

Analiza i metode smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu

Marinčić, Ante

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:284210>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-30**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ante Marinčić

ANALIZA I METODE SMANJENJA BUKE U
KOMERCIJALNOM ZRAKOPLOVSTVU

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2021.

Zagreb, 11. svibnja 2021.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6086

Pristupnik: **Ante Marinčić (0135245246)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

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

Opis zadatka:

U radu je potrebno prikazati utjecaj buke komercijalnog zrakoplovstva na zdravlje čovjeka i navesti izvore buke kod zrakoplova. Analizirati metode mjerenja buke i međunarodnu regulativu buke zrakoplova. Objasniti načine smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu s naglaskom na tehnološke mjere, ekonomske mjere i operativne restrikcije. Navesti primjere metoda smanjenja buke na zračnim lukama.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

prof. dr. sc. Jasna Golubic

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ANALIZA I METODE SMANJENJA BUKE U
KOMERCIJALNOM ZRAKOPLOVSTVU

ANALYSIS AND METHODS OF REDUCTION OF NOISE IN
AIR TRAFFIC

Mentor: prof. dr. sc. Jasna Golubić

Student: Ante Marinčić

JMBAG: 0135245246

Zagreb, 2021.

SAŽETAK

U ovom radu obrađuje se utjecaj buke komercijalnog zrakoplovstva, a buka zrakoplova čini jedan od najštetnijih učinaka na okoliš. Postoje mnogi načini za borbu protiv buke zrakoplova, smanjenje buke na izvoru, sprječavanje buke da uđe u prihvatno okruženje i očuvanje dovoljne udaljenosti između zračnih luka i stambenog područja. U 2011. godini Europa je postavila novi cilj za 2050. godinu. ICAO ima za cilj što više ograničiti ili smanjiti utjecaj razine buke zrakoplova na zdravlje ljudi. FAA i mnoge zrakoplovne tvrtke rade na smanjenju buke zrakoplova na izvoru. U radu su obrađeni i načini smanjenja buke operativnim restrikcijama, operativnim procedurama, tehnolozijskim i ekonomskim mjerama.

KLJUČNE RIJEČI: buka zrakoplova, smanjenje buke, restrikcije

SUMMARY

This paper deals with the influence of commercial aviation noise, and aircraft noise is one of the most harmful effects on the environment. There are many ways to combat aircraft noise, reduce noise at source, prevent noise from entering the reception environment and preserve a sufficient distance between airports and the residential area. In 2011. Europe set a new target for 2050. ICAO aims to limit or reduce the impact of aircraft noise levels on human health as much as possible. FAA and many airlines are working to reduce aircraft noise at source. The paper deals with ways of noise reduction by operational restrictions, operational procedures, technological and economic measures.

KEYWORDS: aircraft noise, noise reduction, restrictions

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Utjecaj buke zrakoplova na zdravlje čovjeka	3
3. Izvori buke kod zrakoplova	5
4. Međunarodna regulativa buke zrakoplova	8
4.1. Annex 16	10
4.2. FAR 36	12
5. Metode mjerenja buke na zračnim lukama	13
6. Načini smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu	17
6.1. Tehnologijske mjere.....	17
6.2. Operativne restrikcije	23
6.3. Operativne procedure	24
6.4. Ekonomske mjere	30
7. Mjere u cilju smanjenja buke na zračnim lukama.....	32
8. Pozitivni primjeri primjene sustava za mjerenje buke.....	36
9. Primjena sustava za mjerenje buke Zračne Luke Zagreb i Split	39
10. Zaključak	41
Literatura	43
Popis slika	46
Popis kratica.....	47

1. Uvod

Prvi komercijalni let se dogodio u Sjedinjenim Američkim Državama, 1. siječnja 1914. godine. Prvi let se odvijao između St. Petersburg i Tampa. Let je bio povijesni događaj, ali tek poslije drugog svjetskog rata komercijalno zrakoplovstvo je postalo dostupnije većem broju ljudi.

Zrakoplovna putovanja pružaju brojne pogodnosti putnicima, ali također buka zrakoplova može utjecati na ljude koji žive i rade u blizini zračnih luka. Postoje mnogi načini na koji se buka može mjeriti, buku možemo ustanoviti mjerenjem zvuka uzimajući u obzir da zvuk zasigurno uzrokuje smetnju ili smetnje. Buka može oscilirati, a to ovisi o dobu dana, mjestu i razini buke i razini zvuka koji se doživljava. Buku nije moguće potpuno ukloniti, pa je zbog toga potrebno provoditi odgovorne kontrole kako bi se smanjio utjecaj buke zrakoplova na što veći broj ljudi.

Rad je podijeljen u 10 cjelina:

1. Uvod
2. Utjecaj buke zrakoplova na zdravlje čovjeka
3. Izvori buke kod zrakoplova
4. Međunarodna regulativa buke zrakoplova
5. Metode mjerenja buke na zračnim lukama
6. Načini smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu
7. Mjere u cilju smanjenja buke na zračnim lukama
8. Pozitivni primjeri primjene sustava za mjerenje buke
9. Primjena sustava za mjerenje buke Zračne Luke Zagreb i Split
10. Zaključak

U drugom poglavlju obrađuje se utjecaj buke na zdravlje čovjeka i svi negativni efekti koji mogu uzrokovati mnoge zdravstvene tegobe.

U trećem poglavlju analiziraju se izvori buke kod zrakoplova, buku koju proizvode turboventilatorski i turbomlazni motori, krila zrakoplova itd.

U četvrtom poglavlju obrađuje se ICAO-ov *Uravnotežen pristup upravljanja bukom zrakoplova*, GIS, softveri za modeliranje buke.

U petom poglavlju analizira se prosječna razina buke DNL, karte konture buke prikazuju sličnost sa topografskim kartama koje prikazuju nadmorsku visinu terena.

U šestom poglavlju obrađuju se načini smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu, tehnološke mjere, operativne procedure, operativne restrikcije, ekonomske mjere.

U sedmom poglavlju obrađuje se ANIMA projekt, NASA-ina letaćki testovi koji postižu značajno smanjenje buke koje stvaraju zrakoplovi.

U osmom poglavlju analiziraju se pozitivni učinci primjene sustava za mjerenje buke, analiziranjem određenih učinaka postiže se zaštita stanovništva koje živi u blizini zračnih luka.

U devetom poglavlju obrađuje se primjena sustava za mjerenje buke na Zračnoj Luci Zagreb i Split, govori se o instaliranim sustavima na navedenim lukama i načinima na koji se primjenjuju.

2. Utjecaj buke zrakoplova na zdravlje čovjeka

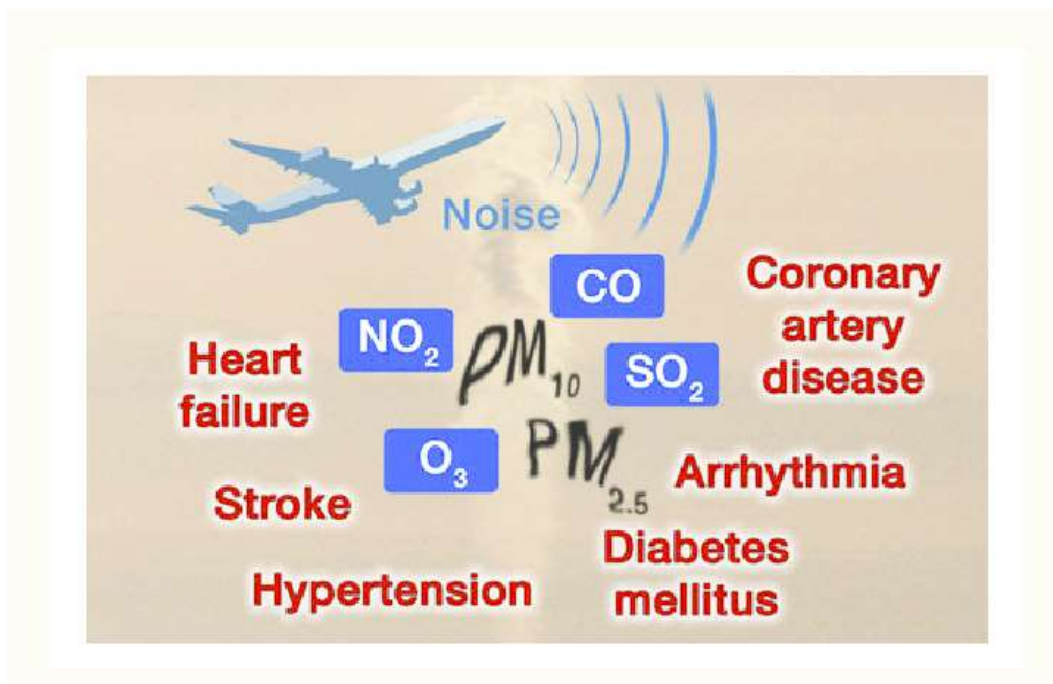
Buka zrakoplova jedan je, ako ne i najštetniji učinak zrakoplovstva na okoliš. U nekim zračnim lukama buka ograničava rast zračnog prometa. O tome kako buka, a posebno buka zrakoplova utječe na učenje djece, zaključilo se da je izlaganje zrakoplovnoj buci u školi ili kod kuće povezano s djecom koja imaju slabije vještine čitanja i pamćenja.[1]

Neometano spavanje i dovoljan broj sati odmora potrebno je za bolju kvalitetu života i zdravlja, ljudi izloženi zvuku dok spavaju imaju psihološke reakcije na buku i to uzrokuje mnoge smetnje u disanju, promjene u pokretima tijela, otkucajima srca i također uzrokuje buđenje. U posljednjih 10 godina, izloženost zrakoplovnoj buci povećava rizik za kardiovaskularno zdravlje kod ljudi. Kardiovaskularni problemi kao što su visoki krvni tlak, srčani udar, moždani udar povećavaju se za 7 do 17% za svako povećanje buke od 10dB uzrokovano izlaganjem zrakoplovnoj buci. Povećani stres koji je povezan s izlaganjem buci zrakoplova, može izazvati psihološke reakcije stresa kod pojedinaca, što dovodi do povećanja čimbenika rizika za kardiovaskularne bolesti kao što su krvni tlak, koncentracija glukoze u krvi i lipida u krvi. Ti čimbenici dovode do povećanog rizika od visokog krvnog tlaka i arterioscleroze i povezuje ih se s događajima kao što su srčani udar i moždani udar.[2]

Studija HYENA (HYpertension and Exposure to Noise near Airports) ispitala je učinak buke na krvni tlak kod 4861 osobe u dobi od 45 do 70 godina, koji žive u blizini 7 velikih europskih zračnih luka više od 5 godina uključujući London Heathrow; Amsterdam Schiphol; Stockholm Arlanda & Bromma; Berlin Tegel, Milan Malpensa; i Athens Eleftherios Venizelos. Ispitivanje HYENA dokazalo je da povećanje buke zrakoplova noću za 10dB povećalo izgleda za dobivanje visokog krvnog tlaka za 14%, ali buka zrakoplova danju nije povećala izgleda za dobivanje visokog krvnog tlaka.[3]

Studija HYENA nije pronašla povezanost dnevne buke zrakoplova i visokog krvnog tlaka jer mnogi stanovnici rade daleko od kuće tijekom dana, također je utvrđeno da je povećanje dnevne buke zrakoplova za 10dB povezano s povećanjem primjene lijekova za visoki krvni tlak u Velikoj Britaniji od 34%. Ispitivanje HYENA pokazalo je da povećanje dnevnih vrijednosti od 10dB uzrokovalo povećanjem korištenja lijekova za anksioznost do 28%, a povećanje noćnih vrijednosti za 10dB uzrokovalo je povećanjem korištenja lijekova za anksioznost do 27%, ali izlaganje buci zrakoplova danju i noću nije bilo povezano s primjenom lijekova za spavanje i antidepresiva.[4]

Stresovi povezani s bukom koji traju tijekom duljeg razdoblja mogu dovesti do iscrpljivanja kompenzacijskih mehanizama i smanjenja sposobnosti tijela. Mnogi učinci kroničnog stresa povezanog s bukom očituju se na zdravlje tek nakon 5 do 15 godina. Kronična arterijska hipertenzija pogađa veliki dio populacije i glavni je čimbenik za infarkt i moždani udar. Najmanje svaka treća odrasla osoba ima vrijednost krvnog tlaka iznad optimalnog raspona i povećanje s optimalnih na normalne vrijednosti krvnog tlaka udvostručuje rizik od infarkta ili moždanog udara.



Slika 1. Utjecaj buke zrakoplova na zdravlje čovjeka,[34]

Istraživanja serije podataka provedenih u blizini zračne luke Frankfurt u Njemačkoj pokazalo je da je prisutan i odnos između dnevnih varijacija buke zrakoplova i jutarnjeg krvnog tlaka. Tri su mjeseca uspoređivane dvije skupine ljudi izloženih kontinuiranoj noćnoj razini buke od vanjskog zračnog prometa od 50dB, zapadna grupa bila je izložena 75% vremena, a istočna grupa 25% vremena. Mjerenjem krvnog tlaka u 53 osobe pokazalo je da je krvni tlak statistički značajno viši za prosječnu vrijednost od 10/8 mmHg u zapadnoj grupi za razliku od istočne grupe. Utvrđeno je da zapadna grupa ima manju sposobnost opuštanja jer se manje bučna razdoblja više ne percipiraju kao posljedica stresa povezanog s bukom.[5]

3. Izvori buke kod zrakoplova

Načini za borbu protiv buke zrakoplova mogu se razvrstati u tri kategorije: prvo, razina buke se može smanjiti na izvoru, učiniti motore zrakoplova tišim; drugo, utjecaj buke može se smanjiti sprječavajući je da uđe u prihvatno okruženje, čuvati dovoljnu udaljenost između zračnih luka i stambenog okruženja; treće, moguće je povećati zaštitu koju pruža prihvatna okolina, postavljanje prozora s dvostrukim staklom.

Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (ICAO) podržala je 2001. koncept uravnoteženom pristupu upravljanja bukom. Sastoji se od četiri glavna elementa:

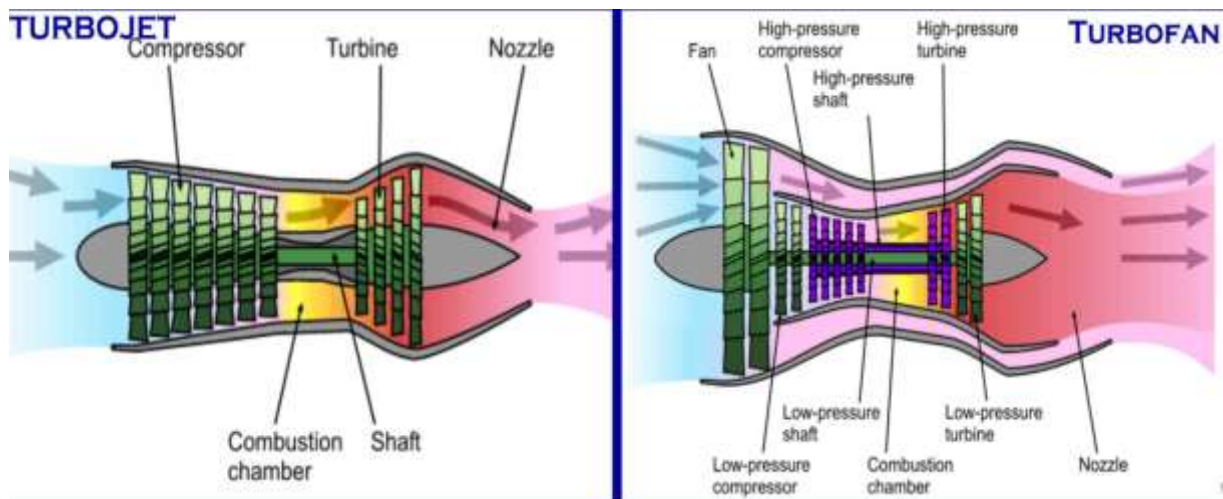
- smanjenje buke na izvoru (motori i poboljšanja okvira),
- planiranje korištenja zemljišta i upravljanje njime,
- operativni postupci za smanjenje buke,
- Operativna ograničenja (Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva 2004).[6]

"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., [7]

U prošlom stoljeću veliki problem je stvarala buka turbomlaznih motora. Korištenjem novih tehnologija zrakoplovi postaju sve tiši i kako tehnologija svakim danom napreduje buka se sve više smanjuje. Postoji velika sličnost između dvije vrste motora turboventilatorski i turbomlazni motora. Buku kod turboventilatorskih motora proizvode kompresor, mlazni ispuh i turbina. Turboventilatorski motor se najviše koristi u komercijalnom zrakoplovstvu.[8]

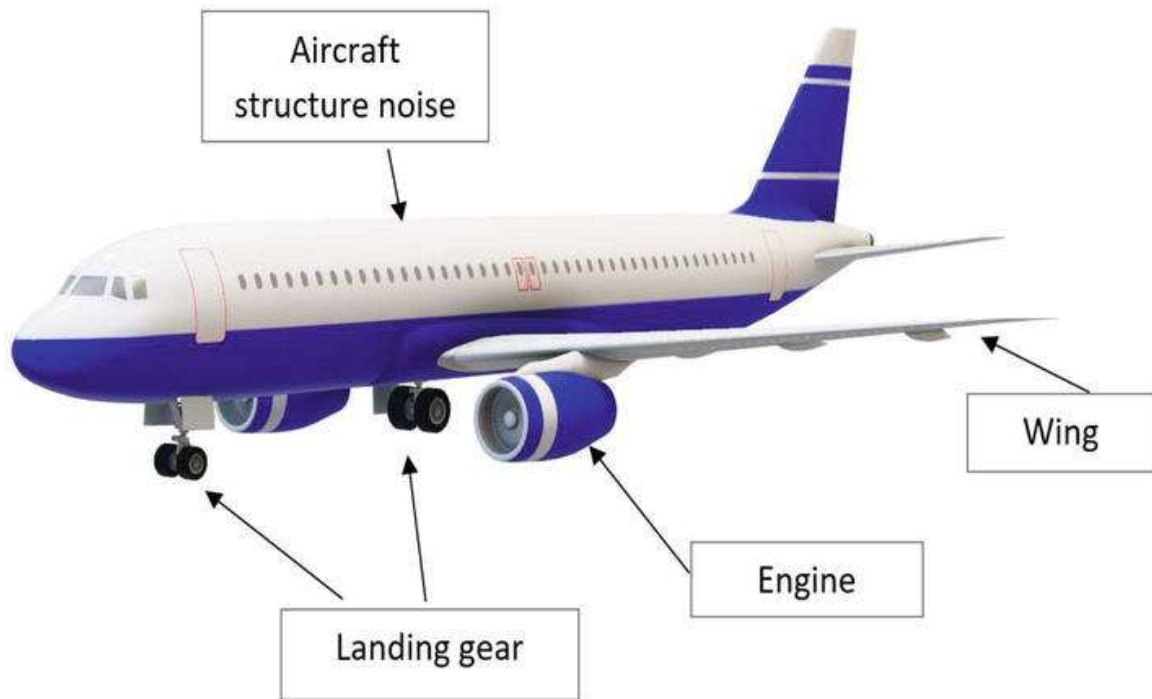
Turboventilatorski motor je sličan klasičnom propelerskom motoru. Lopatice ventilatora potiskuju zrak, a kućište motora usmjerava zrak unatrag. Dio zraka mora ući u jezgru motora kako bi se oksidiralo gorivo i proizvela energija koja pokreće osovinu propelera, ali veći dio ide oko jezgre i izlazi straga.



Slika 2. Usporedba turboblaznog i turboventilatorskog motora,[9]

S druge strane, turboblazni motor usmjerava sav zrak u jezgru motora, miješa ga s gorivom i komprimira kako bi postigao visoke temperature i veliki gradijent tlaka, ubrzavajući zrak i ispucavajući ga straga poput rakete. Oba motora imaju jezgru koja komprimira dolazni zrak, miješa ga s gorivom i sagorijeva. Razlika je u tome što turboventilatorski motor koristi rezultirajući tlak plina koji se širi za okretanje radilice ili osovine koljenastog vratila koja okreće velike lopatice ventilatora da bi stvorila potisak. Turboblazni motor, umjesto da pritiskom okreće radilicu ili osovinu koljenastog vratila, jednostavno mu omogućuje da izađe sa stražnjeg kraja motora stvarajući tako potisak prema naprijed.[9]

Buka konstrukcije zrakoplova definirana je kao zvuk koji nastaje kretanjem zraka između čvrstog tijela i zraka. Najveći proizvođači buke konstrukcije zrakoplova su podvozje zrakoplova, krila zrakoplova i zakrilca. Može se napraviti korelacija između buke koju proizvodi grupa motora i buke pri uzlijetanju zrakoplova, dok je razina buke zrakoplova pri slijetanju gotovo beznačajna. Zakrilca proizvode buku koju stvaraju vanjski rubovi zakrilca. Ključni uzrok buke kod zakrilca je stvaranje vrtloga zraka koji nastaje proširenjem zakrilca, vrtlog je glavni uzrok nastanka buke na kraju krila. Bitan utjecaj izvora buke konstrukcije zrakoplova je podvozje zrakoplova. Buka podvozja zrakoplova nastaje tijekom operacija uzlijetanja i slijetanja. Tijekom uzlijetanja i slijetanja zrakoplova podvozje je spuštено i dolazi do visokog otpora zraka, što proizvodi buku podvozja zrakoplova.[10]



Slika 3. Prikaz izvora buke kod zrakoplova,[10]

4. Međunarodna regulativa buke zrakoplova

U 2011. godini, izvješće "Flightpath 2050 - Europe's Vision for Aviation" koje je izdala skupina na visokoj razini za istraživanje zrakoplovstva postavila je novi cilj za 2050. godinu. Određen broj „omogućavajućih čimbenika“ predviđeni su kao ključni sudionici u 2050. godini u postizanju cilja buke, i to:

- Poboljšane mogućnosti numeričke simulacije, zajedno s ispitivanjem objekata koji uključuju napredne tehnike mjerenja, kako bi se podržalo daljnje smanjenje buke na razini izvora, primjena multidisciplinarnih tehnika optimizacije i prakse integriranog projektiranja zrakoplova i motora koje doprinose smanjenju razine buke učinkovitom integracijom rješenja smanjenja buke, smanjenja težine, smanjenja otpornosti.
- Potaknuti napredak u srodnim tehnološkim područjima, kao što su materijala i elektronike, kako bi se omogućilo uvođenje tehnologije s niskom razinom buke, uključujući aktivne/prilagodljive tehnike.
- Ažurirano i međunarodno priznati, modeli poremećaja nervoze i spavanja.
- Poboljšani alati za podršku transparentnim komunikacijskim politikama koji obuhvaćaju relevantne indekse, online prognoze i praćenje operacije putanje leta.[11]

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

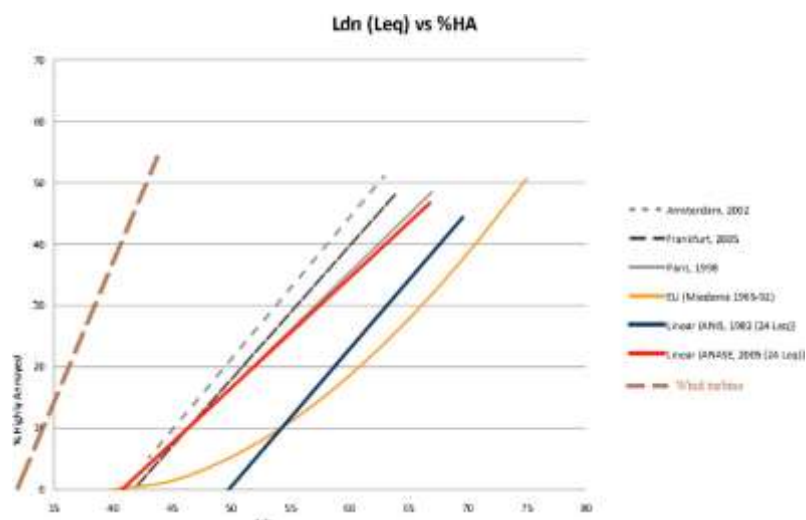
- Smanjenje buke na izvoru, tj. na zrakoplovu. To uključuje upotrebu tihih zrakoplova i provedbu mjera za smanjenje buke na motorima, krilima i pri slijetanju na postojeću flotu zrakoplova.
- Lokalne mjere u blizini zračne luke. To uključuje plan korištenja zemljišta prilagođenih zonama za zaštitu od 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.
- 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.“[8]

Cilj ICAO-a u kontroli buke zrakoplova je ograničiti ili smanjiti broj ljudi pogođenih znatnom bukom zrakoplova. ICAO dokument 9829, Smjernice za uravnoteženi pristup upravljanja bukom zrakoplova, razvijen u tu svrhu. Pokriva četiri elementa:

- planiranje korištenja zemljišta
- operativna ograničenja zrakoplova
- smanjenje buke na izvoru
- mjere smanjenja buke

Odluka o izboru mjere za smanjenje razina buke ili kombinacije mjera koristi se temeljem pouzdanog seta podataka, uključujući izračunani broj osoba izloženih buci zrakoplova za sve moguće scenarije letenja koristeći sofisticirani softver instaliran na platformi GIS (Geographic Information System), što pomaže fokusiranju ublažavanja mjera na najvećim prioritarnim područjima.

Postoje dva različita pristupa modeliranju buke zrakoplova. Oba dokumenta ICAO i Europske konferencije civilnog zrakoplovstva navode preporuke za izračune buke zrakoplova. Njihove metodologije primjenjuju se na dugoročnu prosječnu izloženost buci. Trenutne verzije softvera za modeliranje buke (INM, SONDEO, ANCON, IsoBella, AcousticLab itd.) u skladu su s preporukama. Međutim, brojne države zahtijevaju mjerenje ili pokazatelj jednog zvučnog događaja putem L_{Amax} ili SEL-a (razina izloženosti buci jednog događaja).



Slika 4. Krivulje smetnji raspoloživih i usporedivih podataka prikupljenih u 20 različitih istraživanja izvedenih u Europi, Sjevernoj Americi i Australiji.[12]

Kako slika 4. prikazuje, novije studije pokazuju da je veći broj ljudi uznemiren kada je izložen većoj količini buke, u usporedbi s prije nekoliko desetljeća. Ovi rezultati su ključni za utvrđivanje trenutnih odnosa izloženosti štetnosti buke zrakoplova i da li ih je potrebno

ažurirati. Politike upravljanja bukom zrakoplova moraju uzeti u obzir evoluciju krivulja smetnji. To je posebno važno jer to pokazuje, da za iste razine buke, uznemirenost ili izritiranost je viša za buku zrakoplova nego li za buku iz nekih drugih izvora, jasno je da kada razine buke prelaze prag tolerancije, ljudi se žale na određene smetnje.

Danas je prepoznato da izritiranost od buke nije isključivo u korelaciji s razinama buke. Nečujni učinci buke stvaraju mnoge smetnje i teže ih je opisati i izmjeriti. Među neakustičnim čimbenicima uglavnom doprinose: negativna očekivanja prema razvoju buke; uočeni kapaciteti kontrole i snalaženja; zabrinutost zbog negativnih učinaka buke na zdravlje i onečišćenja, itd. Nema dogovorene metodologije za kombiniranje svih faktora smetnji u jedan model, čak iako su neki društveni i ekonomski čimbenici identificirani da utječu na odgovor zajednice na buku. Kao rezultat toga, potrebno je razumjeti politike upravljanja bukom kao dinamičan proces, što znači da ih treba procjenjivati redovito i prema potrebi prilagoditi u svjetlu novih znanstvenih istraživanja.

Istinski učinkoviti model mjerenja još uvijek treba biti dizajniran. To bi se trebalo učiniti na način slično onome što je učinjeno kako bi se razvili odgovarajući modeli mjerenja utjecaja svih elemenata utvrđenih u ICAO-vom *Uravnoteženom pristupu upravljanja bukom zrakoplova*. Dakle, učinkovitim upravljanjem i kontrolom buke zrakoplova smanjiti štetne utjecaje buke zrakoplova na zdravlje i kvalitetu života. Istraživanje odnosa između stvarne razine zvuka i uočene razine buke trebaju biti primarni cilj budućih istraživanja. Boljom komunikacijom sa zajednicama koje okružuju zračne luke trebalo bi poboljšati uzajamno razumijevanje i doprinijeti pozitivnijim odgovorima na operacije zrakoplova.[12]

4.1. Annex 16

Standarde i preporučene prakse za buku zrakoplova Vijeće je prvi put usvojilo 2. travnja 1971. u skladu s odredbama članka 37. Konvencije o međunarodnom civilnom zrakoplovstvu (Chicago, 1944.) i označilo ih kao Prilog 16. Konvenciji.[13] Potreba za pisanjem odredbi koje pokrivaju negativne strane civilnog zrakoplovstva postala je ozbiljna zabrinutost početkom 1960-ih uvođenjem prve generacije mlaznih zrakoplova i ubrzanjem njihove upotrebe u međunarodnim letovima. U studenom 1966. održana je međunarodna konferencija o smanjenju buke i ometanja izazvanih civilnim zrakoplovima (poznata i kao Londonska konferencija o buci) s ciljem postizanja međunarodnog rješenja putem ICAO-a. Sljedeće je

godine Peta konferencija o zračnoj plovidbi ICAO-a održana u Montrealu u studenom 1967. dala određene preporuke na tu temu. Na temelju tih preporuka, 16-og zasjedanja ICAO Skupštine, koja je održana u rujnu 1968. godine u Buenos Airesu, usvojio *Rezoluciju A16-3* poziva na međunarodnu konferenciju koja će razmotriti problem zrakoplovne buke u blizini zračnih luka i nastoji uspostaviti međunarodne specifikacije i materijal za smjernice koji se odnose na buku zrakoplova. Posebni sastanak o buci zrakoplova u blizini aerodroma održan je u Montrealu od 25. studenog do 17. prosinca 1969. godine s ciljem pripreme vijesti o buci zrakoplova. Obrađen je nacrt Aneksa 16 o buci zrakoplova koji je proizašao iz rada ovog posebnog sastanka. Vijeće je osnovalo *Odbor za zrakoplovnu buku (CAN)* kako bi ispitalo probleme certificiranja buke zrakoplova; ovaj je odbor održao svoj prvi sastanak od 28. rujna do 2. listopada 1970. Vijeće ICAO usvojilo je prvi SARPS Aneksa 16 - Zrakoplovna buka 2. travnja 1971., stupio na snagu 2. kolovoza 1971., a na snazi je od 6. siječnja 1972.

Ukratko, Aneks 16 o zaštiti okoliša ima 4 primjerka, kako slijedi:

1. Chapter I - Zrakoplovna buka. Ovaj svezak sadrži Standarde i preporučene prakse (SARP) za certificiranje buke zrakoplova. Također obuhvaća međunarodne specifikacije koje se odnose na metode mjerenja i procjene buke u zrakoplovu.
2. Chapter II - Emisije zrakoplovnih motora. Ovaj svezak sadrži SARP-ove za certificiranje emisija iz zrakoplovnih motora.
3. Chapter III - Emisije CO₂ u zrakoplovu.
4. Chapter IV - Shema za nadoknadu i smanjenje emisije ugljika za međunarodno zrakoplovstvo (CORSIA).[14]

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 "tihu", 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.[43]

4.2. FAR 36

FAA objavljuje certificirane razine buke u savjetodavnoj okružnici, Razina buke za američke certificirane i strane zrakoplove. Ova savjetodavna okružnica pruža podatke o razini buke za zrakoplove certificirane prema 14 CFR Part 36 i kategorizira zrakoplove u njihove odgovarajuće "faze". Bilo koji zrakoplov koji je certificiran za plovidbenost u SAD-u također se mora pridržavati standardnih zahtjeva za buku kako bi dobio certifikat o buci. Svrha postupka certificiranja buke je osigurati da se najnovija dostupna sigurna i plovidbena tehnologija smanjenja buke ugradi u dizajn zrakoplova i omogućuje smanjenje buke koju nude te tehnologije da se odrazi u smanjenju buke koju doživljavaju zajednice. Kako tehnologija smanjenja buke sazrijeva, FAA surađuje s međunarodnom zajednicom kako bi utvrdio je li potreban novi strogi standard buke. Ako je tako, međunarodna zajednica putem Međunarodne organizacije civilnog zrakoplovstva (ICAO) kreće u sveobuhvatnu analizu kako bi utvrdio kakav će biti taj novi standard. [15]

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.“[8]

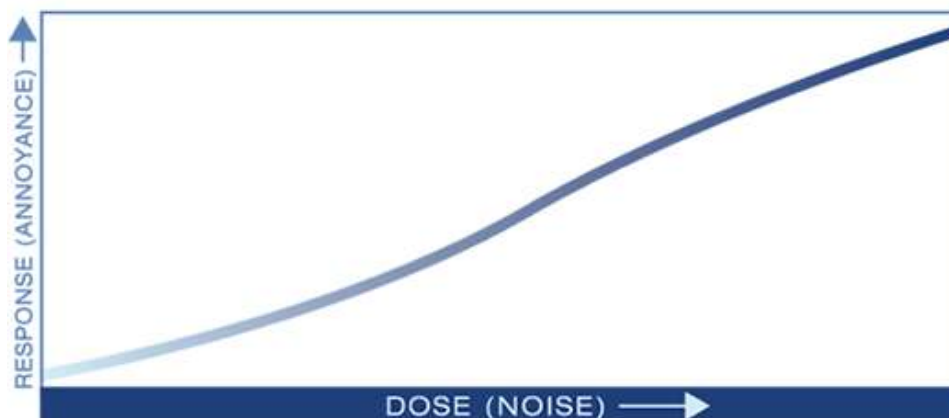
5. Metode mjerenja buke na zračnim lukama

Današnji civilni zrakoplovi tiši su nego ikada u povijesti leta, a proizvođači zrakoplova, zrakoplovne tvrtke i FAA rade na smanjenju buke zrakoplova na izvoru. Glavni čimbenik smanjenja izloženosti zrakoplovnoj buci je suradnja zračnih luka, zrakoplovnih operatora, zračnih prijevoznika, državnih i lokalnih vlasti kako bi se smanjio broj ljudi koji žive u područjima u blizini zračnih luka izloženih značajnoj razini zrakoplovne buke. Kroz planiranje kompatibilnosti s bukom u zračnim lukama, lokalne se jurisdikcije potiču na donošenje lokalnih odluka o planiranju i zoniranju koje sprečavaju novi stambeni razvoj u područjima izloženim značajnim razinama buke zrakoplova. FAA (Federal Aviation Administration) također dodjeljuje potpore kroz Program poboljšanja zračne luke (AIP) operaterima zračnih luka i jedinicama lokalne samouprave za financiranje projekata zvučno izoliranih domova, škola i zdravstvenih ustanova.

FAA koristi DNL (prosječna razina zvuka dan-noć) metriku i prag buke od 65 dB za izradu procjena politike u tri osnovna područja:

- Postavljanje FAA-ovog cilja buke za smanjenje broja ljudi izloženih značajnoj buci oko američkih zračnih luka
- Utvrđivanje razine izloženosti buci zrakoplova ispod koje je kompatibilno korištenje stambenog zemljišta, kako je definirano Zakonom o zrakoplovnoj sigurnosti i smanjenju buke iz 1979. (ASNA) i 14. CFR-om, dio 150.
- Utvrđivanje razine izloženosti zrakoplova buci ispod koje se utjecaji buke od djelovanja FAA u stambenim naseljima ne smatraju "značajnim" prema Zakonu o nacionalnoj politici okoliša iz 1969. (NEPA)

Krivulja doza-odgovor grafički je prikaz odnosa između izloženosti i utjecaja. Nije iznenađujuće, kako se povećava "doza" buke, tako se povećava i "odgovor" uznemirenih ljudi.[16]



Slika 5. Krivulja doza-odgovor,[16]

Buka na zemlji ovisi i o rasporedu letova, koji se mogu razlikovati ovisno o dobu dana, godišnjem dobu ili drugim operativnim čimbenicima. Vrijeme također igra veliku ulogu, budući da se zvuk različito raspršuje ovisno o vremenskim uvjetima: brzina i smjer vjetra, temperatura itd. Kuća udaljena pola milje sjeverno od zračne luke može tijekom dana, tjedna i godine doživjeti vrlo različitu izloženost zrakoplovnoj buci nego škola udaljena milju južno od te zračne luke.

Da bi se na jednostavan, ujednačen i prikladan način opisali učinci buke u okolišu, prosječna razina zvuka dan-noć DNL koristi se metrika buke. DNL je metrika koja odražava kumulativnu izloženost osobe zvuku tijekom razdoblja od 24 sata, izraženu kao razina buke za prosječni dan u godini na temelju godišnjih operacija zrakoplova. Svi gore opisani čimbenici, plus mnogi drugi, izračunavaju se za cijelo područje oko zračne luke. Letovi iz zračne luke ispituju se pomoću sofisticiranih programa modeliranja buke zrakoplova. Težina, putanja, put leta i mnoge druge karakteristike svakog zrakoplova unose se u program. Da bi se uzela u obzir veća osjetljivost na izloženost buci noću (koja se javlja između 22 sata i 7 sati ujutro), izračuni DNL dodaju deset puta veću težinu za svaki noćni let, što je ekvivalentno svakom noćnom događaju koji se mjeri kao da se dogodilo deset dnevnih događaja.

Iako je DNL primarna metrika koju FAA koristi za određivanje utjecaja buke, FAA prihvaća razinu ekvivalenta buke u zajednici (CNEL) u Kaliforniji, Kalifornija je usvojila upotrebu CNEL prije nego što je FAA usvojila DNL. Dok CNEL, poput DNL-a, dodaje deset puta ponderiranje ekvivalentno 10dB "kazne" svakoj operaciji zrakoplova između 22:00 i 7:00 ujutro, CNEL također dodaje trostruko ponderiranje ekvivalentno kazni od 4,77dB za svaku operaciju zrakoplova tijekom večernjih sati (19:00 do 22:00).

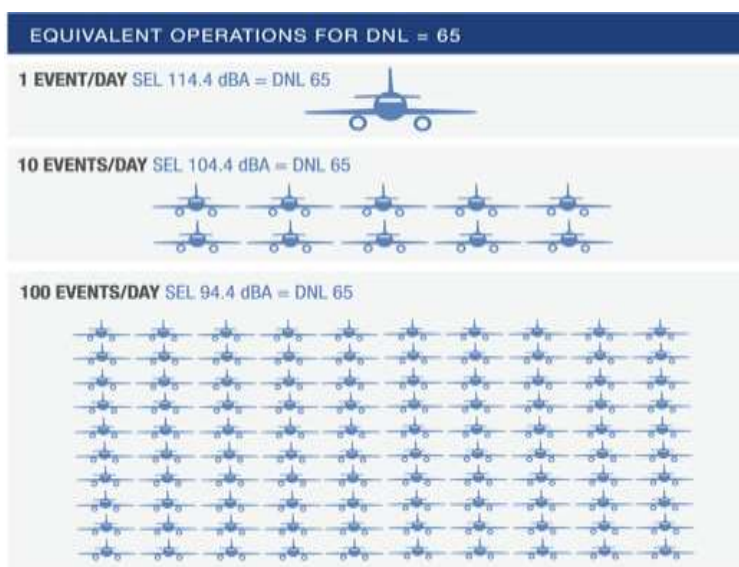
Programi za modeliranje buke, poput FAA-inog alata za zrakoplovno oblikovanje okoliša AEDT , mogu odrediti kumulativnu izloženost buci u prosjeku tijekom 24 sata tijekom godine na bilo kojem mjestu u zračnoj luci.[17]

Metrika DNL buke pruža mehanizam za opisivanje učinaka buke u okolišu na jednostavan i ujednačen način. DNL je standardna metrika buke koja se koristi za sve FAA studije o izloženosti zračnoj buci u zračnim lukama. DNL i usko povezani CNEL (ekvivalentna razina buke u zajednici) mjerni podaci koji se koriste u Kaliforniji slični su LEQ-u, ali se razlikuju u načinu na koji se buka tretira tijekom večeri i noći.



Slika 6. DNL – prosječna razina zvuka dan-noć,[18]

Budući da DNL uzima u obzir i količinu buke iz svake operacije zrakoplova, kao i ukupan broj operacija koje lete tijekom dana, postoji mnogo načina na koje se buka zrakoplova može dodati na određeni DNL. Mali broj relativno glasnih operacija može rezultirati istim DNL-om kao i veliki broj relativno tihih operacija.



Slika 7. Istovrijedne operacije za DNL,[18]

Razine buke mogu se izračunati na pojedinačnim mjestima od interesa, ali kako bi se pokazalo kako se buka može razlikovati na proširenim područjima, rezultati mjernih vrijednosti buke poput DNL često se crtaju na kartama u smislu linija koje povezuju točke istog decibela (dB).



Slika 8. Karta konture buke,[18]

Slično topografskim kartama koje prikazuju nadmorsku visinu terena na nekom području, ove "konture" buke korisne su za usporedbu izloženosti zrakoplova buci u zračnoj luci. Oblik kontura buke ovisi o mnogim čimbenicima, ali na njih utječu stvari poput toga leti li više zrakoplova koji dolaze ili odlaze iznad nekog područja.[18]

6. Načini smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu

Ulaganje u tehnologiju presudno je za smanjenje zrakoplovne buke, ali mogu proći godine da bi se novi dizajni značajno proširili na komercijalnu operativnu flotu. Ostale strategije za smanjenje buke mogu dovesti do neposrednijeg smanjenja buke. Te strategije obično slijede uravnoteženi pristup upravljanju bukom u zrakoplovima, zajedno s ostalim politikama i najboljim praksama koje je uspostavila Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (ICAO), uključujući planiranje namjene zemljišta, operativne postupke, ograničenja i angažman u zajednici, uz smanjenje buke na izvoru. Navigacija zasnovana na performansama (PBN) još je jedna strategija koja može pomoći u smanjenju zrakoplovne buke. PBN spaja satelitsku tehnologiju s naprednom avionikom kako bi stvorio precizne trodimenzionalne putanje leta. Kako bi smanjili buku, zračne luke koriste PBN u pokušaju usmjeravanja zrakoplova kako bi se utjecaj na stanovništvo sveo na najmanju moguću mjeru.[19]

6.1. Tehnologijske mjere

NASA je 1994.godine pokrenula sedmogodišnji program, program smanjenja buke AST (Advanced Subsonic Transport), radi razvoja tehnologije za smanjenje buke mlaznog transporta za 10dB u odnosu na razinu iz 1992.godine. Većina ciljeva AST-a ispunjena je 2001.godine, zbog očekivanog godišnjeg povećanja od 3 do 8% u putničkom i teretnom prometu u dvadeset i prvom stoljeću i sporog uvođenja nove tehnologije za smanjenje buke. Očekuje se da će globalni utjecaj svjetske buke zrakoplova ostati u osnovi konstantan (možda do 2030.godine), a nakon toga početi rasti. Stoga je NASA započela suradnju s FAA-om, sveučilištima, industrijom i interesnim skupinama za zaštitu okoliša u Sjedinjenim Američkim Državama.

Jedan od najvažnijih programa tehnologije smanjenja buke u SAD-u je program Quiet Technology Demonstrator QTD1, partnerstvo između Boeinga, Rolls Roycea i American Airlinesa. Druga faza ,QTD2, partnerstvo između NASA-e, General Electric-a, Goodricha i ANA-e.



Slika 9. Tehnologija smanjenja buke QTD2,[20]

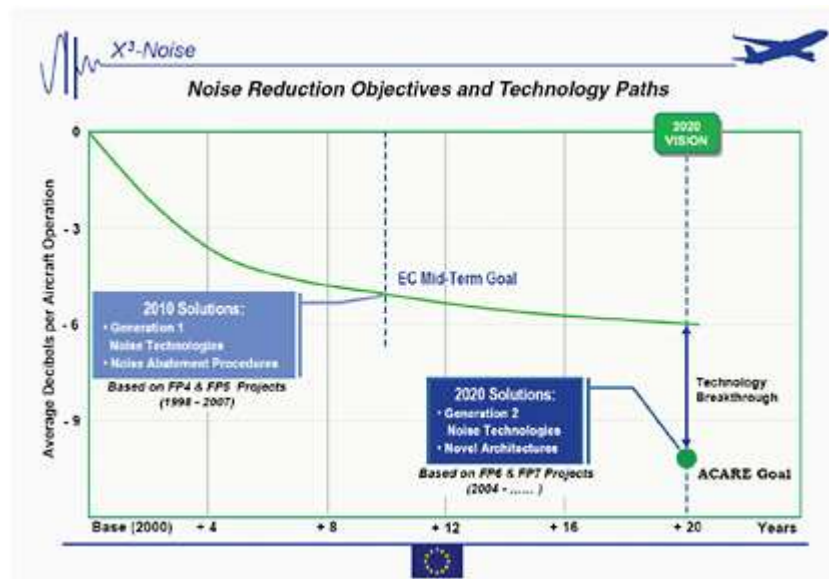
Nakon rigoroznih ispitivanja, uključujući mjerenja na tlu, u putničkoj kabini i na zrakoplovu, mnoge tehnologije smanjenja buke, uključujući glave mlaznica, neprovodne obloge za ulaz, proširena mjesta obloga i redizajnirani sustavi protiv zaleđivanja kao što se vidi na slici 9., kao i glatki zupčanici za smanjenje buke pri slijetanju (vidljivo na slici 10.), ugrađeni su u postojeće zrakoplove i dizajne budućih zrakoplova Boeinga. Stoga su noviji zrakoplovi Boeing znatno tiši i za putnike i za zračne luke.



Slika 10. Dio konstrukcije zrakoplova za slijetanje koji služi za smanjenje buke od stajnog trapa testirani u QTD2.[20]

Savjetodavno vijeće za zrakoplovna istraživanja u Europi (ACARE) postavilo je cilj smanjenja smetnji od buke za 50 posto za zrakoplove koji ulaze u promet 2020. godine. ekvivalent je smanjen za 10 EPNdB prosječne razine zvuka tijekom dana, večeri i noći za zrakoplove s

fiksni krilima. Uz smanjenje buke, mora se smanjiti i specifična potrošnja goriva za 50 posto (opet u odnosu na motore koji su pušteni u rad 2000. godine).[20]



Slika 11. Ciljevi smanjenja buke i tehnološki planovi koje je postavio ACARE[20]

Da bi se postavili standardi buke, razumijevanje trenutnih istraživanja i tehnološkog razvoja je imperativ. Tehnološki napredak i dalje tjera zrakoplovnu zajednicu na postizanje ICAO-ovog cilja ograničenja ili smanjenja broja ljudi pogođenih značajnom bukom zrakoplova. ICAO kontinuirano nadgleda istraživanje i razvoj tehnologije smanjenja buke, a to nadopunjuje postupak postavljanja standarda.[21]

U kontekstu ukupnog programa zaštite zračne luke u Frankfurtu, aktivno smanjenje buke igra ključnu ulogu. Za razliku od pasivnog smanjenja buke (zvučna izolacija, itd.), aktivnim se mjerama želi smanjiti buka na izvoru - zrakoplovu. Ublažavanje buke ima dugu povijest na aerodromu u Frankfurtu (FRA), uključujući aktivno smanjenje buke koje postaje sve važnije od 2007. godine kada je prvi paket aktivnih mjera za smanjenje buke pokrenut na FRA-u u prosincu 2007. Početni paket sastojao se od sedam mjera. Takozvani Savez za aktivno smanjenje buke identificirao je 2012. godine još 19 mjera kojima je cilj značajno smanjiti broj ljudi pogođenih bukom zrakoplova u regiji koja okružuje zračnu luku u Frankfurtu. Neke od ovih 19 inicijativa sada su u redovnom radu, dok su druge u fazi probnog rada ili imaju status projekata istraživanja i razvoja. Ovaj povećani nagib klizanja ILS od 3,2 stupnja instaliran je na novoj pisti sjeverozapadne staze zračne luke u Frankfurtu (25R / 07L) - koja je prvi put otvorena 2011. godine za dvosmjerno slijetanje. Povećani nagib klizanja znači da zrakoplovi moraju letjeti na većoj visini od oko 60 m osam milja prije nego što dosegnu prag

slijetanja. Povećani nagib klizanja jedna je mjera koja može pomoći u smanjenju emisije buke zrakoplova ispod konačne staze prilaza od 12 nautičkih milja. Razvoj povećanih ILS operacija na kliznim kosinama na FRA jasno pokazuje ulogu koju glavno njemačko središte ima, ne samo kod kuće već i na međunarodnoj razini. Zapravo je FRA jedina zračna luka u kojoj se povećane operacije ILS-a s kliznim nagibom provode posebno iz razloga smanjenja buke, a ne zbog prepreka leta. Iako je put bio dug i izazovan, rezultati su se isplatili.[44]

Metode za kontrolu buke zrakoplova uključuju principe korištenja piste i planiranje rute leta. Te akcije usmjeravaju promet na najmanje naseljena područja u granicama propisa o sigurnosti leta. Primjerice, u zračnoj luci u Helsinkiju zagađenje se smanjuje odabirom smjera uzlijetanja i slijetanja zrakoplova. Planiranje rute leta može znatno smanjiti buku tijekom polijetanja. Pitanja sigurnosti predstavljaju posebne izazove za kontrolu buke tijekom slijetanja, jer se konačni prilaz izvodi u skladu s pistom, a nadmorska visina i udaljenost do piste kontroliraju se opremom za slijetanje. Održavanje sigurnosne udaljenosti između slijetanja zrakoplova na istu pistu važno je posebno tijekom vršnih sati. Direktiva Europske unije o buci u okolišu (2002/49 / EY) provedena je u Finskoj izmjenom 459/2004 Zakona o zaštiti okoliša. Direktiva zahtijeva da države članice svakih pet godina izrade istrage buke i planove za sprečavanje buke za gusto naseljena područja i prometne autoceste, željeznice i zračne luke.[45]

BWB (Blended Wing Body) zrakoplovi integriraju trup u strukturu krila kako bi smanjili otpor trupa. Ovaj koncept predložio je Boeing za komercijalne primjene prije otprilike 10 godina, a predmet je studija Boeinga, NASA-e i sveučilišta u Sjedinjenim Državama i Europi. Debeli središnji dio koncept prilično razlikuje od koncepta čisto letećih krila i dovodi do strukturne učinkovitosti koja poboljšava ukupne performanse zrakoplova BWB. Performanse bi se najbolje mogle dodatno poboljšati sposobnošću korištenja turbopropulzivnog pogona i opcijom vodikovog goriva (zbog velike veličine super teretnih zrakoplova, mala gustoća vodikovog goriva postaje manje problem nego kod konvencionalnih zrakoplova). Postojeći komercijalni teretni zrakoplovi derivati su putničkih zrakoplova ili vojnih teretnih zrakoplova. Tehnološki napredak omogućio bi modernom teretnom zrakoplovu mnogo bolje performanse od zrakoplova za višestruku uporabu. Laminarni protok preko krila dodatno bi povećao učinkovitost zrakoplova BWB - i svih ostalih gore opisanih tipova zrakoplova.[22]

U pogledu današnje tehnologije, Boeing 747 i Airbus A380 predstavljaju granice mogućeg s obzirom na veličinu i performanse u trenutno primijenjenim konceptima trupa/kрила. Međutim, kvantni skok u posve nove parametre mogao bi se postići realizacijom zrakoplova s miješanim krilnim tijelom BWB, poznatim i pod nazivom „leteća krila“, koji su sposobni za prijevoz više nego dvostruko više putnika od današnjih najvećih zrakoplova. Također bi mogli bolje zadovoljiti potrebu za poboljšanom udobnošću i sigurnošću na letovima na velike daljine za koje se očekuje da će u prosjeku trajati 16-18 sati.

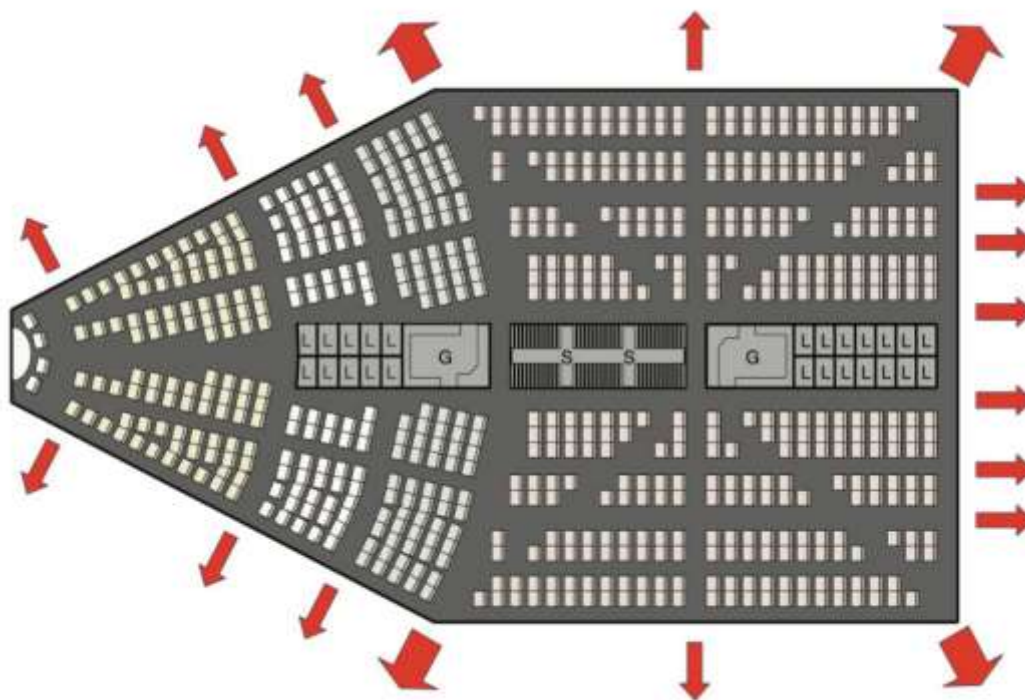
Dizajn kabine također će morati odgovoriti na potrebe širokog spektra putničkih skupina, uključujući djecu, žene, starije osobe, vjerske i etničke skupine i druge posebne interesne skupine (skupine koje putuju na hodočašća ili na sportske događaje poput Olimpijskih igara). Možda je najveći izazov koji projekt predstavlja potrebu osigurati putnicima mogućnost slobodnog vježbanja i kretanja kroz kabinu. Bilo koji budući zrakoplov morat će razmotriti zahtjeve svojih putnika ako želi postići njihovo prihvaćanje, posebno njihovu udobnost i sigurnost, kao i njihovu zabavu, uslugu i sposobnost komunikacije sa zemljom.



Slika 12. BWB zrakoplov [36]

Povećana ulazna i izlazna vrata pomoći će putniku stvoriti vrlo pozitivan „prvi dojam“. Da bi se odgovorilo na zahtjev 90-sekundnog vremena iskrcavanja tijekom izvanredne situacije,

također će biti potrebno uključiti mnogo šire glavne prolaze i dodatnih osam izlaza za nuždu. Inteligentni navigacijski sustav u kombinaciji s brojnim brojačima na službama za pomoć pomogao bi izbjeći "gužvu u prometu" tijekom ukrcaja. Također se predlaže kombiniranje postupka ukrcaja s nekoliko sigurnosnih inspekcija. Kabina BWB-a ostavit će većinu putnika bez izravnog pogleda vani. To bi se moglo umjetno otkloniti uporabom bočnih zidnih video zaslona koji prikazuju vanjske poglede, dok bi podaci o brzini, nadmorskoj visini i položaju zrakoplova također olakšali nedostatak vizualne spoznaje. Izgraditi pametan koncept kabine oko ovih strukturnih elemenata predstavlja priliku i izazov za dizajnere. To bi moglo rezultirati razvojem koncepata i struktura za segmentaciju kabina koji daleko premašuju ono što danas znamo.



Slika 13. 2D izgled s izlazima u slučaju nužde za konfiguraciju za 730 putnika [23]

Međutim, treba imati na umu da BWB zrakoplov vjerojatno neće raditi na regionalnim rutama popularnim među poslovnim putnicima, ali još uvijek treba pronaći odgovore u vezi s konceptima odlaganja ručne prtljage.[23]

6.2. Operativne restrikcije

Zabrinutost zbog buke navela je neke države da razmisle o zabrani rada određenih bučnih zrakoplova u zračnim lukama osjetljivim na buku. U 1980-ima fokus je bio na zrakoplovima bez certifikata o buci (NNC); devedesetih se preselio u zrakoplove iz poglavlja 2; danas se preselio u najbučniji zrakoplov iz poglavlja 3. Međutim, operativna ograničenja ove vrste mogu imati značajne ekonomske implikacije za dotične zračne prijevoznike, kako one sa sjedištem u državama koje poduzimaju akcije. Skupština ICAO-a je svakom prilikom uspjela postići sporazum - sadržan u rezoluciji Skupštine - koji je predstavljao pomnu ravnotežu između interesa država u razvoju i razvijenih država i uzimao u obzir zabrinutost zrakoplovne industrije, zračnih luka i interese okoliša.[24]

Uravnoteženi pristup upravljanja bukom zrakoplova oko zračnih luka (Doc 9829) jedina je svjetska priznata politika upravljanja utjecajima buke oko zračnih luka i provodi se diljem svijeta. Temelji se na četiri stupa koja se sastoje od:

- Smanjenja buke na izvoru
- Učinkovitog planiranja korištenja zemljišta
- Operativnih postupaka i uporabe operativnih ograničenja

U tom kontekstu, ICAO smjernica „Operativne mogućnosti za smanjenje buke zrakoplova“ dopunila bi rad proveden za jedan aspekt provedbe uravnoteženog pristupa o buci zrakoplova, pružiti sveobuhvatne informacije o operativnim tehnikama koje mogu pomoći smanjiti zrakoplovnu buku, gdje je god to moguće i operativno sigurno za to. Taj posao izvodi radna skupina kao dio ICAO-vog odbora za zaštitu okoliša u zrakoplovstvu CAEP, koji bi trebao biti dostavljen u 2022.godini.[25]

Kako je utvrđeno uravnoteženim pristupom ICAO-a, ako se ne učini dovoljno u okviru prva tri stupa, operativna ograničenja su krajnje potrebna i mogu poslužiti kao vrlo otvoreni poticaj industriji da učini više tamo gdje ima ovlasti. Budući da zrakoplovstvo rijetko utječe na korištenje i planiranje zemljišta, to znači da fokus mora biti na radu i proizvodnji kako bi se ograničila operativna ograničenja. U nekim područjima, smanjenje buke će vjerojatno i dalje predstavljati veliki izazov. Poboljšanjem učinka buke smanjuje se i rizik od dodatnih ograničenja koja se nameću, npr. za Zračnu luku Frankfurt sud je odlučio o prestanku noćnih operacija, populacija koja živi na jugoistoku Londona vjeruje da će u budućnosti ograničenja za noćne operacije i dalje postojati.

Poboljšane performanse imaju potencijal otključavanja nekih ograničenja, a CAA (Civil Aviation Authority) vjeruje da ako zračni prijevoznici ne dođu do izražaja u poboljšanju operativnih tehnika ublažavanja, nabave i upravljanja njihovom flotom za smanjenje buke na najmanju moguću razinu za maksimalni broj ljudi, dodatni kapaciteti koje traže na jugoistoku Londona jednostavno neće biti građeni. To bi trebalo poslužiti kao jasan poticaj zračnim prijevoznicima i drugima da se usmjere na poboljšanja. Ako to ne poboljša performanse u dovoljnoj mjeri, kreatori politike trebali bi razmotriti uvođenje jačih mjera kako bi se osigurala dovoljna usredotočenost na upravljanje bukom u korist lokalnih zajednica, zrakoplovnih korisnika i širega gospodarstva.

Iako su razvijeni u isto vrijeme, uvedeni u upotrebu u roku od pet godina, Airbus A380 i Boeing 787 Dreamliner su različiti tipovi zrakoplova. A380 sposoban je prevoziti preko 800 putnika, 787 Dreamliner ima tradicionalniju putničku konfiguraciju od 330 putnika, 787 Dreamliner je prvi kompozitni komercijalni transportni zrakoplov, projektiran je za uštedu goriva do 20% u odnosu na Boeing 767 i A380, 787 također operira unutar Heathrow-ove stroge kvote broja operativnih ograničenja za noćno letenje i tiši je od tipova zrakoplova koje namjerava zamijeniti.[26]

6.3. Operativne procedure

„Operativni postupci zrakoplova za smanjenje buke trebali bi biti u skladu s odredbama ICAO-ovog dokumenta 8168 (PANS-OPS), svezak I., odjeljak 7., a postupci smanjenja buke koje je operator odredio za bilo koji tip zrakoplova trebali bi biti jednaki za sve aerodrome. (ICAO Prilog 6: Zrakoplovne operacije, poglavlje 4., odjeljak 4.4.9.)

JAR-OPS 1.235 zahtijeva da:

- Operator će uspostaviti operativne postupke za ublažavanje buke za vrijeme letačkih operacija u skladu s ICAO Doc 8168 (PANS-OPS), svezak I, odjeljak 7; i to
- Postupci uspona za usporavanje smanjenja buke koje je odredio operator za bilo koji tip zrakoplova trebali bi biti jednaki za sve aerodrome.

Mnoge zračne luke primjenjuju tehnike ublažavanja buke, uključujući sljedeće:

- Definiranje postupaka za smanjenje buke koji izbjegavaju stambena područja što je više moguće i izbjegavaju prelijetanje osjetljivih mjesta kao što su bolnice i škole
- Korištenje kontinuiranih pristupa spuštanju i tehnika smanjenja buke
- Osiguravanje korištenja optimalne piste i ruta koliko god to dopuštaju uvjeti
- Izbjegavanje nepotrebne upotrebe pomoćnih pogonskih jedinica zrakoplovima na postolju
- Izgraditi prepreke i olovke za motore za zadržavanje i odbijanje buke
- Vuča zrakoplova umjesto korištenja mlaznih motora za taksi
- Ograničavanje noćnih operacija
- Ograničavanje broja operacija ili opsega kritične konture buke
- Pružanje izolacije od buke za kuće koje su najviše pogođene
- Primjenom različitih operativnih punjenja na temelju buke zrakoplova
- Nadzor pojedinačne razine buke i vođenje staze te kažnjavanje bilo kakvog kršenja“[27]

Način upravljanja zrakoplovima u svakodnevnim operacijama također može imati utjecaj u smislu buke koja dopire do tla. ICAO pomaže u razvoju i standardizaciji operativnih postupaka s niskom razinom buke koji su sigurni i isplativi. Mogućnosti uključuju piste i rute s preferencijama za buku i postupke smanjenja buke za polijetanje i slijetanje. Prikladnost bilo koje od ovih mjera ovisi o fizičkom rasporedu zračne luke i okolice, ali u svim slučajevima postupak mora dati prednost sigurnosnim razlozima.

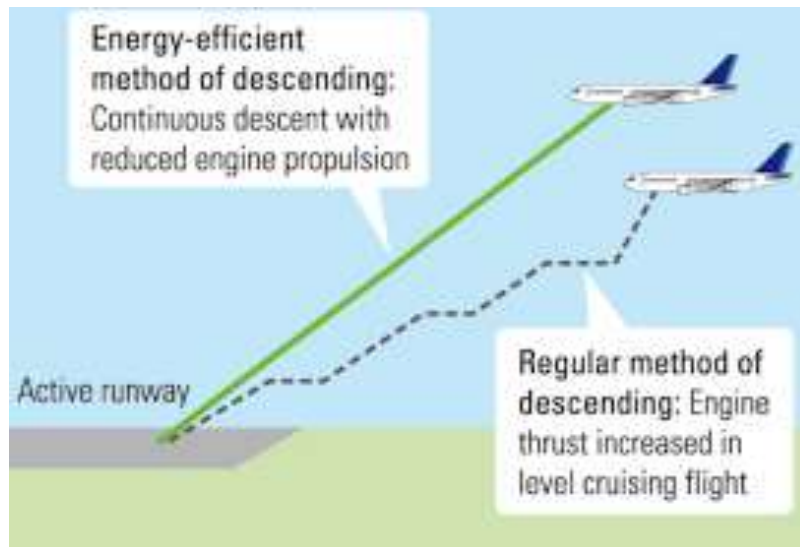
ICAO-ove preporuke o operativnim postupcima sadržane su u nekoliko dokumenata:

- Doc 8168 (Postupci za usluge zračne navigacije – Operacije zrakoplova(PANS-OPS)) Dio I – pruža smjernice o pistama i rutama s preferencijama za buku, pomaknutim pragovima, operativnim postupcima prilaza i slijetanja te postupcima za smanjenje buke (NADP).
- Doc 8168 (Postupci za usluge zračne navigacije – Operacije zrakoplova(PANS-OPS)) Dio II – uključuje razmatranje aspekta buke pri planiranju i definiranju ruta polaska, uključujući kompromis koji se odnosi na koncentriranje ili širenje buke zrakoplova s definiranjem ruta.

- Doc 9931 – Priručnik za kontinuirano spuštavanje (CDO) i Doc 9993 – Priručnik za kontinuirano penjanje (CCO) pružaju smjernice o CDO i CCO operacijama koje mogu donijeti koristi i s aspekta buke i emisija.
- Doc 9888 – Pregled projekata istraživanja, razvoja i provedbe smanjenja buke sadrži sažetak dvaju istraživanja ključnih zrakoplovnih dionika provedenih 2006 i 2008. godine.
- Doc 10031 – Smjernice o procjeni utjecaja na okoliš predloženih operativnih promjena u upravljanju zračnim prometom pruža smjernice za procjenu utjecaja na okoliš kako bi se podržalo zdravo i informirano donošenje odluka prilikom analize predloženih operativnih promjena u upravljanju zračnim prometom ATM.[28]

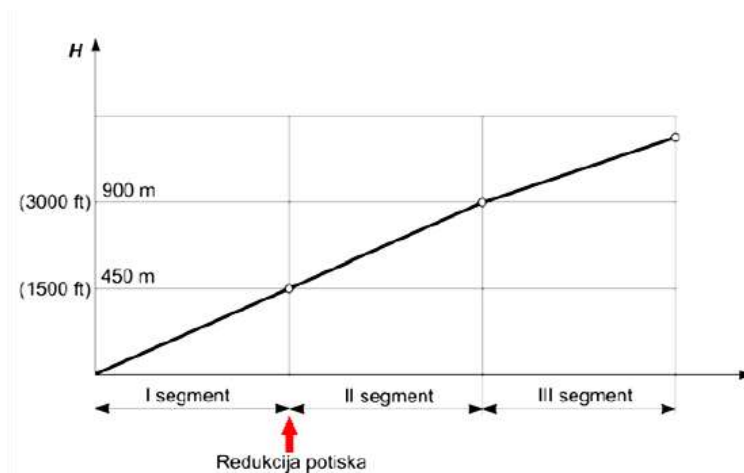
Kontinuirane operacije uspona i spuštanja (CCO i CDO) tehnike su upravljanja zrakoplovom omogućene dizajnom zračnog prostora, dizajnom procedura instrumenata i olakšane kontrolom zračnog prometa (ATC). CCO i CDO omogućuju zrakoplovima da slijede fleksibilnu, optimalnu putanju leta koja donosi velike ekološke i ekonomske koristi - smanjeno sagorijevanje goriva, plinovite emisije, buka i troškovi goriva - bez ikakvih negativnih učinaka na sigurnost. CCO i CDO operacije omogućuju dolazak ili odlazak zrakoplova da se kontinuirano spuštaju ili penju, u najvećoj mogućoj mjeri. Zrakoplovi koji primjenjuju CCO koriste optimalni potisak motora i brzine uspona dok ne dosegnu svoju krstareću razinu.[29]

EUROCONTROL je surađivao s velikim brojem dionika, uključujući zrakoplovne tvrtke, zračne luke i pružatelje usluga u zračnoj plovidbi, kako bi izradio europski akcijski plan CCO/CDO. To uključuje praktične savjete o tome kako postići da CCO/CDO funkcionira, s primjerima najboljih praksi i načinom na koji se ograničenja mogu prevladati, nadovezujući se na veliko iskustvo koje Europa već ima u optimizaciji učinkovitosti vertikalnih profila leta. Studija EUROCONTROL-a iz 2018. pokazala je da je korist od optimizacije faza uspona i spuštanja uključivala uštedu goriva do 350.000 tona godišnje za zrakoplovne kompanije. To odgovara preko milijun tona CO₂ i 150 milijuna eura troškova goriva.[30]



Slika 14. Ilustracija koristi CDO-a,[35]

„FAA postupak - prihvaćen od strane ICAO-a i sastoji se od tri segmenta. U prvom segmentu koristi se potisak za polijetanje, brzina se povećava za 19 km/h kako bi zrakoplov postigao veći kut penjanja do 450 m (1500 ft); zakrilca su u položaju za polijetanje. Nakon redukcije potiska javlja se drugi segment koji koristi potisak za penjanje uz održavanje brzine dok se zakrilca djelomično uvlače, ali pod uvjetom da se brzina može povećati za 19 km/h. Posljednji segment odnosi se na fazu penjanja u kojoj se koristi jačina potiska za penjanje. Brzina se povećava na 465 km/h i konstantno se održava do visine od 3000 m (9000 ft), a zakrilca se nakon ubrzanja uvlače kako bi se smanjio otpor. Ovakav način polijetanja omogućuje zrakoplovu brže udaljavanje od zemlje pod većim kutom čime buka na zemlji traje kraće. FAA postupak može se primijeniti na svim zrakoplovima i ne zahtijeva ugradnju nikakve dodatne nove opreme u zrakoplovu ili na zemlji.“[31]



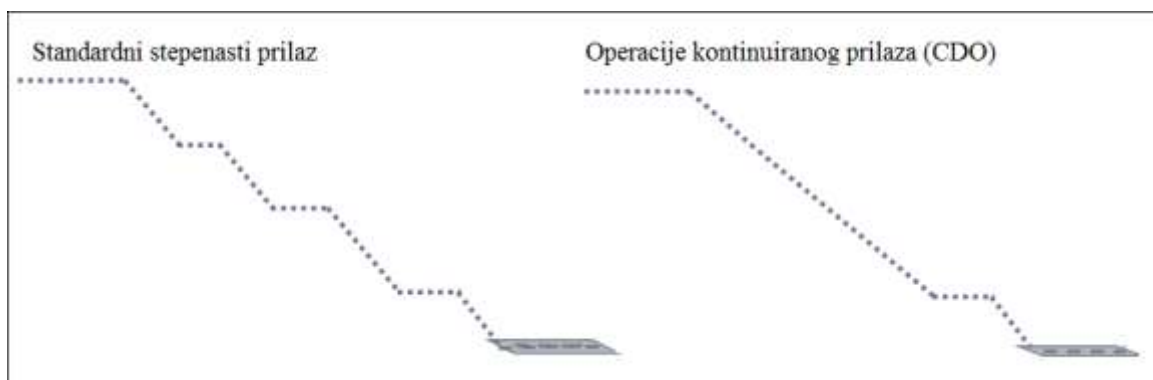
Slika 15. FAA postupak polijetanja [31]

„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 16.) 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.“[8]



Slika 16. Postupak Lufthansa-e [8]

„Drugi naziv koji se još koristi za CDO je neprekinuto snižavanje visine prilikom prilaza (Continuous Descent Approach – CDA).



Slika 17. Usporedba standardnog i CDA prilaza [31]

Implementacija CDA postupka povećava produktivnost zračnog prijevoznika, zračnih luka i kontrole zračnog prometa. Uloge navedenih dionika mogu se podijeliti kako slijedi:

- uloga države: strateško planiranje korištenja zračnog prostora u smislu provedbe CDA postupaka, marketing i potporu implementacije CDA, plan kao način zaštite

- okoliša, podrška prilikom izmjene operacija i sigurnosnih pregleda, preporuke,
- uloga pružatelja usluga u zračnoj plovidbi: sve relevantno osoblje ATC-a trebalo bi dobiti odgovarajuću edukaciju i trening kako bi im se omogućila olakšana primjena CDA
 - uloga operatora zrakoplova: proaktivna uloga u provedbi i korištenju simulatora za procjenu CDA mjere, poticanje pilota na primjenjivanje CDA tehnike kako bi se minimizirali horizontalni segmenti letenja tijekom prilaza
 - uloga operatera aerodroma: pružanje lokalnih strateških ciljeva, savjeta i smjernice oko aerodroma, praćenje buke zrakoplova u prilazu, aktivno obavješćavanje lokalne zajednice o postignućima zaštite okoliša.

Jedna od mjera koju koriste zrakoplovi u prilazu je manja snaga – manji otpor (*Low Power/Low Drag* – LP/LD). Mjera predstavlja smanjenje buke zrakoplova u dolasku, prilikom koje pilot odgađa izvlačenje stajnog trapa i zakrilaca do završne faze prilaza USS-i, ovisno o zahtjevima vezanim uz kontrolu brzine, ATC-a i sigurnosti. Zrakoplovi koji koriste LP/LD proceduru ostvaruju 30-40 % nižu potrošnju goriva i stvaranje CO₂ ispod 10.000 ft u odnosu na zrakoplove koji koriste konvencionalni prilaz. Prema procjeni američkog sustava ustanovljeno je da ako samo 1 % od ukupnih operacija koriste LP/LD proceduru, štednja će iznositi preko deset milijuna litara goriva i 28.000 tona CO₂ godišnje.“[31]

„Bez obzira na to radilo se o buci zrakoplova pri slijetanju i polijetanju ili buci zrakoplova koja nastaje na zemlji, mjesne vlasti moraju na što bolji način zaštititi okolno stanovništvo. Princip zaštite operativnim procedurama može biti koristan iz razloga ako je moguće koridore premjestiti iznad nekoga područja koje nije naseljeno i time bi se riješila buka. Na pomicanje koridora gleda se sa velikim oprezom s obzirom da takva odluka može ugroziti sigurnost leta.

Prijedlozi za rješavanje ovoga problema buke su:

1. tehnološko unapređenje uzletno sletnih staza
2. pomicanje pragova uzletno sletne staze
3. preferiranje drugih zračnih ruta
4. ukidanje procedura u polijetanju i slijetanju koje uzrokuju veliku buku
5. uvođenje novih procedura u slijetanju (krivolinijske putanje)

6. minimalno korištenje kontra pogona za zaustavljanje zrakoplova (reverse thrust) u slijetanju

Redukcija buke na ovakav način je izazov za zračne luke, zrakoplovne kompanije i kontrolu leta, no s ekonomskog stajališta možda je najučinkovitije i najlakše izvedivo.“[46]

6.4. Ekonomske mjere

Nedavna procjena Direktive 2009/12 / EZ o aerodromskim pristojbama , zajedno s analizom javno dostupnih podataka, otkrila je da je približno 60% najprometnijih zračnih luka EU28 + EFTA primijenilo naknade za zaštitu okoliša. U skladu s ICAO smjernicama, ove su naknade usredotočene na lokalne utjecaje buke i kvalitete zraka (NOx), a ne na globalne klimatske promjene (CO2), a ovise o brojnim čimbenicima, uključujući zrakoplov i tip motora, potvrđenu razinu buke i emisije te doba dana. Ukupni udio naknada za zaštitu okoliša u odnosu na ukupne naknade za zračne luke raste, ali je i dalje mali od 2016. (približno 4% za daleke i 1% za kratke letove). Budući da zračne pristojbe predstavljaju 15-20% troškova niskotarifnih prijevoznika i 4-8% troškova mrežnih prijevoznika, izvješće o procjeni zaključilo je da je upitno utječu li ti sustavi naplate na flotu koja posluje u zračnim lukama. Iako postoje značajne razlike u strukturi sustava za naplatu okoliša u cijeloj Europi, ocjenom direktive o zračnim lukama utvrđeno je da je pružila zajednički okvir za transparentno savjetovanje o postupku određivanja naknada, pravnim lijekovima, nediskriminaciji i uspostavi neovisnih nadzornih tijela.[32] Prema međunarodnom pravu, zrakoplovno gorivo za međunarodne letove oslobođeno je oporezivanja, što znači da je zračni prijevoz relativno jeftin. To također smanjuje poticaj za zrakoplovne tvrtke da ulažu u učinkovitije zrakoplove. Operatori zrakoplova uključeni su u Sustav trgovanja emisijama Europske unije. Mogli bi se dalje poticati porezom na gorivo (koji bi se mogao naplaćivati za domaće letove). Ovo bi moglo:

- osigurati da zrakoplovne tvrtke plaćaju zagađenje koje uzrokuju, poput ostalih prijevoznika
- poticati razvoj zrakoplova koji štede gorivo
- pomoći u smanjenju potražnje za zračnim putovanjima jer druge mogućnosti postaju konkurentnije

- biti dosljedan obećanjima Ujedinjenog Kraljevstva za smanjenje emisija stakleničkih plinova iz zračnih luka

Politika bi trebala progresivno tražiti pravičnu osnovu za oporezivanje troškova u svim načinima prijevoza. Posebno treba poduzeti sve moguće pokušaje da se osigura da troškovi zrakoplovstva u potpunosti uključuju ekološke i socijalne troškove, u skladu s načelom "onečišćivač plaća". Vlada bi također trebala uvažiti činjenicu da neoporezivi status zrakoplovnog goriva djeluje učinkovito kao subvencija za zrakoplovnu industriju, te bi ga stoga trebala u potpunosti uključiti u svoju ekonomsku analizu troškova i utjecaja industrije.[33]

7. Mjere u cilju smanjenja buke na zračnim lukama

Rast zračne luke uvijek je ovisio o više čimbenika. Tamo gdje je nekada bilo da su ekonomski čimbenici uglavnom glavni razlog rasta, danas je naglasak više na uvjetima za život u okolnim područjima, a glavni atribut je buka. Dakle, ako želite rasti kao zračna luka, morate smanjiti buku na zračnoj luci i oko nje. Zračne luke imaju tendenciju biti veliki ekonomski pokretač za zemlju: na primjer uvoz i izvoz, otvaranje novih radnih mjesta i turizam. Ipak, kako je većina ekonomija posljednjih godina postojano rasla, drugi su čimbenici postali važniji, posebno za građane oko zračnih luka. Ljudi su počeli shvaćati da buka koju proizvode zrakoplovi i zračne luke utječe na njih. Budući da zrakoplovi generiraju veći dio buke oko zračnih luka, zračne luke se oslanjaju na zrakoplovne tvrtke za upotrebu tiših zrakoplova. Zrakoplovne tvrtke same ovise o proizvođačima koji grade zrakoplove koji proizvode manje buke. Kako bi potaknuli zračne prijevoznike da koriste tiše zrakoplove, zračne luke mogu provoditi financijske poticaje zračnim prijevoznicima, kako bi ih stimulirale. Za raspodjelu buke zrakoplova u okolini zračne luke ovise o upravljanju zračnim prometom. Sami aerodromi mogu samo potaknuti uvođenje upotrebe infrastrukture i zračnog prostora oko zračne luke, prilagođenih buci. Na primjer, optimiziranjem letačkih postupaka pomoću navigacije. Ovi optimizirani postupci leta mogu pomoći u izbjegavanju preleta iznad urbanih područja i stoga će smanjiti utjecaj buke na stanovnike.[37]

Niz NASA-inih letačkih testova uspješno je pokazao tehnologije kojima se postiže značajno smanjenje buke koju stvaraju zrakoplovi u blizini zračnih luka. Letovi za mjerenje zvučnog istraživanja (ARM), u NASA-inom Centru za istraživanje leta Armstrong u Kaliforniji, testirali su tehnologiju za rješavanje buke zrakoplova ili buke koju proizvode nepropulzivni dijelovi zrakoplova tijekom slijetanja. Letovi su uspješno kombinirali nekoliko tehnologija kako bi se postiglo više od 70% smanjenja buke zrakoplova. NASA je testirala nekoliko eksperimentalnih dizajna na različitim komponentama zrakoplova istraživačkog zrakoplova Gulfstream III u Armstrongu, zrakoplov je letio na nadmorskoj visini od 350 stopa, preko niza mikrofona sa 185 senzora raspoređenih na suhom jezeru Rogers u zrakoplovnoj bazi Edwards u Kaliforniji. Mora se postići značajno smanjenje buke zrakoplova kako bi rast zračnog prijevoza zadržao svoj trenutni trend. Smanjenje buke zrakoplova pomoću NASA-

ine tehnologije važno je postignuće u ovom naporu, jer može dovesti do tiših zrakoplova, što će imati koristi zajednicama u blizini zračnih luka i potaknuti šire operacije zračnih luka.[38]

Uz jasan pokazatelj da zračni promet nastavlja rasti, globalni broj putnika trebao bi se udvostručiti do 2037. godine, a zajednice postaju sve glasnije o utjecaju buke. ANIMA (Upravljanje utjecajem buke u zrakoplovstvu kroz nove pristupe) projekt je istraživanja i inovacija, teži širenju i unapređenju najbolje prakse ublažavanja utjecaja buke u državama članicama EU-a.



Slika 18. Slijetanje zrakoplova blizu stambenih objekata [39]

Cilj ovog projekta je razviti nove metodologije, pristupe i alate za upravljanje i ublažavanje utjecaja zračne buke; jačanje sposobnosti zrakoplovnih sustava da odgovore na rastuće prometne zahtjeve. ANIMA se razlikuje od ostalih projekata po tome što ne pokušava ublažiti stvaranje buke na izvoru, već ispituje kako ljudi doživljavaju utjecaj na zemlji. Zračne luke imaju i socijalni i ekonomski utjecaj na zajednice koje ih okružuju. Za putnike su zračne luke simbol međuregionalne i globalne povezanosti. Međutim, za obližnje stanovnike aerodrom može ugroziti kvalitetu njihova života. Buka je jedna od najvažnijih briga stanovnika. Male zračne luke sustižu nove pristupe ublažavanju buke. Oni pokazuju sve snažniju predanost upravljanju bukom, s posebnim naglaskom na planiranje korištenja zemljišta.[39] Brojne zračne luke širom svijeta ograničavaju svoje operacije tijekom noći zbog ograničenja buke – prema ICAO-u, broj međunarodnih zračnih luka koje ograničavaju noćno letenje u nekom obliku iznosi 161, od kojih se 107 nalazi u Europi.

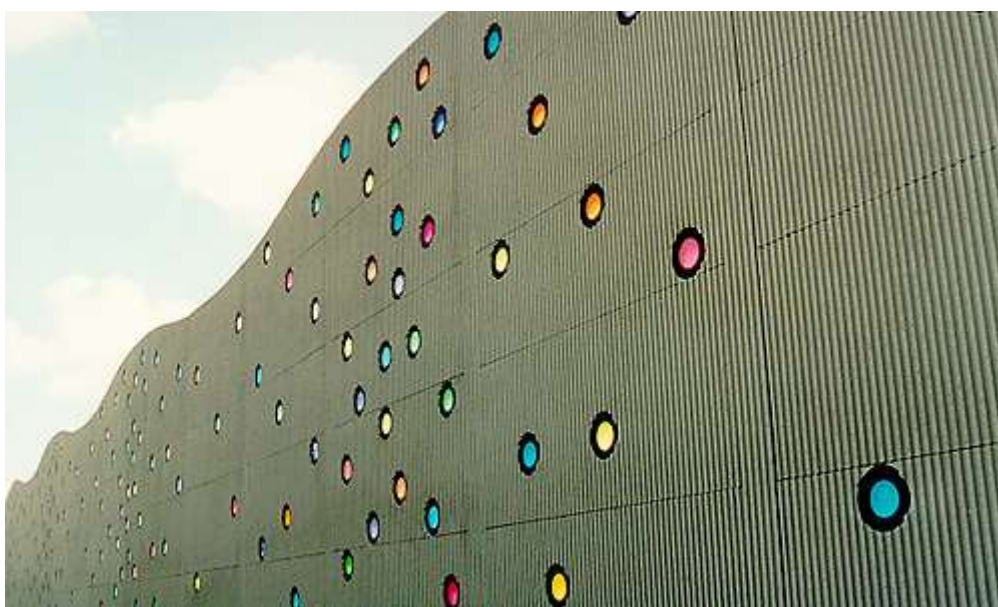
Zračne luke također puno više naplaćuju letove koji slijeću ili odlaze tijekom noći. Na primjer, zračna luka London-Gatwick (LGW) nameće pristojbe svakom zrakoplovu koji sleti u zračnu luku. Jedna od optužbi odnosi se na buku. Zrakoplov, u skladu s ICAO Prilogom 16. poglavlja 14. osnovne emisije buke, mora platiti 26,23 USD tijekom ljetnog dana (1. travnja - 31. listopada) (5:00 - 22:29), ali noću (22:30 - 04:59) ta se suma povećava na 460,52 USD. Uzimajući u obzir činjenicu da niskotarifni zračni prijevoznici djeluju pod uskim maržama i nastoje izbjeći svaki trošak što je više moguće, zrakoplovne tvrtke nastoje što više izbjegavati slijetanje tijekom noći. Sve u svemu, razlog broj jedan za smanjenje onečišćenja bukom je poboljšanje kvalitete života zajednica koje žive u blizini zračnih luka ili prometnih putova leta.[40]

„Ovisno o vrsti operacija, buku zrakoplova možemo podijeliti na buku koja nastaje u fazi polijetanja i slijetanja te buku zrakoplova na zemlji prilikom servisiranja i testiranja motora. Kada se govori o buci proizvedenoj kod operacija na zemlji, misli se na buku nastalu od zrakoplovnog izvora koja se stvara kod operacija opsluživanja, održavanja zrakoplova i tijekom njegova remonta. Iako se takav tip buke kontrolira kako bi se otklonile pritužbe okolnog stanovništva, najčešće se poduzimaju još neke mjere za njegovu kontrolu u odnosu na sigurnost osoblja. Često se smanjenje buke od 10 dB ili više u određenim područjima blizu zračne luke može postići ispravnom upotrebom određenih uzoraka raznih izvora buke. Preseljavanje testiranja motora zrakoplova na područja podalje od zračnih luka te iskorištavanje bilo koje posebne meteorološke i terenske okolnosti kao i druge alternative mogla bi biti prihvatljivija rješenja. Česta je pojava da se testiranja motora izvode baš na glavnoj poziciji iz razloga što za manji kvar nije isplativo dovesti zrakoplov do stajanke ispred hangara te zbog 30 sekundi probe motora izvlačiti zrakoplov 20 minuta izvan prometa. Testiranje motora zrakoplova izvodi se najčešće na pozicijama od 12-21 uz obavezno prisustvo vatrogasaca. Najčešća su to testiranja motora do 30% snage na glavnoj stajanci, no na stajanci Croatia Airlinesa snaga može biti znatno jača.

Osim zrakoplova, izvor buke na zračnom dijelu čine vozila koja se kreću u svrhu prihvata i otpreme zrakoplova. U ta vozila ubrajamo: zemaljske agregate (koji mogu biti samohodni ili vučni), putničke stepenice, traktore, utovarivače za širokotrupne zrakoplove, autobuse, vozila za izguravanje i vuču zrakoplova, vozilo za pitku vodu, vozilo za fekalije, zračni starter, liftmobil, catering vozilo, uređaj za klimatizaciju, vozilo za odleđivanje zrakoplova, vozila za startanje i parkiranje zrakoplova te ostala vozila koja se kreću na stajanci, a nisu vezana za

opsluživanje zrakoplova. Od navedenih vozila najveći izvori buke su zemaljski agregat GPU (Ground Power Unit) vozila i zračni starter.“[46]

Zrakoplovni odjel Miami-Dade zauzima proaktivan pristup rješavanju zabrinutosti zajednice zbog buke zrakoplova. Kao rezultat toga, stvoren je Ured za uklanjanje buke koji djeluje u okviru Odjela za održavanje objekata. Svrha ureda je surađivati sa Saveznom upravom za zrakoplovstvo (FAA), korisnicima zračnih luka, civilnim organizacijama i okolnim općinama kako bi razvili strategije za smanjenje utjecaja buke povezane s operacijama zrakoplova u međunarodnoj zračnoj luci Miami (MIA) i svim zračnim lukama općeg zrakoplovstva kojima upravlja MDAD.[47]



Slika 19. Zid od buke izgrađen duž NW 36th Street [47]

Slika 19. prikazuje zid od buke dizajniran u cilju smanjenja razine buke povezanih s zrakoplovnim zemaljskim operacijama, od kada je izgrađen razina buke se smanjila za 10dB.[48]

8. Pozitivni primjeri primjene sustava za mjerenje buke

Gradske zračne luke predstavljaju ekološku smetnju, uglavnom zbog onečišćenja bukom koja dolazi od slijetanja i uzlijetanja zrakoplova, što utječe na dobrobit susjednog stanovništva zračnih luka. Zrakoplovna industrija ključna je za gospodarstvo i predviđa se da će u narednoj budućnosti nastaviti godišnju stopu rasta od 4% (isključujući 2020/1 zbog pandemije COVID-19). Budući da su zračne luke ključne komponente infrastrukture zrakoplovne industrije, buka od polijetanja ili slijetanja zrakoplova na zračnim lukama povećat će ovo štetno ekološko pitanje za obližnje zajednice. Mjerenje buke smatra se osnovnim sredstvom za procjenu, provedbu, potvrdu i kontrolu smanjenja buke.

Metodologija prepoznavanja buke zrakoplova i razlikovanja od pozadinske buke temelji se na primanju signala automatskog ovisnog nadzora-emitiranja (ADS-B). Te signale praktički prenose svi zrakoplovi relevantni za problem zračne buke, tj. komercijalni putnički i teretni zrakoplovi. Iako su nedavna istraživanja pokazala da gotovo polovica zrakoplova koristi ADS-B, nedavna Američka i Europska zakonodavstva nalažu upotrebu ADS-B tijekom 2020. godine, s nekim pomaknutim rokovima. Široku upotrebu ADS-B za praćenje zrakoplova koristi i nekoliko aplikacija poput Flightradar24 i FlightAware. Signali ADS-B sadrže informacije o identitetu zrakoplova, njegovom položaju, nadmorskoj visini, brzini, smjeru itd. Dobiveni podaci jednaki su sinkronizaciji primljene buke s nadzornim radarom zračne luke i dodatnim informacijama koje se obično dobivaju od zračnih luka (npr. vrsta aviona, korištena pista, broj leta, odredište). Predložena metoda može se primijeniti u područjima u blizini zračnih luka koja uopće nisu opremljena nadzornim radarom.

Pokus je proveden u zračnoj luci Ben-Gurion (LLBG) u blizini Tel-Aviva, Izrael. Zvučni monitor koji identificira buku zrakoplova prema predloženoj metodologiji uspoređen je s monitorom koji pokreće nadzorni radar zračne luke, za identifikaciju i odvajanje buke zrakoplova. Zračna luka Ben-Gurion (LLBG) ima tri uzletno-sletne staze i koristi je približno 24 milijuna putnika s oko 170 000 kretanja zrakoplova godišnje. Smješten je usred gradskog područja, okružen gradovima i selima koja pate od zagađenja bukom. Mreža od 16 zvučnih monitora kojima upravlja izraelska zračna luka (IAA) okružuje LLBG koji identificira samo oko 90% kretanja zrakoplova, unatoč tome što je povezan s nadzornim radarom zračne luke. Monitori nazvani NMT01 do NMT16 (tj. Noise Monitor n), prikazani na slici 20. Treba naglasiti da su ovi zvučni monitori vođeni radarom, tj. podaci zabilježeni tim monitorima uspoređivani su s radarima zračne luke i prepoznati kao buka zrakoplova prije spremanja.



Slika 20. Zračna luka Ben-Gurion (LLBG) i IAA-ina zvučni monitori oko nje.[41]

Trenutno je sinkronizacija mjerenja razine zvuka s nadzornim radarom zračne luke najčešće korištena metodologija za prepoznavanje buke zrakoplova i odvajanje od pozadinske buke. Jednostavan je i precizan, ali može se primijeniti samo u blizini zračnih luka opremljenih nadzornim radarom. Pokazalo se da je ADS-B barem jednako precizan kao nadzorni radar zračne luke, dok je neovisan o dozvoli zračne luke i suradnji u provođenju nadzora zračne buke. Stoga ovu metodologiju mogu koristiti subjekti ili uprave koji nisu dio zračne luke, npr. ekološke organizacije. Nadalje, ova se metodologija također može koristiti za poboljšanje točnosti mjerenja buke u malim zračnim lukama kojima nedostaje nadzorni radar.[41]

Mjerenja buke zrakoplova i analiza rezultata neophodni su kako bi se pravilno zaštitila lokalna zajednica koja živi u okolnim područjima zračne luke. Stalno ili privremeno praćenje buke koje se obično provodi u lokalnoj zajednici pod pretpostavkom da će buka zrakoplova premašiti ono što se smatra "prihvatljivim" ili zakonski dopuštenim. Rezultati pokazuju da se za zračne luke s niskim intenzitetom letova dugotrajna ekvivalentna razina zvuka jako mijenja u odnosu na dugoročnu maksimalnu razinu zvuka. U blizini zračnih luka s malim intenzitetom leta maksimalna razina zvuka kao metrika utjecaja šuma osjetljivija je od ekvivalentne razine. Iako je danas u većini slučajeva glavna zabrinutost negativan utjecaj buke zrakoplova, najviši cilj je pokazati da se mjerenje i praćenje buke zrakoplova može koristiti u pozitivne svrhe. Na primjer, kako bi se u rutinskom načinu rada pokazalo zašto je zrakoplov prekoračio dopuštenu razinu na točki kontrole buke, kako bi se pokazalo čak i zašto je ta razina premašena (dogodila se pogreška u postupku letenja ili je tip zrakoplova prilično bučan da bi

se njime upravljalo u određenim uvjetima), sva pitanja sigurnosti letenja mogu se postaviti u vezi s uporabom sustava praćenja i istodobno pružanjem povjerenja zrakoplovstvu u cjelini.[42]

9. Primjena sustava za mjerenje buke Zračne Luke Zagreb i Split

„Zračna luka Zagreb (LDZA) je međunarodna zračna luka prvoga slijetanja, ICAO klasifikacije 4E i nalazi se na nadmorskoj visini od 107 metara (351 ft). Gledano s aspekta prometa na Zračnoj luci Zagreb može se prometovati pod VFR i IFR uvjetima leta i otvorena je 24 sata.

Sustav koji je instaliran na Zračnoj luci Zagreb sastoji se od tri fiksirane i jedne mobilne stanice. Mjerne stanice postavljene su od strane danske firme Brüel&Kjaer. Naime radi se o potpunom sustavu kojega čine terminal sa procesorskom jedinicom, mikrofoni te dodatni uređaji.

Model pozicioniranja prvih fiksnih stanica za mjerenje buke na Zračnoj luci Zagreb prvo se vezao za područje u zoni same zračne luke zbog već postavljene potrebne infrastrukture te nekoliko faktora od kojih su najvažniji: mjesta najizloženija buci, blizina praga uzletno sletne staze, nesmetano širenje zvuka od zrakoplova prema mikrofoni bez prepreka, popratna infrastruktura i mreža za pravilno funkcioniranje mjernih stanica. Fiksirane mjerne stanice postavljene su na slijedećim lokacijama: dvije na pragove uzletno sletne staze, prag 05 i prag 23. Mjerna stanica NMT1 (Noise Monitoring Terminal 1) nalazi se 366 metara bočno od praga 05 na trafostanici 3, dok se NMT2 (Noise Monitoring Terminal 2) nalazi 330 metara na trafostanici 4, a mikrofoni su im preko kabla pomaknuti na otvoren prostor bliže pragu uzletno sletne staze. Treća fiksna stanica nalazi se na kontrolnom tornju, dok je mikrofoni fizički prenesen na sam rub zgrade, te povezan sa bazom preko kabla. Mobilna stanica postavlja se ovisno o zahtjevima i željenim lokacijama za mjerenje buke.

Za mjerenje buke na zračnoj luci četiri stanice su minimalan broj koji zračna luka mora imati. Kao što je već navedeno tri stanice su definirane prema ICAO (International Civil Aviation Organization) i FAA (Federal Aviation Administration) standardima, dok mobilna stanica služi za mjerenja izvan zone zračne luke.

Zračna luka Zagreb krenula je sa prvim mjerenjima buke 2006. godine nakon nabave najnovije opreme za mjerenje buke zrakoplova, danske tvrtke Brüel&Kjaer te dugotrajnih pripravnih radova. Trenutna oprema zračne luke za mjerenje buke sastoji se kao što je već spomenuto, od tri nepokretne stanice NMT (Noise Monitoring Terminal) i jedne mobilne stanice (NMT Mobile) te popratne opreme za pouzdano praćenje buke zrakoplova na zračnoj luci. Uz već spomenuti hardware, slijedila je nabava računalnog programa gdje je zračna luka

odabrala programski paket ENM (Environmental Noise Model), INM (Integrated Noise Model) i INM Link.

Instalacija sustava za mjerenje buke zrakoplova na zračnoj luci Zagreb pripomogla je prikazu razine buke u okolini zračne luke, putanjama prilaza i odleta zrakoplova te izradi karte kontura buke. Nakon obrade podataka i pridruživanju podataka o stanovništvu došlo se do zaključka da su sva naselja oko zračne luke (osim ilegalno sagrađenih sela) izložena buci manjoj od 65 dB te prema svim regulativama operacije na zračnoj luci zadovoljavaju propise o buci zrakoplova i zračne luke.“[46]

„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 prosljeđuje u zračnu luku. Dobiveni podaci se obrađuju i generiraju se izvještaji o pojedinim događajima buke zrakoplova, te o pojedinim zvučnim parametrima u okolini 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. 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.“[8]

10. Zaključak

Buka je oduvijek bila najveći ekološki problem u zrakoplovstvu, prema Svjetskoj Zdravstvenoj Organizaciji (WHO), buka može uzrokovati uznemirenost i uskraćivanje sna u kratkom roku, kardiovaskularne bolesti i probleme mentalnog zdravlja dugoročno. Tehnološka poboljšanja pomažu da zrakoplovi postaju manje bučni, ali sve veća potražnja za zračnim prometom znači da bi svi dionici trebali pomoći u smanjenju razine buke oko zračnih luka. Ljudi koji žive u blizini zračnih luka najviše su pogođeni bukom zrakoplova i često se žale na istu. Povećanje zračnog prometa, letovi na nižim nadmorskim visinama i noćni letovi uzroci su neugodnosti koje najviše iritiraju ljude i pozivaju na hitno rješavanje problema. Mnoge regulacije rješavaju ove probleme s različitim mjerama poduzetim na različitim razinama, posebno granične vrijednosti za buku zrakoplova tijekom polijetanja i slijetanja na međunarodnoj razini, zabranjuju prebučne zrakoplove promičući uporabu najboljih dostupnih tehnologija i davanje smjernica državama članicama i zračnim lukama o načinu provedbe učinkovitih postupaka smanjenja buke na Europskoj razini.

Postoji mnogo načina na koji se može smanjiti buka kao što je korištenje navigacije zasnovano na performansama PBN, optimiziranje letačkih postupaka pomoću navigacije, ovi postupci pomažu u izbjegavanju preleta iznad urbanih područja i na taj način se smanjuje utjecaj buke na stanovništvo. Mjerenje razine zvuka s nadzornim radarom zračne luke najčešće se koristi za prepoznavanje buke zrakoplova, jednostavan je i precizan, ali se može koristiti samo u blizini zračne luke. ADS-B je jednako precizan kao i nadzorni radar zračne luke i neovisan je o dozvoli zračne luke, koristi se za poboljšanje točnosti mjerenja buke na malim zračnim lukama na kojima nedostaje radar.

Program tehnologije smanjenja buke u SAD-u je poznat pod imenom Quiet Technology Demonstrator. Uz stalni tehnološki napredak ICAO kontinuirano radi na cilju ograničenja ili smanjenja broja ljudi pogođenih značajnom bukom zrakoplova. Također ICAO nadgleda istraživanje i razvoj tehnologije smanjenja buke te tako nadopunjuje postupak postavljanja standarda. Koncept BWB predložio je Boeing otprilike prije više od 10 godina za komercijalnu primjenu, a predmet je studija sveučilišta u SAD-u i Europi. Načini upravljanja zrakoplovima u svakodnevnim operacijama također mogu utjecati na razinu buke koja dopire do tla, a ICAO također pomaže u operativnim postupcima s niskom razinom buke. U suglasnosti s ICAO smjernicama 60% najprometnijih zračnih luka u Europskoj uniji primijenilo je naknade za

zaštitu okoliša. Europska komisija usvojila je Zrakoplovnu strategiju za Europu, koju smatra prekretnicom za rast europskog gospodarstva i jačanjem vodeće globalne pozicije. Razvoj vanjske zrakoplovne politike EU-a učinak je stvaranja unutarnjeg tržišta EU-a, a to je proizvelo značajne ekonomske koristi.

U Europi neke zračne luke ulažu mnogo sredstava u istraživačkim i razvojnim aktivnostima s ciljem smanjenja buke za ljude koji žive u blizini zračne luke. Veća komunikacija između zračnih luka i suradnja u istraživačkim aktivnostima, posebno razvoj nove metrike utjecaja buke, koja bolje korelira s poznatim učincima na zdravlje, također bi mogla pomoći učinkovitijem upravljanju bukom zrakoplova u budućnosti.

Literatura

1. Clark C. *Aircraft Noise Effects on Health: Report Prepared for the UK Airport Commission. Report Number 150427*. London: Queen Mary University of London; 2015.
2. Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., et al. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet*, 383, 1325-1332
3. Jarup, L., Babisch, W., Houthuijs, D., Pershagen, G., Katsouyanni, K., Cadum, E., et al. (2008). Hypertension and exposure to noise near airports: the HYENA study. *Environmental Health Perspectives*, 116, 329-333.
4. Floud, S., Vigna-Taglianti, F., Hansell, A., Blangiardo, M., Houthuijs, D., Breugelmans, O., et al. (2011). Medication use in relation to noise from aircraft and road traffic in six European countries: results of the HYENA study. *Occupational and Environmental Medicine*, 68, 518-524.
5. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2696954/> , 27.4.2021.
6. <https://core.ac.uk/download/pdf/37319367.pdf> , 3.5.2021.
7. Štimac I. Implementacija sustava praćenja i analiza buke na Zračnoj luci Zagreb. Magistarski rad. Fakultet prometnih znanosti: Sveučilište u Zagrebu; 2009. p.9., 3.5.2021.
8. <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fpz%3A1326/datastream/PDF/view> , 4.5.2021.
9. <https://aviation.stackexchange.com/questions/71301/what-is-the-difference-between-turbojet-and-turbofan-engines/71316> , 5.5.2021.
10. <https://www.intechopen.com/books/noise-and-environment/traffic-noise> , 5.5.2021.
11. <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf> , 17.5.2021.
12. https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2016/ENVReport2016_pg50-55.pdf , 18.5.2021.
13. <http://cockpitdata.com/Software/ICAO%20Annex%2016%20Volume%201> , 2.6.2021.
14. https://applications.icao.int/postalhistory/annex_16_environmental_protection.htm , 2.6.2021.
15. https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/noise_emissions/airport_aircraft_noise_issues/levels/ , 3.6.2021.

16. https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/noise/history/ , 19.5.2021.
17. https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/noise/community/ , 20.5.2021.
18. https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/noise/basics/ , 20.5.2021.
19. [https://www.volpe.dot.gov/news/reducing-aviation-noise-advancing-aviation-enterprise#:~:text=Performance%2DBased%20navigation%20\(PBN\),aircraft%20to%20minimize%20population%20impact.](https://www.volpe.dot.gov/news/reducing-aviation-noise-advancing-aviation-enterprise#:~:text=Performance%2DBased%20navigation%20(PBN),aircraft%20to%20minimize%20population%20impact.) , 21.5.2021.
20. <https://www.nap.edu/read/12928/chapter/7> , 21.5.2021.
21. <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/Noise-Reduction-Technology.aspx> , 25.5.2021.
22. <https://www.nap.edu/read/10815/chapter/6#32> , 2.6.2021.
23. <https://www.aircraftinteriorsinternational.com/features/blended-wing-body-cabin-design-insights.html> , 4.6.2021.
24. <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/Operating-Restrictions.aspx> , 26.5.2021.
25. https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2019/ENVReport2019_pg85-88.pdf , 26.5.2021.
26. <https://www.aef.org.uk/uploads/CAP-1165-Managing-Aviation-Noise.pdf>, 27.5.2021.
27. https://www.skybrary.aero/index.php/Noise_Abatement#Operating_Technique , 27.5.2021.
28. <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/Noise-Abatement-Operational-Procedures.aspx> , 27.5.2021.
29. <https://www.eurocontrol.int/concept/continuous-climb-and-descent-operations> , 28.5.2021.
30. <https://www.eurocontrol.int/publication/european-cco-cdo-action-plan> , 28.5.2021.
31. <https://core.ac.uk/download/pdf/197886412.pdf> , 4.6.2021.
32. <https://www.easa.europa.eu/eaer/topics/airports/environmental-charges> , 28.5.2021.
33. <https://www.environmental-protection.org.uk/policy-areas/air-quality/air-pollution-and-transport/aviation-pollution/> , 28.5.2021.
34. https://www.researchgate.net/figure/Aircraft-noise-Proposed-cardiovascular-side-effects-of-noise-and-air-pollution-O-3_fig1_286468407 , 27.4.2021.

35. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-11/european-cco-cdo-action-plan.pdf> , 28.5.2021.
36. https://www.researchgate.net/figure/DZYNE-Ascent-1000-BWB-regional-jet_fig1_322312782 , 4.6.2021.
37. <https://airinfra.eu/en/blog/innovate-to-stimulate-noise-reduction/> , 4.6.2021.
38. <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-technologies-significantly-reduce-aircraft-noise> , 4.6.2021.
39. <https://www.internationalairportreview.com/article/108254/noise-management-anima-arc/> , 5.6.2021.
40. <https://www.aerotime.aero/23851-aircraft-noise-pollution-aviation> , 5.6.2021.
41. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7481859/> , 5.6.2021.
42. https://www.researchgate.net/publication/332135174_Noise_monitoring_for_improvement_of_operational_performances_of_the_aircraft_in_vicinity_of_airports , 5.6.2021.
43. J. Golubić; Promet i okoliš, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999., p. 154.
44. <https://www.internationalairportreview.com/article/20017/frankfurt-airport-pioneers-active-noise-abatement/> ,12.6.2021.
45. <https://www.finavia.fi/en/about-finavia/responsibility/environment/noise> , 12.6.2021.
46. http://bib.irb.hr/datoteka/420505.Magistarski_rad_-_Igor_timac_24_2_2009.pdf , 21.6.2021.
47. http://www.miami-airport.com/noise_abatement.asp , 22.6.2021.
48. http://www.miami-airport.com/library/MIA_Env_Report.pdf , 22.6.2021.

Popis slika

Slika 1. Utjecaj buke zrakoplova na zdravlje čovjeka.....	4
Slika 2. Usporedba turboblaznog i turboventilatorskog motora.....	6
Slika 3. Prikaz izvora buke kod zrakoplova.....	7
Slika 4. Krivulje smetnji raspoloživih i usporedivih podataka prikupljenih u 20 različitih istraživanja izvedenih u Europi, Sjevernoj Americi i Australiji.....	9
Slika 5. Krivulja doza-odgovor.....	14
Slika 6. DNL – prosječna razina zvuka dan-noć.....	15
Slika 7. Istovrijedne operacije za DNL.....	15
Slika 8. Karta konture buke.....	16
Slika 9. Tehnologija smanjenja buke QTD2.....	18
Slika 10. Dio konstrukcije zrakoplova za slijetanje koji služi za smanjenje buke od stajnog trapa testirani u QTD2.....	18
Slika 11. Ciljevi smanjenja buke i tehnološki planovi koje je postavio ACARE.....	19
Slika 12. BWB zrakoplov.....	21
Slika 13. 2D izgled s izlazima u slučaju nužde za konfiguraciju za 730 putnika.....	22
Slika 14. Ilustracija koristi CDO-a.....	27
Slika 15. FAA postupak polijetanja.....	27
Slika 16. Postupak Lufthansa-e.....	28
Slika 17. Usporedba standardnog i CDA prilaza.....	28
Slika 18. Slijetanje zrakoplova blizu stambenih objekata.....	33
Slika 19. Zid od buke izgrađen duž NW 36th Street.....	35
Slika 20. Zračna luka Ben-Gurion (LLBG) i IAA-ina zvučni monitori oko nje.....	37

Popis kratica

HYENA - HYPertension and Exposure to Noise near Airports

GIS - Geographic Information System

ICAO – International Civil Aviation Organization

CAN - Committee on Aircraft Noise

SARP - Standards and Recommended Practices

CORSIA - Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation

FAA – Federal Aviation Administration

AIP – Airport Improvement Program

ASNA - Aviation Safety and Noise Abatement Act

NEPA - National Environmental Policy Act

DNL - Day-night average sound level

CNEL - Community Noise Equivalent Level

AEDT – Aviation Environmental Design Tool

LEQ - The equivalent sound level

PBN - Performance-Based navigation

NASA - National Aeronautics and Space Administration, U.S.A.

AST - Advanced Subsonic Transport

QTD - Quiet Technology Demonstrator

ACARE – Advisory Council for Aeronautical Research in Europe

CAEP - Committee on Aviation Environmental Protection

IE – Independent Expert

BWB – Blended Wing Body

NNC - Non-Noise Certificated

CAA – Civil Aviation Authority

PANS-OPS - Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations

NADP - Noise Abatement Departure Procedure

CDO – Continuous Descent Operations

CCO – Continuous Climb Operations

ATM – Air Traffic Management

ATC – Air Traffic Control

EFTA - European Free Trade Association

ARM - Acoustic Research Measurement

ANIMA - Aviation Noise Impact Management through novel Approaches

IAA – Israeli Airport Authority

ADS-B - Automatic Dependent Surveillance-Broadcast

WHO – World Health Organization

ILS – Instrument Landing System



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 metode smanjenja buke u komercijalnom zrakoplovstvu**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 19.7.2021

Ante Marinčić

(potpis)