pruža informacije o odstupanju smjera leta i kutu prilaza koji nisu u skladu sa standardima objavljenim u ICAO Annexu 10. Primjeri preciznih prilaza su precizni radarski prilaz (engl. *Precision Approach Radar - PAR*), sustav instrumentalnog slijetanja (engl. *Instrument landing system - ILS*) i GBAS sustav slijetanja (engl. *Ground Based Augmentation landing system, GLS*). S druge strane, neprecizni prilaz se temelji također na navigacijskom sustavu, no on pruža samo informacije o odstupanju smjera leta, a ne i o kutu prilaza. Primjeri nepreciznog prilaza su VOR (engl. *Very high frequency omni-*

*directional radiorange*), NDB (engl. *A non-directional radio beacon*) i LNAV (engl. *Lateral navigation*) prilazi. Prilaz s vertikalnim navođenjem se također temelji na navigacijskom sustavu koji pruža informacije o odstupanju kuta prilaza i smjera leta, no razlika je u tome da te informacije ne moraju biti u skladu sa ICAO standardima [12].

Postoje dvije vrste prilaza zrakoplova:

- prilaz u pravcu uzletno-sletne staze i
- kružni prilaz [10].



Slika 10. Segmenti instrumentalnog prilaza, IZVOR: [11]

Kad god je to moguće, zrakoplov će koristiti prilaz u pravcu uzletno-sletne staze. U slučaju nepreciznog prilaza, prilaz u pravcu uzletno-sletne staze je prihvatljiv ako je kut između putanje završnog prilaza i centralne linije uzletno-sletne staze  $30^\circ$  ili manje. Kružni prilaz će se koristiti u slučajevima kada teren ili neka druga ograničenja uzrokuju da putanja završnog prilaza ili gradijent pada ispod kriterija koji je potreban za prilaz u smjeru uzletno-sletne staze, ali se također može koristiti i u cilju smanjenja buke.

Performanse zrakoplova imaju izravan utjecaj na zračni prostor, ali i na potrebnu vidljivost za izvođenje raznih manevara koji su povezani s procedurama instrumentalnog prilaza. Najznačajniji faktor performansi je brzina zrakoplova. Sukladno tome, uspostavljene su kategorije zrakoplova. One su osnova za povezivanje upravljivosti zrakoplova s određenim procedurama instrumentalnog prilaza. Kategorije se određuju na temelju indicirane brzine iznad praga uzletno-sletne staze ( $V_{AT}$ ), koja je umnožak brzine prevlačenja ( $V_{SO}$ ) i broja 1,3 ili brzine prevlačenja ( $V_{SIG}$ ) i broja 1,23 u konfiguraciji za slijetanje, pri maksimalnoj dopuštenoj masi za slijetanje. Ako su poznate i  $V_{SO}$  i  $V_{SIG}$ , koristi se veća dobivena vrijednost  $V_{AT}$  [9].

Tablica 1. Brzine (kt) za proračun postupaka, IZVOR: [5]

| Kategorije zrakoplova | $V_{AT}$  | Raspon brzina početnog prilaženja | Raspon brzina završnog prilaženja | Maksimalne brzine za vizualno manevriranje (kruženje) | Maksimalne brzine za neuspjelo prilaženje |              |
|-----------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|---|--------------|
|                       |           |                                   |                                   |   | Međufaza                                  | Završna faza |
| A                     | < 91      | 90 - 150 (110*)                   | 70 - 110                          | 100   | 100                                       | 110          |
| B                     | 91 - 120  | 120 - 180 (140*)                  | 85 - 130                          | 135   | 130                                       | 150          |
| C                     | 121 - 140 | 160 - 240                         | 115 - 160                         | 180   | 160                                       | 240          |
| D                     | 141 - 165 | 185 - 250                         | 130 - 185                         | 205   | 185                                       | 265          |
| E                     | 166 - 210 | 285 - 250                         | 155 - 230                         | 240   | 230                                       | 275          |

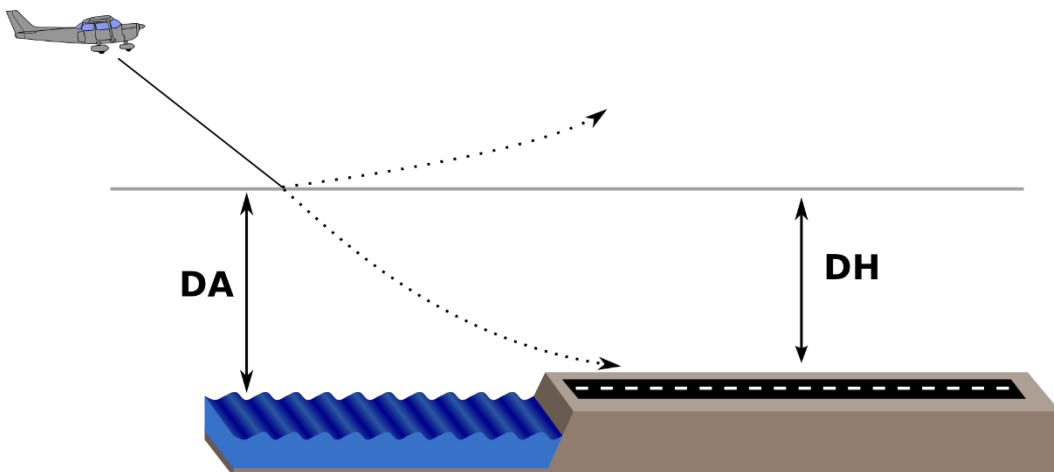
U Tablici 1. prikazane su kategorije zrakoplova s obzirom na različite brzine zrakoplova iz kojih se uzimaju podaci za izradu procedura i nadvisivanje prepreka za segmente instrumentalnog prilaženja. Za svaki postupak prilaza izračunava se nadmorska visina odnosno visina nadvisivanja prepreka (engl. *Obstacle clearance altitude/height* - OCA/H) za izradu procedure prilaza, te se objavljuje na kartama instrumentalnog prilaza. U slučaju preciznog i kružnog prilaza OCA/H je naveden za svaku kategoriju zrakoplova koja je prikazana na Slici 11. Visina nadvisivanja prepreka je:

- u preciznom prilazu, najniža nadmorska visina (OCA) ili najniža visina (OCH) iznad uzvišenja odgovarajućeg praga uzletno-sletne staze, na kojem se mora izvesti postupak neuspjelog prilaženja kako bi se zadovoljili kriteriji visine nadvisivanja prepreke,
- u nepreciznom prilazu, najniža nadmorska visina (OCA) ili najniža visina (OCH) iznad uzvišenja odgovarajućeg praga uzletno-sletne staze, ako je uzvišenje više od 2 mispod

uzvišenja aerodroma, ispod koje se zrakoplov ne može spustiti bez da prekrši odgovarajuće kriterije za nadvisivanje prepreka i

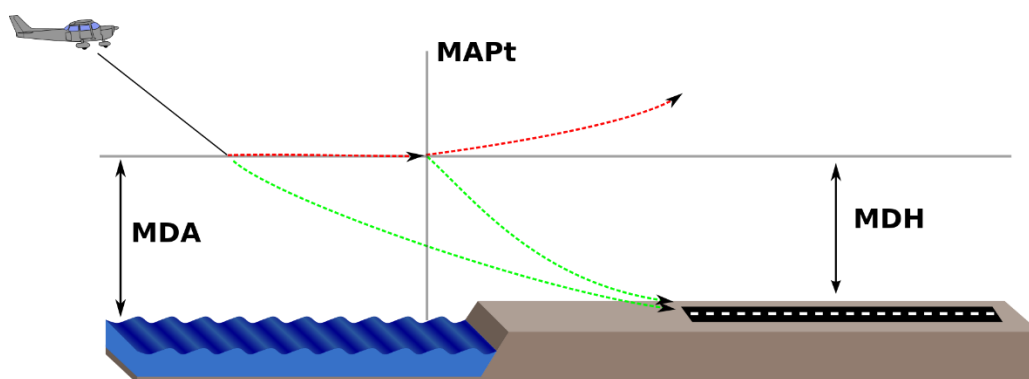
- u vizualnim procedurama, najniža nadmorska visina (OCA) ili najniža visina (OCH) iznad uzvišenja aerodroma ispod kojeg se zrakoplov ne može spustiti bez da prekrši odgovarajuće kriterije za nadvisivanje prepreka [10].

Nadmorska visina odluke (engl. *decision altitude* - DA) odnosno visina odluke (engl. *decision height* - DH) u preciznom prilazu definirana je kao najniža visina u prilazu na kojoj pilot može izvesti postupak neuspjelog prilaženja ako nema dobru vidljivost na uzletno-sletnu stazu. Ove visine se izračunavaju kako bi se omogućilo pilotu dovoljno vremena za sigurnu rekonfiguraciju zrakoplova da se popne i izvrši neuspjelo prilaženje uz sigurno nadvisivanje terena i prepreka [9]. Na Slici 11. dana je ilustracija prilaza zrakoplova uz naznačene visine odluke.



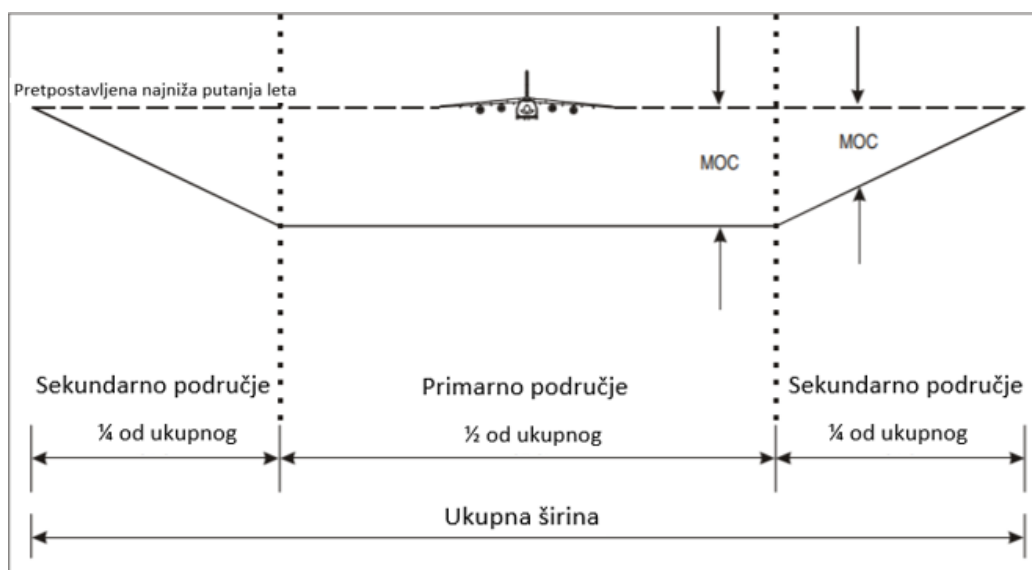
Slika 11. Prikaz visine odluke, DA/DH, IZVOR: [14]

U nepreciznom prilazu, minimalna visina odluke (engl. *minimum decision altitude*, MDA) je najniža nadmorska visina, mjerena iznad srednje razine mora, do koje je spuštanje odobreno tijekom završnog prilaza ili tijekom izvedbe standardne procedure prilaza. Pilot može spustiti zrakoplov do te visine i održavati je, no ne smije se spustiti iznad nje ako vizualni kontakt s uzletno-sletnom stazom nije uspostavljen. Ako se kontakt ne uspostavi, pilot mora izvršiti postupak neuspjelog prilaženja kada dođe do točke neuspjelog prilaženja (engl. *missed approach point* - MAP). Razlika između DA/DH i MDA je u tome da se postupak neuspjelog prilaženja u preciznom prilazu mora izvršiti odmah kada se postigne visina odluke DA/DH. Na Slici 12. prikazana je ilustracija minimalne visine odluke.



Slika 12. Prikaz minimalne visine odluke, MDA, IZVOR: [15]

Svaki segment prilaza zrakoplova sadrži određeni volumen zračnog prostora, koje je simetričan s obje strane u odnosu na namjeravanu putanju leta zrakoplova. Prostor se dijeli na primarno i sekundarno područje, podjela je prikazana na Slici 13. Primarno područje može biti zasebno, no kada se uvodi i sekundarno ono je definirano na vanjskim rubovima s obje strane područja [10].



Slika 13. Prikaz primarnog i sekundarnog područja segmenta prilaza, IZVOR: [5]

Većina aerodroma ima objavljene procedure standardnog instrumentalnog dolaska (engl. *Standard Arrival Route, STAR*) koje spajaju rutni dio leta s točkom inicijalnog prilaza (IAF). Svrha ove procedure je optimizacija dolaznog prometa, te bi trebala omogućiti letenje različitim kategorijama zrakoplova. Standardne instrumentalne procedure dolaska zrakoplova trebale bi biti jednostavne i lagane za razumijeti, te će samo oni navigacijski objekti, točke i preletišta koja su bitna za definiranje puta leta zrakoplova i za usluge zračnog prometa biti

uključene u proceduru. Procedura počinje na točki, odnosno radio navigacijskom sredstvu, objektu ili preletištu, te omogućuje prijelaz iz rutne faze u fazu prilaza, povezivanjem specifičnih točaka na ATS (engl. Air Traffic Services) ruti s točkom na kojoj počinje postupak instrumentalnog prilaza. Procedura bi trebala biti dizajnirana tako da omogući zrakoplovima navigaciju duž rute i time smanji potrebu za radarskim vektoriranjem zrakoplova. Ako se zrakoplov navodi na dolaznu rutu pomoću radio daljinomjera (engl. *Distance measuring equipment* - DME), on ne bi trebao biti manji od polumjera od 18,5 km. Luk radio daljinomjera može se spojiti s pravocrtnim segmentom na ili prije IAF točke, no tada se ta dva segmenta ne smiju sjeći pod kutem većim od 120°. Minimalna visina nadvisivanja prepreka iznosi 300 m u primarnom području, dok se u sekundarnom području smanjuje sa 300 m na unutarnjem rubu do 0 m na vanjskom rubu. Minimalna visina unutar procedure ne smije biti niža od minimalne visine za nadvisivanje prepreka [10].

#### 4.2. Odlazne procedure zrakoplova

Dizajn instrumentalne odlazne procedure ovisi o faktorima kao što su teren koji okružuje zračnu luku, o performansama zrakoplova i zahtjevima kontrole zračnog prometa. Navedeni faktori utječu na vrstu i mjesto navigacijskih instrumenata koji se koriste kod odlaznih procedure zrakoplova. Osim toga, ograničenja prostora također mogu utjecati na usmjeravanje i postavljanje navigacijskih instrumenata. Odlazne procedure se uspostavljaju za svaku uzletno-sletnu stazu na kojoj se očekuje instrumentalni odlazak zrakoplova, te se on definira za sve kategorije zrakoplova s obzirom na gradijent PDG (eng. *Procedure design gradient*) od 3,3% ili s obzirom na povećani gradijent kako bi se postiglo minimalno odobrenje nad preprekom. Odobrenje nad preprekama je primarni sigurnosni cilj u izradi odlaznih procedure zrakoplova. Za ove procedure se pretpostavlja da svi motori rade. Kako bi se dobilo odobrenje nad preprekama u odlaznoj proceduri, odlazna procedura se može objaviti kao posebna ruta koju se slijedi ili kao svesmjerni odlazak, zajedno sa gradijentom i detaljima o preprekama.

Standardni instrumentalni odlazak (engl. *Standard instrument departure* - SID) je procedura odlaska s objavljenim rutama leta na kartama odlazaka koje su izrađene da budu primjenjive za što više kategorija zrakoplova. Mogu biti objavljene kao karte, dijagrami ili samo tekstualno. SID procedura započinje na kraju uzletno sletne staze s koje se polijeće, a završava na prvom

preletištu, specifičnoj točki ili nad nekom ustanovom od koje započinje rutna faza leta. Kod procedura standardnog instrumentalnog odlaska objavljene su sve rute, točke preletišta i visine. Također su objavljeni i podaci o:

- značajnim, najvišim i najbližim preprekama u odlaznom području (položaj i visina),
- gradijenti dizajna postupka veći od 3,3%,
- nadmorska visina na kojoj je naveden gradijent,
- nadmorska visina koju zrakoplov treba postići iznad specifičnih točaka i
- svi navigacijski uređaji, putne točke, preletišta, radijali i DME udaljenosti [16].

Postoje dva osnovna tipa SID-a:

- odlazak u pravcu uzletno-sletne staze,
- odlazak sa zaokretom [16].

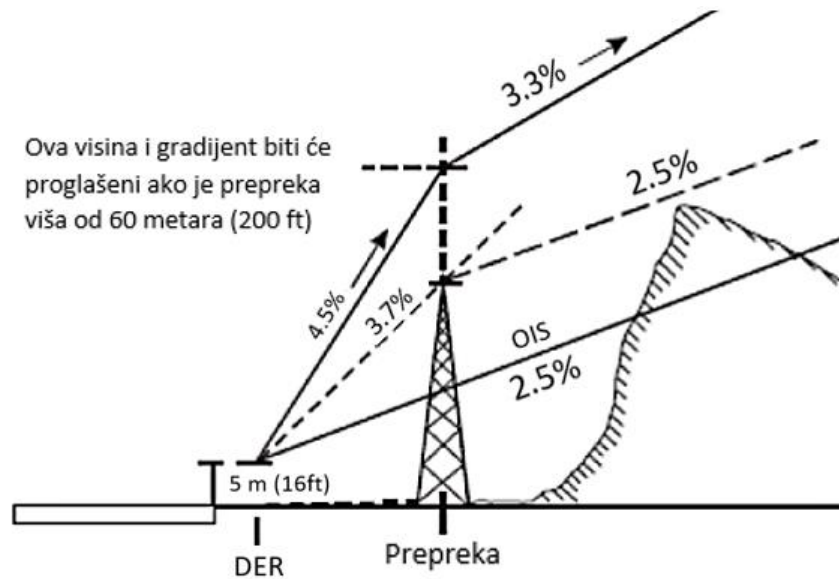
Kada se zrakoplovu u odlasku na SID-u omogući penjanje na visinu veću od inicijalne dobivene visine ili visine specificirane u SID-u, zrakoplov mora slijediti objavljeni vertikalni profil SID-a, osim ako kontrolor zračnog prometa izričito ne otkáže takva ograničenja.

Odlazak u pravcu uzletno-sletne staze (engl. *Straight departure*) može se definirati kao svaki odlazak čija je putanja leta unutar  $15^\circ$  od pravca uzletno-sletne staze polijetanja. Prikaz takvog odlaska dat je na je na Slici 14.



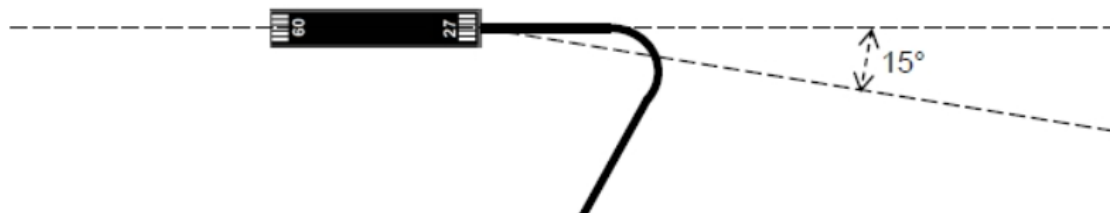
Slika 14. Odlazak u pravcu uzletno-sletne staze, IZVOR: [16]

Kada postoje prepreke, gradijenti dizajna postupaka, veći od 3,3%, će biti definirani. Kada su oni definirani, visina do koje se proteže će također biti objavljena. Na Slici 15. prikazani su gradijenti penjanja kod određenih visina nadvisivanja prepreka.



Slika 15. Gradijenti nadvisivanja prepreka, IZVOR: [16]

Gradijenti do visine od 60 m ili manje nisu definirani. Kada je kod procedure odlaska potreban zaokret veći od  $15^\circ$  tada se radi o proceduri odlaska za zaokretom. Ova vrsta procedure (engl. *Turning departure*) prikazana je na Slici 16.



Slika 16. Procedura odlaska sa zaokretom, IZVOR: [16]

Procedura odlaska sa zaokretom je uobičajeno inicirana 600 m od početka uzletno-sletne staze. No, ponekad nije inicirana prije kraja uzletno-sletne staze te je u tim slučajevima ta informacije objavljena na kartama odlaska. Zaokreti se definiraju na određenim visinama, točkama, preletištim ili iznad nekih ustanova.

Brzine skretanja su:

- konačna brzina procedure neuspjelog prilaženja povećana je za 10% zbog povećanja mase zrakoplova u polijetanju,



- srednja brzina procedure neuspjelog prilaznja povećana je za 10% tamo gdje se ne mogu osigurati prihvatljivi zahtjevi nadvisivanja terena. U takvim slučajevima postupak je označen na grafikonima [16].

Ako se zbog mjesta i visine prepreka procedura odlaska sa zaokretom ne može konstruirati to je potrebno naglasiti na kartama. Postoje i specifične procedure standardnog odlaska (engl. *specific SID*), koje se objavljuju no bez opisane rute. Ove procedure, radarskog vektoriranja zrakoplova, koriste kontrolori zračnog prometa za vrijeme najgušćeg prometa. Općenito, specifični SID-ovi sadrže inicijalna penjanja, smjer leta i jednu ili više odlaznih točaka.

Tamo gdje ne postoje prikladna navigacijska sredstva, primjenjuju se kriteriji za svesmjerne odlaske. Kod svesmjernih odlazaka mogu se odrediti sektori koje treba izbjegavati. Postupak svesmjernog odlaska započinje na kraju uzletno-sletne staze polijetanja. Ako se zbog prepreka ne može izvršiti svesmjerni odlazak, potrebno je letjeti prema postupku standardnog instrumentalnog odlaska ili je potrebno osigurati da najviša točka (engl. *ceiling*) i vidljivost omoguće izbjegavanje prepreka vizualnim sredstvima. Budući da će točka uzlijetanja zrakoplova varirati, pretpostavlja se da zaokreti u odlaznim procedurama na visini od 120 m od uzletno-sletne staze neće biti inicirani minimalno 600 m od početka uzletno-sletne staze. Dok u nekim slučajevima neće biti inicirani ni prije kraja uzletno-sletne staze. Ukoliko nije drugačije definirano gradijent dizajna postupka za svesmjerni odlazak će biti 3,33%, te slijedi penjanje u pravcu uzletno-sletne staze sve dok se ne postigne visina od 120 m [16].

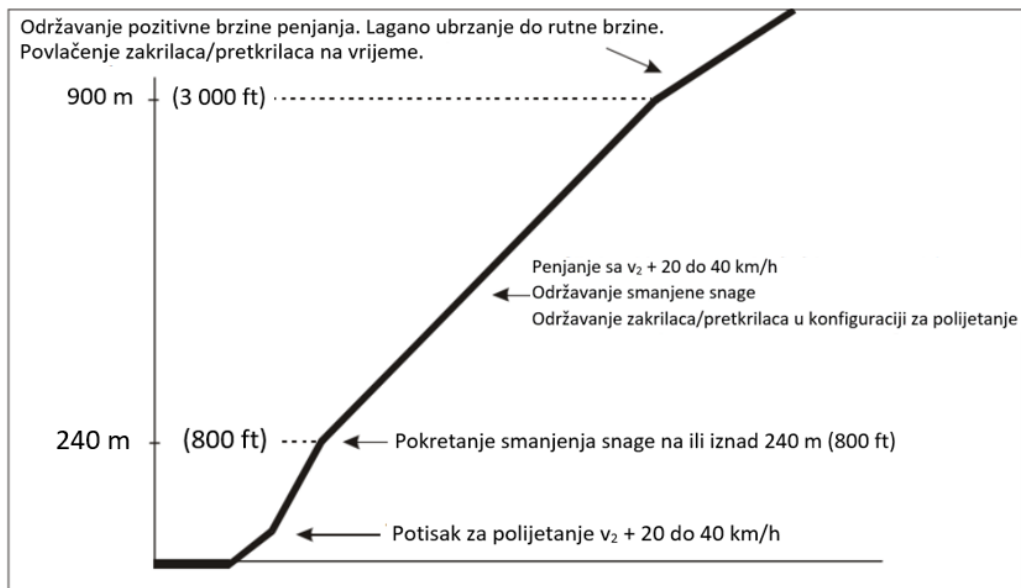
#### 4.3. Postupci smanjenja buke

Kako bi se smanjio negativan utjecaj buke na okoliš i stanovništvo, ICAO je izdao određene restrikcije koje se tiču operacija zrakoplova. Neke od tih restrikcija odnosno odredba su da se koristi ona uzletno-sletna staza gdje će početna i krajnja putanja leta biti što dalje od područja osjetljivih na buku. Potrebno je što više koristiti procedure za prilaz i odlet koje će smanjiti emisiju buke u odnosu na standardne procedure. Također se preporučuje upotreba minimalnog obrnutog potiska nakon slijetanja, te pomicanje praga slijetanja. Istraživanja su pokazala da je razina buke zrakoplova najizraženija odnosno najveća kod polijetanja i slijetanja zrakoplova. Stoga su izrađene posebne procedure za smanjenje buke koje se mogu koristiti samo ako se najprije zadovolje svi zahtjevi za nadvisivanjem prepreka. NADP 1 (engl. *Noise*

*abatement departure procedure*) je procedura namijenjena da osigura smanjenje buke za područja osjetljiva na buku u području završetka uzletno-sletne staze. Dok je NADP 2 procedura namijenjena da osigura smanjenje buke za područja osjetljiva na buku, ali na malo većoj udaljenosti od završetka uzletno-sletne staze. Ta se dva postupka razlikuju po tome što se segment ubrzanja za uvlačenje zakrilaca pokreće prije postizanja maksimalne propisane visine ili na najvećoj propisanoj visini. To su neke od metoda koje je ICAO objavio, no nisu jedine metode koje se mogu koristiti. Ovi postupci su navedeni kao primjeri jer dobiveno smanjenje buke uvelike ovisi o tipu zrakoplova, tipu motora, potrebnom potisku i visini na kojoj se potisak smanjuje. Svaka komercijalna zrakoplovna tvrtka potiče razvoj vlastitih procedura za maksimalno smanjenje buke njihovih zrakoplova [17].

Postupak za smanjenje buke 1 (NADP1) u svoju proceduru uključuje sljedeće korake, koji su također prikazani na Slici 17:

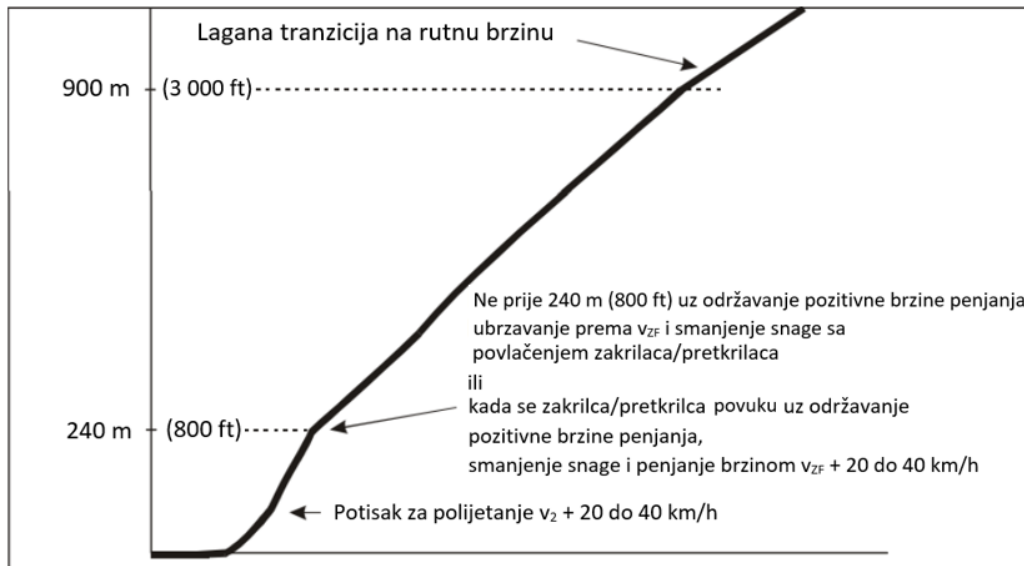
- smanjenje u snazi ili potisku na ili iznad minimalne propisane visine od 240 m (800 ft) iznad elevacije aerodroma,
- inicijalna brzina penjanja nije manja od  $V_2+10$  ili 20 kt ( $V_2+20$  ili 40 km/h), gdje je  $V_2$  sigurna brzina polijetanja,
- odgoda uvlačenja zakrilaca/pretkrilaca je postignuta sve do maksimalne propisane visine od 900 m (3000 ft),
- na propisanoj maksimalnoj visini od 900 m (3000 ft) zrakoplov ubrzava i zakrilca su uvučena na vrijeme, dok se održava pozitivna brzina penjanja kako bi se završila tranzicija na normalnu rutnu brzinu penjanja [17].



Slika 17. Penjanje u polijetanju kod procedure smanjenja buke 1, IZVOR: [17]

Postupak za smanjenje buke 2 (NADP2) u svoju proceduru uključuje slijedeće korake, koji su također prikazani na Slici 18.:

- smanjenje snage ili potiska događa se na ili iznad propisane minimalne visine od 240 m (800 ft) iznad elevacije aerodroma,
- uvlačenje zakrilaca na ili iznad propisane minimalne visine od 240 m (800 ft) iznad elevacije aerodroma ali prije propisane maksimalne visine od 900 m (300 ft),
- uvlačenje zakrilca/pretkrilca je provedeno na vrijeme uz održavanje pozitivne brzine uzdizanja,
- srednje uvlačenje zakrilaca će se izvršiti ako je to potrebno,
- kut nagiba tijela zrakoplova se smanjuje, zrakoplov ubrzava do brzine  $V_{zf}$  (minimalna sigurna brzina manevriranja bez zakrilaca),
- inicijalna brzina penjanja nije manja od  $V_2+10$  ili 20 kt ( $V_2+20$  ili 40 km/h),
- smanjenje snage ili potiska je inicirano zajedno sa segmentom ubrzanja koji osigurava zadovoljavajuće performanse ubrzanja,
- na propisanoj maksimalnoj visini od 900 m (300 ft), zrakoplov ubrzava kako bi završio tranziciju na normalnu rutnu brzinu penjanja [17].



Slika 18. Penjanje u polijetanju kod procedure smanjenja buke 2, IZVOR: [17]

Iako ovi postupci smanjena buke mogu imati mjerljive ekološke koristi u smislu buke, njihova učinkovita provedba može biti teška. Postupci se moraju razviti, testirati i procijeniti za:

- utjecaj na kontrolore zračnog prometa - varijacije u performansama zrakoplova mogu otežati učinkovito sekvenciranje i zračni promet kontrolorima,
- zahtjevi za kapacitetom - ovi postupci mogu generirati neprihvatljiva kašnjenja i zagušenja u prometu,
- zrakoplovna oprema - potrebni su sofisticirani sustavi upravljanja letom za njihovu provedbu,
- prihvaćanje pilota - često se povećava radno opterećenje pilota njihovim izvođenjem,
- konfiguracija zračne luke i lokalne karakteristike,
- teren i prepreke - teren ili umjetne prepreke mogu biti ograničavajući faktor [17].

Procedura kontinuiranog penjanja (engl. *Continuous climb operation* - CCO) je tehnika upravljanja zrakoplovom koja je olakšana dizajnom zračnog prostora i procedura. Potpomognuta je odgovarajućim postupcima koji omogućavaju izvršavanje profila leta optimiziranog za performanse zrakoplova, što dovodi do značajnih ušteda goriva, te smanjenja emisija i buke. Vertikalni profil zrakoplova u odlasku neprekidno se penje s optimalnom brzinom koja štedi gorivo. CCO omogućuje zrakoplovu da postigne inicijalnu razinu krstarenja

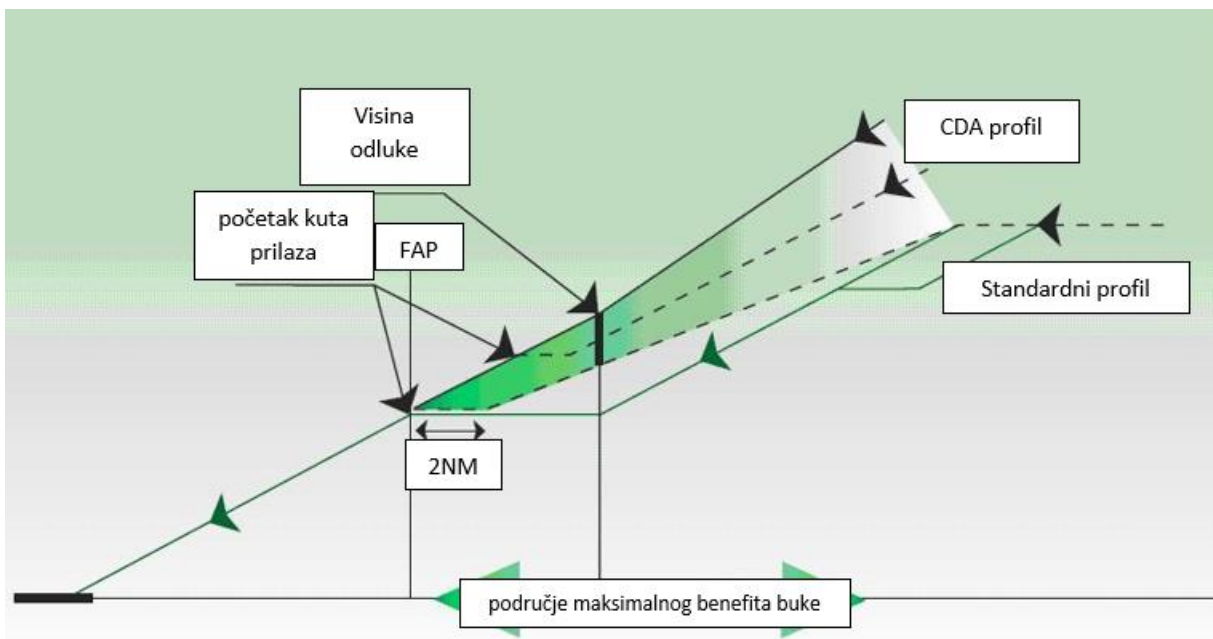
pri optimalnim postavkama potiska motora, smanjujući tako ukupno sagorijevanje goriva i ostalih emisija tokom cijelog leta. Kada je CCO na snazi treba se koristiti odgovarajući dizajn zračnog prostora, te postupci koji bi izbjegli potrebu za rješavanjem potencijalnih konflikata između dolaznih i odlaznih tokova prometa uz ograničenja visina i brzina. Potpuno uvođenje CCO procedura u stvarnosti nije uvijek moguće zbog:

- limitiranog zračnog prostora,
- terena i prepreka,
- restrikcija okoliša,
- ATC procedura i
- vremenskih prilika.

U idealnom slučaju CCO bi trebao biti organiziran kao dio standardnog instrumentalnog odlaska, tako da letačka posada i kontrolori zračnog prometa imaju fiksni postupak na koji se mogu unaprijed pozvati. Nakon polijetanja poželjan je put do odredišta ili izlazne točke zračnog prostora koji podržava optimizirani vertikalni profil. Ovo bi također trebalo osigurati najkraću udaljenost kojom se leti. Poželjno je i neograničeno penjanje na razinu krstarenja bez ograničenja brzine. Međutim, mogu se zahtijevati posebna ograničenja brzine (kako bi se zadržalo razdvajanje između zrakoplova ili kako bi se omogućio manji radijus okretanja) kako bi se omogućio CCO u područjima velike gustoće prometa ili u područjima s ograničenjima zračnog prostora i terena. Ograničenja brzine smanjuju fleksibilnost CCO-a, ali mogu pomoći u omogućavanju postupka koji se temelje na CCO-u tamo gdje to inače ne bi bilo moguće [18].

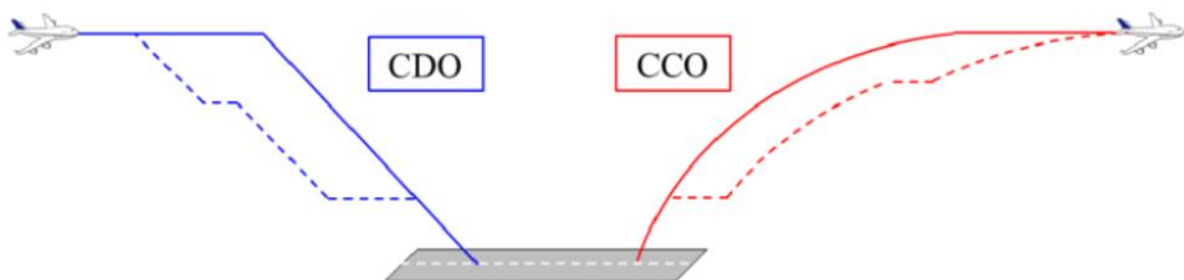
Procedura kontinuiranog spuštanja (engl. *Continuous descent operation* - CDO) je tehnika upravljanja zrakoplovom, gdje se zrakoplov spušta sa optimalne pozicije sa minimalnim potiskom i pritom izbjegava neučinkovite segmente leta do mjere koja dopušta siguran let zrakoplova i usklađenost s objavljenim procedurama i instrukcijama kontrolora zračnog prometa. Cilj CDO-a je smanjiti negativan utjecaj na okoliš, ponajviše u fazi slijetanja, tako da se održava optimalan profil goriva i zadržava minimalna emisija buke. Zadržavanje zrakoplova na što višoj visini što je duže moguće, osigurava da zrakoplov provede što manje vremena na ne-optimalnim nižim razinama u krstarenju. Kod standardnih procedura slijetanja zrakoplov se spušta na slijetanje postepeno, gdje se u prilazu izmijenjuju faze spuštanja i faze krstarenja,

dok se kod CDO zrakoplov spušta kontinuirano uz prethodno zadržavanje na što višoj visini što je duže moguće uz minimalni potisak, te time doprinosi smanjenju sagorijevanja goriva, emisije i buke. CDO će smanjiti buku na srednjoj udaljenosti od zone slijetanja (8 NM do 25 NM). Idealni CDO započinje na vrhu spuštanja i završava kad zrakoplov započne završni prilaz i slijedi kut prilaza (engl. *glide path*). Procedure kontinuiranog spuštanja nije moguće koristiti uvijek, niti za sve dolazne letove i za cijeli profil spuštanja. No, sve više zračnih luka poduzima mjere kako bi se CDO iskoristio u najvećoj mogućoj mjeri. Na Slici 19. moguće je vidjeti usporedbu standardne procedure dolaska i procedure kontinuiranog dolaska odnosno spuštanja [18].



Slika 19. Usporedba CDO i standardne procedure spuštanja, IZVOR: [19]

Na Slici 20. prikazane su putanje leta primjenom CDO i CCO operacija kao i standardne procedure za usporedbu [18].



Slika 20. Prikaz CDO, CCO i standardne procedure, IZVOR: [20]

U području terminala i u blizini zračne luke postoje neizbježni sukobi između dolaznih i odlaznih tokova prometa kojima kontrolori zračnog prometa moraju upravljati. Kada se njihove rute sijeku, kontrolor zračnog prometa ima dva načina kako da riješi potencijalni konflikt. Kao prvo rješenje kontrolor može vektorirati zrakoplove kako bi se izbjegao konflikt. U tom slučaju dolazi do odstupanja od planirane rute zrakoplova, te smanjenja ili povećanja prijedene udaljenosti koja za posljedicu ima povećanje ili smanjenje izgaranja goriva i proizvedenog ugljikovog dioksida. Sljedeća opcija je da se zrakoplovi odvoje vertikalno sve dok se njihovi putevi ne razidu i dok nisu na sigurnoj udaljenosti. U ovom slučaju se podrazumijeva da će jedan od zrakoplova morati zadržati svoju visinu čime jedan ili više zrakoplova neće biti u mogućnosti izvršiti proceduru kontinuiranog penjanja ili spuštanja. Kada se konflikti riješe, zbog složenije faze leta prioritet se daje zrakoplovu u proceduri kontinuiranog spuštanja.

## 5. Karakteristike slučaja za ZL Split

U ovom radu modelirana je i analizirana buka zrakoplova u okolini zračne luke Split. Zračna luka Split izgrađena je 1966. godine. Jedna je od devet međunarodnih luka u Hrvatskoj, te je druga najprometnija luka u državi. Na Slici 21. može se vidjeti izgled zračne luke Split. Zbog porasta turizma došlo je do povećanja prometa, a time i potrebe za proširenjem same zračne luke. Građevinski radovi proširenja započeli su 2009. godine, a konačan završetak radova bio je 2019. godine. Novopušireni terminal sada broji kapacitet od 3,5 milijuna putnika [21]. U proteklom desetljeću zračna luka Split je svake godine brojala sve veći porast prometa sve do 2020. godine i naglog pada prometa uzrokovanog pandemijom. Na Grafikonu 1. prikazan je godišnji putnički promet na zračnoj luci Split.



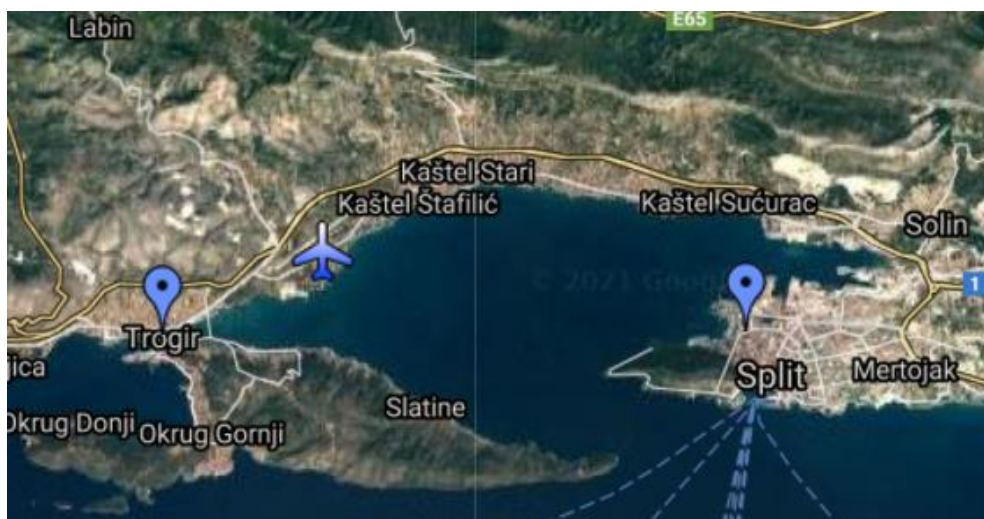
Slika 21. Zračna luka Split, IZVOR:[22]



Grafikon 1. Godišnji putnički promet na zračnoj luci Split: IZVOR: [21]



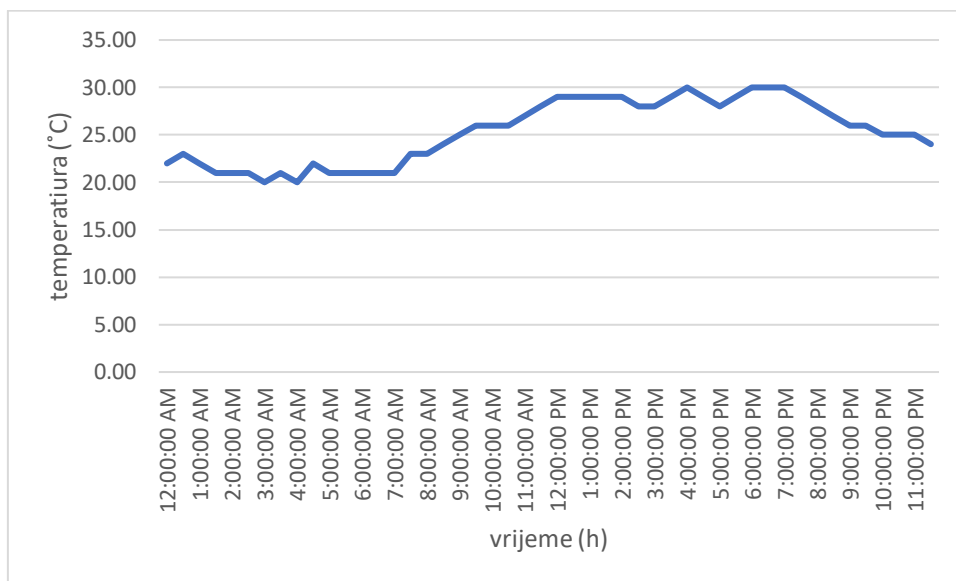
Zračna luka Split smještena je zapadno od Kaštel Štafilića, a udaljena je 6 km od grada Trogira i 25 km od grada Splita. Prometno je povezana s gradom Splitom, a do se nje može doći splitskim javnim prijevozom, osobnim automobilima i taksi službom. Zračna luka nalazi se na koordinatama 43°32'20" sjeverne geografske širine i 016°17'52" istočne geografske dužine. Na Slici 22. može se slikovito vidjeti udaljenost zračne luke Split od grada Splita i Trogira. Zračna luka Split je povezana s više od 90 destinacija, a tendencija joj je daljnji porast broja putnika te proširenje mreže letova prema većim europskim i svjetskim destinacijama [21]. Porastom prometa raste i buka koju proizvode zrakoplovi u okolici zračne luke Split. Zračna luka Split u 2019. godini ostvarila je 3,3 milijuna putnika, što je za 6% više nego 2018. godine. U ovom diplomskom radu modelirana je buka za vršni dan 2019. godine što je postignuto na dan 3. kolovoza. Analizirana je buka koja se stvara prilikom različitih procedura zrakoplova, koje su primijenjene kao jedno od rješenja za smanjenje buke.



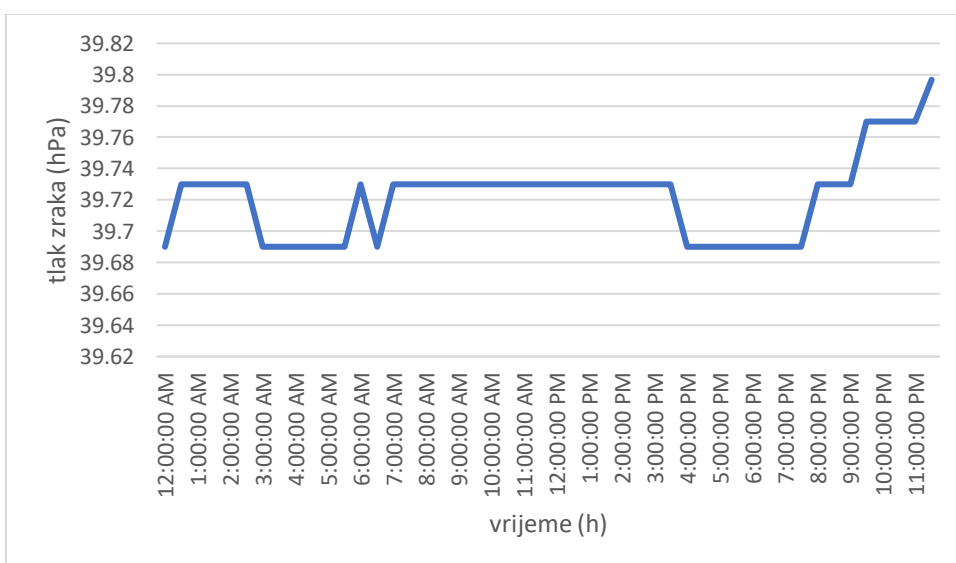
Slika 22. Prikaz zračne luke Split na karti, IZVOR: [23]

Za izradu rada prikupljeni su osnovni podaci o samoj zračnoj luci, kao i informacije o uvjetima koji su prevladavali na taj dan. Osnovni podaci o zračnoj luci preuzeti su iz eAIP-a (engl. *electronic Aeronautical Information Publication*), zbornika zrakoplovnih informacija [24]. Zračna luka Split nalazi se na 24 metara nadmorske visine. Orijentacija uzletno-sletne staze označena je pragovima 05 i 23. Koordinate za prag 05 su 43°31'55" sjeverne geografske širine i 016°17'08" istočne geografske dužine, dok su koordinate za prag 23 43°32'42" sjeverne geografske širine i 016°18'32" istočne geografske dužine. Širina uzletno-sletne staze je 45 m, a dužina 2550 m. Referentna temperatura na zračnoj luci Split iznosi 29°C. Meteorološki podaci o vjetru, temperaturi, vlažnosti i tlaku dobiveni su na osnovu METAR izvještaja koji su

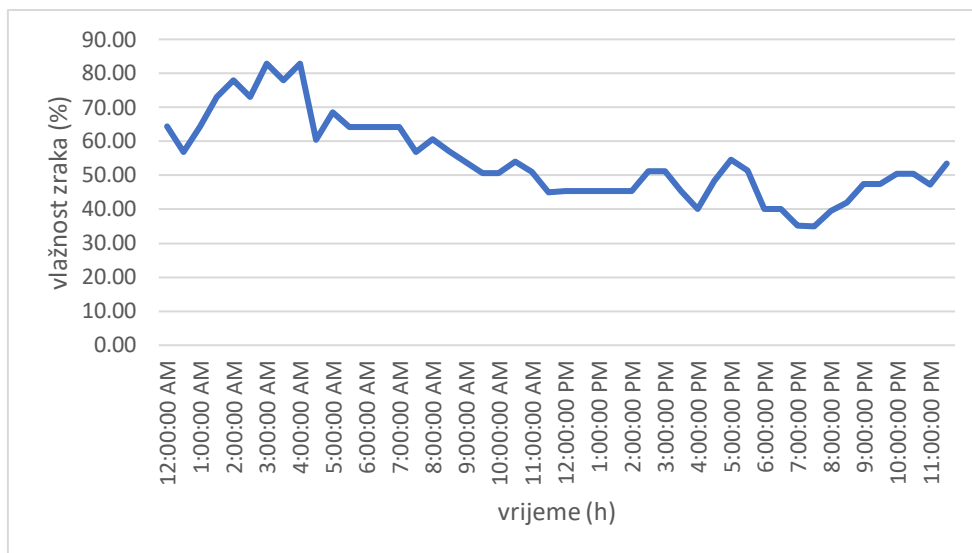
arhivirani u *Iowa State University* bazi podataka [25]. Podaci se objavljuju za sve aerodrome na svakih pola sata, te je za konačnu vrijednost uzet prosjek svih izmjerenih podataka. Najniža izmjerena temperatura dana 03.08.2019. godine bila je 68 F (20°C), dok je najviša bila 86 F (30°C). Na Grafikonima 2., 3. i 4. može se vidjeti varijacija temperatura, tlaka zraka i vlažnosti zraka na taj dan. Za izračun čeonog vjetra potrebno je znati brzinu, smjer vjetra i aktivnu uzletno-sletno stazu. Nakon izračuna dobiven je podatak da je čeon vjetar tijekom dana varirao od 0 do 11 kt Njegova varijacija prikazana je na Grafikonu 5.



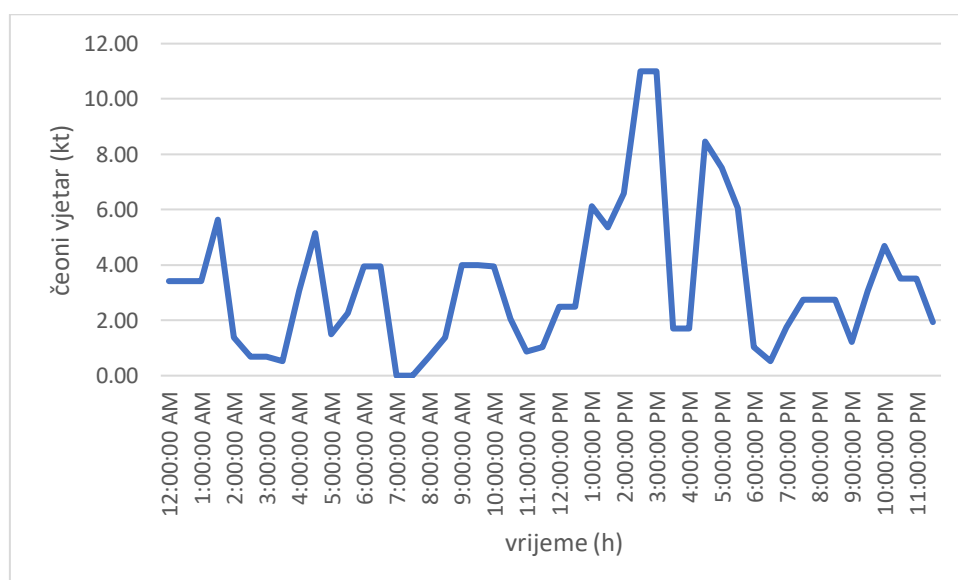
Grafikon 2. Temperatura zraka, 03.08.2019.



Grafikon 3. Tlak zraka, 03.08.2019.



Grafikon 4. Vlažnost zraka, 03.08.2019.



Grafikon 5. Čeoni vjetar, 03.08.2019.

Prosjeci prikazanih parametara koji su korišteni kod modeliranja buke zrakoplova na Splitskoj zračnoj luci prikazani su u Tablici 2.

Tablica 2. Prosječna vrijednost izmjerenih parametara

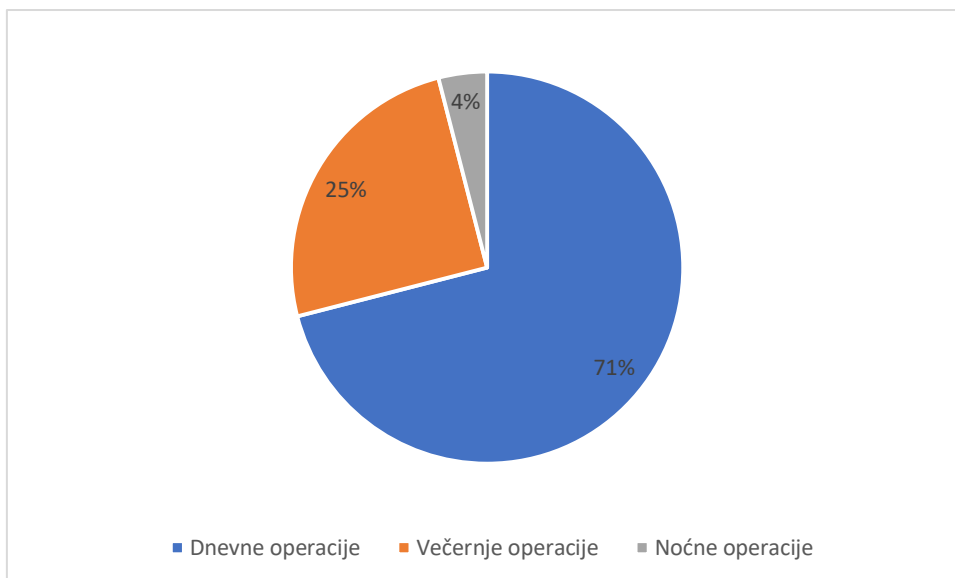
| Temperatura<br>(°C) | Plak<br>(hPa) | Čeoni vjetar<br>(kt) | Vlažnost<br>(%) |
|---------------------|---------------|----------------------|-----------------|
|                     | 39,72         |                      |                 |
| 25,66               | 39,72         | 3,1                  | 53,6            |

Podaci o letovima na dan 03.08.2019. godine dobiveni su od same zračne luke Split. Tog dana bilo je 107 operacija polijetanja i 105 operacija slijetanja.

Tablica 3. Statistika letova i klasifikacija zrakoplova

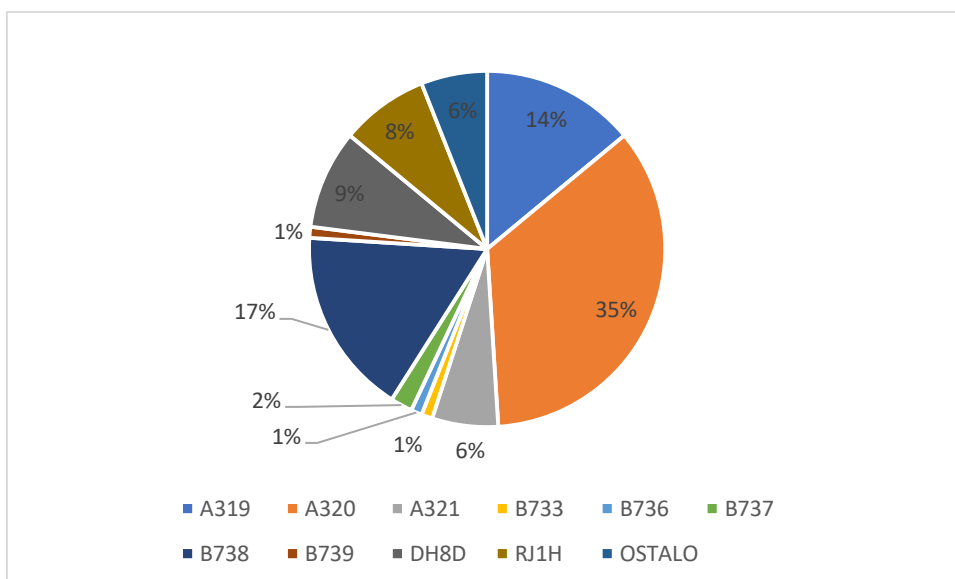
| Tip zrakoplova | INM kod       | Polijetanje |           |          | Slijetanje |           |          |
|----------------|---------------|-------------|-----------|----------|------------|-----------|----------|
|                |               | Dan         | Večer     | Noć      | Dan        | Večer     | Noć      |
| A319           | A319-131      | 9           | 4         | 3        | 8          | 5         | 1        |
| A320           | A320-211      | 27          | 7         | 3        | 26         | 10        | 1        |
| A321           | A321-232      | 3           | 3         | 0        | 4          | 2         | 0        |
| B733           | 737300        | 0           | 1         | 0        | 1          | 0         | 0        |
| B736           | 737300        | 0           | 1         | 0        | 1          | 0         | 0        |
| B737           | 737700        | 1           | 1         | 0        | 1          | 1         | 0        |
| B738           | 737800        | 12          | 6         | 0        | 12         | 5         | 1        |
| B739           | 737800        | 1           | 0         | 0        | 1          | 0         | 0        |
| C680           | CNA680        | 1           | 0         | 0        | 1          | 0         | 0        |
| DH8D           | DHC8          | 9           | 1         | 0        | 8          | 2         | 0        |
| E50P           | CNA510        | 1           | 0         | 0        | 1          | 0         | 0        |
| FA7X           | F10062        | 1           | 0         | 0        | 1          | 0         | 0        |
| GL5T           | BD700         | 1           | 0         | 0        | 1          | 0         | 0        |
| KODI           | CNA208        | 1           | 0         | 0        | 1          | 0         | 0        |
| RJ1H           | BAE300        | 5           | 3         | 0        | 7          | 1         | 0        |
| C750           | CNA750        | 1           | 0         | 0        | 1          | 0         | 0        |
| CL30           | BD100         | 1           | 0         | 0        | 1          | 0         | 0        |
|                | <b>Ukupno</b> | <b>74</b>   | <b>27</b> | <b>6</b> | <b>76</b>  | <b>26</b> | <b>3</b> |

Za svaki tip zrakoplova u Tablici 3. naveden je INM kod koji se koristi za procjenu utjecaja buke zrakoplova u programu INM (engl. *Integrated noise model*), a koji će detaljnije biti objašnjen u sljedećem poglavlju. Također se može vidjeti broj letova određenih zrakoplova tokom cijelog dana podijeljenog na periode dan, večer i noć. Dnevni period traje od 07:00 sati do 19:00 sati, večernji od 19:00 sati do 23:00 sati i noćni period 23:00 sati do 07:00 sati. Na Grafikonu 6. prikazan je udio dnevnih, večernih i noćnih operacija od ukupnog broja operacija na zračnoj luci Split 03.08.2019. godine. Na zračnoj luci Split najviše operacija ima tijekom dana, dok je noćni promet malo zastupljen. Od ukupno 212 operacija, njih 150 odvijalo se tokom dana (71%), 53 tokom večeri (25%) i samo 9 operacija kroz noć (4%).



Grafikon 6. Udio dnevnih, večernjih i noćnih operacija na dan 03.08.2021.

Na Grafikonu 7. prikazan je udio zrakoplova koji su se pojavili na zračnoj luci Split na dan 03.08.2021. godine. Najveći udio letova pripada Airbus-u A320 , Boeing-u 737-800 i Airbus-u A319.



Grafikon 7. Udio tipova zrakoplova na dan 03.08.2021.

## 6. Modeliranje buke zrakoplova u programu INM

Za potrebe ovog diplomskog rada koristio se program INM (engl. *Integrated noise model*). INM je računalni model koji procijenjuje utjecaj buke zrakoplova u blizini zračnih luka. Razvijen je na temelju algoritma i okvira iz standarda SAE AIR 1845, koji je koristio podatke o buci - snazi - udaljenosti (engl. *noise – power – distance* - NPD) za procjenu utjecaja buke za određeni način rada, postavku potiska i geometriju izvora - prijemnika, akustičku usmjerenost i druge okolišne čimbenike. INM može prikazati konture buke za područje ili razinu buke na unaprijed odabranim mjestima. Izlaz buke mogao bi se temeljiti na izloženosti, maksimalnoj razini ili na temelju vremena. INM se može koristiti u mnogim analitičkim namjenama:

- za procjenu trenutnih utjecaja buke zrakoplova oko određene zračne luke ili heliodroma,
- za procjenu promjene utjecaja buke koja proizlazi iz novih ili proširenih uzletno-sletnih staza ili njenih različitih konfiguracija,
- za procjenu promjene u utjecaju buke koja proizlazi iz nove prometne potražnje,
- za procjenu promjene u utjecaju buke kod primjene novih operativnih postupaka i
- za procjenu utjecaja buke zbog djelovanja zrakoplova u nacionalnim parkovima i oko njih [26].

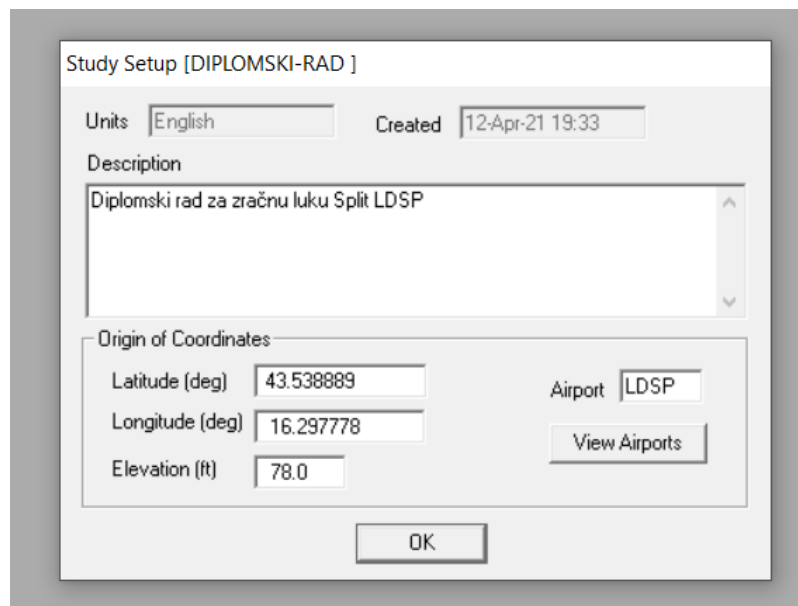
INM je dizajniran za procjenu dugoročnih prosječnih učinaka koristeći prosječne godišnje ulazne uvjete. Budući da INM nije detaljan akustički model, može se dogoditi da dođe do razlika između predviđenih i izmjerenih vrijednosti i to zbog važnih lokalnih akustičkih varijabli koje nisu prosječne ili jednostavno zbog toga što komplicirani fizički fenomeni nisu eksplicitno modelirani. Kao što je ranije u radu navedeno postoje različiti načini kontrole i regulacije buke zrakoplova. Neke od postupaka za smanjenje buke su [27]:

- operacije kontinuiranog spuštanja (CDO),
- postupci odlaska za smanjenje buke (NADP),
- izmijenjeni kutovi prilaza, razmaknuti ili pomaknuti pragovi slijetanja,
- profili prilaza male snage/niskog otpora (engl. *low power/low drag*) i

- minimalna upotreba povratnog potiska (engl. *reverse thrust*) nakon slijetanja.

## 6.1. Kreiranje studije sa osnovnim podacima

Cilj ovog rada je izmodelirati buku zrakoplova kod različitih prilaznih i odlaznih procedura (standardna procedura, operacija kontinuiranog spuštanja i postupci odlaska za smanjenje buke), te proanalizirati kako bi primjena tih procedura utjecala na smanjenje buke zrakoplova. Modeliranje buke zrakoplova u ovom radu podijeljena je na nekoliko koraka. Prvi korak podrazumijeva definiranje studije. U ovom koraku neophodno je unijeti osnovne podatke o studiji koji podrazumijevaju podatak o lateralnoj i longitudinalnoj koordinatnoj točki, elevaciji i nazivu zračne luke, kao i izbor sustava mjernih jedinica koji će biti korišten u studiji. Važno je da su koordinatne točke pretvorene iz stupnjeva, minuta i sekundi u decimalni zapis. Elevacija zračne luke unosi se u stopama i iznosi 78 ft. Na Slici 23. prikazana je postavka studije sa unesenim osnovnim podacima o zračnoj luci Split



Study Setup [DIPLOMSKI-RAD ]

Units: English Created: 12-Apr-21 19:33

Description: Diplomski rad za zračnu luku Split LDSP

Origin of Coordinates:

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

Airport: LDSP

View Airports

OK

Slika 23. Postavke studije

Sljedeći korak u izradi je unos podataka o uzletno-sletnoj stazi - USS, njenoj orijentaciji i koordinatnim točkama njenih pragova. Zračna luka Split ima jednu uzletno-sletnu stazu, orijentacije 05 – 23 i širine 148 ft.

## 6.2. Kreiranje scenarija i slučaja

Unutar studije kreirani su slučajevi i scenariji za svaku od procedura koja se modelirala. Unutar slučaja uneseni su podaci o meteorološkim uvjetima koji su prevladavali na dan 03.08.2019. godine. Temperatura, tlak, vlažnost zraka i čeon vjetar uneseni su kao prosjek njihovih vrijednosti kroz cijeli dan. Podaci o meteorološkim uvjetima detaljnije su opisani u prethodnom poglavlju. Kreirana su 6 scenarija, za svaku kombinaciju dva indikatora buke ( $L_{den}$  i  $L_{night}$ ) i tri spomenuta profila (CLOSEIN, DISTANT i STANDARD):  $L_{den\_CLOSEIN\_CDA}$ ,  $L_{den\_DISTANT\_CDA}$ ,  $L_{den\_STANDARD}$ ,  $L_{night\_CLOSEIN\_CDA}$ ,  $L_{night\_DISTANT\_CDA}$  i  $L_{night\_STANDARD}$ . Unutar svakog scenarija kreiran je slučaj za svaki profil procedure, u našem slučaju Case\_CLOSEIN\_CDA, Case\_DISTANT\_CDA i Case\_STANDARD. U scenarijima CLOSEIN – CDA i DISTANT – CDA razlikuju se samo procedure u polijetanjima, dok se za slijetanja u oba scenarija koristi CDA procedura.

## 6.3. Unos zrakoplova

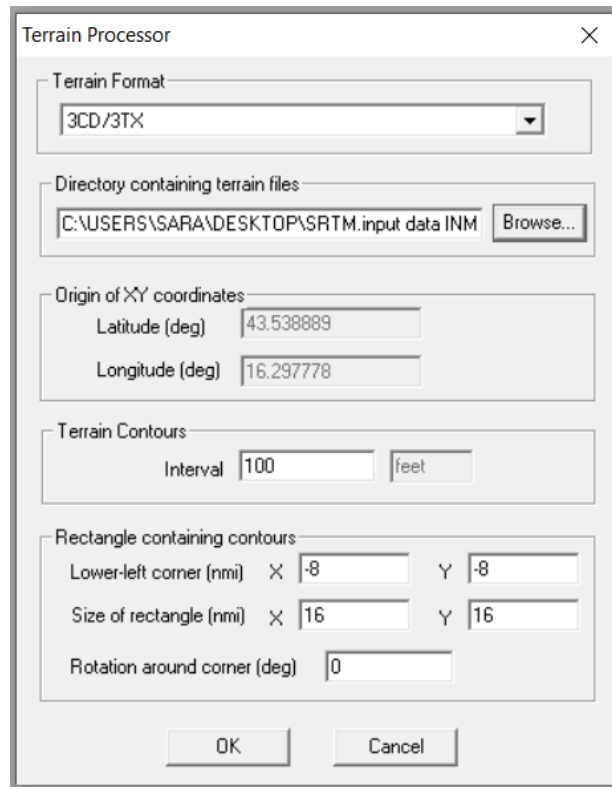
Sljedeći korak bio je unos zrakoplova koji su na taj dan bili dio operacija polijetanja i slijetanja na zračnoj luci Split. U 5. poglavlju u Tablici 7. prikazani su svi tipovi zrakoplova koji su obavljali operacije tog dana. Zrakoplovi su odabrani iz baze civilnih zrakoplova (*Civil Airplane*) INM-a. Neki od zrakoplova koji su sudjelovali u prometu na taj dan nisu u bazi INM-a, stoga su oni uneseni iz baze zamjenskih civilnih zrakoplova (*Civil Airplane Substitution*). U slučaju da potrebnog zrakoplova nema ni u glavnoj, a ni u zamjenskoj bazi zrakoplova, onda se bira zamjenski zrakoplov koji ima najbližije performanse zamijenjenom zrakoplovu. U obzir se uzima maksimalna težina polijetanja (engl. *maximum takeoff weight* – MTOW), te broj, tip i potisak motora. Detaljnija statistika zrakoplova opisana je u prethodnom poglavlju.

## 6.4. Podaci o terenu

Za izradu rada potrebno je unijeti podatke o terenu. Za određivanje topografije terena u okolici zračne luke Split korištena je NASA SRTM (eng. *Shuttle Radar Topography Mission*) baza podataka verzije 2.1 [26]. INM program koristi 3CD format za unos podataka o terenu u svojim studijama. Ovaj binarni format dostupan je samo za američke regije, dok korisnici koji nisu iz SAD-a moraju ručno upisati svoju 3TX ASCII tekstualnu datoteku. Nju INM softver čita i



pretvara u 3CD binarnu datoteku. 3TX datoteka sadrži uzvisine terena koje pokrivaju kvadratnu površinu jedan po jedan stupanj. Konture na slici terena predstavljaju preciznost i gustoću podataka. Na Slici 24. prikazan je prozor gdje se učitava terenska datoteka i gdje se unose podaci o pokrivenosti, veličini prostora i rotaciji. Točkama X i Y definira se donji lijevi kut i veličina pravokutnika koji označava područje za koje se unose podaci o terenu. U ovoj studiji, podaci o terenu su uvezeni u INM sa preciznošću od 100 ft.

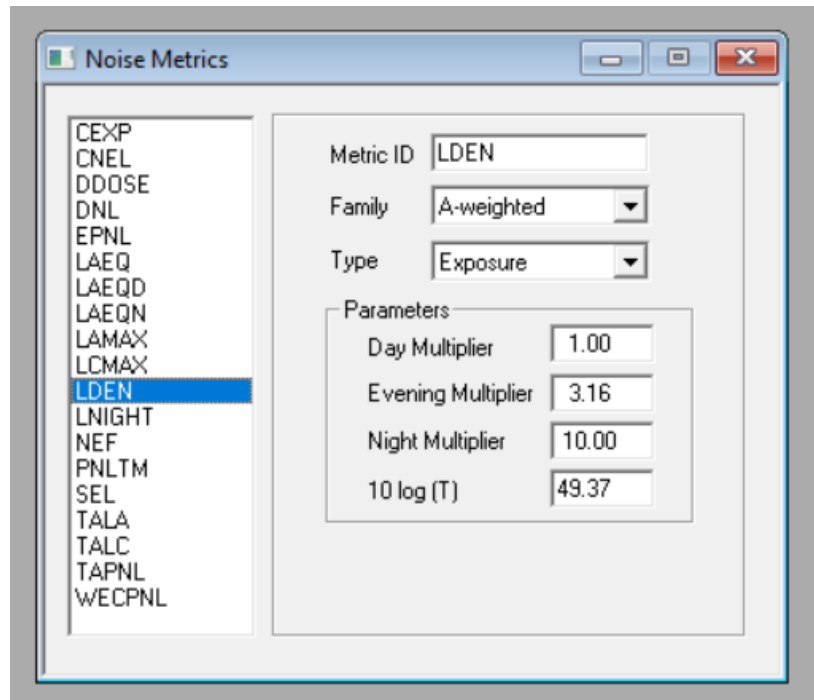


Slika 24. Prozor za unos podataka o terenu

## 6.5. Postavke mjerenja buke

Za mjerenje buke u ovom radu potrebno je kreirati  $L_{den}$  i  $L_{night}$  indikatore koji su prethodno objašnjeni u poglavlju 3. Kod kreiranja metrike buke postoje tri težinske krivulje za frekvencijsko vredovanje koje se mogu odabrati pod izbornikom *Family*. To su A-ponderirana buka, C-ponderirana buka, te korigiran percipiran ton. U našem slučaju uzeta je A-ponderirana metrika koja se koristi za standardnu analizu buke, gdje su spektri buke zrakoplova modificirani A-ponderiranjem pri čemu se smanjuje razina buke u pojasevima niske i visoke frekvencije na približno frekvencijski odziv ljudskog uha. Zatim je potrebno odabrati tip buke u mjerenju. Pod izbornikom *Type*, nude se tri opcije. Izloženost (engl. *Exposure*), maksimalna

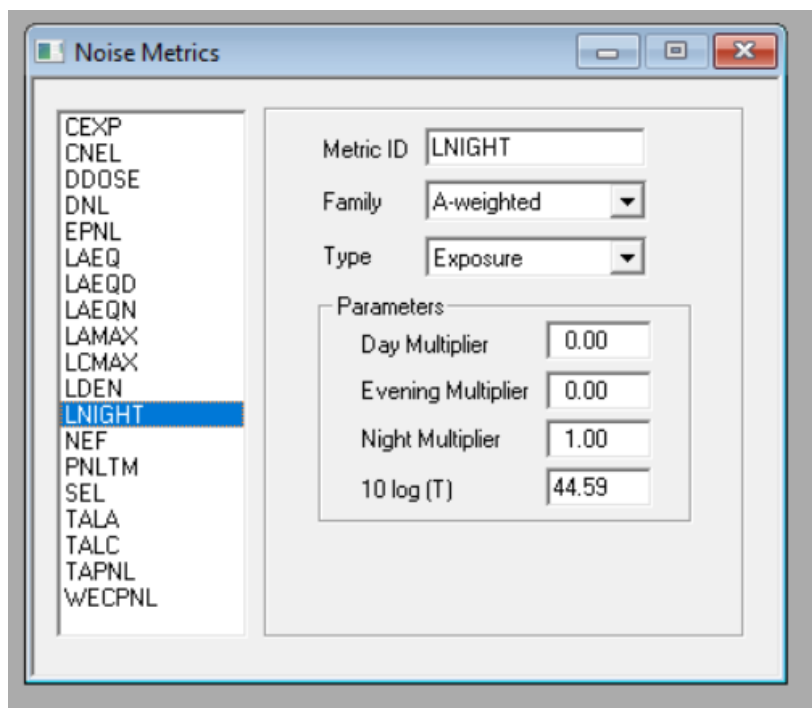
razina (engl. *Max-Level*) i vrijeme iznad (engl. *Time-Above*). *Exposure* predstavlja istinsku izloženost buci (srednji kvadrat zvučnog tlaka pomnožen s vremenskim trajanjem), koji se također koristi za ekvivalentne ili srednje razine buke koje proizlaze iz izloženosti buci. *Max-Level* predstavlja maksimalnu razinu buke, dok *Time-Above* predstavlja broj minuta koliko je razina buke iznad nekog definiranog praga. Za naš slučaj uzeta je opcija *Exposure*. Na Slikama 25. i 26. mogu se vidjeti navedene postavke kao i unijeti parametri  $L_{den}$  i  $L_{night}$  veličina.



Slika 25. Postavka za  $L_{den}$  metriku u INM programu

Parametri za postavku  $L_{den}$  veličine uzeti su iz formule 11. Budući da se gleda period od 24 sata, sate je potrebno pretvoriti u sekunde i tu vrijednost ubaciti u formulu:  $10 \log (24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}/1\text{s})$ .

Rezultat koji se dobije je 49,37 i on se ubacuje u prozor  $10\log(T)$ . Indikator  $L_{night}$  uzima u obzir samo period od 8 h i time se mijenja rezultat na 44,59.



Slika 26. Postavka za Lnight metriku u INM programu

## 6.6. Unos podataka o populaciji

Sljedeći potreban podatak za izradu rada su podaci o populaciji oko zračne luke Split. Točke populacije predstavljaju mrežu površina od po 100 m<sup>2</sup> preuzetu sa stranica *Global Human Settlement Layer - GHSL* [28]. Podaci o populaciji obrađeni su u QGIS softveru radi lakšeg unosa u INM. Područje je smanjeno na područje od interesa na otprilike 50 km oko zračne luke Split. Na mreži su izdvojeni centriodi u kojima se mogu pronaći podaci o njihovim lateralnim i longitudinalnim koordinatnim točkama kao i podaci o broju stanovnika koji se nalaze na svakih 100 m<sup>2</sup>. Ukupna populacija u izdvojenom području oko zračne luke Split je 372.727 stanovnika. Nakon obrade podataka o populaciji u QGIS-u, dobiveni podaci sa brojem stanovnika i koordinatnim točkama uneseni su u INM.

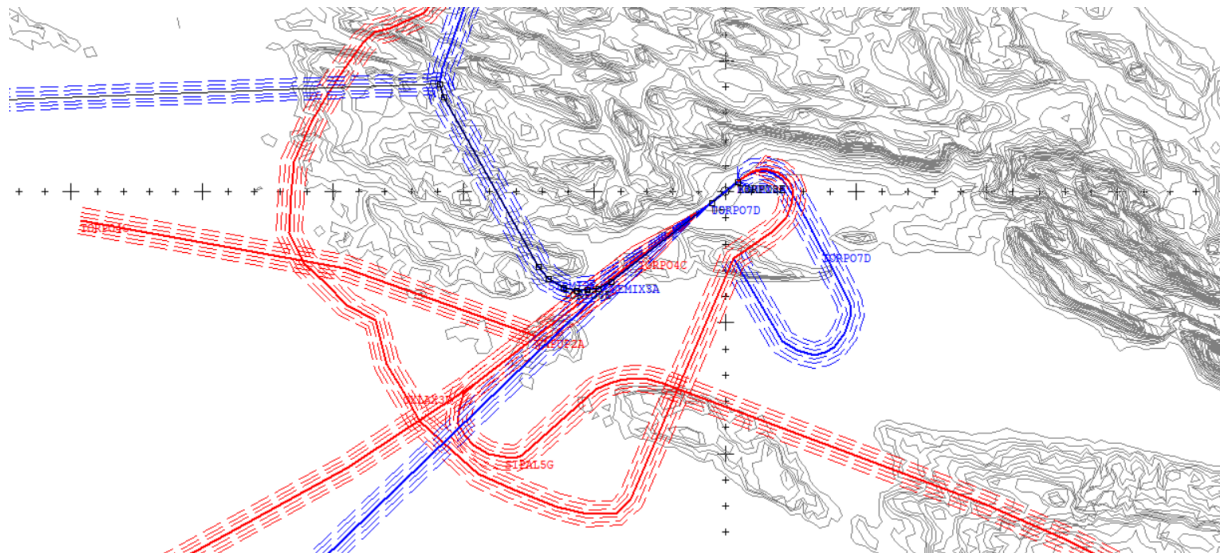
## 6.7. Kreiranje ruta

Za modeliranje buke zrakoplova sljedeći bitan korak je kreiranje ruta u INM programu. Prema dobivenim podacima o letovima na promatrani dan, izrađene su rute u NEST programu. Zbog nepreciznih rezultata i preoštrih zaokreta koji su se javljali u NEST-u, uslijed nedovoljnog broja točaka za svaku rutu, dobivene rute nisu bile iskoristive. Stoga smo odabrali 4 odlazne i 4

prilazne rute iz eAIP-a sa SID i STAR karata [24]. Njih smo odabrali nakon usporedbe ruta sa onima u NEST programu. U Tablici 4. prikazane su odabrane SID i STAR rute zajedno sa uzletno-sletnom stazom i destinacijama njihovih letova.

Tablica 4. SID i STAR rute

| Prag<br>USS | Tip<br>operacije | Naziv rute | Destinacije   |
|-------------|------------------|------------|---|
| 05          | Polijetanje      | TORPO7D    | sve   |
| 23          | Slijetanje       | OKLAX3D    | sve   |
| 05          | Slijetanje       | SIPAL5G    | Dubrovnik   |
| 05          | Slijetanje       | VAPUP2A    | Italija   |
| 05          | Slijetanje       | TORPO4C    | Engleska, Irska, Njemačka, Švicarska, Švedska, Češka, Rusija... |
| 23          | Polijetanje      | TORPO8E    | Njujork, Francuska, Nizozemska, Engleska, Švicarska             |
| 23          | Polijetanje      | SIRMI2E    | Zadar, Zagreb, Austrija, Njemačka, Švedska                      |
| 23          | Polijetanje      | KEMIX3A    | Italija i Španjolska  |



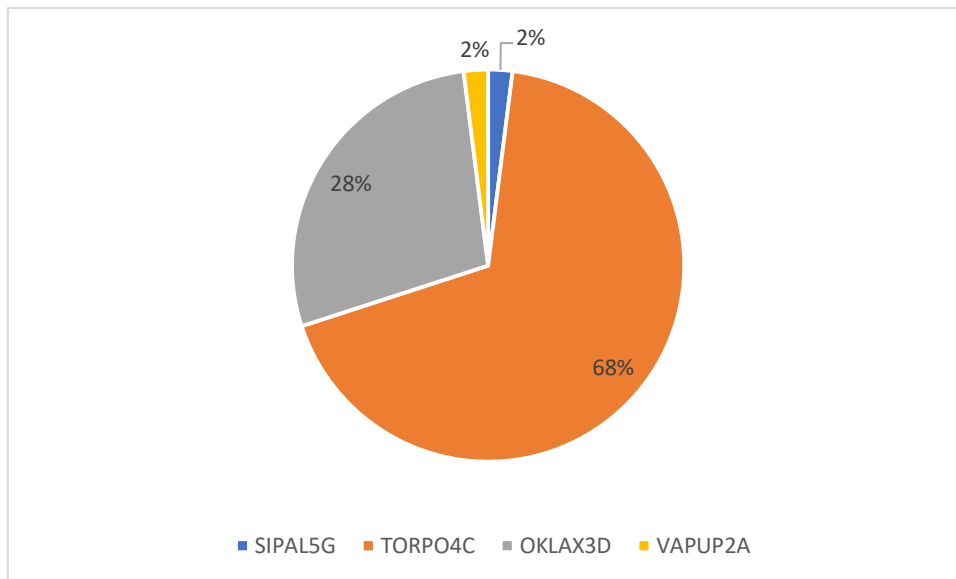
Slika 27. SID i STAR rute zrakoplova

Na Slici 27. prikazane su dizajnirane rute u INM programu. Za svaku od tih ruta napravljena je disperzija. Rute su kreirane ubacivanjem točaka sa njihovim koordinatnim točkama u *tracks segment* datoteku. Plavom bojom prikazane su SID rute, odnosno rute odlazaka zrakoplova, dok su crvenom bojom prikazane STAR rute, odnosno rute prilaza zrakoplova. Od svih 212 operacija izvršenih na analiziran dan, potrebno je rasporediti svaku od tih operacija na odgovarajuću rutu. U Tablici 5. prikazana je statistika letova po određenim rutama.

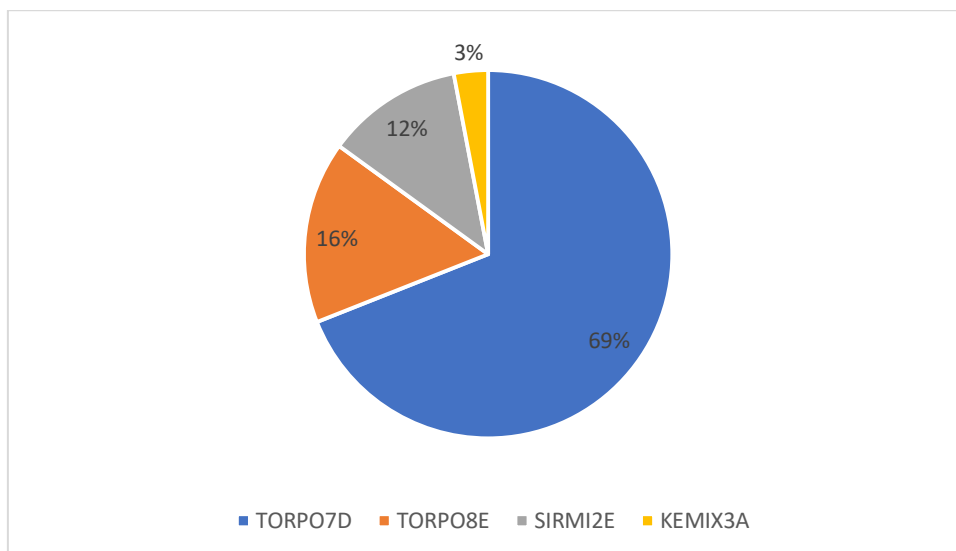
Tablica 5. Statistika letova po rutama

| Tip rute | Naziv rute | Broj letova | Udio pojedinih STAR ruta od njihovog ukupnog broja       |
|----------|------------|-------------|--|
| STAR     | SIPAL5G    | 2           | 2%   |
|          | TORPO4C    | 71          | 68%  |
|          | OKLAX3D    | 30          | 28%  |
|          | VAPUP2A    | 2           | 2%   |
| SID      |            |             | <b>Udio pojedinih SID ruta od njihovog ukupnog broja</b> |
|          | TORPO7D    | 74          | 69%  |
|          | TORPO8E    | 17          | 16%  |
|          | SIRMI2E    | 13          | 12%  |
|          | KEMIX3A    | 3           | 3%   |

Svi zrakoplovi koji polijeću sa uzletno-sletne staze u pravcu 05 lete po ruti TORPO7D. Svi zrakoplovi koji slijeću u pravcu uzletno-sletne staze 23 lete po ruti OKLAX3D. Zrakoplovi koji slijeću na uzletno-sletnu stazu 05 i dolaze iz pravca Dubrovnika lete po ruti SIPAL5G. Zrakoplovi koji dolaze iz Napulja i Rima lete po ruti VAPUP2A i slijeću na uzletno-sletnu stazu u pravcu 05. Zrakoplovi koji slijeću na uzletno-stazu u pravcu 05 i dolaze iz smjera Engleske, Irske, Njemačke, Švicarske, Austrije, Norveške, Švedske, Finske, Poljske, Češke, Rusije i Zagreba lete po ruti TORPO4C. Zrakoplovi koji polijeću u pravcu 23 i odlaze prema New York-u, Francuskoj, Nizozemskoj, Engleskoj, Švicarskoj i Italiji leta po ruti TORPO8E. Zrakoplovi koji polijeću u pravcu 23 i odlaze prema Zadru, Zagrebu, Češkoj, Austriji, Njemačkoj i Švedskoj lete po ruti SIRMI2E. Dok zrakoplovi koji polijeću sa praga 23 prema Španjolskoj i Italiji lete po ruti KEMIX3A. Na Grafikonima 8. i 9. mogu se grafički vidjeti postoci STAR i SID ruta prema kojima su zrakoplovi letjeli. Može se vidjeti da je čak 68% letova u dolasku letjelo po STAR ruti TORPO4C, dok je u odlasku čak 69% letova letjelo po SID ruti TORPO7D.



Grafikon 8. Udio letova na STAR rutama



Grafikon 9. Udio letova na STAR rutama

## 6.8. Kreiranje procedura leta zrakoplova

Sljedeći korak kod izrade studije je kreiranje vertikalnih profila letova. Najprije se za svaki tip zrakoplova kreira STANDARD procedura leta kod prilaza i odlaska. Nakon toga, kako bi ispitali u kojoj mjeri procedure za smanjenje buke mogu utjecati na smanjenje razine buke u okolini zračne luke, kreirane su CLOSEIN i DISTANT procedure leta. CLOSEIN i DISTANT procedure su tipovi ICAO NADP 1 i 2 procedura, tj. procedura za smanjenje buke koje su prethodno objašnjene u poglavlju 4.3. Na osnovi uputa danih u INM korisničkom priručniku, procedure za smanjenje buke su kreirane samo za veće zrakoplove sa dva ili više turbomlazna motora i

maksimalne bruto težine polijetanja preko 75.000 lb. To su zrakoplovi A319, A320, A321, B737-300, B737-600, B737-700, B737-800, B737-900, DHC8 i F10062. U Tablici 6. prikazana je statistika procedura zrakoplova za svaki tip zrakoplova u ovoj studiji. Iz tablice se vidi postotak uključenosti svakog tipa zrakoplova u operacijama slijetanja i polijetanja. Iako je u izradi ovog rada modelirana procedura za smanjenje buke samo za veće zrakoplove, njihov udio u ukupnom broju operacija je preko 72% za operacije slijetanja, te preko 94% za operacije polijetanja.

Tablica 6. Statistika procedura zrakoplova

|                 | CDA    | CLOSEIN | DISTANT | STANDARD | APP        | DEP        | % APP  | % DEP  |
|-----------------|--------|---------|---------|----------|------------|------------|--------|--------|
| <b>A319-131</b> | +      | +       | +       | +        | 14         | 16         | 13,33% | 14,95% |
| <b>A320-211</b> | +      | +       | +       | +        | 37         | 37         | 35,24% | 34,58% |
| <b>A321-232</b> | +      | +       | +       | +        | 6          | 6          | 5,71%  | 5,61%  |
| <b>B737-300</b> | -      | +       | +       | +        | 1          | 1          | 0,95%  | 0,93%  |
| <b>B737-600</b> | -      | +       | +       | +        | 1          | 1          | 0,95%  | 0,93%  |
| <b>B737-700</b> | -      | +       | +       | +        | 2          | 2          | 1,90%  | 1,87%  |
| <b>B737-800</b> | +      | +       | +       | +        | 18         | 18         | 17,14% | 16,82% |
| <b>B737-900</b> | +      | +       | +       | +        | 1          | 1          | 0,95%  | 0,93%  |
| <b>CNA680</b>   | -      | -       | -       | +        | 1          | 1          | 0,95%  | 0,93%  |
| <b>DHC8</b>     | -      | +       | +       | +        | 10         | 10         | 9,52%  | 9,35%  |
| <b>CNA510</b>   | -      | -       | -       | +        | 1          | 1          | 0,95%  | 0,93%  |
| <b>F10062</b>   | -      | +       | +       | +        | 1          | 1          | 0,95%  | 0,93%  |
| <b>BD700</b>    | -      | -       | -       | +        | 1          | 1          | 0,95%  | 0,93%  |
| <b>CNA208</b>   | -      | -       | -       | +        | 1          | 1          | 0,95%  | 0,93%  |
| <b>BAE300</b>   | -      | +       | +       | +        | 8          | 8          | 7,62%  | 7,48%  |
| <b>CNA750</b>   | -      | -       | -       | +        | 1          | 1          | 0,95%  | 0,93%  |
| <b>BD100</b>    | -      | -       | -       | +        | 1          | 1          | 0,95%  | 0,93%  |
|                 | 72,37% | 94,66%  | 94,66%  | 100%     | <b>105</b> | <b>107</b> | 100%   | 100%   |

Standardna procedura prilaza i odlaska automatski je kreirana u INM programu za svaki tip zrakoplova. Osnovna pravila za kreiranje proceduralnih profila leta podrazumijevaju sljedeće:

- nadmorska visina izražena je u stopama (metrima),
- horizontalna udaljenost izražena je u stopama (metrima),
- brzina je izražena u čvorovima (km/h) i koristi se kalibrirana brzina (engl. *Calibrated airspeed* – CAS) i
- kutovi penjanja i spuštanja izraženi su u stupnjevima i uvijek su pozitivni [29].

Za kreiranje CLOSEIN i DISTANT profila koristi se standardni profil odlaska. Koraci u izradi CLOSEIN profila su sljedeći:

- potrebno je kreirati novi identifikator profila pod nazivom CLOSEIN. Koristi se ista težina zrakoplova kao i kod standardne procedure odlaska,
- zatim se kopiraju svi koraci iz standardne procedure odlaska (obično ima 9 ili 10 koraka),
- u novo kreiranom profilu u drugom koraku promijeni se nadmorska visina s 1000 ft na 800 ft,
- u trećem koraku zrakoplov penje na 3000 ft koristeći smanjenji potisak i konfiguraciju zakrilaca za polijetanje,
- u četvrtom, petom i šestom koraku zrakoplov ubrzava i postavlja se opcija maksimalnog penjanja (engl. *MaxClimb*), postavke zakrilaca i vrijednosti brzine penjanja ostaju iste kao i kod standardne procedure,
- u koracima sedam, osam i devet zrakoplov maksimalno penje na visine 5500 ft, 7500 ft i 10 000ft.

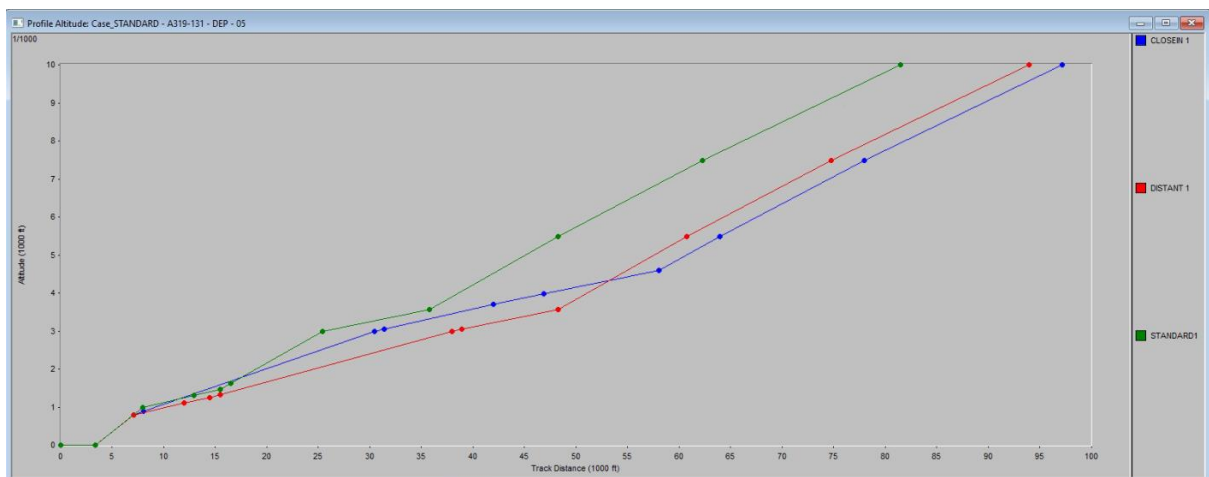
Koraci u izradi DISTANT profila su sljedeći:

- potrebno je kreirati novi identifikator profila pod nazivom DISTANT, koristi se ista težina zrakoplova kao i kod standardne procedure odlaska,
- zatim se kopiraju svi koraci iz standardne procedure odlaska (obično ima 9 ili 10 koraka),
- u novo kreiranom profilu u drugom koraku promijeni se nadmorska visina s 1000 ft na 800 ft,
- u šestom koraku (ponekada je to korak pet) mijenja se opcija maksimalnog penjanja u minimalni potisak, zrakoplov penje do 3000 ft bez zakrilaca,
- ostali koraci se ostavljaju takvi kakvi jesu u standardnom profilu [29].

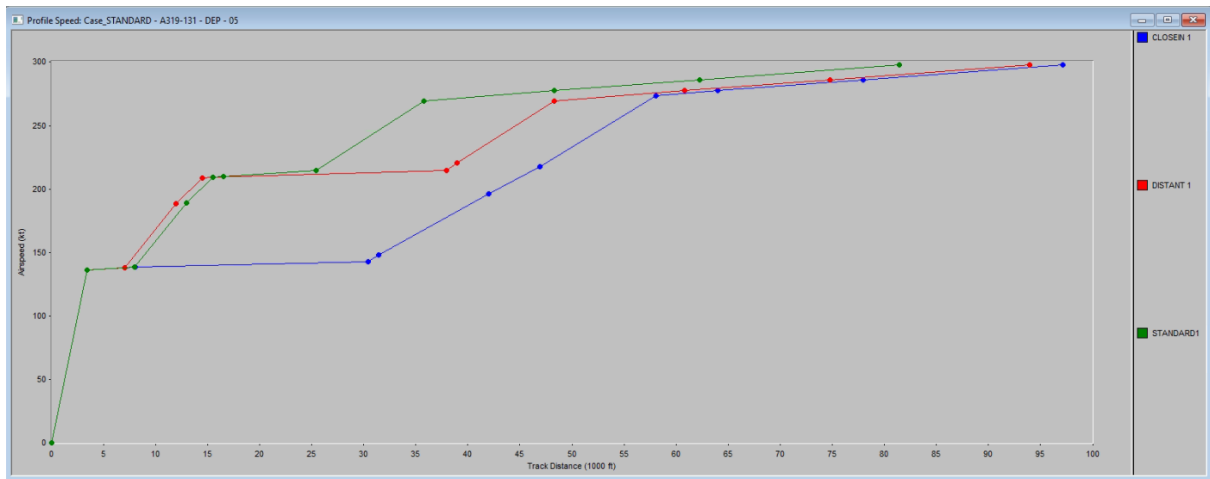
Za zrakoplove A319, A320, A321 i B738 kreirani su i profili kontinuiranog spuštanja (CDA). Kod ove vrste profila zrakoplovi počinju kontinuirano spuštati sa visine od 6000 ft bez perioda krstarenja na istoj visini.



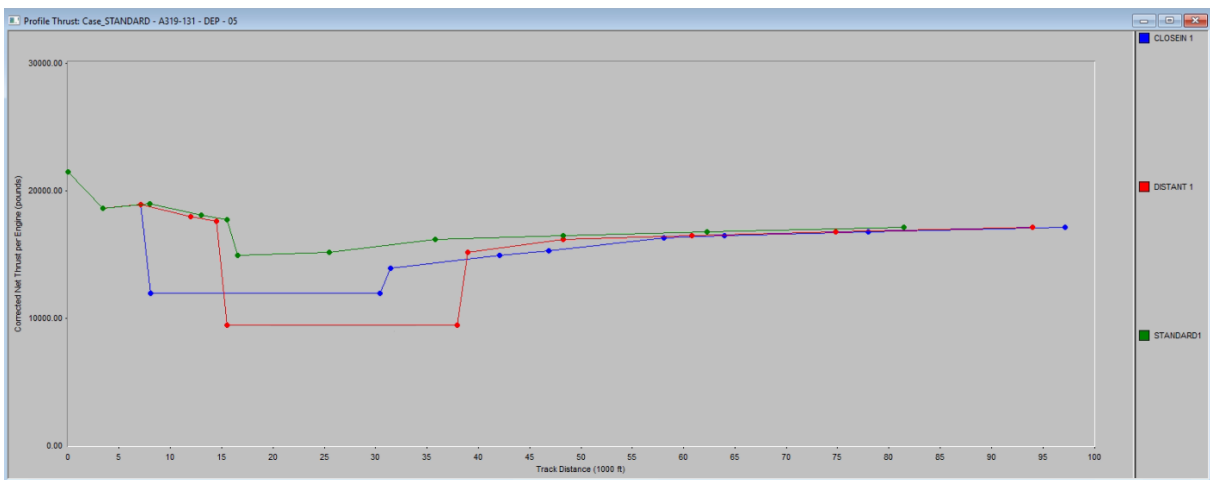
Na Slikama 28., 29. i 30. prikazane su usporedbe grafova visine, brzine i potiska za standardnu, Closein i Distant proceduru odlazaka za zrakoplov A319-131. Zelenom bojom prikazane su vrijednosti u standardnoj proceduri, crvenom bojom vrijednosti u Distant proceduri i plavom bojom vrijednosti u Closein proceduri. Na Slikama 28., 29. i 30. x os označava udaljenost horizontalnog leta izraženog u stopama, dok y os na Slici 28. označava visinu, na Slici 29. brzinu, a na Slici 30. označava potisak. Iz grafova je vidljivo da zrakoplov leti na najvišoj visini u standardnoj proceduri. No iako on leti najviše njegova buka zrakoplova je i dalje najveća i to zato što mu je potisak veći nego u procedurama za smanjenje buke što se i može vidjeti na Slici 31. Na Slici 31. i 32. plavom bojom označene su vrijednosti u CDA proceduri, a crvenom bojom vrijednosti u standardnoj proceduri. Na Slici 31. x os označava udaljenost horizontalnog leta, a y os potisak, dok na Slici 32. x os također označava udaljenost horizontalnog leta, a y os visinu.



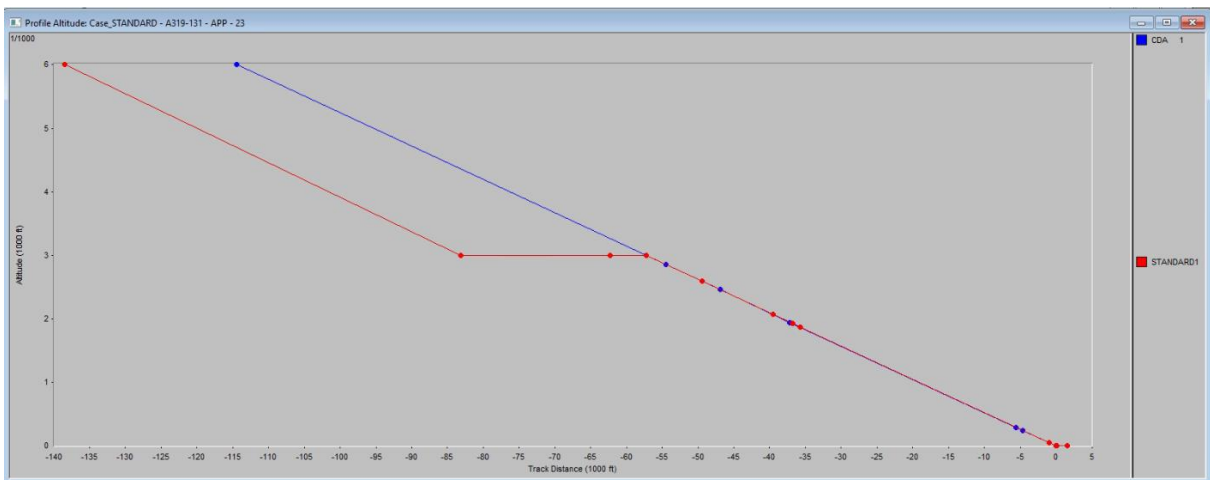
Slika 28. Usporedba visina u različitim procedurama za A319-131



Slika 29. Usporedba brzina u različitim procedurama za A319-131

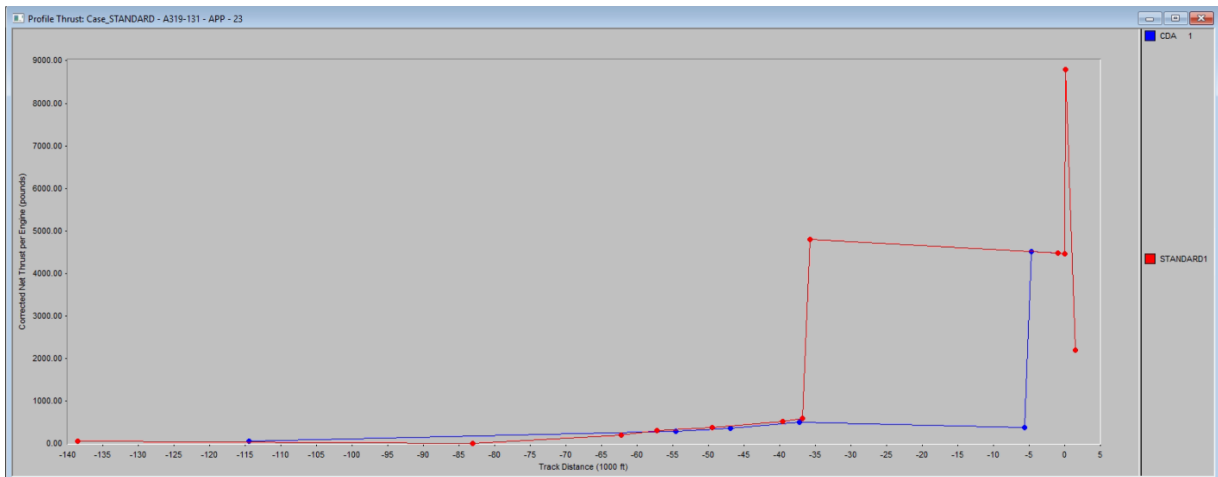


Slika 30. Usporedba potisaka u različitim procedurama za A319-131



Slika 31. Usporedba visina u stadardnoj i CDA proceduri prilaza za A319-131

Na Slici 32. može se vidjeti kako vizualno izgleda profil leta za A319-131 u standardnoj i CDA proceduri prilaza. Kod standardnog prilaza, vidi se stepenasto spuštanje zrakoplova, dok se kod CDA procedure vidi kako zrakoplov kontinuirano spušta na slijetanje čime se smanjuje proizvedena buka zrakoplova. Jedan od razloga tome je potisak, koji je kod CDA procedure drastično slabiji nego što je to slučaj kod standardnog prilaza. Usporedba potisaka može se vidjeti na Slici 32.



Slika 32. Usporedba potisaka u standardnoj i CDA proceduri prilaza za A319-131

## 6.9. Dodjeljivanje operacija zrakoplovima

Sljedeći korak bio je definiranje operacija zrakoplova. Svakom tipu zrakoplova na svakoj ruti kod svakog profila procedure potrebno je postaviti broj letova preko dana, večeri i noći. Unutar svakog slučaja kreirana je datoteka s operacijama zrakoplova. U Tablici 7. prikazani su podaci o operacijama za STAR i SID rute za svaki tip zrakoplova za određene periode tokom analiziranog dana.

## 6.10. Pokretanje proračuna

Nakon unosa i kreiranja svih potrebnih i prikupljenih podataka za modeliranje buke, potrebno je kreirati mrežu konture, populacije i lokacije za svaki scenarij. INM preračunava buku na određenim lokacijama prema unesenim definicijama točaka mreže koja se postavila, te sprema te rezultate za svaki scenarij. Konturna rešetka uključuje pravokutnu mrežu koja postoji samo jedna po scenariju. U opcijama za pokretanje studije (engl. *Run options*) definira se veličina kojom će se proračunati buka. Za našu studiju odabrali smo  $L_{den}$  i  $L_{night}$  proračune.

Preko *Run start* opcije, INM je započeo proračun rezultata, koji su analizirani u sljedećem poglavlju.

Tablica 7. Prikaz operacija za svaki tip zrakoplova i SID i STAR rutu

| A/C            | DAN | VEČER | NOĆ |
|----------------|-----|-------|-----|
| <b>TORPO7D</b> |     |       |     |
| A319           | 3   | 4     | 3   |
| A320           | 13  | 7     | 3   |
| A321           | 2   | 3     | 0   |
| B733           | 0   | 1     | 0   |
| B736           | 0   | 1     | 0   |
| B737           | 1   | 1     | 0   |
| B738           | 9   | 6     | 0   |
| CNA680         | 1   | 0     | 0   |
| CNA750         | 1   | 0     | 0   |
| DHC8           | 5   | 1     | 0   |
| CNA208         | 1   | 0     | 0   |
| BAE300         | 5   | 3     | 0   |
| <b>KEMIX3A</b> |     |       |     |
| A320           | 1   | 0     | 0   |
| CNA510         | 1   | 0     | 0   |
| B738           | 1   | 0     | 0   |
| A319           | 1   | 0     | 0   |
| <b>TORPO8E</b> |     |       |     |
| A319           | 1   | 0     | 0   |
| A320           | 7   | 0     | 0   |
| B738           | 2   | 0     | 0   |
| BD100          | 1   | 0     | 0   |
| DHC8           | 1   | 0     | 0   |
| BD700          | 1   | 0     | 0   |
| <b>SIRMIZE</b> |     |       |     |
| A319           | 4   | 0     | 0   |
| A320           | 5   | 0     | 0   |
| A321           | 1   | 0     | 0   |
| B738           | 2   | 0     | 0   |
| DHC8           | 3   | 0     | 0   |
| BD100          | 1   | 0     | 0   |

| A/C            | DAN | VEČER | NOĆ |
|----------------|-----|-------|-----|
| <b>OKLAX3D</b> |     |       |     |
| A319           | 5   | 0     | 0   |
| A320           | 10  | 0     | 0   |
| A321           | 1   | 0     | 0   |
| B733           | 1   | 0     | 0   |
| B738           | 3   | 0     | 0   |
| DHC8           | 4   | 0     | 0   |
| BD700          | 1   | 0     | 0   |
| BD100          | 1   | 0     | 0   |
| BAE300         | 1   | 0     | 0   |
| CNA510         | 1   | 0     | 0   |
| F10062         | 1   | 0     | 0   |
| <b>VAPUP2A</b> |     |       |     |
| A320           | 1   | 0     | 1   |
| <b>SIPAL5G</b> |     |       |     |
| A319           | 1   | 0     | 0   |
| A320           | 0   | 1     | 0   |
| B738           | 0   | 0     | 1   |
| <b>TORPO4C</b> |     |       |     |
| A319           | 2   | 5     | 1   |
| A320           | 15  | 9     | 0   |
| A321           | 3   | 2     | 0   |
| B737           | 2   | 1     | 0   |
| B738           | 10  | 5     | 0   |
| DHC8           | 4   | 2     | 0   |
| BAE300         | 5   | 2     | 0   |
| CNA208         | 1   | 0     | 0   |
| CNA608         | 1   | 0     | 0   |
| CNA750         | 1   | 0     | 0   |

## 7. Analiza utjecaja promjene procedura na izloženost stanovništva buci

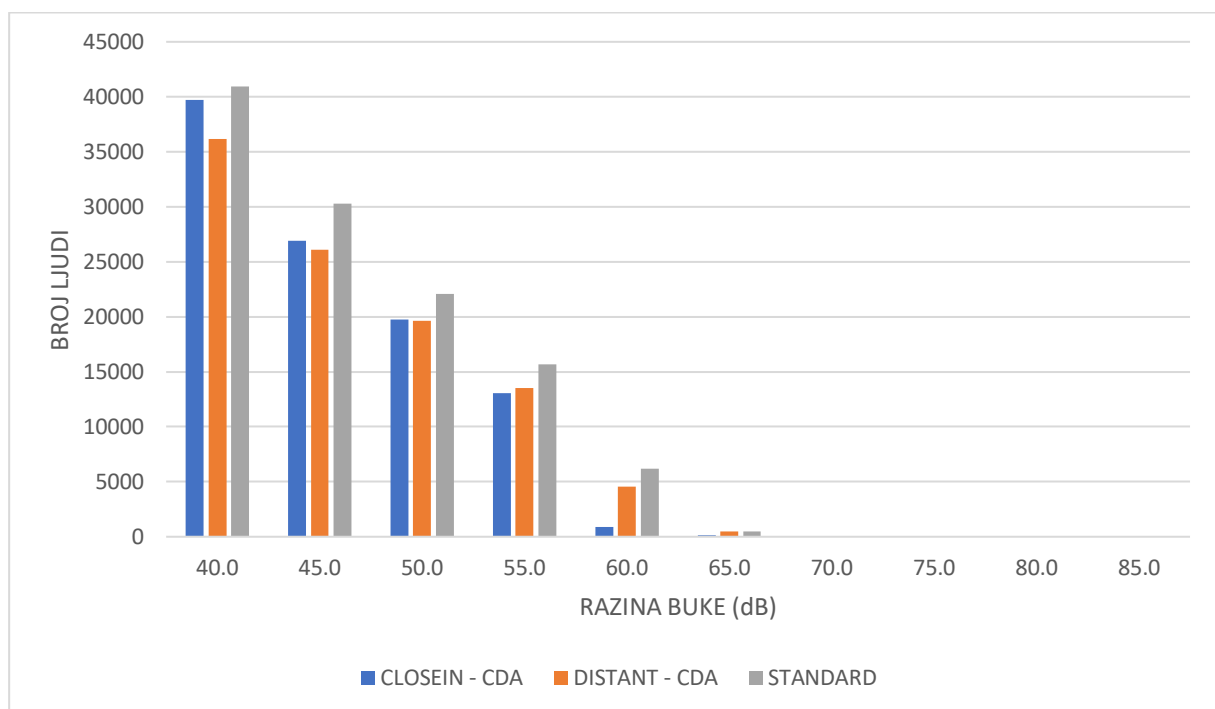
S ciljem rješavanja problema povećane buke zrakoplova oko zračne luke Split, u ovom diplomskom radu modelirana je buka nastala prilikom leta zrakoplova u proceduri za smanjenje buke. Kreirani su scenariji za standardne procedure leta i za procedure leta kontinuiranog spuštanja, ali i procedure za smanjenje buke (*closein* i *distant* procedure odlazaka). Nakon unosa potrebnih parametara dobiveni su rezultati u INM programu.

### 7.1. Analiza karte buke

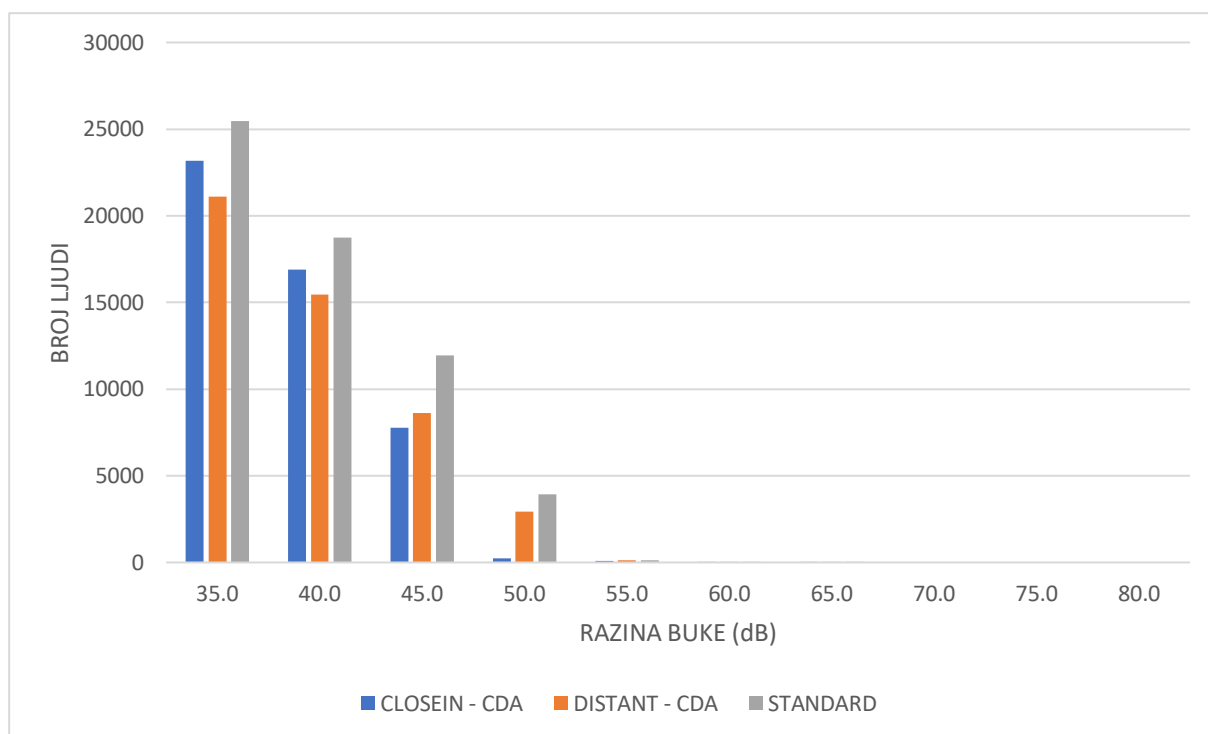
Za svaki scenarij dobivena je karta kontura buke. Na svakoj karti mogu se vidjeti konture za određenu razinu buke. Za  $L_{den}$  označene su razine od 40 dB do 85 dB, a kod  $L_{night}$  označene su razine od 35 dB do 80 dB. Na Slikama 33, 34 i 35. prikazane su  $L_{den}$  karte buke za Closein, Distant i Standard scenarij, slijedno. Pored toga, na Slikama 36, 37 i 38. dat je prikaz  $L_{night}$  kontura buke za pomenuta tri scenarija. Prema dobivenim rezultatima može se usporediti za koliko se buka smanji ili poveća, te za koliko se površine kontura buke smanje ili povećaju ako se primijene procedure za smanjenje buke. Usporedba se može napraviti za  $L_{den}$  i  $L_{night}$  konturu buke i za svaku razinu buke u određenom scenariju.

Sa slika i iz proračunatih rezultata dobiveno je da se površina konture buke za razinu  $L_{den}$  40 dB poveća za 3% ako se primijeni procedura Closein – CDA u odnosu na standardni scenarij. Ako se primijeni Distant – CDA procedura površina konture buke će se smanjiti za 1,5% u odnosu na površinu konture buke za standardnu proceduru. Kada se promatra postotak stanovništva koji je izložen buci, prilikom primjene Closein – CDA procedure kod  $L_{den}$  40 dB, postotak stanovništva smanji se za 3% u odnosu na standardnu proceduru. Taj broj se smanji za čak 11,62% ako se primijeni Distant – CDA procedura. Iz rezultata je vidljivo da je unatoč povećanju površine konture buke kod Closein – CDA procedure broj izloženog stanovništva buci smanjen u odnosu na standardnu proceduru. Površina konture buke je veća zbog niže visine zrakoplova u odnosu na standardni profil što se može vidjeti sa Slike 28., dok je broj ugroženih ljudi manji zbog smanjenog potiska u odnosu na standardni profil što je vidljivo sa Slike 30. Iz Grafikona 10. može se vidjeti koliki broj stanovnika je ugrožen određenom razinom buke u tri različita scenarija.

Kod  $L_{night}$  35 dB slučaja, ako se primijeni Closein – CDA procedura kontura buke se poveća za 5% u odnosu na standardnu. S druge strane, ako se primijeni Distant - CDA procedura, površina se smanji za 6% u odnosu na standardnu proceduru. U  $L_{night}$  scenariju primjenom Closein – CDA procedure broj izloženog stanovništva smanji se za 8,91%, dok se primjenom Distant – CDA procedure smanji za 17,12%. Iz Grafikona 11. može se vidjeti broj ugroženog stanovništva različitim  $L_{night}$  razinama za svaka tri scenarija. U ovom scenariju se također javlja slučaj gdje je površina konture buke za Closein – CDA veća u odnosu na standardni, no broj izloženog stanovništva buci je manji.



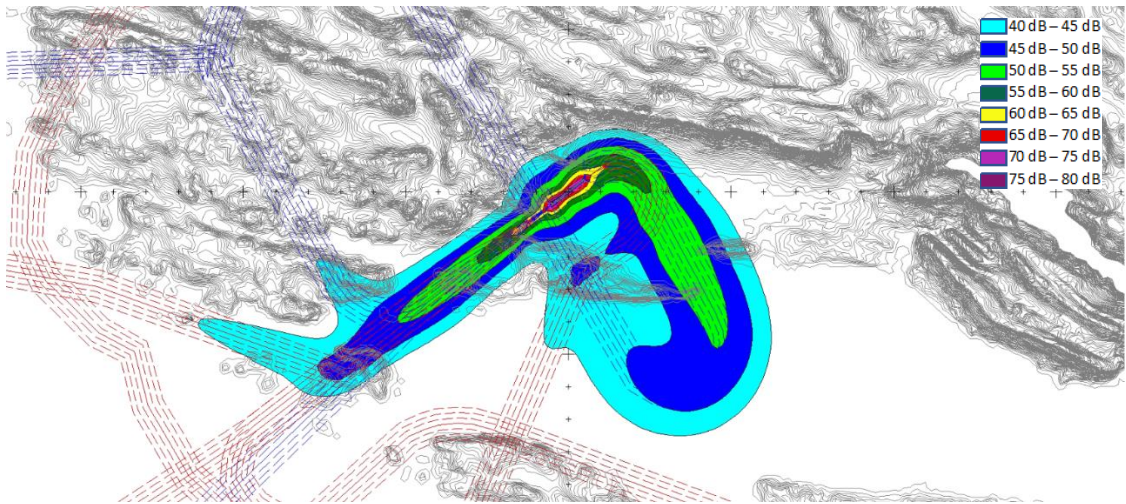
Grafikon 10. Broj ljudi ugrožen  $L_{den}$  bukom kod različitih procedura leta zrakoplova



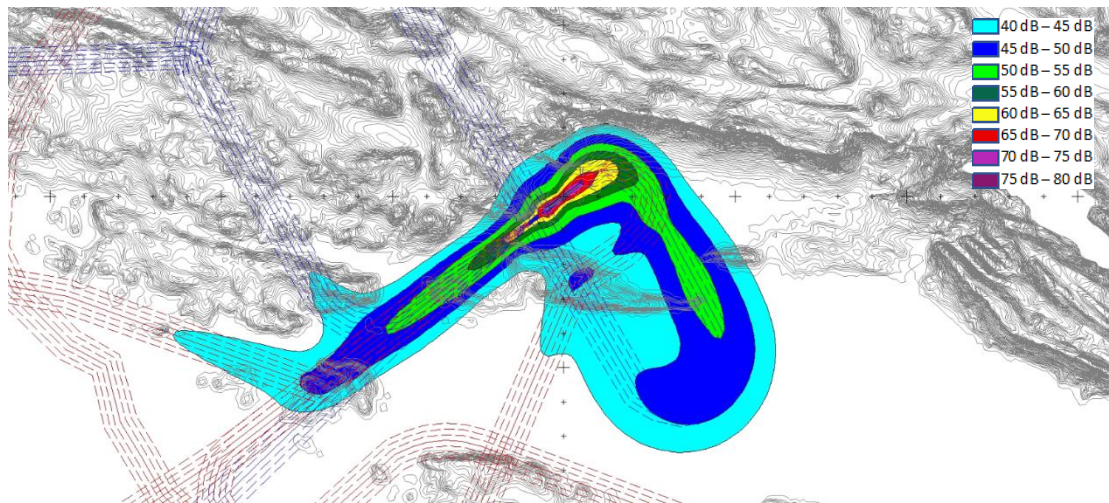
Grafikon 11. Broj ljudi ugrožen  $L_{night}$  bukom kod različitih procedura leta zrakoplova

Iz Grafikona 10. i 11. može se dobro uočiti razlika između CLOSEIN – CDA i DISTANT – CDA procedura. Broj ljudi koji je izložen višim razinama buke (npr. 60 dB), koje su karakteristične za područje u neposrednoj blizini zračne luke je znatno niži za CLOSEIN – CDA scenarij u odnosu na DISTANT – CDA scenarij. S druge strane, broj ljudi koji je izložen nižim razinama buke (npr. 40 dB), koje su karakteristične za područja udaljenija od zračne luke, je niži za DISTANT – CDA scenarij u odnosu na CLOSEIN – CDA scenarij. Isto se može zaključiti analizom postotaka promjene površina različitih razina buke prikazanih u Tablici 8.

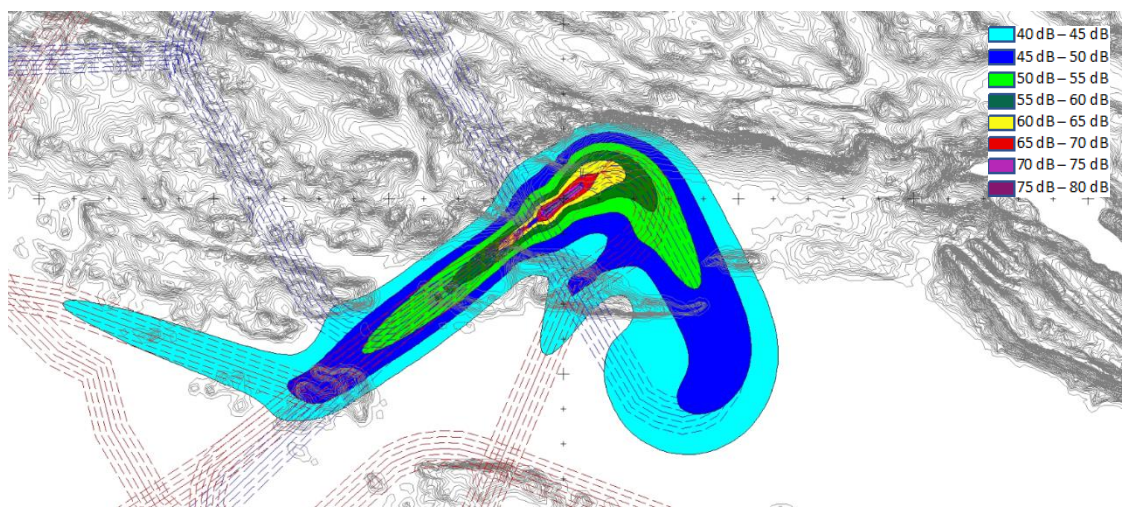




Slika 33. Konture buke za  $L_{den}$  CLOSEIN

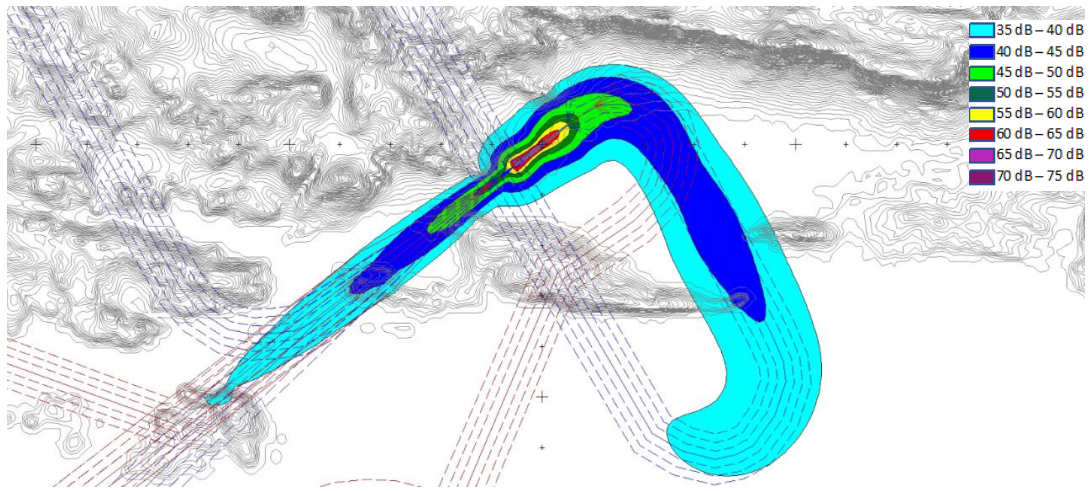


Slika 34. Konture buke za  $L_{den}$  DISTANT

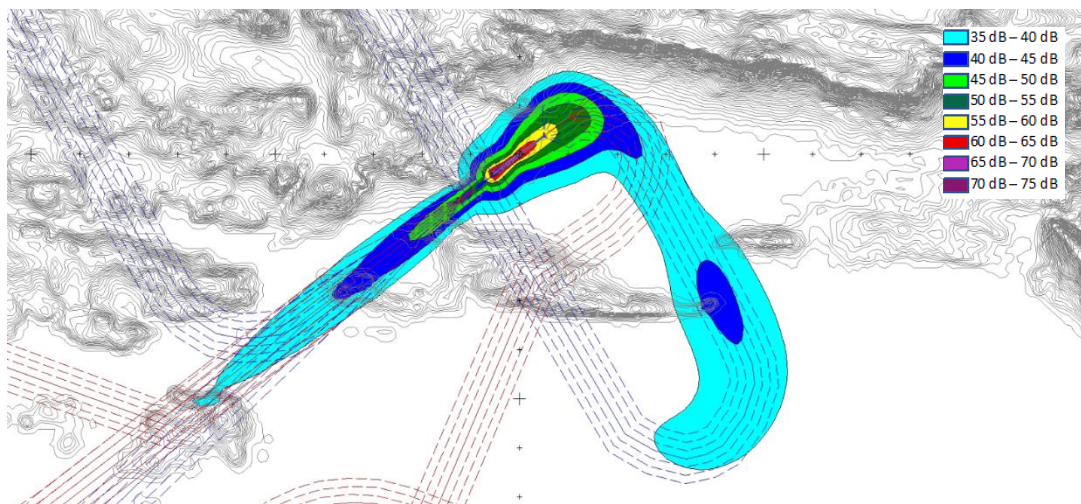


Slika 35. Konture buke za  $L_{den}$  STANDARD

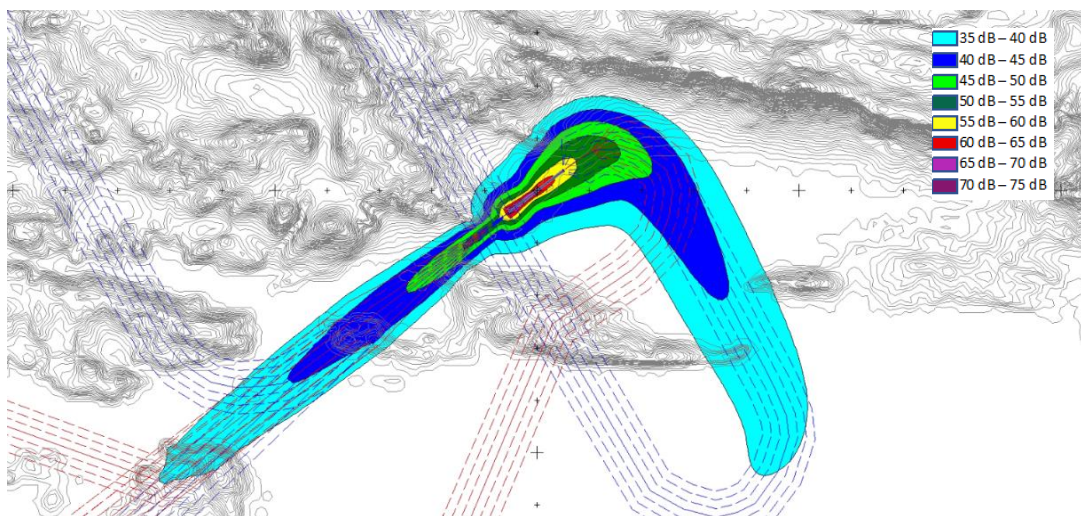




Slika 36. Konture buke za  $L_{\text{night}}$  CLOSEIN



Slika 37. Konture buke za  $L_{\text{night}}$  DISTANT



Slika 38. Konture buke za  $L_{\text{night}}$  STANDARD

Tablica 8. Usporedba površina kontura buke i broja ljudi izloženih različitim razinama buke za procedure CLOSEIN i DISTANT u odnosu na standardnu proceduru

| Razina buke (dB) | Lden              |                           |                   |                           |
|------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|
|                  | CLOSEIN - CDA     |                           | DISTANT - CDA     |                           |
|                  | promjena površine | promjena broja stanovnika | promjena površine | promjena broja stanovnika |
| 40 - 45          | 3,00%             | -3,00%                    | -1,50%            | -11,62%                   |
| 45 - 50          | 8,00%             | -11,20%                   | -1,70%            | -13,89%                   |
| 50 - 55          | 6,00%             | -10,64%                   | -11,00%           | -11,00%                   |
| 55 - 60          | -29,00%           | -16,83%                   | -23,00%           | -13,93%                   |
| 60 - 65          | -39,00%           | -85,57%                   | -8,00%            | -26,15%                   |
| 65 - 70          | -23,00%           | -76,10%                   | 0,70%             | 8,17%                     |
| 70 - 75          | -3,00%            | -12,73%                   | 0,50%             | 0,00%                     |
| 75 - 80          | -0,80%            | 0,00%                     | 0,00%             | 0,00%                     |
| 80 - 85          | -0,60%            | 0,00%                     | 0,00%             | 0,00%                     |
| > 85             | 0,00%             | 0,00%                     | 0,00%             | 0,00%                     |
|                  | Lnight            |                           |                   |                           |
|                  | CLOSEIN - CDA     |                           | DISTANT - CDA     |                           |
|                  | promjena površine | promjena broja stanovnika | promjena površine | promjena broja stanovnika |
| 35 - 40          | 5,00%             | -8,91%                    | -6,00%            | -17,12%                   |
| 40 - 45          | -6,00%            | -9,91%                    | -27,00%           | -17,56%                   |
| 45 - 50          | -33,00%           | -34,78%                   | -16,00%           | -27,89%                   |
| 50 - 55          | -44,00%           | -94,26%                   | -6,00%            | -25,61%                   |
| 55 - 60          | -20,00%           | -45,83%                   | 2,00%             | -3,47%                    |
| 60 - 65          | -0,80%            | 0,00%                     | 0,10%             | 0,00%                     |
| 65 - 70          | -0,30%            | 0,00%                     | -0,30%            | 0,00%                     |
| 70 - 75          | 0,00%             | 0,00%                     | 0,00%             | 0,00%                     |
| 75 - 80          | 0,00%             | 0,00%                     | 0,00%             | 0,00%                     |
| > 80             | 0,00%             | 0,00%                     | 0,00%             | 0,00%                     |

## 7.2. Analiza izloženosti stanovništva buci

Europska komisija donijela je odluku da sve članice Europske unije moraju koristiti  $L_{den}$  i  $L_{night}$  indikatore kako bi se pratila buka zrakoplova koja utječe na stanovništvo [8]. Za ocjenu uznemiravanja i štetnih efekata buke primijenjuje se odnos doza buka - efekt. On predstavlja vezu između ometanja buke i  $L_{den} / L_{night}$  indikatora u zračnom prometu. Za izračun postotka stanovništva ugroženog bukom tijekom dana koristi se formula:

$$\%AR_{HR,air} = (-50,9693 + 1,0168 * L_{den} + 0,0072 * L_{den}^2) / 100, \quad (13)$$

gdje je  $\%AR_{HR,air}$  = postotak jako ugroženog stanovništva tokom dana.

Za izračun postotka stanovništva ugroženog tijekom noći koristi se formula:

$$\%AR_{HSD,air} = (16,7885 - 0,9293 * L_{night} + 0,0198 * L_{night}^2) / 100, \quad (14)$$

gdje je  $\%AR_{HSD,air}$  = postotak jako ugroženog stanovništva tokom noći, čiji je san ugrožen bukom [30].

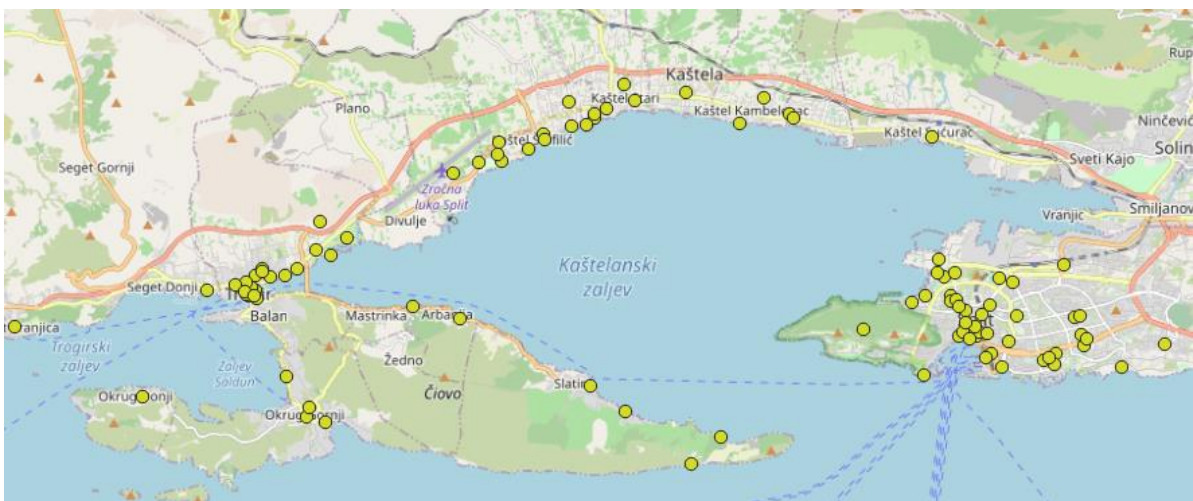
Nakon što su dobiveni rezultati modeliranja buke za svaku točku, prema prethodno navedenim formulama izračunat je postotak ugroženih ljudi bukom u svakoj točki. Kako nam je već poznat broj stanovnika u svakoj točki, kada se on pomnoži sa  $\%AR_{HR,air} / \%AR_{HSD,air}$  dobije se broj jako ugroženih stanovnika u odabranoj točki. Za svaki scenarij, odnosno za svaku proceduru, je potom izračunat ukupan broj ljudi jako ugrožen bukom tijekom dana i tijekom noći. Rezultati su prikazani u Tablici 9. Od ukupno 372.727 ljudi na testiranom području, vidljivo je da je broj jako ugroženih stanovnika tijekom dana kod standardne procedure 8559, kod Closein – CDA procedure 7265, a kod Distant – CDA procedure 7399. U postocima, kada se primijeni Closein – CDA procedura broj jako ugroženih ljudi se smanji za 15%, dok se primjenom Distant – CDA procedure broj jako ugroženih ljudi smanji za 13,6% u odnosu na broj ugroženih ljudi u standardnoj proceduri. Što se tiče broja jako ugroženih ljudi čiji je san ugrožen tijekom noći, u standardnoj proceduri on iznosi 3776, u Closein – CDA 3103, a u Distant – CDA 3075. Primjenom Closein – CDA procedure broj se smanji za 17,8%, a primjenom Distant – CDA procedure za 18,6% u odnosu na broj jako ugroženih ljudi tijekom noći u standardnoj proceduri.

Tablica 9. Ukupan broj jako ugroženog stanovništva tokom dana i noći

|                    | <b>Broj jako ugroženog stanovništva bukom tijekom dana</b> | <b>Broj jako ugroženog stanovništva bukom tijekom noći</b> |
|--------------------|--|--|
| <b>CLOSEIN-CDA</b> | 7265   | 3103   |
| <b>DISTANT-CDA</b> | 7399   | 3075   |
| <b>STANDARD</b>    | 8559   | 3776   |

### 7.3. Analiza buke u objektima od javnog značaja

Ustanove kao što su bolnice, domovi zdravlja, vrtići i škole jako su osjetljive na buku. Stoga je potrebno da te ustanove budu zaštićene od buke na najbolji mogući način. Zračna luka dužna je voditi računa o mjerama zaštite, bilo uvođenjem novih procedura, zvučnih izolacija ili nečeg trećeg. U ovom potpoglavlju analizirana je buka u točkama od javnog značaja, te su dobiveni rezultati uspoređeni sa graničnim dopuštenim vrijednostima. Na Slici 39. prikazane su lokacije analiziranih objekata od javnog značaja, iz koje se mogu vidjeti njihove pozicije u odnosu na zračnu luku Split.



Slika 39. Objekti od javnog značaja

U Tablici 10. prikazane su najviše dopuštene razine buke na otvorenom prostoru. Vrijednosti navedene u tablici odnose se na ukupnu razinu buke od svih postojećih i planiranih izvora buke zajedno. Prema pravilniku razina buke u opisanim prostorima ne smije prelaziti dopuštene razine buke navedene u Tablici 10. [31].

Tablica 10. Najviše dopuštene ocjenske razine buke u otvorenom prostoru, IZVOR: [31].

| ZONA<br>BUKE | Namjena prostora   | Najviše dopuštene ocjenske razine buke u dB(A)  |                    |
|--------------|--|---|--------------------|
|              |  | L <sub>day</sub>  | L <sub>night</sub> |
| 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 niti jednu dopuštenu razinu zone s kojom graniči |                    |

Postoje pet dodijeljenih zona buke sa različitom namjenom. U našem slučaju neke od razmatranih lokacija mogu pripadati u više zona. U prvu zonu, zonu namijenjenu odmoru, oporavku i liječenju, svrstili smo bolnice i domove zdravlja. U drugu zonu, zonu namijenjenu samo stanovanju i boravku, svrstili smo hotele, apartmane i stanove. U treću zonu, zonu mješovite, pretežito stambene namjene, svrstili smo škole, vrtiće, fakultete, crkve i plaže. Budući da u tim ustanovama nitko ne boravi noću, a granična  $L_{\text{night}}$  vrijednost je viša u odnosu na drugu zonu odlučili smo ih svrstiti u treću zonu. U četvrtu zonu, zonu mješovite, pretežito poslovne namjene sa stanovanjem, svrstili smo gradske trgove, muzeje, Dioklecijanovu palaču, autobusni kolodvor i kazalište. Za proračun, s ciljem usporedbe razina buke u navedenim ustanovama, potrebno je koristiti  $L_{\text{day}}$  i  $L_{\text{night}}$  parametre. Uz proračun razine buke u standardnoj proceduri, modelirat će se i buka u procedurama Closein – CDA i Distant – CDA u točkama od javnog značaja. Neke od lokacija koje su uzete za analizu navedene su zajedno sa rezultatima  $L_{\text{day}}$  razina u Tablici 11. i sa rezultatima  $L_{\text{night}}$  razina u Tablici 12.



Tablica 11. Lokacije od javnog značaja u okolici zračne luke Split uz Lday rezultate

| <b>BROJ ZONE</b> | <b>IME OBJEKTA</b>   | <b>L<sub>DAY</sub> CLOSEIN</b> | <b>L<sub>DAY</sub> DISTANT</b> | <b>L<sub>DAY</sub> STANDARD</b> |
|------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 1                | 3. Crkva sv. Bartula   | 65,8                           | 65,8                           | 65,8                            |
| 2                | 3. Prirodni rezervat "Pantan"                                  | 62,9                           | 64,4                           | 64,2                            |
| 3                | 3. Crkvice Imena Marijina                                      | 63,0                           | 63,5                           | 63,5                            |
| 4                | 2. Hotel Adria   | 60,0                           | 63,1                           | 63,1                            |
| 5                | 3. Plaža Pantan  | 61,5                           | 63,0                           | 63,1                            |
| 6                | 3. Dječji vrtić Čarobni pianino Resnik                         | 59,3                           | 61,6                           | 61,7                            |
| 7                | 2. Hotel Trogirski Dvori                                       | 57,3                           | 59,7                           | 59,8                            |
| 8                | 3. Crkva Sv. Ivana Pavla II.                                   | 58,5                           | 59,3                           | 60,2                            |
| 9                | 2. Hotel Resnik  | 56,3                           | 58,8                           | 59,0                            |
| 10               | 3. Osnovna škola Bijaći Kaštel Novi                            | 56,8                           | 58,5                           | 59,2                            |
| 11               | 3. Srednja škola braća Radić Kaštel Štafilić                   | 54,3                           | 58,2                           | 58,4                            |
| 12               | 3. Gradska plaža Trogir  | 57,4                           | 57,7                           | 58,8                            |
| 13               | 2. Hotel Oktarin   | 53,4                           | 57,7                           | 57,9                            |
| 14               | 3. Plaža Bijačka Kaštel  | 53,3                           | 57,4                           | 57,6                            |
| 15               | 3. Metalingua Škola stranih jezika                             | 55,2                           | 57,3                           | 58,1                            |
| 16               | 1. Dom zdravlja Kaštela  | 52,4                           | 51,8                           | 53,5                            |
| 17               | 3. Dječji vrtić Kaštela  | 55,8                           | 56,4                           | 57,5                            |
| 18               | 3. Župa sv. Petra apostola                                     | 55,4                           | 56,4                           | 57,6                            |
| 19               | 3. Gimnazija Kaštel  | 55,7                           | 56,3                           | 57,4                            |
| 20               | 1. Psihijatrijska ordinacija Helena Dedić                      | 51,5                           | 50,8                           | 52,5                            |
| 21               | 3. Crkva sv. Nikole  | 55,7                           | 55,2                           | 56,4                            |
| 22               | 3. Dječji vrtić Maslačak                                       | 54,7                           | 54,9                           | 56,0                            |
| 23               | 3. OŠ Petra Berislavića  | 54,9                           | 54,3                           | 55,6                            |
| 24               | 3. Katedrala sv. Lovre   | 54,7                           | 54,2                           | 55,5                            |
| 25               | 1. Dom zdravlja splitsko-dalmatinska županija-ispostava Trogir | 50,0                           | 49,1                           | 51,1                            |
| 26               | 3. Crkva i samostan sv. Dominika, Trogir                       | 54,6                           | 54,0                           | 55,3                            |
| 27               | 3. Crkva Svih Svetih   | 54,3                           | 53,7                           | 55,0                            |
| 28               | 3. Crkva sv. Eustahije   | 49,1                           | 53,5                           | 54,1                            |

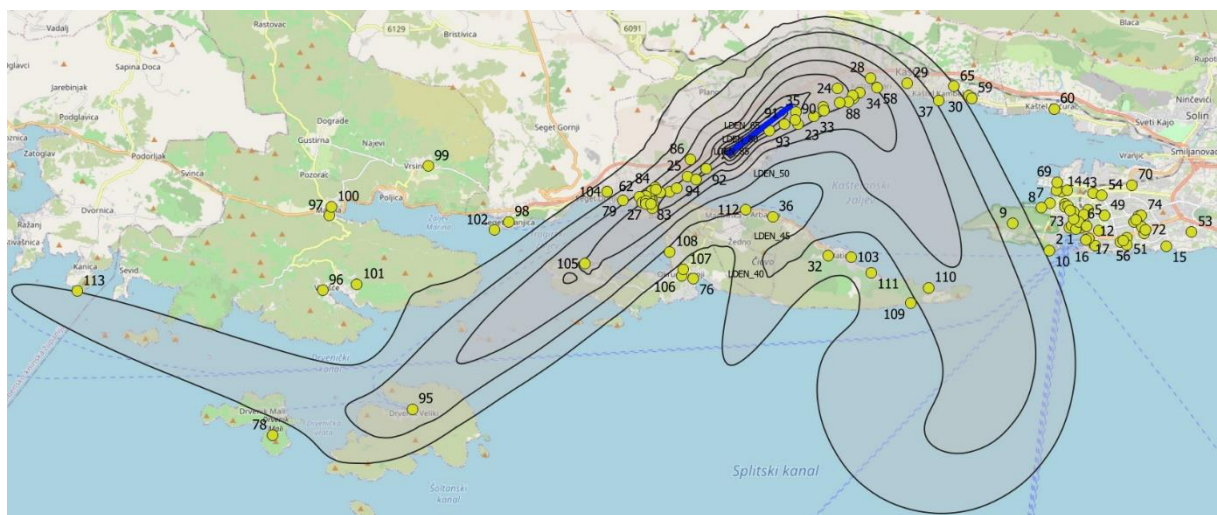
Tablica 12. Lokacije od javnog značaja u okolici zračne luke Split uz Lnight rezultate

| <b>BROJ ZONE</b> | <b>IME OBJEKTA</b>  | <b>LNIGHT CLOSEIN</b> | <b>LNIGHT DISTANT</b> | <b>LNIGHT STANDARD</b> |
|------------------|---|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 1                | 3. Crkva sv. Bartula  | 57,8                  | 57,8                  | 57,8                   |
| 2                | 3. Prirodni rezervat "Pantan"                                   | 53,1                  | 53,1                  | 53,1                   |
| 3                | 3. Crkvice Imena Marijina                                       | 53,5                  | 54,4                  | 54,4                   |
| 4                | 2. Hotel Adria  | 49,5                  | 55,0                  | 54,9                   |
| 5                | 3. Plaža Pantan   | 51,5                  | 51,5                  | 52,0                   |
| 6                | 3. Dječji vrtić Čarobni pianino Resnik                          | 48,6                  | 53,2                  | 53,3                   |
| 7                | 2. Hotel Trogirski Dvori  | 46,2                  | 46,2                  | 46,8                   |
| 8                | 3. Crkva Sv. Ivana Pavla II.                                    | 48,1                  | 48,1                  | 48,6                   |
| 9                | 2. Hotel Resnik   | 46,2                  | 50,7                  | 50,9                   |
| 10               | 3. Osnovna škola Bijaći Kaštel Novi                             | 45,4                  | 47,8                  | 50,0                   |
| 11               | 3. Srednja škola braća Radić Kaštel Štafilić                    | 45,1                  | 50,4                  | 50,5                   |
| 12               | 3. Gradska plaža Trogir   | 46,9                  | 46,9                  | 47,3                   |
| 13               | 2. Hotel Oktarin  | 44,5                  | 50,0                  | 50,1                   |
| 14               | 3. Plaža Bijačka Kaštel   | 44,4                  | 49,5                  | 49,8                   |
| 15               | 3. Metalingua Škola stranih jezika                              | 45,0                  | 47,5                  | 49,6                   |
| 16               | 1. Dom zdravlja Kaštela   | 41,0                  | 38,3                  | 42,4                   |
| 17               | 3. Dječji vrtić Kaštela   | 44,7                  | 43,4                  | 47,4                   |
| 18               | 3. Župa sv. Petra apostola                                      | 44,9                  | 44,5                  | 48,3                   |
| 19               | 3. Gimnazija Kaštel   | 44,8                  | 43,4                  | 47,4                   |
| 20               | 1. Psihijatrijska ordinacija Helena Dedić                       | 39,6                  | 39,6                  | 40,2                   |
| 21               | 3. Crkva sv. Nikole   | 45,0                  | 45,0                  | 45,6                   |
| 22               | 3. Dječji vrtić Maslačak  | 43,7                  | 43,7                  | 44,1                   |
| 23               | 3. OŠ Petra Berislavića   | 44,0                  | 44,0                  | 44,7                   |
| 24               | 3. Katedrala sv. Lovre  | 43,8                  | 43,8                  | 44,3                   |
| 25               | 1. Dom zdravlja splitsko-dalmatinska županija- ispostava Trogir | 37,8                  | 37,8                  | 38,5                   |
| 26               | 3. Crkva i samostan sv. Dominika, Trogir                        | 43,6                  | 43,6                  | 44,3                   |
| 27               | 3. Crkva Svih Svetih  | 43,2                  | 43,2                  | 43,9                   |
| 28               | 3. Crkva sv. Eustahije  | 33,3                  | 33,3                  | 33,3                   |

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da su lokacije blizu zračne luke Split izložene daleko većim razinama buke nego što je to dopušteno. Uzmimo za primjer Crkvu sv. Bartula. U toku dana izloženost buci na toj lokaciji iznosi 65,8 dB. Budući da smo nju svrstili u treću zonu, maksimalna dopuštena vrijednost tijekom dana iznosi 55 dB. Razina buke prelazi za čak 10,8 dB preko dopuštene vrijednosti. Budući da se crkva nalazi jako blizu zračne luke, primjenom procedura za smanjenje buke te vrijednosti se neće smanjiti. Za zaštitu od buke na toj lokaciji

potrebno je primijeniti neke druge mjere. Jedna od opcija dodatne zaštite od buke je zvučna izolacija.

Kako se radi o okolici turističkog karaktera, postoji veliki broj hotela, apartmana i plaža u blizini zračne luke. Iz rezultata je vidljivo da na tim lokacijama razina buke također prelazi dopuštene vrijednosti. Primjenom procedura za smanjenje buke, razina buke se na lokacijama nekih hotela smanji ispod dopuštenih vrijednosti, dok je kod nekih potrebna dodatna mjera zaštite. Domovi zdravlja i bolnice zahtjevaju dodatnu oprez zbog osjetljivosti pacijenata na bilo kakvu dodatnu nelagodu. Domovi zdravlja koji se nalaze bliže zračnoj luci, npr. Dom zdravlja Kaštela, prelaze dopuštenu vrijednost razine buke, no primjenom Distant procedure ta vrijednost se smanji na nešto manje prekoračenje graničnih vrijednosti.



Slika 40. Prikaz smještaja lokacija objekata od javnog značaja uz konturu buke  $L_{den}$  40 dB

U analizi su uzete lokacije i u gradu Splitu, prema kojima je zaključeno da velika većina lokacija od javnog značaja nije ugrožena bukom većom od dopuštenih vrijednosti. Navedeno se može vidjeti sa Slike 40. gdje su prikazane lokacije analiziranih objekata i kontura buke  $L_{den}$  40 dB za srstandardni scenarij. Iz konture je vidljivo da analizirani objekti u gradu Splitu nisu izloženi buci od 40 dB i samim time grad Split nije ugrožen bukom zrakoplova. S druge strane, iz konture je jasno vidljivo da su lokacije bliže zračnoj luci Split ugrožene bukom što su i potvrdili dobiveni rezultati modeliranja.

Za lokacije koje se nalazi bliže zračnoj luci, primjena Closein procedura imati će bolji rezultat na smanjenje buke nego primjena Distant procedure. Analizirane su i lokacije u gradu Trogiru



i na otoku Čiovu, gdje na nekim lokacijama buka prelazi dopuštene vrijednosti, no one se smanje ispod te granice kada se primjene procedure za smanjenje buke. Posebnu pozornost treba obratiti i na vrtiće i škole u blizini zračne luke, gdje je razina buke veća od dopuštene, a procedure za smanjenje buke zbog blizine lokacije ne pomažu.

Iz rezultata  $L_{\text{night}}$  proračuna vidljivo je da su crkve, vrtići i škole izložene buci većoj od dopuštenih 45 dB. Budući da se radi o noćnom periodu u kojem je većina tih ustanova prazna, štetnog utjecaja od buke na tim lokacijama nema. S druge strane postoje lokacije na kojima se nalaze ljudi koji su posebno osjetljivi na buku preko noći. Spomenute lokacije su hoteli, apartmani i bolnice koji su izloženi buci većoj od dopuštenih 40 dB. Većina navedenih hotela u Tablici 13. je i nakon primjene procedura za smanjenje buke izložena buci većoj od dopuštenih vrijednosti. Zaključujemo da je potrebno pronaći neka druga rješenja kako bi se štetan utjecaj povišenih razina buke smanjio. Dobiveni rezultati za sve analizirane lokacije prikazani su u Prilogu 2.

## 8. Zaključak

Budući da je buka nepoželjan i neizbježan dio zračnog prometa, naglasak na traženju načina smanjenja i regulacije iste je izrazito velik. Svaka zračna luka traži način regulacije kako da utjecaj buke na okolinu bude što manji. Neki od tih načina su operativni, tehnološki ili zakonski.

S ciljem da se usporede rezultati primjene procedura za smanjenje buke, kao jedan od načina regulacije buke, kreirana su tri scenarija. Za proračun buke korišten je INM program. Buka je modelirana za najprometniji dan u 2019. godini (03.08.2019.) na zračnoj luci Split. Navedenog dana obavljeno je 212 operacija, od čega 105 slijetanja i 107 polijetanja. U radu je analizirana buka zrakoplova emitirana prilikom standardnih operacija odlazaka i dolazaka i prilikom procedura za smanjenje buke (Closein – CDA i Distant – CDA).

U analizi su primijenjene odgovarajuće formule za izračun broja jako ugroženog stanovništva tijekom dana i broja jako ugroženog stanovništva tijekom noći za svaku proceduru. Dobiveni rezultati dali su vrijednosti  $L_{den}$  i  $L_{night}$  parametara za tri željena scenarija. Rezultati su pokazali da se broj ljudi ugrožen bukom zrakoplova u okolici zračne luke Split smanji ako zrakoplov leti po procedurama za smanjenje buke. Ako usporedimo dvije procedure za smanjenje buke, prema dobivenim rezultatima vidljivo je da se broj ugroženog stanovništva bukom smanji za 2% više ako se primjeni Closein – CDA procedura u odnosu na Distant – CDA proceduru.

Uz dobivene rezultate o broju ugroženog stanovništva, dobiveni su i rezultati o površinama kontura buke. Iako se prema rezultatima vidi da se površina kontura buke primjenom Closein procedure povećala, broj ugroženog stanovništva bukom i dalje je manji u odnosu na standardni scenarij. Površina kontura buke kod scenarija Distant – CDA se smanjila u odnosu na standardni scenarij.

Kako bi se dobila spoznaja o utjecaju buke zrakoplova na važne objekte oko zračne luke Split, napravljen je proračun  $L_{day}$  i  $L_{night}$  parametara na točkama od javnog značaja. Rezultati proračuna uspoređeni su sa objavljenim najvišim dopuštenim graničnim vrijednostima razine buke. Prema dobivenim rezultatima vidljivo je da su crkve, škole, hoteli i domovi zdravlja u blizini zračne luke Split iznad dopuštenih 55 dB tijekom dana. Ako se primjene već spomenute procedure za smanjenje buke, taj broj se smanji, ali i dalje ostaje iznad dopuštenih vrijednosti. Vidljivo je da ovaj način regulacije odnosno smanjenja ne pomaže dovoljno u rješavanju

problema buke, stoga je potrebno pronaći druge mjere za zaštitu od buke na tim mjestima. Jedna od tih mjera može biti postavljanje zvučne izolacije. Kada promatramo lokacije u blizini grada Splita vidljivo je da su sve vrijednosti  $L_{day}$  i  $L_{night}$  parametara ispod graničnih vrijednosti. S druge strane, postoje lokacije u gradu Trogiru i na otoku Čiovu koje su pod utjecajem buke iznad dopuštenih vrijednosti, no prema rezultatima je vidljivo da se primjenom procedura za smanjenje buke vrijednosti  $L_{day}$  i  $L_{night}$  parametara smanje ispod graničnih.

Možemo zaključiti da procedure za smanjenje buke imaju pozitivan rezultat na njeno smanjenje, no problem predstavljaju lokacije u samoj blizini zračne luke Split gdje je potrebno pronaći alternativne načine smanjenja buke zrakoplova.

## 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] Zečević -Tadić, R. Operativne mjere smanjenja buke zrakoplova u funkciji održivog razvoja Zračne luke Zagreb, Diplomski rad, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2014, p. 7.
- [2] Regulation (EU) No 598/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on the establishment of rules and procedures with regard to the introduction of noise-related operating restrictions at Union airports within a Balanced Approach and repealing Directive 2002/30/EC
- [3] Bucak, T.: Buka zrakoplova. Nastavni materijali. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb: 2019.
- [4] Preuzeto sa: <https://www.heathrow.com/company/local-community/noise/operations/ground-noise> [Pristupljeno: lipanj 2021.]
- [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] Bazijanac, E. Zrakoplovni mlazni motori. Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 2009
- [7] Preuzeto sa: <https://www.britannica.com/science/sound-physics/Impedance> [Pristupljeno: lipanj 2021.]
- [8] DIREKTIVA 2002/49/EZ Europskog parlamenta i vijeća , 2002.  
  
O procjeni i upravljanju bukom iz okoliša  
  
Preuzeto sa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&from=EL>  
  
[Pristupljeno: lipanj 2021.]
- [9] ICAO: Doc 8168 The Procedures for Air Navigation Services — Aircraft Operations (PANS-OPS); Volume I – Flight procedures; fifth edition; 2006

- [10] ICAO: Doc 8168 The Procedures for Air Navigation Services — Aircraft Operations (PANS-OPS); Volume II - Construction of Visual and Instrument Flight Procedures; sixth edition; 2014.
- [11] Novak, D.: TKZP flight procedures. Nastavni materijali. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb: 2018.
- [12] Preuzeto sa:  
<https://www.cfinotebook.net/notebook/aircraftoperations/approaches/instrumentapproach> [Pristupljeno: lipanj 2021.]
- [13] Preuzeto sa:  
<https://simunic.files.wordpress.com/2014/01/c5a1irenje-zvuka.pdf>  
[Pristupljeno: lipanj 2021.]
- [14] Preuzeto sa:  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Decision\\_altitude\\_and\\_decision\\_height.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Decision_altitude_and_decision_height.svg) [Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [15] Preuzeto sa:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Missed\\_approach\\_point#/media/File:MDA\\_and\\_MDH.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Missed_approach_point#/media/File:MDA_and_MDH.svg) [Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [16] Preuzeto sa:  
[https://mediawiki.ivao.aero/index.php?title=IFR\\_departure\\_procedure#Reference](https://mediawiki.ivao.aero/index.php?title=IFR_departure_procedure#Reference) [Pristupljeno: srpanj2021.]
- [17] Preuzeto sa:  
[https://mediawiki.ivao.aero/index.php?title=Noise\\_abatement\\_procedures](https://mediawiki.ivao.aero/index.php?title=Noise_abatement_procedures)  
[Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [18] Preuzeto sa:  
[https://www.skybrary.aero/index.php/Continuous\\_Climb\\_Operations\\_\(CCO\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Continuous_Climb_Operations_(CCO))  
[Pristupljeno: srpanj 2021.]

- [19] Preuzeto sa: [https://www.skybrary.aero/index.php/Continuous\\_Descent](https://www.skybrary.aero/index.php/Continuous_Descent)  
[Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [20] Daichi Toratani, Study on Simultaneous Optimization Method for Trajectory and Sequence of Air Traffic Management, Yokohama National University, Doctoral Thesis, March 2016, DOI: 10.13140/RG.2.2.27308.46727  
[Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [21] Preuzeto sa: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Zračna\\_luka\\_Split](https://hr.wikipedia.org/wiki/Zračna_luka_Split)  
[Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [22] Preuzeto sa:  
[https://hr.wikipedia.org/wiki/Zračna\\_luka\\_Split#/media/Datoteka:Split\\_Airport\\_new\\_terminal\\_night.jpg](https://hr.wikipedia.org/wiki/Zračna_luka_Split#/media/Datoteka:Split_Airport_new_terminal_night.jpg), [Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [23] Preuzeto sa:  
<https://www.google.com/maps/d/embed?mid=1rQBUX2oglh5ragqCFMmHj5uQFTk&ie=UTF8&hl=en&msa=0&t=h&om=1&s=AARTsJqPtFWFfAXBqAWb4I6jraBigWlsQ&ll=43.574332290432295%2C16.341678216107454&spn=0.174199%2C0.291824&z=11&output=embed> [Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [24] Preuzeto sa:  
<https://www.crocontrol.hr/UserDocsImages/AIS%20produkti/eAIP/2021-07-15-AIRAC/html/index-en-HR.html> [Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [25] Preuzeto sa:  
[https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml?network=HR\\_\\_A\\_SOS](https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml?network=HR__A_SOS) [Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [26] USGS, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), U.S. Geological Survey, 2009, <https://doi.org/10.3133/fs20093087> [Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [26] 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: srpanj 2021.]

- [27] International Civil Aviation Organization, Doc 9888 - Noise Abatement Procedures: Review of Research, Development and Implementation Projects — Discussion of Survey Results, First edition. Montreal, Canada, 2010.
- [28] Preuzeto sa: [https://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/jrc-ghslghs\\_pop\\_eurostat\\_europe\\_r2016a](https://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/jrc-ghslghs_pop_eurostat_europe_r2016a) [Pristupljeno: lipanj 2021.]
- [29] Integrated Noise Model (INM) Version 7.0 User's Guide, 2007.
- [30] 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.]
- [31] Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave , Narodne novine, broj 145/04
- Preuzeto sa: <http://www.propisi.hr/print.php?id=255>
- [Pristupljeno: kolovoz 2021.]



## POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Izvori buke zbog aerodinamičkog opstrujavanja, IZVOR: [5] .....                 | 4  |
| Slika 2. Napredak pogonske grupe zrakoplova od 1950. do 1995. godine, IZVOR: [3] .....   | 5  |
| Slika 3. Usporedba izvora buke kod polijetanja i slijetanja zrakoplova, IZVOR: [5] ..... | 6  |
| Slika 4. Izvori strukturne buke zrakoplova, IZVOR: [5] .....                             | 7  |
| Slika 5. Prikaz širenja zvučnog vala, IZVOR: [5] .....                                   | 9  |
| Slika 6. Fizikalni parametri zvučnog vala, IZVOR: [13] .....                             | 11 |
| Slika 7. Zvučni tlak, IZVOR: [5].....  | 12 |
| Slika 8. Razlika u razinama zvučnog tlaka, IZVOR: [3] .....                              | 12 |
| Slika 9. Slušno područje ljudskog uha, IZVOR: [3] .....                                  | 14 |
| Slika 10. Segmenti instrumentalnog prilaza, IZVOR: [11] .....                            | 19 |
| Slika 11. Prikaz visine odluke, DA/DH, IZVOR: [14] .....                                 | 21 |
| Slika 12. Prikaz minimalne visine odluke, MDA, IZVOR: [15] .....                         | 22 |
| Slika 13. Prikaz primarnog i sekundarnog područja segmenta prilaza, IZVOR: [5] .....     | 22 |
| Slika 14. Odlazak u pravcu uzletno-sletne staze, IZVOR: [16].....                        | 24 |
| Slika 15. Gradijenti nadvisivanja prepreka, IZVOR: [16] .....                            | 25 |
| Slika 16. Procedura odlaska sa zaokretom, IZVOR: [16].....                               | 25 |
| Slika 17. Penjanje u polijetanju kod procedure smanjenja buke 1, IZVOR: [17] .....       | 28 |
| Slika 18. Penjanje u polijetanju kod procedure smanjenja buke 2, IZVOR: [17] .....       | 29 |
| Slika 19. Usporedba CDO i standardne procedure spuštanja, IZVOR: [19] .....              | 31 |
| Slika 20. Prikaz CDO, CCO i standardne procedure, IZVOR: [20] .....                      | 31 |
| Slika 21. Zračna luka Split, IZVOR:[22] .....  | 33 |
| Slika 22. Prikaz zračne luke Split na karti, IZVOR: [23] .....                           | 34 |
| Slika 23. Postavke studije.....  | 40 |
| Slika 24. Prozor za unos podataka o terenu .....   | 42 |
| Slika 25. Postavka za $L_{den}$ metriku u INM programu .....                             | 43 |
| Slika 26. Postavka za $L_{night}$ metriku u INM programu .....                           | 44 |
| Slika 27. SID i STAR rute zrakoplova .....   | 45 |
| Slika 28. Usporedba visina u različitim procedurama za A319-131 .....                    | 50 |
| Slika 29. Usporedba brzina u različitim procedurama za A319-131 .....                    | 51 |
| Slika 30. Usporedba potisaka u različitim procedurama za A319-131 .....                  | 51 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 31. Usporedba visina u stadardnoj i CDA proceduri prilaza za A319-131 .....                   | 51 |
| Slika 32. Usporedba potisaka u stadardnoj i CDA proceduri prilaza za A319-131.....                  | 52 |
| Slika 33. Konture buke za $L_{den}$ CLOSEIN .....   | 57 |
| Slika 34. Konture buke za $L_{den}$ DISTANT .....   | 57 |
| Slika 35. Konture buke za $L_{den}$ STANDARD .....  | 57 |
| Slika 36. Konture buke za $L_{night}$ CLOSEIN.....  | 58 |
| Slika 37. Konturebuke za $L_{night}$ DISTANT .....  | 58 |
| Slika 38. Konturebuke za $L_{night}$ STANDARD .....   | 58 |
| Slika 39. Objekti od javnog značaja .....   | 61 |
| Slika 40. Prikaz smještaja lokacija objekata od javnog značaja uz konturu buke $L_{den}$ 40 dB .... | 65 |

## POPIS TABLICA

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1. Brzine (kt) za proračun postupaka, IZVOR: [5] .....  | 20 |
| Tablica 2. Prosječna vrijednost izmjerenih parametara .....   | 36 |
| Tablica 3. Statistika letova i klasifikacija zrakoplova .....   | 37 |
| Tablica 4. SID i STAR rute .....  | 45 |
| Tablica 5. Statistika letova po rutama .....  | 46 |
| Tablica 6. Statistika procedura zrakoplova .....  | 48 |
| Tablica 7. Prikaz operacija za svaki tip zrakoplova i SID i STAR rutu .....   | 53 |
| Tablica 8. Usporedba površina kontura buke i broja ljudi izloženih različitim razinama buke za procedure CLOSEIN i DISTANT u odnosu na standardnu proceduru ..... | 59 |
| Tablica 9. Ukupan broj jako ugroženog stanovništva tokom dana i noći .....  | 60 |
| Tablica 10. Najviše dopuštene ocjenske razine buke u otvorenom prostoru, IZVOR: [31]. .....   | 62 |
| Tablica 11. Lokacije od javnog značaja u okolini zračne luke Split uz Lday rezultate .....  | 63 |
| Tablica 12. Lokacije od javnog značaja u okolini zračne luke Split uz Lnight rezultate .....  | 64 |

## POPIS GRAFIKONA

|  |    |
|--|----|
| Grafikon 1. Godišnji putnički promet na zračnoj luci Split: IZVOR: [21].....                     | 33 |
| Grafikon 2. Temperatura zraka, 03.08.2019. ....  | 35 |
| Grafikon 3. Tlak zraka, 03.08.2019. ....   | 35 |
| Grafikon 4. Vlažnost zraka, 03.08.2019. ....   | 36 |
| Grafikon 5. Čeoni vjetar, 03.08.2019.....  | 36 |
| Grafikon 6. Udio dnevnih, večernjih i noćnih operacija na dan 03.08.2021. ....                   | 38 |
| Grafikon 7. Udio tipova zrakoplova na dan 03.08.2021. ....                                       | 38 |
| Grafikon 8. Udio letova na STAR rutama .....   | 47 |
| Grafikon 9. Udio letova na STAR rutama .....   | 47 |
| Grafikon 10. Broj ljudi ugrožen $L_{den}$ bukom kod različitih procedura leta zrakoplova.....    | 55 |
| Grafikon 11. Broj ljudi ugrožen $L_{night}$ bukom kod različitih procedura leta zrakoplova ..... | 56 |

## POPIS KRATICA

|      |   |
|------|---|
| AIP  | (Aeronautical Information Publication) Zbornik zrakoplovnih informacija                       |
| ATS  | (Air Traffic Services) Usluge zračnog prometa   |
| CCO  | (Continuous Climb Operations) Operacije kontinuiranog penjanja                                |
| CDO  | (Continuous Descent operations) Operacije kontinuiranog spuštanja                             |
| DA   | (Decision altitude) Nadmorska visina odluke   |
| DME  | (Distance measuring equipment) Uređaj za mjerenje udaljenosti                                 |
| FAP  | (Final Approach Point) Konačna točka prilaza  |
| GBAS | (Ground Based Augmentation landing system)  |
| IAF  | (Initial Approach Fix) Točka inicijalnog prilaza  |
| ICAO | (International Civil Aviation Organization) Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo |
| IFR  | (Instrument flight rules) Pravila instrumentalnog letenja                                     |
| ILS  | (Instrument landing system) Sustav instrumentalnog slijetanja                                 |
| INM  | (Integrated noise model) Integrirani model buke   |
| LNAV | (Lateral navigation) Lateralna navigacija   |
| MAP  | (Missed approach point) Točka neuspjelog prilaznja  |
| MDA  | (Minimum decision altitude) Minimalna visina odluke   |
| NADP | (Noise abatement departure procedure) Procedure za smanjenje buke                             |
| NDB  | (A non-directional radio beacon) Svesmjerni radiometar  |
| NPD  | (Noise – power – distance) Buka – snaga - udaljenost  |
| PAR  | (Precision Approach Radar) Radar preciznog prilaza  |
| PDG  | (Procedure design gradient) Gradijent procedura   |

|       |   |
|-------|---|
| OASPL | (Overall Sound Pressure Level) Ukupni zvučni tlak                 |
| OCA/H | (Obstacle clearance altitude/height) Visina nadvisivanja prepreka |
| SID   | (Standard instrument departure) Standardni instrumentalni odlazak |
| STAR  | (Standard Arrival Route) Standardni instrumentalni odlazak        |
| SRTM  | (Shuttle Radar Topography Mission) Radarska topografska misija    |
| USS   | Uzletno-sletna staza  |
| VFR   | (Visual flight rules) Pravila vizualnog letenja                   |

## PRILOZI

**Prilog 1.** Površine kontura buke i broj ljudi izloženih različitim razinama buke za CLOSEIN, DISTANT i standardnu proceduru

| RAZINA<br>BUKE (DB) | LDEN CLOSEIN - CDA |                                     | LDEN DISTANT - CDA |                                     | LDEN STANDARD   |                                     |
|---------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|
|                     | Broj stanovnika    | Površina konture (km <sup>2</sup> ) | Broj stanovnika    | Površina konture (km <sup>2</sup> ) | Broj stanovnika | Površina konture (km <sup>2</sup> ) |
| 40 - 45             | 39710              | 253,765                             | 36185              | 242,888                             | 40942           | 246,478                             |
| 45 - 50             | 26915              | 131,243                             | 26086              | 119,396                             | 30293           | 121,465                             |
| 50 - 55             | 19737              | 53,981                              | 19657              | 45,313                              | 22086           | 51,102                              |
| 55 - 60             | 13056              | 14,268                              | 13513              | 15,508                              | 15699           | 20,055                              |
| 60 - 65             | 895                | 4,835                               | 4580               | 7,321                               | 6202            | 7,834                               |
| 65 - 70             | 111                | 2,096                               | 503                | 2,732                               | 465             | 2,714                               |
| 70 - 75             | 48                 | 1,046                               | 55                 | 1,087                               | 55              | 1,082                               |
| 75 - 80             | 10                 | 0,51                                | 10                 | 0,514                               | 10              | 0,514                               |
| 80 - 85             | 0                  | 0,18                                | 0                  | 0,181                               | 0               | 0,181                               |
| > 85                | 0                  | 0,036                               | 0                  | 0,036                               | 0               | 0,036                               |

| RAZINA<br>BUKE (DB) | LNIGHT CLOSEIN - CDA |                                     | LNIGHT DISTANT - CDA |                                     | LNIGHT STANDARD |                                     |
|---------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|
|                     | Broj stanovnika      | Površina konture (km <sup>2</sup> ) | Broj stanovnika      | Površina konture (km <sup>2</sup> ) | Broj stanovnika | Površina konture (km <sup>2</sup> ) |
| 35                  | 23185                | 91,299                              | 21096                | 82,428                              | 25453           | 87,255                              |
| 40                  | 16884                | 33,083                              | 15450                | 25,497                              | 18742           | 35,016                              |
| 45                  | 7786                 | 8,768                               | 8609                 | 10,895                              | 11938           | 13,046                              |
| 50                  | 226                  | 3,254                               | 2931                 | 5,49                                | 3940            | 5,811                               |
| 55                  | 78                   | 1,568                               | 139                  | 1,99                                | 144             | 1,957                               |
| 60                  | 15                   | 0,729                               | 15                   | 0,736                               | 15              | 0,735                               |
| 65                  | 4                    | 0,311                               | 4                    | 0,311                               | 4               | 0,312                               |
| 70                  | 0                    | 0,123                               | 0                    | 0,123                               | 0               | 0,123                               |
| 75                  | 0                    | 0,02                                | 0                    | 0,02                                | 0               | 0,02                                |
| 80                  | 0                    | 0,001                               | 0                    | 0,001                               | 0               | 0,001                               |

**Prilog 2.** Razine  $L_{day}$  i  $L_{night}$  buke za tri scenarija za lokacije od javnog značaja u okolici zračne luke Split

| MJESTO  | $L_{DAY}$<br>CLOSE-<br>IN | $L_{DAY}$<br>DISTANT | $L_{DAY}$<br>STAN-<br>DARD | $L_{NIGHT}$<br>CLOSEIN | $L_{NIGHT}$<br>DISTANT | $L_{NIGHT}$<br>STANDARD |
|---|---------------------------|----------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| CRKVA SV. BARTULA   | 65,8                      | 65,8                 | 65,8                       | 57,8                   | 57,8                   | 57,8                    |
| PRIRODNI REZERVAT "PANTAN"                                      | 62,9                      | 64,4                 | 64,2                       | 53,1                   | 53,1                   | 53,1                    |
| CRKVICA IMENA MARIJINA  | 63                        | 63,5                 | 63,5                       | 53,5                   | 54,4                   | 54,4                    |
| HOTEL ADRIA   | 60                        | 63,1                 | 63,1                       | 49,5                   | 55                     | 54,9                    |
| PLAŽA PANTAN  | 61,5                      | 63                   | 63,1                       | 51,5                   | 51,5                   | 52                      |
| DJEČJI VRTIĆ ČAROBNI PIANINO RRESNIK                            | 59,3                      | 61,6                 | 61,7                       | 48,6                   | 53,2                   | 53,3                    |
| HOTEL TROGIRSKI DVORI   | 57,3                      | 59,7                 | 59,8                       | 46,2                   | 46,2                   | 46,8                    |
| CRKVA SV. IVANA PAVLA II.                                       | 58,5                      | 59,3                 | 60,2                       | 48,1                   | 48,1                   | 48,6                    |
| HOTEL RESNIK  | 56,3                      | 58,8                 | 59                         | 46,2                   | 50,7                   | 50,9                    |
| OSNOVNA ŠKOLA BIJAĆI KAŠEL NOVI                                 | 56,8                      | 58,5                 | 59,2                       | 45,4                   | 47,8                   | 50                      |
| SREDNJA ŠKOLA BRAĆA RADIĆ KAŠTEL ŠTAFILIĆ                       | 54,3                      | 58,2                 | 58,4                       | 45,1                   | 50,4                   | 50,5                    |
| GRADSKA PLAŽA TROGIR  | 57,4                      | 57,7                 | 58,8                       | 46,9                   | 46,9                   | 47,3                    |
| HOTEL OKTARIN   | 53,4                      | 57,7                 | 57,9                       | 44,5                   | 50                     | 50,1                    |
| PLAŽA BIJAČKA KAŠTEL  | 53,3                      | 57,4                 | 57,6                       | 44,4                   | 49,5                   | 49,8                    |
| METALINGUA ŠKOLA STRANIH JEZIKA                                 | 55,2                      | 57,3                 | 58,1                       | 45                     | 47,5                   | 49,6                    |
| DOM ZDRAVLJA KAŠTELA  | 52,4                      | 51,8                 | 53,5                       | 41                     | 38,3                   | 42,4                    |
| DJEČJI VRTIĆ TROGIR, MASLINE ČIOVO                              | 56,9                      | 56,5                 | 57,5                       | 46,4                   | 46,4                   | 47,1                    |
| DJEČJI VRTIĆ KAŠTELA  | 55,8                      | 56,4                 | 57,5                       | 44,7                   | 43,4                   | 47,4                    |
| ŽUPA SV. PETRA APOSTOLA   | 55,4                      | 56,4                 | 57,6                       | 44,9                   | 44,5                   | 48,3                    |
| GIMNAZIJA KAŠTEL  | 55,7                      | 56,3                 | 57,4                       | 44,8                   | 43,4                   | 47,4                    |
| PSIHIJATRIJSKA ORDINACIJA HELENA DEDIĆ                          | 51,5                      | 50,8                 | 52,5                       | 39,6                   | 39,6                   | 40,2                    |
| VILLA SOL   | 55,4                      | 55,4                 | 56,7                       | 44                     | 41,9                   | 45,9                    |
| CRKVA SV. NIKOLE  | 55,7                      | 55,2                 | 56,4                       | 45                     | 45                     | 45,6                    |
| DJEČJI VRTIĆ MASLAČAK   | 54,7                      | 54,9                 | 56                         | 43,7                   | 43,7                   | 44,1                    |
| OŠ PETRA BERISLAVIĆA  | 54,9                      | 54,3                 | 55,6                       | 44                     | 44                     | 44,7                    |
| KATEDRALA SV.LOVRE  | 54,7                      | 54,2                 | 55,5                       | 43,8                   | 43,8                   | 44,3                    |
| DOM ZDRAVLJA SPLITSKO-DALMATINSKA<br>ŽUPANIJA- ISPOSTAVA TROGIR | 50                        | 49,1                 | 51,1                       | 37,8                   | 37,8                   | 38,5                    |
| CRKVA I SAMOSTAN SV. DOMINIKA, TROGIR                           | 54,6                      | 54                   | 55,3                       | 43,6                   | 43,6                   | 44,3                    |
| CRKVA SVIHK SVETIH  | 54,3                      | 53,7                 | 55                         | 43,2                   | 43,2                   | 43,9                    |
| CRKVA SV. EUSTAHIJE   | 49,1                      | 53,5                 | 54,1                       | 33,3                   | 33,3                   | 33,3                    |
| CRKVA GOSPE OD KARMELA  | 53,3                      | 52,7                 | 54,2                       | 42,1                   | 42,1                   | 42,7                    |
| DJEČJI VRTIĆ TROGIR, RIBOLA                                     | 53                        | 52,3                 | 53,8                       | 41,7                   | 41,7                   | 42,4                    |
| KATOLIČKA CRKVA SVETI IVAN KRSTITELJ                            | 52,6                      | 51,9                 | 53,6                       | 41,2                   | 41,2                   | 43,2                    |
| ŽUPNA CRKVA GOSPE OD ANĐELA                                     | 51,8                      | 51,8                 | 53,3                       | 39,9                   | 39,9                   | 40,2                    |
| OŠ PROF. FILIPA LUKASA KAŠTEL STARI                             | 51,4                      | 51,1                 | 52,6                       | 40,2                   | 37,5                   | 41,8                    |
| SREDBJA ŠKOLA IVANA LUCIĆA TROGIR                               | 51,4                      | 51                   | 52,6                       | 39,3                   | 39,3                   | 39,8                    |
| OŠ MAJSTORA RADOVANA  | 50,9                      | 51                   | 52,5                       | 38,5                   | 38,5                   | 38,9                    |
| ČIOVSKI MOST  | 56,4                      | 56                   | 57,1                       | 45,9                   | 45,9                   | 46,5                    |
| ROĐENJE MARIJINO - GOSPA OD KONACVINA                           | 47                        | 45,7                 | 48,3                       | 34                     | 34                     | 35                      |
| PLAŽA KAVA SLATINE  | 46,3                      | 44,5                 | 43,8                       | 37,8                   | 36,7                   | 36,3                    |
| RIMOKATOLIČKA CRKVA SVETOG JURJA MUČENIKA                       | 44,1                      | 44                   | 45,2                       | 33,8                   | 33,8                   | 35,8                    |
| PARK MARJAN   | 40,8                      | 38,6                 | 39                         | 31,8                   | 30,2                   | 31,1                    |
| STARI GRAD TROGIR   | 53,6                      | 53,1                 | 54,5                       | 42,4                   | 42,4                   | 43                      |



| MJESTO  | L <sub>day</sub><br>CLOSE-<br>IN | L <sub>day</sub><br>DISTANT | L <sub>day</sub><br>STAN-<br>DARD | L <sub>night</sub><br>CLOSEIN | L <sub>night</sub><br>DISTANT | L <sub>night</sub><br>STANDARD |
|---|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| OŠ SLATINE, ČIOVO   | 43,5                             | 43,1                        | 44                                | 30                            | 28,8                          | 26,8                           |
| HOTEL VILLA TRINA   | 42                               | 42,4                        | 43                                | 30,1                          | 29,6                          | 28,4                           |
| OŠ OSTROG KAŠTEL LUKŠIĆ                                   | 43,8                             | 42,3                        | 45,4                              | 34,1                          | 30,5                          | 35,8                           |
| CRKVA SV. TEODORA (TUDORA)                                | 43                               | 41,6                        | 44,6                              | 28,7                          | 28,5                          | 29                             |
| SEVENTH-DAY ADVENTIST CHURCH VINIŠĆE                      | 41,7                             | 41,1                        | 39,6                              | 12,5                          | 12,5                          | 14,6                           |
| GOSPE OD PRIZIDNICE                                       | 42,8                             | 41                          | 40,8                              | 34                            | 32,8                          | 32,9                           |
| SUSTIPAN PARK   | 37,3                             | 35,5                        | 35,9                              | 28,4                          | 27,4                          | 28                             |
| APARTMANI DIDA  | 41,4                             | 40,5                        | 41,3                              | 30,5                          | 28,6                          | 28,6                           |
| OSNOVNA ŠKOLA IVAN DUKNOVIĆ MARINA                        | 41,1                             | 40,5                        | 38,8                              | 5,2                           | 5,2                           | 6,9                            |
| CRKVA SV. JAKOVA  | 41                               | 40,4                        | 38,8                              | 5,6                           | 5,6                           | 7,3                            |
| OSNOVNA ŠKOLA "KRALJ ZVONIMIR"                            | 41,8                             | 40,2                        | 43,5                              | 27,3                          | 27,3                          | 28,4                           |
| OSNOVNA ŠKOLA "KRALJ ZVONIMIR"                            | 41,8                             | 40,2                        | 43,5                              | 27,3                          | 27,3                          | 28,4                           |
| SLATINE BEACH   | 40,6                             | 38,8                        | 39,1                              | 31,4                          | 29,3                          | 29,9                           |
| HOTEL BALETNA ŠKOLA                                       | 39,8                             | 37,5                        | 41,3                              | 30,8                          | 26,9                          | 32,3                           |
| CRKVA SV. KARLA BOROMEJSKOG                               | 38,3                             | 37,3                        | 39,8                              | 25,2                          | 24,6                          | 23,4                           |
| CRKVA PRESVETOG SRCA ISUSOVA                              | 37,6                             | 37,3                        | 36,6                              | 12                            | 12                            | 13,3                           |
| DOM ZDRAVLJA SPLITSKO-DALMATINSKA ŽUPANIJA                | 34,6                             | 32,2                        | 35,8                              | 25,6                          | 21,6                          | 26,9                           |
| CRKVA KOŠCIÓŁ   | 37,8                             | 36,7                        | 39,2                              | 24,8                          | 24,1                          | 22,8                           |
| OSNOVNA ŠKOLA OKRUK U OKRUGU GORNJEM                      | 37,2                             | 36,6                        | 38,3                              | 25,2                          | 24,4                          | 22,2                           |
| VILA MARIJA   | 37,6                             | 35,7                        | 36,9                              | 18,4                          | 18,3                          | 21                             |
| CRKVA HRVATSKIH MUČENIKA                                  | 37,2                             | 35,1                        | 36,7                              | 18,5                          | 18,5                          | 21                             |
| DOM ZDRAVLJA SPLIT  | 31,9                             | 29,9                        | 30,8                              | 22,7                          | 21,2                          | 22,7                           |
| MUSEUM DOMINICAN MONASTERY OF THE HOLY CROSS              | 42,9                             | 44,6                        | 45                                | 31,6                          | 31,3                          | 30,7                           |
| KAPELICA SV. ANTE   | 34,4                             | 34,4                        | 34,5                              | 23,7                          | 23,7                          | 23,9                           |
| STUDENSKI DOM   | 35,6                             | 33,5                        | 34,2                              | 26,4                          | 24,6                          | 26,1                           |
| OSNOVNA ŠKOLA IVAN DUKNOVIĆ                               | 33,5                             | 33,3                        | 33,2                              | 7,5                           | 7,4                           | 9                              |
| DJEČJI VRTIĆ MALI ISUS                                    | 35,4                             | 33,2                        | 37,2                              | 26,6                          | 22,7                          | 28,2                           |
| OŠ KNEZA TRPIMIRA KAŠTEL GOMILICA                         | 34,6                             | 32,3                        | 35,9                              | 25,7                          | 21,7                          | 27                             |
| DJEČJE IGRALIŠTE- ŠKATULLA ZA SNE                         | 34,2                             | 32,1                        | 32,9                              | 25                            | 23,1                          | 24,8                           |
| KBC SPLIT-FIRULE  | 28,1                             | 26,6                        | 27,5                              | 19,1                          | 18,1                          | 19,5                           |
| CRKVA I SAMOSTAN SV.FRANE                                 | 33,3                             | 31,4                        | 32,1                              | 24,2                          | 22,9                          | 24,1                           |
| RODILIŠTE SPLIT   | 27,7                             | 26,3                        | 27,1                              | 18,7                          | 17,7                          | 19,1                           |
| SPEC. ORDINAZIJA ZA PSIHIJATRIJU                          | 28                               | 26,1                        | 27,1                              | 18,6                          | 17,1                          | 18,8                           |
| KLINIKA ZA PLUĆNE BOLESTI                                 | 27,5                             | 26,1                        | 26,9                              | 18,5                          | 17,6                          | 19                             |
| II. GIMNAZIJA   | 32,6                             | 30,6                        | 31,4                              | 23,4                          | 21,7                          | 23,3                           |
| UMJETNIČKA GIMNAZIJA ARS ANIMAE SPLIT                     | 32,6                             | 30,4                        | 31,4                              | 23,3                          | 21,2                          | 23,2                           |
| OBRTNA TEHNIČKA ŠKOLA                                     | 32,4                             | 30,3                        | 31,2                              | 23,1                          | 21,4                          | 23,1                           |
| ELEKTROTEHNIČKA ŠKOLA SPLIT                               | 32,2                             | 30,2                        | 31,1                              | 23                            | 21,3                          | 22,9                           |
| KATOLIČKI BOGOSLOVNI FAKULTET                             | 32,2                             | 30,2                        | 31,1                              | 23                            | 21,4                          | 23                             |
| DOM ZDRAVLJA KAŠTEL SUĆURAC                               | 27,3                             | 25,1                        | 27                                | 17,9                          | 15                            | 18,3                           |
| GIMNAZIJA KOLEGIJ KRALJICA JELENA                         | 31,8                             | 30                          | 30,8                              | 22,7                          | 21,3                          | 22,7                           |
| VRTIĆ MIRTA   | 31,5                             | 29,9                        | 30,6                              | 22,5                          | 21,4                          | 22,6                           |
| VISOKA ŠKOLA ZA INSPEKCIJSKI I KADROVSKI MENADŽMENT SPLIT | 32                               | 29,8                        | 30,8                              | 22,7                          | 20,4                          | 22,6                           |
| PLAŽA BAČVICE   | 31,1                             | 29,6                        | 30,3                              | 22,1                          | 21,1                          | 22,3                           |

| MJESTO   | L <sub>day</sub><br>CLOSE-<br>IN | L <sub>day</sub><br>DISTANT | L <sub>day</sub><br>STAN-<br>DARD | L <sub>night</sub><br>CLOSEIN | L <sub>night</sub><br>DISTANT | L <sub>night</sub><br>STANDARD |
|--|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| IV. I V. GIMNAZIJA                               | 31,1                             | 29,4                        | 30,2                              | 22                            | 20,7                          | 22,1                           |
| INDUSTRIJSKA ŠKOLA SPLIT                         | 31,4                             | 29,2                        | 30,2                              | 22,1                          | 20,1                          | 22                             |
| PRIVATNO JEZIČNO INFORMATIČKA GIMNAZIJA          | 30,9                             | 29                          | 29,9                              | 21,7                          | 20,3                          | 21,8                           |
| POMORSKE MEDICINE                                | 25,4                             | 24                          | 24,9                              | 16,3                          | 15,4                          | 16,8                           |
| OŠ LUČAC   | 29,9                             | 28,3                        | 29,1                              | 20,8                          | 19,7                          | 21                             |
| PRAVNI FAKULTET SPLIT                            | 30,1                             | 28,2                        | 29,1                              | 20,9                          | 19,4                          | 21                             |
| PRIVATNA SREDNJA ŠKOLA MARKO ANTUN DE DOMINIS    | 28,7                             | 26,8                        | 27,8                              | 19,4                          | 17,8                          | 19,6                           |
| EKONOMSKA I UPRAVNA ŠKOLA SPLIT                  | 28,6                             | 26,8                        | 27,8                              | 19,4                          | 18,1                          | 19,7                           |
| ZDRAVSTVENA ŠKOLA                                | 27,2                             | 25,8                        | 26,6                              | 18,2                          | 17,2                          | 18,6                           |
| ŠKOLA ZA DIZAJN, GRAFIKU I ODRŽIVU GRADNJU       | 25,9                             | 24,3                        | 25,3                              | 16,7                          | 15,6                          | 17,2                           |
| FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE | 25,5                             | 24                          | 25                                | 16,3                          | 15,2                          | 16,8                           |
| KINEZILOŠKI INSTITUT                             | 25,3                             | 23,8                        | 24,8                              | 16,2                          | 15,1                          | 16,7                           |
| FILOZOFSKI FAKULTET                              | 25,1                             | 23,7                        | 24,6                              | 16                            | 15                            | 16,5                           |
| STUDENTSKI KAMPUS SPLIT                          | 25,2                             | 23,6                        | 24,6                              | 15,9                          | 14,8                          | 16,4                           |
| EKONOMSKI FAKULTET SPLIT                         | 24,9                             | 23,3                        | 24,3                              | 15,7                          | 14,5                          | 16,2                           |
| UMJETNIČKA AKADEMIJA SPLIT - KIPARSTVO           | 24,7                             | 22,9                        | 24                                | 15,3                          | 13,9                          | 15,7                           |
| PLAŽA ŽNJAN                                      | 23,7                             | 22,5                        | 23,4                              | 14,8                          | 14                            | 15,4                           |
| TRG REPUBLIKE                                    | 32,9                             | 31                          | 31,7                              | 23,7                          | 22,4                          | 23,7                           |
| RIVA   | 32,6                             | 30,8                        | 31,5                              | 23,5                          | 22,2                          | 23,5                           |
| HRVATSKO NARODNO KAZALIŠTE SPLIT                 | 32,3                             | 30,4                        | 31,2                              | 23,2                          | 21,7                          | 23,1                           |
| AUTOBUSNI KOLODVOR SPLIT                         | 32                               | 30,3                        | 31                                | 22,9                          | 21,9                          | 23                             |
| DIOKLECIJANOVA PALAČA                            | 32                               | 30,2                        | 31                                | 22,9                          | 21,6                          | 22,9                           |
| POLJUD STADION                                   | 32,2                             | 30                          | 31                                | 22,9                          | 20,9                          | 22,8                           |
| ZLATNA VRATA                                     | 31,7                             | 29,9                        | 30,7                              | 22,6                          | 21,3                          | 22,6                           |
| PRIVATNA SREDNJA ŠKOLA WALLNER                   | 21                               | 19,8                        | 20,8                              | 12                            | 11,2                          | 12,7                           |



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.

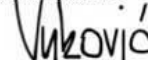
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj  
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ diplomskog rada  
pod naslovom **Utjecaj primjene procedura za smanjenje buke na stanovništvo**  
**u okolini zračne luke Split**

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

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 09.09.2021 \_\_\_\_\_

Student/ica:



\_\_\_\_\_  
(potpis)