

Utjecaj buke i vibracija u zračnoj luci na zdravlje ljudi

Špišić, Tijana

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:838458>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU FAKULTET
PROMETNIH ZNANOSTI

Tijana Špišić

UTJECAJ BUKE I VIBRACIJA U ZRAČNOJ LUCI NA
ZDRAVLJE LJUDI

Zagreb, 2022.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**UTJECAJ BUKE I VIBRACIJA U ZRAČNOJ LUCI NA ZDRAVLJE
LJUDI**

**THE IMPACT OF NOISE AND VIBRATION AT THE AIRPORT ON
HUMAN HEALTH**

Mentor: prof. dr. sc. Eduard Missoni

Student: Tijana Špišić

JMBAG: 0135251399

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 17. ožujka 2022.

Zavod: **Zavod za prometno planiranje**
Predmet: **Zrakoplovna medicina**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6656

Pristupnik: **Tijana Špišić (0135251399)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Utjecaj buke i vibracija u zračnoj luci na zdravlje ljudi**

Opis zadatka:

U uvodu je potrebno prikazati izvore buke i vibracija u zračnom prometu. Nakon toga utjecaj buke i vibracije zrakoplova na čovjeka, a posebno se osvrnuti na buku i vibracije uzrokovane propelerom i potisnikom. Regulacija buke zrakoplova. U zaključku predložiti načine smanjenja intenziteta buke i vibracije u zračnom prometu, te preventivne mjere.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

prof. dr. sc. Eduard Missoni

UTJECAJ BUKE I VIBRACIJE U ZRAČNOJ LUCI NA ZDRAVLJE LJUDI

Sažetak

Zrakoplovi su u prošlosti proizvodili znatno jaku buku koja je imala štetan utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje. Zbog toga su uvedeni parametri za izradu novih zrakoplova koji su znatno tiši i manje djeluju na zdravlje čovjeka. Starije vrste zrakoplova bilo je potrebno modificirati kako bi imali dopuštenje za međunarodne letove. Mjere zaštite od buke primjenjuju se s ciljem sprječavanja nastanka emisije prekomjerne buke, a postojeća buka se nastoji smanjiti na dopuštenu razinu.

Ključne riječi

Buka; vibracije; sluh

THE EFFECT OF NOISE AND VIBRATION IN THE AIRPORT ON HUMAN HEALTH

Summary

In the past, airplanes produced significantly loud noise that had a harmful effect on the environment and human health. For this reason, parameters were introduced for the creation of new aircraft that are significantly quieter and have less impact on human health. Older types of aircraft needed to be modified to be approved for international flights. Noise protection measures are applied with the aim of preventing the emission of excessive noise, and the existing noise is tried to be reduced to a permissible level.

Key words

Noise; vibrations; hearing

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. IZVORI BUKE I VIBRACIJE U ZRAČNOM PROMETU.....	3
2.1 Zrakoplov kao izvor buke.....	3
2.2 Zračna luka kao izvor buke	8
3. UTJECAJ BUKE I VIBRACIJE ZRAKOPLOVA NA ČOVJEKA.....	13
3.1 Djelovanje buke na slušni sustav	13
3.2. Kardiovaskularno zdravlje	17
3.3. Djelovanje vibracije na čovjeka	19
4. BUKA I VIBRACIJE UZROKOVANE PROPELEROM I POTISNIKOM.....	20
4.1. Buka uzrokovana propelerom	20
4.2. Zaštitne mjere protiv buke uzrokovane propelerom	23
5. REGULACIJA BUKE ZRAKOPLOVA	24
5.1. Međunarodna regulativa buke zrakoplova	24
5.2. Propisi o buci.....	28
5.2.1. Direktiva 2002/30/EZ.....	30
5.2.2. Direktiva 2002/49/EZ.....	30
5.3. Zakon o zaštiti od buke u Republici Hrvatskoj.....	32
5.4. Regulacija buke na Zračnoj luci Frankfurt	33
5.5. Regulacija buke na Zračnoj luci Vienna	36
6. NAČINI SMANJENJA INTENZITETA BUKE I VIBRACIJE U ZRAČNOM PROMETU .	39
6.1. FAA postupak u polijetanju	40
6.2. Povećanje visine hvatanja signala kuta poniranja	42
6.3. Prilaz u dva stupnja	43
6.4. Lufthansae postupak	44
6.5. Prilaz i odlet krivocrtnom putanjom	45
7. ZAKLJUČAK.....	46

1. UVOD

Uvođenjem mlaznih aviona u zračni promet po prvi puta u povijesti došlo je do pobune i prosvjeda stanovnika zbog buke na području aerodroma. Buka koju su stvarali mlazni avioni bila je nesnosna, posebice kod prilaznih putanja i na odletnim putanjama. Najveća buka nastaje prilikom uzlijetanja i slijetanja zrakoplova. Buka zračnog prometa je širokopojasna, a izražavanje jačine buke mora obuhvaćati frekvencijsko područje unutar kojeg se buka pojavljuje. Obzirom da su zračne luke uglavnom smještene nedaleko od naseljenih područja, negativno djeluju na okoliš zbog buke koju stvaraju, što predstavlja sve veći ekološki problem. Oštećenje sluha koje nastane zbog buke može biti akutno ili kronično. Akutno oštećenje sluha je prolazno i naziva se još i zamor sluha. Ukoliko se izloženost buci učestalo ponavlja, dolazi do dugotrajnog oštećenja sluha pri čemu je osjetljivost na određene frekvencije i tonove smanjena. Kontrolori leta imaju važnu ulogu i funkciju, obzirom da sigurnost putnika i posade ovisi i o njihovom dobrom sluhu. Ukoliko je na prvom pregledu ustanovljen slabiji sluh, to postaje problem za daljnji razvoj karijere kao kontrolora leta. Barotraumatizam nastaje nakon fizičkog opterećenja koje dovodi do narušavanja i oštećenja strukture u zatvorenim tjelesnim šupljinama ispunjenim zrakom. Prilikom uzleta zrakoplova, dolazi se u uvjete smanjenjog atmosferskog tlaka, te dolazi do porasta tlaka u zatvorenim šupljinama srednjeg uha. U zrakoplovstvu glavni izvori vibracija su prisutni u helikopteru i zrakoplovu. U zrakoplovu su vibracije prisutne prilikom letova na manjim visinama, obzirom da dolazi do nadopunjavanja vibracijama od atmosferskih turbulencija kroz koje zrakoplov prolazi. Najizraženije su prilikom oluja, kod prolaska kroz oblake, te prilikom brzih letova na manjim visinama. Pravilnici o buci- FAA, podijeljeni su u više dijelova kroz koje se izdaju zapovijedi i napuci za regulaciju buke u zrakoplovstvu. Prema Zakonu o zaštiti od buke (NN 30/09, 55/13, 153/13, 41/16, 114/18, 14/21) utvrđene su mjere s ciljem izbjegavanja, sprječavanja ili smanjivanja štetnih učinaka buke na zdravlje ljudi.

Završni rad podijeljen je na sedam poglavlja uključujući uvod i zaključak;

1. Uvod
2. Izvori buke i vibracije u zračnom prometu
3. Utjecaj buke i vibracije u zračnom prometu
4. Buka i vibracije uzrokovane propelerom i potisnikom
5. Regulacija buke zrakoplova
6. Načini smanjenja intenziteta buke i vibracije u zračnom prometu
7. Zaključak

Nakon uvodnog dijela završnog rada, u drugom poglavlju će se objasniti utjecaj zrakoplova i zračnih luka koji predstavljaju jedan od važnih izvora buke koji štetno djeluju na okoliš.

U trećem poglavlju rada prikazat će se kako buka i vibracije djeluju na čovjeka, s posebnim osvrtom na slušni sustav.

U četvrtom poglavlju opisat će se buka uzrokovana propelerom i koji su načini smanjenja ove vrste buke. Peto poglavlje opisuje regulaciju buke, međunarodne zakone i zakone Republike Hrvatske za zaštitu od buke.

U šestom poglavlju prikazat će se koji su načini smanjenja buke zrakoplova i zračnih luka, nakon čega slijedi zaključak završnog rada, popis korištene literature, popis slika i tablica.

U sedmom poglavlju iznesen je zaključak temeljen na cjelokupni rad.

Cilj završnog rada je prikazati utjecaj buke zrakoplova i zračnih luka na čovjeka te koji su načini smanjivanja buke na razinu koja nije štetna za čovjeka.

U završnom radu primjenjuju se metoda klasifikacije, metoda deskripcije i metoda komparacije. Teorijskim opisima predstaviti će se cilj i svrha rada.

2. IZVORI BUKE I VIBRACIJE U ZRAČNOM PROMETU

2.1 Zrakoplov kao izvor buke

Unatrag 100 godina u zračnom prometu došlo je do velikih promjena u tehnologijama izrade zrakoplova. Zračni promet i pogon zrakoplova doživjeli su brojne preinake još od prvog leta braće Wright 1905. godine. Najveća prekretnica za zračni promet nastala je za vrijeme Drugog svjetskog rata kada se povećava infrastruktura za prihvat i otpremu zrakoplova. Zrakoplov Mcdouglas Dc-4 jedan je najviše proizvedenih zrakoplova. Varijanta C-47 „Skytrain“ proizvedena je u nevjerojatnim brojevima od 10 174 primjerka. Nakon Drugog svjetskog rata isti zrakoplov je minimalno tehnički dorađen i počinje se koristiti i u komercionalnom zračnom prometu kao putnički i teretni zrakoplov. Tijekom vremena izrađuju se volumno sve veći zrakoplovi s vrlo velikim pogonom, što je dovelo do stvaranja prekomjerne buke, kako u letu tako i u zračnim lukama i okolini. [1]

Uvođenjem mlaznih aviona u zračni promet po prvi puta u povijesti došlo je do pobune i prosvjeda stanovnika zbog buke na području aerodroma. Buka koju su stvarali mlazni avioni bila je nesnosna, posebice kod prilaznih putanja i na odletnim putanjama. Prosvjedi su bili najizraženiji za vrijeme 60ih godina prošlog stoljeća na području SAD-a i u europskim demokratskim državama. Prema američkim istraživanjima, čak je oko 19 milijuna stanovnika na području američkih i zapadnoeuropskih zračnih luka bilo pod utjecajem prekomjerne buke. Zbog toga su donešeni propisi u zemljama koje su proizvođači zrakoplova u vezi razine buke zrakoplova. Tako je došlo do proizvodnje znatno utišanih zrakoplova u odnosu na prvu proizvedenu generaciju. Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva-ICAO¹ je 1971. godine objavio Dodatak 17 Konvenciji o međunarodnom civilnom zrakoplovstvu, Zaštita okoliša, Buka zrakoplova, prema kojem je ograničena buka novih zrakoplova. Naknadno je propisano i povlačenje zrakoplova iz prometa koji su proizvedeni prema staroj tehnologiji. Djelovanje ICAO u kontekstu angažmana

¹ ICAO(International Civil Aviation Organization) - Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva

cjelokupnih međunarodnih zajednica u cilju globalne zaštite okoliša rezultiralo je utemeljenjem Povjerenstva za zaštitu okoliša čija je zadaća koordinacija u primjeni ekoloških normi u zrakoplovstvu. Prihvatile su se norme za homologaciju postojećih i novih zrakoplova, kao i izdavanje certifikata ovisno o težini zrakoplova i broju motora, uz specifikaciju tehničkih uvjeta. Time su zrakoplovi podijeljeni u kategorije ovisno o dopuštenom stupnju stvaranja buke.

U kategoriju I uvršteni su zrakoplovi koji ne mogu dobiti certifikat o plovidbenosti obzirom na stupanj buke koji proizvode. U njih se ubrajaju zrakoplovi stare generacije- DC-8, B 707. Danas ovi zrakoplovi imaju zabranu letenja u području razvijenih industrijskih zemalja.

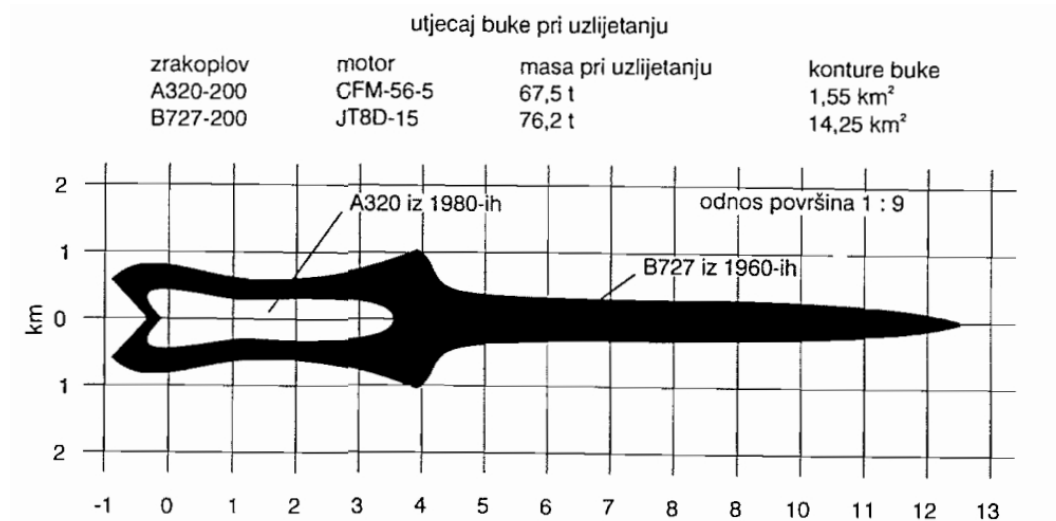
U drugu kategoriju ubrajaju se zrakoplovi koji djelomično odgovaraju dopuštenom stupnju buke, te ih je potrebno utišati ili izbaciti iz uporabe. U ovu kategoriju ubrajaju se podzvučni mlazni zrakoplovi za koje je podnešena certifikacija 1977. godine, a to su B 727-100, B 727-200, B 737-200, DC-9s, DC-10, B 747-100.

U treću kategoriju ubrajaju se zrakoplovi koji uzrokuju dopuštenu razinu buke, te se još nazivaju tihi zrakoplovi. To se odnosi na podzvučne mlazne zrakoplove za koje je podnešen zahtjev za certifikacijom 1977. godine ili nakon, kao i elisni zrakoplovi. Najnovija generacija zrakoplova treće kategorije su B 737-300, B 737-400, B 737-500, A-319, A-320, A-321, A-340 i ostali manji zrakoplovi.

Nove generacije zrakoplova koje se rade po novim tehnologijama sve češće su prisutni u zračnom prometu, posebice u zapadnim zemljama, a karakteristični su po stvaranju manje buke. Prema novim američkim istraživanjima, ova vrsta zrakoplova stvarala je buku kojoj je bilo izloženo samo 0,9 milijuna stanovnika, što je znatno manji broj od 19 milijuna stanovnika koji su bili izloženi buci starih generacija zrakoplova. [1]

Sama struktura zrakoplova koja obuhvaća usisnik, mlaznicu, krila, zakrilca, predkrilca, podvožje, vrata stajnog trapa, sjajni trap i vrtložna strujanja, uzrok je velikom izvoru buke. Sljedeća slika prikazuje konture buke za dva aviona prezentanta. Jedan zrakoplov rađen je tehnologijom iz 70ih godina, B727-200, a drugi je rađen tehnologijom iz 90ih godina, A320-200. Primjetne su konture buke

modernog zrakoplova od 85db, po čemu se da zaključiti da je negativan utjecaj buke u okolišu sve manji, no ujedno nije skroz zanemariv.



Slika 1. Različiti utjecaj zrakoplova na stvaranje buke

Izvor: Pavlin S. Aerodromi I. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 2006. p329. [10]

Sam pogon zrakoplova uzrokuje najveću buku zrakoplova. Prema vrsti tehnologije i tehnici motorizacije razlikuju se različiti pogoni, pa se tako razlikuju klipni i mlazni motori. Klipni motori predstavljaju elise na zrakoplovima koji se više ne primjenjuju u svakodnevnom zračnom prometu. Primjenjivali su se za pogon zrakoplova. Danas se najčešće koriste u sportske i rekreacijske svrhe. Buku u klipnim motorima uzrokuje propeler u letu koji postiže nadzvučnu brzinu, što je uzrok buke i vibracija. Klipni motori dijele se na:

- Redni motor,
- V-način motor,
- Horizontalni motor,
- Radijalni motor,
- Rotacijski motor,
- Wankel motor. [2]

Buka zrakoplova predstavlja svaki neželjeni zvuk koji proizvodi zrakoplov. Buka koju proizvodi zrakoplov može se podijeliti u tri skupine:

- buka koju proizvodi pogonska grupa zrakoplova
- buka koju proizvodi struktura zrakoplova
- buka nastala zbog uzajamnog utjecaja motora i strukture zrakoplova. [6]

Dijelovi mlaznog motora su usisnik zraka, kompresor, osovina, komora izgaranja, turbina i mlaznica. Buka uzrokovana turbo-mlaznim motorom sastoji se od buke kompresora, buke uzrokovane vibracijama kućišta motora te buke izlaznog mlaza. Izrazit čimbenik buke turbo-mlaznih motora predstavlja buka usisa. Naime, zrak ulazi u rotirajući kompresor kroz usisnik zraka te upravo lopatice kompresora predstavljaju izvor tonских komponenti. Navedene tonske komponente zajedno sa širokopojasnom bukom čine buku usisa. [13]

U sljedećoj tablici prikazani su izvori buke prema vrsti zrakoplova.

Tablica 1 Izvor buke prema tipu zrakoplova

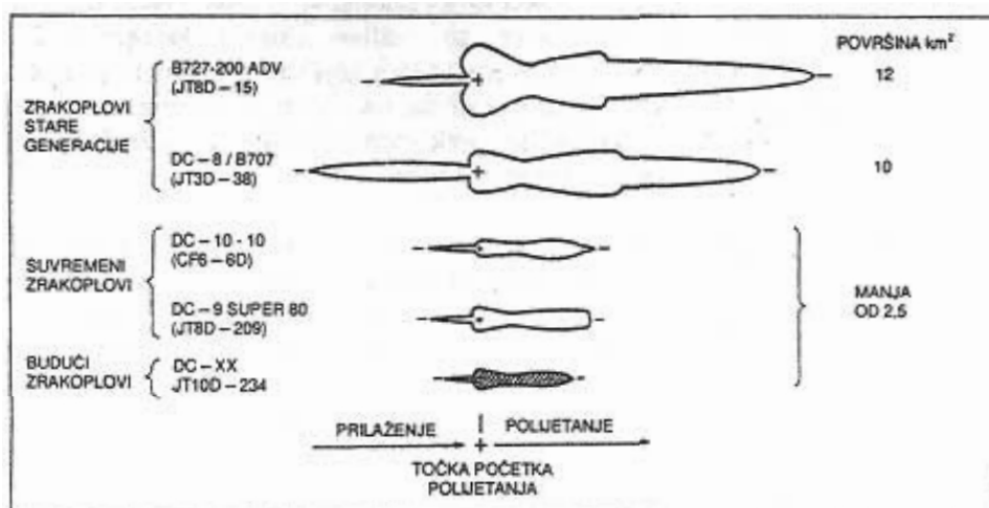
Tip zrakoplova	Izvor buke	
	Pogonska grupa	Planer-Zmaj
Opća avijacija: sportski, poljoprivredni i sl.	Elise, ispušni plinovi iz klipnog motora	/
Helikopteri	Rotor, ispušni plinovi iz klipnog ili mlaz iz TM motora	/
STOL	Ventilator, mlaz iz TMmotora	Međusobni utjecaj izmeđustrujanja mlaza i površine planera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

Izvor: Golubić J. Promet i okoliš. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 1999. p.168. [1]

2.2 Zračna luka kao izvor buke

Nakon pritiska koji je dolazio iz javnosti i vlada, uvedene su i dodatne mjere kojima je smanjen negativan utjecaj buke na okoliš u području zračnih luka. Dodatne mjere tako obuhvaćaju ograničenje prihvata bučnih zrakoplova, uvode se postupci u prikazu i odleti kako bi se smanjila buka, prilazno-odletne putanje grade se na područjima manje naseljenih mjesta ili na nenaseljenim područjima, zatvaraju se zračne luke za noćno prometovanje, zonira se prostor i prenamjenjuje se okolica u području zračnih luka, zvučno se izoliraju kuće i zgrade.

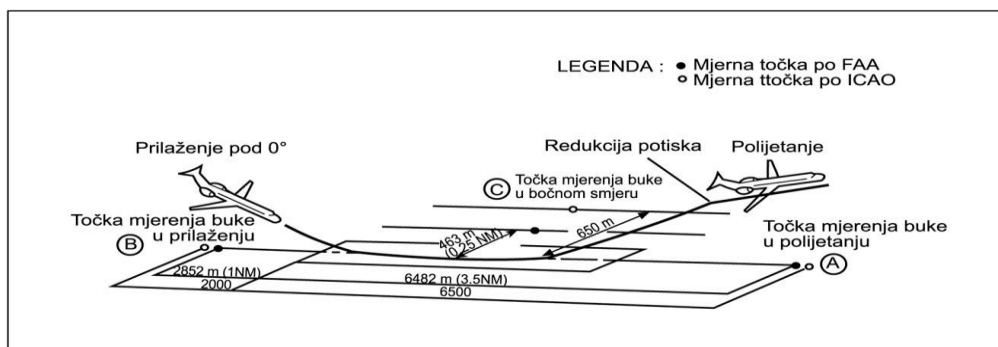
Najveća buka nastaje prilikom uzlijetanja i slijetanja zrakoplova. Buka zračnog prometa je širokopojasna, a izražavanje jačine buke mora obuhvaćati frekvencijsko područje unutar kojeg se buka pojavljuje. [2] Veličine koje se koriste za izražavanje jačine buke su razina zvučnog tlaka i korigirane razine buke. Promatrajući s gledišta stanovništva koje je naseljeno u blizini zračnih luka, zanimljivo je mjerenje buke ali i otisak površine na zemlji prema čijoj konturi je buka određenog intenziteta. Prema sljedećoj slici prikazani su usporedni otisci različitih vrsta zrakoplova, prema čemu je vidljivo da je primjenom novih tehnologija u izradi zrakoplova znatno smanjena buka.



Slika 2. Intenzitet buke prema otisku površine u zrakoplova različitih tehnologija

Izvor: Golubić J. Promet i okoliš. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti. Sveučilište u Zagrebu; Zagreb. p.157. [1]

Pri certificiranju zrakoplova vrši se mjerenje intenziteta buke. Kako bi se mjerenje standardiziralo ICAO je propisao standardne uvjete i referentne točke u blizini uzletno- sletne staze. Referentnim točkama se utvrđuje intenzitet buke pri polijetanju i slijetanju. Postoje tri referentne točke (A, B, C) te su nadalje objašnjene i prikazane na slici 3.



Slika 3. Točka mjerenja buke

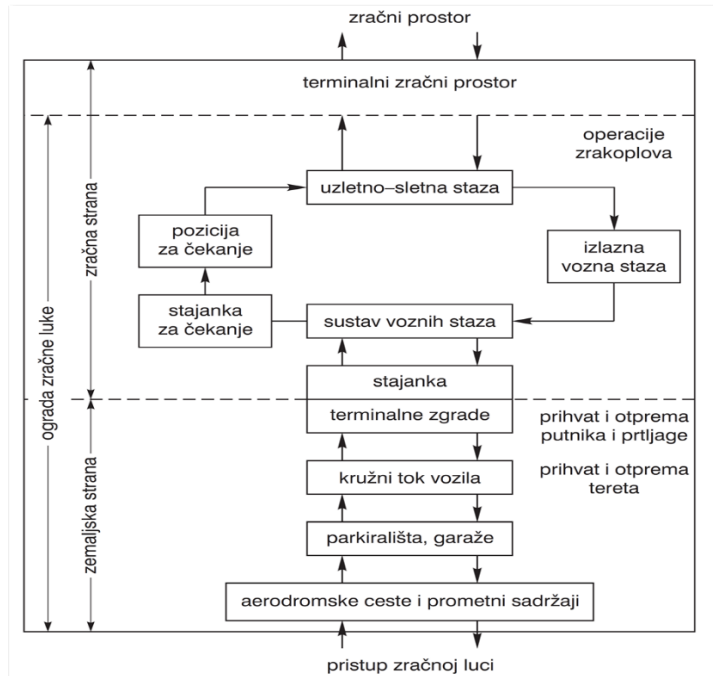
Izvor: Golubić J. Promet i okoliš. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 1999. p.155.

- Preletna točka (A) – u ovoj točki se mjeri buka pri uzlijetanju. Nalazi se na produljenojsredišnjici uzletno-sletne staze te na 6500 m od početka zaleta
- Prilazna točka (B) – u ovoj točki se mjeri razina buke pri slijetanju. Nalazi se na produljenoj crti uzletno-sletne staze te na 2000 m od praga.
- Lateralna točka (C) – ova točka se nalazi na paralelnoj središnjici uzletno-sletne staze udaljenoj od središnjice 650 m, gdje je razina buke najveća za vrijeme uzlijetanja. [1]

Zračna luka u zračnom prometu ima poseban izvor buke koju čine: infrastruktura, oprema i prijevozna sredstva koja prometuju zračnom lukom. Intenzitet zračne luke koju proizvode prijevozna sredstva i oprema na zračnim lukama je niža buka u odnosu na buku koju proizvode zrakoplovi prilikom polijetanja i slijetanja.

Zračna luka se dijeli na dva dijela:

- 1) Zemaljska strana (eng. Landside)
- 2) Zračna strana (eng. Airside)



Slika 4. Sustav zračne luke

Izvor: Pavlin S. Aerodromi I. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 2006. p.8.

Zračna strana predstavlja zasebne izvore buke koje nastaju prilikom operacija na zemlji, a to su: infrastrukturne građevine, zrakoplovi i vozila i oprema za prihvat i opremu zrakoplova. Na zemaljskoj strani imamo izloženost buci od prijevoznih sredstava korisnika zračne luke sa pripadajućim parkiralištima te aerodromskim cestama sa prometnim sadržajem koja vode do zračne luke.

Zračna luka je kompleks infrastrukture, opreme i prijevoznih sredstava, a svaka navedena komponenta je pojedini proizvođač buke. Suvremene zračne luke imaju povećanu propusnu moć kako za zrakoplove, tako i za putnike, prtljage i teret. Jedan od najboljih primjera je zračna luka "Heathrow Airport", europska zračna luka u kojoj je na godišnjoj razini zabilježeno preko nekoliko milijuna putnika. Uz

brojnu opremu koju posjeduju zračne luke, najglasniji izvori buke su GPU i zračni starter.²

Obzirom da su zračne luke uglavnom smještene nedaleko od naseljenih područja, negativno djeluju na okoliš zbog buke koju stvaraju, što predstavlja sve veći ekološki problem.

Izloženost buci obično se procijenjuje određivanjem konture buke. Izloženost konture buke predstavlja područje oko zračne luke unutar koje razina buke prelazi zadani prag decibela (dB). Europska agencija za zrakoplovnu sigurnost (EASA-European Aviation Safety Agency) temelji se na pokazateljima L den 55 dB i Lnight 50 dB, kako je definirano u EU Direktivi o buci u okolišu, a izvedeni su korištenjem modela buke zračne luke STAPES. Izvješće procijenjuje da je stanovništvo izloženo buci zrakoplova koja premašuje 70 dB tijekom dana i noći, te same smetnje izazvane bukom i poremećaj sna na temelju smjernica o izloženosti i reakciji. [14]

L den je prosječna razina zvučnog tlaka tijekom godine za dnevna, večernja i noćna razdoblja, s kaznom od +5 dB za večer i +10 dB za noć. L night je prosječna razina zvučnog tlaka tijekom godine samo za noćno razdoblje. [14]

Sa najnovijim smjernicama Zdravstvene organizacije za Europu preporučuju procijenu neugodnosti bukom zrakoplova iznad L den 45dB i poremećaja spavanja iznad L night 40 dB, zbog uznemirenosti buke zrakoplova i velikim brojem poremećaja sna oko zračnih luka. [14] Buka zrakoplova na zračnoj luci predstavlja jedan od najvećih problema s kojim se zračne luke susreću.

Sa novim tipovima zrakoplova koji su rađeni od kompozitnih materijala, sama prednost kompozitnih materijala je mala težina, koja rezultira i do nekoliko stotina kilograma lakšim zrakoplovom, sa manjom mogućnošću korozije na spojevima, a za buku okoliša zračnih luka naveden je cilj koji postavlja veličinu buke zrakoplova na nivo koji propisuje ICAO Annex 16, kako bi se dostigli standardi u vezi s bukom te poboljšanje od 20 dB u odnosu na veličinu buke koju proizvode. [1]

² GPU(Ground Power Units)- zemaljska pogonska jedinica

Zbog prirode decibela, ako se promet u zračnoj luci udvostruči, ali se buka svakog kretanja zrakoplova smanji za 3 dB, tada će L den i L night će biti nepromijenjene. Isto tako, novi zrakoplov Airbus 'A320neo' je oko 6 dB tiši od starijeg 'A320ceo' tijekom polijetanja, zbog korištenja kompozitnih materijala se vidi poboljšanje i smanjenje buke zrakoplova na zračnoj luci. [14]

3. UTJECAJ BUKE I VIBRACIJE ZRAKOPLOVA NA ČOVJEKA

Posljednjih godina bilježi se porast jačine buke koji povezuju buku u cestovnom, željezničkom, zračnom prometu tako i u samoj industriji sa zdravljem. Svjetska zdravstvena organizacija (WHO, 2011.) procijenila je da se između 1 i 1,6 milijuna godina ljudskog života izgubi zbog izloženosti buci, poput buke cestovnog prometa i buke zrakoplova, u zapadnoeuropskim zemljama s visokim dohotkom (Sjedinjene Američke Države). Problem same razine buke izazvao je niz poremećaja na ljudsko zdravlje.

Buka zrakoplova negativno utječe na zdravlje ako je izloženost dugotrajna i premašuje određene razine (Basner i sur., 2014.). U sklopu završnog rada "Utjecaj buke i vibracija u zračnoj luci na zdravlje ljudi" dotiče se utjecaja buke zrakoplova na:

1. utjecaj buke i djelovanje na slušni sustav
2. kardiovaskularno zdravlje
3. poremećaj spavanja

3.1 Djelovanje buke na slušni sustav

Uho je organ koji omogućava osjet sluha. Osjet sluha je mogućnost percepcije zvuka, a zvuk je mehanička energija koja se širi fluidom u obliku longitudinalnih valova. Postoje četiri obilježja zvuka koje uho može zamijetiti, a to su visina, glasnoća, boja te smjer iz kojeg zvuk dolazi. Frekvencija zvučnih valova određuje visinu zvuka, stoga što je ona veća, zvuk je viši. Sukladno tome, visina zvuka mjeri se u Hertzima (Hz). [15]

Govoreći o zvučnim frekvencijama bitno je navesti pragove čujnosti uha. Naime, zdravo uho može primiti zvučne podražaje u rasponu od 20 do 20 000 Hz dok se u starosti taj raspon smanjuje od 50 do 8000 Hz. Jedinica za jakost zvuka je decibel (dB). Zvuk jakosti 0 dB na pragu je čujnosti, tj. odgovara vrijednosti od 20 Hz.

Navedeno objašnjava suodnos mjernih jedinica Hz i dB te olakšava razumijevanje brojčanih podataka u različitim literaturama. [15]

Izvrnutost buci kod letača ovisi o snazi, broju i tipu motora. Oštećenje sluha koje nastane zbog buke može biti akutno ili kronično. Akutno oštećenje sluha je prolazno i naziva se još i zamor sluha. Ukoliko se izloženost buci učestalo ponavlja, dolazi do dugotrajnog oštećenja sluha pri čemu je osjetljivost na određene frekvencije i tonove smanjena. Ukoliko se dulje vremena radi pri uvjetima gdje je buka iznad 85-90 dB kroz 8 sati dnevno, posebice na nezaštićenom uhu, dolazi do oštećenja sluha koje se karakterizira kao profesionalna gluhoća. Prilikom procjene učinka buke na zdravlje čovjeka, promatra se jačina i dužina izlaganja buci. Ukoliko se buka pojačava, potrebno je smanjiti vrijeme izlaganja istoj. [1]. Ukoliko je buka veća od 85 dB, čak i vrlo kratka izloženost uzrokovat će štetne posljedice za slušni sustav čovjeka. Zdrav slušni sustav može razaznati i primiti zvučne podražaje u rasponu od 120 do 20 000 Hz. U području oko 4000 Hz dolazi do prvih znakova oštećenja sluha. Osobe čije poslovno okruženje podrazumijeva bučno okruženje vrlo često navode da imaju šum u ušima, koji je nerijetko neugodniji od same naglušnosti. Ukoliko je šum nastao zbog oštećenja sluha, onda ima intenzitet i frekvenciju oštećenja sluha. U suvremenim ispitivanjima sve se procjene sluha temelje na tonalnim audiogramima. U svakoj zemlji su uspostavljeni nacionalni pravilnici u skladu s internacionalnim pravilnicima, a sve osobe koje djeluju u zračnom prometu ih se moraju pridržavati. Kontrolori leta imaju važnu ulogu i funkciju, obzirom da sigurnost putnika i posade ovisi i o njihovom dobrom sluhu. Ukoliko je na prvom pregledu ustanovljen slabiji sluh, to postaje problem za daljnji razvoj karijere kao kontrolora leta. Najviše su izložene buci osobe koje opslužuju zrakoplov na zemlji. Najveći dio svog radnog vremena provode u uvjetima buke koja djeluje na sluh i dovodi do oštećenja sluha. Od tehničkog osoblja najviše su izloženi aviomehaničari, te je kod njih oštećenje sluha najviše izraženo. [2]

Osjetne stanice unutarnjeg uha primaju tonove, a osobito su osjetljive na buku. Pod djelovanjem jake buke dolazi do tipičnog oštećenja u osjetnom području slušnih stanica koje su zadužene za percepciju visokih tonova. Gubitak sluha je veći u starijih osoba prilikom izlaganja buci. Prilikom određivanja oštećenja sluha,

ukoliko krivulja padne ispod određene razine koja je donja granica za normalan sluh, umjesto tonske audimetrije može se primjenjivati govorna audimetrija. Povoljnije djeluje za održavanje letačkih sposobnosti. Oštećenje sluha koje nastane zbog izloženosti jakoj buci nastaje zbog oštećenja osjetnih stanica slušnog sustava koje su zadužene za visoke frekvencije. Te stanice nalaze se u unutrašnjem uhu. Posljedično dolazi do gubitka sluha u području visokih tonova. Zrakoplovcima je neophodan dobar sluh prilikom letenja ali i pri prizemljenju. Buka ne djeluje samo na slušni sustav, već se dalje prenosi i u centralni živčani sustav te potiče niz reakcija koje posljedično uzrokuju akutnu ili kroničnu razdražljivost vegetativnog živčanog sustava, a također i endokrinog sustava. Time dolazi do bržeg umaranja, smanjene koncentracije i učinkovitosti u radu. Dolazi do pojačanog znojenja, smanjenja sna i razdražljivosti. [3]

Izvor buke motora zrakoplova proizvodi najveći intenzitet buke iznosa 120dB kao najglasniji izvor i jačinu buke proizvedenih u dB (decibeliima). [2]

Prema navedenim razinama intenziteta buke na posljedice:

- Intenzitet buke je do 50 dB – buka prekida san
- Intenzitet buke je od 65 do 74 dB – buka uzrokuje ubrzano disanje te rast krvnog tlaka
- Intenzitet buke je od 75 do 80 dB – buka uzrokuje rast eritrocita, srčane komplikacije, poremećaj regulacije šećera u krvi
- Intenzitet buke je veći od 90 dB – buka oštećuje sluh
- Intenzitet buke je veći od 120 dB – buka uzrokuje bolove u uhu te akutno oštećenje sluha. [15]

U sljedećoj tablici prikazano je dopušteno izlaganje buci bez zaštitne opreme. Prilikom procjene utjecaja buke na zdravlje čovjeka uzimaju se u obzir dva osnovna parametra, jačina i dužina izlaganja. Tablica 2 prikazuje intenzitete buke u dB i dopušteno vrijeme izlaganja bez zaštitnih sredstava u satima (h), minutama (min) i sekundama (s).

Tablica 2 Dopušteno izlaganje buci bez zaštitne opreme

Intenzitet u dB	Dopušteno dnevno izlaganje
-90	8 sati
-93	4 sata
-96	2 sata
-99	1 sat
-102	30 minuta
-105	15 minuta
-108	7,7 minuta
-117	56 sekundi
-123	14 sekundi
-129	35 sekundi
-135	Manje od 1 sekune

Izvor: Missoni E. Zrakoplovna medicina. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti:
Sveučilište u Zagrebu, 2003. p.96. [2]

Barotraumatizam nastaje nakon fizičkog opterećenja koje dovodi do narušavanja i oštećenja strukture u zatvorenim tjelesnim šupljinama ispunjenim zrakom. Nastaje prilikom promjene atmosferskog tlaka koja može biti pozitivna ili negativna. Pozitivna promjena je kada se u zatvorenim šupljinama tijela povećava tlak tijekom letenja, dok je negativna kada se tlak smanjuje. Barotrauma se može zapaziti već prilikom prvih letova. U srednjem uhu, paranazalnim sinusima i ostalim zatvorenim šupljim organima nalazi se neotopljeni zrak ili plinovi koji reagiraju na promjene tlaka u okolišnoj atmosferi. Ovaj proces odvija se iz razlloga što prilikom

konstantne temperature dolazi do opadanja atmosferskog pritiska eksponencijalno s povećanjem visine. Ovaj fenomen utvrdio je francuski liječnik Pilatre de Raiser. Tijekom uzleta u balonu osjetio je bol u ušima. Sljedeće godine John Jeffries letio je balonom na visini od 2800 metara i zbog jakih bolova u području želuca i u crijevima bio je prisiljen prekinuti let. Paul Berti je 1878. godine konstruirao hipobaričnu komoru te je nakon brojnih izvedenih pokusa opisao bolove koji nastaju zbog promjene atmosferskog tlaka u ušima, paranazalnim sinusima, želucu i crijevima. [3]

Prilikom uzleta zrakoplova, dolazi se u uvjete smanjenjog atmosferskog tlaka, te dolazi do porasta tlaka u zatvorenim šupljinama srednjeg uha. Kada tlak poraste na 15 mmHg, te ako je Eustahijeva tuba uredne funkcije, dolazi do otvaranja ušća u ždrijelu i izjednačavanja tlaka u srednjem uhu s tlakom iz vanjske okoline. Ukoliko je funkcija Eustahijeve tube poremećena i tuba se ne otvori, pad tlaka u zrakoplovu uzrokovat će porast tlaka unutar srednjeg uha, te nije moguće izjednačavanje tlakova. Tada dolazi do pozitivne barotraume. Nastaje pritisak na sluznicu koja pokriva površinu kostiju srednjeg uha, dolazi do rastezanja lanca slušnih koštica, a bubnjić se potiskuje prema zvukovodu. Posljedično se pojavljuje bol i naglušost. Prilikom slijetanja obrnut je proces. Atmosferski tlak se povisuje, a tlak zraka u srednjem uhu se snižava. [3]

3.2. Kardiovaskularno zdravlje

Tijekom posljednjih 10 godina došlo je do povećanja izloženost buci zrakoplova koja dovodi do posljedica povećanog rizika za lošije kardiovaskularno zdravlje. Rizik za kardiovaskularne bolesti su visoki krvni tlak (hipertenzija), srčani udar i moždani udar koji se povećao od 7 do 17% za povećanje od 10 dB u buci zrakoplova ili cestovnog prometa. Pregledom zaključeno je da postoje veze između buke zrakoplova i visokog krvnog tlaka, što može imati trajne posljedice na zdravlje ljudi. [16]

Studija HYENA (Hypertension and Exposure to Noise near Airports) ispitala je učinke buke na krvni tlak (hipertenziju) 4861 osobe, u dobi od 45-70 godina, koja je proučavala učinak života više od 5 godina u blizini 7 glavnih europskih zračnih luka

uključujući London Heathrow; Amsterdam Schiphol; Stockholm Arlanda & Bromma; Berlin Tegel, Milan Malpensa; i Atena Eleftherios Venizelos . [16]

Kronične smetnje kardiovaskularnog sustava su:

1. hipertenzija
2. aritmija
3. srčani udar
4. moždani udar

Povećani stres povezan s izlaganjem buci može uzrokovati fiziološke stresne reakcije kod pojedinca, što zauzvrat može dovesti do povećanja utvrđenih čimbenika rizika za kardiovaskularne bolesti kao što su krvni tlak, koncentracije glukoze u krvi i lipida u krvi (masti u krvi). Ovi čimbenici rizika dovode do povećanog rizika od visokog krvnog tlaka (hipertenzije) i arterioskleroze (npr. sužavanje arterija zbog masnih naslaga) i povezani su s ozbiljnim događajima kao što su srčani i moždani udar. Stres koji pokreće ovaj put može djelovati izravno putem poremećaja spavanja ili neizravno putem ometanja aktivnosti i smetnji.

Visoki krvni tlak procijenjen mjerenjima i upotrebom lijekova. Studija HYENA otkrila je da je povećanje buke zrakoplova noću od 10 dB povezano s povećanjem vjerojatnosti visokog krvnog tlaka za 14%, ali dnevna buka zrakoplova nije povećala izgleda za visoki krvni tlak. Studija HYENA nije pronašla povezanost između dnevne buke zrakoplova i visokog krvnog tlaka, što bi moglo biti zbog toga što mnogi stanovnici rade daleko od kuće tijekom dana, što dovodi do moguće pogrešne klasifikacije njihove dnevne izloženosti buci zrakoplova. Studija HYENA također je otkrila da je povećanje noćne buke zrakoplova od 10 dB povezano s povećanjem upotrebe lijekova za visoki krvni tlak od 34% u Ujedinjenom Kraljevstvu. Studija HYENA je studija velikih razmjera koja proučava utjecaj buke zrakoplova na krvni tlak, koja uključuje uzorak stanovništva oko londonske zračne luke Heathrow. Jedan nedostatak studije je što procjenjuje buku i zdravlje u istom trenutku, što znači da ne možemo biti sigurni je li se izloženost buci dogodila prije lošijih zdravstvenih događaja ili su lošiji zdravstveni događaji možda prethodili izloženosti buci. [16]

3.3. Djelovanje vibracije na čovjeka

Vibracije predstavljaju neprekidno ili povremeno titranje čvrstih tijela ili čestica u području infrazvučnih i djelomično zvučnih frekvencija, odnosno od nekoliko Hz pa sve do 20 000 Hz i više. Značajke vibracija su frekvencija, amplituda, brzina i ubrzanje. U zrakoplovstvu glavni izvori vibracija su prisutni u helikopteru i zrakoplovu. U zrakoplovu su vibracije prisutne prilikom letova na manjim visinama, obzirom da dolazi do nadopunjavanja vibracijama od atmosferskih turbulencija kroz koje zrakoplov prolazi. Najizraženije su prilikom oluja, kod prolaska kroz oblake, te prilikom bržih letova na manjim visinama. Također, dodatne vibracije nastaju prilikom ispaljivanja raketa, bombi, nakon pucanja iz strojnice ili topa, te u slučajevima eksploziji blizu zrakoplova. [2]

Prema djelovanju na čovjeka, vibracije se mogu podijeliti prema načinu djelovanja, pa se tako razlikuju vibracije koje djeluju na:

- Cijelo tijelo,
- Koštanozglobni sustav,
- Srčanožilni sustav,
- Živčani sustav,
- Mišićni sustav,
- Dišni sustav,
- Probavni sustav,
- Vidni sustav,
- Psihičke smetnje,
- Vestibularni sustav. [2]

Kako bi se preventivno djelovalo na štetan učinak vibracija, provode se zdravstveni pregledi redovno i izvanredno po potrebi. Ublažavaju se izvori vibracija smanjivanjem, izbjegavaju se zračne turbulencije promjenom visine ili promjenom letne rute. Modificiraju se putovi prijenosa, postavljaju se sjedišta i nasloni na opruge, koriste se rukavice od spužvaste gume, ugrađuju se zračni jastuci, elastične nogare i slično. Mijenjaju se dinamička svojstva tijela zauzimanjem položaja kojim se smanjuje kontrakcija mišića na vibracije koje dopiru do glave. [2]

4. BUKA I VIBRACIJE UZROKOVANE PROPELEROM I POTISNIKOM

4.1. Buka uzrokovana propelerom

Elisnomlazni , vartilno mlazni motor patentiran je 1929. godine na području današnje Republike Mađarske. Patentirao ga je Gyorgy Jendrassik. Najveći razvoj elisnomlaznog motora dogodio se za vrijeme razvoja vojne industrije, posebno za potrebe Drugog svjetskog rata u Njemačkoj. Prednost turboelisnih motora u to vrijeme bila je u masovnoj proizvodnji zbog vojnih operacija. Bio je pouzdan i lako se održavao. U to vrijeme infrastruktura nije bila na velikom stupnju razvoja kao što je danas, pa se velik broj sletnih staza za zrakoplove izgrađivao na poljoprivrednim zemljištima. Zrakoplovi s turboelisnim pogonom mogli su poletjeti i sletjeti na bilo kakvu podlogu ukoliko je dovoljno dugačka. Ipak, uzrokuje preveliku buku prilikom manevriranja na zračnim lukama. [4]

Buka zrakoplova predstavlja optimizaciju zrakoplova u jednu cjelinu koju tvore:

- Mala brzina,
- Buka motora,
- Buka strukture,
- Buka u letu. [1]

Pogonska skupina obuhvaća mlazne i elisne motore. Prema kategorizaciji pogonskih skupina, zrakoplovi elisnog pogona su dosta tiši i stvaraju manje buke u odnosu na ostale vrste pogona. Buka koju stvaraju klipni i turboelisni zrakoplovi znatno je manja, a sam izvor buke je elisa. Buku pogonskih skupina uzrokuju svi dijelovi i uređaji koji služe ostvarenju opstrujavanja zraka oko uzgonskih površina. U tu svrhu primjenjuju se:

- kompresorski: turbo-mlazni (engl. Turbojet), obtočni ili ventilatorski (engl. Turbofan)
- kombinirani: elisno-mlazni i vratilno-mlazni (engl. Turboprop, Turboshaft)
- nabojno mlazni motori (engl. Ramjet, Scramjet). [11]

Propelerski pogon u suvremenom svijetu nije više toliko značajan niti zastupljen u komercijalnim zrakoplovima. Najčešće se primjenjuje u zrakoplova manjih veličina. Propeler odnosno elisa predstavlja rotor koji ima minimalno dva kraka čiji je korak fiksni ili promjenjiv. Dizajn krakova je takav da omogućuju stvaranje područja niskog tlaka s jedne strane, te područje povišenog tlaka s druge strane ravne rotacije. Masa zraka pokreće se uzduž rotacione osi i time stvara potisak. Propfan motor se također karakterizira kao otvoreni rotor, no ukoliko se uspoređuje s propelerom, manjeg je promjera i ima više krakova. U standardnim zrakoplovima ugrađen je propeler koji je visoko iskoristiv u kraćim i srednjim doletima. Ovakvi propeleri izgrađeni su od minimalno dva i najviše šest krakova, te predstavljaju optimalno rješenje za ostvarenje brzine do otprilike 0,65 Ma. Kako bi se poboljšale karakteristike propelera za veće brzine, razvijeni su ventilatorski propulzori. Obzirom da imaju više krakova no propeleri, te da im je aeroprofil tanji i uvijen, imaju bolje aerodinamičke sposobnosti pri većim brzinama. [5]

Usmjerenje izvora polja buke koje stvara propeler je frekvencijsko tonalno i prostorno. Mehanizam nastanka buke propelera povezuje se s debljinom krakova i aerodinamičnim tlakovima na krakovima koji uzrokuju pritisak i zaokretni moment. Turbulencija koja nastaje na graničnom sloju kraka u nadolazećoj struji zraka isto predstavlja izvor buke ali širokopoljarnog spektra, dok je buka niske razine. Razina buke koja nastaje propelerom uvjetovana je brojnim čimbenicima, a to su:

- Obodna i progresivna brzina vrha kraka,
- Oblik aeroprofila kraka,
- Broj krakova,
- Uravnoteženost rotirajućih dijelova propelera,
- Udaljenost promatrača. [4]

Buka propelera može biti različitih izvora, a izvori se dijele na stalne, promjenjive i slučajne. Stalni izvori su oni izvori koje promatrač percipira kao vremensku konstantu. Proizvode buku koja je periodična. Stalni izvori uzrokovani su debljinom aeroprofila iz poprečnog periodičnog pomaka zraka zbog prolazećeg kraka propelera. Pri umjerenim brzinama vrtnje propelera, izvori buke su zbog debljine i opterećenja linearne prirode i djeluju na površini aeroprofila. Ukoliko brzina opstrujavanja na aeroprofilu propelera djeluje u razini brzine zvuka, pojačavaju se nelinearni efekti, dok lokalni efekti u mediju koji okružuje aeroprofile krakova postaju izvori buke koja je intenzivna. Promjenjivi izvori vremenski su ovisni o položaju referentne ravnine rotacije propelera prema nadolazećoj struji zraka. Posjeduju varijacije periodične i slučajne prirode. Tipično je to efekt napadnog kuta vratila propelera. Ukoliko je os propelera nagnuta prema pravcu nadolazeće struje zraka, na svakom kraku dolazi do cikličke promjene u lokalnom napadnom kutu.

Za posljedicu dolazi do promjene opterećenja na kraku tijekom okreta. Za vrijeme jednog okreta opterećenje se može mijenjati jednom ili više puta, ovisno o razini poremećenosti nadolazeće struje zraka. Promjenjiva opteretna buka vrlo je bitna u dvostrukih propelera na zajedničkoj osnovi suprotnog smjera rotacije. Iako ne posjeduje dodatne izvore buke, u ovoj vrsti propelera aerodinamična interferencija dvaju rotora vidljivo utječe na podizanje promjenjive opteretne buke, posebice pri manjim brzinama leta, te prilikom polijetanja i slijetanja. Svaki prednji propeler ostavlja mlaz koji udara u stražnji.

Mlaz može biti kompleksan i sastavljen od niskog strujanja koje nastaje na pojedinim dijelovima kraka i vrtloženja na vrhu kraka. Slučajni izvori djeluju na proširenje spektra buke i tipično je to za generatore širokopojasne buke. Dva su izvora širokopojasne buke, jedan izvor nastaje zbog interakcije nadolazeće turbulentne struje zraka s napadnim rubovima krakova, dok drugi izvor nastaje generiranjem promjenjive opteretne buke na izlaznim rubovima krakova, što je uzrokovano razvojem turbulentnog graničnog sloja na njihovim površinama. Pri tome parametri buke ovise o karakteristikama graničnih slojeva. [6]

4.2. Zaštitne mjere protiv buke uzrokovane propelerom

Okruženje u kojem je dominantna buka nižih frekvencija često se može poboljšati aktivnom kontrolom buke. Najčešće se ova vrsta buke pojavljuje kod zrakoplova s propelerima. U zadnjem desetljeću sve češće se navode ekološki problemi koje izaziva akustična buka, a buka u domovima je sve više u centru pozornosti. U raznim industrijama buka nastaje zbog motora, ventilatora, transformatora i kompresora. Buka također djeluje ometajuće pri vožnji automobila, na brodovima, u vlakovima, te u zrakoplovima.

Vozila koja postižu velike brzine izrađena su od laganih i kompozitnih materijala, ali uzrokuju povećanu buku. Primarno u niskofrekventnim područjima nije cilj samo zaštita od potencijalnih oštećenja sluha, već i smanjenje umora, nelagode i gubitka koncentracije do koje buka dovodi. Zbog smanjenja koncentracije može doći do povećanja rizika od nesreća. Propeleri su funkcionalni i rade dobro sve do situacije kada brzina leta nije dovoljno visoka da protok zraka pokraj vrhova lopatica dosegne brzinu zvuka. Nakon dosegnute brzine, snaga kojom se pokreće propeler pretvara se u potisak propelera i snaga opada. Zbog navedenog se turboprop motori ne primjenjuju u zrakoplovima. Motori s propelerom koji su slični turboelisnim motorima mogu letjeti brzinama sve do 0,75 Macha.

Kako bi se održala učinkovitost propelera pri širokim rasponima brzina, turboelisi propeleri imaju propelere čija je brzina konstantna. Lopatice propelera čija je brzina konstantna imaju povećanje nagiba s ubrzanjem zrakoplova. Prednost ove vrste propelera je i u tome da može generirati obrnuti potisak s ciljem smanjenja zaustavnog puta na pisti. Ukoliko dođe do kvara motora, propeler se može zaokružiti, pa se na taj način minimizira otpor propelera koji nije funkcionalan. Inženjeri za kontrolu buke koriste aktivni sustav za kontrolu buke. Tijekom osamdesetih i devedesetih godina prošlog stoljeća aktivno se radilo na kontroliranju buke u zrakoplovima. Izrađivale su se analize u teoriji, simulatori, vršili su se laboratorijski eksperimenti i testiranja letova. Tehnika SAAB 340 primjenjena je u prvom komercijalnom turboprop zrakoplovu. [6]

5. REGULACIJA BUKE ZRAKOPLOVA

5.1. Međunarodna regulativa buke zrakoplova

Tijekom 90ih godina prošlog stoljeća intenzivno se istraživalo kako regulirati buku koju stvaraju zrakoplovi. Za vrijeme listopada 1990. godine ICAO je donio rezoluciju prema kojoj je predviđeno da se iz prometa povuku svi zrakoplovi koji se prema kriteriju bučnosti svrstavaju u drugu kategoriju. Iste godine američki kongres donosi rezoluciju "The Airport Noise and Capacity Act of 1990". Kroz ove dvije rezolucije postavljen je standard i opće smjernice za razvijanje svjetskih politika o budućem razvoju zrakoplovstva i smanjenju buke. Međunarodne norme planirale su se postupno provoditi kroz sljedećih deset godina kako nagle izmjene ne bi uzrokovale ekonomske udare. Zamjena zrakoplova druge kategorije, koji su predstavljali ukupnu flotu kompanije, planirala se obaviti prema sljedećem planu:

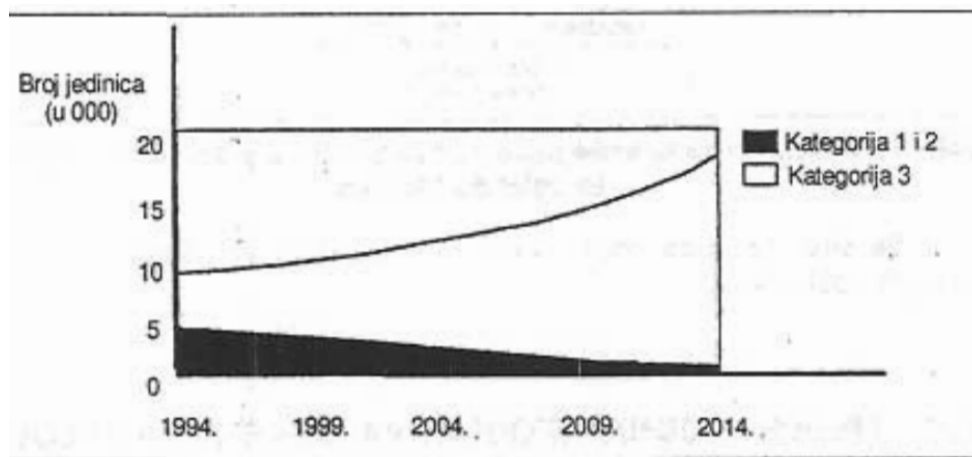
- 25% zrakoplova do kraja 1994.,
- 50% zrakoplova do kraja 1996.,
- 75% zrakoplova do kraja 1998.,
- 100% zrakoplova do kraja 1999. [1]

Shodno traženom uvođenju promjena i zamjene zrakoplova druge kategorije, američki poduzetnici odlučili su se za nabavu i ugradnju kompleta koji bi utišao postojeće zrakoplove. S druge strane, europski poduzetnici češće su kupovali nove zrakoplove i potpuno zamjenjivali flote. Najbrojniju flotu zrakoplova tada su predstavljali zrakoplovi B737-100/200 i DC-9, te su se za njih proizveli kompleti za utišavanje motora. Tako je modificirani zrakoplov Chapter 2 postao zrakoplov kategorije tri. Eko modifikacija zrakoplova kretala se u iznosu od 2,4 do 3,6 milijuna američkih dolara.

Odabir različitih opcija zamjene zrakoplova ponajprije je ekonomske naravi. Europskim zrakoplovima druge kategorije naplaćivale su se i do 300% veće pristojbe slijetanja. Europskim poduzetnicima u zrakoplovstvu koji su posjedovali flotu modificiranih zrakoplova nameti su bili i za 30% veći, kao i kaznene pristojbe, a

također su bile moguće i zabrane noćnih letova. Različiti pristup prema američkim i europskim prijevoznicima leži u činjenici da je u to vrijeme Europa imala veći porast i trend prometovanja, a većina europskih prijevoznika izravno ili posredovano bila je subvencionirana kroz državna sredstva.

Američki prijevoznici modificirali su postojeće flote obzirom na financijsku mogućnost zamjene više stotina bučnih zrakoplova. Međunarodno udruženje zračnih prijevoznika, IATA³, nije podržavala vrijednosti starih zrakoplova. Zbog toga prijevoznici ne bi imali mogućnost zamjene flote. U nekim europskim zračnim lukama zalagalo se za primjenu oštrijih normi za treću kategoriju i željela se provesti regionalna normizacija putem zajedničke europske zrakoplovne regulative. Smatralo se da su razlike između druge i treće kategorije modificiranih zrakoplova zanemarive. Zakonske regulative koje su određene u SAD-u i Europi uzrokovale su promjenu postojećih struktura zrakoplova na nivou svjetskog zrakoplovstva. Na sljedećem grafu prikazano je kako bi se trebao kretati odnos broja zrakoplova iz pojedinih kategorija u razdoblju od 1994.-2014. godine. [1]



Slika 5. Kategorije zrakoplova 1994.-2014.

Izvor: Golubić J. Promet i okoliš. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 1999. p.161. [1]

³ IATA- Međunarodno udruženje zračnih prijevoznika

Prilikom konstrukcije zrakoplova, proizvođači pružaju sve veću pozornost korištenju različitih vrsta materijala te se tako udaljuju od klasične metalne konstrukcije. Svrha korištenja novih vrsta materijala je upravo da zrakoplov bude što lakši, ali uz ispunjen uvjet sigurnosti. Materijali izrade nove generacije zrakoplova su kompozitni materijali. Nastaju spajanjem dvaju ili više materijala različitih svojstava s ciljem dobivanja materijala poboljšanih svojstava. Kompozitni materijali sastoje se od jakih vlakana, poput staklenih ili ugljičnih vlakna postavljenih u matricu s plastikom ili epoksidnom smolom. [12]

Politike reguliranja buke najviše su pogodile zrakoplovne kompanije koje su djelovale u području Afrike, Latinske Amerike i Istočne Europe. Njihova se tadašnja flota uglavnom sastojala od zrakoplova druge kategorije, a čak i zrakoplovima prve kategorije. U navedenim područjima nisu bila dostupna financijska sredstva za kupnju novih zrakoplova, a istovremeno su navedena područja bila ograničena brojnim novčanim izdavanjima zbog naknade za povećanje bučnosti prilikom letova. Najveći pritisak bio je na području Europe. Zrakoplovne kompanije iznijele su procjenu koliko će zrakoplova ostati neupotrebljivo ukoliko se politike reguliranja buke i zabrane letenja počnu primjenjivati odmah. Ovu procjenu iznijele su zemlje članica ECAC-a⁴, odnosno SAD, Australija, Japan i Novi Zeland. Prema procjeni njihovog istraživanja, zabilježeno je da većina od 1356 zrakoplova druge kategorije koja je registrirana u nerestriktivnim područjima ne bi bila znatno pogođena donešenim zabranama, te da bi zrakoplovne kompanije iste zrakoplove mogle iskoristiti za druge rute. Tako se iz uporabe trebalo povući samo 358 zrakoplova iz druge kategorije.

U sljedećoj tablici prikazan je broj zrakoplova druge kategorije u periodu od 1995.-2005. koje je bilo potrebno zamijeniti ili utišati.

⁴ ECAC- Europska konferencija civilnog zrakoplovstva; osnovana kao međuvladina organizacija Međunarodne organizacije civilnog zrakoplovstva i Vijeća Europe u Francuskoj

Tablica 3. Zrakoplovi kategorije 2 koje je trebalo zamijeniti ili utišati, 1995.-2005.

	1995	2000	2005
Uskotrupni zrakoplovi	219	142	76
Širokotrupni zrakoplovi	45	34	18
Ukupno	264	176	97
Postupak u cjelokupnoj floti	11	6	3

Izvor: Golubić J. Promet i okoliš. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 1999. p.164. [1]

Za vrijeme perioda zamjene zrakoplovnih flota, ukoliko bi se pojedina zrakoplovna kompanija susrela s problemom nezadovoljavanja osnovnih normi u vezi regulacije buke, zrakoplovna kompanija je kao rješenje imala sljedeće opcije:

- Prestanak leta neadekvatnim zrakoplovima i zamjena istih zrakoplovima novih generacija,
- Izvršenje propisanih i odobrenih modifikacija postojećih motora zrakoplova s ciljem smanjenja buke,
- Zamjena postojećih motora novima prema novim propisima i kriterijima.

5.2. Propisi o buci

Buka zrakoplova je iznesena prvi put kao ozbiljan problem na ICAO Vijeću 2. travnja 1971. godine. Sa preporučenim praksama u području buke zrakoplova nastao je Annex 16 ICAO čikaška konvencija pod nazivom „Zaštita okoliša“. Međunarodnim nacionalnim propisima regulirane su buka zrakoplova te emisije ispušnih plinova. ICAO je upravo obradio navedene propise unutar Annexa 16 te isti sadrži dva dijela (eng. Volume I & Volume II). Volume I se odnosi na standarde i preporuke za područje buke zrakoplova, a Volume II obuhvaća emisiju ispušnih plinova¹¹. Unutar istog definirane su metode mjerenja razine buke zrakoplova te dozvoljene granice razine buke za sve tipove zrakoplova i helikoptera. Dopuštene razine ovise o najvećoj masi i broju motora zrakoplova, pa su stoga različite za svaki model¹². Sukladno tome, Annex 16 ICAO predstavlja temeljni dokument za reguliranje problema buke u zrakoplovstvu. [15]

Pravilnici o buci- FAA⁵, podijeljeni su u više dijelova kroz koje se izdaju zapovijedi i napuci za regulaciju buke u zrakoplovstvu. Kroz navedene zapovijedi i procedure FAA osoblje mora izvršavati dužnosti, a napuci predstavljaju pismene dokumente koji osiguravaju korisno vođenje i informacije o američkim propisanim normama. Kroz FAR dio 36 standardizirana je buka zrakoplova kojoj zrakoplov mora udovoljavati kako bi imao dozvolu tipa i mogućnost za letenje na području SAD-a. Prvi standardi provedeni su 1969. godine primjenom nad civilnim podzvučnim turbomlaznim i velikim elisnim zrakoplovima, a naknadno su izdati propisi za nadzvučne male zrakoplove, elisne i rotorske zrakoplove kao što je helikopter. [4]

Kroz FAR dio 36 propisane su i procedure namjenjene proizvođačima zrakoplova kao i ostale mjere za korištenje u mjerenju buke zrakoplova koje su potrebne za izdavanje dozvola. FAA objavljuje i dodatne naputke za rezultate mjerenja prema kojima se od 1977. godine postavljaju mnogo strože granice za klasifikaciju zrakoplova. Tako se kategorizacija dijeli na:

⁵ FAA(Federal Aviation Administration)- Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo; agencija američkog Ministarstva prometa nadležna za reguliranje i nadziranje svih aspekata civilnog zračnog prometa u SAD-u.

- Kategorija 1- zrakoplovi koji su letjeli prije usvajanja propisa i nikad nisu zadovoljili nove određene propise,
- Kategorija 2- zrakoplovi koji odgovaraju originalnim ograničenjima emisije buke iz 1969. godine ali ne i promijenjenim ograničenjima iz 1977. godine,
- Kategorija 3- zrakoplovi koji su nove generacije, tiši tipovi zrakoplova koji odgovaraju novim ograničenjima postavljenim 1977. godine. [1]

Kroz FAR⁶ dio 91 ograničene su operacije civilnih zrakoplova u SAD-u prema naputku koji se temelji na FAR dio 36. Pravilnikom je ograničena operacija civilnih podzvučnih turbo mlaznih zrakoplova s maksimalnom težinom od 75000 lb⁷, osim ukoliko ne spadaju u drugu i treću kategoriju prema FAR dio 36. za vrijeme 1990. godine savezna vlada donosi akt o aerodromskoj buci i kapacitetu, a kroz navedeni akt poziva se FAA na razvijanje državnih politika prema zrakoplovnoj buci i propisa za primjenu iste. Djelomično je to postignuto kroz amandmane FAR dio 91, pa se zahtijeva uklanjanje druge kategorije zrakoplova do kraja 1999. godine uz ograničene izuzetke do 2003. godine. Time se planira na snazi ostaviti samo treća kategorija zrakoplova. FAR dio 150 sastoji se od karte izloženosti buci te dokumentacije i programa o kompatibilnosti buke. Kroz FAR dio 161 uspostavljaju se zahtjevi kojima moraju udovoljiti aerodromski operatori prije propisivanja aerodromskih ograničenja pristupa ili buke druge kategorije zrakoplova. [5]

Osim standarda i preporuka ICAO-a koje se odnose na negativan utjecaj te razine buke zrakoplova, države članice Europske unije udovoljavaju i direktivama unije. Glavne direktive Europske unije su direktiva 2002/30/EZ i 2002/49/EZ. S obzirom da su stupile na snagu 2002. godine, Europski parlament se odlučio na reviziju istih 2014. godine. Unutar nove direktive nalazi se prijedlog utvrđivanja pravila i postupaka povezanih s uvođenjem operativnih ograničenja buke na zračnim lukama Europske unije. Unutar plana nove direktive, osim smjernica načina revizije, nalazi se i prilog o reviziji direktive 2002/49/EZ vezanu uz utjecaj buke na čovjeka. Revizija navedene direktive temelji se na radu Svjetske zdravstvene organizacije. [16]

⁶ FAS (Federal Aviation Regulations)- savezni zračni propisi za pravila koja je propisala Savezna uprava za zračni promet koja reguliraju sve zračne aktivnosti u Sjedinjenim Američkim Državama.

⁷ Lb (Pound)- libra proizlazi iz latinske riječi koja označava jedinicu za mjerenje mase

5.2.1. Direktiva 2002/30/EZ

Direktiva 2002/30/EZ Europskog parlamenta i Vijeća predstavlja pravni akt kojim se utemeljuju pravila i postupci u pogledu uvođenja operativnih ograničenja vezanih uz buku na zračnim lukama Europske unije. Stupila je na snagu 26. ožujka 2002. godine. Direktiva Europske unije obvezuje u smislu rezultata koji se njome ostvaruje, no nacionalnim vlastima prepušta izbor metode provedbe. Sukladno tome direktiva služi približavanju, a ne potpunom izjednačavanju prava država članica. Direktivom 2002/30/EZ utemeljeno je da svaka članica treba izraditi nacrt buduće strategije kontroliranja buke zrakoplova za pojedine zračne luke. Točnije, na onim zračnim lukama gdje im se omogućuje izbor mjera koje su ekonomski i ekološki prihvatljive. Kako bi se provela operativna ograničenja na pojedinim zračnim lukama, potrebno je unaprijediti razvoj kapaciteta aerodroma u skladu s okolišem te omogućiti izbor mjera za smanjenje razine buke među onima koje su raspoložive. Cilj Direktive 2002/30/EZ je upravo omogućiti održivi razvoj, odnosno postići najveće koristi za okoliš uz najnižetroškove. Osim toga, navedena Direktiva zahtjeva povlačenje zrakoplova koji granično udovoljavaju dopuštenoj razini buke koju proizvode. [17]

5.2.2. Direktiva 2002/49/EZ

Direktiva 2002/49/EZ Europskog parlamenta i Vijeća predstavlja pravni akt o procjeni i upravljanju bukom iz okoliša. Predložena je od strane Europske unije te je stupila na snagu 25. lipnja 2002. godine. Gledajući na područje primjene, ova Direktiva se primjenjuje na buku iz okoliša kojoj su ljudi izloženi posebno u izgrađenim područjima, javnim parkovima ili u naseljenim područjima u prirodi, pored škola, bolnica i drugih zgrada i područja osjetljivih na buku. Europski parlament odredio je utvrđivanje mjerao smanjenju buke iz okoliša, a za metodu određivanja upotrebljavaju se indikatori buke, točnije Lden (indikator buke za ukupno smetanje) i Lnight (indikator buke koja remeti san). Bitno je navesti da je tako Europski parlament podržao tzv. Zelenu knjigu Komisije te su Države članice do srpnja 2005. godine morale priopćiti podatke o graničnim vrijednostima unutar njihova teritorija. Granične

vrijednosti bile su izražene pomoću navedenih indikatora buke, a prema potrebi Lday (indikator dnevne buke) i Levening (indikator večernje buke) za buku zrakoplova u okolici zračne luke. [18]

Svrha navedene Direktive je definiranje zajedničkog pristupa usmjerenog na sprečavanje ili smanjivanje štetnih učinaka izloženosti buci. U svrhu ostvarenja navedenog cilja provode se mjere poput osiguravanja da podaci o buci iz okoliša i njezinim učincima budu dostupni javnosti, utvrđivanje izloženosti buci izradom karata buke te izrada akcijskih planova od strane država članica, temeljenih na rezultatima izrade karata buke.

Strateške karte buke predstavljaju se javnosti kao grafički prikaz ili numerički podatak. Služe kao izvor informacija te kao temelj urbanističkog planiranja nekog područja. Osim toga, usklađuju se s izmjenama u prostoru te obavezno obnavljaju nakon svakih pet godina od dana izrade. Strateške karte buke obuhvaćaju samo jedan određeni izvor buke, tj. u ovom slučaju zračni promet s pripadajućom infrastrukturom.

Obavezu izrade strateških karata buke imaju naseljena područja s više od 100 000 stanovnika te u zračnom prometu vlasnici zračnih luka s više od 50 000 operacija godišnje.

5.3. Zakon o zaštiti od buke u Republici Hrvatskoj

Prema Zakonu o zaštiti od buke (NN 30/09, 55/13, 153/13, 41/16, 114/18, 14/21) utvrđene su mjere s ciljem izbjegavanja, sprječavanja ili smanjivanja štetnih učinaka buke na zdravlje ljudi. Prema navedenom zakonu utvrđuje se izloženost buci prema izrađenim kartama buke na temelju metoda za ocjenu buke u okolišu, osiguravaju se javno dostupni podaci o buci, izrađuju se i donose akcijski planovi koji su utemeljeni na podacima korištenim u izradi karata buke. Odredbe navedenog zakona primjenjuju se za ocjenjivanje i upravljanje bukom iz okoliša kojoj su izloženi ljudi, posebno u izgrađenim područjima i područjima osjetljivim na buku. Zakon je usklađen s propisima Europske unije, pa je tako preuzeta Direktiva 2002/49/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 25. lipnja 2002. godine o procjeni i upravljanju bukom iz okoliša. [7]

Mjere zaštite od buke primjenjuju se s ciljem sprječavanja nastanka emisije prekomjerne buke, a postojeća buka se nastoji smanjiti na dopuštenu razinu. Zaštitu od buke dužna su provoditi tijela državne uprave, lokalne i područne jedinice samouprave, te pravne i fizičke osobe koje obavljaju registrirane djelatnosti. Prema zakonu su zabranjene djelatnosti koje izazivaju buku štetnu po zdravlje čovjeka. Prema članku 7 istog zakona, naselja s više od 100 000 stanovnika obvezno moraju imati izrađene strateške karte buke i akcijske planove. Prema članku 18, inspeksijski nadzor zaštite od buke provode sanitarni inspektori Državnog inspektorata. Ovlašteni su za naredbe akustičnih mjerenja pravnim i fizičkim osobama koje koriste izvore buke u sredini u kojoj borave ljudi, ovlašteni su za naredbe poduzimanja propisanih utvrđenih mjera za zaštitu od buke, zabrane obavljanja djelatnosti i ostalih aktivnosti koje ometaju boravak, odmor i noćni mir. [8]

Prema Zakonu o izmjenama i dopunama Zakona o zaštiti buke, NN 14/2021, strateške karte buke moraju biti usklađene s izmjenama u prostoru i obvezno se moraju obnavljati svakih pet godina od dana izrade, odnosno odobravanja. [9]

5.4. Regulacija buke na Zračnoj luci Frankfurt

Zračna luka Frankfurt jedna od najutjecajnijih i prometnijih Zračnih luka u Europskoj uniji. 2018 godine bila je 14. najprometnija zračna luka u svijetu i 4. u Europi. Kroz zračnu luku Frankfurt prolazi godišnje 69 milijuna putnika. Prema statistici zračne luke u 2018. godini bilo je 1403 kretanja dnevno odnosno jedno kretanje svakih 46 sekundi. Zračna luka Frankfurt radi od 5:00 sati do 23:00 sata.

Zračna luka ima 4 uzletno-sletne staze. Tri staze usmjerene su istok-zapad, četvrta je usmjerena sjever-jug. Uzletno-sletne staze koriste promjene prema smjeru i brzini vjetra. U normalnim uvjetima, dvije vanjske staze između 3 paralele trebale bi se koristiti za slijetanje, dok druge dvije za polijetanje. S obzirom da se s lijeve strane zračne luke nalaze stambena naselja uz samu zračnu luku, kad god je to moguće, za slijetanje se preferira smjer zapada. U godišnjem prosjeku ovaj se smjer koristi oko 70% puta. [19]

Mnogi prosvjedi su organizirani od planiranja treće uzletno sletne staze (one usmjerene sjever-jug) 1973. godine, što bi donijelo povećanje buke i sječu šume gradu Frankfurtu. Prosvjedi nisu uspjeli, a uzletno sletna staza je izgrađena. Godine 1997., nakon planova za izgradnju 4. uzletno sletna staza, pojavili su se novi prosvjedi. Dogovoreno je da su građani trebali sudjelovati u planiranju uzletno-sletne staze te je dogovorena izgradnja sletne staze za manje zrakoplove, samo 2,8 km kraće od ostale 3. Godine 2011. prvi je let sletio na 4. uzletno sletnu stazu, a 2012. dogodio se prvi prosvjed povezan s bukom. [19]



Slika 6. Tlocrt zračne luke Frankfurt

Izvor: Europski parlament. Preuzeto sa:

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/650787/IPOL_STU\(2020\)650787_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/650787/IPOL_STU(2020)650787_EN.pdf) [Pristupljeno: 13.08.2022.]

Zračna luka vrlo je aktivna u smanjenju buke. Godine 2007. prvi paket postupaka aktivnog smanjenja buke za frankfurtsku zračnu luku potpisali su Fraport, njemačka pokrajina Hessen, DFS Deutsche Flugsicherung, Lufthansa i organizacija Regionalni forum za dijalog (RDF). Od početnih 7 mjera za borbu protiv buke, ovaj se program kontinuirano proširivao kroz godine, s mjerama koje su već uspostavljene i ostalima koje su u razvoju. Ovim je mjerama frankfurtska zračna luka postala pionir u postupcima aktivnog smanjenja buke⁹⁶. Zračna luka koristi ili testira nekoliko tehnika, s fokusom na izvor buke, operacije zrakoplova i stambena područja.

Frankfurt podupire korištenje tiših zrakoplova i pristupa uzletno sletnoj stazi: [19]

- Lufthansa 737CEO akustičnim pločama i njihovo povlačenje u bliskoj budućnosti
- Modernizacija flota
- Modulacija pristojbi zračnih luka povezanih s bukom: što je zrakoplov bučniji, to zrakoplovna tvrtka više plaća. Na taj se način zrakoplovne tvrtke potiču na korištenje tiših zrakoplova.
- Povećati korištenje zapadnog smjera.
- Izbjegavajte započinjanje konačnog prilaza preko naseljenih područja.
- Planiranje izmjene postojećih smjerova uzlijetanja.

Kako bi se uskladili s povećanjem buke koja se očekuje zbog proširenja same zračne luke, zračna luka Frankfurt stvorila je program CASA. Dobrovoljnu inicijativu zračne luke koja se obvezala kupiti kuće (ili nadoknaditi vlasniku) iznad koje zrakoplovi leta na udaljenosti manjoj od 350 metara. Zračna luka nadoknađuje ljudima koji kupio kuće prije plana proširenja zračne luke. Ukupni trošak programa je preko 100 milijuna eura. [19]

5.5. Regulacija buke na Zračnoj luci Vienna

Međunarodna zračna luka Beč, najveća je zračna luka u zemlji i služi kao čvorište za Austrian Airlines i Eurowings Europe. Smještena je 18 km jugoistočno od grada beča, te je zračna luka opslužila više od 27 milijuna putnika u 2018. godini.

Zračna luka ima 2 piste, okrenute u smjeru istok- zapad i jugoistok-sjeverozapad. Uzletno- sletne staze koriste promjene prema smjeru i brzini vjetra. Ciljni sporazum sadrži ciljne vrijednosti u pogledu distribucije letova, a zračna luka prati usklađenost s tim vrijednostima. Međutim, iz sigurnosnih razloga, zračna luka osigurava polijetanje i slijetanje zrakoplova uz vjetar. Zračna luka Beč sastoji se od 3 terminala:

- Terminal 1 je renoviran u siječnju 2013. i sada ga uglavnom koriste neki zrakoplovni prijevoznici Oneworld i SkyTeam te Turkish Airlines.
- Terminal 1A, smješten u samostalnoj zgradi nasuprot terminala 1, ugošćuje objekte za prijavu na let za brojne niskotarifne prijevoznike.
- Terminal 2 renoviran je između 2016. i kasne 2021. [9] i sada ima nova područja za sigurnosne preglede i preuređenu jedinicu za povrat prtljage [11].
- Terminal 3, koji se također naziva terminalom austrijskog Star Alliancea, sa svojim susjednim dvoranama F i G najnoviji je objekt zračne luke. Koriste ga Austrian Airlines, većina članica Star Alliancea i niz drugih prijevoznika uključujući Emirates, El Al, Korean Air, Royal Jordanian i Qatar Airways. Planirano proširenje odgođeno je na neodređeno vrijeme.



Slika 7. Tlocrt zračne luke Beč

Izvor: Europski parlament. Preuzeto sa:

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/650787/IPOL_STU\(20\)650787_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/650787/IPOL_STU(20)650787_EN.pdf) [Pristupljeno: 13.08.2022.]

U zračnoj luci Beč buka koju stvaraju svi zrakoplovi koji polijeću i slijeću mjeri se sustavom FANOMOS98 koji se sastoji od 14 stacionarnih i četiri mobilne stanice za snimanje koje prate sva kretanja u letu na temelju podataka o informacijama o letu koje dostavlja Austro Control. Snimljene staze leta koriste se za mapiranje stvarnih zona buke, a također se koriste za pridržavanje propisanih putanja prilaza i odlaska. Snimljeni podaci o buci povezani su sa zapisima o putanji leta sustava RAFIC (Radar and Flight Information Capture), tako da se informacije mogu koristiti za optimizaciju putanje leta i za prepoznavanje odstupanja od putanje i zrakoplova koji ih je uzrokovao. [19]

Sporazum o posredovanju obrađuje nekoliko važnih tema, a to su: položaj treće uzletno- sletne staze, ograničenja noćnih letova, ograničenja buke, fond za

zaštitu okoliša i programe za spriječavanja buke te se se svaki dio buke mjeri i traži se ideja koje mogu dovesti do smanjenja negativnih učinaka zračnog prometa.

Bečka zračna luka ima ograničenja i noću, budući da je jedna od dogovorenih točaka tijekom postupka posredovanja treće uzletno- sletne staze u bečkoj zračnoj luci koje uvodi ograničenje kretanja letova tijekom noći. Sporazumom letovi između 23:30 i 05:30 moraju se postupno smanjivati na 3000 letova godišnje, što je u prosjeku četiri slijetanja i četiri polijetanja po noći kada treća uzletno sletna staza postane operativna. Korištenje prilaznih i odlaznih putanja regulirano je tijekom noćnih sati, a postoje samo ograničenja letne putanje koje se mogu koristiti u tim razdobljima.

Program zaštite od buke na zračnoj luci Vienna uvelike je proširen od 2007. godine kao odgovor koji građani mogu očekivati olakšanje u sustavu s tri piste, ali još uvijek pate pod sustavom dvije uzletno- sletne staze. Proširenje programa plaća fond za okoliš Flughafen Wien te samim time program zaštite od buke ima strože pragove od standarda, budući da razrađuje planove noću za područja počevši od 45 dB, dok Savezna uredba o okolišnoj buci navodi 55 dB.

Sami program zaštite od buke Flughafen Wien AG osmišljen je za zaštitu zdravlja i dobrobiti stanovnika koji žive u blizini zračne luke. Kućanstva koja imaju stalnu razinu buke od preko 54 dB danju i 45 dB noću, Bečka zračna luka preuzima od 50 do 100% troškova ugradnje zvučno izoliranih prozora i vrata. [19]

6. NAČINI SMANJENJA INTENZITETA BUKE I VIBRACIJE U ZRAČNOM PROMETU

Na globalnom nivou zrakoplovna buka rješava se tehničkim utišavanjem motora zrakoplova u eksploataciji, izmjenom motora i zamjenom zrakoplova koji stvaraju veliku buku novim modelima zrakoplova. Također, organizacijsko tehnološkim pristupom regulira se lokalna gustoća prometa i zadržavanje zrakoplova u zraku te se racionaliziraju početno-završne operacije na zračnim lukama. Najadekvatniji način smanjenja buke je utišavanje buke gradnjom tiših motora i zrakoplova. Uvođenjem treće kategorije zrakoplova omogućuje se eksploatacija aerodroma noću, a samim time i povećanje prometa zbog posljedičnog ukidanja noćnih zabrana. Države koje imaju visoko razvijenu privredu žele iskoristiti svoja dosadašnja ulaganja, te zdravu naciju za daljnji razvoj i opstanak, zbog čega bitno paze na životni okoliš koji utječe na zdravstveno stanje čovjeka. Zbog toga razvijene zemlje inzistiraju na strogim normama koje određene slabije razvijene ekonomske zemlje nisu u mogućnosti prihvatiti, što uzrokuje razilaženja u zadovoljavanju zadanim normama, te se pojavljuje potreba za rješavanjem navedenog problema. [1]

Najbrojniju flotu zrakoplova čine zrakoplovi poput Boeing 737-100 i 200 serije, te DC-9. za njih se proizvode kompleti za modifikaciju čiji troškovi iznose oko 2,4 do 3,6 milijuna američkih dolara. Nastoji se prilikom modifikacije zadržati jednake performanse zrakoplova prilikom leta, kao i korištenje punog zakrilca u istu potrošnju goriva. Od svih europskih zračnih prijevoznika samo je SAS⁸ izvršio modifikaciju zrakoplova DC-9 i naručio nove Boeing 737-600 zrakoplove. Njima je zamijenio starije modele zrakoplova, MD-80 i F-28, kao i Lufthansa. Gotovo svi zrakoplovi istočne proizvodnje ne zadovoljavaju nove kriterije stišavanja buke, a obzirom da nisu prošli proces modifikacije, tržišna cijena im je u drastičnom padu. Stoga se koriste samo za domaće tržište. [4]

⁸ SAS (Scandinavian Airlines)

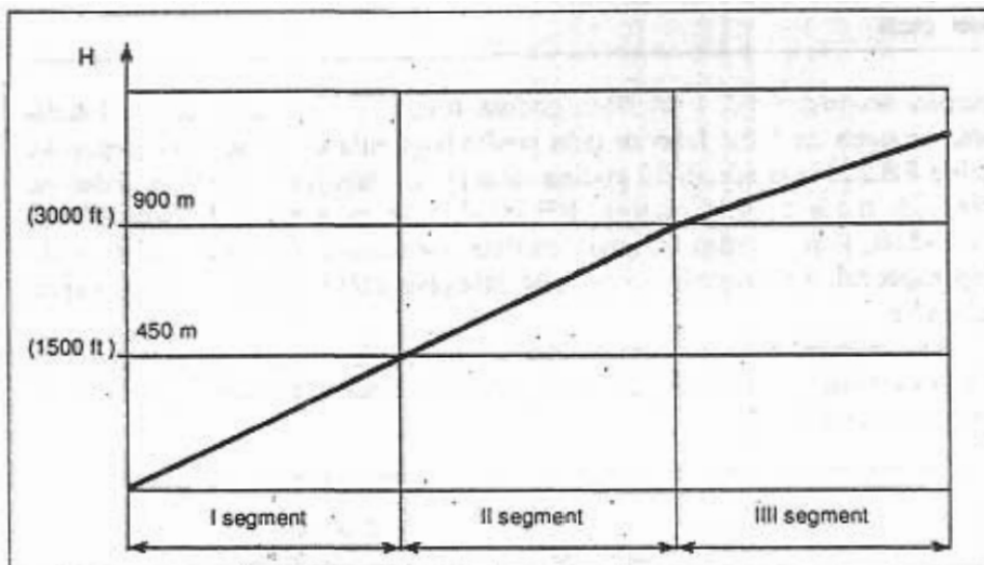
Operativni postupci kojima se utječe na smanjenje buke su sljedeći:

- FAA postupak,
- Povećanje visine na kojoj se u prilazu hvata signal davača,
- Prilaz u dva stupnja,
- LUFTHANSA postupak,
- Prilaženje i odlet krivocrtnom putanjom. [1]

6.1. FAA postupak u polijetanju

Prilikom postupka u polijetanju formuliran je FAA postupak koji je prihvaćen od strane ICAO, a definira tri segmenta kroz koje se definiraju parametri leta za smanjenje razine buke. Prilikom dostizanja visine od 3000 ft⁹, ulazi se u preletno područje koje je osjetljivo na buku. Prvo se primjenjuje tehnika penjanja zrakoplova do visine od 1500 stopa i leti se s potiskom za polijetanje. Time se postiže brže udaljšavanje od zemlje, što uzrokuje smanjenje buke. Postupak je primjenjiv na svim transportnim zrakoplovima te nije potrebna nikakva dodatna ugradnja opreme na zrakoplovima niti na zračnim lukama. Prilikom slijetanja veći je broj postupaka koji utječu na smanjenje buke. Na sljedećoj slici prikazan je standardni postupak prilikom slijetanja zrakoplova. [1]

⁹ Ft (feet)- stopa je mjerna jedinica za duljinu izražena engleski u stopama
1 ft= 0,3048 m



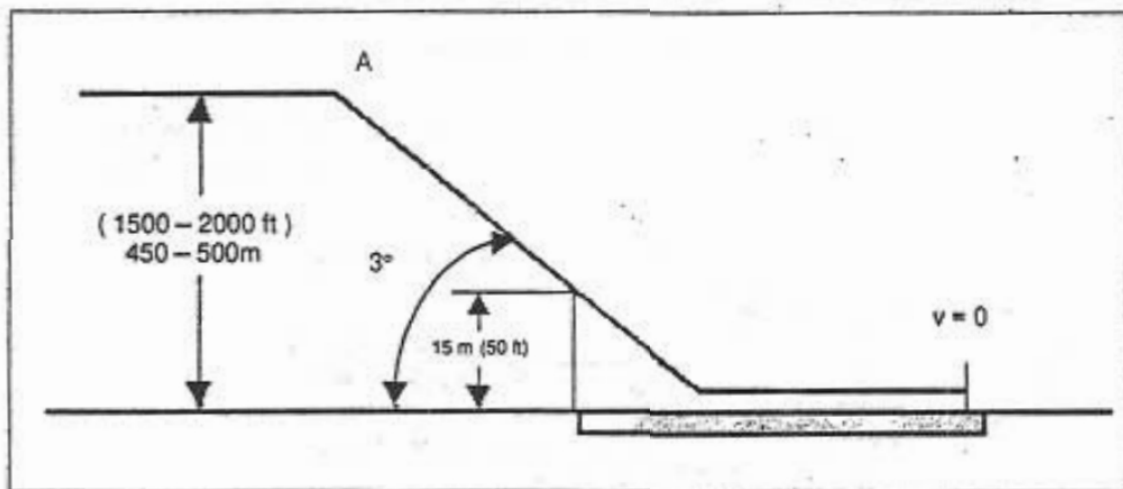
Slika 8 Postupak slijetanja zrakoplova prihvaćen od FAA

Izvor: Golubić J. Promet i okoliš. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 1999. p.173. [1]

Prema slici je prikazana konfiguracija za slijetanje u visini od 1500-2000 stopa iznad zračne luke na koji se slijeće. Pilot prvo hvata signal lokalizera i dovodi zrakoplov u os koja se poklapa s osi USS. Leteći istom ravninom, hvata se signal kuta poniranja, prelazi se u poniranje, zrakoplov se odvodi iznad praga USS na visinu od 15 metara, te se izvodi slijetanje. Od trenutka hvatanja signala lokalizera, zrakoplov je u konfiguraciji za slijetanje uz izvučeni stajni trap, dva prekrilca i tri zakrilca. Za održanje leta, potisak motora mora se povećati dovoljno da se izjednači s ukupnim otporom zrakoplova, što stvara dodatnu buku motora. Izvučeni stajni trap i mehanika krila dodatno povećavaju aerodinamičku buku. Kako bi se buka smanjila, uvedeni su postupci povećanja visine hvatanja signala kuta poniranja, prilaz u dva stupnja, Lufhansae postupak te prilaženje i odlet krivocrtnom putanjom. [6]

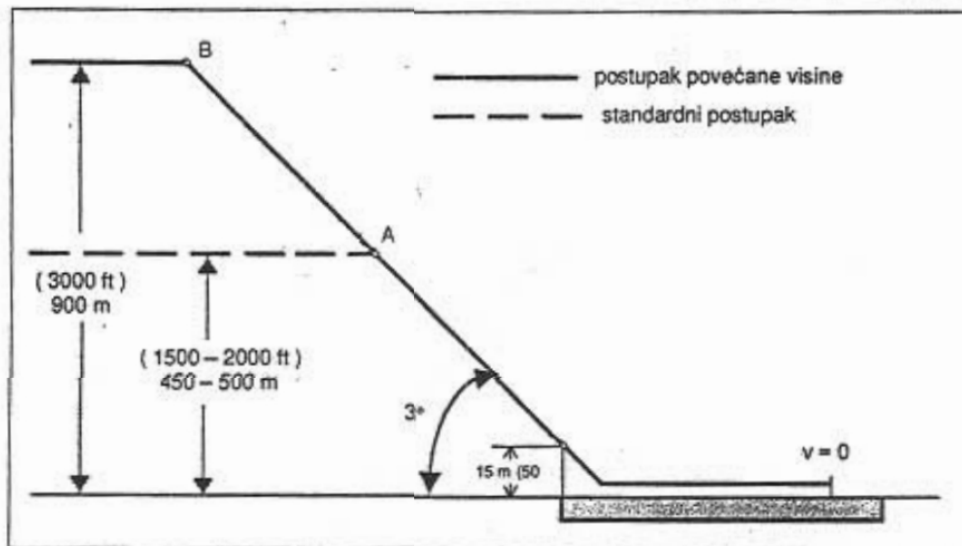
6.2. Povećanje visine hvatanja signala kuta poniranja

Povećanje visine hvatanja signala kuta poniranja je najjednostavniji postupak za primjenu i na zahtijeva ugradnju dodatne opreme na zrakoplovu i na zračnoj luci. Umjesto standardnog hvatanja signala na visini od 1500 stopa, signal se hvata na visini od 3000 stopa. Obzirom da se prilaženje odvija na većoj visini, nivo buke je niži na terenu iznad kojeg zrakoplov leti. [1]



Slika 9. Standardni postupak pri slijetanju

Izvor: Golubić J. Promet i okoliš. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 1999. p.174. [1]

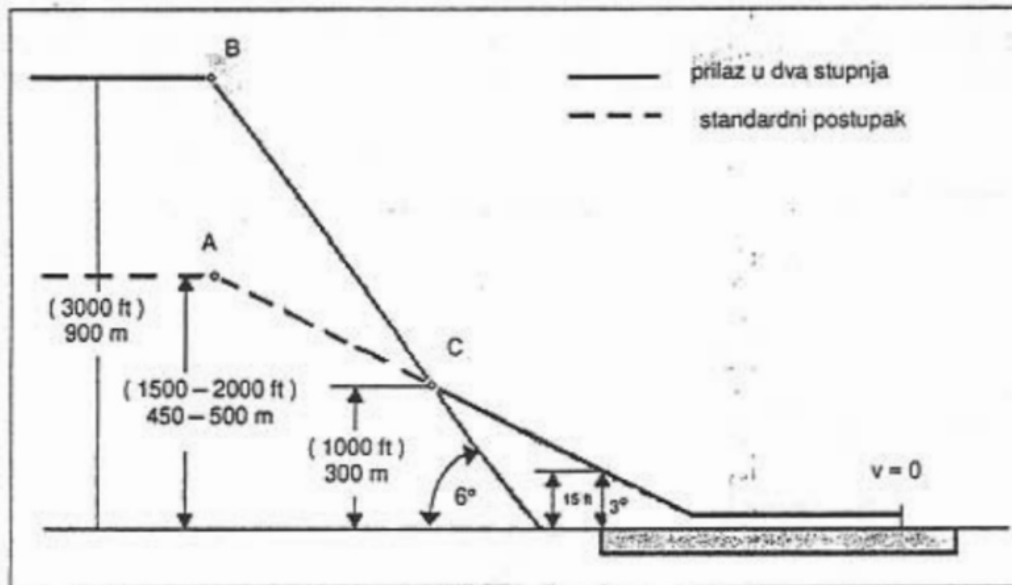


Slika 10. Povećanje visine s koje se hvata kut poniranja

Izvor: Golubić J. Promet i okoliš. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 1999. p. 175. [1]

6.3. Prilaz u dva stupnja

Postupak prilaza u dva stupnja započeo se razvijati u SAD-u, a za primjenu ovog postupka zrakoplov mora biti opremljen specijalnom elektronskom opremom. Aerodromi moraju biti opremljeni dodatnim elektronskim uređajima. Početni dio postupka je jednak standardnom postupku gdje zrakoplov leti na visini od 3000 stopa do određene točke gdje pilot lovi signal kuta poniranja koji je postavljen pod kutem od 60 stupnjeva, te prema istoj putanji zrakoplov se kreće do točke C do visine od otprilike 1000 stopa, gdje se hvata signal standardnog kuta poniranja, nakon čega se vrši zadnji dio prilazanja i slijetanje. Buka u točki C time je manja. [1]

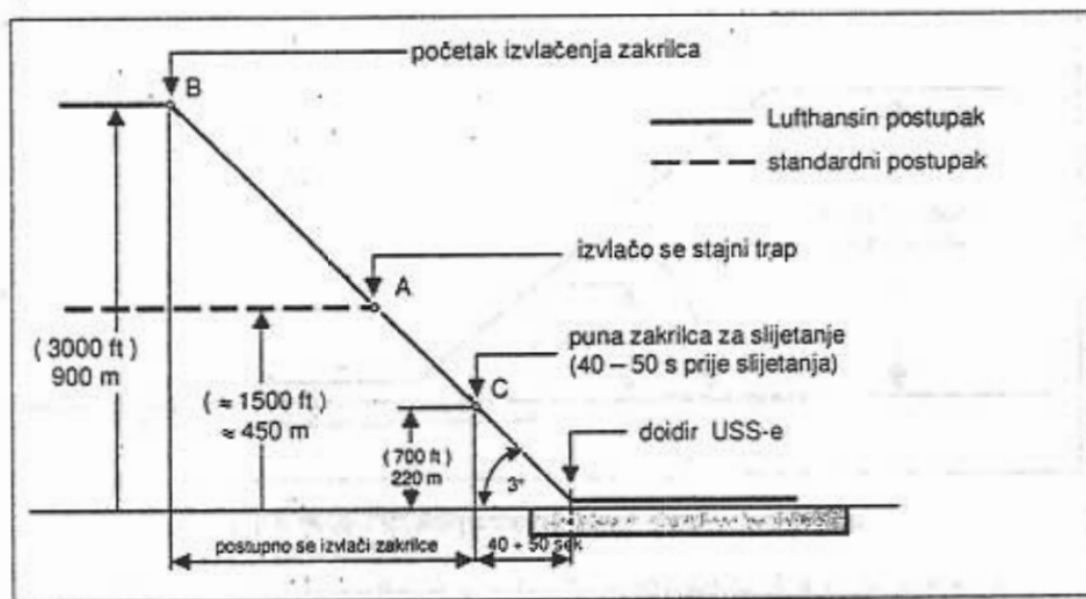


Slika 11. Prilaz u dva stupnja

Izvor: Golubić J. Promet i okoliš. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 1999. p. 176. [1]

6.4. Lufthansae postupak

Lufthansae postupak ne zahtijeva dodatnu opremu zrakoplova ni na zemlji. Prilaz se do trenutka hvatanja signala poniranja izvodi na visini koja je veća od standardne, zbog čega je buka zrakoplova na terenu manja nego u običajene varijante leta. Sve dok se ne dostigne visina od otprilike 700 stopa, odnosno do točke C kada se izvlači puno zakrilce, buka je niža, a razlog tome je što manje izvučenih zakrilaca proizvodi manju aerodinamičku buku. Osnovna zamisao ovog postupka je zadržavanje zrakoplova u konfiguraciji manjeg otpora u odnosu na standardne procedure. Prednost ovog postupka u odnosu na ostale postupke je i u manjoj potrošnji goriva, što je u suvremenom svijetu od važnog značaja. [6]



Slika 12. Lufthansae postupak

Izvor: Golubić J. Promet i okoliš. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 1999. p. 177. [1]

6.5. Prilaz i odlet krivocrtnom putanjom

Sustav za slijetanje koji radi s mikrovalovima omogućuje let u prilazu po krivolinijskoj putanji, pa se finalno prilaženje može izvršiti letenjem u ravnini s osi USS. Ukoliko je u osi USS smješteno naselje, može se izbjeći nadletanje, čime se smanjuje buka u naselju. Za ovaj postupak nužna je dodatna oprema na zrakoplovu i na zemlji. Slična je situacija kada se u odletu umjesto pravocrtnog leta ide u zaokret i izbjegava naseljeno područje. Tako se smanjuje buka u naseljenom području, a postupak je izvediv bez dodatne opreme i uređaja. [1]

7. ZAKLJUČAK

Buka je jedan od najvećih ekoloških problema u zrakoplovstvu, prema Svjetskoj Zdravstvenoj organizaciji (WHO). Izaziva uznemirenost, probleme slušnog sustava, uskraćivanje sna i kardiovaskularne probleme u zdravlju ljudi. Buka zrakoplova predstavlja problem i negativno utječe na stanovništvo u okruženju zračne luke. Ljudi koji žive u stambenim područjima oko zračnih luka najviše su pogođeni bukom zrakoplova i stoga su oni, ti koji češće prigovaraju i traže brza rješenja. Najčešće pritužbe su uzrokovane povećanjem broja letova, letovima na manjim visinama i noćnim letovima.

Kako bi se smanjio utjecaj buke u zračnoj luci i okolicama zračne luke donesene su Direktive za članice Europske unije. Direktive se odnose na negativan utjecaj razine buke zrakoplova, predstavljaju pravni akt vezanih uz buku na zračnim lukama Europske unije uz predočenje nacrtu budućih strategija kontroliranja buke zrakoplova na zračnim lukama. Povećanje zračnog prometa, noćni letovi te polijetanje i slijetanje glavni su uzroci buke na zračnim lukama, time se i zabranjuje slijetanje prebučnih zrakoplova. Dolazi do upotrebe kompozitnih materijala, kako bi zrakoplovi bili što manje bučni uz upotrebu dostupnih tehnologija.

Kako bi se preventivno djelovalo na štetan učinak vibracija, ublažavaju se vibracija na izvoru. Izbjegavaju se zračne turbulencije promjenom visine ili promjenom rute leta. Mjenjaju se putovi prijenosa, postavljaju se sjedišta i nasloni na opruge, koriste se rukavice od spužvaste gume, ugrađuju se zračni jastuci, elastični nogari i slično.

Mijenjaju se dinamička svojstva tijela zauzimanjem položaja kojim se smanjuje kontrakcija mišića na vibracije koje dopiru do glave. Okruženje u kojem je dominantna buka nižih frekvencija često se može poboljšati aktivnom kontrolom buke.

Najčešće se ova vrsta buke pojavljuje kod zrakoplova s propelerima. Primarno u niskofrekventnim područjima nije cilj samo zaštita od potencijalnih oštećenja sluha, već i smanjenje umora, nelagode i gubitka koncentracije do koje buka dovodi. Zbog smanjenja koncentracije može doći do povećanja rizika od nesreća.

Tijekom osamdesetih i devedesetih godina prošlog stoljeća aktivno se radilo na kontroliranju buke u zrakoplovima. Izrađivale su se analize u teoriji, simulatori, vršili su se laboratorijski eksperimenti i testiranja letova. Mjere zaštite od buke primjenjuju se s ciljem sprječavanja nastanka emisije prekomjerne buke, a postojeća buka se nastoji smanjiti na dopuštenu razinu. Zaštitu od buke dužna su provoditi tijela državne uprave, lokalne i područne jedinice samouprave, te pravne i fizičke osobe koje obavljaju registrirane djelatnosti.

Literatura

- [1] Golubić J. Promet i okoliš. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 1999
- [2] Missoni E. Zrakoplovna medicina. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 2003
- [3] Adiva. Preuzeto sa:
<https://www.adiva.hr/zdravlje/otorinolaringologija/barotrauma-uha-uzroci-simptomi-i-lijecenje/>, [Pristupljeno 13.08.2022.]
- [4] Clark C. Aircraft Noise Effects on Health: Report Prepared for the UK Airport Commission. Report Number 150427. London: Queen Mary University of London; 2015.
- [5] Marinčić A. Analiza i metode smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu. Zagreb. Diplomski rad. Fakultet prometnih znanosti, 2021.
- [6] Štimac I. Implementacija sustava praćenja i analiza buke na Zračnoj luci Zagreb. Magistarski rad. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 2009.
- [7] Pravilnik o uspostavljanju pravila i postupaka u svezi uvođenja operativnih ograničenja vezanih za buku zrakoplova na zračnim lukama na teritoriju Republike Hrvatske. Preuzeto sa: <http://www.propisi.hr/print.php?id=12230>, [Pristupljeno: 13.08.2022.]
- [8] Zakon o zaštiti od buke, NN 30/09, 55/13, 153/13, 41/16, 114/18, 14/21
- [9] Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o zaštiti buke, NN 14/2021
- [10] Pavlin S. Aerodromi I. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 2006.
- [11] Bazijanac E. Zrakoplovni mlazni motori. Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 2009
- [12] Steiner S, Vidović A, Bajor I, Pita O, Štimac I. Zrakoplovna prijevozna sredstva 1. Udžbenik. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 2008.
- [13] Živaljić D. Analiza unutarnje (kabinske) buke zrakoplova CL – 415. Diplomski rad. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu; 2015.

- [14] EASA. Preuzeto sa: <https://www.easa.europa.eu/eaer/topics/overview-aviation-sector/noise> [Pristupljeno 22.08.2022.]
- [15] Franjić A. Utjecaj buke zrakoplova na stanovništvo u okruženju zračne luke. Završni rad. Fakultet prometnih znanosti u Zagrebu, 2020.
- [16] Jarup L, Dudley ML, Babisch W, Houthuijs D, Swart W, Pershagen G, Bluhm G, Katsouyanni K, Velonakis M, Cadum E, Vigna-Taglianti F; HYENA Consortium. Hypertension and Exposure to Noise near Airports (HYENA): study design and noise exposure assessment. Environ Health Perspect. 2005 Nov;113(11):1473-8. doi: 10.1289/ehp.8037. PMID: 16263498; PMCID: PMC1310905. Preuzeto sa: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16263498/> [Pristupljeno: 28.08.2022.]
- [17] Direktiva 2002/30/EC. Europskog parlamenta na dan 26. ožujka 2002. Preuzeto sa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32002L0030&from=EN> [Pristupljeno: 23.08.2022.]
- [18] Ligenza I. Analiza i načini smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu. Završni rad. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu: Zagreb; 2018.
- [19] Europski parlament. Preuzeto sa: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/650787/IPOL_STU\(2020\)650787_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/650787/IPOL_STU(2020)650787_EN.pdf) [Pristupljeno: 30.08.2022.]

Popis slika

Slika 1. Različiti utjecaj zrakoplova na stvaranje buke	5
Slika 2. Intenzitet buke prema otisku površine u zrakoplova različitih tehnologija	8
Slika 3. Točka mjerenja buke	9
Slika 4. Sustav zračne luke	10
Slika 5. Kategorije zrakoplova 1994.-2014.	25
Slika 6. Tlocrt zračne luke Frankfurt	34
Slika 7. Tlocrt zračne luke Beč	37
Slika 8 Postupak slijetanja zrakoplova prihvaćen od FAA.....	41
Slika 9. Standardni postupak pri slijetanju	42
Slika 10. Povećanje visine s koje se hvata kut poniranja	43
Slika 11. Prilaz u dva stupnja	44
Slika 12. Lufthansae postupak	45

Popis tablica

Tablica 1 Izvor buke prema tipu zrakoplova.....	7
Tablica 2 Dopušteno izlaganje buci bez zaštitne opreme	16
Tablica 3. Zrakoplovi kategorije 2 koje je trebalo zamijeniti ili utišati, 1995.-2005.	27

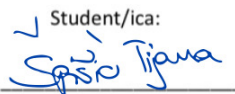
IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ **završni rad** _____
(vrsta rada)

isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom **Utjecaj buke i vibracija u zračnoj luci na zdravlje ljudi**, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 30.08.2022.

Student/ica:


(ime i prezime, potpis)