

# Primjena akcijskih planova za smanjenje buke u funkciji održivog razvoja zračne luke Franjo Tuđman

---

Jelinčić, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2020

*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:119:542881>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-16**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Ana Jelinčić**

**PRIMJENA AKCIJSKIH PLANOVA ZA SMANJENJE BUKE  
U FUNKCIJI ODRŽIVOG RAZVOJA ZRAČNE LUKE  
FRANJO TUĐMAN**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb 2020.**

Zagreb, 4. studenoga 2019.

Zavod: **Zavod za zračni promet**  
Predmet: **Planiranje aerodroma**

## **DIPLOMSKI ZADATAK br. 5477**

Pristupnik: **Ana Jelinčić (0135228759)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Primjena akcijskih planova za smanjenje buke u funkciji održivog razvoja zračne luke Franjo Tuđman**

### Opis zadatka:

U prvom dijelu rada potrebno je definirati izvore buke u zračnom prometu te navesti domaću i međunarodnu zakonsku regulativu koja je temelj za praćenje i smanjenje razine buke povezane s zračnim prometom. Nadalje, u radu je potrebno detaljno opisati načine i metode mjerenja buke, te karakteristike svake od njih. Prema odabiru studenta, potrebno je analizirati mjerenje razine buke na jednoj zračnoj luci pri čemu će na istoj biti pojašnjeni sustavi za mjerenje buke koju zračna luka koristi, te prikazani rezultati mjerenja buke za odabranu zračnu luku. Na kraju rada potrebno je prikazati mjere za smanjenje buke zrakoplova koje se koriste na globalnoj razini te posebno obraditi one koje je moguće iskoristiti na zračnoj luci koja je uzeta kao studija slučaja.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

doc. dr. sc. Igor Štimac

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**DIPLOMSKI RAD**

**PRIMJENA AKCIJSKIH PLANOVA ZA SMANJENJE BUKE U  
FUNKCIJI ODRŽIVOG RAZVOJA ZRAČNE LUKE FRANJO TUĐMAN**

**IMPLEMENTATION OF NOISE REDUCTION ACTION PLAN IN THE  
FUNCTION OF SUSTANABLE DEVELOPMENT OF FRANJO  
TUĐMAN AIRPORT**

Mentor: Doc. dr. sc. Igor Štimac

Student: Ana Jelinčić

JMBAG: 0135228759

Zagreb, ožujak 2020.

## **SAŽETAK:**

Najveća razina buke vezana uz zračni promet nalazi se u blizini zračnih luka te u području prilaznih i odletnih putanja. Izvori buke u zrakoplovstvu podijeljeni su na buku pogonskih skupina i buku strukture zrakoplova. Kroz temu ovog rada analizira se pitanje utjecaja buke komercijalnog zrakoplovstva na ljude i njihovo zdravlje. Problematika buke zrakoplova uređena je međunarodnim standardima ICAO u Dodatku 16, Dio I (*Aircraft Noise*), proizašao iz američkog standarda FAR, Part 36 gdje su propisane metode mjerenja te mjere redukcije buke za sve tipove zrakoplova. Potaknuti spoznajom negativnog učinka buke i njenog štetnog utjecaja na lokalno stanovništvo, zrakoplovna industrija zajedno sa zračnim lukama, zrakoplovnim prijevoznicima, kontrolom zračne plovidbe te proizvođačima zrakoplova u svojim operacijama posvećuju veliku pažnju zaštiti od iste. Također, u radu su obrađeni načini smanjenja buke različitim vrstama mjera na primjeru Zračne luke Franjo Tuđman.

**KLJUČNE RIJEČI:** buka zrakoplova, regulativne mjere, načini smanjenja buke, Zračna luka Franjo Tuđman

## **SUMMARY**

The highest noise levels related to air traffic are located near the airports and in the area of approach and departure routes. Aviation noise sources are divided into the noise of the drive groups and the noise of the aircraft structure. Through the theme of this paper, the issue of the impact of commercial airline noise on people and their health is analysed. Aircraft noise issues are governed by ICAO International Standards in Annex 16, Volume I (*Aircraft Noise*), derived from the USA FAR Part 36, which specifies measurement methods and noise reduction measures for all aircraft types. Driven by the knowledge of the negative effects of noise and its harmful effects on the local population, the aviation industry, together with airports, airlines, air traffic control and aircraft manufacturers, in their operations, pay close attention to protecting them. Also, the paper deals with the ways of reducing noise by different types of measures on the example of Franjo Tuđman Airport.

**KEY WORDS:** aircraft noise, regulative measures, methods of reduction of noise, Airport Franjo Tuđman

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
1.1. Svrha i ciljevi istraživanja .....	1
1.2. Analiza dosadašnjeg stanja .....	1
1.3. Očekivani rezultati istraživanja .....	2
1.4. Primjena istraživanja .....	2
1.5. Obrazloženje strukture rada .....	2
2. IZVORI BUKE U ZRAČNOM PROMETU .....	4
2.1. Zrakoplov kao izvor buke .....	5
2.1.1. <i>Buka pogonske grupe</i> .....	5
2.1.2. <i>Buka uzrokovana strukturom zrakoplova</i> .....	9
2.2. Zračna luka kao izvor buke .....	11
3. PRAVNE REGULATIVE O BUCI U ZRAČNOM PROMETU .....	14
3.1. Međunarodna razina .....	14
3.1.1. <i>ICAO Dodatak 16</i> .....	15
3.1.2. <i>FAR 36</i> .....	18
3.1.3. <i>FAR 91</i> .....	19
3.1.4. <i>Direktiva EU-2002/49/EC</i> .....	19
3.1.5. <i>Direktiva 2002/30/EC</i> .....	21
3.2. Nacionalna razina .....	23
3.2.1. <i>Zakon o zaštiti od buke</i> .....	23
3.2.2. <i>Pravilnik o uspostavljanju pravila i postupka u svezi uvođenja operativnih ograničenja vezanih za buku zrakoplova na zračnim lukama na teritoriju Republike Hrvatske</i> <sup>24</sup> .....	
4. METODE MJERENJA BUKE .....	25
5. MJERENJE I ANALIZA RAZINE BUKE NA PODRUČJU ZRAČNE LUKE FRANJO TUĐMAN .....	30
5.1. Sustav za mjerenje razine buke na Zračnoj luci Franjo Tuđman .....	31
5.2. Proces mjerenja razine buke na Zračnoj luci Franjo Tuđman .....	34
5.3. Analiza razine buke zrakoplova na Zračnoj luci Franjo Tuđman .....	35
6. AKCIJSKI PLANOWI ZA SMANJENJE BUKE NA PODRUČJU ZRAČNE LUKE FRANJO TUĐMAN .....	40
6.1. Pozicioniranje dodatnih stanica za mjerenje buke na Zračnoj luci Franjo Tuđman ..	41
6.2. Operativne procedure za smanjenje buke u polijetanju .....	42
6.3. Operativne procedure za smanjenje buke u slijetanju .....	46

6.3.1.	<i>Operativni postupak Continuous Descent Operation (CDO)</i> .....	47
6.3.2.	<i>Postupak rada "manja snaga-manji otpor"</i> .....	48
6.3.3.	<i>Manje korištenje obrnutog potiska tijekom večeri i noći kada to dopuštaju sigurnosni uvjeti</i> .....	49
6.4.	Uvođenje vremenskih restrikcija na Zračnu luku Franjo Tuđman .....	50
6.5.	Operativni postupci za smanjenje razine buke na stajanci .....	50
6.5.1.	<i>Korištenje GPU-a umjesto APU-a</i> .....	51
6.5.2.	<i>Pasivne mjere</i> .....	51
6.5.3.	<i>Uvođenje ekološke naknade</i> .....	53
6.5.4.	<i>Vanjska komunikacija</i> .....	54
7.	ZAKLJUČAK .....	55
	POPIS LITERATURE .....	57
	POPIS KRATICA .....	59
	POPIS SLIKA .....	60
	POPIS TABLICA .....	61
	POPIS GRAFIKONA .....	62

# **1. UVOD**

Zračni promet najmlađa je grana prometa, koja se počela razvijati pedesetih godina, a za njen nagli rast zaslužno je uvođenje turbo-mlaznih motora. S obzirom na veliku snagu turbo-mlaznih motora, kao popratni efekt pojavila se buka, a naglim povećanjem zračnog prometa buka je postala učestala i nesnošljiva. Buka štetna po zdravlje definirana je kao svaki zvuk koji prelazi najvišu dozvoljenu razinu utvrđenu provedbenim propisom s obzirom na vrijeme i mjesto nastanka u sredini u kojoj ljudi rade i borave. Iako je tehnički razvoj zrakoplova donio poboljšanja koja smanjuju razinu buke, zrakoplovna industrija treba i dalje raditi na njezinu smanjenju.

## **1.1. Svrha i ciljevi istraživanja**

Svrha diplomskog rada je ukazati na mjere očuvanja okoliša tijekom kontinuiranog razvoja zračnog prometa te putem rezultata izmjerene razine buke na području Zračne luke Franjo Tuđman analizirati efektivnost postojećih akcijskih planova u svrhu njihova unaprjeđenja. Cilj istraživanja je utvrditi tehničko tehnološke mogućnosti smanjenja buke na i oko zračne luke s ciljem njenog održivog razvoja.

## **1.2. Analiza dosadašnjeg stanja**

Promatrajući duže vremensko razdoblje, primjećuje se kontinuiran rast potražnje za uslugama zračnog prijevoza, pri čemu isti generira negativne nusproizvode prema okolišu. Uz najznačajniji negativni nusproizvod emisije ispušnih plinova javlja se i zagađenje okoline bukom. S ciljem postizanja značajnih rezultata u smislu smanjenja negativnog utjecaja zračnog prometa na okoliš, utvrđeno je da se jedino zajedničkom suradnjom svih sudionika može postići značajnije očuvanje okoliša uz povećanu efikasnost i kontrolu operacija u zračnom prometu. Dosadašnja istraživanja ukazuju na kontinuirano razvijanje tehnologije, programa poticaja za zaštitu okoliša, procese i to u svrhu ekološke održivosti zračne luke. Ulaskom Republike Hrvatske u Europsku uniju prihvaćene su pravne regulative o buci u zračnom prometu te se preuzima obveza poduzimanja konkretnih mjera vezanih uz praćenje buke zrakoplova. Zračna luka Franjo Tuđman je još 2006. godine instalirala sustav za trajno mjerenje buke na prilaznim i odlaznim koridorima, te na stajanci.



### **1.3. Očekivani rezultati istraživanja**

U diplomskom radu objasnit će se pojava buke kao popratnog efekta naglog razvoja zračnog prometa. Povećanjem broja operacija zrakoplova na zračnim lukama buka postaje sve češća i neugodnija. Za studiju slučaja koristiti će se mjerenja i analiza razine buke na Zračnoj luci Franjo Tuđman. Prikazati će se trenutno stanje sustava za mjerenje buke i programa koji ukazuju na probleme s kojima se Zračna luka Franjo Tuđman suočava. Nadalje, sukladno istraživanjima, dati će se prijedlozi s ciljem smanjenja buke zrakoplova te održivog razvoja iste. Istraživanjem implementiranih i predloženih operativnih mjera polijetanja i slijetanja zrakoplova, nastoji se ukazati na prednost svake od mjera kao i na odabir onih najefektivnijih i najučinkovitijih za Zračnu luku Franjo Tuđman.

### **1.4. Primjena istraživanja**

Razina buke zrakoplova danas je 75 % niža nego razina buke mjerene prije 40 godina. Cilj u budućnosti je smanjenje današnje razine buke za dodatnih 50%. Implementacija operativnih zabrana od strane zračnih luka zbog redukcije buke može imati značajan utjecaj na poslovanje zračne luke i sekundarnih dionika, prijevoza robe, razvoja interkontinentalne mreže zračnog prometa, te stabilnost ekonomije općenito. U sklopu rada najveća pozornost pridaje se primjeni mjera za smanjenje buke na području Zračne luke Franjo Tuđman. Sukladno prognozi rasta prometa potrebno je, u svrhu održivog razvoja zračne luke kontinuirano ažurirati postojeću strategiju upravljanja bukom, unutar koje će se definirati operativne mjere koje služe za daljnje reduciranje iste na području Zračne luke Franjo Tuđman i oko nje. Za daljnji razvoj svakako je potrebno u suradnji s Hrvatskom kontrolom zračne plovidbe definirati moguće promjene koridora koji će omogućiti maksimalnu redukciju buke. Također, vrlo je važna učestala primjena CDO i CCO mjera na što veći broj letova uz osiguranje sigurnog i učinkovitog letenja.

### **1.5. Obrazloženje strukture rada**

U uvodnim razmatranjima izložiti će se predmet istraživanja, odrediti će se svrha i ciljevi istraživanja te dati pregled dosadašnjih istraživanja i opis strukture diplomskog rada.

Drugo poglavlje započinje definiranjem izvora buke, prikazati će se zrakoplov kao izvor buke u zračnom prometu te izvori buke na zračnim lukama.

U trećem poglavlju osvrtno je na regulativama, zakonima i pravilnicima kako međunarodne tako i nacionalne razine koje se odnose na praćenje i smanjenje razine buke u zračnom prometu.

Četvrto poglavlje obrađuje metode mjerenja buke. Kako bi se donijele kvalitetne i objektivne odluke o regulaciji zaštite od buke, potrebno je dobro proučiti i isplanirati, kako postojeće, tako i buduće proračune kako bi njihova djelatnost bila na najvišoj razini.

U petom poglavlju obrađivati će se implementacija sustava za mjerenje buke zrakoplova na Zračnoj luci Franjo Tuđman. Prikazati će se princip mjerenja buke, obrade i analiza dobivenih podataka.

Šesto poglavlje obrađuje akcijske planove u cilju smanjenja buke na zračnim lukama gdje će se izložiti pomoću kojih sredstava same zračne luke time i Zračna luka Franjo Tuđman zajedno sa zrakoplovnim kompanijama pokušavaju spriječiti razinu širenja buke na okolna stambena područja i naselja.

U sedmom poglavlju navedena su zaključna razmatranja s osvrtom na operativne mjere za koje se smatra da mogu biti najefikasnije i najučinkovitije na Zračnoj luci Franjo Tuđman.

## 2. IZVORI BUKE U ZRAČNOM PROMETU

Buka je zvuk koji uzrokuje nelagodu u ljudskom uhu i koji stvara tjelesnu opasnost ako joj je pojedinac često i preblizu izložen. Naime, dugotrajno izlaganje buci može izazvati teške posljedice i uzrokovati oboljenja, posebno kada su u pitanju visoke frekvencije buke. Najveći izvori buke prisutni su u cestovnom, željezničkom, pomorskom i riječnom te zračnom prometu. Buka uzrokovana različitim vrstama prometa u Europi pogađa više od 40 % stanovništva jer uzrokuje buku višu od 55 decibela (dB), dok je oko 20 % europskog stanovništva, točnije oko 80 milijuna ljudi izloženo buci od 65 dB [1].

Buka u komercijalnom zračnom prometu uzrokovana je različitim operacijama zračnog prometa. Najveći izvor buke nalazi se u zračnim lukama i zonama prilaznih i odlaznih putanja. U zračnom prometu postoje tri glavna izvora buke, a to su [2]:

- buka koju uzrokuju zrakoplovi svojim operacijama letenja,
- buka koju uzrokuju operacije kretanja zrakoplova,
- opreme za njihov prihvat i opremu u zračnim lukama.

Buci uzrokovanoj zračnim prometom najviše su izložene osobe koje sudjeluju u opsluživanju zrakoplova u zračnim lukama. Ljudsko uho može podnijeti zvučne podražaje u rasponu od 120 do 20.000 herza (Hz), a prvi znakovi oštećenja javljaju se na izloženosti buci od 4.000 Hz [3].

U posljednjih pola stoljeća zbog naglog razvoja zračnog prometa raste i razina buke u svjetskim zračnim lukama i oko njih, što predstavlja sve veći problem za stanovništvo koje živi u neposrednoj blizini neke zračne luke. Već sredinom prošlog stoljeća, kada su se pojavili prvi mlazni motori, pogonska grupa zrakoplova stvarala je ja veliku buku. Upravo stoga je NASA (engl. *National Aeronautics and Space Administration*) sedamdesetih godina prošlog stoljeća počela proučavati buku koju stvaraju zrakoplovi te su se počela uvoditi određena operativna ograničenja u svjetskim zračnim lukama. Sve je to dovelo do toga da su dizajneri zrakoplova pred sobom imali novi izazov koji je značio dizajniranje zrakoplova koji svojom strukturom ne stvara jako veliku razinu buke u letu. Nagli razvoj tehnologije u proteklih nekoliko desetljeća omogućio je dizajnerima zrakoplova da napokon značajno smanje razinu buke koju proizvode zrakoplovi svojim operacijama letenja. Tako je razina buke smanjena za oko 75 % u odnosu na sredinu prošlog stoljeća. Međutim, buka u zračnom prometu i dalje je veliki problem u zračnim lukama i područjima oko zračnih luka. Daljnji razvoj tehnologije te implementiranje novih

operativnih mjera trebali bi dovesti do dodatnog smanjenja buke u zračnim lukama i zonama oko njih [4].

## **2.1. Zrakoplov kao izvor buke**

Buka zrakoplova određuje se kao svaki neželjeni zvuk, odnosno podražaj koji proizvodi zrakoplov. Pri tome se buka koju proizvodi zrakoplov može podijeliti u tri sljedeće skupine [2]:

- buka koju proizvodi pogonska grupa zrakoplova (motor),
- buka koju uzrokuje struktura (oblik) zrakoplova,
- buka uzrokovana uzajamnim utjecajem motora i strukture zrakoplova (kombinacija prve dvije vrste buke).

### **2.1.1. Buka pogonske grupe**

Buka pogonske grupe uzrokovana je svim dijelovima i uređajima koji služe za ostvarenje strujanja zraka oko uzgonskih površina. U pogonsku grupu ubrajaju se mlazni i elisni motori. Buka koju proizvodi pogonska grupa klipnih i turbo-elisnih zrakoplova zanemariva je u odnosu na buku koju stvaraju mlazni i elisni motori. Kod klipnih i turbo-elisnih zrakoplova izvor buke je sama elisa. S druge strane, buka koju proizvode mlazni i elisni motori uzrokovana je svim dijelovima i uređajima koji služe za ostvarenje opstrujavanja zraka oko uzgonskih površina. Stoga se danas koriste zrakoplovi sa sljedećim pogonima [5]:

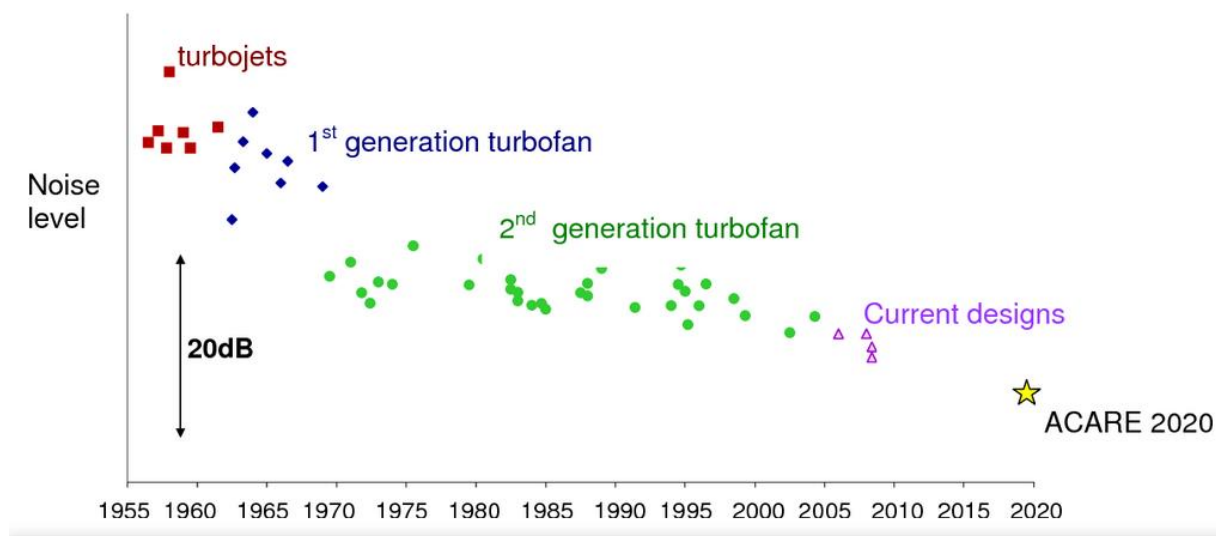
- turbo-mlazni pogon,
- turbo-ventilatorski pogon,
- propelerski pogon s klasičnim ili turbinskim motorom.

Glavni dijelovi mlaznog motora jesu uvodnik, kompresor, komora izgaranja, turbina i mlaznik. Turbomlazni motor radi tako da zrak ulazi u uvodnik koji ima oblik difuzora, pa zbog toga nastaje smanjenje brzine i povećanje statičkog tlaka. U kompresoru se zrak komprimira, točnije tlak zraka se značajno povećava, što uzrokuje povećanje temperature. Prije ulaska u komoru izgaranja zrak prolazi kroz difuzor, gdje mu se dodatno smanjuje brzina s ciljem stabilnog izgaranja. U komoru izgaranja ubrizgava se gorivo koje se raspršuje i izgara. Svjećica za inicijalizaciju izgaranja koristi se samo kod pokretanja za paljenje smjese i goriva, nakon čega se isključuje jer se gorivo neprestano ubrizgava u plamen. U komori izgaranja povećava se radna temperatura dok tlak ne padne zbog otpora strujanja. Dio oslobođene toplinske energije

se na lopaticama turbine pretvara u mehanički rad koji služi za pokretanje kompresora. Produkti izgaranja nakon turbine prolaze kroz mlaznik, a tu im se povećava brzina te oni ekspandiraju do približno tlaka okoline .

Iz takvog principa rada turbomlaznog motora vidljivo je da se buka uzrokovana njegovim radom sastoji od buke usisa, buke kompresora, buke uzrokovane vibracijama kućišta motora te buke koju proizvodi mlaznik, odnosno izlazni mlaz. U letu je razina buke mlaza niža od razine za isti režim rada kada zrakoplov miruje na tlu, i to za 3 do 5 dB. Razlog tome je manja relativna brzina izlaznog mlaza u odnosu na zrak okoline. To je i razlog za manje intenzivno vrtloženje.

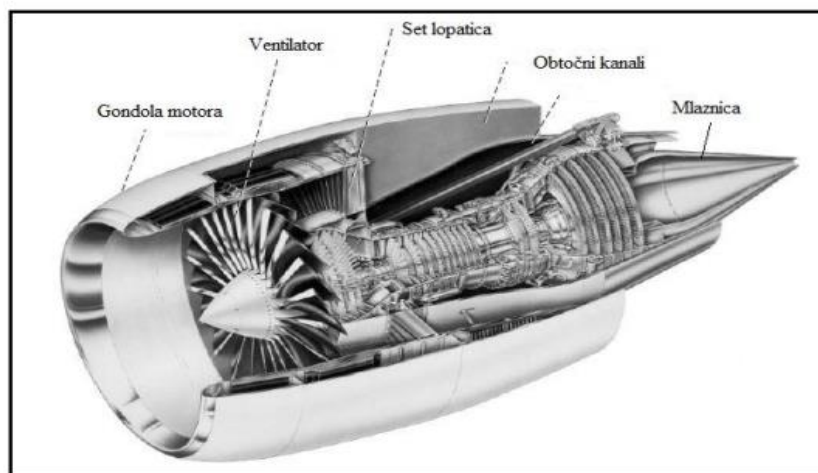
Kako je istaknuto, pojava prvih turbomlaznih motora sredinom prošlog stoljeća predstavljala je značajni izvor buke, pa je bilo potrebno smanjiti razinu te buke, što se ostvarilo zahvaljujući tehnološkom razvoju pogonske grupe. Na slici 1. prikazan je tehnološki razvoj i modernizacija zrakoplovnih motora u razdoblju od 1950. godine do danas te njihov položaj u odnosu na razinu zvuka. Svaki od tih zrakoplova što je kasnije konstruiran djeluje tiše te se redukcija buke nastavlja i dan danas.



**Slika 1.** Tehnološki razvoj pogonske grupe u razdoblju od 1950. do danas, [6]

Prema podacima prikazanim na slici 1. vidljivo je da je druga generacija turboventilatorskih motora koja se počela razvijati osamdesetih godina prošlog stoljeća značajno smanjila razinu buke u odnosu na prvu generaciju tih motora koja se u zrakoplovima počela koristiti pedesetih godina prošlog stoljeća. Turboventilatorski motor je tip motora sličan turbomlaznom, ali je kod njega buka niža. Takav se motor sastoji od lopatica i manjeg

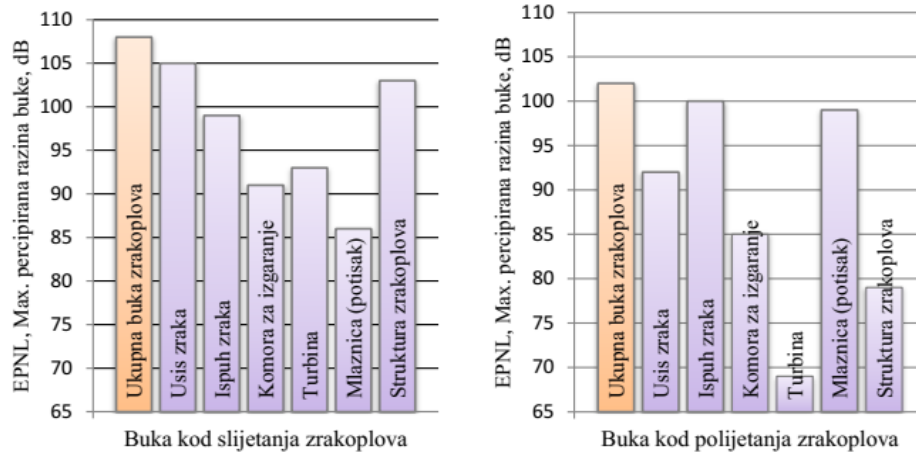
turbomlaznog motora. Turboventilatorski motor pokreću lopatice pomoću kojih zrak struji i daje potisak. Današnji turboventilatorski motori nastali su upravo kao rezultat nastojanja da se smanji buka koju proizvodi motor zrakoplova i da se poveća stupanj iskorištenja turbomlaznog motora. Kod prve generacije turboventilatorskih motora najveći su izvor buke proizvodili mlazni ispuh, kompresor i turbina, dok je u novijoj generaciji tih motora buka na granici tolerancije [2]. Upravo iz tih razloga danas većina komercijalnih zrakoplova koristi drugu generaciju turboventilatorskih motora. Na slici 2. prikazana je konstrukcija današnjeg turboventilatorskog motora.



**Slika 2.** Konstrukcija današnjeg turboventilatorskog motora, [6]

Prema slici 2. vidljivo je da su glavni dijelovi modernog turboventilatorskog motora gondola motora, ventilator, set lopatica, mlaznica te određeni optočni kanali.

Na grafikonu 1. prikazana je distribucija maksimalne percipirane razine buke (engl. *Effective Perceived Noise Level – EPNL*) po određenim komponentama tipičnog turboventilatorskog zrakoplova u pojedinim fazama leta.



**Grafikon 1.** Distribucija razine buke po pojedinim komponentama zrakoplova pri slijetanju i polijetanju, [6]

Prema podacima prikazanim na grafikonu 1. vidljivo je da su glavni izvori buke po pojedinim komponentama zrakoplova pri slijetanju zrakoplova usis zraka u motor, ispuh zraka i struktura zrakoplova. S druge strane, pri polijetanju zrakoplova glavni izvori buke jesu ispuh zraka, mlaznice (potisak) te usis zraka. Isto tako, vidljivo je da je ukupna buka zrakoplova veća pri slijetanju zrakoplova nego pri polijetanju.

Što se tiče propelerskog pogona, u današnje vrijeme nije toliko zastupljen u komercijalnom zrakoplovstvu. Propelerski pogon se uglavnom koristi za pogon malih zrakoplova generalne avijacije. Izvor polja buke uzrokovane propelerskim pogon izrazito je frekvencijski tonalno i prostorno usmjeren. Buka propelera prvenstveno je povezana s debljinom krakova propelera i aerodinamičnim tlakovima na krakovima koji stvaraju postojani potisak i zakretni moment. Izvor propelerske buke je i turbulencija na graničnom sloju krakova u nadolazećoj struji zraka, ali spektar je širokopojasni, a buka je obično niska. Na razinu i spektar buke propelera utječe više čimbenika, kao što su na propeleru obodna i progresivna brzina vrha kraka, oblik aeroprofila kraka, broj krakova, uravnoteženost rotirajućih dijelova propelera te udaljenost promatrača [7].

Izvori propelerske buke mogu biti stalni, promjenjivi i slučajni. Stalni izvori propelerske buke proizvode periodičnu buku, a nastaju zbog debljine aeroprofila iz poprečnog periodičnog pomaka zraka zbog prolazećeg kraka propelera. Promjenjivi izvori propelerske buke vremenski ovise o položaju referentne ravnine rotacije propelera prema nadolazećoj struji zraka, a sadrže periodične i slučajne varijacije opterećenja na krakovima. Slučajni izvori buke proširuju spektar buke te su tipični generatori širokopojasne buke. Prvi izvor širokopojasne buke jest interakcija

nadolazeće turbulentne struje zraka s napadnim rubovima krakova, dok je drugi izvor širokopojasne buke temeljen na generiranju promjenjive buke opterećenja na izlaznim rubovima krakova zbog razvoja turbulentnog graničnog sloja na njihovim površinama [7].

### 2.1.2. Buka uzrokovana strukturom zrakoplova

Buka uzrokovana strukturom zrakoplova određuje se kao svaki neželjeni zvuk, odnosno podražaj koji nastaje tijekom protoka zraka uz strukturu (oblik) zrakoplova. Buka koju uzrokuje struktura zrakoplova nastaje zbog pulsiranja aerodinamičnih sila na krilu, postojanja turbulentnog graničnog sloja te vrtloga koji se pojavljuje pri opstrujavanju površine krila, trupa i repnih površina, kao i zbog struja oko stajnog trapa, zakrilaca i raznih izbočina na trupu zrakoplova [2].

Iz grafikona 1. mogu se iščitati i podaci vezani za buku uzrokovanu strukturom zrakoplova pri slijetanju i polijetanju zrakoplova. Vidljivo je da je buka uzrokovana strukturom zrakoplova znatno niža pri polijetanju u odnosu na slijetanje zrakoplova. Pri slijetanju zrakoplova buka koju uzrokuje struktura zrakoplova može se usporediti s bukom pogonske grupe zrakoplova. Na slici 3. prikazani su izvori buke uzrokovane strukturom zrakoplova.

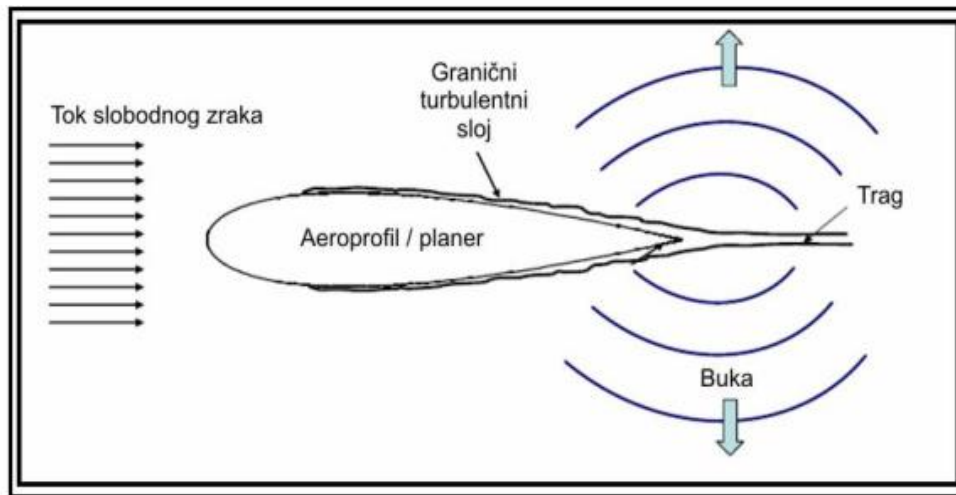


**Slika 3.** Izvori buke uzrokovane strukturom zrakoplova, [2]

Na slici 3. vidljivo je da su izvori buke uzrokovane strukturom zrakoplova prednji i glavni stajni trap, predkrilca, zakrilca, pomična površina krila te vertikalni i horizontalni stabilizator. Pri tome su glavni dijelovi strukture zrakoplova koji proizvode buku jesu pokretni sustavi na krilima zrakoplova te prednji i glavni stajni trap.



Naime, pokretni sustavi na krilima zrakoplova su glavni uzročnici buke uzrokovane strukturom zrakoplova zbog nestabilnog protoka zraka u području otvorenih i zatvorenih zakrilca, predkrilca i ostalih pomičnih dijelova na krilima zrakoplova [4]. Širenje buke generirane protokom zraka preko aeroprofila krila zrakoplova prikazano je na slici 4.



**Slika 4.** Širenje buke generirane protokom zraka preko aeroprofila krila zrakoplova, [2]

Uz pokretne sustave na krilima zrakoplova glavni uzročnici buke uzrokovane strukturom zrakoplova jesu prednji i glavni stajni trap. Ti dijelovi zrakoplova uzrokuju buku zbog protoka zraka koji opstrujava oko stajnog trapa. Zbog različitog geometrijskog oblika, dimenzija te oštih prijelaza stajni trap pojačava kompleksnost protoka zraka, a to uzrokuje i veću buku. Dijelovi nosnoga kotača koji najviše utječu na stvaranje buke jesu oplata nakon izvlačenja kotača, glavna noga, potpornik, osovina, kotači i kočnice [7]. Pri tome je buka koju uzrokuje stajni trap najveća kod velikih komercijalnih zrakoplova, čak i veća od buke koju uzrokuju pomični dijelovi na krilima zrakoplova. Zanimljivo je istaknuti da pomični dijelovi na krilima zrakoplova uzrokuju višu razinu buke od stajnog trapa kod zrakoplova srednje veličine [4].

S obzirom na to da je buka uzrokovana strukturom zrakoplova značajni izvor buke, dizajneri zrakoplova moraju pronaći dodatna adekvatna rješenja kako bi tu buku još više smanjili. U svijetu prevladavaju komercijalni zrakoplovi koji imaju trup, krila i repnu površinu, dok bi se u budućnosti dizajn zrakoplova mogao značajno promijeniti kako bi se smanjila razina buke uzrokovana postojećom strukturom, prvenstveno pomičnim dijelovima na krilima zrakoplova te prednjim i glavnim stajnim trapom.

## 2.2. Zračna luka kao izvor buke

Osim zrakoplova koji proizvode buku izvor buke su i zračne luke, točnije zrakoplovi tijekom boravka u zračnim lukama te vozila i ostala oprema za prihvat i otpremu zrakoplova. Iako je razina buke koju proizvode vozila i ostala oprema u zračnoj luci u odnosu na buku koju proizvode zrakoplovi zanemariva, ona je kontinuirana zbog velike koncentracije takvih vozila. Što je zračna luka veća i što u njoj prometuje više zrakoplova, to je i veća buka koju stvaraju vozila i ostala oprema za prihvat i otpremu zrakoplova.

Kako bi se smanjila buka koju proizvodi zračna luka provode se određene preventivne mjere [8]:

- izgradnja novih zračnih luka na prikladnim lokacijama, točnije daleko od područja na kojem žive ljudi jer je stanovništvo osjetljivo na razinu buke koju proizvodi zračna luka,
- donošenje regulativa o razini buke koja je prihvatljiva na području zračne luke,
- osiguravanje dostupnosti godišnjih izvještaja o zaštiti okoliša koje izdaje zračna luka,
- definiranje zone u blizini zračnih luka s maksimalnom dopuštenom razinom buke, uzimajući u obzir godišnji rast broja operacija zrakoplova i mogućnost širenja zračne luke.

Učinci buke razine razdoblja dan-noć na stanovništvo u blizini zračnih luka prikazani su u tablici 1. S obzirom na izvor buke područje zračne luke može se podijeliti na dva glavna dijela [9]:

- Zračnu stranu (engl. *Airside*) – obuhvaća terminalni zračni prostor i aerodromske površine poput uzletno-sletne staze (USS), pozicije i stajanke za čekanje, sustava vozničkih staza, izlaznu voznu stazu i stajanku. Glavni izvori buke su zrakoplovi, vozila prihvatna i otpreme zrakoplova te određene infrastrukturne građevine,
- Zemaljsku stranu (engl. *Landside*) – obuhvaća terminalnu zgradu, zgradu robnog prometa, parkirališta, garaže, aerodromske ceste i prometni sadržaji te ostale zgrade i površine.

**Tablica 1.** Tipični učinci buke na stanovništvo u blizini zračnih luka

L <sub>dn</sub> razina (dB)	Gubitak sluha	Postotak (%) populacije s visokom smetnjom	Tipična reakcija stanovništva	Opći stav zajednice/stanovništva
75 ili više	Mogućnost pojavljivanja	37 %	Vrlo stroga	Buka je vjerojatno najbitniji čimbenik okoliša zajednice
70	Mala vjerojatnost pojave	22 %	Stroga	Buka je jedan od najvećih oblika štetnog djelovanja na okoliš zajednice
65	Nema pojave	12 %	Značajna	Buka je jedan od najbitnijih čimbenika okoliša zajednice
60	Nema pojave	7 %	Umjerena do slaba	Buka se smatra kao oblik štetnog djelovanja na okoliš zajednice
55	Nema pojave	3 %	Umjerena do slaba	Buka se smatra jednako važna kao i svaki drugi oblik štetnog djelovanja na okoliš zajednice

Izvor: [10]

Razina buke koju proizvode zrakoplovi pri slijetanju i polijetanju, kako je prikazano u grafikonu 1, nije zanemariva. Stanovništvo koje živi u blizini zračnih luka, naročito ispod prilaznih i odletnih koridora osjetljivo je na takvu buku. Nekoliko je razloga zbog kojih nastaje buka pri kretanju, odnosno boravku zrakoplova na tlu, a to su sljedeći razlozi [4]:

- promjena smjera potiska zrakoplova (engl. *Reverse thrust*) s ciljem povećanja sile kočenja nakon slijetanja,
- kretanje zrakoplova od parkirne pozicije do uzletno-sletne staze (USS),
- uporaba pomoćnog agregata (engl. *Auxiliary Power Unit – APU*) tijekom boravka zrakoplova na parkirnoj poziciji, odnosno tijekom njegovog prihvata i otpreme,
- servisiranje, odnosno testiranje motora.

Izvori buke na zračnoj strani osim zrakoplova čine vozila i ostala oprema za prihvata i otpremu zrakoplova. Oprema za prihvata i otpremu zrakoplova može se podijeliti na pokretnu i nepokretnu opremu. Pokretna oprema za prihvata i otpremu zrakoplova razvrstava se u sljedeće četiri skupine [11]:

- oprema za ukrcaj i iskrcaj putnika,
- oprema za utovar ili istovar prtljage,
- oprema za utovar ili istovar tereta,
- oprema za servis zrakoplova.

Oprema za ukrcaj i iskrcaj putnika obuhvaća:

- autobuse koji se koriste za prijevoz putnika od aerodromske zgrade preko stajanke do mjesta ukrcavanja (ulaska) u zrakoplov i obratno,
- zračne mostove koji se koriste za neposredno ukrcavanje (ulazak) i iskrcavanje (izlazak) iz terminala do zrakoplova i obratno,
- posebna sredstva za ukrcaj i iskrcaj putnika (npr. aerodromske stepenice, ambulift i sl.).

Oprema za utovar ili istovar prtljage obuhvaća prijevozna (kolica za prijevoz prtljage, vučna vozila i samohodna vozila za prijevoz kontejnera s prtljagom) te utovarno-istovarna sredstva (mobilne tekuće trake te laki utovarivači). Sredstva za utovar ili istovar tereta mogu se podijeliti u dvije skupine:

- sredstva za transfer, odnosno prijevoz (transporter, ULD kolica),
- sredstva za utovar, odnosno istovar (utovarivač).

Za servis i opskrbu zrakoplova koriste se sljedeća tehnička sredstva:

- catering vozila za opskrbu zrakoplova hranom,
- vozila agregati za napajanje zrakoplova električnom energijom,
- vozila cisterne za opskrbu zrakoplova vodom,
- vozila cisterne za servis sanitarija,
- vozila starteri,
- vozila s klimatskim uređajima,
- vozila cisterne za opskrbu zrakoplova gorivom,
- vozila za čišćenje i uređivanje kabine zrakoplova [11].

Pri tome najveću buku proizvode vozila agregati za napajanje zrakoplova električnom energijom. Ipak, razina buke koju proizvode ta vozila niža je od pomoćnog agregata koji se nalazi unutar zrakoplova, pa se upravo zbog smanjenja buke, ali i zbog smanjenja potrošnje goriva (a samim time i emisije štetnih ispušnih plinova) potiče korištenje tih vozila prilikom prihvata i otpreme zrakoplova u zračnoj luci.

### 3. PRAVNE REGULATIVE O BUCI U ZRAČNOM PROMETU

S obzirom na to da je buka uzrokovana zračnim prometom, odnosno buka koju proizvode zrakoplovi i zračne luke veliki problem, posebno za stanovništvo koje živi u blizini zračne luke, doneseno je više pravnih odredbi o buci u zračnom prometu na međunarodnoj razini, a nekoliko pravnih odredbi doneseno je na razini Republike Hrvatske. U nastavku se analiziraju pravne regulative o buci u zračnom prometu na međunarodnoj i na nacionalnoj razini.

#### 3.1. Međunarodna razina

Tijekom posljednjih 15 godina Europska unija provodi dosljednu strategiju istraživanja usmjerenu na rješavanje problema buke u zrakoplovstvu. Taj je prioritet prvi put naveden u Viziji za 2020. godinu Europske zrakoplovne industrije, izvještaju koji je objavljen 2001. godine. U tom su izvještaju postavljeni sljedeći ciljevi [12]:

- smanjenje percipirane buke na polovicu trenutačnih prosječnih razina,
- uklanjanje smetnje buke izvan granica zračne luke i danju i noću, pomoću tihih zrakoplova, poboljšanim planiranjem korištenja zemljišta oko zračnih luka i sustavnom primjenom postupaka smanjenja buke.

Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva (engl. *The International Civil Aviation Organization – ICAO*) odredila je putem Balance Approach (engl. *The Balanced Approach to Aircraft Noise Management*)<sup>1</sup> četiri ključna elementa za učinkovitu redukciju buke zrakoplova, bez ugrožavanja sigurnosnih standarda, a koji moraju imati prednost nad zaštitom okoliša. To su sljedeće četiri mjere [13]:

- Smanjenje buke na zrakoplovu – uključuje upotrebu tihih zrakoplova i provedbu mjera za smanjenje buke na motorima, krilima i pri slijetanju na postojeću flotu zrakoplova.
- Lokalne mjere u blizini zračne luke – uključuju plan korištenja zemljišta prilagođenih zonama za zaštitu od buke, pasivnom upravljanju buke te naknadama za uzlijetanje i slijetanje.
- Postupci za smanjenje buke u zraku na tlu – odnosi se na raspon inovativnih postupaka za let koji se ispituju na raznim zračnim lukama.

---

<sup>1</sup> engl. *The Balanced Approach to Aircraft Noise Management- Uravnoteženi pristup upravljanja bukom zrakoplova*

- Operativna ograničenja temeljena na buci – ograničenja koja bi trebala biti provedena kao posljednje sredstvo, odnosno ako prve tri mjere ne donose prihvatljivo smanjenje razina onečišćenja zraka u zrakoplovu.

Pri tome je ICAO utvrdila da na međunarodnoj razini prve tri mjere imaju viši prioritet od četvrte.

### 3.1.1. ICAO Dodatak 16

ICAO Dodatak 16 (Annex 16) Konvencije o međunarodnom civilnom zrakoplovstvu (engl. *Convention on International Civil Aviation*), poznatije kao Čikaška konvencija (engl. *Chicago Convention*) usvojen je 1971. godine. Tim se dodatkom ispituju aspekti povezani s bukom u blizini zračnih luka te problemi povezani s bukom zrakoplova kao što su sljedeći aspekti problema[13]:

- postupci mjerenja buke zrakoplova,
- ljudska tolerancija buke zrakoplova,
- certifikacije buke zrakoplova,
- kriteriji za uspostavu postupaka za smanjenje buke zrakoplova,
- kontrola buke pri opsluživanju zrakoplova.

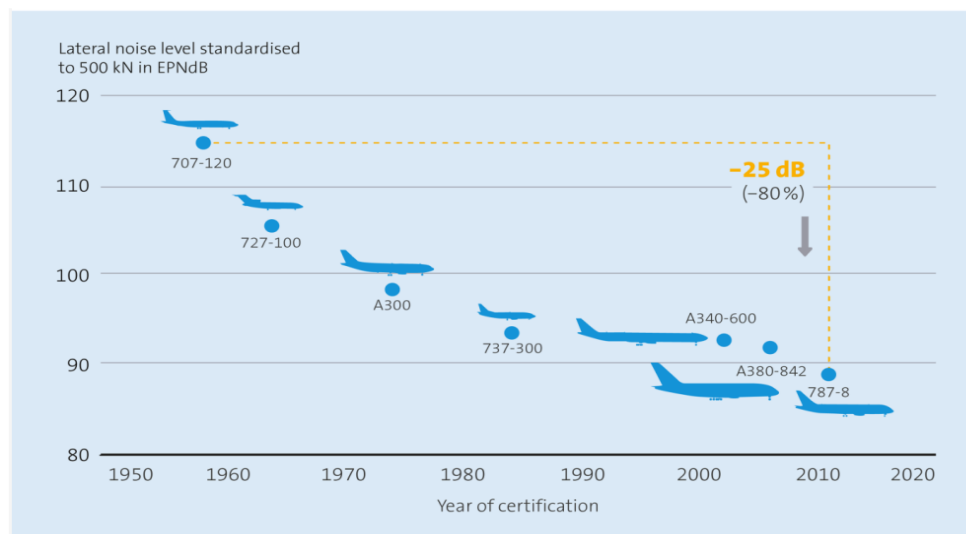
Dopuštene razine buke koje su definirane u ICAO Dodatku 16 ovise o najvećoj dopuštenoj masi pri uzlijetanju (engl. *Maximum Take-Off Mass* – MTOM) i broju motora zrakoplova, pa su stoga različite za svaki model. Standardi buke poznati kao Chapter 2., 3., 4. i 14. navode zahtjeve koje moraju ispunjavati različiti modeli zrakoplova. Prema ICAO Dodatku 16, zrakoplovi su bili podijeljeni u četiri kategorije [3]:

- kategorija 1 – ta se kategorija vrlo rijetko koristi, naročito u EU, a odnosi se na zrakoplove koji s obzirom na dopuštenu razinu buke ne mogu dobiti certifikat o plovidbenosti (engl. *Non-Noise Certificated* – NNC), u ovu kategoriju spadaju zrakoplovi poput *Boeing*-a B707 i *Douglas*-a DC-8,
- kategorija 2 – kategorija zrakoplova koja djelomično odgovaraju dopuštenoj razini buke; cilj je te kategorije bio izbaciti te zrakoplove iz uporabe ili ih utišati (*Boeing* B727, *Douglas* DC-9),
- kategorija 3 – kategorija kojoj pripadaju tzv. „tihu“ zrakoplovi, odnosno zrakoplovi koji proizvode dopuštenu razinu buke (*Boeing* B737-300/400, B767, *Airbus* 319),

- kategorija 4 – kategorija koja je stupila na snagu 2006. godine; obuhvaća zrakoplove koji da bi bili prihvatljivi moraju proizvoditi razinu buke nižu od 10 dB od postavljenih granica, odnosno od zrakoplova iz prethodne kategorije (*Airbus A380, Boeing B737NG, B787*).

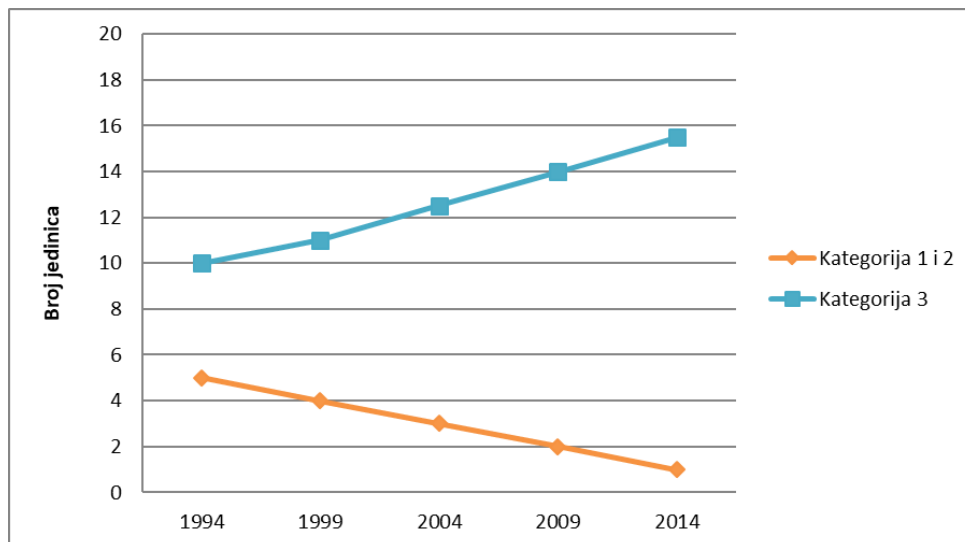
U cilju provedbe dodatnih mjera smanjenja razine buke koju proizvode zrakoplovi ICAO-ova radna grupa za zaštitu okoliša (engl. *Committee on Aviation Environmental Protection – CAEP*) predložila je novu kategoriju zrakoplova, točnije kategoriju 14. U tu se kategoriju ubrajaju zrakoplovi koji trebaju proizvoditi kumulativnu razinu buke za 7 dB manju od zrakoplova koji pripadaju kategoriji 4. Uvjeti iz te nove kategorije zrakoplova primjenjuju se na zrakoplove predviđene za dobivanje certifikata o ploidbenosti nakon 31. prosinca 2017. godine, odnosno za zrakoplove najveće dopuštene mase za polijetanje (engl. *Maximum Take-Off Mass - MTOM*) do 55 tona koji su predviđeni za dobivanje certifikata o ploidbenosti nakon 31. prosinca 2020. godine [14].

Na slici 5. prikazan je razvoj emisija buke koje proizvodi pojedini zrakoplov od 1950. do 2020. godine.



**Slika 5.** Razvoj emisije buke kod zrakoplova od 1950. do 2020. godine, [13]

Prema slici 5. vidljivo je da je u posljednjih nekoliko desetljeća napravljen veliki napredak u smanjenju buke kod zrakoplova. Tako je kod posljednjih generacija zrakoplova (A380-842 i 787-8) buka smanjena za 25 dB, odnosno za 80% u odnosu na buku zrakoplova koji su konstruirani sredinom prošlog stoljeća. Na slici 6. prikazan je pregled svjetske flote zrakoplova prema kategorijama u razdoblju od 1994. do 2014. godine.



**Slika 6.** Pregled svjetske flote zrakoplova prema kategorijama ICAO Dodatka 16 vezanima za buku zrakoplova, [3]

Prema podacima prikazanim na slici 6. vidljivo je da kategorije 1 i 2 zrakoplova s obzirom na njihovu bučnost u razdoblju od 1994. do 2014. godine izlaze iz uporabe te da prevladava kategorija 3 zrakoplova. Pri tome zrakoplovni prijevoznici koji posjeduju zrakoplove koji pripadaju kategoriji 2 plaćaju restrikcije za svaki let na područje Europe gdje postoje restrikcije vezane za dopuštenu razinu buke koju proizvodi zrakoplov jer ti zrakoplovni prijevoznici ne posjeduju financijska sredstva potrebna za kupnju nove flote. Uglavnom je riječ o zrakoplovnim prijevoznicima iz Afrike, Latinske Amerike i Istočne Europe [4].

Osim toga što u europskim zračnim lukama prometuju zrakoplovi iz treće kategorije zrakoplova, vlade nekih država članica Europske unije, kao što su Nizozemska i Njemačka, uvode restriktivne mjere čak i za korištenje bučnijih zrakoplova iz treće kategorije zrakoplova te ograničavaju njihovo prometovanje. Također se potencira prometovanje manje bučnih zrakoplova iz treće kategorije zrakoplova tako što im se daje prednost pred ostalima te se omogućuje njihovo slijetanje bez restrikcija [15].

Ako se određena zrakoplovna kompanija susretne s problemom da njezini zrakoplovi ne zadovoljavaju osnovne norme koje su vezane za buku zrakoplova, takva zrakoplovna kompanija ima tri moguća rješenja [16]:

- prestati letjeti s tim tipom zrakoplova,
- izvršiti modifikacije motora prema važećim propisima,
- izvršiti zamjenu neodgovarajućih motora – preveliki troškovi dizajniranja novog motora.





Kako bi se zrakoplovni prijevoznici prisilili da hitno ispune uvjete iz FAR-a 36 i drugih propisa vezane za razinu buke koju proizvode njihovi zrakoplovi donesene su određene restrikcije na europskom području [2]:

- zrakoplovima druge kategorije u Europi naplaćuju se i do 300 % veće pristojbe za slijetanje,
- zrakoplovima s ugrađenim sustavom za utišavanje koji slijeću u Europi nameću se kaznene pristojbe koje su i do 30 % veće u odnosu na zrakoplove nove generacije.

Iz toga je vidljivo da je za europske zrakoplovne prijevoznike bio potreban drugačiji pristup u odnosu na američke zrakoplovne prijevoznike jer je većina europskih zrakoplovnih prijevoznika izravno ili neizravno subvencionirana državnim sredstvima, za razliku od američkih zrakoplovnih prijevoznika.

### **3.1.3. FAR 91**

FAR 91 je također još jedan od značajnijih pravilnika FAR-a, a djelomično je temeljen na pravilniku FAR 36. Točnije, FAR 91 se ograničava na operacije civilnih zrakoplova podzvučnih turbo-mlaznih s maksimalnom težinom većom od 75.000 lb u SAD-u, osim ako nisu kategorizirani FAR-ov dio 36 druge ili treće kategorije. Pravilnik je prvi put prihvaćen 1977. godine, s ciljem eliminiranja svih zrakoplova druge kategorije do kraja 1994. godine do 25 %, do 1996. godine do 50 %, a do 1998. godine do 70 %. Godine 1990. američka vlada prihvatila je akt o aerodromskoj buci i kapacitetu koji je pozvao FAA da razvije državnu politiku prema zrakoplovnoj buci i propisima [3].

### **3.1.4. Direktiva EU-2002/49/EC**

Direktiva EU-2002/49/EC je direktiva Europske unije koja se odnosi na buku iz okoliša kojoj je izloženo stanovništvo u izgrađenim područjima, u javnim parkovima ili drugim tihim područjima u naseljenim područjima, u tihim područjima u prirodi, pored škola, bolnica i drugih zgrada te područja osjetljivih na buku. Ta je Direktiva stupila na snagu 25. lipnja 2002. godine. Politika Europske unije jest povećati razinu zaštite okoliša i zdravlja ljudi, a glavni čimbenik koji utječe na navedeno upravo je razina buke koja se stvara na području zračnih luka.

Glavni ciljevi te Direktive jesu određivanje jedinstvenog pristupa s namjerom da se izbjegnu, spriječe ili smanje štetni utjecaji zbog izloženosti buci u okolišu te osiguravanje

osnove za razvoj mjera u svrhu smanjenja razine buke proizvedene od strane zrakoplova, infrastrukture i ostalih vozila i opreme na zračnim lukama [17].

Rezolucijom Europskog parlamenta u lipnju 1997. godine predložene su provedbe određenih mjera i inicijative za smanjenje štetnog djelovanja buke na okoliš. Tada je Europski parlament pozvao države članice Europske unije na utvrđivanje mjera i inicijativa za smanjenjem buke iz okoliša te je upozorio na nedostatak pouzdanih i usporedivih podataka i različitim izvorima buka. Države članice su kao metodu kojom su mjerili buku koristili indikatore buke  $L_{den}$  (tzv. indikator buke za razdoblje dan – večer – noć – indikator buke za ukupno smetanje) i  $L_{night}$  (indikator noćne buke – indikator buke koja uzrokuje poremećaj sna). Do 18. srpnja 2005. godine države članice Europske unije morale su Europskoj komisiji dostaviti podatke o graničnim vrijednostima unutar njihova teritorija, izražene pomoću spomenutih indikatora buke ili prema potrebi indikatora buke  $L_{day}$  (indikator dnevne buke – indikator buke za smetanje u dnevnom razdoblju) i  $L_{evening}$  (indikator večernje buke – indikator buke za smetanje u večernjem razdoblju) za buku zrakoplova u okolini zračne luke. Nadalje, do kraja lipnja 2007. godine sve države članice Europske unije trebale su izraditi strateške karte buke koje pokazuju stanje u prethodnoj kalendarskoj godini, a prema potrebi su te karte trebale odobriti nadležna tijela (karte za sva područja s više od 250.000 stanovnika i glavne zračne luke unutar svojih teritorija). Za izradu karte buke potrebni su sljedeći podatci:

- postojeće, prethodno ili predviđeno stanje razine buke,
- prekoračenje dozvoljenih granica,
- procijenjeni broj škola, bolnica i drugih objekata u području pod utjecajem određenog intenziteta buke,
- procjena broja stanovnika u području izloženom negativnom utjecaju buke.

Sve su članice Europske unije obvezne objaviti javnosti karte. Svakih pet godina podnosi se izvještaj komisiji o karti buke uz koju se prati njena promjena. Prema EU direktivi [17] za mjerenje buke definira se indikator  $L_{den}$  za koji je propisana formula(1):

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} [14 \times 10^{0,1L_{day}} + 2 \times 10^{0,1(L_{evening} + 5)} + 8 \times 10^{0,1(L_{night} + 10)}] \quad (1)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- $L_{den}$  (*Level Day-Evening-Night*) – indikator buke koji se odnosi na ukupnu iritaciju uzrokovanu bukom,

- $L_{day}$  (*Level Day*) – indikator buke koji se odnosi na ukupnu iritaciju uzrokovanu bukom tijekom perioda dana,
- $L_{evening}$  (*Level Evening*) – indikator buke koji se odnosi na ukupnu iritaciju uzrokovanu bukom tijekom perioda večeri,
- $L_{night}$  (*Level Night*) – indikator koji ukazuje na poremećaj sna uzrokovan bukom.

Veličina  $L_{den}$  uvedena je zbog veće preciznosti mjerenja obzirom da letovi koji polijetali ili slijetali iza 18:00h pa do 06:00h pripadali u skupinu noćnih letova što nije prihvatljiv pokazatelj s obzirom da u periodu večeri uvijek postoji količina pozadinske buke. Veličina je usmjerena na mjerenje tri perioda (dan, večer, noć) i služi za izradu karte buke. Svaki dio formule odnosi se na jedan period dana. Za mjerenje dnevne buke (od 07:00 do 19:00) na razinu dB ne pribrajaju se penali. Kod mjerenja večeri (od 19:00 do 22:00) pribrajaju se penali od 5 dB, dok se kod izračuna buke tijekom noći (od 22:00 do 07:00) pridodaje deset dB kao što je prikazano u tablici [4].

**Tablica 2.**  $L_{den}$  penali ovisno o periodu dana

24 satne veličine	Veličina jednog događaja	Vrijeme		Veličina (težina)
$L_{den}$	SEL	Dan	7:00 -1 9:00	0 dB
		Večer	19:00 – 22:00	5 dB
		Noć	22:00 – 07:00	10 dB

Izvor: [2]

Do 18. srpnja 2008. godine države članice trebale su osigurati izrađene akcijske planove pregleda problema buke, njezinog učinka unutar teritorija te smanjenja buke za naseljena područja s više od 250.000 stanovnika. Takvi planovi trebaju štititi tiha područja od povećanja buke te trebaju biti usmjereni na prepoznavanje prekoračenja granične vrijednosti.

### 3.1.5. Direktiva 2002/30/EC - 598/2014/EC

Direktiva 2002/30/EC Europskog parlamenta i Vijeća stupila je na snagu 26.03.2002. godine. Temeljni cilj zajedničke politike europske zajednice, unutar navedene direktive, je održivi razvoj u pogledu stalnog unaprjeđenja odnosno povećanja razine zaštite okoliša. U svrhu provedbe takve politike, direktivom 2002/30/EC utemeljuju se propisi i procedure u svezi uvođenja operativnih mjera odnosno ograničenja zbog razine buke koju proizvode zrakoplovi

na zračnim lukama u Europi. U cilju provođenja operativnih ograničenja na pojedinim zračnim lukama, potrebno je ograničiti i/ili smanjiti broj ljudi koji živi u blizini zračnih luka na koje značajno djeluje štetni utjecaj buke. Uz spomenuto, ciljevi direktive su:

- utvrđivanje pravila kako bi se omogućilo uvođenje operativnih ograničenja u skladu s nivoom aerodroma tako da se ograniči ili smanji broj ljudi na koje štetni utjecaj buke značajnije djeluje,
- osiguravanje okvira u svrhu zaštite zahtjeva unutarnjeg tržišta,
- omogućavanje postizanja određenih ciljeva smanjenja buke na nivou pojedinih aerodroma,
- omogućavanje izbora mjera među onim koje su raspoložive za postizanje najveće koristi za okoliš uz najniže troškove.

Direktivom 2002/30/EC uređeno je da svaka članica Europske unije, time i Republika Hrvatska, treba izraditi buduće strategije upravljanja i kontroliranja buke zrakoplova (*ANM – Aircraft Noise Management*) za pojedine zračne luke gdje im se omogućuje izbor mjera koje su ekonomski i ekološki prihvatljive. Također, direktivom se određuje nadležna vlast te se donose:

- opća pravila upravljanja bukom,
- pravila o procjeni,
- pravila o uvođenju operativnih ograničenja s ciljem povlačenja zrakoplova koji granično udovoljavaju ovisno o tome koja su poglavlja na snazi,
- postojeća operativna ograničenja,
- izuzeća za zrakoplove registrirane u zemljama u razvoju,
- izuzeća za izvanredne zrakoplovne operacije.

Međutim, 16. travnja 2014. godine nova Uredba 598/2014/EC o utvrđivanju pravila i postupaka u vezi s uvođenjem operativnih ograničenja povezanih s bukom u zračnim lukama Europske Unije stavlja izvan snage Direktivu 2002/30/EC. Postavlja se potreba za ažuriranom verzijom načina upotrebe mjera operativnih ograničenja, nakon uklanjanja najbučnijih zrakoplova sukladno Direktivi 2002/03/EC kako bi se nadležnim tijelima omogućilo daljnje rješavanje pitanja najbučnijih zrakoplova radi poboljšanja okruženja u uvjetima buke oko zračnih luka. Uredba je također nastala iz potrebe da se razjasni dodjela odgovornosti i točnih prava i obveza zainteresiranih strana tijekom postupka procjene buke kako bi se zajamčilo poduzimanje troškovno učinkovitih mjera za ostvarenje ciljeva smanjenja buke za svaku zračnu luku. Ova Uredba trebala bi se primjenjivati samo na države članice u kojima se nalazi zračna luka s više od 50.000 operacija u civilnih zrakoplova po kalendarskoj godini i kada se razmatra

uvođenje operativnih ograničenja povezanih s bukom u takvoj zračnoj luci. Ciljevi ove Uredbe su sljedeći [18]:

- pospješiti ostvarivanje ciljeva smanjenja buke, uključujući zdravstvene aspekte, na razini pojedine zračne luke,
- omogućiti korištenje operativnih ograničenja u skladu s uravnoteženim pristupom kako bi se postigao održiv razvoj zračnih luka i mreže upravljanja zračnim prometom s gledišta „od izlaza do izlaza“,
- primjena na zrakoplove koji se upotrebljavaju u civilnom zrakoplovstvu, ne odnosi se na zrakoplove koji se upotrebljavaju u vojnim, carinskim, policijskim i sličnim operacijama.

### **3.2. Nacionalna razina**

Uz navedene međunarodne pravne regulative o buci u zračnom prometu postoje i nacionalne regulative. U Republici Hrvatskoj trenutno je na snazi Zakon o zaštiti od buke te Pravilnik o uspostavljanju pravila i postupaka u svezi uvođenja operativnih ograničenja vezanih za buku zrakoplova na zračnim lukama na teritoriju Republike Hrvatske. U nastavku se analiziraju spomenute nacionalne pravne regulative.

#### **3.2.1. Zakon o zaštiti od buke**

Zakonom o zaštiti od buke (30/09, 55/13, 153/13, 41/16, 114/18) utvrđuju se mjere „u cilju izbjegavanja, sprječavanja ili smanjivanja štetnih učinaka na zdravlje ljudi koje uzrokuje buka u okolišu, uključujući smetanje bukom, osobito u vezi s:

- utvrđivanjem izloženosti buci i to izradom karata buke na temelju metoda za ocjenjivanje buke u okolišu,
- osiguravanjem dostupnosti podataka javnosti o buci okoliša,
- izradom i donošenjem akcijskih planova koji se temelje na podacima korištenim u izradi „karte buke“.

Pri tome se odredbe tog zakona primjenjuju „za ocjenu i upravljanje bukom okoliša kojoj su izloženi ljudi, osobito u izgrađenim područjima, u javnim parkovima ili drugim tihim područjima u naseljenim područjima, u tihim područjima u prirodi, pored škola, bolnica i drugih zgrada i područja osjetljivih na buku“. U skladu s time vidljivo je da taj zakon sadrži odredbe

koje su u skladu s Direktivom 2002/49/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća od 25. lipnja 2002. godine o procjeni i upravljanju bukom okoliša.

Zakonom o zaštiti od buke određeno je da se mjerama zaštite od buke treba spriječiti nastajanje emisije prekomjerne buke, odnosno da se treba smanjiti postojeća buka na dopuštene razine. Pri tome su naseljena područja koja imaju više od 100.000 stanovnika obvezna učiniti sljedeće [18]:

- izraditi strateške karte buke
- izraditi i donijeti akcijske planove.

Zakonom su propisane i određene sankcije koje se odnose na pravne i fizičke osobe koje se ne pridržavaju mjera vezanih za smanjenje buke.

### **3.2.2. Pravilnik o uspostavljanju pravila i postupka u svezi uvođenja operativnih ograničenja vezanih za buku zrakoplova na zračnim lukama na teritoriju Republike Hrvatske**

Pravilnik o uspostavljanju pravila i postupka u svezi uvođenja operativnih ograničenja vezanih za buku zrakoplova na zračnim lukama na teritoriju Republike Hrvatske donesen je 2013. godine. Taj pravilnik sadrži odredbe vezane za buku zrakoplova koje su u skladu s pravnim aktima Europske unije, točnije s Direktivom Europskog parlamenta i Vijeća 2002/30/EZ od 26. ožujka 2002. o uspostavljanju pravila i postupaka u svezi uvođenja operativnih ograničenja vezanih za buku na zračnim lukama Zajednice. Točnije, tim se Pravilnikom želi, između ostaloga, „olakšati postizanje specifičnih ciljeva smanjenja buke zrakoplova na način prilagođen svakoj pojedinoj zračnoj luci“ [19].

Navedeni pravilnik sadrži i dva priloga, odnosno prilog I (popis gradskih zračnih luka) te prilog II (informacije iz članka 6. stavka 1.). U prilogu II u čl. 4. t. 4.1 i 4.2 nalaze se odredbe koje su u skladu s Direktivom 2002/49/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o procjeni i upravljanju bukom.

Prema tome, vidljivo je da postoji veći broj pravnih regulativa donesenih na međunarodnoj i na nacionalnoj razini kojima je cilj smanjiti razinu buke uzrokovanu operacijama u zračnom prometu te da je buka u zračnom prometu, u skladu s time, ozbiljno shvaćena. Osim toga, vidljivo je da je razina buke u zračnom prometu značajno smanjena od sredine prošlog stoljeća do današnjih dana i da se radi na tome da se razina buke u zračnom prometu dodatno smanji.

## 4. METODE MJERENJA BUKE

Mjerenje buke je provjera razine buke koja se provodi s ciljem određivanja dopuštene razine buke i njezina održavanja. Svrha mjerenja buke može se podijeliti na [20]:

- identifikaciju izvora buke,
- osnovu za kontrolu mjerenja buke,
- dobivanje razine buke mjerenjem.

Metode za mjerenje buke povezane sa zračnim lukama jesu metode kojima se mjeri buka prilikom polijetanja ili slijetanja zrakoplova ili na području u blizini zračne luke. Zakonom se definiraju jedinstvene metode mjerenja utjecaja buke koje su povezane sa zračnim lukama. FAA je odabrala metodu mjerenja utjecaja buke u zračnim lukama koja se koristi tijekom noći, a kojom se mjeri razina izloženosti okoline buci i njezinom utjecaju [13].

Međutim, prije opisa metoda mjerenja buke povezanim sa zračnim lukama potrebno je analizirati kako se općenito mjeri zvuk, odnosno buka i kako ona utječe na ljude. Zvuk se iz izvora kreće u valovima. Što je slušatelj bliže izvoru zvuka, to je zvuk glasniji i obrnuto. Zvučni valovi vrše pritisak zvuka, odnosno stvaraju određenu razinu zvuka ili buke koja se mjeri u decibelima. Što je zvuk glasniji, to je broj decibela veći [21].

Što se tiče buke zrakoplova, razina zvuka koja nastaje pri polijetanju ili slijetanju zrakoplova ovisi o nekoliko čimbenika, posebno o težini zrakoplova i broju motora. Iako se razina buke vezana za zračnu luku brzo smanjuje s povećavanjem udaljenosti od zračne luke, smanjuje se i točnost mjerenja buke jer je teže razlikovati buku koja se odnosi na zračnu luku od druge buke u okolišu. Nadalje, dok ljudsko uho može čuti širok raspon zvukova, ne može čuti sve zvukove. Zvukovi vrlo niskih i ekstremno visokih frekvencija jesu zvukovi koje ljudi ne čuju. Zbog toga se buka u okolišu mjeri u A-weighted decibelima (dB(A)). Jedinica decibela s ponderiranim vrijednostima usredotočena je na one zvukove koje ljudsko uho najjasnije čuje i defazira one zvukove koje ljudi uglavnom ne čuju tako jasno. Također, utjecaj buke na ljude obično se analizira ili opisuje u mjeri u kojoj to uznemiruje stanovništvo. Pri tome se uznemirenost odnosi na stupanj u kojem buka ometa aktivnosti poput spavanja, opuštanja, govora, gledanja televizije, učenja i obavljanja poslovnih aktivnosti. Iako je teško predvidjeti kako bi pojedinac mogao reagirati na buku, neka su istraživanja pokazala da je moguće procijeniti koliki će udio stanovništva biti jako uznemiren različitim razinama zvuka koje stvaraju transportne djelatnosti. Tako su rezultati istraživanja iz 1978. godine postali općeprihvaćeni model za procjenu učinaka dugotrajne izloženosti buci na stanovništvo. Prema



tom istraživanju pokazalo se da pojedinci prijavljuju vidljivo povećanje neugodnosti kada se razine izloženosti zvuku mjere metodom koja daje dodatnu težinu zvukovima koji se javljaju između 10 sati navečer i 7 sati ujutro, a te razine zvuka prelaze 65 decibela [22].

Metode za mjerenje buke povezane sa zračnim lukama nude različite vrste informacija. Prvenstveno, buka povezana sa zračnim lukama može se mjeriti iz pojedinačnih događaja, kao što su uzlijetanje i slijetanje zrakoplova ili kao kumulativna prosječna razina buke kojoj su zajednice u blizini zračnih luka izložene. Glavne metode mjerenja kumulativne prosječne razine buke identificiraju zemljopisna područja izložena istim razinama buke, ali primjenjuju različite utege na letovima zrakoplova koji se javljaju u različito doba dana.

Buka povezana sa zračnim lukama koja se mjeri iz pojedinačnih događaja, primjerice iz uzlijetanja ili slijetanja zrakoplova daje kratkoročne informacije. Takva buka počinje kada zvuk zrakoplova prijeđe iznad pozadinske buke. Nakon što takva buka dostigne maksimalnu razinu zvuka povlači se dok se zvuk zrakoplova ne snizi ispod razine buke u pozadini. Obično se koriste jedna ili dvije metode mjerenja buke iz pojedinačnih događaja [23]:

- Metoda maksimalne razine zvuka (engl. *the Maximum Sound Level method*) koja identificira maksimalnu razinu zvuka proizvedenog događajem – metoda se izražava u A-weighted decibelima tijekom mjerenja buke zrakoplova. Takva metoda ne daje nikakve informacije o trajanju događaja i količini proizvedene energije zvuka.
- Metoda razine izloženosti zvuku (engl. *the Sound Exposure Level method*) koja mjeri mjere ukupna zvučna energija kojoj je slušatelj izložen tijekom jednog događaja – metoda koja mjeri svu zvučnu energiju od trajanja uzlijetanja ili slijetanja zrakoplova kako bi se proizvela razina zvuka kojoj je osoba izložena iz tog događaja. Ta metoda mjerenja buke odražava i intenzitet i trajanje zvuka koji proizvodi polijetanje ili slijetanje zrakoplova. Metoda obično koristi i decibele s ponderiranim vrijednostima A. S obzirom na to da se tom metodom mjerenja buke mjeri prosječna kumulativna zvučna energija tijekom jedne sekunde vremena, razina izloženosti zvuku događaju koji traje duže od jedne sekunde bit će viša od maksimalne razine zvuka za taj isti događaj. Osim toga, dva događaja mogu imati istu maksimalnu razinu zvuka, ali različite razine izloženosti zvuku. Događaj koji traje najdulje imat će višu mjeru decibela od kraćeg događaja, iako obje mogu imati istu maksimalnu razinu zvuka.

Treba istaknuti da metode kojima se mjeri buka povezana s jednim događajem kao što je polijetanje ili slijetanje ne odražava ili ne mjeri utjecaj buke od nekoliko polijetanja ili slijetanja u usporedbi s utjecajem samo jedne operacije zrakoplova. Iako neka istraživanja

koreliraju zdravstvene učinke buke stvorene određenim vrstama pojedinih događaja na zdravlje i dobrobit, ne postoji općeprihvaćena metodologija za agregiranje podataka o razini buke u jedinici događaja onako kako bi se objasnio kumulativni utjecaj tih događaja na stanovništvo koje živi u blizini zračne luke. Prema tome, metode kojima se mjera buka iz pojedinih događaja u zračnim lukama ne koriste se za utvrđivanje i analiziranje ukupnog okruženja buke.

Stoga se buka koju trpi stanovništvo u blizini zračnih luka mjeri ukupnom izloženošću, a ne izloženošću jednom događaju. Razina buke iz zračnih luka kojima je izloženo stanovništvo koje živi u blizini zračnih luka ovisi o nekoliko čimbenika, kao što su vrste zrakoplova koje polijeću i slijeću iz zračne luke, ukupni broj polijetanja i slijetanja, doba dana kada zrakoplovi polijeću i slijeću, piste koje se koriste, vremenski uvjeti te postupci pilota specifični za letove, a koji utječu na buku zrakoplova pri polijetanju ili slijetanju. Razlikuju se dva pristupa za mjerenje izloženosti buci stanovništva u blizini zračnih luka:

- identificiranje geografskih područja na karti koja su izložena istim razinama buke,
- određivanje duljine vremena koje je određeno zemljopisno područje izloženo određenim razinama buke.

Tri glavne metode mjerenja razine buke povezane sa zračnim lukama kojima se mjeri izloženost buci stanovništva u blizini zračnih luka jesu sljedeće:

- Metoda ekvivalentne razine zvuka (engl. *the Equivalent Sound Level method*) – metoda koja mjeri prosječnu razinu buke tijekom određenog vremena pomoću A-weighted decibela. Metoda se temelji na logaritamskom prosjeku te daje veću težinu višim razinama buke nego nižim. Može se koristiti bilo koje vremensko razdoblje, s tipičnim razdobljima od jednog sata ili jednog dana (24 sata). Prema toj se metodi svi letovi zrakoplova vrednuju se podjednako bez obzira na to kada se događaju tijekom dana.
- Metoda razine zvuka tijekom dana i noći (engl. *the Day-Night Sound Level*) – ta je metoda jednaka metodi ekvivalentne razine zvuka tijekom 24 sata, ali daje veću težinu letovima zrakoplova koji se događaju tijekom noći, odnosno između 10 sati navečer i 7 sati ujutro jer je vjerojatnije da će noćni letovi zrakoplova prekinuti san, opuštanje ili druge aktivnosti stanovnika u blizini zračne luke i zbog toga što je razina pozadinske buke tijekom noćnih sati niža. Kako bi se odrazio veći utjecaj metoda razine zvuka dan-noć izjednačava jedan rad zrakoplova tijekom noći s deset ekvivalentnih dnevnih operacija. To učinkovito dodaje 10 dB buci proizvedenoj pri svakom polijetanju ili slijetanju koje nastaju tijekom tih noćnih sati. Točnije, utjecaj buke svakog noćnog

polijetanja ili slijetanja zrakoplova odražava se na razinu izloženosti buci kao da se radi o deset dnevnih polijetanja ili slijetanja.

- Metoda ekvivalentne razine buke u zajednici (engl. *the Community Noise Equivalent Level*) – metoda modificira metodu razine zvuka tijekom dana i noći dodavanjem dodatne težine letovima zrakoplova koji se odvijaju između 7 i 10 sati navečer jer se pretpostavlja da buka koju proizvode zrakoplovi svojim operacijama u ranu večer mogu izazvati veće smetnje u aktivnostima stanovništva u blizini zračne luke nego u aktivnostima koje te stanovništvo obavlja tijekom dana.

Istaknute metode mjerenja buke pružaju dugoročne ili kumulativne mjere izloženosti buci. Za svaku metodu ključni čimbenici koji određuju razinu izloženosti buci koja utječe na stanovništvo u blizini zračnih luka jesu vrste zrakoplova koji polijeću i slijeću u zračnoj luci, broj i vrsta motora u tim zrakoplovima, broj polijetanja i slijetanja tijekom prosječnog dana i doba dana kada se odvijaju operacije zrakoplova. Mjerenja se obično prikazuju u obliku „konture buke“ na kartama – linijama oko zračne luke koje povezuju sva područja izložena istoj prosječnoj razini zvuka. Niz kontura se crta, obično u poljima od 5 dB od zračne luke kako bi se dobila karta koja nalikuje karti nadmorske visine. Sve tri metode uključuju i intenzitet zvukova koji nastaju iz pojedinačnih događaja, kao i prosječnu učestalost tih događaja.

U skladu sa svakom od tri istaknute metode mjerenja buke u blizini zračnih luka nekoliko različitih kombinacija letova može proizvesti istu razinu izloženosti buci jer čimbenici kao što su ukupan broj letova u zračnoj luci i vrste zrakoplova koji polijeću i slijeću u toj zračnoj utječu na razinu izloženosti buci. Primjerice, po metodi razine zvuka tijekom dana i noći svaki od sljedeća tri scenarija proizvest će istu razinu izloženosti buci od 65 dB:

- 500 operacija zrakoplova s prosječnom razinom izloženosti zvuku od 87,4 dB,
- 100 operacija zrakoplova s prosječnom razinom izloženosti zvuku od 94,4 dB,
- 50 zrakoplovnih operacija s prosječnom razinom izloženosti zvuku od 97,4 dB.

S obzirom na to da različite kombinacije letova mogu proizvesti istu razinu izloženosti buci i da te metode mjerenja buke koriste dodatno ponderiranje za večernje i/ili noćne letove, FAA ne smatra te metode dobrim procjeniteljima razine buke proizvedene jednim događajem.

Treba spomenuti još dvije metode mjerenja buke povezane sa zračnim lukama koje pružaju druge, odnosno dodatne vrste informacija o razini buke. Jedna od tih metoda je metoda iznad vremena (engl. *the Time-Above method*) koja može utvrditi koliko će vremena tijekom određenog razdoblja (primjerice, tijekom jednog dana) razina izloženosti buci premašiti određenu razinu decibela. Pri tome mora biti navedena razina zvuka. Tom se metodom tada

može odrediti koliko će vremena tijekom određenog razdoblja razina buke premašivati navedenu razinu zvuka. Druga metoda je metoda  $L_{\%}$  (eng. *L<sub>percent method</sub>*) koja identificira prekoračenu razinu buke za određeno razdoblje. Razdoblje u kojem se mjeri razina buke mora biti definirano, kao na primjer samo 15% vremena u danu. Tim ograničenjem ovaj pristup bi mogao odrediti da li razina buke premašuje dozvoljenih 65dB u razdoblju od 15% dana, odnosno da je ostatak vremena u danu razina buke do ili ispod 65dB. Pri tome se određuje određeni postotak dana u kojem je razina buke bila iznad istaknute razine zvuka. Manjkavost obiju metoda je u ne mogućnosti određivanja doba dana u kojem se mogu izmjeriti više razine buke.

FAA je između istaknutih metoda 1981. godine odabrala metodu razine zvuka tijekom dana i noći za mjerenje izloženosti buci. Naime, Zakon o zračnoj sigurnosti i smanjenju buke iz 1979. zahtijevao je da se uspostavi jedinstveni sustav za mjerenje buke iz zračnih luka i okolnih područja. Osim toga, zahtijevalo se da se uspostavi jedinstvena metoda za mjerenje izloženosti pojedinaca buci koja proizlazi iz zračnih luka, a koja je u obzir trebala uzeti intenzitet buke, trajanje, učestalost te vrijeme pojave. Jedinstvenim pristupom bi se olakšalo rješavanje problema s bukom povezanom sa zračnim lukama. Godine 1992. Federalni međuagencijski odbor utvrdio je da odabrana metoda najbolje ispunjava zakonske zahtjeve te da ne postoje druge metode mjerenja dovoljne znanstvene sposobnosti koje bi zamijenile metodu razine zvuka tijekom dana i noć kao primarnu metodu mjerenja kumulativne izloženosti buci u blizini zračnih luka. Osim toga, Odbor je utvrdio da se odabrana metoda dobro podudara s analizama uznemirenosti zajednice u različitim razinama izloženosti buci [24].

Unatoč prednostima, metoda razine zvuka tijekom dana i noći imala je određene nedostatke. Kritike su upućivane na to što stanovništvu nije učinkovito prenijeti ono što zapravo mogu očekivati da će čuti u bilo kojem području, prvenstveno zato što ta metoda ne identificira razinu buke koju generiraju pojedini uzlijetanja ili slijetanja zrakoplova. Razina buke proizvedena tom metodom nije zapravo razina buke koji ljudi čuju tijekom određenog događaja, već je to prosjek kumulativne razine zvuka tijekom vremena. Kako bi se riješio taj problem u izvješću Federativnog međuagencijskog odbora iz 1992. uočeno je da su dodatne informacije (posebno informacije o buci nastale pojedinačnim uzlijetanjima i slijetanjem) bile i da bi mogle biti korisne, posebno u karakterizaciji određenih događaja i pružanju jasnijeg razumijevanja potencijalnih učinaka buke na stanovništvo koje živi u blizini zračnih luka. Stoga je Odbor preporučio saveznim agencijama da ostave dopušteno korištenje dodatnih informacija prema vlastitom nahođenju kada se bave analizama i zahtjevima utjecaja na okoliš. Pri tome će i FAA također koristiti dodatne informacije tamo gdje je to opravdano.

## 5. MJERENJE I ANALIZA RAZINE BUKE NA PODRUČJU ZRAČNE LUKE FRANJO TUĐMAN

Zračna luka Franjo Tuđman srednja je međunarodna zračna luka koja se nalazi oko 19 kilometara jugoistočno od centra Zagreba. Predstavlja rijedak primjer za Europu, u kojoj je zračna luka glavnog grada također zrakoplovna vojna baza i gdje se jedna uzletno sletna staza (USS-a) koristi u civilne i vojne svrhe. Oko 25 % stanovništva u Hrvatskoj živi u gradu Zagrebu. Osim što je vitalna komponenta prometne infrastrukture Republike Hrvatske, Zračna luka Franjo Tuđman jedna je od najprometnijih u jugoistočnoj Europi, a u 2018. godini kroz nju je prošlo 3.336.310 putnika uz protok od 43.688 zrakoplova [25].

Zračna luka Franjo Tuđman nalazi se na nadmorskoj visini 107 metara (351 ft), te je ICAO klasifikacije 4E (slika 8.). Otvorena je 24 sata i gledano s aspekta prometa njome se može prometovati pod VFR i IFR uvjetima leta. Zračna luka Franjo Tuđman posjeduje jednu uzletno sletnu stazu (USS) sa smjerovima jugozapad – sjeveroistok (prag 05) i sjeveroistok – jugozapad (prag 23). Pri slijetanju za smjer 05 zrakoplovi prolijeću iznad naselja Lukavec i Doljnja Lomnica, a pri samom završnom dijelu prelijeću naselje Podbrežnica. Pri polijetanju za prag 05 koristi se isti koridor. Kod praga 23 pri slijetanju zrakoplovi prelijeću naselja Svetu Helenu, Sesevski Kraljevac, Kobiljak. Na ovoj uzletno sletnoj stazi njeni se pragovi prema analizama koriste oko 80 % smjer od 05 prema 23, dok se smjer od praga 23 prema 05 koristi oko 20 %. Na zračnu luku najvećim brojem slijeću i polijeću komercijalni zrakoplovi i zrakoplovi generalnog zrakoplovstva [2].



**Slika 8.** Satelitski prikaz Zračne luke Franjo Tuđman

Izvor: Google Earth

Zračna luka Franjo Tuđman ne može otkloniti buku zrakoplova te je neminovno da će buka postojati i ometati ljude koji žive u blizini. No, ista se obvezuje odgovorno upravljati bukom i umanjiti utjecaj svojih aktivnosti kad god je to moguće. Iz tog razloga operater Zračna luka Franjo Tuđman problematiku buke shvaća vrlo ozbiljno te je zato postavljen dugoročni cilj za upravljanje buke zrakoplova: „*Ograničiti utjecaj buke zrakoplova i steći povjerenje naših dionika da koristimo najbolje izvediva sredstva za postizanje tog cilja i za nastavak ovog pristupa u budućnosti, u okviru koji je utvrdila vlada*“ [25].

### **5.1. Sustav za mjerenje razine buke na Zračnoj luci Franjo Tuđman**

Zračna luka Franjo Tuđman od 2006. godine koristi sustav za mjerenje buke zrakoplova (engl. *Noise Monitoring Terminal – NMT*) od strane *Bruel & Kjaer tvrtke*. Sustav se sastoji od 4 terminala za praćenje buke (NMT) i 2 računalna programa: Model zaštite okoliša (engl. *Environmental Noise Model - ENM*) i Integrirani model buke (engl. *Integrated Noise Model - INM*).

Funkcionalnosti ova dva računalna programa su sljedeće:

- ENM je program koji se koristi za nadgledanje i analiziranje podataka primljenih s nadzornih terminala,
- INM se koristi za izradu grafikona buke i simulacije razine buke za dugoročnu prognozu.

Postavljanjem opreme za mjerenje buke zrakoplova može se odrediti slijeću li zrakoplovi prenisko iznad naseljenih područja, kao i da li piloti prate propisane putanje.

Sustav koji je instaliran na Zračnoj luci Franjo Tuđman sastoji se od tri fiksne i jedne mobilne stanice. Prema standardima za mjerenje buke, potrebne su minimalno četiri stanice od kojih su tri raspoređene prema ICAO i FAA standardima, dok četvrta mobilna stanica služi za mjerenje izvan zone zračne luke[25].

Pozicioniranje prvih NMT stanica vezan je uz područje u zoni same zračne luke zbog već postavljene potrebne infrastrukture, te zbog nekoliko važnih faktora:

- mjesta najizloženija buci,
- blizina praga USS-e,

- nesmetano širenje zvuka od zrakoplova prema mikrofonom<sup>2</sup> (bez prepreke).

U nastavku na slici 9. prikazana je navedena mjerna stanica s mikrofonom.



**Slika 9.** Prikaz NMT stanice s odgovarajućim mikrofonom, [26]

Sustav nadzora buke na Zračnoj luci Franjo Tuđman ima četiri terminala za praćenje buke:

- NMT1 nalazi se u blizini praga piste 05,
- NMT2 nalazi se u blizini praga piste 23,
- NMT3 nalazi se u okrugu Obrezina,
- NMT4 se nalazi u okrugu Donja Lomnica (slika 10.).

---

<sup>2</sup> Mikrofon je dio sustava zaštićen spužvastom zaštitom kako bi spriječio buku koju uzrokuje vjetar i sa šiljkom na vrhu koji služi kao zaštita protiv slijetanja ptica.





**Slika 10.** Prikaz aktualnog položaja mjernih stanica (NMT)

Izvor: Pripremio i uredio autor

Svaka NMT stanica ima postavljenu granicu (*triger*) koji se aktivira nakon što zrakoplov prijeđe iznad određene razine buke. Tom granicom omogućuje se filtracija pozadinskih zvukova koji su ispod te granice. Pragovi se po potrebi mogu mijenjati i korigirati. Ukoliko zrakoplov proizvodi buku ispod postavljenog praga, podaci se također zabilježe, ali se ne analiziraju dodatno. Veličine postavljenih granica na pojedinim stanicama su [2]:

- NMT 1 – prag postavljen na 69 dB,
- NMT 2 – prag postavljen na 67 dB,
- NMT 3 – prag postavljen na 65 dB,
- NMT 4 – prag postavljen na 70 dB.

Svakih pet godina izrađuje se dijagram buke koji uključuje rad i karakteristike za svaku vrstu zrakoplova. Izrađene konture buke uspoređuju se s rezultatima registriranim na licu mjesta. Ovaj pristup potvrđuje da je metodologija za izradu karata buke točna. Tolerancija je manja od 0.5 dB, što je prihvatljivo je za takvo nadgledanje i izradu karata buke.

Zračna luka Franjo Tuđman je 2014. godine dovršila nadogradnju sustava za praćenje buke. Tako sustav za nadzor buke uključuje vezu s radarima Hrvatska kontrola zračnog prometa, a koristi se brzina i točnost obrade operativnih podataka. Na ovaj način Zračna luka Franjo Tuđman dobiva točne informacije o kretanju zrakoplova u njegovoj neposrednoj blizini i omogućuje automatsku korelaciju operacija slijetanja i uzlijetanja s razinom buke na nadzornim terminalima. Ova nadogradnja omogućuje preciznije mapiranje koridora u kreiranju grafikona, a tolerancija (ili razine odstupanja) je dodatno smanjena.



Osim toga, NMT3 premješten je s krova putničkog terminala u okrug Obrezina, kako bi sve mjerne stanice za nadgledanje bile u izravnom prilazu i polaznoj zoni Zračne luke Franjo Tuđman.

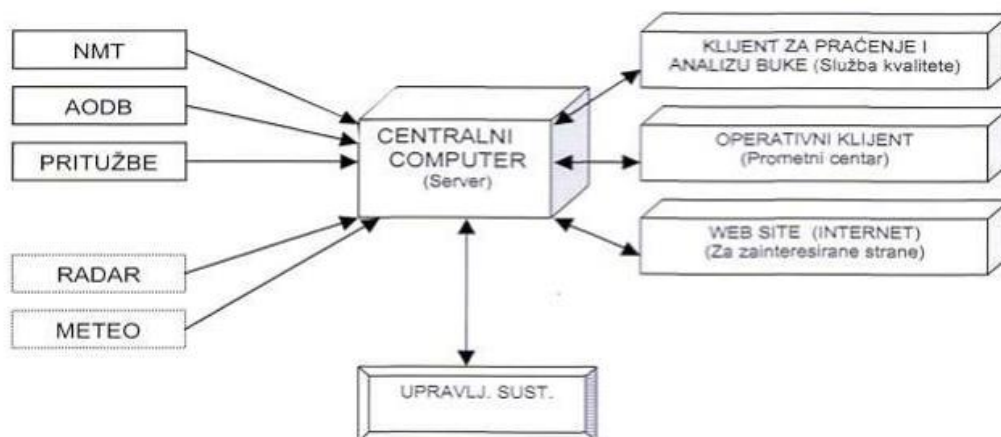
## **5.2. Proces mjerenja razine buke na Zračnoj luci Franjo Tuđman**

U prvoj fazi, sustav za mjerenje buke na Zračnoj luci Franjo Tuđman stalno i automatski mjeri buku na prilazima 05 i 23, te na stajanci. Sustav za mjerenje buke sastoji se od dvije radne stanice (engl. *Work Station-WS*), tri fiksna i jednog mobilnog terminala za mjerenje buke (engl. *Noise Monitoring Terminal-NMT*) kao što je prethodno navedeno.

Proces mjerenja buke zrakoplova počinje prilikom snimanja podataka na NMT stanici, a analiza podataka počinje preuzimanjem podataka sa četiri mjerne stanice postavljene na Zračnoj luci Franjo Tuđman. ENM program daje nekoliko mogućnosti praćenja podataka podijeljene u zasebne cjeline, a to su:

- Download Status – operativno stanje NMT stanice,
- Data Status – prikaz stanja prijenosa podataka sa NMT stanica,
- Calibration – kalibracija NMT stanica,
- GPS Coordinates – GPS koordinate svih stanica,
- Period – prikupljanje podataka u vremenskom razmaku, minuta, sat...,
- One Second – praćenje perioda sa buke po sekundama,
- Short – izrada kratkih izvještaja,
- Spectra,
- Events – prikupljanje svih podataka izmjerenih nakon prelaska granice buke,
- Weather – prikupljanje meteoroloških podataka izmjerenih na NMT stanicama, brzina vjetrova, temperatura, tlak.

Lokacije komponenata ovog sustava međusobno su udaljene oko 800 m. Sustav za mjerenje buke koristi više korisnika u server okruženju, a temelji se na Microsoft net konceptu koji koristi otvorenu arhitekturu baziranu na standardnim Internet protokolima, prikazano u nastavku na slici 11.



**Slika 11.** Shematski prikaz sustava za mjerenje buke, [15]

Snimljena buka s NMT stanica automatski se prenosi preko postavljenih intervala na radnu stanicu. Jedna NMT stanica osposobljena je za prikupljanje parametara o vremenu (brzina i smjer vjetra, tlak zraka, temperatura, vlažnost, te eventualno količina kiše), koje sustav obrađuje zajedno s općenitim letnim podacima (plafon, vidljivost, IFR, VFR) koje je prije Internetom dobivao od strane aerodromske meteorološke službe. Ovaj sustav omogućuje konstantnu definiciju ograničenja buke za svaku mjernu poziciju, te se time mogu prikazati zrakoplovi koji prelaze ograničenja buke. Najniži prag buke mjerne opreme iznosi manje od 20 dB i ima dinamički raspon od najmanje 120 dB. Datum i vrijeme automatski se mogu prenijeti za svaku emisiju buke koja će se prikazati na zahtjev. Podaci o snimljenoj buci prenose se između dva datuma. Sustav automatski izračunava količinu buke zrakoplova i pozadinsku buku po satu ili danu, za noćni i dnevni promet.

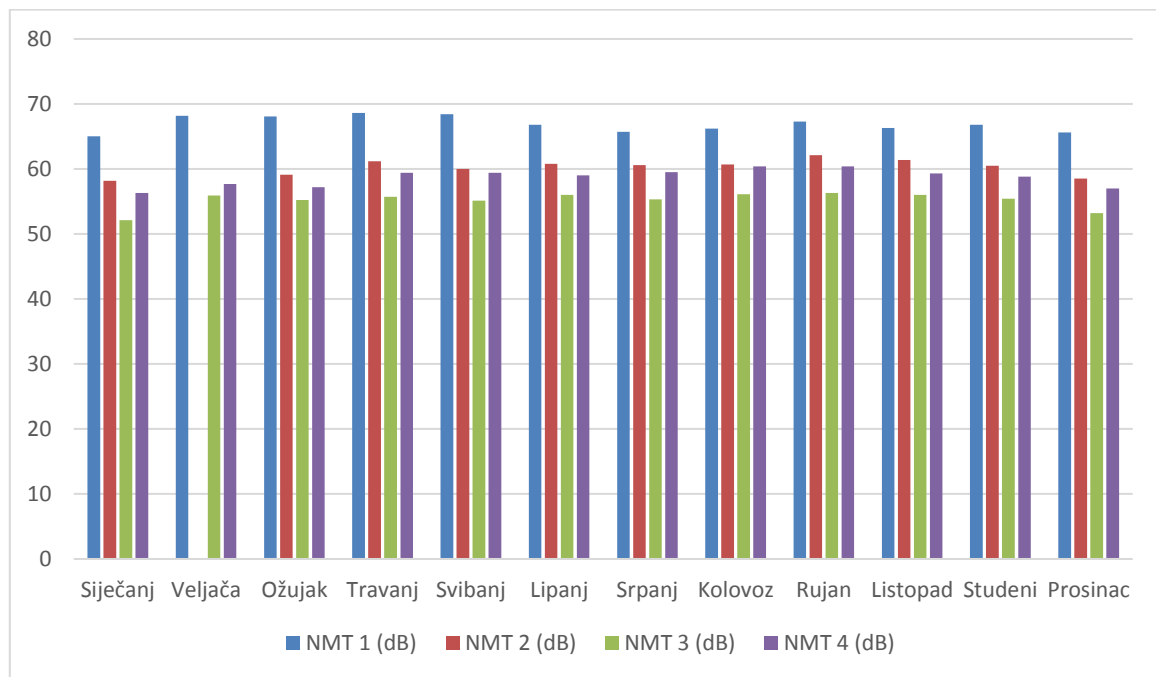
Rezultati mjerenja prikazuju se u obliku izvještaja. Koji osim standardnih izvještaj o izmjerenoj razini buke sadrže i izvještaje o pritužbama, povredi koridora, kalibraciji vremena i o stanju samog sustava.

### **5.3. Analiza razine buke zrakoplova na Zračnoj luci Franjo Tuđman**

Očekuje se da će se ukupni broj putnika u Zagrebu povećati s 3.336.310 iz 2018. godine na 10,8 milijuna do 2045. godine, dosegnuvši 4 milijuna 2022. godine i 6 milijuna 2035. godine. Ukupan broj kretanja odnosno broj slijetanja i polijetanja zabilježen u 2018. godini bio je 43.688, ukupan broj kretanja predviđa se da će biti u rasponu između 138.500 i 153.500 do 2045. godine, što predstavlja prosječne godišnje stope rasta od 3,6% i 3,9%.

Slijetanje i uzlijetanje zrakoplova glavni su izvor zagađenja bukom. Najčešći tipovi zrakoplova koji posluju na Zračnoj luci Franjo Tuđman, a čine oko 90 % svih letova, uključuju moderni turbo propeler Bombardier de Havilland iz Kanade DHC Dash Q400, a slijedi Airbus od A318 do A321, Canadair CL-600, Regional Jet CRJ-1000, CRJ-700, Bombardier E170 i E190, koji pripadaju ICAO kategorije B i C, a ostali uključuju veći ICAO kategorije D i E Boeing 777-300 i Airbus A330-200.

Za potrebe godišnjeg izvješća o razinama buke zrakoplova, Zračna luka Franjo Tuđman koristi prije navedenu formulu za izračun veličine  $L_{den}$ . Izvješće se temelji na izračunu buke za sve operacije polijetanja i slijetanja koje su najzastupljenije na zračnoj luci. Na grafovima 2 i 3 prikazana je razina buke na Zračnoj luci Franjo Tuđman izmjerena NMT stanicama za 2017. i 2018. godinu.



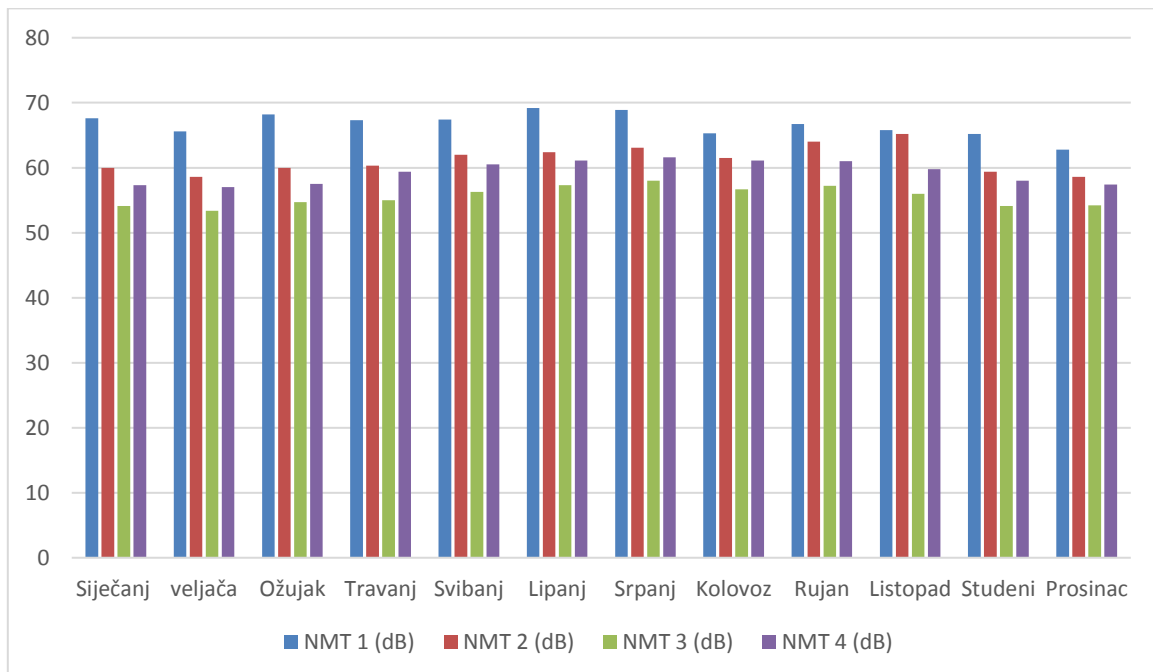
**Grafikon 1.** Razina buke (dB) na Zračnoj luci Franjo Tuđman izmjerena NMT stanicama 2017. godine, [25]

Rezultati mjerenja razine buke za 2017. godinu [25]:

- Lokacija blizu praga 05 – Mjerna stanica za nadzor buke 1 (NMT 1):
  - izmjerene razine buke u blizini lokacije Praga 05 gdje se nalazi NMT 1 variraju od 65 dB do 68,6 dB,
- Lokacija blizu praga 23 – Mjerna stanica za nadzor buke 2 (NMT 2):
  - na lokaciji u blizini Praga 23 razina buke bila je ispod 65 dB,

- Lokacija u naselju Obrezina - Monitoring mjerne stanice za buku 3 (NMT 3):
  - na lokaciji u selu Obrezina razina buke bila je ispod 65 dB,
- Lokacija u naselju Donja Lomnica - Monitoring mjerne stanice buke 4 (NMT 4):
  - na mjestu sela Donja Lomnica razina buke bila je ispod 65 dB.

Iz grafikona 3 vidljivo je da su razine izmjerene na NMT 1, 2, 3 i 4 unutar dozvoljenih granica, iako je razina buke izmjerena na mjernoj stanici NMT 1 znatno bliže granici. Upravo zbog lokacije NMT 1 koja se nalazi blizu stajanke i vozne staze kojom se zrakoplovi kreću prema poziciji za polijetanje. Postavljeni se pragovi razine buke na NMT po potrebi mogu mijenjati odnosno korigirati.



**Grafikon 2.** Razina buke (dB) na Zračnoj luci Franjo Tuđman izmjerena NMT stanicama 2018. godine, [25]

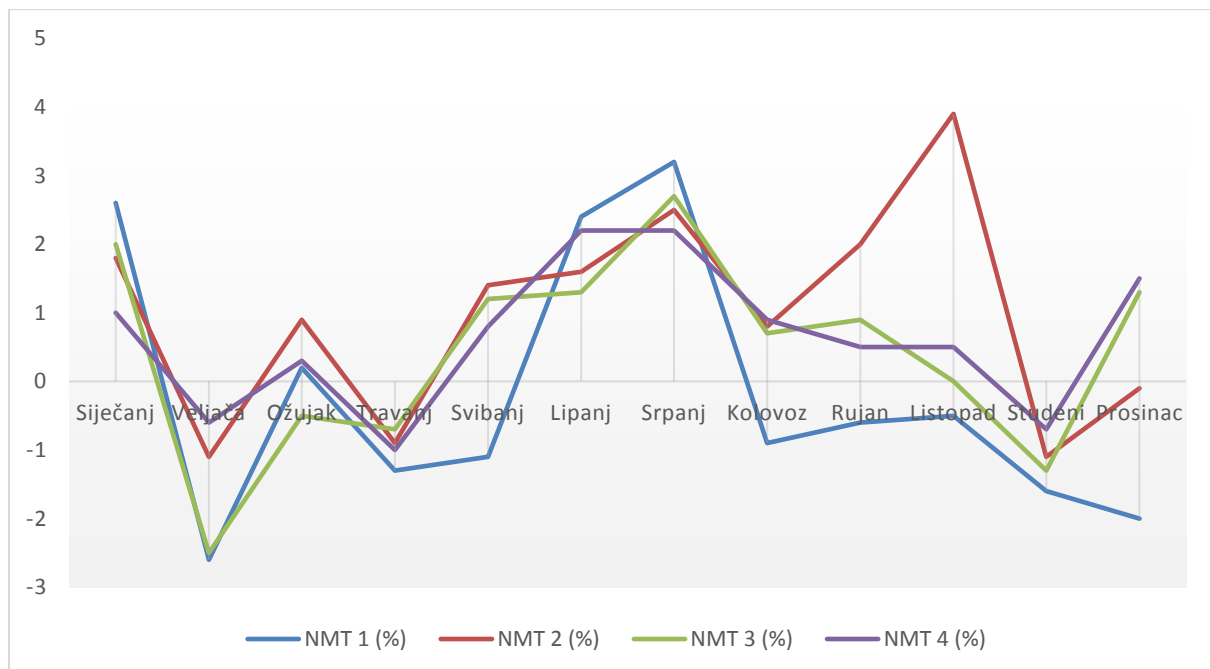
Razdoblje promatranja za usporedbu podataka o razini buke uključuje 2017. i 2018. godinu [25]. Rezultati su prikazani u nastavku:

- Lokacija blizu praga 05 – Mjerna stanica za nadzor buke 1 (NMT 1):
  - najveći porast razine buke zabilježen je u srpnju 2018. za 3,2%,
  - najveći pad razine buke zabilježen je tijekom veljače 2018. godine za 2,6%,
- Lokacija blizu praga 23 – Mjerna stanica za nadzor buke 2 (NMT 2):
  - najveći porast razine buke zabilježen je u listopadu 2018. za 3,9%,

- najveći pad razine buke zabilježen je tijekom veljače i studenog 2018. za 1,1%,
- Lokacija u naselju Obrezina - Nadgledanje mjerne stanice buke 3 (NMT 3):
  - najveći porast razine buke zabilježen je u srpnju 2018. za 2,7%,
  - najveće smanjenje razine buke zabilježeno je tijekom veljače 2018. godine za 2,5%,
- Lokacija u naselju Donja Lomnica – Monitoring mjerne stanice buke 4 (NMT 4):
  - najveći porast razine buke zabilježen je u lipnju i srpnju 2018. za 2,2%,
  - najveće smanjenje razine buke zabilježeno je tijekom travnja 2018. za 1,0%.

Iz grafikona 3 uočljivo je da su razine buke izmjerene na NMT 2, 3 i 4 unutar dozvoljenih granica, dok mjerna stanica NMT 1 prelazi dozvoljenu granicu od 65 dB jednako kao i prethodne godine. Međutim stanica NMT 1 postavljena je otprilike 200 m od praga 05 koji se koristi za 85% operacija kao i operacija generalne avijacije. Sukladno tome prelaskom dozvoljene granice razine buke, Zračna luka Franjo Tuđman ne krši zakone koji se vežu uz dozvoljenu razinu buke.

Grafikon 4 prikazuje razliku između razine buke 2017. i 2018. godine. Ovisno o intenzitetu prometa u pojedinim mjesecima NMT stanice su zabilježile smanjenja odnosno povećanja razine buke u 2018. godini.



**Grafikon 3.** Smanjenje/povećanje razine buke u 2018. godini, [25]

Vidljive oscilacije na prethodnom grafikonu rezultat su povećanja prometa u ljetnim mjesecima (utjecaj sezonalnosti) i zbog različitih meteoroloških uvjeta zbog kojih se u pojedinom vremenskom periodu više koristi prag 05, odnosno prag 23. Tako većim korištenjem pojedinog praga dolazi do povećanja razine buke na NMT stanicama ispred praga koji se više koristi.

## 6. AKCIJSKI PLANOVI ZA SMANJENJE BUKE NA PODRUČJU ZRAČNE LUKE FRANJO TUĐMAN

Zračne luke značajno utječu na socijalna, ekonomska i okolišna područja, kako pozitivno tako i negativno. One djeluju kao važni gospodarski generatori, nudeći radna mjesta, potičući unutarnja ulaganja i jačajući turizam. Nažalost, postoje i negativni utjecaji na one koji žive i rade oko zračnih luka. Jedan od glavnih utjecaja je buka i to ostaje važno pitanje za ljude koji žive ili rade u blizini zračnih luka. Stoga je namjera koncesionara Zračne luke Franjo Tuđman imati realnu dugoročnu i trajnu obvezu da, gdje je to moguće, smanji buku u svom programu održivosti.

Kao takva, Zračna luka Franjo Tuđman je svjesna svojih odgovornosti prema lokalnom stanovništvu. Stoga uprava Zračne luke Franjo Tuđman vrlo ozbiljno shvaća svoje odgovornosti s obzirom na utjecaj koje njeno poslovanje može imati na neke članove lokalne zajednice. U pristupu upravljanja bukom od strane uprave Zračne luke Franjo Tuđman postavljeno je pet ključnih ciljeva tijekom sljedećih godina. Ti ciljevi uspostavljaju okvir za Akcijski plan zračne luke i pomažu informirati okolno stanovništvo o njihovim prioritetima. Oni su:

- smanjiti učinke buke gdje god je to moguće. To uključuje:
  - a. najtiše praktične operacije zrakoplova;
  - b. učinkovite i vjerodostojne sheme ublažavanja buke;
- interakcija sa zajednicama koje su pod utjecajem buke kako bi se bolje razumjele njihove brige i prioritete, obazirući se na njih koliko je to moguće u strategijama buke u zračnim lukama i komunikacijskim planovima,
- utjecaj na politiku planiranja kako bi se smanjio broj stanovnika osjetljivih na buku oko naših zračnih luka,
- organizacija učinkovitog upravljanja bukom,
- nastavak nadogradnje na razumijevanje buke zrakoplova radi daljnjeg informiranja o našim prioritetima, strategijama i ciljevima [25].

## **6.1. Pozicioniranje dodatnih stanica za mjerenje buke na Zračnoj luci Franjo Tuđman**

Model pozicioniranja prvih fiksnih stanica za mjerenje buke na Zračnoj luci Franjo Tuđman vezao se za područje u zoni same zračne luke zbog već postavljene potrebne infrastrukture te nekoliko faktora poput mjesta koja su najizloženija buci kao i sama blizina praga uzletno sletne staze. Kako je prije navedeno za mjerenje buke na zračnoj luci četiri stanice su minimalan broj koji zračna luka mora imati. Tri stanice su definirane prema ICAO (engl. *International Civil Aviation Organization*) i FAA (engl. *Federal Aviation Administration*) standardima, dok mobilna stanica služi za mjerenja izvan zone zračne luke.

Pragovi na Zračnoj luci Franjo Tuđman koriste 85 % smjer 05 prema 23, dok se smjer 23 prema 05 koristi samo 15 %. Oko 80-85 % polijetanja upravo je s praga 05 prema pragu 23 što predstavlja problem za naselja koja se nalaze ispod odlazne putanje zrakoplova. Razlog dodatnih mjernih stanica je vrlo jasan. Širenjem Zračne luke Franjo Tuđman, broj operacija zrakoplova je u porastu što samim time predstavlja i povećanje razine buke koju zrakoplovi i zračna luka pri tome proizvode. Sukladno tome, potrebno je u svrhu održivog razvoja Zračne luke Franjo Tuđman, definirati i predložiti lokacije dodatnih mjernih stanica koje služe za daljnje analiziranje i praćenje razine buke na području zračne luke.

Na slici 12. prikazan je prijedlog lokacija za postavljanje mjernih stanica koje su raspoređene u okolnim naseljima dok je za putanje slijetanja i polijetanja potrebno postaviti uz fiksne mjerne stanice na pragovima, još barem jednu mjernu stanicu na os slijetanja i polijetanja na rubove sela koja se nalaze na koridoru. Te dodatne stanice dale bi vrijednosti buke zrakoplova koji se nalazi na određenoj visini u fazi polijetanja i slijetanja te bi se time moglo uspostaviti odnos između buke koju stvaraju zrakoplovi pri preletu i buke koja je definirana i dopuštena kada bi se zrakoplovi koristili standardnim prilazom. Proučavanjem i detaljnim analizama mjernih vrijednosti mogao bi se dobiti daljnji uvid u moguće dodatne lokacije na samim putanjama polijetanja i slijetanja zrakoplova, kao i nepoštivanja koridora te visine pri slijetanju i polijetanju na Zračnu luku Franjo Tuđman.





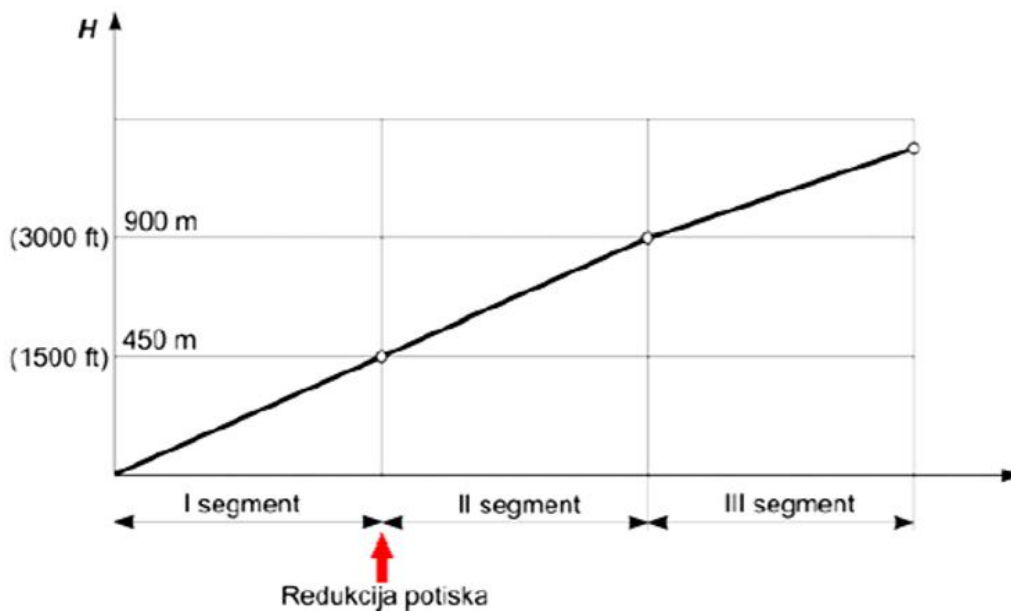
**Slika 12.** Prijedlog lokacija novih NMT stanica, [2]

Uprava Zračne luke Franjo Tuđman preselila je NMT3 sa svojeg prethodnog mjesta (Administrativna zgrada, u blizini kontrolnog tornja), na novo mjesto (naselje Obrezina). Sažetak mjerenja razine buke za 2017. i 2018. godinu publiciran je na službenoj internetskoj stranici Zračne luke Franjo Tuđman. Od 2015. godine analiza razine buke provodi se mjesečno, a rezultati se prezentiraju upravi. Početkom svake godine mjerenje razine buke za prethodnu godinu objavljena su na službenoj internetskoj stranici Zračne luke Franjo Tuđman.

## 6.2. Operativne procedure za smanjenje buke u polijetanju

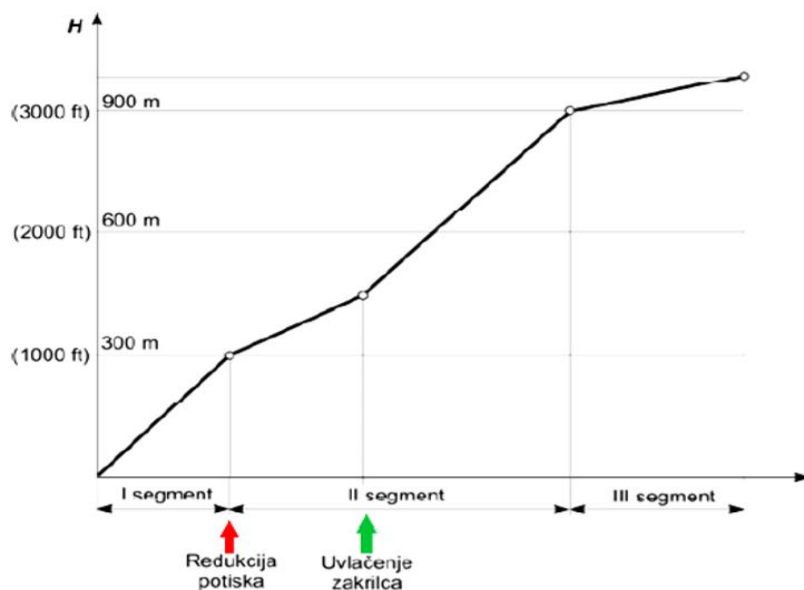
Utjecaj zračnog prometa na okoliš velika je zapreka širenju zračnih luka. Proteklih godina dokazano je da se značajna smanjenja buke mogu postići promjenom u operacijama polijetanja i slijetanja zrakoplova, koje omogućavaju napredni sustav upravljanja. Polijetanje se definira kao postupak u kojem se zrakoplov odvaja od USS-e i započinje let u nekoliko faza: zalet, uzlet, polet i penjanje. U trenutku kada zrakoplov na USS-i dobije dozvolu za polijetanje, povećava se potisak u motorima što stvara veliku buku, koja je u tom trenutku veća nego pri slijetanju. U svrhu reduciranja buke motora u svijetu postoji postupak koji je izradila Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo (FAA – *Federal Aviation Administration*) i varijanta istog postupka kojeg je izradio ICAO.

FAA postupak sastoji se od tri segmenta. U prvom segmentu koristi se potisak za polijetanje, brzina se povećava za 19 km/h kako bi zrakoplov postigao veći kut penjanja od 450 m (1.500 ft). Nakon redukcije potiska javlja se drugi segment koji koristi potisak za penjanje uz održavanje brzine dok se zakrilca djelomično uvlače, ali pod uvjetom da se brzina može povećati za 19 km/h. Posljednji segment odnosi se na fazu penjanja u kojoj se koristi jačina potiska za penjanje. Brzina se povećava na 465 km/h i konstantno se održava do visine od 3.000 m (9.000 ft), zakrilca se nakon ubrzanja uvlače kako bi se smanjio otpor. Ovakav način polijetanja omogućuje zrakoplovu brže udaljavanje od zemlje pod većim kutom čime buka na zemlji traje kraće. FAA postupak (slika 13) može se primijeniti na svim zrakoplovima i ne zahtijeva ugradnju nikakve dodatne nove opreme u zrakoplovu i na zemlji.



Slika 13. FAA postupak polijetanja, [2]

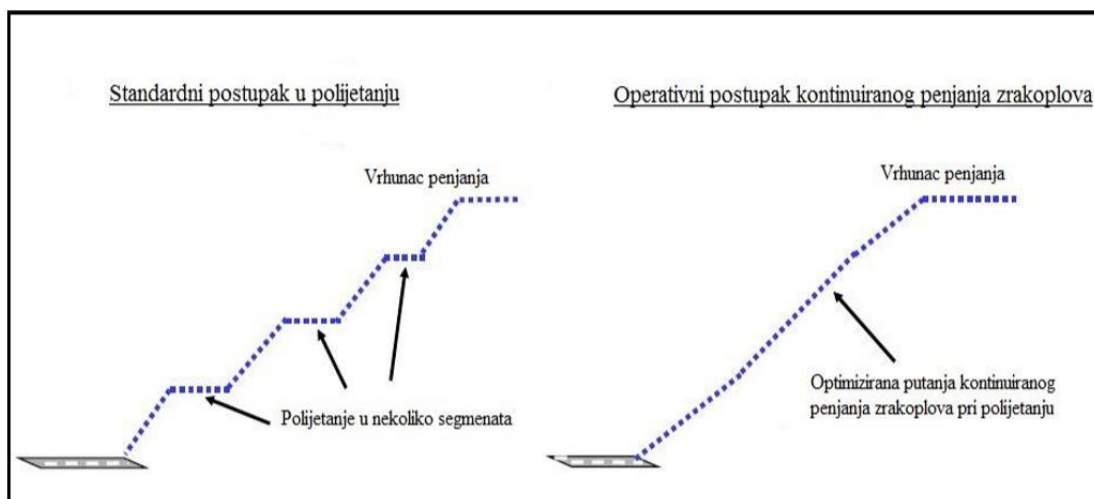
ICAO postupak – nešto je drugačiji od FAA postupka, također se sastoji od tri segmenta. U prvom segmentu koristi se standardni potisak za polijetanje u kojem se brzina povećava za 19-37 km/h, zakrilca su u položaju za polijetanje. Ponovno slijedi redukcija potiska i zrakoplov prelazi u drugi segment u kojem se koristi potisak za penjanje. Brzina se u prvom dijelu drugoga segmenta povećava dok zakrilca nisu pod kutom od 0 stupnjeva. U drugom dijelu brzina se povećava za 19 km/h, a zakrilca su uvučena. U trećem segmentu koristi se potisak za penjanje pri kojem se brzina povećava na 465 km/h. U tom segmentu zakrilca su uvučena. Prikaz ICAO postupka prikazan je na slici 14.



**Slika 14.** ICAO postupak polijetanja, [2]

Kako bi se razina buke koju proizvodi zrakoplov pri polijetanju smanjila danas se u svijetu sve više koristi operativni postupak za operacije kontinuiranog uspona (CCO – *Continuous Climb Operation*) je postupak koji je odobrio proizvođač zrakoplova i kontrola leta. Omogućava kontinuirano polijetanje nakon napuštanja piste pod istim nagibom kao u fazi slijetanja i polijetanja. Postupak smanjenja buke tijekom polijetanja mijenja se u odnosu na konvencionalno polijetanje na način da se na 1.500 ft nadmorske visine smanjuje snaga, no zrakoplov se nastavlja penjati minimalnom brzinom do 3.000 ft. Samo na toj visini padina polijetanja (uspona) smanjuje se i zakrilca se spuštaju. Prednosti ovog postupka u odnosu na konvencionalne primjećuju se u izbjegavanju horizontalnog segmenta u polijetanju.

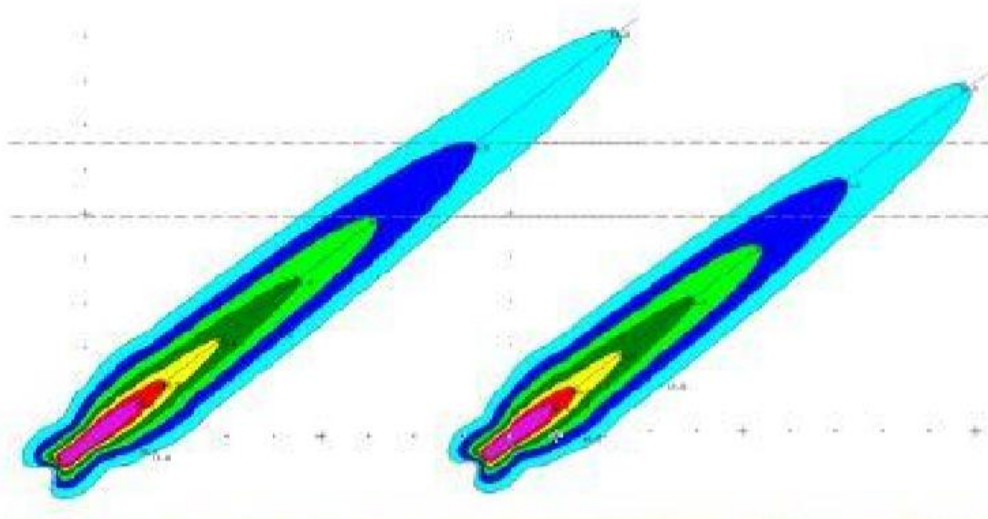
Naime, u konvencionalnom postupku, nakon određene visine uspona zrakoplov se određeno vrijeme postavlja u vodoravni let i nakon toga se ponovo počinje penjati. U tom horizontalnom letu stvara se određena buka prema naselju ispod koridora. Kada primjenjujemo postupak CCO, zrakoplov se neprekidno penje i prebacuje u horizontalni let samo kad buka više ne može utjecati na naseljena područja ispod koridora i stavi krila u konfiguraciju koja je trebala biti postavljena znatno ranije, da je let bio izveden u konvencionalnom postupku, prikazano na slici 15[4].



**Slika 15.** Usporedba standardnog postupka s operativnim postupkom kontinuiranog penjanja zrakoplova pri polijetanju, [4]

Kako bi umanjio efekte buke u širem okruženju, Zračna luka Franjo Tuđman predlaže da se zajedno s Hrvatskom kontrolom zračnog prometa izdaju upute zračnom prometu koji zahtijeva smanjenje snage motora nakon polijetanja, sa 100 % i na postotak koji ne sprečava sigurnost dostizanja tražene visine (nadmorske visine) s obzirom na prepreke pri polijetanju.

U nastavku na slici 16. prikazane su karte buke za standardni postupak u polijetanju i operativni postupak kontinuiranog penjanja zrakoplova iz kojeg je jasno vidljiva veličina redukcije razine buke zrakoplova pri polijetanju što je vrlo značajno na Zračnoj luci Franjo Tuđman.



**Slika 16.** Prikaz odnosa karata buke standardnog postupka pri polijetanju (lijevo) i operativnog postupka kontinuiranog penjanja zrakoplova (desno), [27]

### 6.3. Operativne procedure za smanjenje buke u slijetanju

Slijetanje zrakoplova započinje poniranjem zrakoplova nakon čega prelazi u fazu prilaznja. Zrakoplov se postavlja na liniju koja vodi prema osi USS-e i pod kutom poniranja koji je definiran prilaznim radio uređajima odnosno, sustavom za instrumentalni prilaz ( ILS – *Instrumental Landing System*). Zrakoplov u prilazu koristi sljedeće konfiguracije:

- minimalni potisak za prilaznje,
- zakrilca u položaju za prilaznje,
- predkrilca u položaju za prilaznje,
- uvučen stajni trap,
- uvučene aerodinamičke kočnice.

S obzirom da razvojem tehnologije i samog zračnog prometa dolazi do pojave većeg broja različitih postupaka za polijetanje i slijetanje važno je najprije objasniti standardni postupak slijetanja kako bi se kasnije navedeni postupci mogli usporediti sa standardnim prilazom.

Standardni ili konvencionalni postupak slijetanja predstavlja slijetanje zrakoplova s visine od 450 do 600 m (1.500 – 2.000 ft) iznad aerodroma na koji slijeće. U tom letu pilot prvo dovodi zrakoplov na ravninu koja se preklapa s osi USS-e. U navedenoj ravnini, pilot prihvaća signal kuta poniranja od 3 stupnja u odnosu na horizontalnu ravninu, a zatim prelazi u poniranje. Leteći pod kutom poniranja pilot dovodi zrakoplov iznad praga USS-e na visinu od 15 metara, nakon čega izvodi slijetanje. Tijekom cijeloga leta od kada je pilot primio signal *marker-a*, zrakoplov se nalazi u postupku slijetanja (stajni trap izvučen, predkrilca izvučena, zakrilca potpuno izvučena). Da bi se let mogao normalno odvijati potrebno je povećati potisak koji će poništiti povećani otpor koji stvara struktura zrakoplova. Standardni postupak slijetanja prikazan je na primjeru Zračne luke Franjo Tuđman na slici 17.





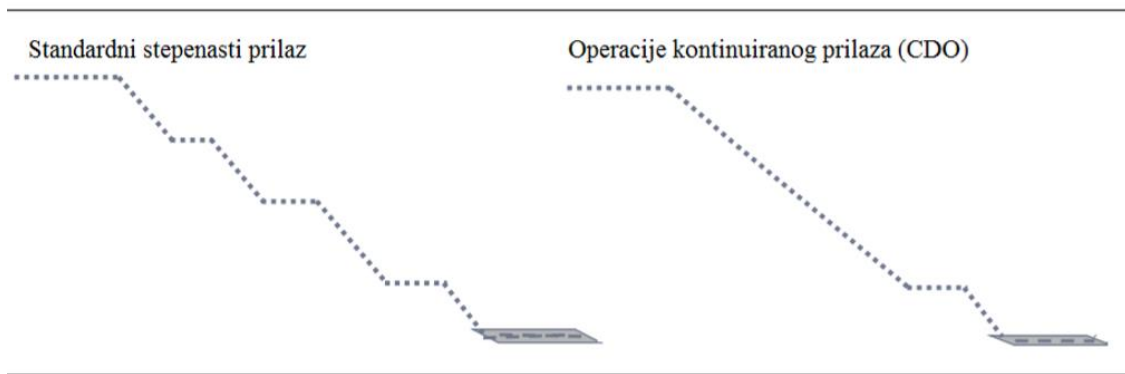
**Slika 17.** Standardni postupak slijetanja na Zračnoj luci Franjo Tuđman. [2]

### 6.3.1. Operativni postupak Continuous Descent Operation (CDO)

Kako bi se osigurao bolji protok prometa i smanjila buka zrakoplova u približavanju, razvijena je tehnika slijetanja pod nazivom prilaznje sa neprekinutim snižavanjem visine (CDO). Drugi naziv koji se još koristi za CDO je neprekinuto snižavanje visine prilikom prilaza (CDA - *Continuous Descent Approach*). CDO je postupak čija je primjena omogućena zahvaljujući dizajnu zračnog prostora, postupcima i tehnologiji kontrole zračnog prometa. u usporedbi s konvencionalnom tehnikom slijetanja, omogućava održavanje zrakoplova na većoj visini, tj. odgađanja početka spuštanja zrakoplova s krstareće visine - do trenutka prelaska prilazne crte pod odgovarajućim krajnjim prilazom slijetanja od 3 stupnja.

Uz konvencionalni prilaz, kontrola zračnog prometa odobrava zrakoplovu da se spusti s razine od 6.000 ili 7.000 ft na nadmorsku visinu od obično 3.000 ft. Zrakoplov tada leti nekoliko milja prije nego što presijeca konačni prilaz od tri stupnja. Tijekom tog razdoblja leta, pilot bi trebao upotrijebiti dodatnu snagu motora za održavanje konstantne.

Za razliku od konvencionalnog (STD) prilaza, CDO operacije se odnose na postupak prilaza pri kojem se zrakoplov ujednačeno spušta s minimalnom snagom motora (idealna je postavka "mirovanja") što u velikoj mjeri izbjegava razine segmenta leta. To štedi gorivo i smanjuje emisiju CO<sub>2</sub>, a u područjima oko zračne luke dolazi do smanjenja buke. Razlika između konvencionalnog i CDO prilaza prikazana je na slici 18.



**Slika 18.** Usporedba standardnog i CDO prilaza, [2]

Prednost takve tehnike je u tome što je motor tijekom cijelog postupka spuštanja u idealnom ili gotovo idealnom načinu rada. Takav pristup ima pozitivne učinke: ozbiljno smanjena razina buke, smanjena potrošnja goriva i smanjena emisija štetnih ispušnih plinova prema naseljenim područjima ispod prilaznih koridora u neposrednoj blizini zračne luke.

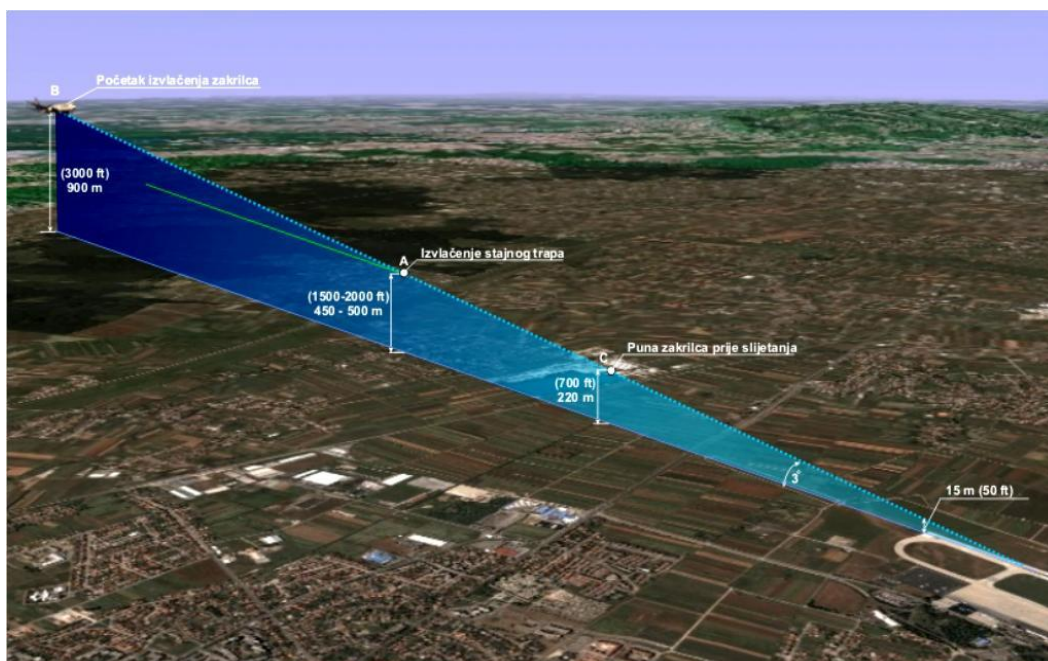
CDA tehnika može se primijeniti na bilo koju vrstu zrakoplova, pod uvjetom da su piloti pripremljeni i osposobljeni za njegovu primjenu i da zračna luka i kontrola leta imaju odgovarajuću opremu za njegovu realizaciju.

### 6.3.2. Postupak rada "manja snaga-manji otpor"

Postupak "manja snaga-manji otpor" (engl. *Low Power/Low Drag* – LP/LD) je tehnika smanjenja buke koja se primjenjuje kod zrakoplova u dolasku. Pilot leti minimalnom snagom što je duže moguće, odgađajući trenutak postavljanja zakrilca u položaj za slijetanje te odgađa trenutak izvlačenja opreme za slijetanje odnosno stajnog trapa, do optimalnog trenutka u fazi prilaska. Za zrakoplove u prilazu postoje dva ograničenja brzine na području zračne luke:

- brzina na ulasku u područje zračne luke – obično iznosi 460 km/h (250 čvorova) ispod 10.000 ft,
- brzina stabilizacije zrakoplova u završnom prilazu.

Konvencionalni prilaz pojavom LP/LD procedure postaje manje prihvatljiviji. Prema navedenim ograničenjima kod konvencionalnog prilaza dolazi do usporavanja neposredno nakon ulaska u područje zračne luke, dok se kao prihvatljivija procedura predlaže LP/LD gdje se usporavanje pojavljuje u završnom prilazu. Primjer LP/LD postupka od strane Lufthanse na Zračnoj luci Franjo Tuđman, prikazan je na slici 19.



**Slika 19.** Primjer LP/LD postupka na Zračnoj luci Franjo Tuđman, [2]

Prilaz zrakoplova do trenutka signala kuta poniranja vrši se na visini od 900m (3.000 ft) i sve do dostizanja visine od oko 450 m zbog čega je buka koju stvara zrakoplov znatno manja u odnosu na standardni prilaz. Isto tako buka je manja jer je manji otpor zrakoplova zbog manje izvučenosti zakrilaca, što zahtjeva manji potisak. Na 40 – 50 sekundi prije samog slijetanja izvlači se stajni trap, čime se zrakoplov dovodi u konfiguraciju za slijetanje [2].

Takvim postupkom otpor leta se svodi na minimum, kao i slijetanje pod povećanim otporom u kraćem vremenu. Takva tehnika pristupa mora biti izvedena u skladu sa svim zahtjevima za kontrolu leta, posebno poštujući sva pravila sigurnog leta.

### **6.3.3. Manje korištenje obrnutog potiska tijekom večeri i noći kada to dopuštaju sigurnosni uvjeti**

Upotreba obrnutog potiska privremeno je otvaranje sustava na mlaznim motorima za usmjeravanje potiska u suprotni smjer ili promjena kuta propelera zrakoplova s ciljem usmjeravanja potiska prema naprijed. Na taj način se pomaže kod usporavanja zrakoplova. Upotreba obrnutog potiska koristi se u zračnim lukama diljem svijeta. Dolazi do uštede trošenja kočnica i potrebe za kraćom uzletno sletnom stazom za slijetanje. Međutim, s aspekta razine buke, uporaba reverznog potiska je nepovoljna, posebno za naseljena područja koja se nalaze u neposrednoj blizini uzletno sletne staze. Mnoge su zračne luke zabranile povratni potisak za



slijetanje tijekom noći, tj. između 22:00 i 06:00 sati. Zabrana uporabe obrnutog potiska ima svoje pozitivne i negativne čimbenike.

Uprava Zračne luke Franjo Tuđman mora obavijestiti Odbor za zrakoplovne operacije o ovoj mjeri i vidjeti njihov odgovor na tu ideju. Korištenje povratnog potiska može se postići ako neće imati utjecaja na sigurnosno slijetanje zrakoplova, a obično je zabranjeno tijekom noći. Za sada Zračna luka Franjo Tuđman ima manje od 2 % noćnih letova (u vremenu od 6 do 7 sati).

#### **6.4. Uvođenje vremenskih restrikcija na Zračnu luku Franjo Tuđman**

Svaka zračna luka strogo je definirala vremensku granicu od kada i do kada zrakoplovi smiju letjeti te gornje granice buke koje su dopustive. U početku su te restrikcije bile usmjerene na općenito stanje i reputaciju zračne luke i provodile su se jedino ako je to bilo u interesu zračne luke. U današnje vrijeme mjerenje buke zrakoplova i uvođenje restrikcija sastavni su dio rada zračnih luka. U razvijenim zemljama uvedene su i noćne restrikcije kojima se smanjuje ili eliminiraju bučne operacije tijekom kasnih noćnih sati, kada su ljudi najosjetljiviji na buku. Takve restrikcije mogu imati veliki  $L_{dn}$  jer se na glavnu vrijednost dodaje 10 dB penala. Te restrikcije traju između 22:00 i 07:00 sati dok traje  $L_{dn}$ . Najjednostavnije rješenje za zračne prijevoznike u sprječavanju bučnih operacija je da ne lete u one zemlje gdje su na snazi restrikcije o buci zrakoplova. U današnje vrijeme svjetski poznate zračne luke (*London Heathrow, London Gatwick, London Stansted*) uvele su restrikcije na način da je promjena flote s jedne strane ili plaćanje taksi zbog buke neizbježna. U večernjim satima ta naknada mora biti viša, dok u noćnim satima je ona najviša. Time isti zrakoplov za noćno slijetanje plaća puno veću naknadu, a cilj je veće uvođenje dnevnih operacija [2].

#### **6.5. Operativni postupci za smanjenje razine buke na stajanci**

S obzirom na buku proizvedenu operacijama na zemlji, Zračna luka Franjo Tuđman se referira na buku koju zrakoplovi stvaraju tijekom operacija rukovanja, održavanja i popravaka i održavanja zrakoplova. Iako se takva vrsta buke općenito drži pod nadzorom, kako bi se izbjegle pritužbe stanovnika u blizini, uprava Zračne luke Franjo Tuđman aktivno prati provedbu preventivnih mjera vezanih uz proizvodnju buke od 10 dB ili više. Olakšavajuće mjere mogu uključivati relokaciju mjesta za ispitivanje motora zrakoplova na Zračnoj luci Franjo Tuđman. Testiranje motora može se obavljati na sljedećim lokacijama:

1. Položaji na istočnoj platformi - ispitivanje motora dopušteno je samo s malom snagom motora: E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E10R, E11,
2. Položaj na istočnoj platformi - moguće ispitivanje motora puno veće snage od male snage motora kod E11, ali moraju se ispuniti svi sigurnosni parametri.

Ispitivanje zrakoplovnih motora vrlo je bučna aktivnost, tako da su ove operacije održavanja zabranjene noću (vrijeme spavanja). U slučaju da se motori pokreću u blizini hangara, efekt zaštite od hangara može smanjiti razinu buke u blizini hangara od 10 do 25 dB. Najučinkovitija metoda smanjenja buke kod održavanja mlaznog motora je korištenje detektora buke. Prijenosni ili fiksni deflektor obično omogućuje smanjenje razine buke od 10 do 25 dB, ovisno o zvučnoj izolaciji između prigušivača i motora zrakoplova.

### **6.5.1. Korištenje GPU-a umjesto APU-a**

Korištenje zemaljskog izvora napajanja zrakoplova električnom energijom odnosno zemaljskog elektroagregata (**GPU**)<sup>3</sup> umjesto pomoćnog agregata (**APU**)<sup>4</sup> ima za cilj smanjenje potrošnje goriva i emisije štetnih ispušnih plinova, a pozitivni popratni efekt tome je i smanjenje razine buke koja se pri tome proizvodi na stajanci zračne luke. Pomoću GPU-a u odnosu na APU, ušteda koja se procjenjuje iznosi:

- oko 19 milijuna litara goriva godišnje,
- smanjenje emisija CO<sub>2</sub> za preko 45 milijuna kilograma godišnje.

Trenutno putnički terminal Zračna luka Franjo Tuđman ima 8 zračnih mostova s ugrađenim GPU napajanjem. Njihovim korištenjem zrakoplovi će smanjiti uporabu APU-a te će kao rezultat biti manje buke tijekom rukovanja.

### **6.5.2. Pasivne mjere**

U slučaju da gornje mjere ne daju zadovoljavajuće rezultate, može se, u skladu s primjenjivim zakonom, primijeniti pasivne mjere zvučne izolacije zgrada u zonama izloženim prekoračenim emisijama buke u zračnom prometu. Pasivne mjere bi uključivale proizvodnju i postavljanje zaštitnih barijera i deflektora buke.

Kako bi se postigla njihova maksimalna učinkovitost, fizičke barijere se postavljaju na mjesta koja se nalaze na pravcu između izvora buke odnosno zrakoplova i osoba koje se nalaze

---

<sup>3</sup> GPU – Ground Power Unit – zemaljski sustav napajanja

<sup>4</sup> APU – Auxiliary Power Unit – pomoćni agregat

na udaru takve razine buke. U većini slučajeva ta se mjesta nalaze ili u neposrednoj blizini izvora buke ili u neposrednoj blizini osoba koje se nalaze na udaru iste. Postoji dva tipa akustičnih barijera: reflektirajuće i apsorbirajuće. Fizičke barijere buci mogu biti zidovi ili nasipi zemlje, također duge zgrade kao što su putnički terminali na zračnim lukama mogu poslužiti kao svojevrsna fizička barijera buci. Visina fizičke barijere ovisi o njenoj namjeni, u koliko se radi o zrakoplovima s niskim položajem motora ili APU-a mogu biti normalne visine od oko 4 metara, a u koliko se radi o zrakoplovima s višim položajem motora ili APU-a tada se visina penje i do 10 metara. Upotreba fizičkih barijera buci u vidu zidova ili nasipa kao zaštita od razine buke koju proizvode zrakoplovi na stajanci uglavnom se razmatra kao posljednja opcija zbog visoke cijene izgradnje. Adekvatno odabrane barijere mogu smanjiti razinu buke između 5 i 10 dB. Iako se širenjem kapaciteta odnosno izgradnjom novog putničkog terminala očekivano broj operacija povećao na Zračnoj luci Franjo Tuđman, postupak postavljanja zvučnih barijera trenutno nije u planu. Sadašnji stari i novi putnički terminal svojom dužinom i visinom ujedno služe kao fizička barijera buci. Za primjer u nastavku, navodimo Zračnu luku Gatwick i njezinu kontrakciju fizičke barijere (slika 20. i slika 21.).



**Slika 20.** Prikaz Međunarodne zračne luke Gatwick, [28]



**Slika 21.** Prikaz barijere na Međunarodnoj zračnoj luci Gatwick, [28]

Također, ispravljači snage motora postavljaju se na mjestu predviđenom za ispitivanje motora, tako da se tok ispušnih plinova preusmjerava od vodoravnog do vertikalnog smjera. Osim toga, na položaje za ispitivanje motora postavljaju se zidovi za zaštitu od buke od materijala koji apsorbiraju zvuk i potrebno ih je usmjeriti prema naseljima.

### **6.5.3. Uvođenje ekološke naknade**

Ako se praćenjem utvrdi da je buka koju zrakoplovi stvaraju u zračnoj luci iznad razine buke dopuštene važećim zakonom, Zračna luka Franjo Tuđman kao jednu od mjera može uvesti okolišnu naknadu za buku kako slijedi:

1. Implementacija i prikupljanje naknade od svih zrakoplova koji odlaze, kako bi se platila izolacija kuća koje su pod utjecajem buke unutar važećeg zakona,
2. Implementacija i naplata kaznene pristojbe za one zrakoplove koji prekoračuju dopuštene razine buke ili ne poštuju definirane koridore, postupke slijetanja i uzlijetanja

ili lete na manjoj nadmorskoj visini od dozvoljene, ili slijeću u ograničeno vrijeme kao što je noćno vrijeme.

#### **6.5.4. Vanjska komunikacija**

Vanjska komunikacija s trećim stranama ostvaruje se kroz:

- Odbor za zaštitu okoliša zračne luke - koji bi se planirao provoditi najmanje jednom godišnje
- Komunikacija s lokalnim zajednicama - međunarodna zračna luka Zagreb je započela komunikaciju s lokalnim zajednicama
- Žalbe i upiti – Zračna luka Franjo Tuđman i dalje će službenu internetsku stranicu nuditi kao i mogućnost za prikupljanje prigovora i upita.
- Službena internetska stranica Zračne luke Franjo Tuđman.

## 7. ZAKLJUČAK

Bukom se definira svaki neželjeni zvuk u sredini u kojoj ljudi borave i rade, a koji izaziva neugodan osjećaj ili može nepovoljno utjecati na zdravlje. Buka može djelovati vrlo ometajuće i odvlačiti pozornost od rada za koji je potrebna povećana koncentracija. U ekstremnim uvjetima može rezultirati i fizičkim poremećajem. Svrha rada je ukazati na problem utjecaja buke koja raste sukladno povećanju prometa na Zračnoj luci Franjo Tuđman. Zračne luke, proizvođači zrakoplova i kontrola zračnog prometa načinom poslovanja odnosno provedbom regulatornih i operativnih mjera, ograničenja i novih tehnologija ima za cilj smanjiti štetan utjecaj zračnog prometa na okoliš.

Tehnologije, ograničenja, subvencije i raznovrsni projekti primijenjeni posljednjih godina rezultirali su smanjenjem buke i do 80 %. Među najvažnijim projektima je dakako razvoj "tiših" zrakoplova i primjena operativnih mjera prilikom slijetanja i polijetanja zrakoplova. Operativne mjere prilaza i odleta zrakoplova primjenjuju se ovisno o performansama zrakoplova, tehnološkoj razvijenosti pružatelja usluga zračnog prometa, karakteristikama zračne luke na kojoj se primjenjuje i drugim brojnim parametrima. Važno je naglasiti da nije svaka operativna mjera primjenjiva na svakoj zračnoj luci. Među najčešće korištenim operativnim mjerama su CDO i CCO. Svaka od tih mjera ima prednosti i nedostatke te je prilikom primjene neke od njih važno obratiti pozornost kako na njene prednosti i mogućnosti tako i na nedostatke. Na primjeru Zračne luke Franjo Tuđman zaključeno je da se primjenom CDO i CCO mjera smanjuje buka u prilazu i odletu u odnosu na konvencionalni prilaz i odlet. Primjena tih mjera smanjuje utjecaj buke na naselja u području prilaznih i odletnih putanja. Uz sve navedeno, potrebno je poticati zrakoplovne kompanije za korištenje GPU-a umjesto APU-a te gašenje jednog ili više motora prilikom taksiranja zrakoplova po stajanci jer za rezultat ima pozitivan popratni efekt smanjenje razine buke.

Sukladno prognozi rasta prometa potrebno je, u svrhu održivog razvoja Zračne luke Franjo Tuđman, ažurirati postojeću strategiju upravljanja bukom unutar koje će se definirati operativne mjere koje služe za daljnje reduciranje iste na području Zračne luke Franjo Tuđman i oko nje. Izgradnjom novog putničkog terminala preporuča se postavljanje dodatnih NMT mjernih stanica s ciljem preciznijeg praćenja buke. Obzirom na sve rigoroznije zakone i ograničenja vezanih za očuvanje okoliša koje propisuje Europska unija, implementacija spomenutih operativnih mjera, kako na Zračnoj luci Franjo Tuđman tako i na svim zračnim lukama u Republici Hrvatskoj smatra se najefektivnijim metodama smanjenja razine buke i osiguravanja održivog razvoja zračnih luka Hrvatske. Države članice EU dužne su izraditi karte

buke i akcijske planove za upravljanje bukom i njenim učincima što uključuje predlaganje i donošenje mjera za smanjenje razine buke kao što je izneseno u ovom diplomskom radu. Karte buke jednoznačno određuju ukupnu izloženost populacije buci uzrokovanoj cjelokupnom ljudskom aktivnošću, te daju uvid u probleme upravljanja bukom kao i jasnu sliku tih problema. Akcijski planovi kao instrument sustava upravljanja bukom okoliša moraju osigurati vjerodostojnu stručnu podlogu za smanjivanje štetnih učinaka buke na ljude u područjima koja su po izradi strateških karata buke predstavljena kao problematična.

Održiv razvoj zračnog prometa zahtijeva uvođenje mjera usmjerenih na smanjenje učinka buke zrakoplova u zračnim lukama Europske Unije. Te bi mjere trebale poboljšati okruženje u uvjetima buke oko zračnih luka, kako bi se održala ili povećala kvaliteta života stanovništva u okolici i poboljšala kompatibilnost između aktivnosti zrakoplovstva i naselja, a osobito ako se radi o noćnim letovima. Buka je neizbježni dio svakodnevnog života i bilo bi nerealno očekivati potpunu eliminaciju iste. Društvo postaje sve svjesnije njezine štetnosti i radi na njenom otklanjanju ili smanjivanju. Zaštita od buke obuhvaća niz različitih koordiniranih postupaka radi postizanja prihvatljivog stanja buke u radnom i životnom okruženju. Uspješna zaštita od buke obično je vrlo složena zadaća i za nju ne postoji univerzalno rješenje.



## POPIS LITERATURE

- [1] Baza znanja, Koliko je buka problem?, <https://multifizika.hr/baza-znanja/buka/koliki-je-buka-problem/> (preuzeto 28. 11. 2019.)
- [2] Štimac, I. Implementacija sustava praćenja i analiza buke na Zračnoj luci Zagreb, Magistarski rad, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2009, p. 7.
- [3] Golubić, J. Promet i okoliš, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2006, p. 167.
- [4] Zevčević-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.
- [5] Bazijanac, E., Domitrović, A. Predavanja za nastavu „Zrakoplovni mlazni motori“, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2008, p. 3.
- [6] NASA facts, Making Future Commercial Aircraft Quieter, p. 2, [http://www.nasa.gov/centers/glenn/pdf/84790main\\_fs03grc.pdf](http://www.nasa.gov/centers/glenn/pdf/84790main_fs03grc.pdf) (preuzeto 28.11.2019.)
- [7] Živaljić, D. Analiza unutarnje (kabinske) buke zrakoplova CL – 415, Diplomski rad, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 2015, p. 17.
- [8] International Civil Aviation Organization: ICAO Doc 9829, Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management; 2008, p. I-5-1.
- [9] Pavlin, S. Aerodromi I, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2006, p. 8.
- [10] de Neufville R., Odoni, A. Airport Systems: Planning, Design and Management, New York: McGraw-Hill; 2003, p. 179.
- [11] Bračić, M., Pavlin, S. Tehnologija prihvata i otpreme zrakoplova: radni materijal, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, p. 137.
- [12] ICAO, Environment Report 2016, <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf> (preuzeto 30.11.2019.)
- [13] Ligenza, I. Analiza i načini smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu, Završni rad, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2018, p. 15.
- [14] Dickinson, N., ICAO Noise Standards, 2013, p. 10, <http://www.icao.int/Meetings/Green/Documents/day%201pdf/session%202/2-Dickson.pdf> (preuzeto 30.11.2019.)



- [15] Drljača, M, Vrbanc, M., Bernacchi, Ž. Implementiranje sustava za mjerenje buke u Zračnoj luci Zagreb. *Suvremeni promet*. 2005;25(5):356-360.
- [16] Smojver, Ž. *Promet i ekologija*. Rijeka: Prometni odjel Veleučilišta u Rijeci, 2016, p. 17, [https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni\\_materijali/k\\_promet\\_1/Promet\\_i\\_ekologija\\_predavanje\\_0008.pdf](https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_promet_1/Promet_i_ekologija_predavanje_0008.pdf) (preuzeto 30.11.2019.)
- [17] Službeni list Europskih zajednica, Direktiva EU-2002/49/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 25. lipnja 2002. godine o procjeni i upravljanju bukom iz okoliša, p. 29, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049> (preuzeto 30.11.2019.)
- [18] Zakon o zaštiti od buke, *Narodne novine* 30/09, 55/13, 153/13, 41/16, 114/18, <https://www.zakon.hr/z/125/Zakon-o-za%C5%A1titi-od-buke> (preuzeto 30.11.2019.)
- [19] Pravilnik o uspostavljanju pravila i postupka u svezi uvođenja operativnih ograničenja vezanih za buku zrakoplova na zračnim lukama na teritoriju Republike Hrvatske, *Narodne novine* 39/2013, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013\\_04\\_39\\_730.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_04_39_730.html) (preuzeto 30.11.2019.)
- [20] Akustika, O mjerenju buke, [http://www.darh2.hr/akustika/am\\_o\\_mjerenju\\_buke.asp](http://www.darh2.hr/akustika/am_o_mjerenju_buke.asp) (preuzeto 30.11.2019.)
- [21] FAA Approach to Aircraft Noise Measurement, Noise Measurement Methods Provide Different Kinds of Information, <http://airportnoiselaw.org/faanoise.html> (preuzeto 30.11.2019.)
- [22] Schultz, T. J. Synthesis of Social Surveys on Noise Annoyance. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1978;64(2), p. 377-405.
- [23] FAA Approach to Aircraft Noise Measurement, Noise Measurement Methods Provide Different Kinds of Information, <http://airportnoiselaw.org/faanoise.html> (preuzeto 30.11.2019.)
- [24] FAA Selected the Day-Night Sound Level Method for Measuring Noise Exposure, <http://airportnoiselaw.org/faanois2.html> (preuzeto 30.11.2019.)
- [25] MZLZ: *Noise reduction action plan*, Velika Gorica, 2019
- [26] URL: <https://www.emsbk.com/noise-monitoring-terminal/> (pristupljeno: 22.01.2020.)
- [27] Štimac, I.: Noise levels, Trade-offs between noise and CO<sub>2</sub>, ATC, Aircraft noise performance, ACI Europe, Noise Strategy Task Force, Brussels, February, 2013., p.19.
- [28] URL: <https://www.simflight.com/2011/01/05/review-uk2000-scenery-gatwick-xtreme-v3/> (pristupljeno: 28.01.2020.)

## POPIS KRATICA

ACARE	( <i>Advisory Council for Aeronautics Research in Europe</i> ) Savjetodavno vijeće za aeronautička istraživanja u Europi
APU	( <i>Auxiliary Power Unit</i> ) pomoćna jedinica za napajanje
CAEP	( <i>Council for the Accreditation of Educator Preparation</i> ) Odbor za zaštitu okoliša u zračnom prometu
CATC	( <i>Croatian Aviation Training Centre</i> )
CCO	( <i>Continuous Climb Operations</i> ) operacije kontinuiranog penjanja
CDA	( <i>Continuous Descent Approach</i> ) operacije kontinuiranog snižavanja visine prilikom prilaza
CDO	( <i>Continuous Descent Operation</i> ) operacije kontinuiranog spuštanja
EGNOS	( <i>European Geostationary Navigation Overlay Service</i> )
ENM	( <i>Environmental Noise Model</i> ) Programski paket za praćenje podataka buke
EPNL	( <i>Effective Perceived Level</i> ) maksimalna percipirana razina buke
FAA	( <i>Federal Aviation Agency</i> ) Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo
FAR	( <i>Federal Aviation Regulations</i> ) Federalne uredbe o zrakoplovstvu
GNSS	( <i>Global Navigation Satellite System</i> ) Globalni navigacijski satelitski sustavi
GPS	( <i>Global Positioning System</i> ) Globalni položajni sustav
GPU	( <i>Ground Power Unit</i> ) zemaljski sustav napajanja
ICAO	( <i>International Civil Aviation Organisation</i> ) Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo
ILS	( <i>Instrumental Landing System</i> ) sustav za instrumentalno slijetanje
IFR	( <i>Instrumental Flight Rules</i> ) letenje pomoću instrumenata
INM	( <i>Integrated Noise Model</i> ) izrada karata buke
MTOM	( <i>Maximum Certificated Take-Off Mass</i> ) najveća dopuštena masa pri uzlijetanju
NASA	( <i>National Aeronautics and Space Administration</i> ) Američka svemirska agencija
NMT	( <i>Noise Measurement Terminal</i> ) stanica za mjerenje buke
NNC	( <i>non-noise certificated</i> ) zrakoplovi bez certifikata buke
STD	( <i>Standardised Approach</i> ) standardni prilaz
ULD	( <i>Unit Load Device</i> ) ULD oprema
VFR	( <i>Visual Flight Rules</i> ) letenje po vidljivosti

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1.</b> Tehnološki razvoj pogonske grupe u razdoblju od 1950. do danas, [6].....	6
<b>Slika 2.</b> Konstrukcija današnjeg turboventilatorskog motora, [6] .....	7
<b>Slika 3.</b> Izvori buke uzrokovane strukturom zrakoplova, [2] .....	9
<b>Slika 4.</b> Širenje buke generirane protokom zraka preko aeroprofila krila zrakoplova, [2].....	10
<b>Slika 5.</b> Razvoj emisije buke kod zrakoplova od 1950. do 2020. godine, [13] .....	16
<b>Slika 6.</b> Pregled svjetske flote zrakoplova prema kategorijama ICAO Dodatka 16 vezanima za buku zrakoplova, [3] .....	17
<b>Slika 7.</b> Točke za mjerenje buke u svrhu certifikacije zrakoplova, [3].....	18
<b>Slika 8.</b> Satelitski prikaz Zračne luke Franjo Tuđman.....	30
<b>Slika 9.</b> Prikaz NMT stanice s odgovarajućim mikrofonom, [26].....	32
<b>Slika 10.</b> Prikaz aktualnog položaja mjernih stanica (NMT).....	33
<b>Slika 11.</b> Shematski prikaz sustava za mjerenje buke, [15].....	35
<b>Slika 12.</b> Prijedlog lokacija novih NMT stanica, [2] .....	42
<b>Slika 13.</b> FAA postupak polijetanja, [2] .....	43
<b>Slika 14.</b> ICAO postupak polijetanja, [2] .....	44
<b>Slika 15.</b> Usporedba standardnog postupka s operativnim postupkom kontinuiranog penjanja zrakoplova pri polijetanju, [4].....	45
<b>Slika 16.</b> Prikaz odnosa karata buke standardnog postupka pri polijetanju (lijevo) i operativnog postupka kontinuiranog penjanja zrakoplova (desno), [27].....	45
<b>Slika 17.</b> Standardni postupak slijetanja na Zračnoj luci Franjo Tuđman. [2] .....	47
<b>Slika 18.</b> Usporedba standardnog i CDO prilaza, [2] .....	48
<b>Slika 19.</b> Primjer LP/LD postupka na Zračnoj luci Franjo Tuđman, [2] .....	49
<b>Slika 20.</b> Prikaz Međunarodne zračne luke Gatwick, [28] .....	52
<b>Slika 21.</b> Prikaz barijere na Međunarodnoj zračnoj luci Gatwick, [28] .....	53

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 1.</b> Tipični učinci buke na stanovništvo u blizini zračnih luka .....	12
<b>Tablica 2.</b> $L_{den}$ penali ovisno o periodu dana .....	21

## POPIS GRAFIKONA

<b>Grafikon 1.</b> Distribucija razine buke po pojedinim komponentama zrakoplova pri slijetanju i polijetanju .....	8
<b>Grafikon 2.</b> Razina buke (dB) na Zračnoj luci Franjo Tuđman izmjerena NMT stanicama 2017. godine .....	36
<b>Grafikon 3.</b> Razina buke (dB) na Zračnoj luci Franjo Tuđman izmjerena NMT stanicama 2018. godine .....	37
<b>Grafikon 4.</b> Smanjenje/povećanje razine buke u 2018. godini .....	38



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 **Primjena akcijskih planova za smanjenje buke u funkciji održivog razvoja Zračne luke Franjo Tuđman**

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

U Zagrebu, 25.2.2020 \_\_\_\_\_

Student/ica:

(potpis)