

Analiza i načini smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu

Ligenza, Ivana

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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:119:826926>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-27**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ivana Ligenza

ANALIZA I NAČINI SMANJENJA BUKE U
KOMERCIJALNOM ZRAKOPLOVSTVU

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2018.

Zagreb, 27. ožujka 2018.

Zavod: **Zavod za prometno planiranje**
Predmet: **Ekologija u prometu**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4584

Pristupnik: **Ivana Ligenza (0135238031)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Analiza i načini smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu**

Opis zadatka:

U radu je potrebno navesti izvore buke na zrakoplovu i utjecaj buke na zdravlje čovjeka. Analizirati metode mjerenja buke i mjerne veličine. Prikazati međunarodnu regulativu buke zrakoplova. Objasniti načine smanjenja buke u zračnom prometu kroz prikaz najvažnijih mjera koje se primjenjuju na zračnim lukama

Mentor:



prof. dr. sc. Jasna Golubić

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

**ANALIZA I NAČINI SMANJENJA BUKE U
KOMERCIJALNOM ZRAKOPLOVSTVU**

**ANALYSIS AND METHODS OF REDUCTION OF NOISE IN
AIR TRAFFIC**

Mentor: prof. dr. sc. Jasna Golubić

Student: Ivana Ligenza

JMBAG: 0135238031

Zagreb, rujan 2018.

SAŽETAK

Kroz temu ovoga rada analizirano je pitanje utjecaja buke komercijalnog zrakoplovstva na ljude i njihovo zdravlje. Izvori buke komercijalnog zrakoplovstva podijeljeni su na buku pogonskih skupina i buku strukture zrakoplova. Međunarodna regulativa buke zrakoplova donosi odredbe prema podacima koji se utvrđuju metodama mjerenja buke. Do 2050. godine, međunarodnom regulativom Europske unije teži se cilju smanjenja buke do 65%. ICAO (prema Annexu 16 Volume 1) propisuje metode mjerenja te mjere redukcije buke za sve tipove zrakoplova. Također, u radu su obrađeni načini smanjenja buke tehnološkim, operativnim i ekonomskim mjerama. Važno je istaknuti mjere zračnih luka za redukciju buke kao što je, "policijski sat", gradnja zvučnih barijera te korištenje (tiših) zrakoplova novih generacija.

KLJUČNE RIJEČI: buka zrakoplovstva; regulativne mjere; načini smanjenje buke

SUMMARY

Throughout this final work many questions are analyzed about noise of commercial air traffic that affects humans and their health. Noise sources of commercial air traffic can be divided on propulsive noise and aircraft structure noise. International Regulations for aircraft noise decides different kinds of measures according to data that are being determined by measuring noise level. By 2050. European Union International Regulations are targeting to lower the noise level by 65%. ICAO (according to Annex 16 Volume 1) gives different methods of measuring and measures of noise reduction for all types of aircrafts. Also, all sorts of noise reduction are being described such as technological, operative and economical measures. It is important to notice airports measures for noise reduction such as curfew, building sound barriers and using quieter aircrafts of new generations.

KEYWORDS: Aircraft Noise; Regulative Measures; Methods of Reduction of Noise

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Utjecaj buke zrakoplova na zdravlje čovjeka	4
3. Izvori buke kod zrakoplova	8
3.1. Buka pogonske skupine	10
3.2. Buka strukture zrakoplova	11
4. Metode mjerenja buke	13
5. Međunarodna regulativa buke zrakoplova	15
5.1. Annex 16	16
5.2. FAR 36	18
5.3. FAR 91	18
5.4. Direktiva EU-2002/49/EC	19
6. Načini smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu	20
6.1. Tehnologijske mjere	20
6.2. Operativne procedure	27
6.3. Operativne restrikcije	33
6.4. Ekonomske mjere	36
7. Mjere u cilju smanjenja buke na zračnim lukama	38
8. Primjena sustava za mjerenje buke Zračne luke Zagreb i Split	42
8.1. sustav mjerenja buke Zračne luke Zagreb	42
8.2. Sustav mjerenja buke Zračne luke Split	44
9. Zaključak	45
Literatura	46
Popis slika	49

1.Uvod

Komercijalno zrakoplovstva započelo je prvim komercijalnim letom 1949. godine. Uporaba komercijalnog zrakoplovstva do danas je veća za 70 puta od samog početka. Godišnje se putnički zračni promet povećava za 4%, dok se teretni zračni promet povećava 6,4% godišnje. Prema ovim podacima predviđa se da će do 2050. godine zrakoplovstvo doprinijeti 66% svih emisija CO₂ u Europi.¹

Zračni promet se kao i ostale prometne grane bori protiv ekoloških problema izazvanih istim. Pod glavne ekološke probleme komercijalnog zrakoplovstva može se svrstati buka, emisija motora, otpadni materijali, onečišćenje zemlje i vode u zračnim lukama. Kako bi se regulirali i smanjili takvi problemi stvorene su međunarodne organizacije koje postavljaju ograničenja, te se bave problematikom s ekološkog aspekta. Zaštita okoliša danas je obavezna prema svim nacionalnim i međunarodnim propisima. ICAO Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (International Civil Aviation Organization) propisuje dva dijela 'Zaštite okoliša': Annex 16 ICAO – Volume 1 koji obrađuje buku zrakoplova, te Annex 16 ICAO Volume 2 koji se bavi emisijom zrakoplovnih motora. Današnje tehnologije zadovoljavaju većinu zahtijeva kao što su tiši i čišći zrakoplovi, veći nivo opremljenosti, unaprjeđenje konstrukcije, nove generacije zrakoplova itd.

U današnje vrijeme, kada svjedočimo naglom razvoju zračnog prometa, koji zasigurno predstavlja najmlađu i najsigurniju vrstu prometa, nesporno je zaključiti kako je buka, koja je direktna posljedica tog naglog razvoja, postala učestalija i neugodnija.

Buka je vrlo glasan, ponekad bolan zvuk koji u ljudskom uhu uzrokuje nelagodu. Svaki neželjeni zvuk kojeg proizvodi zrakoplov možemo nazvati bukom zrakoplova. Buka se smatra štetnom za okoliš, sve dok nisu nastale propisane maksimalno dopuštene granice, izražene u decibelima (dB). Nakon dugotrajne izloženosti buci većoj od 85-90 dB postoji mogućnost nastanka trajnog oštećenja sluha. Istraživanje buke kao takve, započinje krajem pedesetih godina prošlog stoljeća s ciljem da se pronađu glavni izvori buke, te načini smanjenja iste.

¹ Golubić, J.: Presentacija za nastavu "Promet i ekologija", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017

Velika pažnja usmjerena je na zaštitu od buke, kako od same zrakoplovne industrije, tako i od zračnih luka te zrakoplovnih prijevoznika. Stanovništvo koje živi u neposrednoj blizini zračnih luka nesumnjivo je direktno pogođeno negativnom posljedicom buke kao takve, te samim time problem postaje sve veći i češći. Upravo iz tog razloga, pogođene sve većim brojem pritužbi, zrakoplovna industrija i međunarodne udruge bile su prisiljene početi s razvojem brojnih mjera čiji je glavni cilj regulacija i redukcija buke.

Rad je podijeljen u 9 cjelina:

- Uvod,
- Utjecaj buke na zdravlje čovjeka,
- Izvori buke kod zrakoplova,
- Metode mjerenja buke,
- Međunarodna regulativa buke zrakoplova,
- Načini smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu,
- Mjera u cilju smanjenja buke u zračnim lukama,
- Primjena sustava za mjerenje buke zračnih luka Zagreb i Split
- Zaključak.

U drugoj cjelini analizira se tematika *Utjecaja buke na ljudsko zdravlje* gdje je svakako važno istaknuti činjenicu kako buka ima nesporni utjecaj na ljudsko zdravlje, kako fizičko, tako i psihičko, što je dokazano brojnim istraživanjima čija statistika govori kako se život u blizini zračnih luka smatra svojevrsnim rizikom.

U trećoj cjelini obrađuju se *Izvori buke kod zrakoplova*, dijelimo ih na tri dijela, ovise o tipu zrakoplova i pogonskoj skupini.

Nadovezano na treću, četvrta cjelina bavi se *Metodama 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 djelotvornost bila na najvišoj mogućoj razini.

U petom poglavlju, koje se naziva *Međunarodna regulativa buke zrakoplova*, obrađuju se razne direktive Europske unije i postavljeni ciljevi za buduća razdoblja u svrhu smanjenja buke.

U šestom poglavlju prikazani su *Načini smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu*, od tehnologijskih do ekonomskih mjera koje predstavljaju donošenje uredbi i pravilnika, određivanje granica i ekoloških ciljeva, kao i ekonomskih poticaja.

U sedmoj cjelini obrađene su *Mjere u cilju smanjenja buke na zračnim lukama* gdje će se izložiti pomoću kojih sredstava same zračne luke i zrakoplovne kompanije pokušavaju spriječiti razinu širenja buke na okolna stambena područja i naselja.

U osmom djelu prikazana je *Primjena sustava za mjerenje zračne luke Zagreb i Split* gdje je razrađena metodologija gdje se prikupljaju podaci sa različitih mjernih jedinica koji kasnije koriste analizama postojećih štetnih utjecaja na okoliš i ljude, kao i kreiranja svojevrsnih ljestvica za buduće vrijednosti razine buke.

2. Utjecaj buke zrakoplova na zdravlje čovjeka

Buka je zvuk koji uzrokuje nelagodu u ljudskom uhu. Pojava koja prolazi kao nepravilna vibracija kroz zrak, stvarajući fizičku opasnost ako joj je čovjek često i preblizu izložen. Izvori buke u svakodnevnom životu mogu biti brojni. Najveći izvori buke su cestovni promet, zračni promet, željeznički promet te pomorski i riječni promet. Buka prometa u Europi pogađa više od 40% stanovništva s glasnoćom većom od 55 dB, a 20% stanovništva (otprilike 80 milijuna ljudi) je izloženo buci od 65 dB. Dugotrajno izlaganje buci može ostaviti teške posljedice i uzrokovati oboljenja, naročito ako je riječ o visokim frekvencijama buke.²

Buci zrakoplova najviše su izložene osobe koje sudjeluju u opsluživanju zrakoplova na zemlji. Ljudsko uho može podnijeti zvučne podražaje u rasponu od 120 do 20000 Hz, a prvi znaci oštećenja se javljaju u području od 4000 Hz.³

Istraživanje Ranch⁴ ispitalo je povezanost izloženosti buke zrakoplova s razumijevanjem djece u osnovnoj školi, ometanje buke i psihološkom zdravlju u srednjoj školi. To su istraživanja koje su šest godina pratile 461 dijete u dobi od 15 do 16 godina, koja su pohađale osnovne i srednje škole u okolici zračne luke Heathrow u Londonu. Koristile su podatke o prosječnoj godišnjoj izloženosti buke zrakoplova u školama. Pokazalo se da je buka zrakoplova povezana sa značajnim povećanjem smetnji pri razumijevanju u čitanju, te sposobnosti učenja, no nije bila povezana sa psihološkim zdravljem u praćenju. Razumijevanje tijekom čitanja počelo je padati ispod prosjeka za oko 55 dB L_{Aeq, 16 hours} (Level A-weighted equivalent-level razina zvuka u decibelima ekvivalentna ukupnoj zvučnoj energiji izmjerenoj tijekom određenog razdoblja) u školi. U 119 škola ustanovljeno je da zvučna izolacija smanjuje učinak buke zrakoplova kod djece. WHO (eng. World Health Organization), svjetska zdravstvena organizacija, sugerira da u školama razina zvučnog tlaka ne bi trebala prelaziti 35 dB L_{aeq} tijekom nastave. Također, upućuje na to da školska igrališta na otvorenom ne smiju prijeći 55 dB L_{aeq} tijekom odmora kako bi se djeca zaštitila od neugodnosti i smetnji kao direktnih posljedica buke zrakoplova.⁵

² <https://multifizika.hr/baza-znanja/buka/koliki-je-buka-problem/>, 17.8.2018.

³ Golubić J.: Promet i okoliš, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999., p.167

⁴ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027249441300011X>, 18.8.2018.

⁵ ibid

Kvalitetan san na dnevnoj bazi veoma je važan za dnevne aktivnosti, kao i za razinu kvalitete života i zdravlja. Poremećaj sna uzrokuje smanjenu pozornost potrebnu za kvalitetno obavljanje dnevnih aktivnosti te može povećati umor i spriječiti normalno funkcioniranje čovjeka u obavljanju njegovih aktivnosti. Posljedica navedenoga su negativni zdravstveni ishodi kao što su pretilost, visoki krvni pritisak i dijabetes. Slušni sustav u ljudskom organizmu ima funkciju zaštite, te konstantno prati moguće prijetnje iz okoline. Ljudi reagiraju na zvukove čak i u vrijeme spavanja. Zaposlenici koji rade u smjenama, djeca, bolesnici i starije osobe smatraju se najrizičnijom skupinom osoba koje su podložne štetnim posljedicama buke. Posljedice dugotrajnog izlaganja povišenim frekvencijama buke izazivaju poremećaj spavanja, što uključuje loše raspoloženje i povećanje dnevne pospanosti. Poremećaj spavanja uzrokovan bukom pridonosi riziku od kardiovaskularnih bolesti, ako su osobe izložene relevantnim razinama buke mjesecima i godinama. Funkcija odgovornosti i izlaganja posljedicama buke osoba koje spavaju u blizini zračne luke, može se koristiti kao bitan čimbenik za procjenu utjecaja buke na zdravlje i informiranje za ciljeve i postupke daljnjeg odlučivanja u svrhu rješavanja problema. Ispitanici koji su naviknuli godinama biti izloženi buci zrakoplova znatno su slabijeg zdravlja i općeg stanja od ostalih ispitanika, koji su ispitivani u manje bučnom prostoru. Nije izjašnjena jasna potvrda kao dokaz o porastu poremećaju sna pri određenoj razini buke, tako da odluka o negativnim posljedicama buke zrakoplova na spavanje ostaje na državnoj odluci, odnosno političkom rješenju.⁶

Broj dostupnih zdravstvenih istraživanja o posljedicama buke na zdravlje čovjeka je ograničen, no ono što sigurno znamo je da zvuk ili buka na više načina može značajno utjecati na zdravstveno stanje čovjeka. Uključujući fiziološki utjecaj preko autonomnog živčanog sustava, što dovodi do povišenja krvnog tlaka i broja otkucaja srca, do mučnine posredovane stresom i poremećajem sna.

⁶<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5437751/> 18.8.2018.

Dva istraživanja otkrila su zanimljivu poveznicu između buke zrakoplova i bolesti srca i moždanog udara. Naime, prvo istraživanje otkrilo je hospitalizaciju 6 milijuna odraslih osoba u dobi od 65 i više godina, koje su živjele u blizini 89 američkih zračnih luka, dok je drugo otkrilo hospitalizaciju i smrtnost u populaciji od 3,6 milijuna ljudi u okolini zračne luke London Heathrow.

U brojnim studijama buka zrakoplova povezana je, doduše ne dosljedno, s povišenim krvnim tlakom u djece. Postoje i epidemiološka istraživanja koja pokazuju kratkotrajne posljedice buke zrakoplova na krvni tlak kod odraslih osoba. Istraživanje je provedeno na 140 osoba u blizini četiri europskih zračnih luka, a pokazalo je povećanje krvnog tlaka tijekom noćnog spavanja, što se povezuje s bukom zrakoplova.

Istraživanje HYENA⁷ (eng. Hypertension and Exposure to Noise near Airports) otkrilo je da je razina buke zrakoplova noću, povećana za 10 dB, povezana s povećanjem 14% za visoki krvni tlak, no ne i za dnevno povećanje krvnog tlaka, jer većina stanovništva radi izvan kuće tijekom dana što je umanjilo preciznost i točnost istraživanja kao takvog. Također, HYENA istraživanje utvrdilo je da je na području Velike Britanije, buka zrakoplova pojačana za 10 dB, povezana s 34% veće upotrebe lijekova za krvni tlak u Velikoj Britaniji.⁸

Dokazi o izloženosti buci zrakoplova znatno su slabije povezani s nižom kvalitetom života i psihološkim bolestima, te nisu toliko snažni i konzistentni kao i ostale bolesti koje se javljaju, primjerice hipertenzija. Istraživanje HYENA pokazalo je da je kortikosteroidni sloj (hormon stresa koji je veći kod ljudi s depresijom) bio 34% veći kod žena koje su izložene buci zrakoplova iznad 60 dB $L_{Aeq, 24hours}$, u odnosu na žene izložene na manje od 50 dB $L_{Aeq, 24hours}$. Istraživanja u školama u okolini londonske zračne luke Heathrow, pokazala su kako buka zrakoplova nije imala izravnog utjecaja u školi na psihološkoj razini zdravlja ili razini kortizola (steroidni hormon) djece, međutim istraživanje West London, provedeno na brojcima od 451 djeteta, u dobi od 8 do 11 godina, pokazalo je veću stopu simptoma hiperaktivnosti za djecu koja pohađaju škole izložene buci zrakoplova > 63 dB $L_{Aeq, 16 sati}$, u usporedbi s djecom u

⁷https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/446311/noise-aircraft-noise-effects-on-health.pdf, 18.8.2018.

⁸ibid

školama izloženim razinama ispod 57 dB L_{Aeq, 16hours}. Iako su ova istraživanja o hiperaktivnosti statistički značajna, ipak nisu bila od kliničke važnosti. Dosadašnja istraživanja upućuju na posljedice buke na kardiovaskularno zdravlje, osobito na hipertenziju, ali su ograničena i neuvjerljiva s obzirom na njihovu kvantifikaciju, odnosno relativno malim brojem istraživanja do sada provedenih. Potrebno je više istraživanja kako bi se bolje definirali odnosi izloženosti i same posljedice, kao i odgovornosti, te relativna važnost noćne u odnosu na dnevnu buku i najbolja mjerenja buke za zdravstvene istraživanja.⁹

⁹<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5437751/>, 18.8.2018.

3. Izvori buke kod zrakoplova

Ekološki problem komercijalnog zrakoplovstva bila je buka zrakoplova koja se počela razmatrati kao problem krajem 60-tih godina. Prvi put je analizirana kao ozbiljan problem 2. travnja 1971., u skladu s odredbama članka 37 Chicago – konvencije iz 1944. godine. Napisan je kao dokument, i dobiva ime Annex 16 ICAO (eng. International Civil Aviation Organization).

Buka zrakoplova može se podijeliti u tri skupine:

- buka nastala pogonskim skupinama,
- buka nastala zbog uzajamnog utjecaja motora i strukture zrakoplova,
- buka nastala zbog strukture zrakoplova.

Tablica 1. Osnovni izvori buke zrakoplova

Tip aviona	Izvor buke	
	Pogonska grupa	Planer-zmaj
Opća avijacija: sportski, poljoprivredni i sl.	Elisne, ispušni plinovi iz klipnog motora	/
Helikopteri	Flotor, ispušni plinovi iz klipnog ili mlaz iz TM motora	/
STOL	Ventilator, mlaz iz TM motora	Međusobni utjecaj između strujanja mlaza i površine planera
Putnički i transportni	Ventilator, mlaz iz TM motora	Međusobni utjecaj između strujanja mlaza i površine planera
Nadzvučni putnički	Mlaz iz TM motora	Međusobni utjecaj između strujanja mlaza i površine planera

Izvor: [2]

Karakteristike buke zrakoplova ovise o tipu zrakoplova i pogonskoj grupi. U tablici 1. prikazani su izvori buke po tipu zrakoplova. Svaki od njih ima različite utjecaje zbog konfiguracije pojedinog zrakoplova.¹⁰

Na slici 1. označeni su izvori buke zrakoplova, buka ventilatorskog motora, buka mlaznog motora i buka strukture zrakoplova.



Slika 1. Prikaz izvora buke na zrakoplovu, [17]

¹⁰ J. Golubić; Promet i okoliš, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999., p. 167.

3.1. Buka pogonske skupine

Relativni doprinos izvora buke ovisi o dizajnu motora i zrakoplova te uvjetima rada motora. "Buka pogonskih skupina je buka uzrokovana svim dijelovima i uređajima koji služe za ostvarenje strujanja zraka oko uzgonskih površina. Kod zrakoplova za tu se svrhu koriste:

- turbo-mlazni pogon,
- turbo-ventilatorski,
- propelerski pogon s klasičnim ili turbinskim motorom.,¹¹

Buka proizvedena turbo-mlaznim (eng. *Turbojet*) motorom može se podijeliti na:

- buku kompresora,
- buku uzrokovanu vibracijama
- buku izlaznog mlaza.

Buka turbomlaznih motora je bila problem 60-tih godina, a posebice buka usisa ovog motora. Kod buke usisa izvor su bile lopatice kompresora. Razvojem tehnologija, kasnije konstruirani zrakoplovi postaju tiši te se redukcija buke nastavlja do danas.

Turboventilatorski motor je tip motora sličan turbomlaznom. Turboventilatorski motor nastao je u cilju nastojanja da se smanji razina buke u zrakoplovstvu. Kod prvih turboventilatorskih motora najveći su izvor buke proizvodili mlazni ispuh, kompresor i turbina, dok se kod novijih motora takva buka reducirala, te se smatra na granici praga tolerancije. Turboventilatorski motor sastoji se od lopatica i manjeg turbomlaznog motora. Motor pokreću lopatice pomoću kojih zrak struji i daje potisak. Ovakav motor je čest u upotrebi kod komercijalnih zrakoplova jer su u operacijama relativno tihi. Razlika između turbomlaznih i turboventilatorskih motora je u tome da turboventilatorski motor ima lepezu koja stvara potisak, te motor stvara manju brzinu mlaznog ispuha.¹²

¹¹Štimac, I.: Implementacija sustava praćenja i analiza buke na Zračnoj luci Zagreb, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009., p. 11

¹² ibid

3.2. Buka strukture zrakoplova

Osim buke pogonskih skupina postoji i buka strukture zrakoplova. Buka strukture zrakoplova može se definirati kao zvuk koje se generira kao rezultat relativnog kretanja zraka između krutog tijela i okolnog medija. Buka koju proizvodi struktura zrakoplova kao problem se počela proučavati 70-tih godina, a najviše u SAD-u (Sjedinjene Američke Države). Glavni dijelovi strukture zrakoplova koji proizvode buku su stajni trap, krila, pretkrilca i zakrilca koje vidimo kao primjer na slici 2. Jačina buke nastala ovim dijelovima ovisi o različitim konfiguracijama zrakoplova. Najveći uzrok buke strukture zrakoplova je nestabilan protok zraka na području zakrilca, pretkrilca i ostalih pomičnih sistema na krilu. Razina buke izazvana pri slijetanju može se usporediti s razinom buke koju proizvodi pogonska skupina i značajnija je u proučavanju, dok je razina buke izazvana pri polijetanju gotovo i zanemariva.



Slika 2. Prikaz izvora buke na zrakoplovu, [18]

„Buka koju proizvode zakrilca proizlazi od vanjskih bridova zakrilca i njihovih bočnih rubova. Pojava vrtloga koji je rezultat između otvorenih i zatvorenih zakrilca, glavni je uzročnik za stvaranje buke oko bočnog dijela zakrilca. Iz toga razloga pojavljuje se turbulencija i strujanje tlaka koji povećava buku zrakoplova. Jaki vrtlog formira se oštrim prijelazima u polijetanju između podignutih i spuštenih zakrilca, te je glavni uzročnik buke koja nastaje na krajevima krila. U blizini ruba zakrilca, razdvojeni zrak stvara turbulenciju i otpor pri protoku zraka što stvara dodatnu buku.“¹³

¹³Ibid, p.20

Jedan od spomenutih izvora buke strukture zrakoplova je stajni trap koji proizvodi buku strujanjem zraka oko stajnog trapa. Buka kod stajnog trapa nastaje pri polijetanju i slijetanju, prilikom čega se javljaju veći otpori. Zbog kompleksne strukture stajnog trapa stvaraju se jači otpori zraka, te nastaje buka.

4. Metode mjerenja buke

Metode za mjerenje buke povezane sa zračnim lukama procjenjuju buku prilikom polijetanja ili slijetanja zrakoplova ili mjere buku na području u blizini zračne luke. Potrebno je zakonom odabrati jedinstvene metode mjerenja utjecaja buke povezane sa zračnim lukama. FAA (Federal Aviation Administration-Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo) odabrala je metodu koja se odvija tijekom noći, a mjeri razinu izloženosti okoline buci i njenom utjecaju. Da bi se razumjele metode mjerenja buke, potrebno je razumjeti kako se mjeri zvuk i kako utječe na ljude. Osnovni pojmovi koji su povezani su zvučni valovi i njihovo mjerenje u decibelima (dB), ljudska sposobnost čuti niz zvukova i šum kao izvor smetnji u ljudskim aktivnostima. Zvuk se iz izvora kreće u valovima i što je slušatelj dalje od izvora, glasnoća se smanjuje. Zvučni valovi vrše pritisak zvuka kojeg obično nazivamo razina zvuka ili razina buke, koji se mjeri u decibelima, i što je broj decibela veći, to je glasniji zvuk koji netko može čuti. Što se tiče buke zrakoplova, razina zvuka koja nastaje pri uzlijetanju ili slijetanju varira ovisno o nekoliko čimbenika, a najvažniji su težina zrakoplova i broj motora. Buka u okolišu se obično mjeri u "A-weighted decibelima".

Metode mjerenja buke povezane sa zračnim prometom pružaju različite informacije. Glavne metode mjerenja bazirane su na mjerenju razine buke na jednom geografskom području, koje mjeri buku različitih letova u različito doba dana. Postoje dvije metode mjerenja buke, prva je da se mjeri maksimalna razina buke koju proizvodi događaj, a druga mjeri izloženost okoline buci zrakoplova. Maksimalna razina zvučne razine izražava se u A-weighted decibelima tijekom mjerenja buke zrakoplova. Međutim, ona ne daje nikakve informacije o trajanju događaja i količini proizvedene energije zvuka, dok metoda mjerenja izloženosti buke mjeri svu energiju buke pri polijetanju i slijetanju.¹⁴

¹⁴<http://airportnoiselaw.org/faanoise.html>, 21.8.2018.

Svrha mjerenja buke može se podijeliti na:

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

Mjerenje buke može se gledati kao provjera ili stalan nadzor razine buke kako bi se stvorila propisana dopuštena razina buke. Trenutno se mjerenje buke obavlja mjerenjem ekvivalentnog zvučnog tlaka u dB(A), te je u slučaju da ta razina buke prelazi 80 dB(A), potrebno izračunati normalnu dnevnu izloženost buci. Obično se mjerenje obavlja objektivnom metodom pomoću zvukomjera. Zvukomjer registrira zvuk i mjeri zvučni tlak.

„Najčešća veličina koju određujemo tijekom normiranih postupka mjerenja jest ocjenska razina buke L_r izražena dB(A). Za određivanje ocjenske razine, ovisno o izvoru i karakteru buke, provodimo:

- mjerenje ekvivalentne razine buke L_{Aeq} u dB(A),
- mjerenje A-razine buke L_A u dB(A),
- mjerenje oktavnog i/ili tercnog spektra,
- mjerenje impulsne razine buke L_{AI} u dB(AI),
- mjerenje statističkih percentila buke kao L_1, L_{10}, L_{95} u dB(A),
- mjerenje maksimalne i minimalne A-razine buke $L_{A,max}$ i $L_{A,min}$ u dB(A),
- mjerenje vršne razine zvučnoga tlaka $L_{p,peak}$ u dB ili vršne C-razine $L_{C,peak}$ u dB(C).“¹⁵

Za provedbu mjerenja buke okoliša najčešće se koristi normirani niz:

- HRN ISO 1996-1:2004 - Akustika -- Opis, mjerenje i utvrđivanje buke okoliša -- 1. dio: Osnovne veličine i postupci utvrđivanja (ISO 1996-1:2003),
- ISO 1996-2:2007 - Akustika -- Opisivanje i mjerenje buke okoliša -- 2. dio: Prikupljanje podataka u vezi s namjenom prostora (ISO 1996-2:2007).¹⁶

¹⁵ http://www.darh2.hr/akustika/am_o_mjerenju_buke.asp, 28.8.2018.

¹⁶ ibid

5. Međunarodna regulativa buke zrakoplova

Tijekom posljednjih 15 godina Europska unija (u daljnjem tekstu EU) provodi dosljednu strategiju istraživanja usmjerenu na rješavanje problema buke u zrakoplovstvu. Ovaj je prioritet prvi put identificiran u izvješću grupe "Europska zrakoplovna industrija (eng. European Aeronautics) - Vizija za 2020. godinu" iz 2001. godine, koja je postavila sljedeće ciljeve:

- smanjenje percipirane buke na polovicu trenutanih 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.¹⁷

ICAO je definirao četiri ključna elementa koji se mogu koristiti za postizanje učinkovite redukcije buke zrakoplova, bez ugrožavanja sigurnosnih standarda, a koji moraju imati prednost nad zaštitom okoliša.

ICAO je na međunarodnoj razini utvrdio da su prve tri mjere viši prioritet od četvrte mjere:

- Smanjenje buke na izvoru, tj. na zrakoplovu. To 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. To uključuje plan korištenja zemljišta prilagođenih zonama za zaštitu od buke, pasivnom upravljanju buke i naknadama za uzlijetanje i slijetanju na buku.
- Postupci za smanjenje buke u zraku na tlu. Raspon inovativnih postupaka za let koji se ispituju na raznim zračnim lukama, što uključuje pristup kontinuiranog spuštanja, kao i postupke približavanja satelita. Mjere koje pomažu smanjiti uporabu motora na tlu također smanjuju buku.

¹⁷<https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>, 24.8.2018.

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

5.1. Annex 16

Dodatak 16 stvoren je prema ICAO-u 2. travnja 1971. godine, kada je vijeće usvojilo standarde i preporučene prakse u području buke zrakoplova. Dodatak 16 ispituje aspekte vezane za buku u blizini zračnih luka, te probleme vezane uz buku zrakoplova kao što su:

- postupci mjerenja buke zrakoplova,
- ljudska tolerancija buke zrakoplova,
- certifikacije buke zrakoplova,
- kriteriji za uspostavu postupaka za smanjenje buke zrakoplova,
- kontrola buke pri opsluživanju zrakoplova.¹⁸

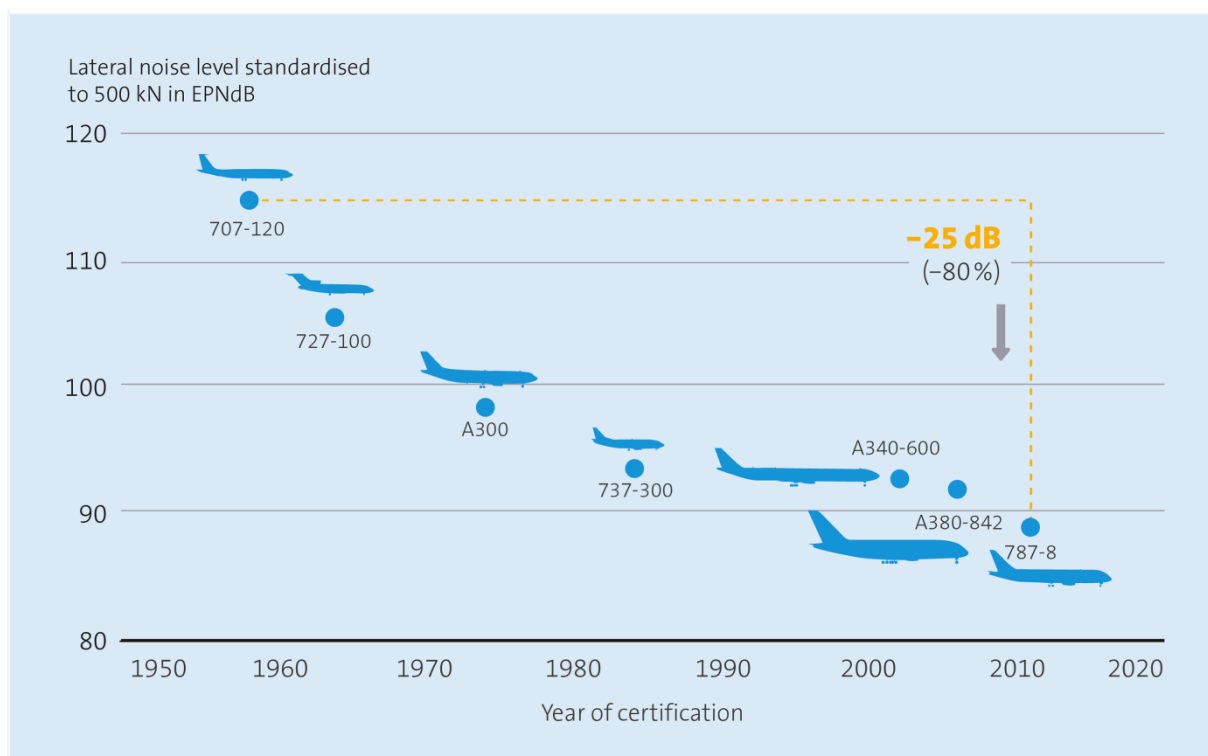
Prema ICAO Annexu 16, zrakoplovi su bili podijeljeni na četiri kategorije:

- kategorija 1 – ova kategorija se više ne koristi,
- kategorija 2 – kategorija zrakoplova koja djelomično odgovara prema dopuštenoj razini buke. Cilj je bio izbaciti ih iz uporabe ili utišati (DC-10, B 727-100/-200, B 747-100),
- kategorija 3 – kategorija kojoj pripadaju "tihi", zrakoplovi, odgovaraju dopuštenoj razini buke,
- kategorija 4 – stupa na snagu 2006. godine, zrakoplovi koji će proizvoditi razinu buke nižu od 10 dB od postavljenih granica.¹⁹

¹⁸ http://dgca.gov.in/intradgca/intra/icao%20annexes/an16_v1_cons.pdf, 22.8.2018., p. 13

¹⁹ J. Golubić; Promet i okoliš, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999., p. 154.

Razine buke definirane su u Dodatku 16, Konvencije o međunarodnom civilnom zrakoplovstvu (Chicago konvencija), kao rezultat međunarodnog zrakoplovstva. Dopuštene razine ovise o najvećoj masi 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. Od 2006. godine zrakoplovi su certificirani prema standardu u Chapter 4. To uključuje Airbus A350 i Boeing 787 - noviji zrakoplov koji se trenutno koristi. Kako bi zrakoplovi Chapter-a 4 bili prihvatljivi, moraju biti najmanje 10 dB tiši od prethodne generacije, tj. zrakoplova iz Chapter-a 3. Na 3. slici prikazan je razvoj emisija buke koje proizvodi pojedini zrakoplov. U posljednjih nekoliko desetljeća napravljen je veliki napredak na ovom području, s najnovijim generacijama zrakoplova 25 dB, ili oko 80%, tiše nego prije 60 godina.²⁰



Slika 3. Razvoj emisije buke zrakoplova, [38]

²⁰ <https://www.bdl.aero/en/bdl-reports-en/aircraft-noise-report/>, 24.8.2018.

5.2. FAR 36

Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo (FAA) izdala je pravilnike o buci u više komponenta, a koje su nazvane Federal Aviation Regulations (FAR). FAR sadrži pravilnike i postupke koji obuhvaćaju buku zrakoplovstva. Jedan od značajnijih pravilnika je FAR 36 koji sadrži naputke koje zrakoplov mora zadovoljiti kako bi dobio potvrdu o plovidbenosti različitih vrsta zrakoplova bez obzira na kategoriju. Odredbe ovog dijela stupaju na snagu 1. prosinca 1969. za civilne podzvučne turbomlazne i velike elisne zrakoplove, za proizvođače i ostale, te za korištenje u mjerenju buke za potrebe odobrenja. FAR 36 također sadrži podjelu zrakoplova u tri kategorije:

- „kategorija 1 – zrakoplovi su letjeli prije usvajanja propisa i nisu nikad zadovoljavali ograničenja iako su prva izdana,
- kategorija 2 – zrakoplov odgovara originalnim ograničenjima emisija buke, ali ne i primijenjenim (1977 g.) ograničenjima,
- kategorija 3 – zrakoplovi su noviji, tiši tipovi koji moraju odgovarati primijenjenim ograničenjima.“²¹

Tijekom mjerenja buke svi zrakoplovi klasificiraju se po kategorijama prema pravilniku FAR 36.

5.3. FAR 91

Temeljen na dijelu FAR 36, FAR 91 ograničava sve operacije civilnih zrakoplova u SAD-u, a prvi put je prihvaćen 1977. godine. Imao je cilj izbaciti sve zrakoplove kategorije 2 do kraja 1994. godine do 25%, do 1996. godine 50%, a do 1998. godine 70%. Tada je cilj bio izbaciti sve civilne podzvučne turbomlazne zrakoplove koji pripadaju u kategoriju 2. 1990. godine savezna vlada prihvatila je akt o aerodromskoj buci i kapacitetu koji je pozvao FAA da razvije državnu politiku prema zrakoplovnoj buci i propisima.²²

²¹ J. Golubić; Promet i okoliš, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999., p. 166

²²ibid

5.4. Direktiva EU-2002/49/EC

Direktiva EU-2002/49/EC primjenjuje se 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 i područja osjetljivih na buku. 10. lipnja 1997. godine europski parlament izrazio je potporu Zelenoj knjizi Komisije i pozvao na utvrđivanje mjera i inicijativa o smanjenju buke iz okoliša, te je uočio nedostatak pouzdanih i usporedivih podataka i različitim izvorima buka. Za metodu određivanja upotrebljavaju se indikatori buke L_{den} (L_{den} tzv. indikator buke za dan-večer-noć-indikator buke za ukupno smetanje) L_{night} (L_{night} ili indikator noćne buke - indikator buke koja uzrokuje poremećaj sna). Do 18. srpnja 2005. Države članice morale su Komisiji priopćiti podatke o graničnim vrijednostima unutar njihova teritorija, izražene pomoću indikatora buke L_{den} i L_{night} , te prema potrebi L_{day} (L_{day} ili indikator dnevne buke - indikator buke za smetanje u dnevnom razdoblju) i $L_{evening}$ ($L_{evening}$ ili indikator večernje buke - indikator buke za smetanje u večernjem razdoblju) za buku zrakoplova u okolici zračne luke. Sve države članice morale su do 30. lipnja 2007. pokazati izrađene strateške karte buke koje pokazuju stanje u prethodnoj kalendarskoj godini, te da ih po potrebi odobre nadležna tijela za sva područja s više od 250 000 stanovnika i glavne zračne luke unutar svojih teritorija. Nadalje, sve države članice do 18. srpnja 2008. trebale su osigurati izrađene akcijske planove pregleda problema buke, njezinog učinka unutar teritorija, i smanjenja buke za naseljena područja s više od 250 000 stanovnika, te takvi planovi moraju štititi tiha područja od povećanja buke. Ti akcijski planovi moraju biti usmjereni na prepoznavanje prekoračenja granične vrijednosti.²³

²³<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049>, 22.8.2018.

6. Načini smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu

Najveći broj zračnih luka smješta se u blizini velikih gradova kako bi se omogućila što bolja povezanost zračnog i kopnenog prometa, te što efikasnija usluga korisnicima aviokompanija. Veći broj zračnih luka i njihova razvijenost proporcionalno vodi povećanju broja putnika koji koriste usluge aviokompanija, pa samim time i veću buku, te shodno tome i veći broj pritužbi lokalnog stanovništva smještenog u neposrednoj blizini. To je jedan, ako ne i najvažniji razlog, zbog kojeg su se počele razvijati brojne mjere redukcije buke. Iako je zračni promet najmlađa grana prometa, te se njegovi negativni efekti poput buke reflektiraju na lokalno stanovništvo oko zračnih luka, zračna industrija posvećuje posebnu pozornost zaštiti od istih. U ovom poglavlju prikazat će se neke od mjera zaštita od buke u zračnom prometu.

6.1. Tehnolojske mjere

Prema stanju iz 2000. godine, razvojem tehnologije zrakoplova očekuje se da će do 2050. godine doći do smanjenja buke od 65%, što odgovara brojcima od 15 dB. Taj cilj izradilo je Savjetodavno vijeće za istraživanje i inovacije u zrakoplovstvu u Europi ACARE (eng. Advisory Council for Aeronautics Research in Europe) u svom strateškom dokumentu "Flightpath 2050".²⁴ Plan istraživanja koji je definirala tvrtka ACARE postaviti će smjer promicanja aeronautičkih istraživanja na europskoj i međunarodnoj razini.²⁵

Prvo izdanje Strateškog istraživačkog plana SRA (eng. Strategic Research Agenda), izdano od strane Savjetodavnog vijeća za istraživanje zrakoplovstva u Europi (ACARE), potaknulo je razvoj odgovarajuće strategije koja obuhvaća:

²⁴ https://ec.europa.eu/research/quality-of-life/ka4/pdf/report_ranch_en.pdf, 24.8.2018.

²⁵ <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/doc/flightpath2050.pdf>, 24.8.2018.

- strateški razvoj tehnologije usmjerene na novu generaciju sredstava za smanjenje buke, uključujući prilagodbu povezanih istraživačkih infrastruktura (posebice testiranja i računalnih objekata), te korištenje potencijalnih sinergija na nacionalnoj razini,
- provedbu akcijskog plana osmišljenog za iskorištavanje tehnoloških dostignuća u zrakoplovnim i zračnim sustavima koji koriste ekološki prihvatljive operative postupke, kao što su postupci za smanjenje buke,
- izradu razvojnog plana za alate i instrumente za procjenu utjecaja buke, namijenjenih poboljšanju planiranja buke zračnih luka i praksi upravljanja okolišem.

Mjere ACARE u smanjenju buke na -10 dB po operacijama, mogu se smatrati putem prema cilju, no potrebna je značajna podrška tijekom preostalih godina. Kritične mjere potrebne za konačan uspjeh sveobuhvatnog pristupa započetog 2000. godine, mogu se sažeti u sljedećim preporukama:

- da se kroz odgovarajuće napore za provjeru potpune potpore upotrebe tehnologije za smanjenje buke koja najviše obećava Generaciju 2,
- da se značajno poveća napor posvećen konfiguracijama zrakoplova niske razine buke,
- konsolidirati primjenu postupaka niske buke.

Temeljni koncept European Aviation Noise Research Network (X-NOISE) nastao je u isto vrijeme kao i ACARE SRA. X-NOISE koncept pomogao je u definiranju i provedbi robusne strategije istraživanja s ciljem smanjenja utjecaja buke iz zračnog prometa. Uspostavio je dobro prepoznate diseminacije i komunikacijske protokole te razvio aktivnu istraživačku zajednicu koja je obuhvatila veliku većinu država članica EU. Rad sa zajedničkim skupom prioriteta i ciljeva doveo je do novijih istraživanja na nacionalnoj razini i razvoja u veće europske projekte usmjerene na nizvodno istraživanje. Učinkovita provedba strategije najbolje je opisana u smjernicama europskih istraživačkih projekata koji doprinose postizanju cilja smanjenja buke 2020. godine. Projekt je uključivao dva posvećena letačka ispitivanja i

brojne testove motora, a do kraja je potvrđeno deset novih tehnologija s gledišta smanjenja buke.²⁶

SFWA (eng. Smart Fixed Wing Aircraft) tehnologija pod vodstvom Airbus-a i Saab-a usmjerena je na tehnologiju pasivnog protoka, alternativnog protoka zraka i nove tehnologije "Smart Wing Concept". Smart Wing koncept značajno reducira dinamički otpor pomoću novog oblika laminarnog krila. Ciljevi SFWA tehnologije su:

- redukcija aerodinamičkog otpora za 10% pomoću smanjenja otpora na krilima za 25% korištenjem laminarnog krila. Pomoću smanjenja težine zrakoplova i otpora s inovativnom kontrolom površine i kontrole opterećenja također se reducira aerodinamički otpor,
- redukcija potrošnje goriva zrakoplova za 20% korištenjem integriranog motora,
- redukcija buke zrakoplova do 10 dB pomoću uporabe konfiguracije motora koja smanjuje buku.²⁷

Ispušni sustav mlaznih motora nastaje miješanjem ispušnih plinova s atmosferom i na njega utječe djelovanje smicanja uzrokovano relativnim brzinama između ispušnog mlaza i atmosfere. Turbulencija nastala pri izlazu ispušnih plinova uzrokuje šumove visoke frekvencije. Smanjenje razine buke može se postići kada se brzina miješanja ubrza, ili se ispušna brzina u odnosu na atmosferu smanjuje. Najuspješnija metoda je miješanje toplog i hladnog ispušnog toka unutar motora i protjerivanje nižih ispušnih plinova kroz jednu mlaznicu.²⁸

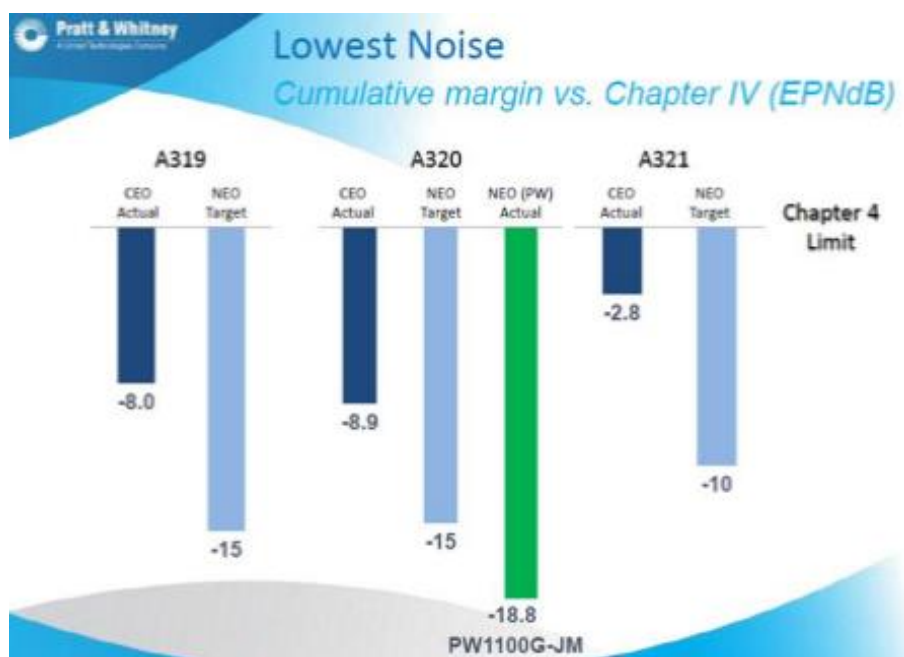
Razvoj novih generacija motora s visokim stupnjem optočnosti jedna je od mjera smanjenja buke jer se postiže optimalna brzina vrtnje ventilatora i niskotlačnog kompresora. Kod takvih motora ventilator se vrti sporije s visokim stupnjem optočnosti, dok se niskotlačni kompresor

²⁶<https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>, 24.8.2018.

²⁷ <http://www.cleansky.eu>, 5.9.2018.

²⁸ <https://engineering.purdue.edu/~propulsi/propulsion/jets/basics/noise.html>, 26.8.2018.

i turbina vrte velikim brzinama. Njegov rad iskorištava motor smanjujući potrošnju goriva, buku i emisije štetnih plinova. Jedan od takvih motora je PW1100G-JM, kojem je razina buke 15 do 20 dB (75%) niža u odnosu na konvencionalne motore s visokim stupnjem optočnosti.²⁹



Slika 4. Emisije buke motora po tipu zrakoplova, [6]

Razlika emisija buke se može vidjeti na slici 4., za A320 da je trenutno smanjena buka do 8,9 dB za CEO (eng. Current Engine Option), a cilj smanjenja je 15 dB za NEO (eng. New Engine Option), dok se za PW (NEO) motor može vidjeti da je trenutno stanje -18.8 dB.

²⁹Horvat, D.: Analiza performansikonceptije mlaznih motora visokog stupnja optočnosti, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2016, 26.8.2018., p. 27

Smanjenje buke koju proizvode mlazni motori može se smanjiti tehnologijom *Hush-kit*. Ovakvi uređaji (*Hush-kit*) instalirani su na starijim turbomlaznim i low-bypass turboventilatorskim motorima koji su glasniji od kasnijih high-bypass turboventilatorskih motora. Uređaj mora biti otporan na potisak motora, visoki tlak, jake vibracije i visoke temperature. Utišavanje se događa izmjenom motora te zamjenom starijih glasnijih zrakoplova s tišim zrakoplovima. Za B 737-100/-200 i DC-9 su se radili kompleti za modifikaciju zrakoplova, B 737-600 je zamijenio MD-80, a svi ovi zrakoplovi mijenjaju se flotom A319 zrakoplova.³⁰

Osim smanjenja buke uzrokovane na motoru, potrebno je smanjiti buku uzrokovanu strukturom zrakoplova. Ranije spomenutom bukom uzrokovanom strukturom zrakoplova možemo smatrati pretkrilca. Postavljajući produženi element na stražnji dio pretkrilca smanjuje se otpor, a s njim i buka jer produženi element usmjerava strujanje zraka ispravno. Izvor buke nastao na rubnim dijelovima zakrilca može se smanjiti ugradbom mikropločica koje se ugrađuju na rub i njihova zadaća je da pravilno usmjeravaju zrak. Drugi način koji se može primijeniti za smanjenje buke na zakrilcu može biti ugradba barijera koje usmjeravaju vrtlog zraka u drugom smjeru, kao i primjena hrapavog materijala na krajevima zakrilca koji postižu redukciju. Ugradnjom vertikalni krilca se mogu smanjiti tragovi karte buke do 6,5%.³¹

Novim tehnologijama stvoren je zrakoplov BWB (eng. Blended Wing Body). BWB predstavlja hibridni oblik koji ima široki oblik tijela i spojena široka krila³² (slika 5.) koja stvaraju veći uzgon, a smanjuju otpor. Zrakoplov je konstruiran na osnovi vojne tehnologije zrakoplova B-2 bombardera. BWB koristi kompozitne materijale koji su čvršći i lakši za razliku od konvencionalnih zrakoplova. Zbog svoje učinkovite konfiguracije BWB zrakoplov koristi preko 20% manje goriva od postojećih zrakoplova. Tehnologije koje doprinose smanjenju proizvodnje buke kod BWB zrakoplova su slijedeće:

³⁰Štimac, I.: Implementacija sustava praćenja i analiza buke na Zračnoj luci Zagreb, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009., p. 120

³¹ ibid

³² ibid

- operacije prilaza s manjom bukom – redukcija buke prilazom sa smanjenom brzinom i pomaknutim pragom slijetanja,
- aerodinamični profil napadne ivice – rešetkasta konstrukcija smanjuje buku (do 4 dB),
- uravnoteženo podnožje zrakoplova – zatvaranjem stajnog trapa i ostalih elemenata smanjuje se buka do 6 dB,
- stvaranje “tihog” otpora pomoću povećanog induciranog otpora – sama struktura zrakoplova stvara uzgon pri čemu nisu potrebna zakrilca koja stvaraju buku,
- strukturna zaštita od buke motora zrakoplova – motor je postavljen u strukturu zrakoplova što smanjuje utjecaj buke,
- optimizirani potisak na polijetanju - postizanje zadanog nivoa buke izvan granica zračne luke moguće je upravljanjem potiskom,
- optimizacija pregrade na motorima – pregrade postavljene u pogonskom sustavu koje reduciraju buku motora do 20 dB.



Slika 5. BWB zrakoplov, [30]

Istraživači MIT-a (Massachusetts Institute of Technology), Aurora Flight Sciences i Pratt & Whitney, 2008. godine započeli su s radom na novom konceptu izrade komercijalnog zrakoplova koji bi smanjio onečišćenje zraka. Novi koncept zrakoplova zove se Double-Bubble D-8, koji bi trebao uvelike smanjiti buku, emisije štetnih plinova i potrošnju goriva. Razlika D8 i drugih putničkih zrakoplova tipa B-737 ili A320 je taj da je položaj motora postavljen na vrhu tijela zrakoplova dok je kod ostalih postavljen ispod krila. Tim položajem smanjuje se zrakoplovno opterećenje te bolje iskorištenje goriva. Također krila i rep zrakoplova D8 su manji (slika 6.), te je trup širi i ovalniji za razliku od ostalih putničkih zrakoplova. D8 bi trebao smanjiti potrošnju goriva (do 37%), dvostruko smanjiti buku, smanjiti štetne emisije do 66% u sljedećih 29 godina, te smanjiti do 87% emisije dušikovih oksida u fazama polijetanja i slijetanja. Kako bi D8 sporije letio dovodi se u pitanje isplativost ovog koncepta zrakoplova, no kako je ekološki drastično isplativiji od ostalih, vjeruje se da će zrakoplovni proizvođači ipak razmisliti o ovom konceptu. Prvi let predviđa se do 2035. godine.³³



Slika 6. Double-Bubble D8, [31]

³³ <https://www.ekovjesnik.hr/clanak/323/nova-buducnost-komercijalnog-zrakoplovstva>, 5.9.2018.

6.2. Operativne procedure

Donošenjem Pravilnika o uspostavljanju pravila i postupaka u svezi uvođenja operativnih ograničenja vezanih za buku zrakoplova na zračnim lukama na teritoriju Republike Hrvatske, Vlada Republike Hrvatske u skladu s pravnim aktima Europske Unije, regulira i utječe na mjere redukcije buke u zračnom prometu. U Čl.2 navedenog Pravilnika navodi se kako su neki od ciljeva; „a) propisivanje pravila radi olakšavanja uvođenja operativnih ograničenja na ujednačen način na razini zračnih luka na teritoriju Republike Hrvatske kako bi se ograničio ili smanjio broj ljudi na koje značajno utječu štetni učinci buke zrakoplova“, definiranje pravnog okvira usmjerenog na tržišno natjecanje, razmjerno povećanje kapaciteta zračnih luka u skladu s očuvanjem okoliša, postizanje ciljeva koji se odnose na specifične zračne luke te praćenje daljnjih mjera za smanjenje buke uz ekonomičan učinak – najbolji učinak uz najniže troškove

Nadalje, imajući u vidu cilj stvaranja jedinstvenog tržišta, pa shodno tome i razvoj zračnog prometa, EU je donijela Uredbu (EU) br. 598/2014. Cilj navedene Uredbe je poboljšanje životnih uvjeta oko zračnih luka u EU-u, kako bi se osigurala bolja pomirljivost između aktivnosti zrakoplovstva i naselja, posebice ako se radi o noćnim letovima. „Pravila se temelje na načelima uravnoteženog pristupa upravljanja bukom, koje je utvrdila Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (ICAO), tijelo Ujedinjenih naroda koje se bavi međunarodnim civilnim zrakoplovstvom“. ³⁴ Sama načela odnose se na redukciju buke u samom izvoru, prema standardu kojega definira ICAO (Annex 8 Airworthiness of Aircraft i Annex 16 Zaštite okoliša – Volume I – međunarodne konvencije civilnog zrakoplovstva). Zatim, pravilno prostorno planiranje. Lokalne i regionalne jedinice, kao i sama središnja vlast, trebale bi raditi na smišljenim, svrsishodnim urbanizacijskim planovima. Kako je već navedeno, većina zračnih luka nalazi se u neposrednoj blizini gradova. Prostorno širenje naselja izvan samih gradova te postojeća i nova infrastruktura trebale bi uključivati prostor oko zračnih luka kao prostor koji se mora razmatrati na poseban način. Zračne luke bi, za dobrobit lokalnog stanovništva, trebale biti u svojevrsnom zvučnom vakuumu, odnosno

³⁴ <http://publications.europa.eu>, 26.8.2018.

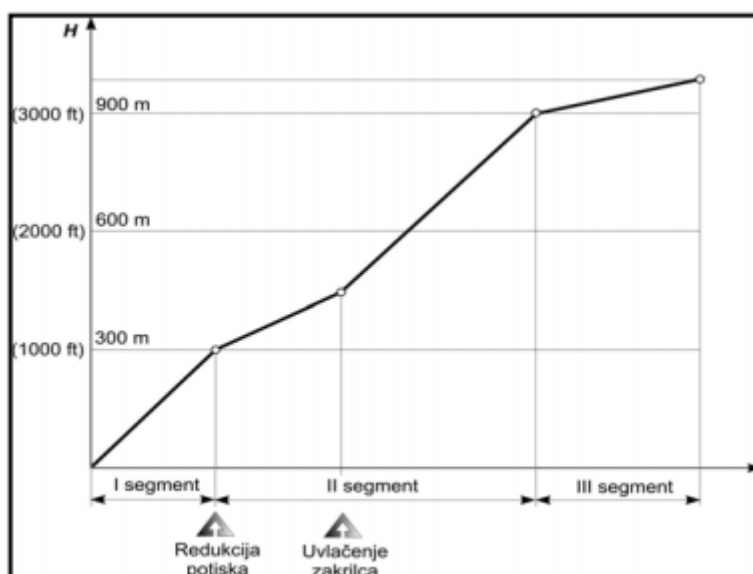
okruženi šumom ili udaljeni od svakodnevnog obitavanja ljudi. Tako bi se djelomično reducirala buka što se tiče same izgradnje. Osim navedenih načela postoje još operacijske procedure u redukciji buke te zabrane leta pojedinih zrakoplova.³⁵

Načini smanjenja buke operativnim postupcima dijele se na:

- FAA postupak,
- Postupak Lufthansa-e,
- Prilaz u dva stupnja,
- Prilaženje ili polijetanje po krivocrtnoj putanji.

Kod FAA postupka u polijetanju (koji je prihvaćen od ICAO) utvrđuju se tri segmenta kojima su definirani parametri leta za smanjenje razine buke. Područje prelijetanja osjetljivo na buku u ovom se postupku smatra do 900 metara visine. U prvom se segmentu primjenjuje penjanje zrakoplova do visine 450 metara, s potiskom za polijetanje, gdje postiže veću brzinu te se tako smanjuje razina buke.³⁶

Standardni postupak pri polijetanju zrakoplova izvodi se u nekoliko dijelova. ICAO je osmislio svoj postupak pri polijetanju koji se izvodi u tri dijela kao što je prikazano na slici 6.



³⁵ <https://www.icao.int>, 26.8.2018.

³⁶ J. Golubić; Promet i okoliš, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999., p. 172.

Slika 7. Operativni postupak kontinuiranog penjanja zrakoplova, [10]

U prvom segmentu, kao na slici 7., koristi se standardni potisak za polijetanje gdje su zakrilca u položaju za polijetanje. Nakon prvog segmenta slijedi redukcija potiska te se prelazi na drugi segment. U drugom segmentu koristi se potisak za penjanje (za zrakoplove koji sporije uvlače zakrilca, treba se smanjiti potisak na onu vrijednost koja je potrebna za let sa zakrilcima u međupoložaju), brzina se u prvom dijelu drugoga segmenta povećava dok zakrilca nisu pod 0° te u položaju za polijetanje. U drugom dijelu brzina se povećava za 19 km/h te su zakrilca uvučena. U trećem segmentu koristi se potisak za penjanje, zakrilca su uvučena te se brzina povećava na 465 km/h i održava se od 3000 metara.

Idealna putanja kontinuiranog penjanja zrakoplova pri polijetanju zahtjeva kompletnu suradnju između osoblja, kontrole leta i kabinskog osoblja. Dakako, sam navedeni postupak razlikovat će se ovisno tipu zrakoplova, stvarnoj masi zrakoplova, podacima o vjetru u danom trenutku, vanjskoj temperaturi u danom trenutku te atmosferskom tlaku u danom trenutku. Kako je već navedeno, ovaj postupak zahtjeva suradnju između osoblja kontrole leta te kabinskog osoblja, no time se i smanjuje radno opterećenje navedenih subjekata zbog samog oblika procedure penjanja zrakoplova pri polijetanju, u odnosu na standardno polijetanje koje se ostvaruje u nekoliko dijelova. Velika prednost ovakvog postupka iskazuje se u zaštiti okoliša, smanjenju razine buke te na kraju i same potrošnje goriva.³⁷

Prilikom standardnog slijetanja povećava se razina buke te su uvedeni sljedeći postupci smanjenja iste. Postupak Lufthansa-e se od standardnog slijetanja razlikuje po tome što se prilaz do trenutka hvatanja signala kuta poniranja vrši iznad visine od 900 metara. Dok ne dođe do visine od 450 (točka A na slici 8.) metara buka će biti manja. Kod ovog postupka se zakrilca i stajni trap izvlače kasnije nego kod standardnog slijetanja, što stvara manji otpor prilikom slijetanja, a pri tome i smanjenje buke. Zbog toga se ovaj postupak može nazvati i *Procedurom malog otpora – malog potiska*.³⁸

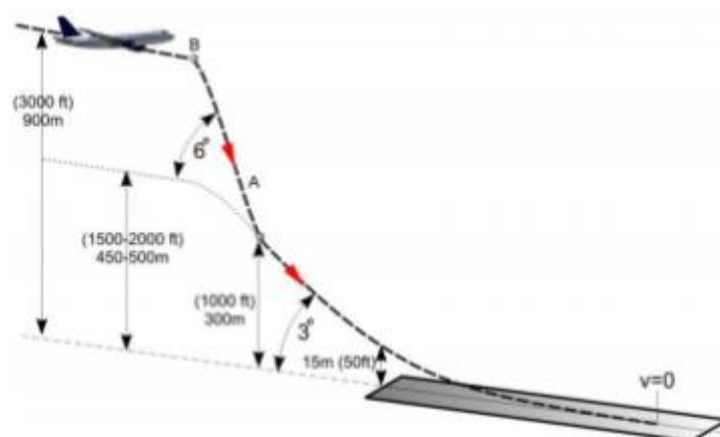
³⁷Zečević-Tadić, R.: Operativne mjere smanjenja buke zrakoplova u funkciji održivog razvoja Zračne luke Zagreb, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2014.

³⁸J. Golubić; Promet i okoliš, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999., p. 176



Slika 8. Postupak Lufthansa-e, [9]

Za prilaz u dva stupnja potrebno je zrakoplov i zračnu luku opremiti elektronskom opremom i postaviti dodatne uređaje te dodatno školovanje pilota. U ovom postupku zrakoplov leti iznad visine od 900 metara, do prve točke (slika 9. Točka B) gdje prima poseban signal kuta poniranja pod kutom od 6° . Zrakoplov pod tim kutom ponire do druge točke (točka A) otprilike 300 metara visine i od te točke zrakoplov završava slijetanje standardnim kutom poniranja. Kako do druge točke zrakoplov leti na većoj visini nego kod standardnog slijetanja tako stvara i manju buku.³⁹



Slika 9. Prilaz u dva stupnja, [9]

³⁹J. Golubić; Promet i okoliš, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999. p. 175

Prilaz po krivolinijskoj putanji moguć je uporabom sustava za slijetanje koji radi na mikrovalovima (Microwave Landing System – MLS), a završno slijetanje je moguće izvesti letenjem u ravnini osi USS-e. Ovakvo se slijetanje koristi za izbjegavanje prelijetanja naseljenog područja i na taj način se smanjuje utjecaj buke. Za polijetanje je slično jer se let izvodi u zaokret, umjesto pravolinijski.⁴⁰

Metodom smanjenja buke može se koristiti selektivno korištenje USS-e (kod aerodroma koji imaju veći broj USS-a). Ovom metodom se koriste USS-e koje omogućavaju da zrakoplov izbjegne mjesta osjetljiva na buku prilikom polijetanja i slijetanja. Ova metoda se može koristiti, ako USS-a zadovoljava određene uvijete.

Neki od operativnih postupaka su :

- prilaz s kontinuiranim snižavanjem visine (CDA - Continuous Descent Approach),
- gašenje jednog ili više motora prilikom taksiranja zrakoplova (eng. Reduced-Engine Taxiing), - upotreba GPU-a umjesto APU-a.

Prilaz s neprekinutim snižavanjem visine (CDA - Continuous Descent Approach), omogućuje zadržavanje zrakoplova na višim razinama leta, tj. odgađanje samog početka spuštanja, te tako omogućuje spuštanje s visine krstarenja do trenutka presijecanja linije prilaženja pod odgovarajućim kutom (eng. Glideslope) za završno prilaženje (eng. FinalApproach).⁴¹

Ovakav postupak kao rezultat daje redukciju razine buke (30%)⁴², potrošnje goriva i emisije štetnih plinova (20-35%)⁴³. Navedeno je posebice bitno kada se zračna luka nalazi blizu naseljenih područja. Jedna od prednosti CDA prilaza je da se može koristiti na bilo kojem zrakoplovu, u svakoj zračnoj luci pod uvjetom pravilne obuke za njegovu primjenu.

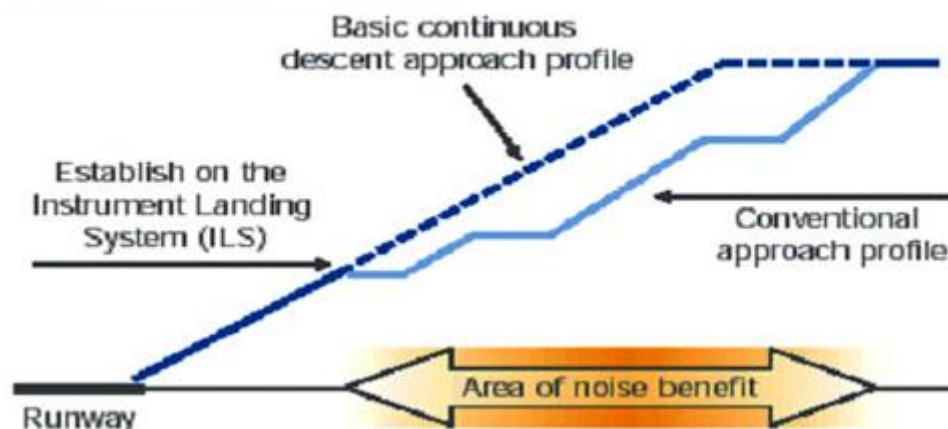
⁴⁰ Ibid, p. 177

⁴¹ Zečević-Tadić, R.: Operativne mjere smanjenja buke zrakoplova u funkciji održivog razvoja Zračne luke Zagreb, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2014., p. 51

⁴² <https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalWorkshops/Documents/ICAO-TransportCanada-2006/Brooks.pdf>, 2.9.2018.

⁴³ ibid

Continuous descent approach



Slika 10. CDA procedura-pristup kontinuiranog spuštanja, [35]

Sam postupak kontinuiranog spuštanja je prezentiran na 10. slici. Vidljiva je razlika između konvencionalnog profila prilaza i kontinuiranog profila prilaza.

Važno je napomenuti da je ova vrsta projekta uključila skupinu suradnika iz nekoliko zrakoplovnih zainteresiranih strana, a svaki član ima dobro definiranu ulogu:

- Odjel za civilno zrakoplovstvo - usvajanje postupka;
- Zračni prijevoznik - izvršitelj;
- Davatelj usluga zračne plovidbe - kontrola novog postupka;
- Odredišna zračna luka - praćenje smanjenja utjecaja buke i emisija.

Trenutno, ROMATSA sudjeluje u europskom projektu sponzoriranom od strane AIRBUS-a, koji se također bavi CDA postupkom. Ovaj put, fokus je na optimizaciji putanje slijetanja. Partneri ROMATSA-e u ovom projektu su: AACR (eng. American Association for Cancer Research), TAROM (Transporturi Aeriene Române) i Henri Coanda Airport. Provedba ove nove procedure u stvarnim uvjetima prometa temelji se na dobroj komunikaciji između pilota i regulatora zračnog prometa. Međutim, odluka o odobravanju slijetanja u postupku

CDA pripada kontroloru, nakon pilotovog zahtjeva. Iskustvo koje su dobili u ROMATSA, kontrolori u prvom projektu, bilo je jako cijenjeno od strane njihovih kolega iz Seula (SRAA-Seoul Regionalna zrakoplovna uprava), također u projektu AIRBUS i CATE, s Asiana Airlinesom i Korean Air.⁴⁴

6.3. Operativne restrikcije

Operativno ograničenje može biti različitih oblika, poput određivanja granice buke ili operacija, uvođenja pravila o ne dodavanju (bez dodatnih operacija ili općenitih operacija ili od određene vrste zrakoplova) ili uvođenja policijskog sata za noćno razdoblje. Pravila se primjenjuju samo na veće zračne luke s više od 50 000 operacija civilnih zrakoplova na godinu. Obuhvaćaju civilne zrakoplove, ali isključuju vojne, carinske i policijske operacije. Međutim, za određivanje specifičnih pragova buke zadužena su nacionalna i lokalna tijela.

Nadležna tijela moraju osigurati redovito praćenje razina buke u zračnim lukama za koje su odgovorna. Ako iz njihove ocjene proizlazi da bi operativna ograničenja mogla biti troškovno učinkovita mjera za ublažavanje buke, potrebno je brzo organizirati proces konzultacija, a zainteresirane strane imaju tri mjeseca za podnošenje svojih stajališta prije donošenja ograničenja. Tijela također moraju osigurati da informacije o operativnim ograničenjima budu brzo dostupne i besplatne za lokalno stanovništvo i lokalne vlasti.

Mjere za ublažavanje buke mogu uključivati povlačenje bučnijih zrakoplova među onima koji su dopušteni prema pravilima ICAO-a ili nametanje dodatnih ograničenja takvim zrakoplovima. Nadležna tijela će odlučiti o godišnjoj stopi smanjenja operacija takvih zrakoplova za svakog operatora u danoj zračnoj luci, do najviše 25%. Najveća restrikcija

⁴⁴ <http://www.romatsa.ro/en/CDAProject.html>, 25.8.2018.

zračne luke je zatvaranje noću. Na primjeru Washington National Airport-a može se vidjeti kako zrakoplov na slijetanju s bukom višom od 72 dB(A) i na polijetanju višom od 85 dB(A), ne smije koristiti zračnu luku u razdoblju od 22:00 – 07:00 sati. Ova razina visine buke automatski eliminira zapravo sve zrakoplove. Neke aviokompanije imaju dogovore sa zračnom lukom te im je dopušteno slijetanje u određenom vremenu tijekom noći. Zračna luka u Clevelandu je, na primjer, zabranila tehnička slijetanja za punjenje goriva u razdoblju od 22:00 – 07:00 sata.⁴⁵

Međunarodna zračna luka u Amsterdamu transformirala je 89 hektara parkova u polje piramida za hvatanje valnih duljina. Inspirirani redovima uzgojenih usjeva, ove ogromne zelene, travnate barijere reduciraju buku u susjedstvu. Takvi urbanistički planovi, kako je već navedeno u radu, su neki od načina uspješnog smanjenja buke.

Zračna luka East Hampton, kako bi smanjila brojne letove, uvela je helikopter start-up, koji je smanjio troškove letova u gradu te je značajno postavljen policijski sat na sve aktivnosti u zračnoj luci tijekom cijele godine. Nijedan let ne može ući u East Hampton od 23 sata navečer do 7 sati ujutro. Posebno glasni zrakoplovi suočavaju se s još većim korakom u pogonu - zabranjeni su od 20 sati navečer do 9 sati ujutro. Također, razmatra se zabrana slijetanja vikendima te pravilo kojim bi se ograničilo slijetanje zrakoplova istih aviokompanija jednom dnevno.

⁴⁵Štimac, I.: Implementacija sustava praćenja i analiza buke na Zračnoj luci Zagreb, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009., p. 116



Slika 11. Zračna luka Heathrow, [36]

Najveća zračna luka u Europi, Heathrow, razmišlja o dodavanju dodatnih staza (prijedlog prikazan na 11. slici), što s druge strane može koštati više od 28 milijardi dolara ili čak više, i zahtijevati rušenje 800 domova. Iz tog razloga zračna luka je donijela Heathrow FlyQuiet program koji bi osigurao cjelokupnu noćnu zabranu letova, povećanje kutova pristupa i potrebu za najtišim motorima zrakoplova. Osim mjera na samim zrakoplovima i zračnim lukama, razvili su i mjere za lokalno stanovništvo. Naime, zračna luka lokalnom stanovništvu daje ponudu da otkupi njihove kuće, ako smatraju da je to naselje jednostavno preglasno.⁴⁶

Zračna luka Gulfport osvojila je 3,4 milijuna dolara savezne potpore za ublažavanje buke u tom području. Novčana sredstva bit će potrošena prvenstveno na modernizaciji kuća

⁴⁶<https://eu.usatoday.com/story/travel/roadwarriorvoices/2015/08/10/airports-are-using-innovative-solutions-to-shush-noise-complaints/83072830/>, 29.8.2018.

lokalnog stanovništva s dvostrukim panonskim prozorima, metalnim vratima i izolacijom. Više od 650 domova u letnoj stazi nadograđeno je od 2006. godine.⁴⁷

6.4. Ekonomske mjere

Neke od mjera za smanjenje buke na zračnim lukama na teritoriju Republike Hrvatske jesu ekonomski poticaji koji predstavljaju dio javnih politika Republike Hrvatske u upravljanju bukom na zračnim lukama, prema Zakonu o zaštiti od buke te Pravilniku o uspostavljanju pravila i postupaka u svezi uvođenja operativnih ograničenja vezanih za buku zrakoplova na zračnim lukama na teritoriju Republike Hrvatske.

Operativna ograničenja i druge mjere primijenjene u cilju redukcije buke na zračnim lukama na teritoriju Republike Hrvatske moraju biti - objektivna, transparentna i nediskriminirajuća s osnovom identiteta zračnog prijevoznika ili državne pripadnosti ili proizvođača zrakoplova. Zatim, utemeljeni na kvalitetnoj procjeni troškova i koristi, koje su izravna i neizravna posljedica njihove primjene, kao i odgovarajućim operativnim, tehničkim i tehnološkim posebnostima zračne luke na koju se odnose. Osim navedenog, moraju biti i utemeljeni na emisiji buke koju zrakoplov proizvodi, utvrđenoj tijekom postupka provedenog u skladu s ICAO Annex 16, Volume I.⁴⁸

Nadalje, u drugim zemljama EU, poput Njemačke, kućanstva mogu podnijeti zahtjeve za zaštitu pasivne zaštite od buke kod svojih domova u okviru programa Pasivne zaštite buke. Ove mjere zaštite od buke trebaju smanjiti razinu buke unutar zgrada. U okviru sadašnjeg programa "Pasivno smanjenje buke", odgovarajuće se mjere poduzimaju izvan zakonodavnih propisa i dodjeljuju se dodatni proračunski resursi iz Regionalnog fonda. Proračun obuhvaća oko 150 milijuna eura za Program pasivnog smanjenja buke i 265 do 2570 milijuna eura za Regionalni fond. Regionalni fond je dio "Saveza za smanjenje buke 2012", pokrenutog 29.

⁴⁷ ibid

⁴⁸ Propisi.hr (Zakon o zaštiti od buke), 2003.

veljače 2012. godine. Program razlikuje četiri zaštićene zone, koje su stvorene u skladu s primjenjivim graničnim vrijednostima navedenim u izmijenjenim zakonima o zaštiti od buke. Tako određena područja zaštite od buke sastoje se od dvije dnevne zaštitne zone i jedne noćne zaštitne zone, a od 2013. godine također od jednog područja pokrivenog Regionalnim fondom.⁴⁹

⁴⁹<https://www.fraport.com/en/our-company/responsibility/aircraft-noise-infoservice/noise-abatement/passive-noise-abatement.html>, 25.8.2018.

7. Mjere u cilju smanjenja buke na zračnim lukama

Kako su zrakoplovi postali sve tiši, uzrokuju manji utjecaj buke u području oko zračnih luka. No, lokalna područja se šire i dalje prema zračnim lukama i na takav način i dalje se povećava broj osoba pogođenih bukom. To se događa zbog nedostataka u zakonu, koji omogućavaju porast stambenih područja oko zračnih luka. Iz tog razloga trebalo bi promijeniti pravila o gradnji stambenih zgrada.⁵⁰

Mjere koje zračne luke poduzimaju za smanjenje buke su:

- „uvođenje penalizacije za zastarjele i ekološki neprihvatljive zrakoplove,
- određivanje kvote buke za noćne letove uključujući i zabranu slijetanja ili polijetanja tijekom noći za starije tipove bučnih zrakoplova,
- uvođenje „policijskog sata“ koji znači djelomična ili potpuno ograničenje provođenja operacija (osobito noću)
- plan potpore lokalnom stanovništvu za implementaciju.“⁵¹

Osim navedenog, određuju se i optimalne putanje zrakoplova kako bi se izbjegla područja s većim brojem stanovnika. Putanje se preusmjeravaju iznad vodenih površina, autocesti, zaljeva. S druge strane, postoji mogućnost prekomjernog preusmjeravanja zračnog prometa na pojedine USS.⁵² Potaknuti prigovorima i otporom koji stvara lokalno stanovništvo u blizini zračnih luka osmišljen je znanstveni projekt OPTIMAL (eng. Optimised Procedures and Techniques for Improvement of Approach and Landing) na čelu s proizvođačem zrakoplova Airbus i 23 partnera s budžetom koji iznosi 42,3 milijuna eura. OPTIMAL je osmišljen da bi se smanjila razina buke prilikom polijetanja i slijetanja zrakoplova na zračnu luku. Cilj projekta je osmisliti i definirati inovativne postupke za faze prilaza i slijetanja zrakoplova uz konstantnu podršku kontrole letenja. S početkom 2010. godine započela je i provedba programa. Uz cilj,

⁵⁰ <https://www.bdl.aero/en/bdl-reports-en/aircraft-noise-report/>, 26.8.2018.

⁵¹ Golubić, J.: Prezentacija za nastavu "Promet i ekologija", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017.

⁵² Štimac, I.: Implementacija sustava praćenja i analiza buke na Zračnoj luci Zagreb, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009., p. 116

smanjenja razine buke zrakoplova, popratni je efekt i smanjena potrošnja goriva te smanjena emisija štetnih plinova (CO₂ i NO_x).⁵³

Korištenjem GPU (eng. Ground Power Unit) zemaljskog izvora napajanja zrakoplova električnom energijom odnosno zemaljskog elektroagregata umjesto APU (eng. Auxiliary Power Unit) pomoćnog agregata smanjuje se razina buke koja se proizvodi na stajanci zračnih luka, te potrošnja goriva i emisije štetnih ispušnih plinova. Pomoću GPU-a u odnosu na APU, ušteda koja se procjenjuje je oko 19 milijuna litara goriva godišnje, te smanjenje emisije CO₂ za preko 45 milijuna kilograma godišnje. Zračna luka Zagreb koristi zemaljski elektroagregat na zrakoplovima tipa Dash 8, no za sve ostale veće zrakoplove (tipa Airbus) i dalje se koristi pomoću pomoćnog agregata APU.⁵⁴

Testiranje motora ili održavanje zrakoplova izvodi se na mjestima koja su udaljena od zračnih luka, kako buka koju proizvodi motor ne utječe na lokalno stanovništvo. Kako bi se reducirala buka tijekom ovog postupka koriste se prigušivači za motor. Mogući su prenosivi ili fiksni prigušivači koji obično obavlja redukciju buke u razini od 10 do 25 dB, a sve ovisi o izolaciji između prigušivača i motora zrakoplova. Zračna luka Zagreb ima središte održavanja zrakoplova, zrakoplovnog prijevoznika Croatia Airlines. Radovi se odvijaju u 2 hangara s popratnom stajankom.

Naselja Selnica, Petina, Kosnica, Donja Lomnica, Lukavec, Šćitarijevo, Pleso i dio Velike Gorice dobiti će koncesijsku naknadu koja će im omogućiti da zaštite zračni koridor USS-e. Naime, od koncesijske naknade Zagrebačka županija trebala bi dobiti 50% (otprilike milijun kuna) te bi taj novac grad Velika Gorica iskoristio za uređenje komunalnog standarda. Također, obećava se izrada Karte ugroženosti koja bi osigurala i zaštitila ta područja koja su pogođena s bukom.⁵⁵

⁵³ Zečević-Tadić, R.: Operativne mjere smanjenja buke zrakoplova u funkciji održivog razvoja Zračne luke Zagreb, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2014., p. 51

⁵⁴ ibid

⁵⁵ <http://www.gorica.hr/2017/11/koncesijska-naknada-naseljima-oko-zracne-luke/>, 26.8.2018.

Opseg rada Zračne luke Dubrovnik povećava broj putnika koji za 2013. godinu iznosi 1,52 milijuna, do 2032. godine smatra se da će ta brojka doseći 3,98 milijuna. Tim brojem povećava se broj letova i broj operacija što zahtijeva veće i strožije mjere zaštite. Za 2013. godinu je izmjerena razina buke 50 do 60 dB na područjima oko zračne luke. Povećanjem broja noćnih letova, produljeno je i radno vrijeme ljeti do 23 sata, što je povećalo razinu buke do 40 dB. Tim problemom donesena je odluka za formiranjem zaštitnih zona. No, problem stanovništva jest taj da objekti, kuće i zgrade moraju izdržati barem 15 letova kroz 30 minuta, odnosno posljedice vibracija. Napomenuto je kako će se time povećati koncentracija buke. 2014. godine, za Zračnu luku Dubrovnik izložene su studije o utjecaju na okoliš koje su najviše obuhvaćale utjecaj buke. Cilj je bio procjena i analiza trenutnog stanja okoliša te utjecaj planiranog stanja i predložene mjere za smanjenje štetnog utjecaja. Dakle, povećanjem turizma povećava se i broj putnika koji putuju u Dubrovnik te se s tom neizbježnom informacijom treba raditi na strategijama zaštite okoliša i okolnog stanovništva.⁵⁶

MIA (eng. Miami International Airport), Međunarodna zračna luka Miami svojim strategijama i programom pristupa ka smanjenju buke. S ciljem smanjenja izgrađena je zvučna barijera duž ulice NW 36 Street uz stajanku MIA-e, sa svrhom da smanji utjecaj buke te postiže to do 10 dB niže. Slika barijere uz Zračnu luku Miami je prikazana na slici 12. Barijera je izgrađena betonskim pločama duž cijele ulice uz zračnu luku. Gornji rub barijere je nejednak, odnosno barijera nije jednake visine na svim mjestima zbog položaja visine motora pojedinih zrakoplova. Cijelom dužinom barijera sadrži raznobojne staklene "prozorčice", kako bi smanjila sjenu koju stvara na ulicu.⁵⁷

⁵⁶<https://www.dulist.hr/studija-o-utjecaju-na-okolis-zracne-luke-stanovnike-najvise-zabrinjava-buka/188410/>, 26.8.2018.

⁵⁷ <http://www.miami-airport.com/library/pdfdoc/noisepub.pdf>, 1.9.2018.



Slika 12. Zvučna barijera

Također, bitno je za istaknuti kako su radnici koji obavljaju operacije na stajanci u neposrednoj blizini zrakoplova, direktno izloženi utjecaju buke. Naime, duža izloženost buci može uzrokovati nelagodu i oštećenje sluha. Za vrijeme trajanja rada mlaznih motora frekvencije mogu doseći i do 120 dB što može uzrokovati trajno oštećenje, ako se osoba nalazi u blizini zračnih luka. Kako ne bi došlo do oštećenja sluha, potrebno je da osobe koje rade na stajanci nose adekvatnu opremu kako bi zaštitile sluh. Najpoželjniji su štitnici za uši. Preporučuje se ograničeno izlaganje buci jer čak i izlaganje pod zaštitnom opremom, predstavlja opasnost. Postoje i mjesta koja su označena kao zone obveznog nošenja zaštitne opreme.⁵⁸

⁵⁸ http://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMANCTA/HR/Safety/WorkInAirports_HR.htm, 30.8.2018.

8. Primjena sustava za mjerenje buke Zračne luke Zagreb i Split

8.1. sustav mjerenja buke Zračne luke Zagreb

Financirajući izradu Studije utjecaja na okoliš, čiji je najveći dio obuhvaćao buku koju stvaraju zrakoplovi, Zračna luka Zagreb je 1999. je pomoću iste obavila probna mjerenja (na Zračnoj luci Zagreb i okolici) na 7 mjernih pozicija:

- mjerno mjesto br. 1 – središte naselja Lomnica,
- mjerna mjesta 2 i 2a – Zračna luka Zagreb, središnji dio poletno-sletne staze i putnički terminal;
- mjerno mjesto 3 – Zračna luka Zagreb, ispred ulaza u vojni dio zračne luke,
- mjerno mjesto 4 – sjeverni dio naselja Pleso, uz ogradu zračne luke,
- mjerno mjesto 5 – sjeverni dio naselja Črnkovec,
- mjerno mjesto 6 – južni rub naselja Šćitarjevo,
- mjerno mjesto 7 – sjeverni dio naselja Selnica.⁵⁹

Trenutno instaliran sustav mjerenja buke na Zračnoj luci Zagreb ima četiri fiksne mjerne stanice i jednu prijenosnu mjernu stanicu:

Lokacije fiksnih mjernih uređaja Zračne luke Zagreb (NMT - Noise Monitoring Terminal):

- NMT 1 – mjerna stanica blizu praga 05
- NMT 2 – mjerna stanica blizu praga 23
- NMT 3 – mjerna stanica u naselju Obrezina
- NMT 4 – mjerna stanica u naselju Donja Lomnica

Dva fiksna mjerna uređaja nalaze se uz pragove USS-e 05 i 23. Udaljenost od stanice NMT 1, od praga 05, je 306 metara, a udaljenost stanice NMT 2, od praga 23, iznosi 307 metara. Treća i četvrta mjerna stanica pozicionirane su u naseljima Obrezina i Donja Lomnica.

⁵⁹Zečević-Tadić, R.: Operativne mjere smanjenja buke zrakoplova u funkciji održivog razvoja Zračne luke Zagreb, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2014., p. 29

Prijenosni mjerni uređaj ima svoj način napajanja i može se postaviti na bilo koje mjesto oko zračne luke.

Također, postoje dva instalirana računalna programa: Environmental Noise Model (ENM) i Integrated Noise Model. Funkcije ova dva programa su:

- ENM - program koji se koristi za praćenje i analizu podataka primljenih s mjernih stanica,
- INM – koristi se za kreiranje ljestvica buke i simulacije razina buke za dugoročne prognoze.

2014. godine Zračna luka Zagreb završila je nadogradnju sustava za mjerenje buke. Tako će sustav mjerenja buke uključivati vezu s radarom hrvatske kontrole (Hrvatskom kontrolom zračnog plovidbe), što je prednost u brzini i točnosti obrade podataka o letu. Na taj način Zračna luka Zagreb dobiva točne informacije o kretanju zrakoplova u neposrednoj blizini i omogućuje automatsku povezanost s polijetanjem i slijetanjem i razinom buke izmjerene na mjernoj stanici. Ova nadogradnja omogućuje precizniju izradu karte buke i ograničenja (ili razina odstupanja) za smanjenje buke.

Svaki pet godina radi se graf buke koji uključuje usporedbu operacija i karakteristika za svaku vrstu zrakoplova, a koji proizvodi oblik buke s rezultatima dobivenim na mjernim stanicama. Tolerancija manja od 0,5 dB prihvatljiva je za ovakvu vrstu praćenja i izradu karata buke.⁶⁰

⁶⁰http://www.zagreb-airport.hr/UserDocsImages/dokumenti/CC-IMS-MAN-01-1-Noise%20Reduction%20Action%20Plan_2016.pdf, 26.8.2018, p. 8

8.2. Sustav mjerenja buke Zračne luke Split

Zračna luka Split tijekom ljetnih sezona ima povećan broj putnika, što zahtijeva veći broj zrakoplovnih operacija. Povećanjem broja operacija povećava se i zahtjev za većom pažnjom za zaštitu okoliša u blizini zračne luke. Zračna luka Split ima sustav za mjerenje buke u svom okolišu. Postoje tri mjerne stanice, smještene u Trogiru i u Kaštelama, koje kontinuirano mjere razinu buke i dobivene podatke proslijeđuje u zračnu luku. Dobiveni podaci se obrađuju i generiraju se izvještaji o pojedinim događajima buke zrakoplova, te o pojedinim zvučnim parametrima u okolici mjernih stanica.

2008. godine zračna luka Split izbacuje uporabu zrakoplova 2. kategorije (npr. Boeing 737-200) primjenjujući Zakon o zračnom prometu i Pravilnik o letenju zrakoplova. Razina buke ostaje u granicama utvrđenih parametara primjenom i uporabom zrakoplova kategorije 3.⁶¹

Godišnjim izvještajem za 2014. godinu Zračna luka Split objavljuje kako i dalje vrši izmjere utjecaja buke na okoliš, iako godišnje nema više od 50 000 operacija. Prikupljeni podaci šalju se u Zračnu luku Split i obrađuju za izradu strateške karte buke. Godišnji broj operacija za 2014. godinu je 19 788, ovim podatkom je ustanovljeno da Zračna luka Split nije obvezna mjeriti buku.⁶²

⁶¹ <http://kastela.hr/wp-content/uploads/media/dokumenti/KI02.pdf>, 26.8.2018., p. 5

⁶² http://www.split-airport.hr/images/stories/06-o-nama/izvjesca/Godisnje_izvjesce_2014.pdf, 26.8.2018.

9. Zaključak

Buka koju proizvodi zrakoplov smatra se nepovoljnom po ljudsko zdravlje. Možemo reći da su radnici, koji obavljaju operacije na stajanci najizloženiji buci zrakoplova. Da bi se izbjegla nepotrebna šteta, radnici moraju imati posebnu opremu koja ih štiti od buke i ostalih mogućih opasnosti. Razvojem tehnologija dostignut je cilj u pokušaju smanjenja buke. Niz novih strategija za smanjenje buke pospješuje neometan rad djelatnika u zračnim lukama, te kvalitetu života ljudi koji žive na području okolice zračnih luka. Kod smanjenja buke valjalo bi spomenuti regulativnu mjeru EU, kojoj je cilj da se do 2050. smanji buka do 65%, odnosno do 15 dB. Operativne mjere koje uključuju na upućivanje operacije polijetanja i slijetanja na USS-e, koje se nalaze u manje naseljenim ili nenaseljenim područjima, posebne zvučne izolacije i zvučne barijere, zabrana slijetanja određenih zrakoplova koji su izvan standarda vezanih za buku, različite financijske restrikcije ovisno o razini buke zrakoplova i tehnološke mjere utišavanja motora (*Hush-kit*) te ispušnog sustava, neke su od mjera. Pojedine zračne luke na različite načine pokušavaju smanjiti razinu buke, primjerice, zvučnim barijerama, kupnjom zemljišta i kuća u okolici zračnih luka, dodavanjem novih USS-a, kontinuiranim prilazom spuštanja, gašenjem jednog motora prilikom taxiranja itd. ICAO na međunarodnoj razini utvrđuje poduzimanje nekih mjera kao što su smanjenje buke na izvoru, dakle, uporaba tih zrakoplova, smanjenje buke na motoru, krilima i slijetanju. Također, utvrđuje lokalne mjere u blizini zračnih luka, koje uključuju korištenje zemljišta prilagođenih zona za zaštitu od buke i mjere koje pomažu smanjiti uporabu motora na zemlji.

Literatura

Popis knjiga, časopisi i znanstveni radovi

1. "Environmental management systems – Requirements with guidance for use, ISO Central Secretariat, Geneva, Switzerland, 2004
2. J. Golubić; Promet i okoliš, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999.
3. Basner, M., Clark, C., Hansell A., Hileman, J.I., Janssen, S., Shepherd K., Sparrow, V.,: Aviation Noise Impacts: State of the Science, Noise & Health, 2017 Mar-Apr; 19(87): 41–50
4. Direktiva 2002/49/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 25. lipnja 2002. o procjeni i upravljanju bukom okoliša (SL L 189, 18.7.2002.)
5. Golubić, J.: Prezentacija za nastavu "Promet i ekologija", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017
6. Horvat, D.: Analiza performansikonceptije mlaznih motora visokog stupnja optočnosti, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2016, 26.8.2018., p. 27
7. Propisi.hr (Zakon o zaštiti od buke), 2003.
8. Propisi.hr PRAVILNIK O USPOSTAVLJANJU PRAVILA I POSTUPAKA U SVEZI UVOĐENJA OPERATIVNIH OGRANIČENJA VEZANIH ZA BUKU ZRAKOPLOVA NA ZRAČNIM LUKAMA NA TERITORIJU REPUBLIKE HRVATSKE
9. Štimac, I.: Noise levels, Trade-offs between noise and CO₂, ATC, Aircraft noise performance, ACI Europe, Noise Strategy Task Force, Brussels, February, 2013.
10. Štimac, I.: Implementacija sustava praćenja i analiza buke na Zračnoj luci Zagreb, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009.
11. Zečević-Tadić, R.: Operativne mjere smanjenja buke zrakoplova u funkciji održivog razvoja Zračne luke Zagreb, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2014.
12. Izvor: Štimac, I., Sorić, V., Bucak, T.: INFLUENCE OF AIRCRAFT NOISE ON THE QUALITY OF LIVING NEAR THE AIRPORT, Portorož , Fakultet za pomorstvo in promet, 2006.

Internet

13. <https://multifizika.hr/baza-znanja/buka/koliki-je-buka-problem/>, 17.8.2018.
14. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027249441300011X>, 18.8.2018.
15. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5437751/>, 18.8.2018.
16. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/446311/noise-aircraft-noise-effects-on-health.pdf, 18.8.2018.
17. <http://myweb.fsu.edu/jbin/Research/index-Research.html>, 20.8.2018.
18. http://bib.irb.hr/datoteka/517473.ICTS2011_StimacVidovicSoric.pdf, 21.8.2018.
19. <http://airportnoiselaw.org/faanoise.html>, 21.8.2018.
20. http://www.darh2.hr/akustika/am_o_mjerenju_buke.asp, 28.8.2018.
21. <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>, 24.8.2018.
22. http://dgca.gov.in/intradgca/intra/icao%20annexes/an16_v1_cons.pdf, 22.8.2018.
23. <https://www.bdl.aero/en/bdl-reports-en/aircraft-noise-report/>, 24.8.2018.
24. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049>, 22.8.2018.
25. https://ec.europa.eu/research/quality-of-life/ka4/pdf/report_ranch_en.pdf, 24.8.2018.
26. <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/doc/flightpath2050.pdf>, 24.8.2018.
27. <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>
28. <http://www.cleansky.eu/smart-fixed-wing-aircraft-sfwa>, 5.9.2018.
29. <https://engineering.purdue.edu/~propulsi/propulsion/jets/basics/noise.html>, 26.8.2018.
30. <https://www.icao.int>, 26.8.2018.
31. <https://ysjournal.com/beyond-the-dreamliner-blended-wing-body-aircraft/>, 4.9.2018.
32. <https://wordlesstech.com/nasas-double-bubble/>, 5.9.2018.

33. <https://www.ekovjesnik.hr/clanak/323/nova-buducnost-komercijalnog-zrakoplovstva>, 5.9.2018.
34. <http://publications.europa.eu>, 26.8.2018.
35. <https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalWorkshops/Documents/ICAO-TransportCanada-2006/Brooks.pdf>, 2.9.2018.
36. <http://www.romatsa.ro/en/CDAproject.html>, 25.8.2018.
37. <https://eu.usatoday.com/story/travel/roadwarriorvoices/2015/08/10/airports-are-using-innovative-solutions-to-shush-noise-complaints/83072830/>, 29.8.2018.
38. <https://www.fraport.com/en/our-company/responsibility/aircraft-noise-infoservice/noise-abatement/passive-noise-abatement.html>, 25.8.2018.
39. <https://www.bdl.aero/en/bdl-reports-en/aircraft-noise-report/>, 26.8.2018.
40. <http://www.gorica.hr/2017/11/koncesijska-naknada-naseljima-oko-zracne-luke/>, 26.8.2018.
41. <https://www.dulist.hr/studija-o-utjecaju-na-okolis-zracne-luke-stanovnike-najvise-zabrinjava-buka/188410/>, 26.8.2018.
42. <http://www.miami-airport.com/library/pdfdoc/noisepub.pdf>, 28.8.2018.
43. http://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMANCTA/HR/Safety/WorkInAirports_HR.htm, 30.8.2018.
44. http://www.zagreb-airport.hr/UserDocsImages/dokumenti/CC-IMS-MAN-01-1-Noise%20Reduction%20Action%20Plan_2016.pdf, 26.8.2018.
45. <http://kastela.hr/wp-content/uploads/media/dokumenti/KI02.pdf>, 26.8.2018.
46. http://www.split-airport.hr/images/stories/06-o-nama/izvjesca/Godisnje_izvjesce_2014.pdf, 26.8.2018.

Popis slika

Slika 1. Prikaz izvora buke na zrakoplovu.....	13
Slika 2. Prikaz izvora buke na zrakoplovu.....	15
Slika 3. Razvoj emisije buke zrakoplova.....	21
Slika 4. Emisije buke motora po tipu zrakoplova.....	27
Slika 5. BWB zrakoplov.....	29
Slika 6. CDA procedura.....	30
Slika 7. Double-Bubble D8	32
Slika 8. Postupak Lufthansa-e.....	34
Slika 9. Prilaz u dva stupnja.....	34
Slika 10. Operativni postupak kontinuiranog penjanja zrakoplova.....	36
Slika 11. Zračna luka Heathrow.....	39
Slika 12. Zvučna barijera.....	45



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni 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 završnog rada
pod naslovom **Analiza i načini smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu**

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

U Zagrebu, 10/09/2018

Student/ica:

hgunzg
(potpis)