Akustička analiza buke helikoptera EC 135

Korać, Toni

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:119:874268

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Toni Korać

AKUSTIČKA ANALIZA BUKE HELIKOPTERA EC 135

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

Sveučilište u Zagrebu
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb
DIPLOMSKI STUDIJ

Diplomski studij: Aeronautika
Zavod: Aeronautika
Predmet: Zrakoplovne emisije

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

Pristupnik: Toni Korać
Matični broj: 0135218381
Smjer: Aeronautika

ZADATAK:

Akustička analiza buke helikoptera EC 135

ENGLESKI NAZIV ZADATKA:

Acoustic analysis of EC 135 helicopter noise

Opis zadatka:

Definirati osnovne objektivne i subjektivne parametre zvuka i buke. Opisati izvore buke na helikopterima. Navesti tehničko-eksploatacijske značajke helikoptera EC 135. Dati pregled mjernih metoda i postupaka mjerenja buke na helikopterima. Izmjeriti vanjsku i unutarnje buku helikoptera EC135 u različitim letnim i pogonskim režimima koristeći A-ponderiranu i oktavno-pojasnu metodu. Analizirati dobivene rezultate i proračunati razumljivost govora koristeći SIL i SII metodu.

Zadatak uručen pristupniku:
4. ožujka 2016.

Nadzorni nastavnik: Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

Djelovođa:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

AKUSTIČKA ANALIZA BUKE HELIKOPTERA EC 135

ACOUSTIC ANALYSIS OF EC 135 HELICOPTER NOISE

Mentor: prof. dr. sc. Tino Bucak

Student: Toni Korać, 0135218381

Zagreb, rujan 2016

SAŽETAK

Svakodnevna izloženost različitim oblicima buke naročito je izražena u zračnom prometu, čiji su dio i helikopteri. Bitna obilježja helikoptera jesu visoke razine unutarnje i vanjske buke te let na malim visinama u naseljenim područjima. Dugotrajna izloženost buci kod pilota ili putnika u kabini helikoptera kao i kod pasivnog promatrača u blizini helikoptera dovodi do znatnog narušavanja kvalitete komunikacije te oštećenja sluha. U ovom diplomskom radu prikazani su i analizirani rezultati mjerenja vanjske i unutarnje buke helikoptera EC 135 na osnovu kojih je proračunata razumljivost govora u kabinskom prostoru putem SIL i SII metode.

KLJUČNE RIJEČI: zvuk; buka; helikopter; EC 135; analiza, razumljivost govora

ABSTRACT

Daily exposure to various forms of noise is particularly expressed in air traffic that helicopters are part of. Important characteristics of helicopters are high levels of cabin and outside noise and low altitude flight in populated areas. Long-term exposure to noise as a pilot or a passenger in the cabin of helicopter or as a passive observer in the vicinity of helicopter can lead to significant interference with communication and hearing impediment. This research shows and analyses the measured results of helicopter EC 135 cabin and outside noise levels which were used for the speech intelligibility calculations via SIL and SII methods.

KEYWORDS: sound; noise; helicopter; EC 135; analysis, speech intelligibility

SADRŽAJ

1. UVOD 1
1.1. Problem i predmet istraživanja 1
1.2. Svrha i cilj istraživanja 1
1.3. Osvrt na dosadašnja istraživanja i očekivani rezultati 1
1.4. Metode istraživanja 2
1.5. Struktura rada 2
2. POJAM ZVUKA I BUKE 3
2.1. Pojmovno definiranje i karakteristike zvuka 4
2.2. Pojmovno definiranje i karakteristike buke 7
3. IZVORI BUKE NA HELIKOPTERIMA 9
3.1. Tehnologije smanjenja vibracija i buke helikoptera 10
3.2. Smanjenje vibracija helikoptera 11
3.2.1. Upravljanje vibracijama u transmisiji 11
3.2.2. Upravljanje vibracijama na trupu helikoptera 11
3.3. Metode smanjenja buke na helikopteru EC 135 12
4. TEHNIČKO-EKSPLOATACIJSKE ZNAČAJKE HELIKOPTERA EC 135 16
4.1. Tehničke karakteristike EC 135 17
4.2. Eksploatacijske karakteristike EC 135 19
4.3. Performanse EC 135 21
5. PREGLED MJERNIH METODA I POSTUPAKA 22
5.1 Postupci za mjerenje vanjske buke helikoptera 22
5.2. Postupci za mjerenje unutarnje buke helikoptera 24
6. MJERENJE VANJSKE I UNUTARNJE BUKE U RAZLIČITIM POGONSKIM REŽIMIMA 26
6.1. Metodologija prikupljanja podataka 26
6.2. Prikupljeni podaci 29
6.2.1. Mjerenje unutarnje (kabinske) buke 29
6.2.2. Mjerenje vanjske buke 35
7. ANALIZA I OBRADA REZULTATA 38
7.1. SIL metoda 38
7.2. SII metoda 42
8. ZAKLJUČAK 47

POPIS LITERATURE 49
POPIS KRATICA 51
POPIS SLIKA 52
POPIS TABLICA 53
POPIS GRAFIKONA 55

1. UVOD

1.1. Problem i predmet istraživanja

Buka je sveprisutan čimbenik u čovjekovoj okolini na koju veliki utjecaj ima zračni promet. Utjecaj buke na čovjeka može dovesti do oštećenje sluha i smanjenje kvalitete življenja. Buka u helikopteru jedan je od bitnijih faktora koji utječe na putnike, članove posade i pilote. Dugotrajna izloženost zvuku od 80 dBA (A-ponderirana razina buke) može mogu dovesti do nerazumijevanja u komunikaciji između posade helikoptera. Vanjska buka točno je definirana i standardizirana prema međunarodnim propisima. U diplomskom radu analiziraju se akustična mjerenja na helikopteru EC 135. Promatrani helikopter EC 135 karakterističan je zbog manje razine buke u usporedbi s helikopterima iste kategorije te iznosi 6.5 dB ispod trenutnih *International Civil Aviation Organization* (ICAO) standarda.

1.2. Svrha i cilj istraživanja

Svrha istraživanja je analizirati i obraditi prikupljene podatke snimanja razine buke helikoptera EC 135 te uvidjeti u kojoj mjeri buka helikoptera utječe na okruženje unutar putničke kabine i izvan helikoptera. Cilj istraživanja jest dobiti sliku akustičke analize helikoptera EC 135.

1.3. Osvrt na dosadašnja istraživanja i očekivani rezultati

Obzirom na dostupne materijale i tehničke podatke, detaljna akustička analiza helikoptera EC 135 nije poznata. To je posebice vidljivo u specifičnim akcijama kao što su nadziranje prometa i državne granice, prijevozu stradalih u nesrećama i pri spašavanju na teško dostupnim terenima. Očekivani rezultati istraživanja trebali bi pokazati u kojoj mjeri i u kojim režimima rada pogonske skupine helikopter proizvodi najviše buke te ima li potrebe za daljnjom prevencijom i zaštitom od buke.

1.4. Metode istraživanja

U radu su korištene različite metode istraživanja. Za teorijski okvir rada koriste se analize sadržaja, metoda dedukcije i indukcije te metoda analize. U istraživačkom dijelu rada korištene su deduktivne metode, matematičke metode te eksperimentalna metoda.

1.5. Struktura rada

Materija rada podijeljena je u osam međusobno povezanih cjelina. U prvom dijelu rada izneseni su problem, svrha, cilj i metode istraživanja. Drugi dio rada obrađuje zvuk i buku na način da se pojmovno definira zvuk i buka te njihove karakteristike. Treće poglavlje, izvori buke na helikopterima, prikazuje izvore tj. mjesta nastajanja buke na helikopterima, kao i tehnologije smanjenja vibracija i buke helikoptera, s naglaskom na upravljanje vibracijama u transmisijama i trupu helikoptera EC 135. Prikazane su metode smanjenja buke na promatranom helikopteru EC 135.

Sljedeći dio rada daje osvrt na tehničko-eksploatacijske značajke helikoptera EC 135 te svojstva Pratt & Whitney i Turbomeca mlaznih motora i performansi helikoptera u različitim režimima rada. U petom poglavlju prikazan je pregled mjernih metoda i postupaka. U šestom dijelu rada, mjerenjem unutarnje (kabinske) i vanjske buke u različitim pogonskim režimima prikazani su podaci dobiveni u terenskim uvjetima za helikopter EC 135 P2+ koristeći A-ponderirana i oktavno - pojasna mjerenja.
U sedmom dijelu, analizom i obradom podataka proračunata je razumljivost govora koristeći SIL i SII metodu. U osmom, ujedno i posljednjem dijelu rada iznose se zaključna razmatranja vezana uz problem istraživanja te se ukazuje na mogućnosti daljnjeg istraživanja navedenog problema.

2. POJAM ZVUKA I BUKE

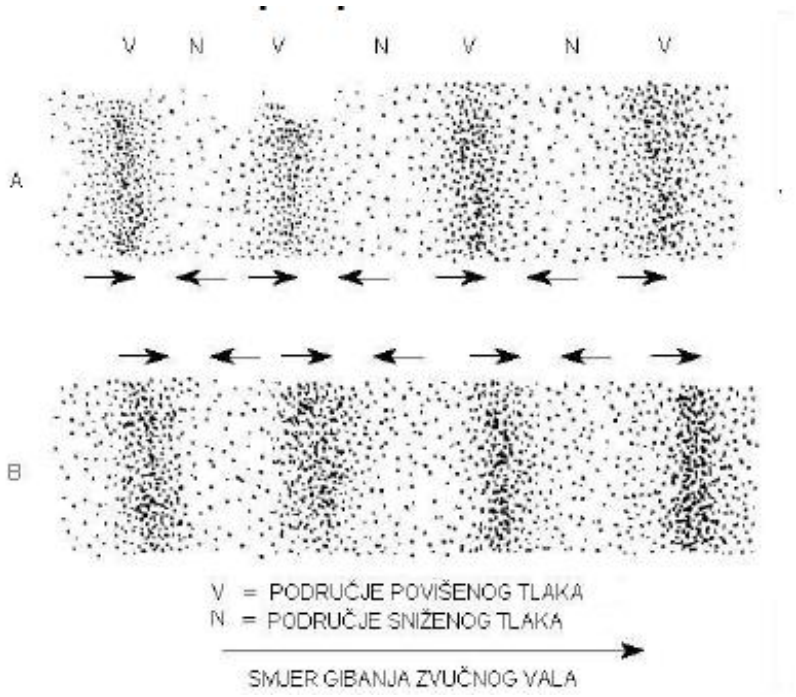
Problem buke vezan uz zračni promet uočen je 60- ih godina te je s ekološkog aspekta, u svrhu smanjenja štetnog utjecaja na okoliš, potaknuo brojna istraživanja, studije i elaboracije. Kao ozbiljan problem, buka koju stvaraju zrakoplovi prvi put je razmatrana na ICAO Vijeću 1971. godine te je prema zadnjim izmjenama 1993. godine postavljen temeljni dokument za reguliranje problematike buke u zrakoplovstvu pod nazivom Annex 16 ICAO-a. Prema Annex 16 ICAO klasificiraju se stupnjevi buke koju izazivaju pojedini tipovi podzvučnih motora te se s tog aspekta zrakoplovi mogu podijeliti u tri kategorije:

- *Kategorija 1*
  - neodgovarajući zrakoplovi prema dopuštenom stupnju buke,
  - zrakoplovi ne mogu dobiti certifikat o plovidbenosti te takvim zrakoplovima nije dopušteno letenje u industrijski razvijeni zemljama,
  - zrakoplovi stare generacije DC-8 i B 707.
- *Kategorija 2*
  - zrakoplovi do 1977. godine koji dopuštenom stupnju buke djelomično odgovaraju te je potrebno utišavanje ili postupno izbacivanje iz upotrebe,
  - zrakoplovi koji su obilježili svjetsko zrakoplovstvo i predstavljali su standarde posljednjih 25 godina: B 727 – 100, B727 – 200, B 737 – 200, DC – 10, B 747 – 100 i drugi.
- *Kategorija 3*
  - „tihi zrakoplovi“ koji odgovaraju dopuštenom stupnju buke od 1977. godine,
  - elisni zrakoplovi s više od 5 700 kg za koje je prihvaćen zahtjev certifikacije 1985. godine i elisni zrakoplovi preko 8 618 kg i helikopteri za koje je prihvaćen zahtjev certifikacije do 1988. godine,
  - zrakoplovi najnovije generacije: B 737 – 300, B737 – 400, B737 – 500, A – 319, A- 320, A 321, A – 340 i drugi manji zrakoplovi [1].

S obzirom na predstavljenu problematiku buke, kako bi se što jasnije razumjela materija rada, u nastavku poglavlja pojmovno su definirani zvuk i buka te njihove karakteristike.

2.1. Pojmovno definiranje i karakteristike zvuka

Zvuk je pojava promjene tlaka, napona, pomaka ili brzine čestice („titranje“), koja se određenom brzinom širi nekim elastičnim medijem, a koje ljudsko uho može zamijetiti. Titranje čestica postupno se prenosi na susjedne čestice poput domino efekta te omogućuje rasprostiranje zvuka u zraku (Slika 1.).



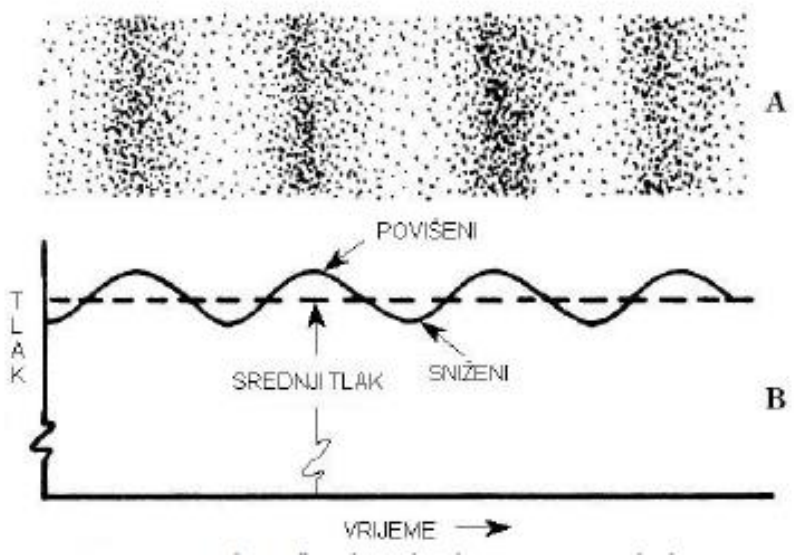
Slika 1. Rasprostiranje zvuka u zraku [2]

Kako brzina širenja zvuka u mediju ovisi o fizikalnim osobinama medija, za normalne uvjete postoje konstante za svaki medij:

- Zrak 340 m/s,
- Voda 1 440 m/s,
- Kisik 317 m/s,
- Dušik 338 m/s,
- Vodik 1 270 m/s,
- Helij 971 m/s,
- Željezo 5 000 m/s,
- Drvo 3 320 m/s,

- Guma 0 – 50 m/s,
- Staklo 3 490 m/s.

Periodične oscilacije tlaka zraka (engl. *Sound pressure*) oko vrijednosti atmosferskog tlaka uzrokovane su longitudinalnim titranjem molekula zraka oko ravnotežnog položaja (Slika 2.).



Slika 2. Zvučni tlak [2]

Raspon čujnih vrijednosti zvučnog tlaka je od 20 μPa do 100 Pa gdje donja granica predstavlja statističku vrijednost praga čujnosti kod ljudi, a gornja granica srednju vrijednost praga boli. Omjer navedenih zvučnih tlakova veći je od 1 000 000:1 (10^6:1). Fizikalne veličine koje se koriste za opisivanje zvuka su: zvučni tlak, zvučni intenzitet i zvučna snaga [2].

Zvučni tlak se superponira atmosferskom tijekom rasprostiranja zvučnog vala te je njegova vrijednost p manja za $V2$ od maksimalne amplitude p_m. Čestice zraka titraju oko središnjeg položaja određenom brzinom koja raste od nule do neke maksimalne vrijednosti te vrijedi $p = \rho c v$ gdje je ρc specifična akustička impedancija koja za zrak 410 Ns/m^3. Referentna vrijednost potrebna je za razinu zvučnog tlaka (ali i intenziteta i snage) izraženog u decibelima (dB). Prema dogovoru na međunarodnoj razini ta vrijednost se uzima kao 2×10^{-5} tj. 20 μPa te stoga vrijedi izraz [2]:

$$L_p = 20log\frac{p}{p_0} = 20log\frac{p}{2*10^{-5}}\ [dB] \quad (1)$$

Zvučni intenzitet definira se kao količina energije koja u jednoj sekundi prostruji kroz plohu od 1 m^2 postavljenu okomito na smjer rasprostiranja i iskazuje se [2]:

$$I = \frac{p^2}{\rho_o c} \text{ W/m}^2 \quad (2)$$

Razina zvučnog intenziteta je zvučni intenzitet izražen u dB iznad referentne razine od 10^{-12} w/m^2 za zdravi sluh i iskazuje se [2]:

$$L_I = 10 \log\left(\frac{I}{10^{-12}}\right) [dB] \quad (3)$$

Zvučna snaga predstavlja zvučnu energiju koja u jednoj sekundi prostruji kroz plohu okomitu na smjer rasprostiranja i iskazuje se [2]:

$$P = S_{p^2}/\rho c \text{ W} \quad (4)$$

Razina zvučne snage je zvučna snaga iznad referentne razine za zdrav sluh 10^{-12} dB:

$$L_p = 10 \log\left(\frac{P}{10^{-12}}\right) [dB] \quad (5)$$

Razina zvučne snage računa se iz rezultata mjerenja zvučnog tlaka ili intenziteta zvuka te je jedini parametar koji je isključivo svojstvo izvora. Izvor će imati istu zvučnu snagu bez obzira na radne uvjete (otvoreni ili zatvoreni prostor, udaljenost od izvora i smještaj izvora, prigušena ili neprigušena prostorija), a vrijednosti zvučnog tlaka i intenziteta koje izvor daje izrazito su ovisne o tim uvjetima. Frekvencija zvuka je broj periodičnih varijacija (oscilacija) zvučnog tlaka u sekundi i iskazuje se u Hertzima Hz. Normalno zdravo ljudsko uho ima područje čujnosti od 20 Hz do 20 kHz, a gornja se granica starenjem smanjuje Također, zdravo uho najmanju promjenu razine zvučnog tlaka zamijeti oko 20 dB, dok je za očiglednu promjenu potrebna razlika od oko 6 dB [2].

Vremenska karakteristika zvučnog tlaka također je potrebna za razumijevanje zvuka, te može biti periodičan i neperiodičan proces. Periodični procesi mogu se rastaviti na niz jednostavnih sinusnih titranja (*Fourierov red*), a na sličan se način mogu analizirati i neperiodični procesi (*Fourierov integral*). Glasnoća je subjektivni slušni osjet zvučnog tlaka koji je ovisan o frekvenciji. Glasnoća nekog zvuka određuje se uspoređivanjem s glasnoćom tona frekvencije 1 kHz i izražava se u jedinici fon. Osjet visine tona nije proporcionalan iznosu promjene frekvencije, već omjeru promjene, stoga je visina tona ili tonski interval jednak omjeru frekvencija koji se izražava u jedinici mel. Također, osjet visine tona ovisi i o glasnoći kada povećanjem glasnoće ton djeluje višim. Kod osjeta boje tona važno je poznavati visinu tona, frekvencije i amplitude pojedinih harmonika te njihov raspored [2].

2.2. Pojmovno definiranje i karakteristike buke

Buka je svaka zvučna pojava koja ometa rad ili odmor čovjeka, a ujedno je i neželjen zvuk. Kako bi se određeni zvuk proglasio bukom, mora zadovoljiti tri kriterija:

- Imati dovoljan intenzitet,
- Biti izdvojen od ostalih zvukova,
- Biti dovoljno čujan [2].

Razmjerno tihi zvuk može predstavljati buku ako ometa primarnu aktivnost čovjeka u određenim uvjetima. Karakteristike buke ovise o karakteristikama svih pojedinačnih karika u prijenosnome lancu: izvoru buke, putovima rasprostiranja i okolišu u kojem se nalazi prijamnik, tj. organ sluha. Karakteristike izvora buke mogu se podijeliti na:

- Prostorne – ovise o njegovoj mobilnosti, odnosno je li izvor pokretan ili nije;
- Vremenske – izvori stalne i promjenjive buke;
- Akustičke – parametri izvora buke su jačina, spektar i usmjerenost [2].

Putovi rasprostiranja mogu biti stacionarni i promjenjivi te pritom prijenosni mediji mogu biti: plinovi (poput zraka), tekućine, čvrsta tijela i njihova kombinacija. Iznimno je bitan okoliš u kojem se prijamnik nalazi. Okoliš u kojem se nalazi prijamnik je mjesto na kojem je organ sluha kao prijamnik zvuka a može biti: slobodan prostor i prostor konačnih dimenzija u kojem vrijede svi zakoni prostorne akustike, sa svim posljedičnim efektima te odnosu gabarita i valnih duljina koji značajno utječe na karakteristike. Na mjestu prijama buka se klasificira

prema kriteriju subjektivnog i objektivnog djelovanja zvuka kao buke. Prema subjektivnom djelovanju zvuka kriteriji karakteristike buke su:

- vrsta i veličina djelovanja buke (neugoda, ometanje i oštećenje sluha),
- vrsta okoliša (radno mjesto, stambeni prostor, prostor izvan radnog i boravišnog mjesta),
- aktivnost čovjeka (rad, odmor, zabava),
- odnos između čovjek i izvora buke (subjektivni pragovi tolerancije) [2].

Navedeni kriteriji međusobno su ovisni što otežava jednoznačnu klasifikaciju buke i u konačnici definiranje dopuštenih razina buke. Prema objektivnom djelovanju zvuka karakteristike buke su međusobno ovisne i iskazuju se numeričkim vrijednostima te ne obuhvaćaju sve objektivne akustičke parametre. Obuhvaćaju se samo oni parametri koji su karakteristični za buku: zvučna razina te vremenska, spektralna i prostorna karakteristika zvuka [2].

3. IZVORI BUKE NA HELIKOPTERIMA

S obzirom da je broj operacija kod helikoptera neusporedivo manji od broja operacija zrakoplova, odnosno operacija polijetanja i slijetanja, ujedno je i buka koju proizvodi na i oko aerodroma manja od one koju stvara zrakoplov. Kako bi se specificirala buka helikoptera mora se odrediti njegova pozicija, točnije mjesto gdje se čovjek, ujedno i promatrač, nalazi te krenuti od izvora. Stvaranje buke pri lebdjenju prva je pozicija helikoptera. Jednolični zvuk „šištanja“ zraka kroz koji prolaze lopatice percipira se ukoliko se buka bilježi s pozicije koja se nalazi neposredno iznad osi vrtnje rotora koji se okreće. Ovakvu buku prvenstveno stvaraju molekule zraka koje se u graničnom sloju opstrujavanja lopatica rotora ubrzavaju te se zatim u nepravilnom i kaotičnom gibanju odbacuju preko izlazne ivice aeroprofila lopatice. S povećanjem napadnog kuta lopatica, a time i uzgona, pojavljuje se vrtloženje strujnica zraka na njihovim vrhovima koje može promijeniti karakteristike buke u nešto grublji zvuk. Određeni dio te promjene zapravo je uzrokovan udarima nadolazeće količine zraka koja se stvara kada je helikopter u lebdjenju.

Buka širokog spektra ili „bijeli šum“ tako se naziva zbog toga što zvuk koji stvara turbulentni zrak i zvuk stvoren vrtloženjem strujnica nemaju istu frekvenciju te zbog bijele svijetlosti koja u sebi sadrži sve frekvencije ili boje spektra. Zabilježeni zvuk ima drugačije karakteristike ukoliko se buka bilježi s pozicije koja se nalazi u neposrednoj blizini rotora. Pojavljuje se i buka uzrokovana rotacijom te se pritom čuje svaki prolazak lopatice, odnosno viši harmonici te frekvencije. Frekvencija prolazeće lopatice sve je viša što je broj okretaja rotora i broj lopatica veći. Ljudsko je uho osjetljivije na više nego na niže frekvencije te se može dogoditi da repni rotor malog promjera s četiri lopatice koje se okreću relativno brzo stvara veću buku od sporije rotirajućeg nosećeg rotora sa dvije lopatice, iako kroz njega prolazi manja količina zraka.

Druga pozicija u kojoj helikopter stvara određenu buku je horizontalan let, kada buka nastaje uslijed okretanja rotora. Karakteristična buka koja se javlja u ovoj fazi naziva se „blade slap“ ili impulsna buka lopatica i javlja se kao posljedica dva slučaja. Za prvi slučaj karakteristično je da se vrh napredujuće lopatice kreće toliko brzo da u značajnoj mjeri i vrlo brzo komprimira zrak ispred sebe. To uzrokuje udarne valove koji se projiciraju kao velike

promjene u tlaku ispred vrha lopatice, a na maloj udaljenosti zvuk „pucanja“ tih impulsa može biti vrlo neugodan. Pri velikom broju okretaja ta se buka pretvara u serije „tupih“ udaraca koji se onda mogu čuti na velikoj udaljenosti [3].

Drugi slučaj ili tip impulsne buke nastaje interakcijom vrtložnih strujnica i lopatica, kada lopatica uđe u vrtložnu struju zraka koja je nastala prolaskom prethodne lopatice. Vrtložne strujnice zraka i lopatice ne dolaze u kontakt u većini režima leta helikoptera, međutim u nekim manevrima, kao što je blago spuštanje ili uvođenje u zaokret, ipak dolazi do međusobne interakcije. Lokalno odvajanje strujnica te mogućnost pojave udarnog vala uzrokuje struja zraka oko vrtloga koja stvara iznenadne promjene napadnog kuta i promjene brzine opstrujavanja lopatice. Tada najviše do izražaja dolazi brzina promjene tlaka zraka koja ujedno zbog toga stvara ovakvu vrstu buke koja se prostire ispred i ispod putanje leta te neistreniranom uhu može zvučati isto kao i buka uzrokovana velikom brzinom kretanja lopatice [3].

3.1. Tehnologije smanjenja vibracija i buke helikoptera

Vibracije inducirane nosivim rotorom helikoptera i danas predstavljaju izazov za projektiranje kabine helikoptera namijenjene smještaju putnika, a tome su tri glavna razloga:

1) helikopteri su podložni veoma asimetričnom i turbulentnom okruženju sa visokim vibracijama,
2) zbog zahtjeva za manjom masom dosta su fleksibilnije strukture konstrukcije sa visokim dinamičkim odazivom,
3) putnici su u neposrednoj blizini izvora vibracija te ih vrlo dobro percipiraju [4].

Također, zbog svojih znatno visokih razina buke i karakterističnog zvuka, helikopteri imaju taj nedostatak da se mogu čuti na velikim udaljenostima. Niska razina buke je iznimno važna, s jedne strane za vojne operacije (da omogući helikopteru široko polje operacija bez opasnosti i skrati vrijeme upozorenja između primjećivanja i uzbune neprijatelja) te s druge strane za civilne operacije u naseljenim područjima ,zbog zagađenja bukom koja ne smije biti iznad maksimuma dozvoljenih razina izdanih od strane ICAO-a [4].

3.2. Smanjenje vibracija helikoptera

Kada se govori o smanjenju vibracija kod helikoptera, tada se podrazumijevaju dvije pozicije upravljanja:

a) upravljanje vibracijama u transmisiji i
b) upravljanje vibracijama na trupu helikoptera [4].

3.2.1. Upravljanje vibracijama u transmisiji

Dynamic Antiresonant Vibrator Isolator (DAVI) je integriran na vratilo kako bi filtrirao dinamička opterećenja koja se prenose na konstrukciju helikoptera. Njegova prednost u odnosu na klasične prigušivače vibracija leži u mogućnosti generiranja inercijalnih sila sa malom upravljajućom masom, zahvaljujući pojačanju gibanja te mase. Eurocopter je za EC 135 razvio Anti-Resonance Isolation System (ARIS) sustav koji radi na DAVI principu. Osnova sustava sastoji se od hidrauličkog pojačanja omogućenog omjerom površina dvaju koncentričnih cilindara [4].

3.2.2. Upravljanje vibracijama na trupu helikoptera

Kako bi se umanjile vibracije na konstrukciji, helikopter EC 135 koristi Anti-vibration Control System (AVCS), sustav koji se oslanja na aktivne uređaje sposobne za generiranje inercijalnih sila koje induciraju sekundarne vibracije za kompenzaciju poremećajnih vibracija. AVCS sustav se sastoji od: akcelerometara na bitnim pozicijama strukture za mjerenje razine vibracija, referentnog signala u uzajamnoj vezi sa frekvencijom vibracija koje se nastoje minimizirati, pojačala upravljačkog signala, nekoliko aktuatora te računala koje određuje prikladne komande aktuatorima [4].

Sustav upravljanja vibracijama na EC 135 ima osnovu u piezo keramici. Takav piezo AVCS sustav aktivno smanjuje vibracije nosivog rotora u kabini koristeći sekundarna vibracijska polja koja detektiraju piezo osjetnici. Sustav omogućava servo kontrolu vibracija i budući da nema pomičnih dijelova prednosti su mu dugi vijek trajanja, tiho djelovanje, iznimna preciznost te nikakvo trošenje [4].

3.3. Metode smanjenja buke na helikopteru EC 135

Europska agencija za sigurnost zračnog prometa ili *European Aviation Safety Agency* (EASA) dodijelila je *Type-Certificate* pod rednim brojem R.009 za plovidbenost svih modela helikoptera EC 135 kojim su potvrđene općenite, tehničke i operativne karakteristike zrakoplova te ograničenja uz propisane standarde zaštite okoliša u certifikatu za buku [5]. Za ocjenu doživljaja potrebno je uzeti u obzir i ovisnost buke o vremenu koja je opisana izrazom za efektivnu vrijednost razine buke – *Effective Perceived Noise Level* (EPNL) [2]. Vrijednosne razine buke izražene u decibelima (dB) i propisane certifikatom prikazane su u Tablici 1. Osnova za dodjelu ovog dokumenta je bazirana na ICAO *Annex 16, Volume 1* [6] dokumentu.

Kod dizajna helikoptera EC 135, istraživanje se obavljalo na više područja kako bi se smanjila razina buke. Naročito se djelovalo na dva glavna izvora buke: nosivi rotor i repni rotor (Slika 3.). Smanjenje buke nosivog rotora moglo se postići izmjenom geometrije lopatica, brzine vrha lopatice te broja krakova. Prvi pristup je bio utjecati na dizajn lopatice preko proračuna raspodjele kritičnog Machovog broja na napadnoj ivici lopatice i oko nje. Istraživanje je uključilo i utjecaj nove obitelji aeroprofila DM-H (razvijenima od strane *Eurocopter Deutchland*). Debljina lopatice EC 135 je smanjena na vrhu do 25% u odnosu na prijašnje verzije i primijenjen je parabolični vrh lopatica koji pokazuje prednosti u smanjenju buke i performansama pri većim brzinama leta.

Tablica 1. Vrijednosti buke za EC 135 P2+ [5]

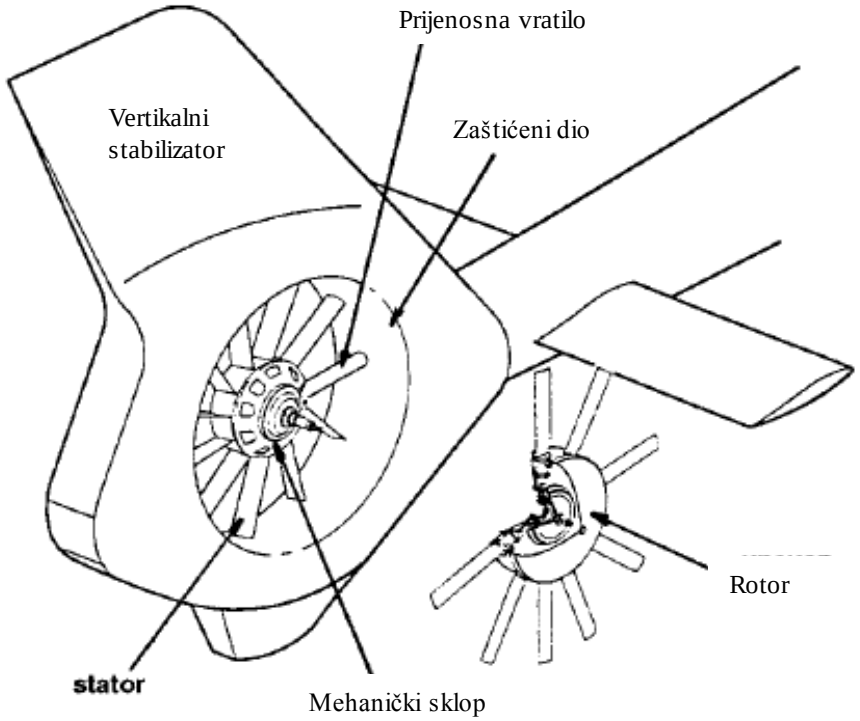
EASA Record No.		Maximum mass		Take-Off EPNL	
		Take-Off [kg]	Landing [kg]	Level	Limit
D339		2 950	2 950	88.6	94.7
D35		2 910	2 910	88.6	94.7
Maximum mass		Overflight EPNL		Approach EPNL	
Take-Off [kg]	Landing [kg]	Level	Limit	Level	Limit
2 950	2 950	84	93.7	92.7	95.7
2 910	2 910	84	93.7	92.7	95.7



Slika 3. Mehanički sklop fenestrona [7]

Brzina vrha lopatice je najdominantiji parametar emisije buke u cjelokupnoj zvučnoj slici rotora. Zbog toga je taj parametar u razvijanju modela EC 135 smanjen te je predstavljen koncept promjenjive brzine vrha lopatice gdje je smanjenje od 5% rezultiralo bukom umanjenom do 1,6 dB. Promjenom broja krakova moglo se utjecati na razinu buke u prilaznim uvjetima gdje rotor s više krakova (primjerice pet) ima manju razinu buke. Međutim, shvatilo se da rotori s manje krakova (primjerice četiri) imaju prednost u smanjenju buke pri horizontalnom preletu i polijetanju u odnosu na rotore s više krakova, kod kojih ostali izvori buke (repni rotor, motori) smanjuju utjecaj broja krakova rotora.

Smanjenje buke repnog rotora EC 135 postiglo se istraživanjem buke fenestrona (Slika 4.) u kojem se nastojalo smanjiti ne samo cjelokupnu razinu buke fenestrona, već i prigušivanje visokih razina buke u srednjem pojasu frekvencija (između 700 i 1 000 Hz). Čisti tonovi u tom pojasu (pogotovo na razinama 1 000 Hz) moraju biti izbjegavani zbog osjetljivosti generalne populacije koja reagira agresivno na takve smetnje. Postavljanje ventilatora sa zaštitom smanjuje gubitke na vrhovima *vortexa*, štiti repni rotor od bilo kakvih oštećenja, sprječava ozljede posade na zemlji od bilo kakve štete i u mnogome smanjuje postotak nesreća koje uključuju kontakt repnog rotora i raznih prepreka te je mnogo tiši od konvencionalnog repnog rotora.



Slika 4. Shematski prikaz fenestron repa [8]

EC 135 ima fenestron promjera 1 m koji u zaštićenom dijelu sadrži rotor sa deset lopatica (tetive 50 mm), stator i tanko prijenosno vratilo. Kompletan okvir fenestrona je konstruiran od kompozitnih materijala. Optimizirana modulacija na fenestronu je dizajnirana tako da ispuni akustičke i tehnološke zahtjeve, kao što su maksimalna udaljenost između lopatica radi omogućavanja potpunog upravljanja promjenjivim korakom lopatice, odabir broja lopatica i ostale [8].



Slika 5. Izvori buke kod helikoptera [3]

Na Slici 5. su prikazani izvori buke kod helikoptera:

- 1 i 2 - glavni i repni zvuk,
- 3 i 4 - interaktivni zvuk (rotor/struktura),
- 5 i 6 - zvuk nastao efektom vrtloga – glavni i repni rotor [3].

Uzroci stvaranja buke kod helikoptera pri letu su:

- Rad motora,
- Opstrujavanje zraka pri različitim brzinama leta glavnog rotora,
- Noseći rotor,
- Međusobna interakcija gore navedenih faktora [3].

Interakcija vrtložnih strujnica i lopatica nosećeg rotora u određenim manevrima i pri određenim uvjetima stvara najveću buku te se provode razna ispitivanja u svrhu redukcije iste [3].

4. TEHNIČKO-EKSPLOATACIJSKE ZNAČAJKE HELIKOPTERA EC 135

Helikopter EC 135 je dvomotorni četverokraki civilni helikopter kompanije *Eurocopter*, jednog od najvećih proizvođača civilnih helikoptera. Ovaj model povlači korijene svojeg dizajna iz 1970-ih godina kada je u suradnji dviju kompanija proizvođača zrakoplova (*Aérospatiale* i *Messerschmitt-Bolkow-Blohm*) razvijen prototip BO 108 (Slika 6.).



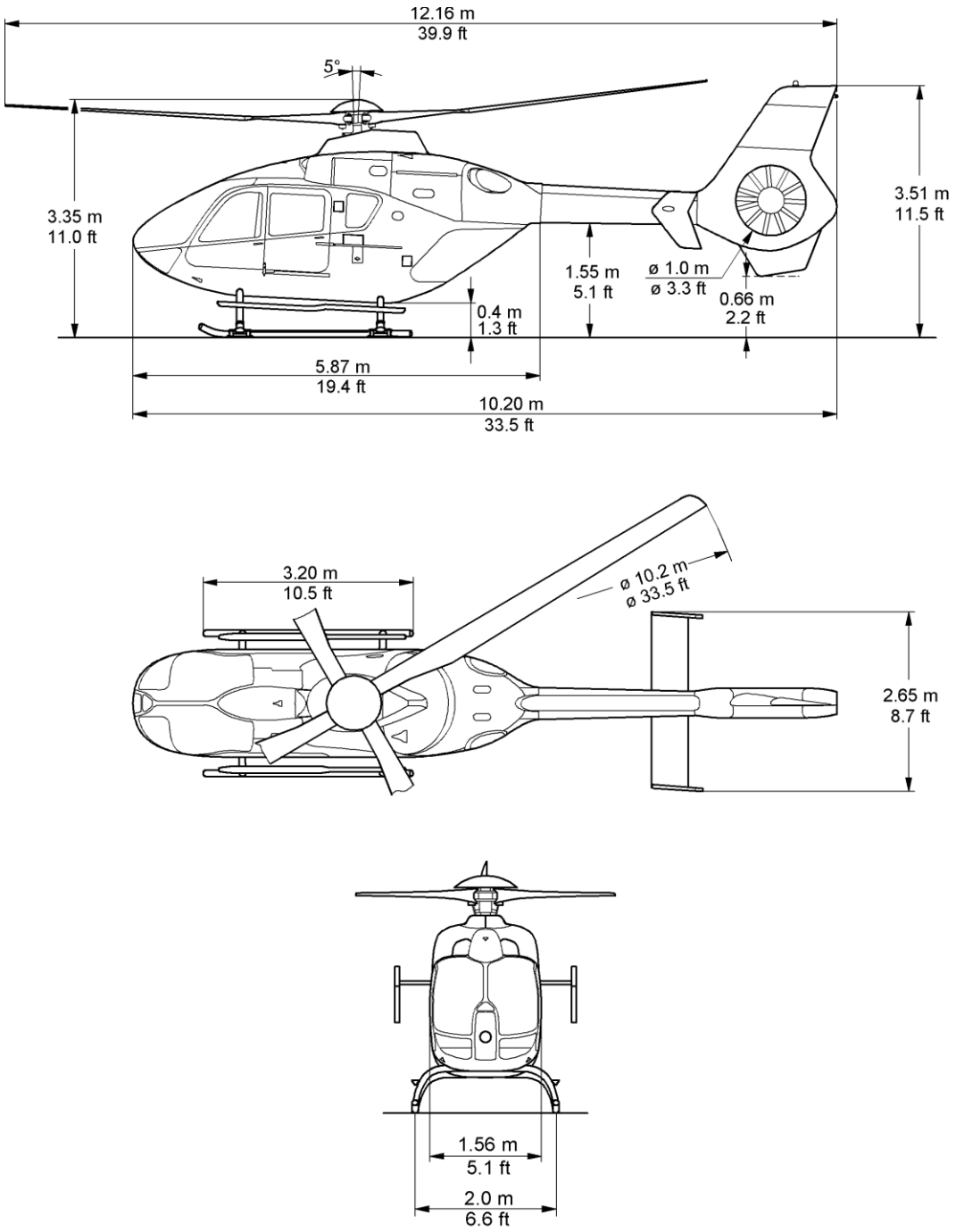
Slika 6. Prototip BO 108 [9]

EC 135 je ušao u javnu upotrebu 1996. godine i do danas je proizvedeno preko 1 000 primjeraka. Popularnost je zadobio prvenstveno zbog prostrane kabine te iznimnog nosivog kapaciteta. Kako bi se dobilo na prostoru u kabini, dizajneri su pomakli mehaničku opremu helikoptera više naprijed. Uz kabinu, *Eurocopter* je, da bi povećao nosivi kapacitet, usvojio i *high main rotor rpm* (HI NR) tehnologiju koja prilikom polijetanja i slijetanja automatski podiže broj okretaja motora na 103%. Ne čudi stoga što se većinom koristi u aero-medicinske, *Search & Rescue* (S&R) i policijske svrhe. Ono što valja spomenuti jest razina buke EC 135 koja je manja u usporedbi s mnoštvom drugih helikoptera, tj. preciznije – ona iznosi 6.5 dB ispod trenutnih ICAO standarda. Tu prednost može zahvaliti fenestron repu, kompozitnim materijalima glavne strukture te anti-rezonantnim izolacijskim sustavima [10]. EC 135 zbog niske razine buke uživa ugled najtišeg helikoptera u svojoj klasi dok neki idu još dalje imenujući ga „najtišim helikopterom na svijetu."

4.1. Tehničke karakteristike EC 135

EC 135 ima elisu nosivog rotora promjera 10,2 m i elisu repnog rotora promjera 1 m. Dugačak je 12.16 m (udaljenost od prednjeg završetka kraka rotora do repa), visok 3.35 m i vanjske širine od 1.56 m (unutarnje od 1.5 m). Volumen kabine iznosi 3.80 m³, pilotske kabine 1 m³ i prostora za prtljagu 1.1 m³. Ostale dimenzije su prikazane na Slici 7 [11].

Težina praznog helikoptera (empty weight) iznosi 1 490 kg, *Maximum Take-Off Mass* (MTOM) iznosi 2385 kg a sa dodatnim teretom 2 900 kg. Težina tereta koju helikopter može prenijeti iznosi 1 265 kg. *Eurocopter* je za EC 135 ponudio dvije izvedbe pogonske grupe sa 2 *Pratt & Whitney* mlazna motora – PW206B2 ili 2 *Turbomeca* mlazna motora – ARRIUS 2B2. Obje vrste motora pružaju promjenjivu brzinu okretanja od strane Full Authority Digital Engine Control (FADEC) sustava [11].



Slika 7. Vanjske dimenzije EC 135 [11]

4.2. Eksploatacijske karakteristike EC 135

EC 135 u raznim izvedbama može smjestiti 1 do 2 pilota te do 6 putnika, zavisno od toga koristi li se za standardni prijevoz putnika, *Very Important Person* (VIP) osoba ili unesrećenih osoba i doktora.

Svojstva motora pri *International Standard Atmosphere / Sea Level* (ISA / SL):

- PW206B2
    - *One Engine Inoperative* (OEI) 30 s snage - 609 kW / 816 shp,
    - OEI 2 min snage - 580 kW / 777 shp,
    - OEI *Maximum Continuous Power* (MCP) - 528 kW / 708 shp,
    - *Take-Off Power* (TOP) - 463 kW / 621 shp,
    - MCP - 419 kW / 562 shp.

- ARRIUS 2B2
    - OEI 30 s snage - 609 kW / 816 shp,
    - OEI 2 min snage - 580 kW / 777 shp,
    - OEI MCP - 528 kW / 708 shp,
    - TOP - 452 kW / 606 shp,
    - MCP - 426 kW / 571 shp [11].

Svojstva glavnog prijenosa:

- Jednomotorne operacije
    - 30 s OEI snaga 1 x 526 kW / 1 x 705 shp,
    - 2 min OEI-snaga 1 x 513 kW /1 x 687 shp,
    - MCP OEI-snaga 1 x 353 kW / 1 x 473 shp.

- Dvomotorne operacije
    - TOP 2 x 308 kW / 2 x 413 shp,
    - MCP 2 x 283 kW / 2 x 380 shp [11].

Kapaciteti goriva helikoptera EC 135 su prikazani u Tablici 2.

Tablica 2. Kapaciteti goriva EC 135 [11]

Spremnik	Korisno gorivo			Neupotrebljivo gorivo		Ukupno	
	[lb]	[kg]	[l]	[lb]	[kg]	[lb]	[kg]
Glavni	989	448,6	560,8	7,5	3,4	996,5	452
Opskrbni	193,6	87,8	109,8	9,3	4,2	202,8	92
Ukupno	1 182,6	536,4	670,5	16,8	7,6	1 199,3	544

4.3. Performanse EC 135

Tablica 3. prikazuje performanse helikoptera EC 135 u različitim režimima rada i leta.

Tablica 3. Performanse EC 135 [11]

Ukupna težina	[kg]	2 200	2 400	2 630	2 720	2 835
Maksimalna brzina VNE	[km/h]	287	278	278	278	259
	[kts]	155	150	150	150	140
Maksimalna brzina krstarenja	[km/h]	262	261	259	257	256
	[kts]	141	141	140	139	138
Potrošnja goriva pri velikoj brzini krstarenja	[kg/h]	232,5	232,5	232,5	232,5	232,5
	[lb/h]	512,5	512,5	512,5	512,5	512,5
Ekonomska brzina krstarenja	[km/h]	220	224	226	228	229
	[kts]	119	121	122	123	124
Potrošnja goriva pri ekonomskoj brzini	[kg/h]	187,5	193	198	201	205
	[lb/h]	413,5	425,5	436,5	443	452
Potrošnja goriva pri 65 KIAS	[kg/h]	143,5	148,5	155	157,5	161
	[lb/h]	316,5	327,5	342	347,2	355
Rate of climb (TOP)	[m/s]	11,7	10,4	8,9	8,4	7,6
	[ft/min]	2 300	2 050	1 750	1 650	1 500
Plafon lebdjenja *In Ground Effect* IGE (TOP)	[m]	4 570	4 570	4 450	4 140	3 045
	[ft]	15 000	15 000	14 600	13 600	10 000
Plafon lebdjenja IGE (TOP), bez vjetra (4 ft *Above Ground Level* - AGL), ISA + 20°C	[m]	3 880	3 880	3 230	2 830	2 315
	[ft]	12 750	12 750	10 600	9 300	7 600
Plafon lebdjenja *Out of Ground Effect* (OGE - TOP), ISA	[m]	4 570	4 420	3 580	3 260	2 190
	[ft]	15 000	14 500	11 750	10 700	7 200
Plafon lebdjenja OGE (TOP), ISA + 20°C	[m]	3 880	3 155	2 075	1 640	1 100
	[ft]	12 750	10 350	6 800	5 400	3 600
Plafon leta, MCP, (rezerva penjanja 200 ft/min), ISA	[m]	4 572	4 572	4 572	4 572	3 045
	[ft]	15 000	15 000	15 000	15 000	10 000

5. PREGLED MJERNIH METODA I POSTUPAKA

Razina buke helikoptera se razlikuje od razine buke ostalih zrakoplova u najvećoj mjeri zbog razlike primarnih izvora buke kod helikoptera: nosivog i repnog rotora. Kako bi se izmjerila razina buke kod helikoptera, shodno tome razvijene su mjerne metode i postupci za mjerenje vanjske buke helikoptera i za mjerenje unutarnje (kabinske) buke helikoptera.

5.1 Postupci za mjerenje vanjske buke helikoptera

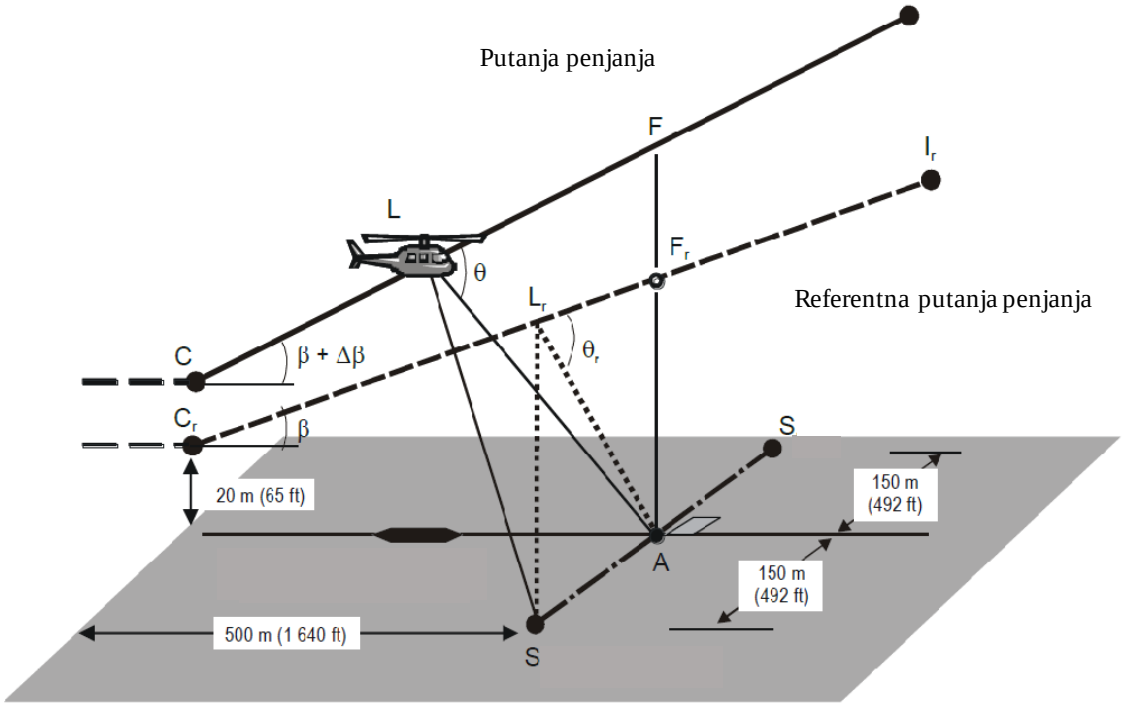
Kako bi se zadovoljili spomenuti ICAO standardi, razvijene su mjerne metode i postupci za mjerenje buke helikoptera u najkritičnijim točkama leta, ovisno o tipu i ukupnoj masi. Te referentne točke su definirane za različite režime leta, kao i za najviše dozvoljene razine buke iznad tih točaka. Procedure letenja helikoptera dane za polijetanje, prelet i slijetanje koje određuju putanju leta moraju ispuniti sigurnosne zahtjeve i biti odobrene od strane zračnih vlasti države registracije operatora helikoptera. U skladu s time, mjerne metode i postupci na helikopterima se izvršavaju na određenim točkama karakterističnih režima i putanje leta helikoptera i to prilikom:

1) polijetanja,
2) preleta i
3) prilazne faze.

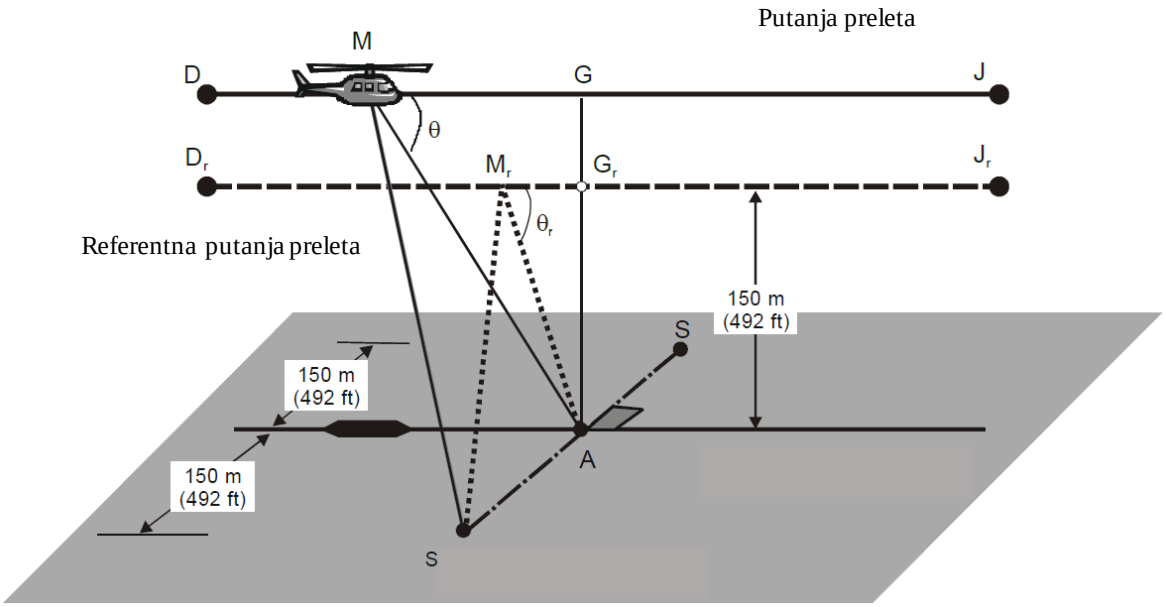
Prilikom polijetanja mjerna točka mora biti na zemlji vertikalno ispod putanje leta i na 500 m horizontalne udaljenosti (u smjeru leta) od točke gdje počinje prijelaz u režim penjanja. Na istoj liniji s ovom točkom se nalaze još dvije točke, simetrično postavljene na lateralnoj horizontalnoj udaljenosti 150 m od definirane putanje leta. Procedura snimanja buke podrazumijeva da helikopter prilikom mjerenja mora zadržavati brzinu za najbrže penjanje [12]. Putanja polijetanja i spomenute točke se nalaze na Slici 8.

Mjerna točka prilikom preleta mora biti na zemlji na vertikalnoj udaljenosti 150 m ispod putanje leta u liniji s druge dvije simetrično postavljene točke na lateralnoj horizontalnoj udaljenosti 150 m od definirane putanje leta. Procedura snimanja je ustanovljena na način da

helikopter mora biti stabiliziran u režimu horizontalnog leta na putanji iznad referentnih točaka te da zadržava određenu brzinu u konfiguraciji krstarenja [13]. Navedena metoda je prikazana na Slici 9.

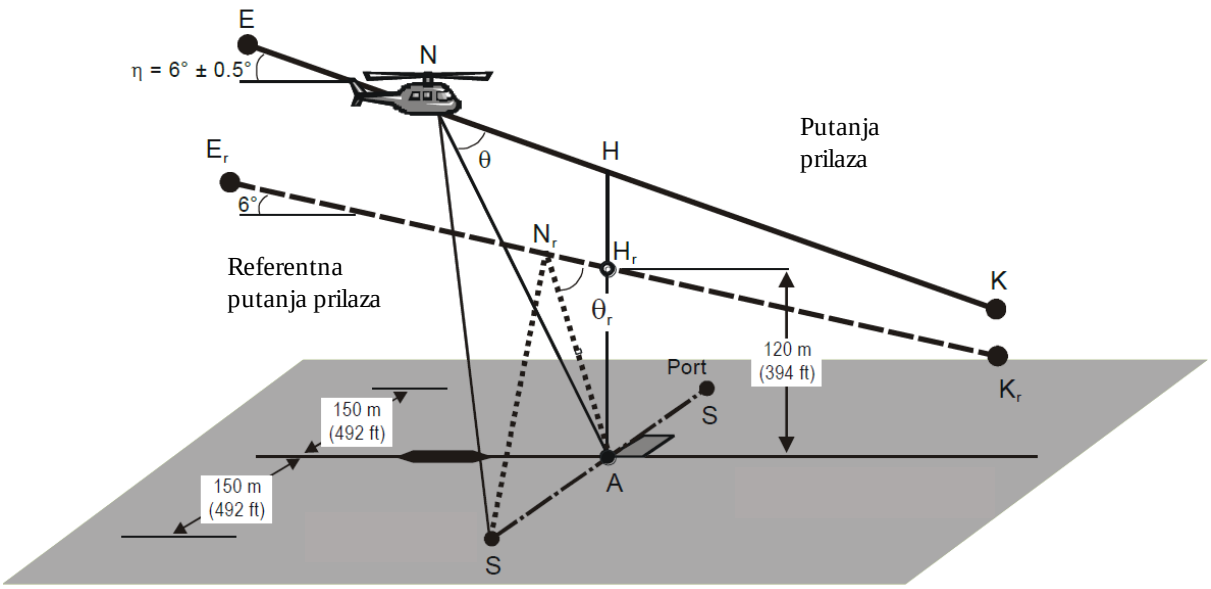


Slika 8. Mjerne točke prilikom polijetanja helikoptera [13]



Slika 9. Mjerne točke prilikom preleta helikoptera [13]

Tijekom prilazne faze helikoptera mjerna točka je postavljena na vertikalnoj udaljenosti od 120 m ispod putanje leta što na ravnom terenu podrazumijeva udaljenost od točke kontakta (slijetanja) od 1 140 m, odnosno udaljenost gdje linija prilazne putanje pod 6°presijeca teren. U liniji sa ovom točkom se nalaze još dvije mjerne točke simetrično postavljene na lateralnoj horizontalnoj udaljenosti 150 m od definirane putanje leta. Procedura zahtijeva da helikopter zadržava konstantni kut prilaza od 6° pri brzini koja je jednaka brzini optimalnoj penjanja ili najmanjoj dozvoljenoj prilaznoj brzini (većoj od dvije) sve do kontakta sa terenom [13]. Metoda snimanja buke za prilaz je prikaza na Slici 10.



Slika 10. Mjerne točke prilikom prilaza helikoptera [13]

5.2. Postupci za mjerenje unutarnje buke helikoptera

Zbog kontinuiranog širenja tržišta i natjecanja između proizvođača helikoptera danas se pažnja posvećuje predstavljanju tihog i ugodnog okruženja za smještaj putnika u kabinu. Proračun rezultata razine buke prisutne u kabini helikoptera se vrši zvukomjerima sa korekcijskim filtrima prema *International Organization for Standardization* (ISO) standardima. Metode mjerenja buke uglavnom koriste širokopojasne, oktavne, tercne ili A-ponderirane filtre. Procedura zahtijeva smještanje mikrofona zvukomjera na razinu uha putnika u sjedećem položaju u kabini, otprilike na 71 cm iznad jastuka za sjedenje [14]. Dobiveni rezultati snimanja razina buke se potom analiziraju te uspoređuju sa standardima za

kabinu helikoptera. Podaci također mogu biti korišteni za proračunavanje razumljivosti govora ili razine ometanja komunikacije u kabini [15].

6. MJERENJE VANJSKE I UNUTARNJE BUKE U RAZLIČITIM POGONSKIM REŽIMIMA

U ovom poglavlju prikazana je metodologija prikupljanja podataka unutarnje (kabinske) i vanjske buke u različitim režimima rada. Također, prikazani su i dobiveni podatci prikupljeni na aerodromu Lučko u Zagrebu prilikom lebdjenja i školskog kruga u različitim režimima rada pogonskih skupina.

6.1. Metodologija prikupljanja podataka

Tablica 4. Podaci o mjerenju

Datum i vrijeme	13.4.2016. u 12:00 h
Mjerni instrument	Nor 140
Tip zrakoplova	EC 135
Aerodrom operacija	Zagreb - Lučko (LDZL)
Trajanje snimanja	00:30 [min]
Vjetar / Temperatura / Padaline	5 kn / 16°C / nil
Pozadinska buka okoliša	manja od 50 dBA

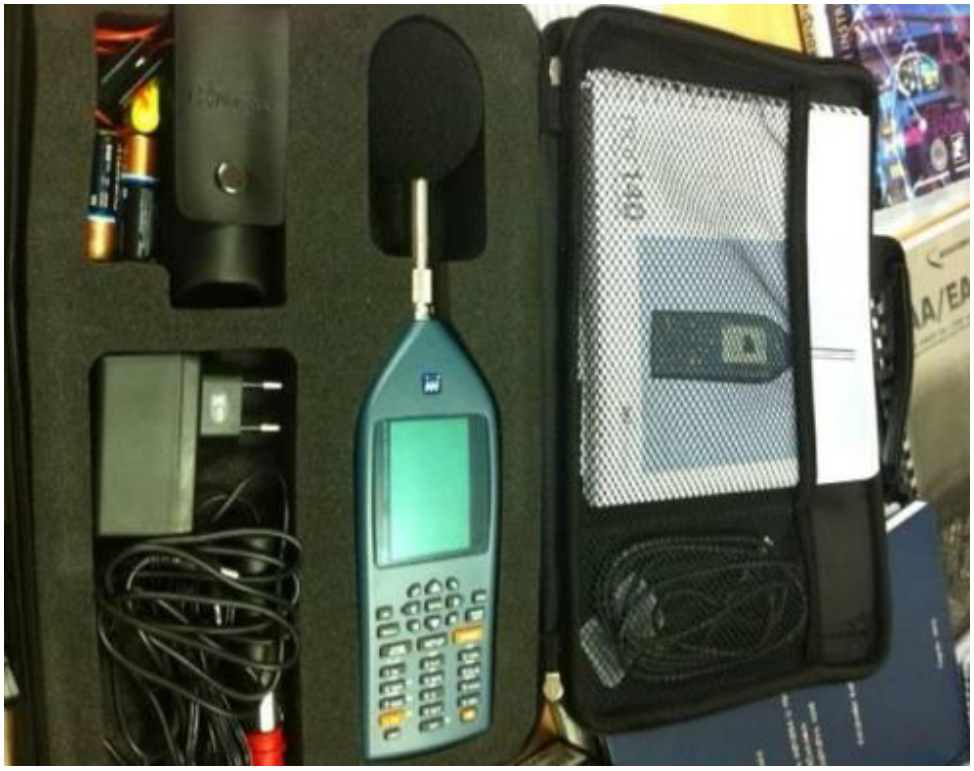
Izvor: obrada autora

Prikupljanje podataka za istraživanje u suradnji s Ministarstvom unutarnjih poslova RH (MUP) obavljeno je na aerodromu Lučko u trajanju od pola sata. Mjerenje je izvršeno zvukomjerom Nor 140 na helikopteru EC 135 P2+ (Slika 11.) dana 13. travnja 2016. godine u 12:00 sati (Tablica 4.). Mjerenje unutarnje (kabinske) buke je obavljeno zvukomjerom ručno postavljenim u središtu putničke kabine helikoptera u tri pozicije više različitih režima rada: na stajanci, lebdjenju i školskom krugu; dok je mjerenje vanjske buke obavljeno zvukomjerom ručno postavljenim na udaljenosti od 15 m i helikopterom u četiri pozicije sa manjim brojem režima rada: na stajanci, lebdjenju iznad stajanke, na travi i lebdjenju iznad trave.



Slika 11. Helikopter EC 135 P2+ u vlasništvu MUP-a

Mjerenje buke helikoptera EC 135 je obavljeno zvukomjerom Norsonic *Nor 140* (Slika 12.) postavljenim u središtu unutarnje kabine putničkog dijela (za mjerenje unutarnje buke) te kasnije izvan helikoptera na udaljenosti od 15 m (za mjerenje vanjske buke). Snimanje je obavljeno u trajanju od 15 sekundi za svaki režim leta. Zvukomjer se koristi za globalno i profilno mjerenje razine zvučnog tlaka/intenziteta. Moguće je mjeriti, pohranjivati i kasnije analizirati čitav niz akustičkih parametara. Zvukomjer koristi tercne i oktavne filtre te paralelno može mjeriti i računati velik broj parametara sa 3 vremenske konstante. Oprema uz zvukomjer uključuje: DC 12V izvor napajanja, 4 baterije AA, avionski priključak, GRAS niskofrekvencijski mikrofon, nor1251 akustički kalibrator, instalacijski CD, USB kabel, zaštitnik od vjetra, upute za uporabu i prijenosnu torbu [16].



Slika 12. Zvukomjer Nor 140 [16]

Mjerenje unutarnje buke obavljeno je u tri pozicije više različitih režima rada: helikopter prizemljen na stajanci, lebdjenje i školski krug; dok je mjerenje vanjske buke obavljeno u četiri pozicije sa manjim brojem režima rada: prizemljenje na stajanci, lebdjenje iznad stajanke, prizemljenje na travi i lebdjenje iznad trave. Režimi rada za snimanje su prikazani u Tablicama 5. i 6. i označeni su rednim brojevima od 1 do 19.

Tablica 5. Režimi rada za mjerenje unutarnje (kabinske) buke EC 135 P2+

REŽIMI RADA (na podlozi stajanke)		REŽIMI RADA (lebdjenje 1,5 m)		REŽIMI RADA (školski krug)	
1.	Paljenje	5.	Stajanka	8.	Početak
2.	Snaga idle			9.	Horizontalni let
3.	Snaga 100%	6.	Taksiranje trava	10.	Zaokret
				11.	Base
4.	Snaga 102%	7.	Lebdjenje	12.	Final
				13.	Prilaz slijetanju

Tablica 6. Režimi rada za mjerenje vanjske buke EC 135 P2+

REŽIMI RADA (na podlozi stajanke)		REŽIMI RADA (na podlozi trave)	
14.	Snaga idle	17.	Snaga idle
15.	Snaga 100%	18.	Snaga 100%
16.	Lebdjenje 1,5 m	19.	Lebdjenje 1,5 m

6.2. Prikupljeni podaci

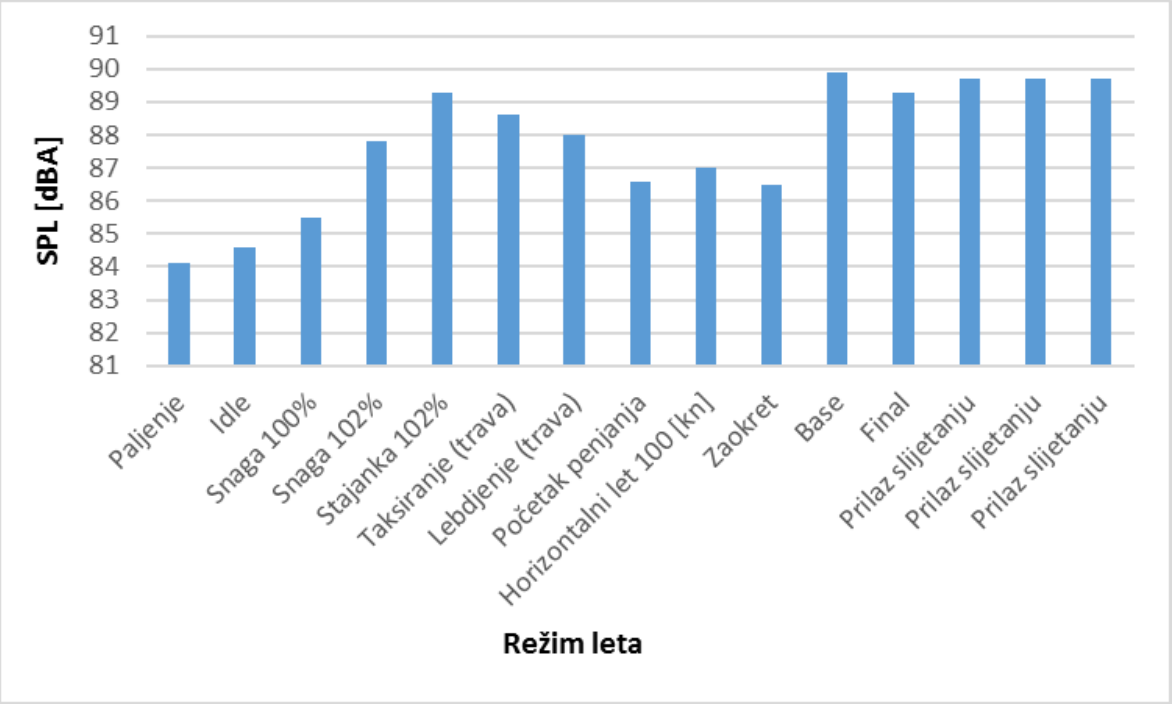
U ovome pod poglavlju biti će prikazane numeričke vrijednosti mjerenja razine zvučnog tlaka (Sound Pressure Level – SPL) unutarnje i vanjske buke sa jedinicom decibel (dB). Koristeći A-ponderirana i oktavno - pojasna mjerenja, iste vrijednosti će biti prikazane tablično i grafički.

6.2.1. Mjerenje unutarnje (kabinske) buke

U Tablici 7. prikazani su rezultati mjerenja unutarnje (kabinske) buke A-ponderiranim mjerenjem za različite režime leta te je prikazana srednja vrijednost razine buke u decibelima (dB). Iste vrijednosti grafički su prikazane u Grafikonu 1. U tablici i grafikonu može se primijetiti da je najveća srednja razina unutarnje (kabinske) buke mjerene A-ponderiranim mjerenjem u režimu spuštajućeg leta u *Base leg-u* školskog kruga (u iznosu od 89,9 dBA).

Tablica 7. Razine mjerenja kabinske buke helikoptera EC 135 A-ponderiranim mjerenjem (srednja vrijednost)

NA PODLOZI	[dBA]	LEBDJENJE 1,5 [m]	[dBA]	ŠKOLSKI KRUG	[dBA]
Paljenje	84,1	Stajanka 102%	89,3	Početak penjanja	86,6
Idle	84,6			Horizontalni let 100 [kn]	87
Snaga 100%	85,5	Taksiranje (trava)	88,6	Zaokret	86,5
				Base	89,9
Snaga 102%	87,8	Lebdjenje (trava)	88	Final	89,3
				Prilaz slijetanju	89,7



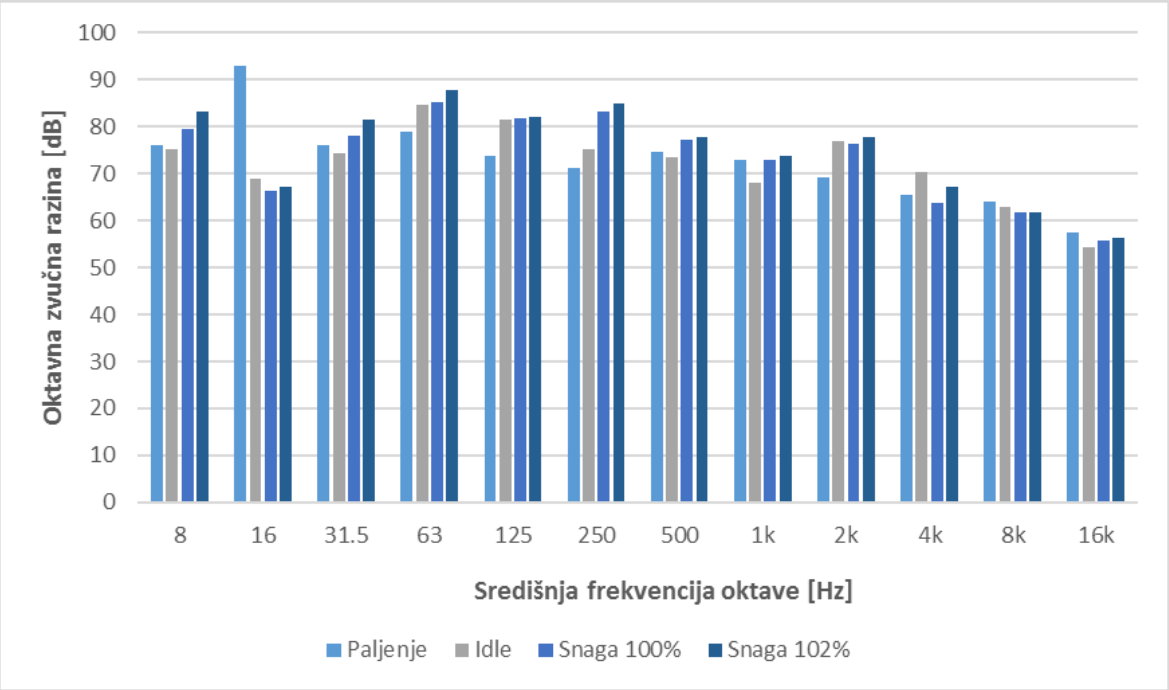
Grafikon 1. Razine mjerenja kabinske buke helikoptera EC 135 A-ponderiranim mjerenjem (srednja vrijednost)

U Tablicama 8. – 10. prikazani su rezultati mjerenja unutarnje (kabinske) buke oktavno - pojasnim mjerenjem za različite režime leta te u rasponu od 8 Hz do 16 kHz. Iste vrijednosti grafički su prikazane u Grafikonima 2. – 4. Da bi se dobila ocjena buke izmjerenih podataka, oktavno – pojasno mjerenje se provodi kroz sva mjerenja buke pri pretpostavci da je izmjerena razina buke preko 90 dB. Potom se podaci mjerenja uspoređuju sa krivuljama ocjene buke tj. *Noise Rating curves* (NR) da bi se odredio prihvatljivi okoliš pogodan očuvanju sluha i govornoj komunikaciji. S obzirom da još ne postoji NR standard za kabinsku

(unutarnju) buku helikoptera u ovom radu nije bilo moguće prikazati usporedbu dobivenih vrijednosti sa NR krivuljama [17].

Tablica 8. Razine mjerenja unutarnje (kabinske) buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem na podlozi stajanke (srednja vrijednost)

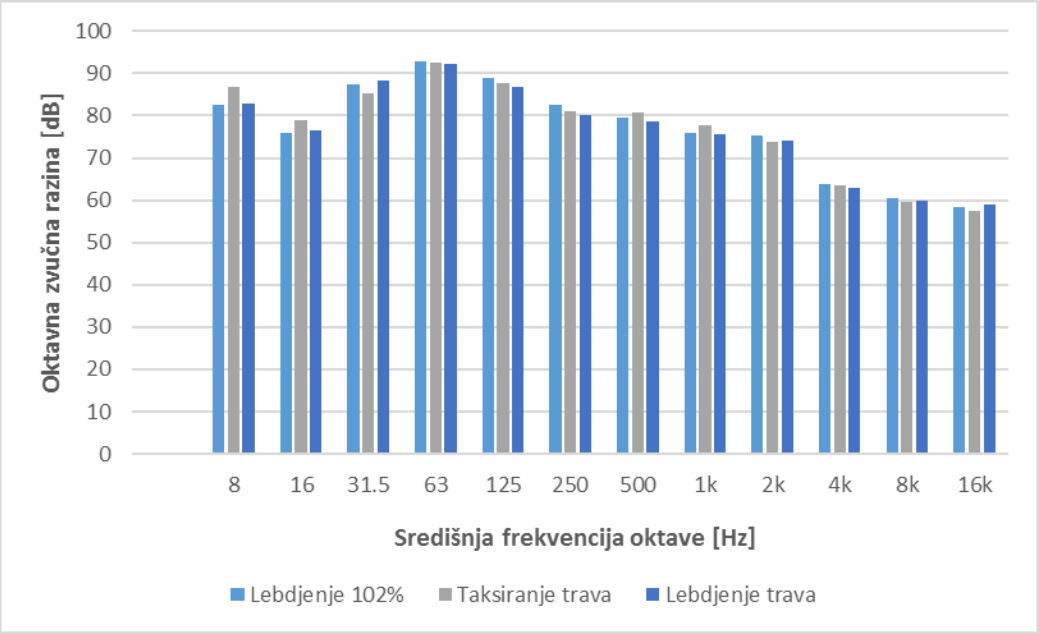
Režimi	8 [Hz]	16 [Hz]	31.5 [Hz]	63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]
	[dB]					
Paljenje	76,1	92,9	76	79	73,8	71,1
Idle	75,3	68,9	74,3	84,7	81,4	75,1
Snaga 100%	79,6	66,3	78,1	85,1	81,9	83,2
Snaga 102%	83,2	67,2	81,5	87,7	82	84,9
Režimi	**500 [Hz]**	**1 [kHz]**	**2 [kHz]**	**4 [kHz]**	**8 [kHz]**	**16 [kHz]**
	[dB]					
Paljenje	74,7	72,9	69,3	65,5	64,1	57,5
Idle	73,5	68	77	70,3	62,9	54,3
Snaga 100%	77,3	72,8	76,4	63,8	61,7	55,7
Snaga 102%	77,7	73,9	77,8	67,3	61,8	56,3



Grafikon 2. Razine mjerenja unutarnje (kabinske) buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem na podlozi stajanke (srednja vrijednost)

Tablica 9. Razine mjerenja unutarnje (kabinske) buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem u poziciji lebdjenja (srednja vrijednost)

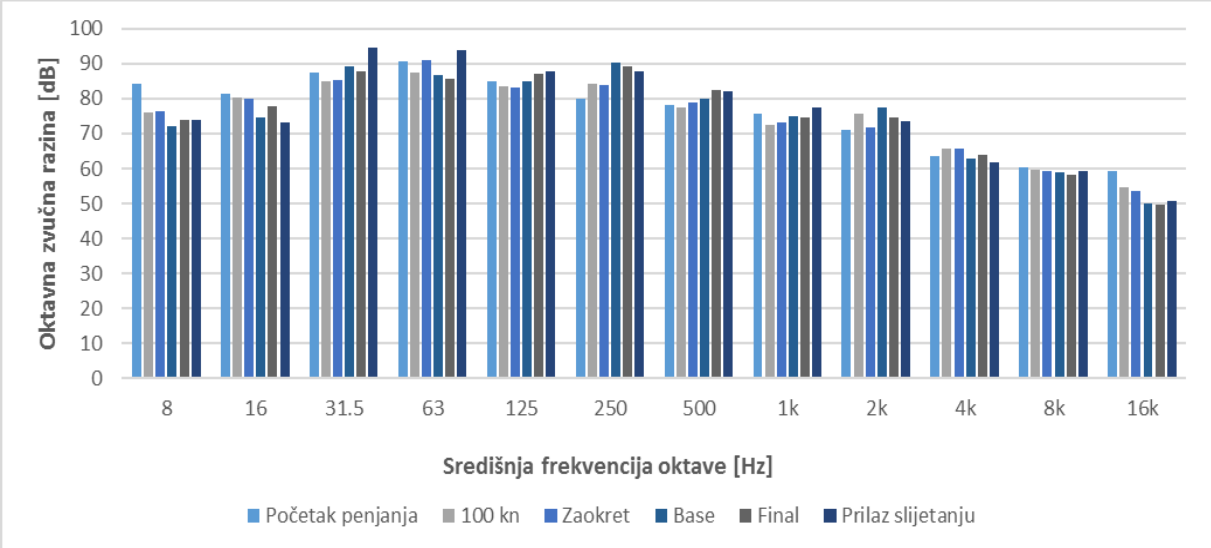
Režimi	8 [Hz]	16 [Hz]	31.5 [Hz]	63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]
	[dB]					
Lebdjenje 102%	82,7	75,9	87,4	92,8	89	82,5
Taksiranje trava	86,7	78,9	85,4	92,4	87,8	81,1
Lebdjenje trava	82,8	76,4	88,4	92,1	86,8	80,1
Režimi	**500 [Hz]**	**1 [kHz]**	**2 [kHz]**	**4 [kHz]**	**8 [kHz]**	**16 [kHz]**
	[dB]					
Lebdjenje 102%	79,6	75,8	75,4	63,8	60,5	58,5
Taksiranje trava	80,9	77,7	73,7	63,5	59,6	57,4
Lebdjenje trava	78,5	75,5	74,1	62,9	60	59



Grafikon 3. Razine mjerenja unutarnje (kabinske) buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem u poziciji lebdjenja (srednja vrijednost)

Tablica 10. Razine mjerenja unutarnje (kabinske) buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem u školskom krugu (srednja vrijednost)

Režimi	8 [Hz]	16 [Hz]	31.5 [Hz]	63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]
	[dB]					
Početak penjanja	84,4	81,5	87,4	90,6	84,9	80,1
100 kn	76,1	80,3	85,1	87,6	83,6	84,3
Zaokret	76,3	80,1	85,4	90,9	83,1	83,7
Base	72,2	74,7	89,3	86,6	84,9	90,2
Final	74	77,8	87,7	85,5	87	89,3
Prilaz slijetanju	73,9	73,3	94,6	93,8	87,8	87,8
Režimi	**500 [Hz]**	**1 [kHz]**	**2 [kHz]**	**4 [kHz]**	**8 [kHz]**	**16 [kHz]**
	[dB]					
Početak penjanja	78	75,6	70,9	63,7	60,2	59,4
100 kn	77,6	72,5	75,7	65,8	59,8	54,8
Zaokret	78,8	73,3	71,8	65,7	59,4	53,6
Base	79,8	74,8	77,3	62,7	59,1	50
Final	82,4	74,6	74,7	64	58,1	49,8
Prilaz slijetanju	82,2	77,6	73,5	61,7	59,2	50,6



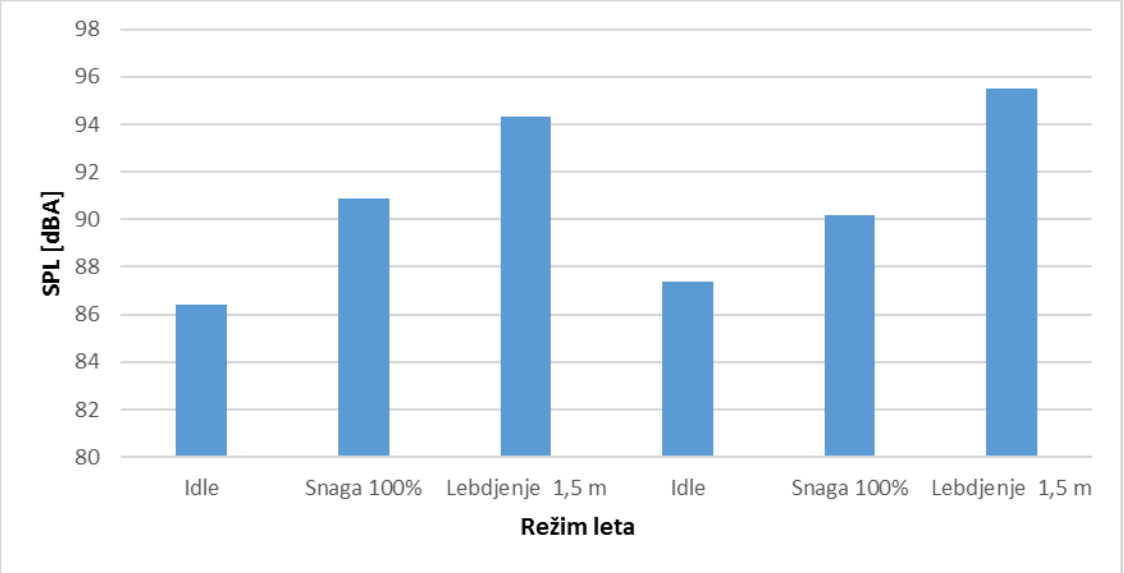
Grafikon 4. Razine mjerenja unutarnje (kabinske) buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem u školskom krugu (srednja vrijednost)

6.2.2. Mjerenje vanjske buke

U Tablici 11. prikazani su rezultati mjerenja vanjske buke A-ponderiranim mjerenjem za različite režime leta te je prikazana srednja vrijednost razine buke u decibelima (dBA). Iste vrijednosti grafički su prikazane u Grafikonu 5. Iz tablice i grafikona može se primijetiti da je najveća srednja razina unutarnje (kabinske) buke mjerene A-ponderiranim mjerenjem u režimu lebdjenja iznad travnate površine na 1,5 m.

Tablica 11. Razine mjerenja vanjske buke helikoptera EC 135 A-ponderiranim mjerenjem (srednja vrijednost)

NA PODLOZI - STAJANKA	[dB]	NA PODLOZI - TRAVA	[dB]
Idle	86,4	Idle	87,4
Snaga 100%	90,9	Snaga 100%	90,2
Lebdjenje 1,5 m	94,3	Lebdjenje 1,5 m	95,5

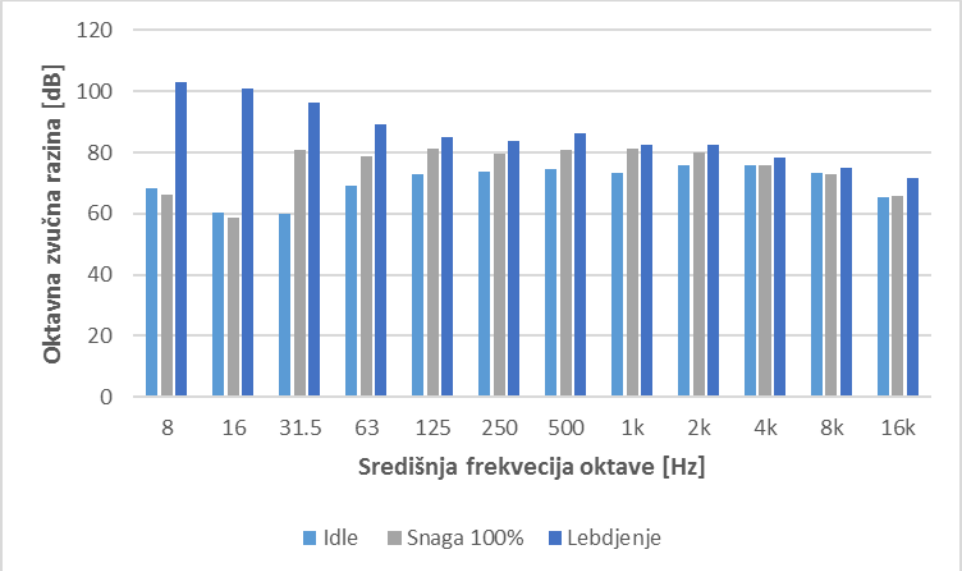


Grafikon 5. Razine mjerenja vanjske buke helikoptera EC 135 A-ponderiranim mjerenjem (srednja vrijednost)

U Tablicama 12. i 13. prikazani su rezultati mjerenja unutarnje buke oktavno - pojasnim mjerenjem za različite režime leta te u rasponu od 8 Hz do 16 kHz. Iste vrijednosti grafički su prikazane u Grafikonima 6. i 7. Na isti način, kao i kod mjerenja unutarnje (kabinske) buke, u ovom radu nije bilo moguće prikazati usporedbu dobivenih vrijednosti sa NR krivuljama za vanjsku buku helikoptera budući da je mjerenje izvršeno na udaljenosti na samo 15 m.

Tablica 12. Razine mjerenja vanjske buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem na podlozi stajanke (srednja vrijednost)

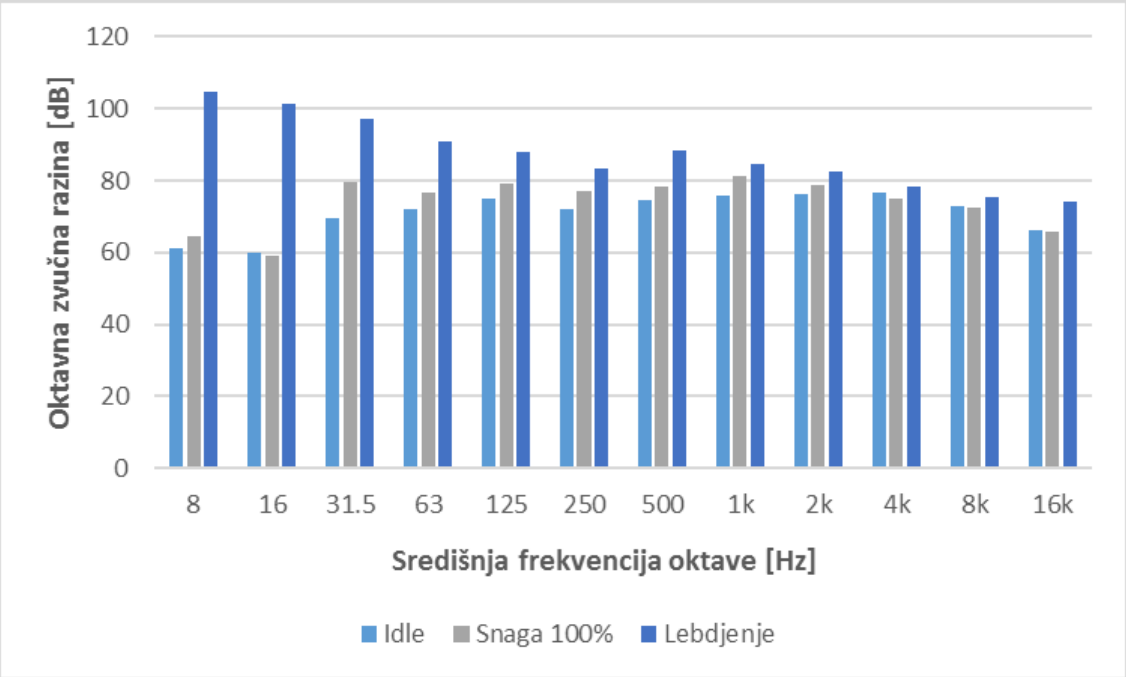
Režimi	8 [Hz]	16 [Hz]	31.5 [Hz]	63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]
	[dB]					
Idle	68,1	60,3	60,1	69,1	73	73,6
Snaga 100%	66	58,8	81	78,9	81,3	79,5
Lebdjenje	102,8	100,9	96,5	89,1	85,2	83,7
Režimi	**500 [Hz]**	**1 [kHz]**	**2 [kHz]**	**4 [kHz]**	**8 [kHz]**	**16 [kHz]**
	[dB]					
Idle	74,5	73,2	76	75,7	73,2	65,4
Snaga 100%	81	81,1	79,9	75,7	72,8	65,9
Lebdjenje	86,4	82,7	82,3	78,3	74,9	71,8



Grafikon 6. Grafikon razina mjerenja vanjske buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem na podlozi stajanke (srednja vrijednost)

Tablica 13. Razine mjerenja vanjske buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem na podlozi trave (srednja vrijednost)

Režimi	8 [Hz]	16 [Hz]	31.5 [Hz]	63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]
	[dB]					
Idle	61,2	60	69,4	72,1	74,8	71,9
Snaga 100%	64,4	59,2	79,6	76,5	79	76,9
Lebdjenje	104,7	101,4	97,1	90,8	88	83,4
Režimi	**500 [Hz]**	**1 [kHz]**	**2 [kHz]**	**4 [kHz]**	**8 [kHz]**	**16 [kHz]**
	[dB]					
Idle	74,4	76	76,1	76,5	73	66,1
Snaga 100%	78,4	81,2	78,9	75,1	72,3	65,8
Lebdjenje	88,2	84,5	82,5	78,2	75,3	74



Grafikon 7. Grafikon razina mjerenja vanjske buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem na podlozi trave (srednja vrijednost)

7. ANALIZA I OBRADAREZULTATA

Prikupljeni podaci izmjerene unutarnje (kabinske) i vanjske buke helikoptera EC 135 P2+ analizirani su te je proračunata razumljivost govora korištenjem SIL metode putem formule za izraz vrijednosti razumljivosti govora i SII metode pomoću odgovarajućeg računalnog programa.

7.1. SIL metoda

Razina ometanja govora, odnosno *Speech Interference Level* (SIL) predstavlja najveću udaljenost na kojoj je omogućen normalan razgovor. Prema ISO standardu ANSI S3.14-1977, R-1986; ISO TR3352 1974 i ISO 9921-1 1996, SIL se dobiva mjerenjem područja oktava s centralnim frekvencijama od 0,5 1, 2 i 4 kHz, nakon čega se u posebnoj tablici očita maksimalna udaljenost u metrima s koje je moguće slušanje govora uz zadovoljavajuću razumljivost. To su ujedno i frekvencije odgovorne za dobru razumljivost govora. Vrijednosti razine ometanja govora se proračunavaju prema izrazu [18]:

$$SIL = \frac{L_{p500} + L_{p1000} + L_{p2000} + L_{p4000}}{4} \; [dB] \tag{6}$$

Utjecaj okolne buke na kvalitetu govornih komunikacija se procjenjuje uspoređujući dobivene SIL vrijednosti sa vrijednostima prikazanim u Tablici 14. koja pokazuje maksimalnu udaljenost govornika na kojoj je razumljivost komunikacije normalnim (A) i povišenim glasom (B) zadovoljavajuća za različite SIL vrijednosti. U Tablici 15. prikazani su primjeri za vrijednosti različitih prostorija.

Tablica 14. Maksimalna udaljenost govornika za prihvatljivu razumljivost pri određenoj vrijednosti SIL indeksa [18]

SIL [dB]	A[m]	B [m]
35	7,5	15
40	4,2	8,4
45	2,3	4,6
50	1,3	2,6
55	0,75	1,5
60	0,42	0,85
65	0,25	0,5
70	0,13	0,26

Tablica 15. Primjeri maksimalni prihvatljivih SIL vrijednosti [18]

PROSTORIJE	PRIHVATLJIV SIL (dB)
Učionica	30
Sala za sastanke	35
Ured	45
Telefonska govornica	60
Zrakoplovna kabina	55 – 70

Izmjerene vrijednosti unutarnje i vanjske buke EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem potrebne za izračun SIL indeksa su prikazani u Tablicama 16. i 17.

Tablica 16. Razine unutarnje (kabinske) buke EC 135 izmjerene oktavno – pojasnim mjerenjem potrebne za izračun SIL indeksa

Režimi	500 [Hz]	1 [kHz]	2 [kHz]	4 [kHz]
	[dB]			
Paljenje (stajanka)	74,7	72,9	69,3	65,5
Idle	73,5	68	77	70,3
Snaga 100%	77,3	72,8	76,4	63,8
Snaga 102%	77,7	73,9	77,8	67,3
Lebdjenje 102% - 1,5 [m]	79,6	75,8	75,4	63,8
Taxi (trava) - 1,5 [m]	80,9	77,7	73,7	63,5
Lebdjenje - 1,5 [m]	78,5	75,5	74,1	62,9
Početak penjanja	78	75,6	70,9	63,7
Horizontalan let - 100 [kn]	77,6	72,5	75,7	65,8
Zaokret	78,8	73,3	71,8	65,7
Base leg	79,8	74,8	77,3	62,7
Final leg	82,4	74,6	74,7	64
Prilaz slijetanju	82,2	77,6	73,5	61,7

Tablica 17. Razine vanjske buke EC 135 izmjerene oktavno – pojasnim mjerenjem potrebne za izračun SIL indeksa

Režimi	500 [Hz]	1 [kHz]	2 [kHz]	4 [kHz]
	[dB]			
Idle (stajanka)	74,5	73,2	76	75,7
Snaga 100%	81	81,1	79,9	75,7
Lebdjenje	86,4	82,7	82,3	78,3
Idle (trava)	74,4	76	76,1	76,5
Snaga 100%	78,4	81,2	78,9	75,1
Lebdjenje - 1,5 m	88,2	84,5	82,5	78,2

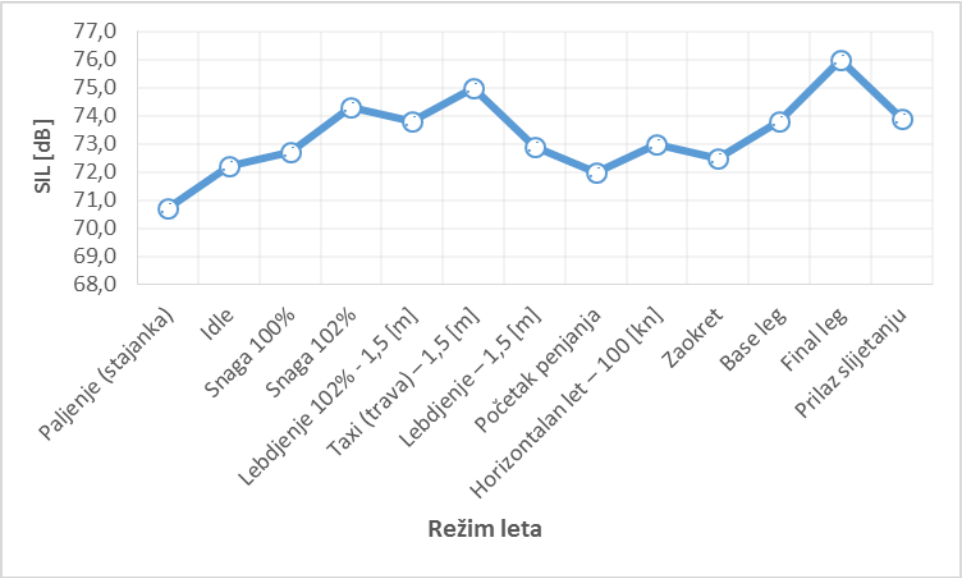
Prema izrazu u formuli (6), vrijednosti razine ometanja govora za unutarnju i vanjsku buku prikazane su u Tablicama. 18. i 19. te Grafikonima 8. i 9.

Kod vrijednosti obrađenih podataka može se primijetiti da SIL vrijednosti za unutarnju (kabinsku) buku iznose nešto malo više od maksimalno dopuštene propisane vrijednosti za

kabinu zrakoplova od 70 dB, što govori o kvaliteti tehnologija smanjenja vibracija i buke helikoptera EC 135.

Režimi	Paljenje (stajanka)	Idle	Snaga 100%	Snaga 102%	Lebdjenje 102% - 1,5 [m]	Taxi (trava) 1,5 [m]	Lebdjenje 1,5 [m]
SIL [dB]	70,7	72,2	72,7	74,3	73,8	75,0	72,9
Režimi	Početak penjanja	Horizontalan let – 100 [kn]	Zaokret	Base leg	Final leg	Prilaz slijetanju	
SIL [dB]	72,0	73,0	72,5	73,8	76,0	73,9	

Tablica 18. Dobivene SIL vrijednosti unutarnje (kabinske) buke helikoptera EC 135 za različite režime rada

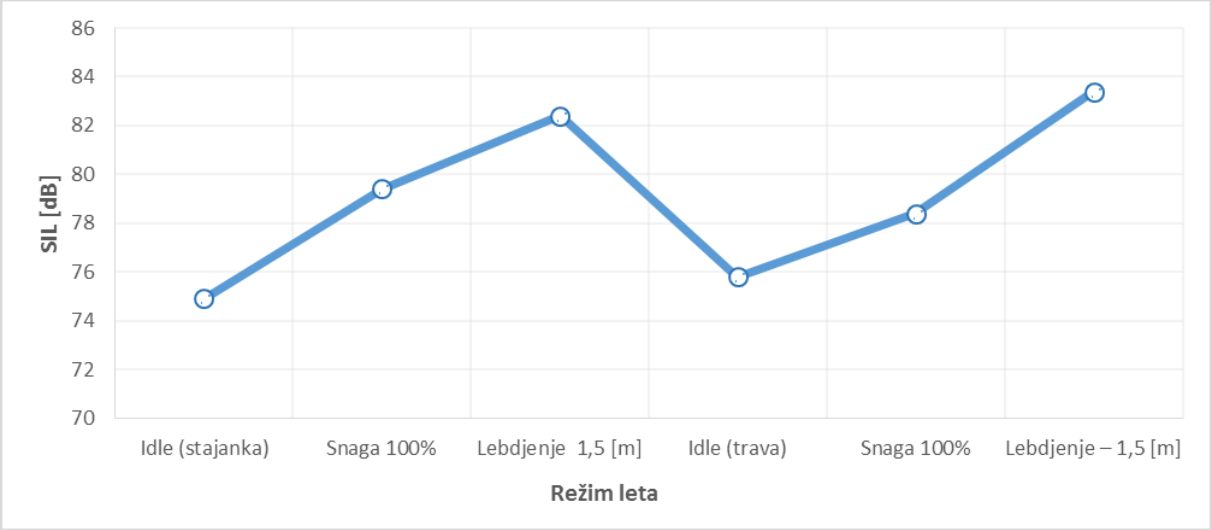


Grafikon 8. Dobivene SIL vrijednosti unutarnje (kabinske) buke helikoptera EC 135 za različite režime rada

Također, iz vrijednosti obrađenih podataka može se primijetiti da SIL vrijednosti za vanjsku buku iznose i do 83,4 dB, što pokazuje iznos za lebdjenje iznad trave na 1,5 m. Ovdje se primjećuje da je to znatno više iznad maksimalno dopuštene vrijednosti za kabinu zrakoplova od 70 dB

Tablica 19. Dobivene SIL vrijednosti vanjske buke helikoptera EC 135 za različite režime rada helikoptera EC 135

Režimi	Idle (stajanka)	Snaga 100%	Lebdjenje 1,5 [m]	Idle (trava)	Snaga 100%	Lebdjenje – 1,5 [m]
SIL [dB]	74,9	79,4	82,4	75,8	78,4	83,4

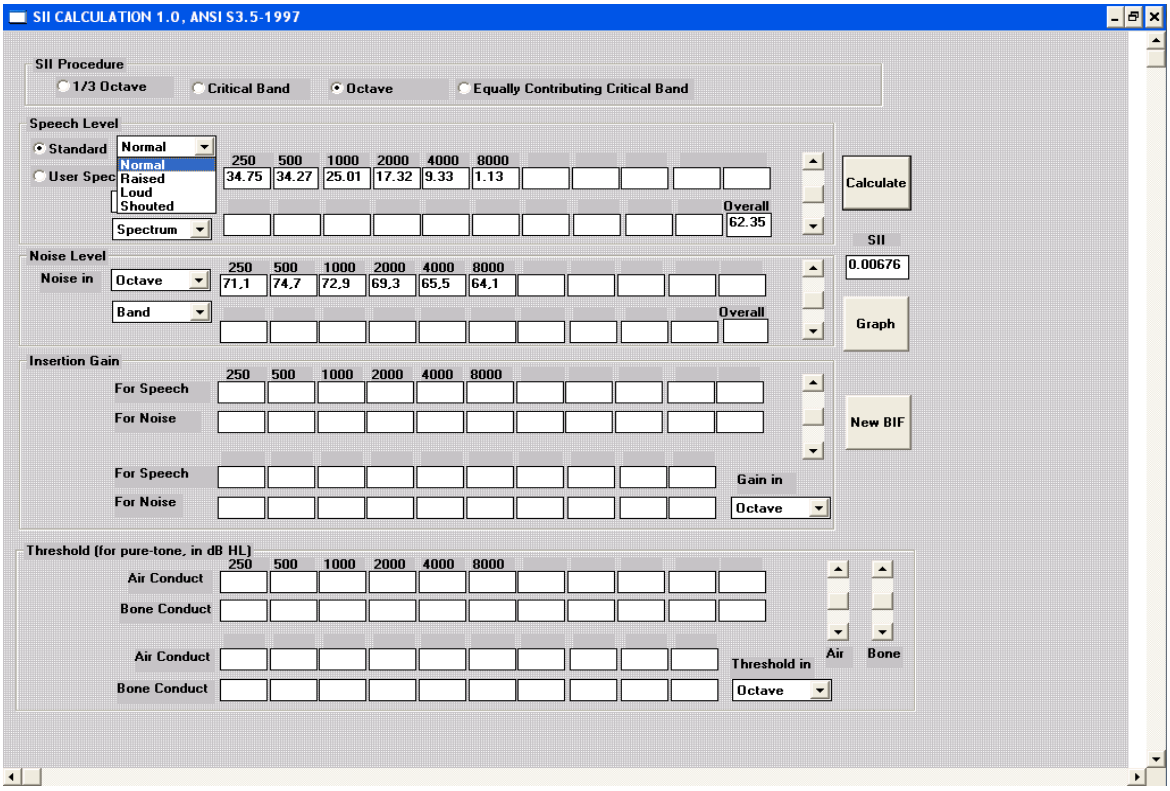


Grafikon 9. Dobivene SIL vrijednosti vanjske buke helikoptera EC 135 za različite režime rada helikoptera EC 135

7.2. SII metoda

Speech Intelligibility Index (SII), odnosno metoda proračunavanja indeksa razumljivosti govora je standardizirana metoda po ANSI S3.5 – 1997 koja omogućava četiri mjerne procedure, svaku sa različitim vrijednostima i propusnostima, a posljedično i različitim točnostima: oktavno - pojasno i tercno - pojasno mjerenje, te mjerenje kritičnih pojaseva i jednakovrijednih kritičnih pojaseva. SII indeks rangiran je po referentnoj ljestvici *Common Intelligibility Scale* (CIS) od vrijednosti 0 (pokazatelja potpunog nedostatka razumljivosti) preko minimalne prihvatljive vrijednosti 0,45 do vrijednosti 0,75 i naposljetku 1 (koji je pokazatelj odličnog razumijevanja). Za proračun SII indeksa korišten je računalni program *SII Calculation 1.0©* za *ANSI S3.5 – 1997* [19]. Osnovni izbornik programa prikazan je na Slici 13. U program su unesene vrijednosti unutarnje i vanjske buke dobivene oktavno - pojasnim mjerenjem u rasponu od 250 Hz do 8 kHz, odabrana je razina jačine glasa: normalan, povišen, glasan i vikanje (*normal, raised, loud i shouted*) i aktiviranjem funkcije

„*Calculate*“ dobivene su vrijednosti SII indeksa [20] prikazane Tablicama 20. i 21. te Grafikonima 10. i 11.

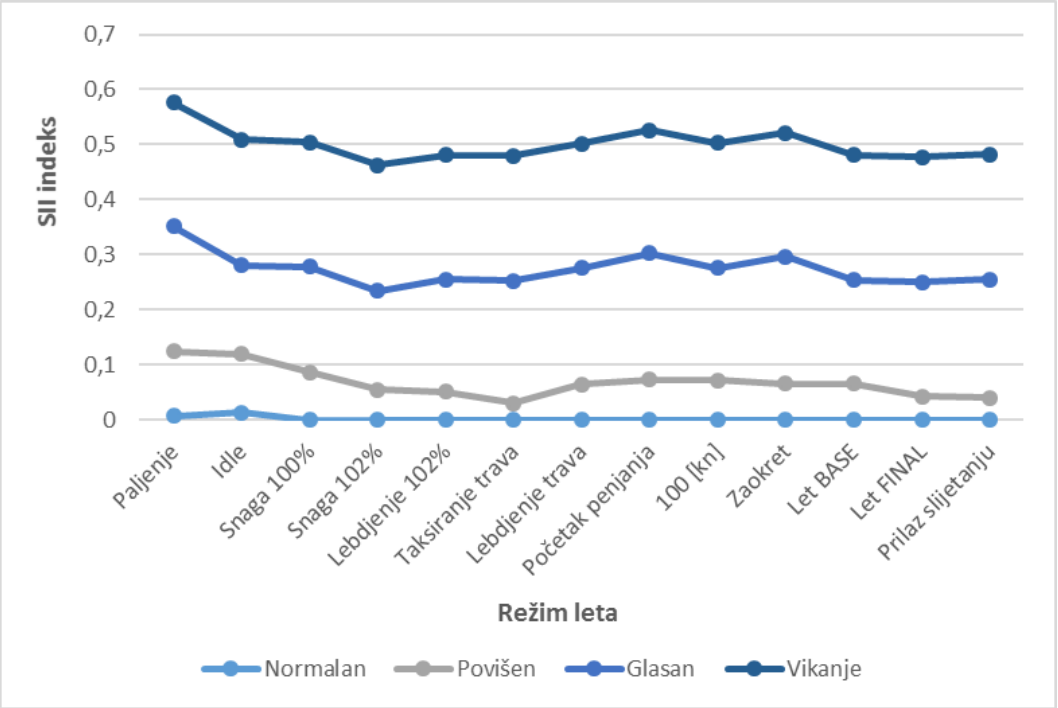


Slika 13. SII Calculation - unesene vrijednosti unutarnje (kabinske) buke EC 135 na podlozi stajanke

Tablica 20. Dobivene vrijednosti SII indeksa iz računalnog programa za unutarnju (kabinsku) buku helikoptera EC 135 za različite režime rada

Režimi	Oktavno-pojasni SII indeks			
	Govor			
	Normalan	Povišen	Glasan	Vikanje
Paljenje	0,00676	0,1247	0,3511	0,5758
Idle	0,01379	0,1195	0,2804	0,5094
Snaga 100%	0	0,08615	0,278	0,504
Snaga 102%	0	0,05472	0,2345	0,4632
Lebdjenje 102%	0	0,05128	0,2545	0,4815
Taksiranje trava	0	0,02989	0,2525	0,4794
Lebdjenje trava	0	0,06399	0,2753	0,5013
Početak penjanja	0	0,07296	0,3022	0,5264
100 [kn]	0	0,07187	0,2763	0,5024
Zaokret	0	0,06567	0,297	0,5215
Let BASE	0	0,06633	0,2539	0,4811
Let FINAL	0	0,04292	0,2506	0,4773
Prilaz slijetanju	0	0,04061	0,2552	0,4816

Iz dobivenih rezultata za SII indekse unutarnje (kabinske) buke vidljivo je da je moguće ostvariti razumljivu komunikaciju određenu minimumom od 0,45 putem vikanja u svim režimima rada helikoptera. Može se također primijetiti da pri jednostavnijim radnjama razina SII indeksa nadilazi vrijednost od 0,5.

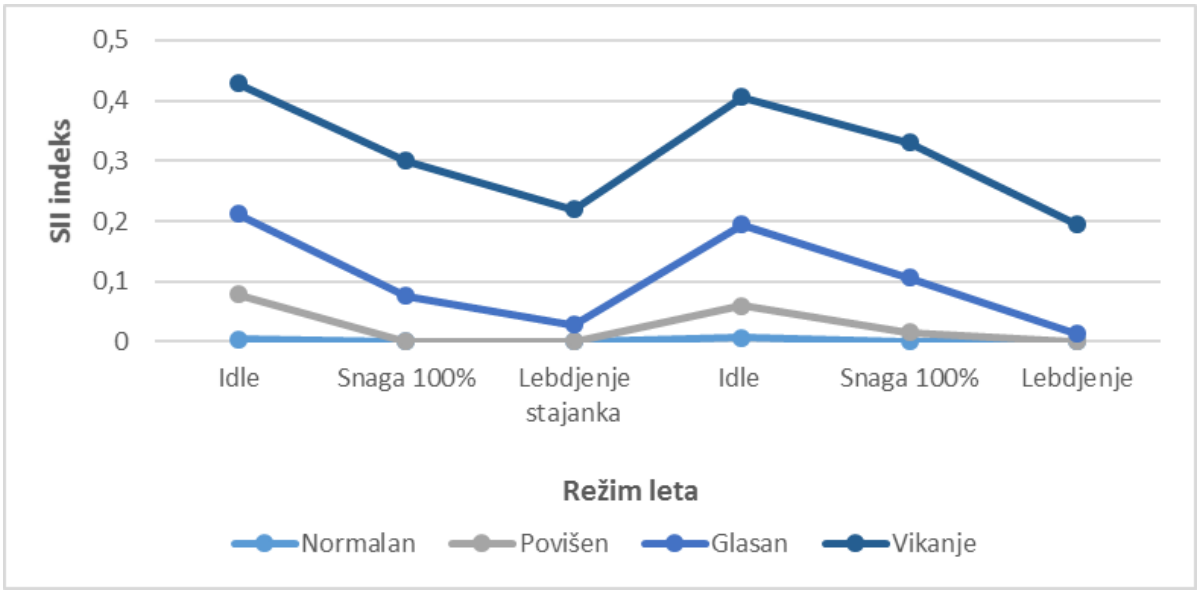


Grafikon 10. Dobivene vrijednosti SII indeksa iz računalnog programa za unutarnju (kabinsku) buku helikoptera EC 135 za različite režime rada

Kod proračuna rezultata za dobivanje vrijednosti SII indeksa za vanjsku buku može se primijetiti da su indeksi jako malih vrijednosti. Razumljivu komunikaciju nije moguće ostvariti niti putem vikanja što je vidljivo u Tablici 21, gdje najveća vrijednost SII kod režima rada *Idle* iznosi 0,42. Ovdje valja još jednom napomenuti da je mjerenje vanjske buke izvršeno na udaljenosti od samo 15 m što objašnjava ovako niske vrijednosti.

Tablica 21. Dobivene vrijednosti SII indeksa iz računalnog programa za vanjsku buku helikoptera EC 135 za različite režime rada

Režimi	Oktavno-pojasni SII indeks			
	Govor			
	Normalan	Povišen	Glasan	Vikanje
Idle	0.00423	0.07854	0.2123	0.4292
Snaga 100%	0	0	0.0753	0.3003
Lebdjenje stajanka	0	0	0.02761	0.219
Idle	0.00676	0.05893	0.1937	0.4056
Snaga 100%	0	0.01565	0.1066	0.3306
Lebdjenje	0	0	0.0125	0.194



Grafikon 11. Dobivene vrijednosti SII indeksa iz računalnog programa za unutarnju (kabinsku) buku helikoptera EC 135 za različite režime rada

8. ZAKLJUČAK

Donošenjem pravilnika ICAO-a *Annex 16, Volume* 1 o zaštiti okoliša iz 1985. godine, pažnja zrakoplovne zajednice počela se posvećivati razinama buke helikoptera. Time je započeta sustavna implementacija mjera i procedura smanjenja buke na helikopterima te su uvedeni standardi za buduću proizvodnju postojećih pa tako i novih helikoptera. *Annex 16* sadrži test za certifikat buke helikoptera koji za cilj ima pribaviti podatke kako bi se ustanovila precizna i pouzdana definicija karakteristika buke ispitivanog helikoptera

Civilni helikopter EC 135 dizajniran je s ciljem da raspolaže mogućnošću različitih operacija pri ekonomičnoj potrošnji, elegantnom dizajnu i prostranosti kabine, čime pogoduje S&R, medicinskim i nadzornim policijskim svrhama. Nakon mjerenja i ispitivanja buke MUP-ovog helikoptera EC 135 P2+ u stvarnim uvjetima na podlozi stajanke i trave, u različitim režimima lebdjenja i školskog kruga, te analizom dobivenih podataka izmjerenima za unutarnju (kabinsku) i vanjsku buku dolazi se do zaključka da helikopter EC 135 zaista potvrđuje izjave kompanije *Eurocopter* kao i izjave različitih putnika, pilota i pasivnih promatrača koje govore o jednom od najtiših civilnih helikoptera do sada. Na prikazanim rezultatima moguće je uočiti da se razina buke nalazi unutar granica propisanih od strane ICAO-e kao i EASA-e i da u pojedinim režimima iznosi i do 6 dB ispod propisane minimalne razine.

Među vrijednostima dobivenim mjerenjem unutarnje (kabinske) buke A-ponderiranim mjerenjem može se vidjeti da se najveća razina buke emitira tokom *Base leg-a* školskog kruga, dok se najveća razina vanjske buke dobivena A-ponderiranim mjerenjem emitira u režimu lebdjenja iznad travnate površine na 1,5 m. Iz dobivenih rezultata mjerenja unutarnje i vanjske buke oktavno – pojasnim mjerenjem može se zaključiti kako se razina buke smanjuje prema višim frekvencijama, što se može pripisati prigušivanju buke konstrukcijom helikoptera.

Također, proračunima za razumljivost govora korištenjem SIL metode zaključuje se da unutarnja (kabinska) buka helikoptera EC 135 ne ometa govornu komunikaciju u putničkoj kabini u tolikoj mjeri da ona ne bi bila moguća. S druge strane, vanjska buka je na udaljenosti od 15 m dovoljna da spriječi razumnu govornu komunikaciju. U sprezi s rezultatima SIL metode su i rezultati SII metode koji potvrđuju da unutarnja buka omogućava minimalnu dozu

razumljivosti govora čak i režimima rada povećane razine buke te da je vanjska buka i više nego dostatna da razumljivost govora smanji ispod minimalne propisane razine. Ovi zaključci dovode do spoznaje da se u suvremeno doba pažnja obraća na danas bitne detalje kao što su smanjenje razine buke iz različitih izvora putem više metoda te kako se u dizajnu helikoptera EC 135 nije pazilo samo na ekonomičnost već i na praktičnost i ugodnost. To se očituje u omogućenoj komunikaciji i bez mikrofona i slušalica, kada bi putnici ili vanjski pasivni promatrači komunicirali samo svojim glasom.

POPIS LITERATURE

1. Golubić, J., Promet i okoliš, 1999., Fakultet prometnih znanosti, Zagreb
2. Bucak, T, Ivošević, J., Zrakoplovne emisije – buka zrakoplova, FPZ, Zagreb, 2016., Autorizirana predavanja
3. Štimac, I., Implementacija sustava praćenja i analize buke u zračnoj luci Zagreb, Magistarski rad, FPZ, Zagreb, 2009., https://bib.irb.hr/datoteka/420505.Magistarski_rad_-_Igor_timac_24_2_2009.pdf, (kolovoz, 2016.)
4. Kostanzer, P. i suradnici, Recent Advanceces in Eurocopter's Passive and Active vibration and control, EUROCOPTER SAS – EUROCOPTER DEUTCHLAND GMBH, Minhen i Marignanne, URL: https://www.researchgate.net/publication/228971800_Recent_Advances_in_Eurocopter%27s_Passive_and_Active_Vibration_Control, (kolovoz, 2016.)
5. EASA, Type-Certificate Data Sheet for Noise, No.EASA.R.009 for EC135, Type Certificate Holder: Airbus Helicopters Deutschland Gmbh, 06 October 2015.
6. ICAO Annex 16, Volume 1, URL: http://dcaa.trafikstyrelsen.dk:8000/icaodocs/Annex%2016%20-%20Environmental%20Protection/ANNEX16volumeI.pdf
7. URL: http://goo.gl/kAXn5F (kolovoz, 2016.)
8. Agard Confrerence Proceeedings 592, Advances in Rotocraft Technology, North Atlantic Treaty Organization, Otawa 1996., URL: http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA324206#page=191, (kolovoz, 2016.)
9. URL: http://www.airbushelicopters.com/, (kolovoz, 2016.)
10. Pope, F., A helicopter born for EMS duty vies for a promotion to the corner executive suite, Flying magazin, 18.3.2012., URL: http://www.flyingmag.com/aircraft/helicopters/eurocopter-ec-135, (kolovoz, 2016.)
11. EUROCOPTER and EADS COMPANY, EC 135 Technical Dana, URL: http://www.hdf.fr/public/PDF/EC_135_PDF.pdf, (kolovoz, 2016.)
12. B. GaloviC, D. Novak, T. Kastelan: Helicopter Noise And Noise Abatement Procedures, Zagreb 2004., URL: http://fpz.unizg.hr/traffic/index.php/PROMTT/article/view/579

13. ICAO Annex 16, Volume 1, Environmental Technical Manual, Procedures for the Noise Certification of Aircraft, based on Doc 9501, URL: http://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Publications/Doc_9501_Volume_I.pdf
14. ISO 5129:2001, URL: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=32344 , (kolovoz, 2016.)
15. James T. Howlett, Sherman A, Cleuenson, John A. Rupf, William J. Snyder , Interior noise reduction in a large civil helicopter, 1977., URL: https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19770021967.pdf
16. Katalog laboratorijske opreme, Fakultet prometnih znanosti, 2016.
17. Calculation of NR & NC Curves in the optimus sound level meter and the NoiseTools software, URL: http://www.cirrusresearch.co.uk/library/documents/technical_papers/TN31_Calculcation_of_NR_and_NC_Curves_in_the_optimus_sound_level_meter_and_NoiseTools_software.pdf (kolovoz, 2016.)
18. Bucak, T., Bazijanac, E., Juričić, B., Correlation between SIL and SII in Light Aicraft Cabin During Flight, , URL: https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/ICSV14/papers/p441.pdf, (kolovoz, 2016.)
19. URL: http://www.sii.to/html/programs.html
20. Tino Bucak, Utjecaj buke zrakoplova na kvalitetu govornih komunikacija, doktorska disertacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2004.,

POPIS KRATICA

ICAO	International Civil Aviation Organization
DAVI	Dynamic Anti-Resonant Vibrator Isolator
ARIS	Anti-Resonance Isolation System
AVCS	Anti-vibration Control System
EASA	European Aviation Safety Agency
EPNL	Effective Perceived Noise Level
HI NR	High speed rotor
S&R	Search and Rescue
MTOM	Maximum Take-Off Weight
FADEC	Full Authority Digital Engine Control
VIP	Very important person
ISA / SL	International Standard Atmosphere / Sea Level
OEI	One Engine Inoperative
MCP	Maximum Continuous Power
TOP	Take-Off Power
IGE	In Ground Effect
AGL	Above Ground Level
OGE	Out of Ground Effect
MUP	Ministarstvo Unutarnjih Poslova
SPL	Sound Pressure Level
NR	Noise Rating
SIL	Speech Interference Level
SII	Speech Intelligibility Index
CIS	Common Intelligibility Scale
ISO	International Organization for Standardization

POPIS SLIKA

Slika 1. Rasprostiranje zvuka u zraku [2] 4
Slika 2. Zvučni tlak [2] 5
Slika 3. Mehanički sklop fenestrona [7] 13
Slika 4. Shematski prikaz fenestron repa [8] 14
Slika 5. Izvori buke kod helikoptera [3] 15
Slika 6. Prototip BO 108 [9] 16
Slika 7. Vanjske dimenzije EC 135 [11] 18
Slika 8. Mjerne točke prilikom polijetanja helikoptera [13] 23
Slika 9. Mjerne točke prilikom preleta helikoptera [13] 23
Slika 10. Mjerne točke prilikom prilaza helikoptera [13] 24
Slika 11. Helikopter EC 135 P2+ u vlasništvu MUP-a 27
Slika 12. Zvukomjer Nor 140 [16] 28
Slika 13. SII Calculation - unesene vrijednosti unutarnje (kabinske) buke EC 135 na podlozi stajanke 43

POPIS TABLICA

Tablica 1. Vrijednosti buke za EC 135 P2+ [5] 12
Tablica 2. Kapaciteti goriva EC 135 [11] 20
Tablica 3. Performanse EC 135 [11] 21
Tablica 4. Podaci o mjerenju 26
Tablica 5. Režimi rada za mjerenje unutarnje (kabinske) buke EC 135 P2+ 28
Tablica 6. Režimi rada za mjerenje vanjske buke EC 135 P2+ 29
Tablica 7. Razine mjerenja kabinske buke helikoptera EC 135 A-ponderiranim mjerenjem (srednja vrijednost) 30
Tablica 8. Razine mjerenja unutarnje (kabinske) buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem na podlozi stajanke (srednja vrijednost) 31
Tablica 9. Razine mjerenja unutarnje (kabinske) buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem u poziciji lebdjenja (srednja vrijednost) 33
Tablica 10. Razine mjerenja unutarnje (kabinske) buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem u školskom krugu (srednja vrijednost) 34
Tablica 11. Razine mjerenja vanjske buke helikoptera EC 135 A-ponderiranim mjerenjem (srednja vrijednost) 35
Tablica 12. Razine mjerenja vanjske buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem na podlozi stajanke (srednja vrijednost) 36
Tablica 13. Razine mjerenja vanjske buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem na podlozi trave (srednja vrijednost) 37
Tablica 14. Maksimalna udaljenost govornika za prihvatljivu razumljivost pri određenoj vrijednosti SIL indeksa [18] 39
Tablica 15. Primjeri maksimalni prihvatljivih SIL vrijednosti [18] 39
Tablica 16. Razine unutarnje (kabinske) buke EC 135 izmjerene oktavno – pojasnim mjerenjem potrebne za izračun SIL indeksa 40
Tablica 17. Razine vanjske buke EC 135 izmjerene oktavno – pojasnim mjerenjem potrebne za izračun SIL indeksa 40
Tablica 18. Dobivene SIL vrijednosti unutarnje (kabinske) buke helikoptera EC 135 za različite režime rada 41
Tablica 19. Dobivene SIL vrijednosti vanjske buke helikoptera EC 135 za različite režime rada helikoptera EC 135 42

Tablica 20. Dobivene vrijednosti SII indeksa iz računalnog programa za unutarnju (kabinsku) buku helikoptera EC 135 za različite režime rada 44
Tablica 21. Dobivene vrijednosti SII indeksa iz računalnog programa za vanjsku buku helikoptera EC 135 za različite režime rada 46

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Razine mjerenja kabinske buke helikoptera EC 135 A-ponderiranim mjerenjem (srednja vrijednost) 30
Grafikon 2. Razine mjerenja unutarnje (kabinske) buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem na podlozi stajanke (srednja vrijednost) 32
Grafikon 3. Razine mjerenja unutarnje (kabinske) buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem u poziciji lebdjenja (srednja vrijednost) 33
Grafikon 4. Razine mjerenja unutarnje (kabinske) buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem u školskom krugu (srednja vrijednost) 34
Grafikon 5. Razine mjerenja vanjske buke helikoptera EC 135 A-ponderiranim mjerenjem (srednja vrijednost) 35
Grafikon 6. Grafikon razina mjerenja vanjske buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem na podlozi stajanke (srednja vrijednost) 36
Grafikon 7. Grafikon razina mjerenja vanjske buke helikoptera EC 135 oktavno - pojasnim mjerenjem na podlozi trave (srednja vrijednost) 37
Grafikon 8. Dobivene SIL vrijednosti unutarnje (kabinske) buke helikoptera EC 135 za različite režime rada 41
Grafikon 9. Dobivene SIL vrijednosti vanjske buke helikoptera EC 135 za različite režime rada helikoptera EC 135 42
Grafikon 10. Dobivene vrijednosti SII indeksa iz računalnog programa za unutarnju (kabinsku) buku helikoptera EC 135 za različite režime rada 45
Grafikon 11. Dobivene vrijednosti SII indeksa iz računalnog programa za unutarnju (kabinsku) buku helikoptera EC 135 za različite režime rada 46

METAPODACI

Naslov rada: Akustička analiza buke helikoptera EC 135

Student: Toni Korać

Mentor: prof.dr.sc. Tino Bucak

Naslov na drugom jeziku (engleski):

Acoustic Analysis of EC 135 Helicopter Noise

Povjerenstvo za obranu:

- Doc. dr. sc. Anita Domitrović (predsjednik)
- Prof. dr. sc. Tino Bucak (mentor)
- Dr. sc. Jurica Ivošević (član)
- Izv. prof. dr. sc. Doris Novak (zamjena)

Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: Aeronautika

Vrsta studija: diplomski

Studij: Aeronautika

Datum obrane diplomskog rada:_____

METADATA

Title: Acoustic analysis of noise of helicopter EC 135

Student: Toni Korać

Mentor: Prof. Tino Bucak, PhD

Title in Croatian:

Akustička analiza buke helikoptera EC 135

Thesis defence committee:

- Asst. Prof. Anita Domitrović, PhD (chairperson)
- Prof. Tino Bucak, PhD (mentor)
- Jurica Ivošević, PhD (member)
- Assoc. Prof. Doris Novak, PhD (substitute)

Institution which awards the academic degree: Faculty of Transport and Traffic Sciences, University of Zagreb

Department: Aeronautics

Level of study: graduate

Study programme: Aeronautics

Date of thesis defence:_____

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu diplomskog rada pod naslovom **Akustička analiza buke helikoptera EC 135**

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

U Zagrebu, 18.9.2016

Student/ica:

(potpis)

University of Zagreb
Faculty of Transport and Traffic Sciences
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

DECLARATION OF ACADEMIC INTEGRITY AND CONSENT

I declare and confirm by my signature that this diplomski rad
is an exclusive result of my own work based on my research and relies on published literature,
as can be seen by my notes and references.
I declare that no part of the thesis is written in an illegal manner,
nor is copied from unreferenced work, and does not infringe upon anyone's copyright.
I also declare that no part of the thesis was used for any other work in
any other higher education, scientific or educational institution.
I hereby confirm and give my consent for the publication of my diplomskog rada
titled **Acoustic analysis of EC 135 helicopter noise**

on the website and the repository of the Faculty of Transport and Traffic Sciences and
the Digital Academic Repository (DAR) at the National and University Library in Zagreb.

In Zagreb, 18.9.2016.

Student:

(signature)