

# Utjecaj zračnog prometa na okoliš

---

**Furlan, Tin**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:683470>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-17**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

TIN FURLAN

UTJECAJ ZRAČNOG PROMETA NA OKOLIŠ

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2021.

**Sazivam članove ispitnog povjerenstva**  
za 20. 09. 2021. u 9 sa

Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred  
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu

Varaždin, 06. 09. 2021.

Predsjednik  
ispitnog povjerenstva:

*izr. prof. dr. sc. Saupka Kovarić*

**Članovi povjerenstva**

- 1) *Doc. dr. sc. Ivana Grošić*
- 2) *izr. prof. dr. sc. Kirope Meaški*
- 3) *izr. prof. dr. sc. Aleksandra Amić Vučinić*

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

UTJECAJ ZRAČNOG PROMETA NA OKOLIŠ

KANDIDAT:  
Tin Furlan

MENTOR:  
prof.dr.sc. Ivana Grčić

KOMENTOR:  
Izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški

VARAŽDIN, 2021.



Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet



## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: TIN FURLAN  
Matični broj: 288 - 2019./2020.  
Smjer: UPRAVLJANJE OKOLIŠEM

### NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

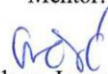
UTJECAJ ZRAČNOG PROMETA NA OKOLIŠ

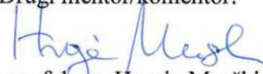
Rad treba sadržati: 1. Uvod  
2. Utjecaj buke na okoliš  
3. Utjecaj odleđivanja zrakoplova na okoliš  
4. Emisije u zračnom prometu i koncept zelenog aerodroma do 2050.  
(Green Airport 2050.)  
5. Zaključak  
6. Popis literature

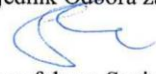
Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 15.06.2021.

Rok predaje: 06.09.2021.

Mentor:  
  
Doc.dr.sc. Ivana Grčić

Drugi mentor/komentor:  
  
Izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški

Predsjednik Odbora za nastavu:  
  
Izv.prof.dr.sc. Sanja Kovač



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

Utjecaj zračnog prometa na okoliš

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **\*doc.dr.sc Ivane Grčić i/ili izv.prof.dr.sc Hrvoje Meaški**

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen 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.

U Varaždinu, 06.09.2021

Tih Furlan

(Ime i prezime)



(Vlastoručni potpis)

**IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG RADA S VEĆ  
OBJAVLJENIM RADOVIMA**

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

\_\_\_\_\_ Utjecaj zračnog prometa na okoliš \_\_\_\_\_

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti diplomskog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 06.09.2021

Doc.dr.sc. Ivana Grčić

\_\_\_\_\_  
(Mentor)



\_\_\_\_\_  
(Vlastoručni potpis)

**Zahvala:**

*Prije svega, zahvaljujem se mentorici doc.dr.sc. Ivani Grčić na mentorstvu i pomoći pri izradi ovoga rada, kao i mome komentoru i našem dekanu izv.prof.dr.sc. Hrvoju Meaškom.*

*Hvala svim profesorima, kolegama, prijateljima i prijateljicama, kao i suradnicima i kolegama na aerodromu. Svi vi ste mi bili podrška ovih pet godina, gurali ste me i pomagali mi u završetku preddiplomskog i diplomskog studija, uz stalan posao koji obavljam na Međunarodnoj Zračnoj Luci Zagreb.*

*Hvala mojoj obitelji na podršci kroz cijeli studij !*



## **ABSTRACT**

**Name and surname: Tin Furlan**

**Title: The environmental impact of air traffic**

Complexity of the impact that air traffic has, as well as all of its companions, aircrafts, airports, passengers, freight, and other factors that play their role, on environment, and consequences they present on climate changes, in this thesis are gonna be divided and presented through various chapters, which are playing major roles in their impact on environment, since the start of global air traffic in the world: noise caused by aircrafts during landing, flying and departing, deicing liquids and protection of aircrafts during winter period, and aircraft and airport emissions.

**Key words:** emission, noise, deicing, air traffic, airport, aircraft, environment, protection

## **SAŽETAK**

**Ime i prezime: Tin Furlan**

**Naslov rada: Utjecaj zračnog prometa na okoliš**

Kompleksnost utjecaja zračnog prometa, kao i dionika, aviona, zračnih luka na okoliš, i posljedice na klimatske promjene, podjeljeno na poglavlja koja su od početka osnutka komercijalnih zračnih prijevoznika i zrakoplova, najutjecajnija: buka, tekućine za odleđivanje i zimske operacije, emisije na okoliš zrakoplova, te emisije od strane zračnih luka.

**Ključne riječi:** emisija, buka, odleđivanje, zračni promet, zračna luka, zrakoplov, okoliš, zaštita

## Sadržaj:

1. UVOD.....	1
2. UTJECAJ BUKE NA OKOLIŠ.....	3
2.1. FIZIKALNA SVOJSTVA BUKE.....	3
2.2. ZAKONSKA REGULATIVA BUKE .....	6
2.2.1. Nacionalna regulative .....	6
2.3. MEĐUNARODNA REGULATIVA O BUCI U ZRAČNOM PROMETU.....	9
2.4. IZVOR BUKE U ZRAČNOM PROMETU.....	12
2.4.1. Buka zrakoplova u letu .....	12
2.4.2. Buka zrakoplova pri kretnjama na površini zračne luke.....	13
2.4.3. Zračna luka kao izvor buke.....	13
2.5. MJERENJE I ANALIZA BUKE NA MEĐUNARODNOJ ZRAČNOJ LUCI ZAGREB .....	16
2.5.1. Sustav mjerenja buke na MZLZ .....	16
2.5.2. Mjerenje i analiza buke na Međunarodnoj Zračnoj Luci Zagreb .....	17
2.6. UTJECAJ BUKE NA ČOVJEKA .....	18
2.6.1. Utjecaj buke na zdravlje .....	18
2.6.2. Utjecaj buke na radno opterećenje.....	19
2.6.3. Mjere ublažavanja štetnog utjecaja buke .....	22
2.6.4. UTJECAJ BUKE PRILIKOM OPERATIVNIH POSLOVA .....	22
3. UTJECAJ ODLEĐIVANJA ZRAKOPLOVA NA OKOLIŠ .....	27
3.1. OPERACIJE ZRAKOPLOVA U ZIMSKIM UVJETIMA .....	28
3.2. VRSTE ZALEĐIVANJA I UTJECAJ NA PERFORMANSE ZRAKOPLOVA..	29
3.3. VRSTE ZALEĐIVANJA ZRAKOPLOVA .....	29
3.4. UTJECAJ NA PERFORMANSE ZRAKOPLOVA .....	30

3.5.	ODLEĐIVANJE I ZAŠTITA ZRAKOPLOVA PROTIV ZALEĐIVANJA .....	31
3.5.1.	Tekućine za odleđivanje i zaštitu zrakoplova protiv zaleđivanja .....	31
3.5.2.	Način nanošenja tekućine za odleđivanje i zaštitu zrakoplova od zaleđivanja 33	
3.5.3.	Utjecaj tekućina za odleđivanje i zaštitu zrakoplova od zaleđivanja na okoliš 34	
4.	EMISIJE U ZRAČNOM PROMETU I KONCEPT ZELENOG AERODROMA DO 2050. (GREEN AIRPORT 2050.) .....	38
4.1.	EMISIJE ZRAKOPLOVA .....	38
4.2.	MJERE ZA SMANJENJE ONEČIŠĆENJA ISPUŠNIH PLINOVA ZRAKOPLOVA U VIDU TEHNOLOŠKIH RJEŠENJA.....	40
4.3.	MJERE ZA SMANJENJE ONEČIŠĆENJA OD STRANE OPERATORA (MZLZ) – “GREEN AIRPORT 2050.” .....	42
5.	ZAKLJUČAK.....	45
6.	POPIS LITERATURE .....	46
	POPIS SLIKA .....	48
	POPIS TABLICA .....	49

# 1. UVOD

Razvoj zrakoplovne industrije, koja iz godine u godinu, ruši sve rekorde u prijevozu putnika, tereta i robe, ignorirajući post pandemijsko razdoblje, koje iako je uzrokovalo tektonske promjene ne samo u zračnom prometu, već i brojnim drugim sektorima, u nadi da ćemo ipak naći način kako se vratiti u naše staro normalno, predstavlja i veliki izazov u pogledu zaštite okoliša. Utjecaj zračnog prometa predstavlja kompleksan izazov, koji uključuje ne samo lokalne zajednice i gradove, političke faktore, već i velik broj sudionika u zračnom prijevozu, od operatora operacija na zemlji, zračnih luka, do prijevoznika i aviokompanija koje vrše prijevoz putnika i tereta, do onih koji sudjeluju u proizvodnji i manufakturi aviona, motora i dijelova aviona. Upravo zato, tako velik broj sudionika u globalnom kapitalističkom tržištu predstavlja izazov, u kojem svi dionici u zračnom prometu neće moći doći do rješenja za dobrobit okoliša, bez sjedanja i rješavanja istoga za zajedničkim stolom.

Prema izvješću ICAO-a, u 2019. godini je prevezeno 4.5 milijardi putnika, što predstavlja rast od 3.6% u odnosu na prošlu godinu, a usporedbe radi, 2002. godine je prevezeno 1.6 milijardi putnika, što predstavlja enorman skok u odnosu na manje od dva desetljeća razlike. U sektoru teretnog prijevoza, u 2019. je prevezeno 57.6 milijuna tona tereta, u odnosu na 30 milijuna tona tereta prevezeno 2002. Sveukupno, 65.5 milijuna radnih mjesta je vezano uz zračni prijevoz.

Stoga je zračni prijevoz jedan od onih koji svojim rastom najviše pridonosi rastu stakleničkih plinova, te se procjenjuje da godišnje generira više od 700 milijuna tona CO<sub>2</sub>. Kako bi se pokazalo na primjeru, jedan let osobe od Londona do New Yorka generira više od 1,5 tona CO<sub>2</sub>. Prevencija štetnog djelovanja zrakoplova se, osim na emisije stakleničkih plinova, uvelike svodi i na umanjeње štetnog djelovanja buke na lokalne zajednice, što predstavlja jedan od najvećih problema u razvijenim zajednicama Europske Unije, te su na brojnim aerodromima već prisutne mjere za smanjenje buke.

U radu ćemo se uz već poznate emisije motora, i buku koju sami zrakoplovi i aerodromska mehanizacija proizvode, osvrnuti i na tekućine za odleđivanje zrakoplova, koje svojim sastavom uvelike mogu predstaviti problem za okolne vode i tlo, te buduće smjernice koje zračne luke mogu poduzeti u vidu ekološkog aspekta, konkretno Međunarodna Zračna Luka Zagreb, koja je ambiciozno krenula u ostvarenje plana Green Airport do 2050.

## 2. UTJECAJ BUKE NA OKOLIŠ

### 2.1. FIZIKALNA SVOJSTVA BUKE

Prema [1], buka je svaka zvučna pojava koja ometa rad ili odmor čovjeka (neželjen zvuk). Da bi neki zvuk bio proglašen bukom, treba:

- Imati dovoljan intenzitet
- Biti izdvojen od ostalih zvukova
- Biti dovoljno čujan

U određenim uvjetima i razmjerno tihi zvuk može predstavljati buku ako ometa primarnu aktivnost čovjeka.

Karakteristike buke ovise o karakteristikama svih pojedinačnih karika u prijenosnome lancu:

- Izvoru buke
- Putevima rasprostiranja
- Okolišu u kojem se nalazi prijammnik (organ sluha)

Karakteristike izvora buke dijele se na:

- Prostorne, ovise o njegovoj mobilnosti, odnosno je li izvor pokretan ili nepokretan
- Vremenske (izvori stalne i promjenjive buke)
- Akustičke (parametri izvora buke su jačina, spektar i usmjerenost)

Mjesto na kojem je organ sluha kao prijammnik zvuka može biti slobodan ili konačan prostor, a na mjestu prijama buka se klasificira prema kriteriju djelovanja na subjektivno djelovanje buke i objektivno djelovanje zvuka kao buke [2].

Prema [2], kriteriji karakteristike buke prema subjektivnom djelovanju:

- Vrsta i veličina djelovanja buke (neugoda, ometanje, oštećenje sluha)
- Vrsta okoliša (radno mjesto, stambeni prostor, prostor izvan radnog i boravišnog mjesta)
- Aktivnost čovjeka (rad, odmor, zabava)
- Odnos između čovjeka i izvora buke (subjektivni pragovi tolerancije)

Navedeni kriteriji međusobno su ovisni, što otežava jednoznačnu klasifikaciju buke i u konačnici definiranje dopuštenih razina buke.

Objektivne karakteristike zvuka kao buke međusobno su ovisne i iskazuju se numeričkim vrijednostima. Ne obuhvaćaju sve objektivne akustičke parametre, već samo one koje su karakteristične za buku, a to su:

- Zvučna razina
- Vremenske karakteristike zvuka
- Spektralne karakteristike zvuka
- Prostorne karakteristike zvuka

Objektivne metode mjerenja buke svode se na mjerenje triju najvažnijih karakteristika odnosno parametara buke:

- Razine buke
- Trajanja odnosno promjene u vremenu
- Amplitudnog spektra

Razina buke je parametar buke koji je najlakše izmjeriti i kojim se najviše koristi pri objektivnom mjerenju buke. Poznata je i pod nazivom ukupna razina zvučnog tlaka – OASPL (eng. Overall Sound Pressure Level), ili ako nije definiran težinski čimbenik, jednostavno SPL (eng. Sound Pressure Level).



Uzima se u obzir cijeli spektar buke, pa se koristi samo za procjenjivanje odnosa i prikazivanje vremenske ovisnosti razine tlaka. OASPL ne pruža nikakvu informaciju o spektralnome sastavu mjerene buke te ne daje podatke o mogućim reakcijama ljudskog organizma na nju, jer ne uzima u obzir fiziološke karakteristike ljudskog uha [2].

Trajanje buke vremenska je funkcija njezine razine, što znači da razina buke može biti konstantna ili promjenjiva (spora, brza, nepravilna, ritmička, s udarima itd.) u nekom razdoblju. Zbog vremenski promjenjivih parametara, procjene štetnog djelovanja buke su složenije.

Zbog toga je razloga uveden pojam ekvivalentne razine buke  $L_{eq}$ , koji predstavlja onu stalnu razinu buke u dB koja bi unutar promatranoga vremena imala isti efekt kao i vremenski promjenjiva razina buke niza događaja. Računa se prema formuli:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p_A}{p_0} \right)^2 dt$$

$p_A$  predstavlja trenutačni zvučni tlak, a  $p_0$  referentni tlak 20  $\mu\text{Pa}$ . Razdoblje usrednjavanja  $T$  ovisi o situaciji i ciljevima mjerenja.

$L_{AX}$  (eng. Single Event Noise Exposure Level), LSE ili SEL (eng. Sound Exposure Level) definirana je kao ukupna zvučna razina u [dB], integrirana prema vremenu mjerenja i normalizirana na jednu sekundu. Koristi se za mjerenja ukupne energije izdvojenih zvučnih pojava neovisnih o trajanju, a izračunava se formulom:

$$L_{AX} = 10 \log \int_0^T \left( \frac{p_A}{p_0} \right)^2 dt$$

PN razina buke je prosuđena, zamijećena ili procijenjena razina buke, LPN (eng. PNL – Perceived Noise Level). Uvedena radi određivanja štetnog utjecaja vanjske buke zrakoplova na okolinu i opisuje buku izdvojenog zrakoplova, a temelji se na PN bučnosti (eng. Noisiness) i stupnju ometanja zrakoplovnom bukom.

Za ocjenu doživljaja buke potrebno je uzeti u obzir i ovisnost buke o vremenu, koja je opisana izrazom za efektivnu vrijednost PN razine buke  $L_{EPN}$  (eng. EPNL – Effective Perceived Noise Level):

$$L_{EPN} = 10 \log \frac{1}{10} \int 10^{0,1L_{PN}} dt$$

Prema dogovoru, promatrano razdoblje promjene LPN iznosi 10 [s]. PN parametri buke isključivo se koriste u analizama vanjske buke zrakoplova, odnosno tzv. komunalne buke uzrokovane zračnim prometom i njezinim efektima [2]

## 2.2. ZAKONSKA REGULATIVA BUKE

### 2.2.1. Nacionalna regulative

Zakonska regulativa propisuje mjere zaštite od buke prema Zakonu o zaštiti od buke, kojim se određuju mjere zaštite od buke na kopnu, vodi i u zraku te nadzor nad provedbom ovih mjera radi sprječavanja ili smanjivanja buke i otklanjanja opasnosti za zdravlje ljudi.

Buka štetna po zdravlje u smislu ovoga Zakona je svaki zvuk koji prekoračuje najviše dopuštene razine utvrđene provedbenim propisom s obzirom na vrijeme i mjesto nastanka u sredini u kojoj ljudi rade i borave.

Izvor buke je svaki stroj, uređaj, instalacija, postrojenje, sredstvo za rad i transport, tehnološki postupak, elektroakustički uređaj za glasno emitiranje glazbe i govora, bučna aktivnost ljudi i životinja i druge radnje od kojih se širi zvuk. Izvorima buke smatraju se i cjeline kao nepokretni i pokretni objekti te otvoreni i zatvoreni prostori za šport, igru, ples, predstave, koncerte, slušanje glazbe i sl.

Mjerama zaštite od buke mora se spriječiti nastajanje buke, odnosno smanjiti postojeća buka na dopuštene razine [3].

Prema Zakonu o zaštiti od buke, mjere zaštite od buke obuhvaćaju:

- Odabir i uporaba malo bučnih strojeva, uređaja, sredstava za rad i transport,
- Promišljeno uzajamno lociranje izvora buke ili objekata s izvorima buke (emitenata) i područja ili objekata sa sadržajima koje treba štiti od buke (imitenata),
- Izvedbu odgovarajuće zvučne izolacije građevina u kojima su izvori buke radni i boravišni prostori,
- Primjenu akustičkih zaštitnih mjera na temelju mjerenja i proračuna buke na mjestima emisije, na putovima širenja i na mjestima imisije buke,
- Akustička mjerenja radi provjere i stalnog nadzora stanja buke,
- Povremeno ograničenje emisije zvuka

Strojevi, transportna sredstva, uređaji i oprema koji se proizvode u Republici Hrvatskoj ili se uvoze na područje Republike Hrvatske moraju radi stavljanja u promet, odnosno uporabe biti sukladni s propisanim tehničkim zahtjevima koji se odnose na dopuštenu razinu buke koju proizvode pod određenim uvjetima uporabe, a podaci o zvučnoj snazi koju emitiraju pod tim uvjetima uporabe moraju biti označeni na proizvodu u skladu s hrvatskim normama (HRN) te smjernicama i normama Europske unije (EN).

Građevina mora biti projektirana i izgrađena na način da zvuk što ga zamjećuju osobe koje borave u građevini ili njezinoj blizini bude na takvoj razini da ne ugrožava zdravlje ljudi te da osigurava mir i zadovoljavajuće uvjete za odmor i rad [4].

Mjere za zaštitu od buke radnika na radu, kao i zaštite od štetnog djelovanja buke na organizam radnika tijekom rada u radnim prostorijama ili prostorima, moraju biti takve da spriječe štetno djelovanje buke na zdravlje radnika.



*Slika 1: Sredstvo za zaštitu sluha radnika na stajanci Međunarodne Zračne Luke Zagreb  
Izvor: Autor*

Na aerodromima u Hrvatskoj se provodi Pravilnik o uspostavljanju pravila i postupaka vezanih uz ograničenje buke na aerodromima u RH, iz 2013. godine, a on sadrži odredbe koje moraju biti usklađene s pravnim aktima EU, konkretno s Direktivom 2002/30/EZ [5]. Sva mjerenja, i sve procedure koje su potpisane od strane koncesionara zračnih luka, sa regulatornim tijelima, nadzire Agencija za civilno zrakoplovstvo.

## 2.3. MEĐUNARODNA REGULATIVA O BUCI U ZRAČNOM PROMETU

Početak regulacije razine buke u zračnom prometu počinje 1990-ih godina. Nakon ekspanzije zračnog promet, buka u okolici i na samoj zračnoj luci predstavljala je značajan ekološki i zdravstveni problem. Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (eng. ICAO – International Civil Aviation Organization) izglasava odluku kojom se svi avioni koji sudjeluju u civilnom i robnom transportu svrstavaju u pojedinačne kategorije, ovisno o snazi buke koju emitiraju isti.

Prihvaćena rezolucija postaje opća smjernica za globalno smanjenje buke u civilnom zrakoplovstvu. Primjena odredbi kroz restrikcije odnosila se na penalizaciju zračnih prijevoznika kaznenim taksama i zabrana leta u slučaju kršenja odredbi, odnosno leta zrakoplovima koji proizvode razine buke iznad dopuštenih. Dozvoljene emisije zrakoplova, bilo to buke, ili onečišćivala, strogo su regulirane od strane ICAO-a, u prilogu 16, u kojoj su detaljno opisani propisi kojih se proizvođači moraju pridržavati. Aneks 16 također nosi naziv „Environmental Protection“ [6].

U aneksu su napravljena dva odjeljka, u kojemu se u prvome dijelu opisuju standardi i preporuke za kategorizaciju i zaštitu od buke, dok je drugi dio namjenjen za emisije vezane uz zrak i onečišćivala. Također se u aneksu spominju i helikopteri, te su uz zrakoplove i oni uključeni u točno određena ograničenja vezana uz dozvoljene emisije buke. „Environmental Protection Annex 16“ je podijelo zrakoplove u četiri kategorije dozvoljenih emisija:

- Kategorija 1 – neodgovarajući zrakoplovi prema dopuštenoj razini buke odnosno zrakoplovi koji ne mogu dobiti certifikat o plovidbenosti (eng. NNC - Non-Noise Certificated), (Boeing-a B707 i Douglas-a DC-8)
- Kategorija 2 – zrakoplovi koji djelomično odgovaraju dopuštenoj razini buke (Boeing B727, Douglas DC-9)
- Kategorija 3 – zrakoplovi koji odgovaraju dopuštenoj razini buke (Boeing B737-300/400, B767, Airbus A319)

- Kategorija 4 – zrakoplovi koji proizvode razinu buke 10 Db nižu od postavljenih granica (Airbus A380, Boeing B737NG, B787) [6]

Kako bi se pojednostavnilo mjerenje emisije buke, Annex 16 je uveo i tri referentne točke pomoću kojih se može napraviti standard mjerenja emisije buke, i to su točke u blizini poletno-sletne staze, na kojima se provode ispitivanja i emisije buke:

- Točka A (preletna točka) – nalazi se na produženoj središnjici uzletno-sletne staze udaljena 6500 [m] od početka zaleta pri polijetanju (mjeri se razina buke pri uzlijetanju)
- Točka B (prilazna točka) – nalazi se na produženoj crti USS-e 2000 [m] od praga USS-e (mjeri se razina buke pri slijetanju)
- Točka C (lateralna točka) – nalazi se na paralelnoj središnjici USS-e udaljena od središnjice 650 [m] gdje je razina buke najveća za vrijeme uzlijetanja zrakoplova [7]



Slika 2: Referentne točke mjerenja razine buke zrakoplova pri slijetanju i polijetanju  
Izvor: [8]

2002. godine, sve članice Europske Unije bile su primorane predstaviti vlastitu strategiju upravljanja bukom na aerodromima unutar svojih država, (Aircraft Noise Management). Svaka strategija također pretpostavlja da će poštovati okvire zaštite okoliša, kao i financijske zahvate koje svaki od operatera mora poduzeti.

Zahtjeva se potpuno povlačenje iz prometa zrakoplova koji granično udovoljavaju dopuštenoj razini buke koju proizvode te uvođenja operativnih mjera potrebnih za prevenciju pogoršanja stanja okoliša nakon 2002. godine na europskim zračnim lukama [9].

Direktiva 2002/49/EZ Europskog parlamenta i Vijeća koja je stupila na snagu 25. lipnja 2002. godine odnosi se na procjenu i upravljanje razinom buke koju proizvodi zrakoplov. Glavna stavka parlamenta EU je bio staviti fokus na zaštitu okoliša, te ljudi i smanjenje razine buke na aerodromima koja predstavlja problem okolnim područjima [10].

## 2.4. IZVOR BUKE U ZRAČNOM PROMETU

Na aerodromima izdvajamo dva izvore buke: buka nastala uslijed polijetanja i slijetanja zrakoplova, te ona koja je nastala uslijed poslova vezanih uz prihvat i otpremu putnika i prtljage od strane operatera. Buka koju stvaraju zrakoplovi postaje sve veći problem zbog sve većeg broja zrakoplova i potreba za širenjem zračnih luka.

### 2.4.1. Buka zrakoplova u letu

Buka zrakoplova dijeli se u tri grupe, a predstavlja svaki pojačani zvuk koji proizvodi zrakoplov u letu:

- Buka motora zrakoplova, odnosno njegove pogonske jedinice
- Buka nastala kombinacijom djelovanja strukture zrakoplova i pogonske jedinice,
- Buka nastala oblikom zrakoplova [11]

Zračna buka širi se zrakom od izvora do promatrača (na zemlji ili unutar zrakoplova) uzdužnim (longitudinalnim) valovima. Nastaje mehaničkim naprezanjima u strukturi, rasprostire se njome različitim načinima i zatim akustički rasprostire u okolni prostor. Načini rasprostiranja ovise o vrstama valova (uzdužnim, poprečnim, savijanja, rastezanja, vrtložnim, površinskim). Izvori na zrakoplovu su vibracije pogonske grupe i aerodinamički tlakovi na dijelovima strukture. Rezultantna energija vibracija prenosi se strukturom zrakoplova, a zatim rasprostire (dominantno u unutrašnjost).

Prema [2], buka zrakoplova nastaje zbog:

- Lokalnih fluktuacija tlakova uzrokovanih diskontinuiranom zračnom strujom (pogonska grupa, gdje generiranje potrebne snage zahtijeva znatne promjene u tlakovima i temperaturi)
- Lokalnih fluktuacija tlakova uzrokovanih kontinuiranom zračnom strujom (turbulentno aerodinamičko opstrujavanje na strukturi zrakoplova)



## 2.4.2. Buka zrakoplova pri kretanjama na površini zračne luke

Veliki izvor buke predstavlja zrakoplov koji manevrira prometnim površinama, odnosno stajankom, a drugi izvori buke predstavljaju mehanizacija zadužena za prihvat i otpremu zrakoplova, kao i operacije za kretanje zrakoplova:

- Usporavanje zrakoplova prilikom dolaska na parkirnu poziciju aviona, odnosno promjena smjera potiska (Reverse thrust)
- Pushback odnosno pomicanje zrakoplova od parkirne pozicije do poletno sletne staze
- Upotreba agregata (eng. APU/GPU – Auxiliary/Ground Power Unit) parkiranog aviona, uslijed ukrcaja i iskrcaja putnika i prtljage iz zrakoplova
- Test motora [12]

## 2.4.3. Zračna luka kao izvor buke

Izvor buke predstavljaju i same zračne luke. Sva mehanizacija, i oprema koja je potrebna za prihvat i otpremu zrakoplova proizvodi veliku količinu buke, iako pojedinačno, jedno vozilo ne predstavlja značaj izvor buke, ali u globalu, velika količina vozila predstavlja jednako velik izvor buke kao i jedan zrakoplov koji prometuje na prometnicama aerodroma.

Velik broj vozila koji obavljaju razne operacije, sudjeluje i bez njih je nemoguća uspješna otprema zrakoplova. Iako buka, pojedinačno od svakog vozila nije problem, međutim velik broj mehanizacije predstavlja značajnu emisiju buke na nekom području zračne luke.

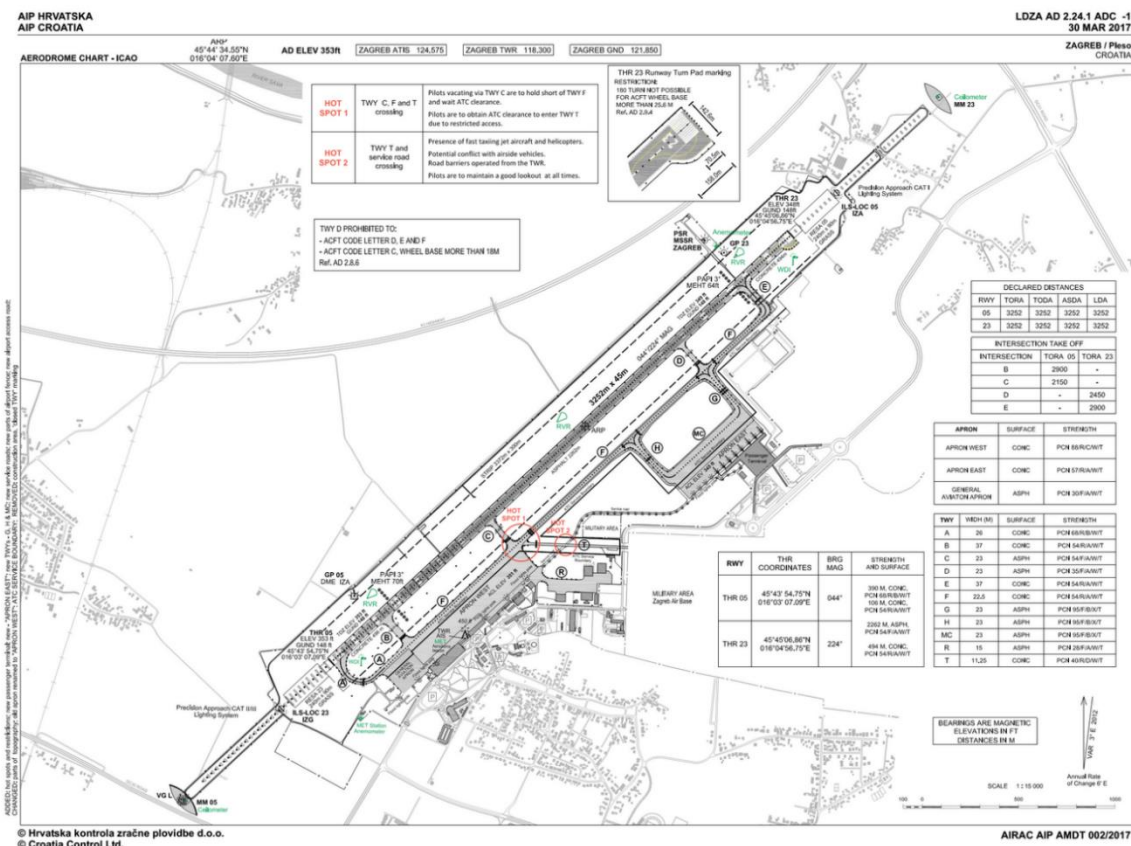
ICAO nadodaje sljedeće smjernice za smanjenje buke operaterima zračnih luka:

- Planiranje i gradnja novih terminala na područjima što udaljenijim od stanovništva lokalnih općina i gradova
- Izglasavanje lokalnih mjera i regulacija buke, pojedinačno za svaki aerodrom
- Transparentnost o izvještavanju lokalnih zajednica i tijela, na godišnjem planu o emisijama buke

- Zoniranje maksimalno dopuštenih granica buke s obzirom na širenje operacija i prostora termijala [13]

Aerodrom se u operativnom smislu dijeli na dvije zone; zemaljska i zračna strana, svaka sa svojim sigurnosnim procedurama (slika 2.).

Zračna strana predstavlja zračni prostor i sve površine zračne luke poput pozicije i stajanke za čekanje, poletno-sletne staze, prometnice te stajanku na kojoj su parkirani zrakoplovi. Na zračnoj strani, zrakoplovi, vozila prihvata i otpreme zrakoplova, te određene infrastrukturne građevine predstavljaju izvore buke. Zemaljskoj strani pripadaju terminalna zgrada, parkirališta, ceste, zgrada robnog prometa te sve ostale građevine.



Slika 3: Zračna Luka Franjo Tuđman, prikaz zemaljske i zračne strane  
Izvor: [14]

S obzirom na već spomenuti glavni izvor buke, avione, osim njih, veliki skup vozila, odnosno mehanizacije koji je potreban za operacije utovara robe, tereta, kao i prijevoz putnika, također predstavlja izvor buke:

- Utovarivači paleta i kontejnera
- Transportne trake
- Kolica za palete i kontejnere
- Putničke stepenice
- Zemaljski elektroagregati
- Zračni starteri
- Traktor, rude i adapteri za izgurivanje i vuču zrakoplova
- Vozila za odleđivanje i zaštitu od zaleđivanja zrakoplova
- Cisterne s aviogorivom
- Ostala oprema i vozila nužna za prihvata i otpremu zrakoplova [15]

Od navedene mehanizacije, zemaljski agregat (engleski APU) predstavlja najveći izvor buke., međutim, buka koju on proizvodi znatno je tolerantnija za poštivanje okvira i granica buke od agregata ugrađenog u zrakoplovima. Preporučka operatera zračnih luka, prilikom parkiranja velikih aviona koji se mogu spajati na aviomostove je korištenje zemaljskih agregata radi smanjenja emisija. Težnja na Međunarodnoj Zračnoj Luci Zagreb, u svrhu smanjenja razina buke, je da svi avioni koji se spajaju na aviomostove na pozicijama od E1-E8, koriste isključivo zemaljske agregate, kako bi se smanjila razina buke u kombinaciji s mehanizacijom na prometnicama.

## 2.5. MJERENJE I ANALIZA BUKE NA MEĐUNARODNOJ ZRAČNOJ LUCI ZAGREB

### 2.5.1. Sustav mjerenja buke na MZLZ

MZLZ prihvaća i u najvećem broju slučajeva otprema zrakoplove komercijalnih letova, i odvojeno na starom terminalu, manje zrakoplove generalne avijacije, te se prometuje pod 2 pravila: VFR, ili vizualnim uvjetima letova, te IFR, instrumentalnim uvjetima letova.

Na MZLZ se nalaze četiri mjerne stanice, svaka na udaljenoj lokaciji, postavljene od strane danske tvrtke Brüel & Kjær, specijalizirane za mjerenje i analiziranje razine buke i vibracija na zračnim lukama. Postavljena je jedinica za nadzor razine buke, sa svim tehnološkim aspektima koji omogućuju kvalitetan nadzor i obradu razine buke, otpornu na vremenske uvjete u kojima se nalazi ista stanica.

Jedinica može osim mjerenja buke zrakoplova, koristiti se isto tako i za mjerenje buke okolnih cesta, ili potpuno izdvojeno, za industrijski, željeznički ili cestovni sektor prometa. Također, uz dodatne mogućnosti poput mogućnosti snimanja i spremanja audio zapisa u .mp3 formatu, u bilo kojem trenutku je moguće analizirati i staviti u spektar okolnosti, poput drukčijih vremenskih uvjeta, zvuk koji potom prolazi daljnju obradu i analizu. Također se uz audio analizu vrši i video analiza, kao i snimanje video zapisa mjerne stanice.

Video analiza služi kako bi se analizirao zvuk u točno određenom segmentu, bila to sekunda ili dijelić sekunde, i kako bi se svaki izvor zvuka povezao za točno određeni segment leta zrakoplova, pošto je moguće da je u datom trenutku sudjelovao i neki drugi značajan izvor buke [16].

## 2.5.2. Mjerenje i analiza buke na Međunarodnoj Zračnoj Luci Zagreb

Na Međunarodnoj Zračnoj Luci Zagreb su postavljene na četiri različite lokacije, četiri zasebne stanice, svaka sa svojim parametrima koji su kalibrirani da svaka ima svoje granice buke. Za svako prekoračenje razine buke, koju proizvodi zrakoplov ili neki drugi vid mehanizacije, stanica automatski zabilježuje trenutak, razinu buke, te ga sprema na lokalnu bazu koja se kasnije može analizirati i detaljnije obraditi. Postoji i mogućnost zabilježbe buke ispod granica, međutim ta vrsta buka se uglavnom ne analizira [11].

*Tablica 1: Prikaz podataka o maksimalnim razinama buke koje proizvode putnički zrakoplovi karakteristični za zračnu luku Zagreb  
Izvor: [6]*

Tip zrakoplova	MTOW (t)	Broj motora	Sjedala	Maksimalna razina buke [dB]		
				Polijetanje	Lateralno	Prilaz
<b>B777-200</b>	243	2	440	93,3	95,8	99,4
<b>A321-100</b>	83	2	220	85,4	94,5	95,4
<b>A320-200</b>	74	2	180	86,6	94,8	96,0
<b>Fokker 100</b>	43	2	109	83,4	88,4	93,1
<b>Canadair RJ</b>	23	2	85	78,6	82,2	92,1
<b>Dash 8-400</b>	22	2	85	79,1	86,1	97,5
<b>ATR 72-200</b>	22	2	74	86,5	84,7	94,1

Zračna luka Zagreb također predstavlja bazu vojnih operacija za letove nadzvučnih jednosjeda i dvosjeda hrvatske vojske, koji su izuzeti od mjerenja jer ICAO regulative propisuju standarde i preporučene prakse samo u području civilnog zrakoplovstva. Buka koju generiraju nadzvučni mlažnjaci tako može premašivati i 100 [dB] u preletu, što predstavlja najveći izvor buke na zračnoj luci.

Novi tipovi zrakoplova koji trebaju dobiti certifikat plovodbenosti, trebaju dokazati svoju usklađenost s maksimalnom dozvoljenom razinom buke prema propisima u ICAO Annexu 16. Maksimalne dozvoljene zabilježene buke zrakoplova koji su karakteristični za prometovanje na zračnoj luci Zagreb prikazani su u tablici 2., prema pojedinim fazama leta.

## 2.6. UTJECAJ BUKE NA ČOVJEKA

### 2.6.1. Utjecaj buke na zdravlje

Buka je sveprisutna u svakodnevnom životu i predstavlja opasnost za zdravlje. Može imati kako auditorne tako i ne-auditorne učinke. Osobe izložene buci su razdražljive, dekoncentrirane, radni učinak im pada te prouzrokuju više nesreća na radnom mjestu. Buka utječe na živčani, krvožilni, probavni i hormonski sustav, što se može očitovati porastom krvnog tlaka, poremećajem u radu probavnih organa, naročito crijeva, suženjem vidnog polja te endokrinološkim i metaboličkim poremećajima.

Oštećenje bukom može biti i akutno i kronično. Akutno se većinom oporavlja unutar 12 do 48 sati nakon izloženosti buci. Kronično oštećenje nastaje kao posljedica dugotrajne izloženosti buci. Urednim sluhom smatra se sluh s pragom čujnosti jednak ili manji od 26 [dB]. Ako je prag čujnosti viši od 26 [dB], radi se o naglušosti, a ako je viši od 93 [dB] čovjek je gluh [3].

Prema [3], glavna posljedica oštećenja sluha jest nemogućnost razumijevanja govora u svakodnevnim aktivnostima. Također, oštećenje sluha utječe na kognitivne sposobnosti i pažnju. Bolesnici kojima je oštećen sluh žale se kako glasno govore i slabije razumiju kada više ljudi govori istodobno.

U ne – auditorne učinke buke spadaju svi oni učinci koji utječu na zdravlje i opće dobro čovjeka pri izloženosti buci, osim učinaka na sluh i posljedično oštećenje sluha.

Dugotrajna izloženost buci u okolišu zahvaća krvožilni sustav i uzrokuje hipertenziju, ishemijsku bolest srca i moždani udar. Izloženost buci povišuje sistolički i dijastolički krvi tlak, otkucaje srca i uzrokuje oslobađanje stres hormona. Kronična izloženost uzrokuje disbalans u organizmu, koji zahvaća metabolizam i kardiovaskularni sustav, te dolazi do povišenja tlaka, povišene koncentracije lipida u krvi, viskoznosti krvi i povišenja glukoze u krvi. Te promjene povišuju rizik za aterosklerozu, hipertenziju i infarkt miokrada. Istraživanja pokazuju da izloženost cestovnoj i zračnoj buci povišuju rizik za hipertenziju i ishemijske srčane bolesti za 7% - 17% za svakih 10 [dB] [17].

Simptomi na koji se subjekti u istraživanjima najviše žale je povišena nervoza, koja može biti subjektivne naravi, koja s vremenom prerasta i u kronične bolesti, uključujući gastroenterološke probleme, glavobolje, nesаницe, umor, razdražljivost i dr. Stanovništvo u mjestima gdje je izloženost visokim frekvencijama buke češća, prijavljuje gore navedene simptome i reakcije na izloženost prekomjernoj buci više, nego oni koji su izloženi buci niske frekvencije [18].

Prema [17] buka nepobitno djeluje na kognitivne sposobnosti. Smanjuje koncentraciju, povisuje uznemirenost, izaziva osjećaj bespomoćnosti. Utječe na socijalne učinke, maskira govor i ostale zvukove iz okoline, utječe na komunikaciju i ometa pažnju. Izloženost buci može utjecati na sposobnost pamćenja i na izbor strategija u obavljanju poslova.

## 2.6.2. Utjecaj buke na radno opterećenje

Sve razine buke koje mogu biti emitirane u nekom okruženju, i kojima radnici mogu biti izloženi tijekom osmosatnog radnog vremena, propisane su od strane regulatornih tijela, u Zakonu o zaštiti od buke. Gornja granica je u iznosu od 85 dB, tokom osam sati provedenog na radnom mjestu, te 80 dB kao donja tolerantna granica [4], [5].

Unatoč standardima za zaštitu od buke, redukciji buke na radnom mjestu u razvijenim zemljama i javnozdravstvenom djelovanju, gubitak sluha zbog izloženosti buci na radnom mjestu i dalje je problem. Izloženost buci razinama manjima od 70 [dB] ne dovodi do oštećenja sluha, bez obzira na trajanje izloženosti. Također, izloženost buci u trajanju duljem od 8 sati pri razini buke od 85 [dB] je potencijalno štetno. Pri razini buke višoj od 85 [dB] oštećenje izravno ovisi o zvučnom tlaku i o vremenu trajanja izloženosti [17].

Na radnim mjestima, gdje buka prelazi dozvoljene razine, provodi se ocjenjivanje opasnosti od buke. Prvi indikator da bi moglo biti riječ o buci koja je prekomjerna jest nemogućnost komuniciranja normalnim tonom na udaljenosti od 1 - 2 [m].

Buka ima negativan utjecaj na radnika prilikom obavljanja svakodnevnih radnih zadataka, osobito prilikom izvođenja složenijih mentalnih aktivnosti za koje je potrebna velika usredotočenost i kreativno razmišljanje, ali utječe i na radnu izvedbu radnika koji obavljaju jednostavne fizičke poslove.

Povećanje razine buke dovodi i do povećanja mogućnosti pogreške prilikom obavljanja poslova, ometa komunikaciju između radnika te može dovesti i do nesporazuma prilikom obavljanja posla, što može imati neželjene posljedice [17].

Dulji boravak u prostoru na kojem je radnik izložen visokoj razini buke može dovesti i do povećane agresije i razdražljivosti, visoke razine stresa koji negativno utječu na sposobnosti integriranja informacija i procjenjivanja situacije u kojima se radnik nalazi.

Obzirom na brojne negativne učinke koje buka ima na psihofizičko stanje pojedinca, radnici konstantno izloženi visokim razinama buke imaju veće izgleda za obolijevanje od bolesti koje može visoka razina buke proizvesti, a koje su prethodno navedene. Takva izloženost buci može dovesti radnika i do privremene nesposobnosti za rad, koja predstavlja zdravstveni problem za radnika, a financijski za poslodavca.



Tablica 2: Dopuštene razine buke obzirom na vrstu djelatnosti  
Izvor: [5]

Opis posla	Najviša dozvoljena razina buke $L_A, EQ$ [dB]	
	(a)	(b)
Najzahtjevniji umni rad, vrlo velika usredotočenost, rad vezan za veliku odgovornost, najsloženiji poslovi upravljanja i rukovođenja	45	40
Pretežno umni rad koji zahtijeva usredotočenost, kreativno razmišljanje, dugoročne odluke istraživanje, projektiranje, komuniciranje sa skupinom ljudi	50	40
Zahtjevniji uredski poslovi, liječničke ordinacije, dvorane za sastanke, školska nastava, neposredno govorno i/ili telefonsko komuniciranje	55	45
Manje zahtjevni uredski poslovi, pretežno rutinski umni rad koji zahtijeva usredotočenje ili neposredno govorno i/ili telefonsko komuniciranje, komunikacijske centrale	60	50
Poslovi koji iziskuju manji fizički rad u pogonima ili montiranje sustava, kompliciranije i zahtjevnije upravljanje pogonima, uredski poslovi i marketing	65	55
Pretežno mehanizirani uredski poslovi, zahtjevno upravljanje sustavima, upravljačke kabine, fizički rad koji zahtijeva stalnu usredotočenost, rad koji zahtijeva nadzor sluhom, rad koji se obavlja na temelju zvučnih signala	70	60
Manje zahtjevni fizički poslovi i poslovi upravljanja	75	65
Egzaktni fizički radovi s već predodređenim zahtjevima za točnost i usredotočenost	80	65

### 2.6.3. Mjere ublažavanja štetnog utjecaja buke

Mjere zaštite od buke se poduzimaju s ciljem zaštite čovjeka od neželjenog učinka buke. Prihvatljiva vrijednost učinka buke promjenjiva je veličina i obzirom da ovisi o subjektivnim činiteljima, procjeni pojedinca na kojeg djeluje, podložna je subjektivnim ocjenama.

Prilikom rada na zračnoj luci nije moguće utjecati na razinu buke koju proizvodi oprema koja se koristi za prihvat i otpremu zrakoplova, no moguće je upotrijebiti osobna zaštitna sredstva koja pomažu u smanjenju utjecaja visokih razina buke.

Prilikom rada na stajanci, uvijek je potrebno nositi opremu za zaštitu sluha, poželjno štitnike za uši. Neki su prostori jasno označeni kao zone obveznog nošenja štitnika za uši. Osim toga, bitno je ograničiti vrijeme koje se provodi u bučnom okruženju, čak i sa opremom za zaštitu sluha.

Produljena izloženost nižim razinama buke može biti nadražujuća i moguće je da neće biti ugodno dulje nošenje štitnika za uši. Također, nošenje štitnika za uši onemogućava nužnu komunikaciju osoblja zračne luke, obzirom da na stajanci se događa cijeli prihvat i otprema zrakoplova koja zahtjeva komunikaciju i koordinaciju svih uključenih u proces.

Zaklon od buke može se pronaći i iza fizičkih prepreka koje se nalaze na pravcu od izvora buke do radnika koji se nalazi izložen buci.

### 2.6.4. UTJECAJ BUKE PRILIKOM OPERATIVNIH POSLOVA

Buka je sveprisutna u svakodnevnom životu i predstavlja opasnost i problem za zdravlje i funkcioniranje čovjeka u svakodnevnim aktivnostima. Osim učinaka na auditorni sustav čovjeka, ima brojne posljedice i za ostale sustave čovjeka na koje djeluje, krvožilni, probavni, hormonalni. Može imati i negativan utjecaj na psihičko stanje čovjeka, kognitivne sposobnosti, ometati san i onemogućavati obavljanje složenijih radnji.

Sama procjena buke i štetnosti učinka buke na čovjeka nije jasno određena, obzirom da granice prihvatljivog u učincima buke na organizam su individualne i različite za svakog pojedinca, stoga ista razina buke ne mora imati jednako negativan utjecaj na više ljudi.

Buka koja je emitirana na radnom mjestu predstavlja buku koja se najviše istražuje, radi dugotrajne izloženosti radnika. Buka na radnom mjestu neposredno utječe na izvedbu radnika, efikasnost i radno opterećenje s kojim se susreće prilikom obavljanja zadaća na poslu. Pri obavljanju fizičkih poslova koji ne zahtijevaju veći umni rad, buka ima manje značajan učinak od poslova za koji je potreban veći umni rad i koncentracija. Sukladno tome, definiraju se i maksimalne dopuštene razine buke ovisno o karakteristikama posla, koje su regulirane Zakonom o zaštiti od buke.

Na zračnim lukama, radnici su konstantno izloženi buci. Izvori buke na zračnoj luci su sveprisutni. Zrakoplovi generiraju najveće razine buke, ali na znatno kraće vrijeme i u određenim fazama leta. Maksimalne dopuštene razine buke zrakoplova definirane su kroz ICAO dodatak 16 kojeg su obavezne provoditi sve zemlje članice koje sudjeluju u zračnom prijevozu u svijetu. Kroz nove tehnologije i brigu za okoliš i utjecaj na ljude vodi se posebna pažnja o učincima buke zrakoplova na stanovništvo, ali i na radnike na zračnim lukama koji su izravno pogođeni problemom buke na radnom mjestu. Ostali izvori buke na zračnim lukama je zemaljska oprema koja se koristi za prihvat i otpremu zrakoplova s kojom neposredno rukuju sami zaposlenici zračnih luka.

Rad na stajanci zračne luke prilikom prihvata i otpreme zrakoplova predstavlja jedan od najvažnijih i najosjetljivijih poslova na zračnoj luci. O kvaliteti obavljenog posla, za koji su zaduženi kontrolori opsluživanja zrakoplova, ovisi vrijeme zadržavanja zrakoplova na zračnoj luci i svi eventualni poremećaji koji mogu nastati od kašnjenja zrakoplova.

Poslovi opsluživanja zrakoplova uključuju: točenje goriva, opskrba vodom, čišćenje, catering, iskrcaj i ukrcaj putnika, prtljage, tereta i pošte u zrakoplov, zemaljsko napajanje. Svi navedeni poslovi obavljaju se u kratkom vremenskom periodu, većinom istovremeno. Iz tih razloga, prilikom opsluživanja zrakoplova od iznimne važnosti je kvalitetna komunikacija i koordinacija svih službi uključenih u procesu prihvata i otpreme zrakoplova kako bi se izbjegle nezgode sa zemaljskom opremom ili nesporazumi u komunikaciji koji mogu dovesti do kašnjenja zrakoplova i poremećaja u prometu.

Novim tehnologijama utjecaj štetnosti buke zrakoplova znatno se smanjuje. Unatoč tome, područje utjecaja buke zrakoplova i zemaljske opreme na radnike na zračnim lukama nije definiran dovoljno kvalitetno i odredbe koje se odnose na zaštitu okoliša i okolnog stanovništva uglavnom nisu primjenjive na radnike zračnih luka, koji neposredno rade sa zrakoplovima i zemaljskom opremom na blizini i za posljedicu imaju daleko veće, direktno izlaganje visokim razinama buke, što bitno utječe na kvalitetu komunikacije, koncentracije i kvalitete obavljanja složenih poslova na stajanci.

Prilikom projektiranja i izgradnje zračne luke nužni su elaborati akustičnih svojstava građevine i zaštite od buke. Smještaj zgrade zračne luke i prostorija unutar zgrade trebaju biti adekvatno zaštićeni materijalima i izolacijom koja ne pogoduje prodiranju ili širenju buke u prostoru. Osim zaštite od vanjske buke, raspored prostorija unutar građevine treba biti akustički povoljan u odnosu na namjenu prostora.

Zrakoplovi novije generacije opremljeni su brojnim inovativnim rješenjima koja smanjuju buku na području zračne luke. Nove generacije motora rade se sa akustičnim panelima u ususnicima motora koji reduciraju razine buke prilikom polijetanja i slijetanja. Aerodinamičkim rješenjima na krilima smanjuje se stvaranje vrtložnih struja koje uzrokuju visoke razine buke koju stvara opstruiranje zraka oko krila.

Novije generacije zrakoplova su lakše, ekonomičnije u potrošnji goriva i tiše te stoga sve više vodećih zračnih prijevoznika obnavljaju svoju flotu, pri čemu se iz upotrebe povlače starije generacije zrakoplova koje proizvode više razine buke i troše više goriva. Osim brige za okoliš, korištenje takvih zrakoplova regulira se i novčanim kaznama za prekoračenja maksimalne dozvoljene razine buke.

Korištenjem operativne procedure pri slijetanju koja uključuje zadržavanje zrakoplova dulje na većim visinama krstarenja pridonosi se smanjenju buke u okolici zračne luke. Zrakoplovi direktno kreću u kontinuirani prilaz sa visine krstarenja te je razina buke u odnosu na klasični prilaz u pravcu uzletno-sletnoj stazi smanjena. Takvim prilazom smanjena je i potrebna snaga motora pri prilazu te se osim buke smanjuje i potrošnja goriva. Takva procedura zahtjeva obučenosn letačkog osoblja, kao i kontrole zračne plovidbe koja definira prilazne procedure pri slijetanju.

Korištenjem operativne procedure pri polijetanju koja uključuje kontinuirano penjanje smanjuje se buka u odnosu na procedure penjanja sa horizontalnim segmentom, prilikom kojeg je zrakoplov bliže tlu. Uz slijetanje, polijetanje je najosjetljivija faza u letu zrakoplova te iz sigurnosnih razloga zrakoplov pri polijetanju koristi maksimalan raspoloživi potisak motora koji generira visoke razine buke. Uklanjanjem horizontalnog segmenta u proceduri polijetanja zrakoplov prije dosegne veću visinu leta te se time smanjuje utjecaj buke na okolinu zračne luke. Kao i procedura na slijetanju, procedura za kontinuirano penjanje nakon slijetanja zahtjeva obučenosn letaćkog osoblja i kontrole zračne plovidbe koja definira odlazne procedure nakon polijetanja.

Kretanje zrakoplova po uzletno sletnim stazama i stazama za vožnju odvija se pomoću korištenja pogona motorima zrakoplova. Dodatno smanjenje buke može se postići redukcijom snage motora prilikom kretanja manevarskim površinama, kao i gašenjem jednoga od motora prilikom kretanja.

Korištenje zemaljskog elektroagregata (GPU) umjesto pomoćnog agregata (APU) smanjilo bi značajno razine buke koja se pri tome proizvodi na stajanci zračne luke, obzirom da APU generira veće razine buke. Smanjenje buke koje proizvode agregati može se postići spajanjem zrakoplova na aviomostove koji su opremljeni električnim instalacijama, pomoću kojih zrakoplovi dobivaju i napajanje koje ne proizvodi buku.

Prilikom izguravanja zrakoplova s parkirne pozicije koriste se posebna vozila za izguravanje (eng. Push back), što smanjuje razinu buke na zračnoj luci obzirom da za izlazak zrakoplova s parkirne pozicije ne koristi pogon motora, revers potiska, nego znatno tiše vozilo.

Vozila kojima se služe službe zemaljskog prihvata, vozila za izguravanje i vuču, transportne trake, stepenice, traktori i vozila za odleđivanje su izvor buke koji se može riješiti u budućnosti korištenjem električnih vozila umjesto vozila sa motorima sa unutrašnjim sagorijevanjem koja proizvode visoke razine buke.

Za smanjenje razine buke na zračnim lukama koriste se i fizičke barijere koje mogu reflektirati ili apsorbirati buku. Postavljaju se na mjesta koja se nalaze na pravcu između izvora buke i osoba koje se nalaze na udaru buke. Osim zidova ili nasipa koji mogu služiti kao zaštita od buke, sama zgrada putničkog terminala može služiti kao efikasan štit od buke. Posebno osjetljivo mjesto na zračnoj luci je mjesto ili više njih gdje zrakoplovi vrše probu motora.

Proba motora je test kojim se razina snage motora pojačava od minimuma do maksimuma kako bi se utvrdilo ponašanje motora i eventualne greške u radu. Proba motora se vrši prije svakog polijetanja na definiranim mjestima te se pri maksimalnoj snazi proizvodi i maksimalna razina buke motora, koja može biti efikasno umanjena pozicioniranjem fizičkih barijera koje reflektiraju buku motora vertikalno, umjesto horizontalno.

### 3. UTJECAJ ODLEĐIVANJA ZRAKOPLOVA NA OKOLIŠ

Zimski uvjeti znače iznimno niske temperature i veliku količinu malenih kapljica vode koji mogu uzrokovati brzo zamrzavanje na površini zrakoplova.

Veliki broj vremenskih uvjeta i parametara mogu utjecati na povećanje mraza i leda koje se nakupljaju na površinama zrakoplova: padaline i njiova vrsta, temperatura zraka, te temperatura operativnih površina zrakoplova, toplinski kapacitett oplata zrakoplova, vrsta i način primjene tekućine za odleđivanje, vrsta zrakoplova, oblaci i vlažnost zraka.

Sigurne operacije zrakoplova u svim vremenskim uvjetima ključne su za zračne prijevoznike, zračne luke, vlasti, kontrolu zračnog prometa i korisnike usluga zračnog prometa. Kroz seminarski rad objašnjeni su postupci, kao i sredstva koja se koriste za odleđivanje i sprječavanje zaleđivanja na površinama zrakoplova.

Sigurne operacije aviona u svim vrstama vremenskih uvjeta od najveće su važnosti za zračne prijevoznike, zračne luke, vlasti, kontrolu zračnog prometa i korisnike usluga zračnog prometa. Pregled povijesti zrakoplovnih nesreća ukazuje na značajnu povezanost između broja zrakoplovnih nesreća i uvjeta u zimskim operacijama. Pregled nesreća ukazuje na potrebu za formalno razvijenim propisima i postupcima koji reguliraju odleđivanje i uklanjanje zaleđivanja na zrakoplovima.

Postupci koji su propisani za odleđivanje te sprječavanje zaleđivanja usmjereni su prema svim segmentima zrakoplovstva, uključujući proizvođače zrakoplova, zračne prijevoznike, održavanje te aerodromske usluge.

Pojmovi koje je bitno raspraviti kada se radi o operacijama odmrzavanja i korištenja tekućina za odleđivanje, a koje bi laiku inače mogli promaknuti su:

- Anti-icing. Postupak predostrožnosti kojim se čiste površine zrakoplova štite od stvaranja leda, mraza te nakupljanja snijega u ograničenom vremenskom periodu.
- De-icing. Odleđivanje. Proces koji uklanja površine leda, snijega, mulja ili mraza s površine zrakoplova.
- Kritične površine. Čine ih krila, upravljačke površine, propeleri, horizontalni stabilizatori, vertikalni stabilizatori te ostale upravljačke ili stabilizacijske površine zrakoplova. Te površine trebaju biti potpuno bez leda, snijega, mulja ili mraza prije polijetanja. Kritični površine određuje proizvođač zrakoplova.

### 3.1. OPERACIJE ZRAKOPLOVA U ZIMSKIM UVJETIMA

Opsluživanje zrakoplova u zimskim uvjetima predstavlja značajan segment u procesu prihvata i otpreme zrakoplova. U zimskim uvjetima proces prihvata i otpreme zrakoplova se produžuje za određeni vremenski period potreban za odleđivanje i zaštitu zrakoplova protiv zaleđivanja.



Slika 4: Vozilo za odleđivanje zrakoplova, Safewing Aircraft Deicer  
Izvor: Autor



Sprječavanje zaleđivanja i odleđivanje dio je operacije zrakoplova. Odgovorna osoba za provođenje ovog postupka te odgovorna je i za provjere rezultata postupka. Uz to, informacije o indikacijama za zaleđivanje u pilotskoj kabini također je dio provjere ploidbenosti zrakoplova. Osoba odgovorna za postupak uklanjanja zaleđivanja mora biti jasno određena, osposobljena i kvalificirana za provedbu postupaka. Odgovorna osoba provjerava zrakoplov u slučaju potrebe za odmrzavanjem, pokreće uklanjanje leda/zaleđivanja ako je potrebno te je odgovorna za ispravan i cjelovit tretman uklanjanja leda/zaleđivanje aviona. Konačna odgovornost za prihvaćanje aviona nakon uklanjanja leda/zaleđivanje, ostaje na kapetanu zrakoplova [16].

## **3.2. VRSTE ZALEĐIVANJA I UTJECAJ NA PERFORMANSE ZRAKOPLOVA**

Zrakoplov predstavlja vrlo složeni sustav. Da bi se operacije zrakoplova mogle normalno odvijati potreban je niz podstava tj. tehničkih sredstava na zrakoplovu koje omogućuju funkcioniranje sustava u cjelini.

Otkaz ili degradacija bilo kojeg djela podsustava utječe u većoj ili manjoj mjeri na performanse zrakoplova, stoga da bi se mogao prikazati utjecaj kontaminanta na performanse i let zrakoplova potrebno je prikazati koji su to podsustavi na zrakoplovu osjetljivi na kontaminate, a ujedno odgovorne za performanse leta.

## **3.3. VRSTE ZALEĐIVANJA ZRAKOPLOVA**

Primarni utjecaj zaleđivanja zrakoplova je hrapavost površine u odnosu na kritične dijelove aerodinamičke površine. Kontaminacija se može dogoditi i na trupu, stajnom trapu, dijelovima motora itd., iako to nisu kritične površine i ne utječu izravno na uzgon zrakoplova, i dalje povećavaju ukupni otpor zrakoplova ukoliko na njima postoje kontaminanti. Uz to, može doći do prekida odaziva upravljačkih površina, kočnica te stajnog trapa, kao i gubitak radio komunikacije.

Led formiran na pitot cijevima i statičkim ulazima može dati lažna očitavanja brzine i visine na instrumentima. Led na kritičnim površinama može se odlomiti tijekom leta te može prodrijeti u motore gdje može nastati značajna šteta na lopaticama i kompresoru motora.

Stoga je imperativno da se pokušaj uzlijetanja ne provodi, osim ako nije nedvojbeno utvrđeno da su sve kritične površine aviona, kao i sve instrumentalne sonde, bez zadržanog snijega, mraza ili ostalih ledenih formacija [16].

### 3.4. UTJECAJ NA PERFORMANSE ZRAKOPLOVA

Svi su zrakoplovi dizajnirani tako da lete čisti, bez kontaminenata. Kada na zrakoplov utječu kiša, snijeg, susnježica ili led (npr. mraz, ledene kuglice, tuča) postoji potencijalna opasnost po sigurnost. Ispitivanja letnih performansi u zračnim tunelima pokazuju da formiranje leda, mraza ili snijega na prednjem rubu i gornjoj površini krila, koji ima debljinu i površinsku hrapavost sličnu srednjeg ili grubog papira za brušenje, može smanjiti uzgon krila do 30 % i povećati otpor do 40 %.

Učinkovitost letnih performansi zrakoplova smanjuje se kao rezultat povećane težine, povećane brzine sloma uzgona, smanjenog uzgona, smanjene stabilnost i upravljivosti, smanjenog potiska i povećane vučne sile (Slika 3.). U takvim uvjetima, čak i naizgled beznačajno onečišćenje poput mraza može imati značajan štetni učinak [17].



Slika 5: Utjecaj nakupljenog leda na performanse zrakoplova  
Izvor: Autor

## 3.5. ODLEĐIVANJE I ZAŠTITA ZRAKOPLOVA PROTIV ZALEĐIVANJA

### 3.5.1. Tekućine za odleđivanje i zaštitu zrakoplova protiv zaleđivanja

Osnovna funkcija tekućine za odleđivanje i zaštitu zrakoplova protiv zaleđivanja je uklanjanje kontaminanta te snižavanje točke smrzavanja kako bi se odgodilo nakupljanje kontaminanta na kritičnim površinama zrakoplova.



*Slika 6: Spremnici za čuvanje tekućine za odleđivanje, tipa IV  
Izvor: Autor*

### **Tekućine tipa I – nezgusnute tekućine:**

Tekućine tipa I ili Newtonove tekućine su bez zgušnjivača i najbolje odgovaraju kao tekućine za deicing operacije. Newtonovska se odnosi na to kolika je viskoznost tekućine tijekom vremena i za određenu brzinu. Tip I tekućina ima linearnu promjenu viskoziteta sa vremenom i neovisna je o modulu smicanja. Tip I sadrži minimalno 80 % glikola i 18-19 % vode, a preostali dio su aditivi koji imaju narančastu boju (osim ako nisu bezbojni). Tekućine ovog tipa se mogu koristiti i kao anti-icing tekućine, ali njihovo vrijeme trajanja je ograničeno.

### **Tekućine tipa II/III/IV – zgusnute tekućine:**

Tekućine tipa II/III/IV (tzv. ne Newton-ovske tekućine) su tekućine sa zgušnjivačem i najbolje odgovaraju kao anti-icing tekućine (de-icing tekućine mogu biti kada se razrijede). Ne Newton-ske se odnosi na to kolika je viskoznost tekućine tijekom vremena i za određenu brzinu. Tip II/III/IV znači da tekućine nemaju linearnu promjenu viskoziteta sa vremenom, ali su ovisne o modulu smicanja. Sastoje se od 50 % glikola i 48-49 % vode, a preostali dio predstavljaju aditivi. Tip II se koristi s vodom i ima bijelu ili žućkastu boju (osim ako nije bezbojna), dok tip IV ima zelenu boju. Tip III se treba odrediti.

Budući da je viskoznost ove tekućine manja u odnosu na tekućine tipa II i IV, tekućina tipa III bolje odgovara za upotrebu na regionalnim zrakoplovima manjih brzina pri polijetanju (<200 m/s) ili za zrakoplov s drugim ograničenjima za tekućine sa zgušnjivačima, npr. Dash 8 ili ATR-72. Tekućine se mogu koristiti kao anti-icing tekućine, kao 100/0 %, 75/25 % i 50/50 % mješavine. Zaštitni učinak tipa II i IV tekućine je puno bolji u odnosu na tekućine tipa I, stoga su najučinkovitije kada se primjenjuju za vrijeme snijega, ledene kiše i ako postoje dugi prilazi prije polijetanja [18].

### 3.5.2. Način nanošenja tekućine za odleđivanje i zaštitu zrakoplova od zaleđivanja

Snijeg i led se uklanjaju sa površina zrakoplova grijanim tekućinama koje se nanose iz neposredne blizine, kako bi tekućina bila raspršena po površini s što manjim termičkim gubicima, radi toga su napravljene smjernice kojih se deiceri pridržavaju kako bi se učinkovito pripremio zrakoplov u zimskim uvjetima za polijetanje.



*Slika 7: : Mlaznice za raspršivanje sredstva za odleđivanje  
Izvor: Autor*

Krila/Horizontalni stabilizatori: Tekućina se nanosi od vrha prema korijenu, od najviše točke površine do najniže

- Vertikalne površine: Tekućina se nanosi počevši odozgo prema dolje
- Trup: Tekućina se nanosi od vrha središnje linije prema krajevima; potrebno je izbjeći prskanje izravno na prozore
- Podvozje i spremnik za podvozje: Preporuka je da se izbjegne, odnosno smanji utjecaj tekućine za odleđivanje na ovo područje. Ne preporučuje se visokotlačno

raspršivanje tekućina, a ukoliko dođe do ljepljenja snijega ili leda na površinu, uklanjanje se vrši isključivo toplim zrakom ili tekućinom za odleđivanje.

- **Motori:** Nakupine snijega treba mehanički ukloniti (pomoću metle ili četkom) s područja usisa motora, prije polaska. Smrznute naslage koje se nalaze na nižim površinama usisa ili ventilatorskih lopatica mogu biti uklonjene pomoću toplog zraka ili nekom drugom metodom, preporučenom od strane proizvođača motora [2].

### 3.5.3. Utjecaj tekućina za odleđivanje i zaštitu zrakoplova od zaleđivanja na okoliš

S obzirom na visoku koncentraciju kemijskih supstanci u tekućinama, sve moraju zadovoljavati određene propisane standarde (SAE AMS 1424 i AMS 1428). Da bi se zadovoljili SAE standardi potrebno je dodavanje aditiva. Neki spojevi koji se mogu naći u upotrebi u zračnim lukama su propilen-, etilen-i di-etilen glikol, urea, kalijev acetat, kalcij-magnezij acetati, natrij acetati, natrij formati, kloridi i izopropil alkohol. Visoka koncentracija glikola ima štetan utjecaj na floru, faunu, kao i ljude koji se nalaze u blizini iste.

Čak i ako se utvrdi da glikoli imaju nisku razinu toksičnosti, potrebno je poduzeti odgovarajuće mjere opreza. Etilen-propilen-glikol spojevi nalaze se između ostalog u hrani, kozmetičkim proizvodima, bojama, lakovima, antifrizu i sl. Iritacije uzrokovane dodiranjem glikola i para glikola nisu se pokazale otrovnim. Inače, s obzirom na edukaciju zaposlenika, kao i na mjesta gdje se odvijaju operacije odleđivanja, nebi trebalo doći do konzumacije glikola (osim nekoliko kapi tijekom nanošenja tekućine na površinu zrakoplova). Glikoli kao što su etilen, di-etilen i propilen-glikoli u potpunosti su biorazgradivi.

Kako bi doskočili problemu odlaganja onečišćenih i otpadnih voda, prilikom dizajna aerodroma, radne površine, kao što su stajanka, poletno sletne staze, rulne staze, i dr., dizajnirane su tako da imaju blagi nagib prema putničkom terminalu, kako bi se višak onečišćenih voda mogao prikupiti i tretirati prikladno. Međutim, isto tako, nagib može biti izvršen tako da bude usmjeren od putničke zgrade, prema PSS, koje završavaju u kanalima koje potom budu usmjerene prema bazenima za tretiranje onečišćenih, i otpadnih voda.



*Slika 8: Prikaz nagiba stajanke u svrhu odvodnje otpadnih i oborinskih voda  
Izvor: Autor*



*Slika 9: Bazen s odvojenim kanalima za prikupljanje otpadnih voda  
Izvor: Autor*

Kada se operacije odleđivanja zrakoplova provode bez adekvatnih rješenja prikupljanja i odlaganja, dolazi do značajnog zagađenja i utjecaja na kvalitetu voda, kao što su redukcija kisika u vodama, što može dovesti do uništenja flore i faune, kao i drastičnoj degradaciji u kvalitete pitke vode i procesima obrade voda.

Prilikom istraživanja u SAD-u, gdje su uzeti u obzir 383 komercijalna aerodroma, 320 njih je obavljalo povremene ili redovite procese odleđivanja zrakoplova, gdje je potrošeno 24 milijuna galona tekućine za odleđivanje, od čega je čak 36% otpušteno netretirano, što je rezultiralo s 127 milijuna lbs. KPK (Kemijska potreba kiska).

Za potrebe odleđivanja poletno-sletnih staza, od 7.2 milijuna lbs uree korištene na površinama, većina ih završava u odvodima za oborinske vode, što rezultira ulaskom prekomjernog amonijaka, samim time i KPK.

KPK predstavlja kemijsku potrebu za kisikom, i troši kisik koji je inače potreban u vodama mnogim organizmima, koji samim smanjenjem kisika, nemogu sudjelovati u razgradnji štetnih i toksičnih supstanci, čime se narušava bioravnoteža.

Ispuštene netretirane KPK tekućine s jednog velikog komercijalnog aerodroma, prema istraživanju iz SAD-a, u jednome danu, mogu imati utjecaj jednak kanalizaciji 15-milijunskog grada.

Do sada nije nađeno adekvatno rješenje za zamjenu trenutnih aditiva i kemijskih supstanci u tekućinama za odleđivanje, jer primjerice, iako se čini jednostavno, korištenje vruće vode može dovesti što kratkoročnih posljedica, primjerice vruća voda može predstavljati opasnost za radno osoblje i putnike, tako može doći i do daljnjih posljedica.

Ukoliko dođe do zadržavanja viška vode u području motora, krila ili drugih operativnih površina aviona, te kasnijeg zamrzavanja iste, može rezultirati kobnim posljedicama kako za putnike, tako i samu posadu i avion u letu. [19]



Neke od alternativnih metoda mogu biti, međutim bitno je za naglasiti da nijedna od njih trenutno nije u istinskoj primjeni na našim aerodromima, prije svega radi vremena i troškova koje oni predstavljaju operaterima zračnih luka u Hrvatskoj:

- **Odleđivanje zrakom**

Odleđivanje korištenjem zraka još je jedna metoda za uklanjanje smrznutih onečišćenja ili snijega na površinama zrakoplova. Neki sustavi za odmrzavanje zrakom koriste zrak pod visokim tlakom ili mješavinu zraka i tekućine, dok se drugi zasnivaju na isporuci velike količine zraka pri niskom tlaku. Učinkovitost metode ovisi o brojnim čimbenicima, uključujući protok zraka, brzinu, temperaturu struje zraka, obuka i iskustvo osoblja, temperaturu vanjskog zraka i ostalih vremenskih uvjeta. Upotreba zraka mora biti odobrena od proizvođača zrakoplova.

- **Mehanička sredstva**

Mehanička sredstva mogu se koristiti i za uklanjanje leda s površina zrakoplova. Ove tehnike mogu uključivati užad, prilikom čega dvije osobe pomiču užad naprijed i natrag preko površine na kojoj se nalazi led, metle kojima se površina zrakoplova briše od snijega i leda ili strugači, koji se koriste u potezu povlačenja od prednjeg ruba do zadnjeg ruba ili od najviše točke krila do najniže.

- **Infrastrukturalna rješenja**

Postavljanje aviona u grijani hangar osigurava se zaštita zrakoplova od zaleđivanja te nema potrebe za postupcima odleđivanja zrakoplova. Ako postoje oborina, sredstvo protiv zaleđivanja može biti nanoseno.

- **Tehnologije u razvoju**

Infracrvena de-icing tehnologija uključuje otapanje mraza, leda i snijega sa površine zrakoplova korištenjem energije infracrvenog zračenja. Infracrveni energetski sustavi temelje se na emiterima koji koriste prirodni plin ili propan za otapanje mraza, leda i snijega.

Parna tehnologija koristi mješavinu zraka i vodene pare za otapanje leda na površini zrakoplova. Nakon otapanja leda koristi se topli zrak za sušenje površine [19].

## 4. EMISIJE U ZRAČNOM PROMETU I KONCEPT ZELENOG AERODROMA DO 2050. (GREEN AIRPORT 2050.)

Emisije u zračnom prometu mogle bi se podijeliti na u dva dijela, one koje ispuštaju i generiraju motori zrakoplova, te emisije do kojih dolazi uslijed opsluživanja zrakoplova i svih drugih operacija na zemlji koje su vezane za prihvat i otpremu zrakoplova, njegovog tereta i putnika.

### 4.1. EMISIJE ZRAKOPLOVA

Emisije zrakoplova su vezane uz obvezno korištenje kerozina, vrste avionskog benzina pomoću kojeg motori zrakoplova mogu razviti dovoljnu snagu za let i prijevoz velikog broja putnika i tereta. S obzirom na oktanski broj proizvode se sljedeće vrste avionskih benzina:

- AVGAS 80 označavan crvenom bojom
- AVGAS 100 zelenom
- AVGAS 100LL plavom, s niskom koncentracijom olova (LL – low lead)

Na aerodromima u Republici Hrvatskoj isporučuje se samo AVGAS 100 LL.

Ispušni plinovi mlaznih motora, koje koriste moderni zrakoplovi, sastava su približno od 7% do 8% CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O te 0.5 % NO<sub>x</sub>, HC, CO, SO<sub>x</sub> te drugih kemijskih elemenata i čestica čađe. Preostali dio (91,5% do 92,5%) sastoji se od O<sub>2</sub> i N<sub>2</sub>.

Emisije CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O, produkti su izgaranja goriva te su povezane s potrošnjom goriva, što je funkcija mase zrakoplova, aerodinamičke konstrukcije i performansi motora zrakoplova. Emisije NO<sub>x</sub>-a, čađe, CO, HC i SO<sub>x</sub>-a uglavnom su povezane s načinom izgaranja goriva u motoru te donekle s kemijskim reakcijama koje slijede nakon izgaranja.

Ove emisije uglavnom su povezane s konstrukcijom motora, pa se mogu smanjiti potpunijim izgaranjem goriva. [20]

Čestice CO, HC, , Sox, NOx i čađe imaju najveći utjecaj na ljudsko zdravlje i okoliš, na smanjenje razine ozona, na povećanje mogućnosti nastanka kiselih kiša, na smanjenje vidljivosti i slično. Procesi koji uvelike pridonose smanjenju kvalitete lokalnoga zraka dio su skupa atmosferskih procesa koji mogu imati regionalne i globalne posljedice. Izloženost atmosfere ultraljubičastom UVB zračenju, kao i uništenje omotača ozona oko atmosfere predstavljaju najočitiije posljedice, a koje i danas ljudi osjećaju.

Razlika između emisija na površini zemlje, i onih koje su emitirane od strane zrakoplova, je ta da se radi o različitim vremenskim i fizičkim uvjetima, primjerice ostatak tragova zrakoplova, ili tzv. Kondenzacijska staza, i kemijskim efektima kao nusprodukt ispušnih plinova (uništenje ozona). Emisije koje su bitne za atmosferske procese nisu samo emisije CO<sub>2</sub>. Mješavina elemenata koje zrakoplovi ispuštaju narušava utjecaj zračenja (radiative forcing) dva do četiri puta više nego da je riječ o ispuštanju samo CO<sub>2</sub>. Za usporedbu, ukupni utjecaj zračenja kao suma promjena utjecaja zračenja uzrokovanog ljudskim djelatnostima je faktor 1,5 puta veći od samog utjecaja CO<sub>2</sub>. Prema tome, posljedice izgaranja goriva na nadmorskoj visini leta dvostruku su veće od posljedica izgaranja goriva na tlu.

Prekretnica u ograničenju emisija i donošenju zrakoplovne regulative vezane uz smanjenje emisija pokrenut je u SAD-u, kada je 1970. Američki kongres donio "Zakon o čistom zraku" (Clean Air Act) koji služi kao temelj za kontrolu emisija zrakoplovnih motora. Također, Kongres je osnovao i institucije koje će donositi i provoditi regulativu. Međunarodna organizacija zračnog prijevoza je u suradnji s UN-om održala konferenciju 1972. godine, kojom je donesen i program i niz mjera za zaštitu okoliša (ICAO Action Programme Regarding the Environment). Kao dio akcijskog programa osnovana je tzv. Studijska grupa (Study group) koja će definirati određene zadatke koje se odnose na emisije zrakoplovnih motora, odnosno ispušne plinove. Kao rezultat rada ove grupe nastao je ICAO circular pod naslovom "Control of the Aircraft Engine Emissions" i objavljen je 1977. godine.

Cirkular sadržava “vodič” u formi propisanih procedura za kontrolu sadržaja produkata izgaranja turbo mlaznih i optočno-mlaznih motora (turbo jet i turbofan engines) namijenjenih za podzvučne zrakoplove.

U annexu se definiraju sastavi ispušnih plinova koji se kontroliraju prilikom izdavanja certifikata motora: Dim, neizgoreni ugljikovodici, ugljik monoksid, dušikovi oksidi.

Također moraju biti izražene i mase udjela pojedinih plinova emitiranih tijekom mjerenja u fazi uzlijetanja i slijetanja izražene u gramima.

Prometni sektor diljem svijeta zauzima otprilike jednu četvrtinu ukupne potrošnje goriva diljem svijeta, te tako rast prometa uvelike utječe i na okoliš i njegovu kvalitetu. Tehnološki i inovativni napretci mogu pripomoći, no porast potražnje za prometom predstavlja glavni faktor povećanja mase emisija. 1990. godine zračni promet je imao udio od 2,4% ukupne potrošnje fosilnih goriva. U usporedbi s ranim 90ima, potrošnja fosilnih goriva, te sveukupne emisije CO<sub>2</sub>, u projekcijama, povećat će se od tri do sedam puta do 2050. godine, što odgovara otprilike rastu od cca 2,4%.

## **4.2. MJERE ZA SMANJENJE ONEČIŠĆENJA ISPUŠNIH PLINOVA ZRAKOPLOVA U VIDU TEHNOLOŠKIH RJEŠENJA**

Mali sportski i poslovni zrakoplovi, koji se koriste pretežito u svrhu generalne avijacije, koriste klipni motor, i to uglavnom Otto motor, te zbog smanjenog obujma prometa tih vrsta aviona, onečišćenje atmosfere uzrokovano ispušnim plinovima zrakoplovnih klipnih motora je neznatno. Oni ne koriste katalizatore, pošto nemaju ograničenja u pogledu sastava ispušnih plinova, za razliku od mlaznih motora. Izgaranje u mlaznim motorima obavlja se u tzv. Komorama izgaranja. U komori izgaranja mogu se izdvojiti tri zone: primarna, prijelazna i zona miješanja.

U prosjeku, izgaranje goriva u mlaznim motorima odvija se s visokim prosječnim vrijednostima  $\lambda$  (siromašna smjesa), ali se proces izgaranja izvodi pretežito u primarnoj zoni komore izgaranja gdje mogu vladati bitno različiti uvjeti od prosječnih vrijednosti.

CO je produkt nekompletnog izgaranja, a ono može biti uzrokovano:

- prebogatom smjesom ili prekratko vrijeme izgaranja u primarnoj zoni komore izgaranja,
- nedakvatno miješanje goriva i zraka zbog čega nastaju zone prebogate smjese,
- hlađenje produkata izgaranja, posebno u primarnoj zoni uvlačenjem zraka za hlađenje.

Stoga se smanjivanje emisije štetnih plinova u komorama izgaranja mlaznih motora bazira na organizaciji procesa izgaranja tako da emisija štetnih plinova bude što manja, a ne kasnije, na naknadnim obradama ispušnih plinova.

Procjenjuje se da se modernizacijom i tehnološkim dostignućima izrade zrakoplovnih motora smanjila emisija ispušnih plinova, u periodu od 40 godina, za čak do 70%.

Vrijeme zadržavanja ispušnih plinova pojedinih emisija u zraku nije jednako. SO<sub>2</sub> se primjerice zadržava od 1-6 dana, H<sub>2</sub>O od 3-7 dana, NO<sub>x</sub> od 1-3 dana, dok se HC zadržavaju do dva dana, dok je prosjek zadržavanja molekula CO<sub>2</sub> procjenjen na 4 mjeseca. Jedna petina tih emisija se zadržava u sloju donjim slojevima stratosfere, a ostatak emitira u troposferskim slojevima.

Osim tehnoloških rješenja unutar konstrukcija motora, velik dio se odnosi i na modernizaciju samog materijala izrade zrakoplova. Primjerice, kod novog modela jednog od najeminentnijih proizvođača civilnih zrakoplova, francuskog Airbusa, A350XWB, kojemu približno 70% konstrukcije čine novi kompozitni materijali u kombinaciji s legurom titana i aluminija.

Time je postignuto smanjenje emisije NO<sub>x</sub> za 30% ispod trenutne granice. Uz to je i postignuto smanjenje težine zrakoplova za 8 tona, čime se automatski povlači i manja potrošnja goriva.

U sklopu modernizacije i smanjena emisija zračnog prometa je osnovan i projekt „Clean Sky“, financiran iz programa EU Horizon 2020., koji se bazira na inovativnosti i novim rješenjima u svrhu smanjenja emisije CO<sub>2</sub>, emisije plinova i razine buke koju proizvode zrakoplovi. Clean Sky pridonosi jačanju suradnje između zrakoplovnih industrija i kompanija koje obavljaju prijevoz, kao i aerodromskih operatera.

#### **4.3. MJERE ZA SMANJENJE ONEČIŠĆENJA OD STRANE OPERATORA (MZLZ) – “GREEN AIRPORT 2050.”**

Za razliku od samih proizvođača zrakoplova i zrakoplovnih prijevoznika, veliku ulogu u smanjenju onečišćenja i utjecaja na klimatske promjene imaju i sami operatori – aerodromi, koji vrše prihvat i otpremu putnika i prtljage.

Ovdje ćemo se osvrnuti na ulogu koju ima i moj poslodavac, Međunarodna Zračna Luka Zagreb, kojoj je dana 30-ogodišnja koncesija za operacije i održavanje novog terminala, izgrađenog i puštenog u pogon 2017. godine, a čije je društvo osnovano 2012. godine i čini ga konzorcij kompanija Aeroports de Paris Managment, Bouyges Batiment International, Viadukt d.d., IFC, Marguerite Airport Croatia i Aviator Nederlands B.V.

Shodno dugogodišnjem planu, MZLZ je u potpunosti usmjeren na smanjenje emisije CO<sub>2</sub> i održivom razvoju. Od 2018-2020. godine, MZLZ je implementirao „Integrirani sustav upravljanja“, čiji su ciljevi:

- sistematski uključiti okoliš u svoje aktivnosti
- spriječiti i biti odgovaran dionik u svim aktivnostima koje se tiču okoliša

Stakeholder Identification Matrix 3					
Services provider	Stakeholders such as Ground handlers, Cargo Handlers, Catering companies, contractors, government services, telecom services, retailers that are constantly energy consumers include those who perform their activities and/or by using their equipment, located in the MZLZ area.				
	DESCRIPTION – TYPE OF ACTIVITY	LOCATION	CATEGORISATION/ PRIORITISATION	GUIDE	INFLUENCE
MZLZ GROUND HANDLING	Passenger handling, baggage handling, cargo handling, ramp handling, aircraft services, flight operations and crew administration, general aviation services	Airside/ Landside			X
BTA	Catering services, Food and beverage, Business Lounge, Inflight Catering Services, Canteen Services	Airside/ Landside			X
SDA	Retail services	Airside			X
TISAK	Retail services	Landside		X	
RESALTA	Operation and maintenance of the complete System of production and distribution of heat energy at ZAG, consisting of boiler rooms, heat substations and hot water pipeline network	Landside			X
Air Traffic Control Ltd.	The air traffic Control services, The Nav aids (ILS, glide path) operations and maintenance, The meteorological Services	Airside/ Landside		X	
Ministry of interior	The immigration services	Airside/ Landside		X	
Ministry of Finance	Customs services	Airside/ Landside		X	
HT-CRONET, TELE 2, AI HRVATSKA	Telecommunication services	Airside/ Landside		X	
IACC	Advertising services	Landside			X

Slika 10: Identifikacijska tablica u svrhu prioritizacije i utjecaja pojedinih kompanija u emisijama CO2  
Izvor: [21]

MZLZ je u tom trogodišnjem planu uspio postaviti standarde za sve aerodrome u Europi, čime je ove godine odobren i dobiven certifikat ACI-a (Airport Council International), kojim se potvrđuje razina 3 upravljanja i smanjenja emisije CO<sub>2</sub> u svakodnevnim aerodromskim aktivnostima. One uključuju sljedeće:

Na godi - smanjenje potrošnje električne energije: zamjena halogene rasvjete s LED svjetlima, zamjena „approach“ svjetla 23, rekonstrukcija bljeskalica na PSS,

- smanjenje potrošnje fosilnih goriva: rekonstrukcija stare sobe s bojlerima i zamjena grijača, zamjena starih hladnjaka, zamjena starih toplovodnih cijevi sa izoliranim cijevima, smanjenje potrošnje vode zamjenom i postavkom novih cijevi i ventila, investicija u boljoj toplinskoj izolacije same aerodromske zgrade (vrata, prozori, izolacija fasade/stakla)
- postavljanje obnovljivih izvora energije: grijanje vode uz pomoć kolektora
- bolja kontrola potrošnje struje, vode, goriva i plina: unaprjeđenje HVAC sustava uz bolje praćenje i kontroliranje, kao i modernizaciju BMS sustava.
- implementacija plana životnog ciklusa: postupna zamjena aerodromske tehnike i opreme (zimski oprema za odleđivanje i upravljanje, busevi te vatrogasna vozila)
- edukacija: edukacija radnog osoblja kako bi se dalo značaj učinkovitom korištenju energije.

Cilj je postignut, te je MZLZ uspješno smanjio emisiju CO<sub>2</sub> za do 15%, te je samim time uvršten i u novi program, ACI ACA (Airport Carbon Accreditation), a čija razina nosi naziv „Optimizacija“, i predstavlja značajan korak prema ispunjenju opredijeljenosti zagrebačke zračne luke za postizanje nulte emisije CO<sub>2</sub> do 2050. godine. Program mjerenja ove razine certifikata također podrazumijeva i uključenost svih dionika i poslovnih partnera zračne luke koji svojim aktivnostima unutar zračne luke utječu na emisiju CO<sub>2</sub>. Ovaj projekt je MZLZ sa svojim partnerima simbolično nazvao „Green Airport – 2050.“, što predstavlja hvalevrijedan napredak i cilj, uzevši u obzir pandemijsko razdoblje, koje je najviše naštetilo zrakoplovnoj industriji i koja osjeća veliki teret krize koja je trenutno prisutna. [21]



## 5. ZAKLJUČAK

Zračni promet iz godine u godinu predstavlja brzorastuću industriju, za koju se vežu mnoge ostale grane u svijetu, i kao takav, predstavlja veliki izazov u budućnosti, gledajući na aktualnu temu klimatskih promjena.

Napretkom tehnologije, u zadnjim desetljećima postignut je velik doprinos u smanjenju emisija zrakoplova, smanjenju utjecaja buke na lokalne zajednice, kao i radnike i putnike, te tretiranje tekućina za odležavanje koje utječu na kvalitetu voda.

Inovacijama u proizvodnji motora zrakoplova i regulativama, uvelike se smanjila emisija onečišćivača, no gotovo jednaku, ako ne i veću ulogu u ekološkoj evoluciji i prilagodbi promjenama imaju i aerodromi. Modernizacijom opreme, vozila, kao i što većem smanjenju potrošnje energije, za grijanje i hlađenje, pogon opreme, te prelaskom na obnovljive izvore energije, lokalni operateri već sada, na primjeru Međunarodne Zračne Luke Zagreb, mogu postaviti prekretnicu, koju bi u budućnosti trebalo i stimulirati sredstvima iz fondova EU.

Veliku ulogu već sada igra i edukacija zaposlenika zrakoplovnih prijevoznika i aerodromskog osoblja, koje svojim ponašanjem isto tako mogu doprinijeti smanjenju emisija. No, najveću ulogu, i revolucionaran korak će uistinu jednog dana, kao i u cestovnom prijevozu, predstavljati prelazak korištenja alternativnih izvora energije, umjesto do sada klasičnih derivata goriva, no to još predstavlja možda i preveliki zalogaj za industriju, koja u jednom letu može prevesti i do 400 putnika na drugi kraj svijeta. Qatar Airways je jedan od prijevoznika koji je uspio, uz dodatak plina već postojećoj smjesi goriva, napraviti veliki korak u tom smjeru, no istraživanjem tekućeg vodika i nuklearne energije desila bi se ipak prekretnica koja bi označila zrakoplovnu granu kao uistinu zelenu granu prijevoza.

## 6. POPIS LITERATURE

- 1) Bucak, T.: Utjecaj buke zrakoplova na kvalitetu govornih komunikacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2004.
- 2) Hrvatski sabor, Zakon o zaštiti od buke, Republika Hrvatska, Narodne novine, 2003., dostupno na: [https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2003\\_02\\_20\\_290.html](https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2003_02_20_290.html) (preuzeto 12. kolovoza 2021.)
- 3) Hrvatski sabor, Pravilnik o uspostavljanju pravila i postupaka u svezi uvođenja operativnih ograničenja vezanih za buku zrakoplova na zračnim lukama na teritoriju Republike Hrvatske, Narodne novine, 2013., dostupno na: [https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013\\_04\\_39\\_730.html](https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_04_39_730.html) (preuzeto 12. kolovoza 2021.)
- 4) International Civil Aviation Organization, Annex 16: Volume 1 – Environmental Protection - Aircraft Noise, ICAO, 2016., dostupno na: <http://cockpitdata.com/Software/ICAO%20Annex%2016%20Volume%201> (preuzeto 12. kolovoza 2021.)
- 5) Golubić, J.: Predavanja za nastavu Promet i ekologija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.
- 6) Golubić, J.: Promet i okoliš, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
- 7) Europski parlament, Vijeće Europske unije, Direktiva 2002/30/EZ Europskog parlamenta i Vijeća, 2002., dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/HR/TXT/?uri=CELEX%3A32002L0030>, (preuzeto 12. kolovoza 2021.)
- 8) Europski parlament, Vijeće Europske unije, Direktiva 2002/49/EZ Europskog parlamenta i Vijeća, 2002., dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32002L0049> (preuzeto 13. kolovoza 2021.)
- 9) Shashikant, R. M.: Aircraft Noise Characteristics and Metrics, MIT, Cambridge, 2011., dostupno na: [http://www.heathrowairport.com/static/Heathrow\\_Noise/Downloads/PDF/GroundNoise11.pdf](http://www.heathrowairport.com/static/Heathrow_Noise/Downloads/PDF/GroundNoise11.pdf) (preuzeto 13. kolovoza 2021.)

- 10) International Civil Aviation Organization: ICAO Doc 9829, Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management, Second Edition, 2008.
- 11) Hrvatska kontrola zračne plovidbe d.o.o., Karta površina zračne luke Zagreb, HKZP, 2018.: <http://img.www.crocontrol.hr/img/mzlj/default.aspx?id=58> (preuzeto: 13. kolovoza 2021.)
- 12) Pavlin, S., Bračić, M.: Tehnologija prihvata i otpreme zrakoplova, radni materijali, FPZ, 2014.
- 13) Brüel & Kjær, Sound & Vibration Measurement, Nærum, 2014., dostupno na: <https://www.bksv.com/media/doc/bg1808.pdf> (preuzeto 13. kolovoza 2021.)
- 14) Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., Stansfeld, S.: Auditory and non-auditory effects of noise on health, US National Library of Medicine, 2014.: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3988259/> (preuzeto 13. kolovoza 2021.)
- 15) Stansfeld, S., Matheson, M.: Noise pollution: Non-auditory effects on health, British Medical Bulletin, Vol, 2003, str. 243–257., dostupno na: <https://academic.oup.com/bmb/article/68/1/243/421340> (preuzeto 13. kolovoza 2021.)
- 16) ICAO Doc 9640, Manual of Aircraft Ground De-icing/Anti-icing Operations, Third Edition, 2018.: dostupno na linku: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/4400.pdf> (preuzeto: 15. kolovoza 2021.)
- 17) Airbus Industrie: Getting Grips With Cold Weather Operations, dostupno na linku: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/3404.pdf> (preuzeto: 15. kolovoza 2021.)
- 18) EASA Safety Information Notice, 2008., dostupno na linku: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/944.pdf> (preuzeto: 15. kolovoza 2021.)
- 19) William Swietlik: The Environmental Impacts of Airport Deicing, 2010,
- 20) Ernest Bazijanac: Emisije zrakoplovnih motora, , 2016.
- 21) G.Špoljar.: Carbon Footprint Manual, Međunarodna Zračna Luka Zagreb, 2018., (preuzeto 20.kolovoza 2021.)

## POPIS SLIKA

Slika 1: Sredstvo za zaštitu sluha radnika na stajanci Međunarodne Zračne Luke Zagreb Izvor: Autor.....	8
Slika 2: Referentne točke mjerenja razine buke zrakoplova pri slijetanju i polijetanju Izvor: [8].....	10
Slika 3:Zračna Luka Franjo Tuđman, prikaz zemaljske i zračne strane Izvor: [14].....	14
Slika 4: Vozilo za odleđivanje zrakoplova, Safewing Aircraft Deicer Izvor: Autor .....	28
Slika 5: Utjecaj nakupljenog leda na performanse zrakoplova Izvor: Autor.....	30
Slika 6: Spremnici za čuvanje tekućine za odleđivanje, tipa IV Izvor: Autor.....	31
Slika 7: : Mlaznice za raspršivanje sredstva za odleđivanje Izvor: Autor .....	33
Slika 8: Prikaz nagiba stajanke u svrhu odvodnje otpadnih i oborinskih voda Izvor: Autor	35
Slika 9: Bazen s odvojenim kanalima za prikupljanje otpadnih voda, i stanica za obradu otpadnih voda Izvor: Autor.....	35
Slika 10: Identifikacijska tablica u svrhu prioritizacije i utjecaja pojedinih kompanija u emisijama CO2 Izvor: [21] .....	43

## POPIS TABLICA

Tablica 1: Prikaz podataka o maksimalnim razinama buke koje proizvode putnički zrakoplovi karakteristični za zračnu luku Zagreb Izvor: [6].....17

Tablica 2: Dopuštene razine buke obzirom na vrstu djelatnosti Izvor: [5].....21