

# Mjerenje i analiza buke helikoptera Bell 206B

---

Vojvodić, Luka-Stjepan

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:622723>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-06**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Luka-Stjepan Vojvodić

MJERENJE I ANALIZA BUKE HELIKOPTERA BELL 206B

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2023.

---

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 21. veljače 2023.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Avionika i IFR letenje**

**DIPLOMSKI ZADATAK br. 7036**

Pristupnik: **Luka-Stjepan Vojvodić (0083219174)**  
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Mjerenje i analiza buke helikoptera Bell 206B**

Opis zadatka:

Definirati objektivne i subjektivne parametre buke te njen utjecaj na čovjeka. Identificirati dominantne izvore buke na helikopteru. Provesti mjerenja buke na helikopteru Bell 206B u statičkim i dinamičkim uvjetima eksploatacije. Analizirati dobivene rezultate i prikazati ih tablično i grafički. Predložiti potencijalne mogućnosti redukcije buke na predmetnom helikopteru.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

prof. dr. sc. Tino Bucak

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

MJERENJE I ANALIZA BUKE HELIKOPTERA BELL 206B

BELL 206B HELICOPTER NOISE MEASUREMENT AND  
ANALYSIS

Mentor: Prof. dr. sc. Tino Bucak

Student: Luka- Stjepan Vojvodić

JMBAG: 0083219174

Zagreb, svibanj 2023.

## SAŽETAK

Buka je značajan faktor koji može utjecati na sposobnost pilota da obavlja svoj posao. Prekomjerna razina buke u kokpitu ili na pisti mogu pilotima otežati komunikaciju s kontrolom zračnog prometa i osobljem na zemlji, povećavajući rizik od pogrešne komunikacije i nesreća, stoga je bitno proučiti karakteristike buke i posljedice na zdravlje prekomjerne razine buke kojom su izloženi pilot zrakoplova. Prvih par poglavlja opisuje karakteristike buke i zvuka te opisuje posljedice na sluh i zdravlje osoba izloženim velikim razinama buke. Preostali dio rada opisuje helikopter kao izvor buke i tehničko eksploatacijske karakteristike helikoptera Bell 206B te metodu i postupak mjerenja s analizom dobivenih rezultata. Cilj ovog rada je izmjeriti i analizirati razinu kabinske buke helikoptera Bell 206B i procijeniti jesu li postojeće metode zaštite sluha dovoljne.

## KLJUČNE RIJEČI

Buka helikoptera; Bell 206B; zvuk; zdravlje; sluh; mjerenje i analiza buke

## SUMMARY

Noise is a significant factor that can affect a pilot's ability to perform his job. Excessive noise levels in the cockpit or on the runway can make it difficult for pilots to communicate with air traffic control and ground personnel, increasing the risk of miscommunication and accidents, therefore it is essential to study the characteristics of noise and the health consequences of excessive noise levels to which aircraft pilots are exposed. The first couple of chapters describe the characteristics of noise and sound and describe the consequences for the hearing and health of people exposed to high levels of noise. The remaining part of the paper describes the helicopter as a source of noise and the technical operating characteristics of the Bell 206B helicopter, as well as the measurement method and procedure with an analysis of the obtained results. The aim of this thesis is to measure and analyze the cabin noise level of the Bell 206B helicopter and evaluate whether the existing hearing protection methods are sufficient.

## KEY WORDS

Helicopter noise; Bell 206B; sound; health; hearing; noise measurement and analysis

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ZVUK .....	4
2.1. Vrste izvora zvuka .....	4
2.2. Osnovni pojmovi valova.....	5
2.3. Intezitet i glasnoća zvuka .....	6
2.4. Vrste zvukova .....	8
3. BUKA .....	9
3.1. Parametri buke.....	9
4. UTJECAJ BUKE NA ČOVJEKA .....	11
4.1. Uho.....	11
4.2. Utjecaj buke na čovjeka.....	13
4.2.1. Utjecaj buke na sluh .....	13
4.2.2. Utjecaj buke na zdravlje .....	14
5. IZVORI BUKE NA HELIKOPTERU .....	16
5.1. Helikopter kao izvor buke .....	16
5.2. Buka glavnog rotora.....	16
5.3. Buka repnog rotora .....	18
5.4. Buka motora.....	18
5.5. Aerodinamička buka .....	19
6.0. KARAKTERISTIKE HELIKOPTERA BELL 206B.....	20
6.1. Izvori buke na helikopteru Bell 206B.....	22
6.1.1. Motor .....	22
6.1.2. Rotor i reduktori .....	24
7. ZAŠTITA OD BUKE .....	26
7.1. Uređaji za zaštitu sluha .....	26
7.2. Zaštita od buke na helikopteru Bell 206B .....	29
7.2.1. Kaciga HGU- 56/P.....	29
7.2.2. CEP .....	31
8. MJERENJE I ANALIZA UNUTARNJE BUKE HELIKOPTERA BELL 206B.....	33
8.1. Analizator zvuka Norsonic Nor 140.....	33

8.2. Postupak mjerenja .....	34
8.3. Režimi leta u kojima je izvršeno mjerenje.....	34
8.4. Rezultati mjerenja .....	36
9. ZAKLJUČAK.....	51
LITERATURA .....	52
POPIS SLIKA .....	54
POPIS TABLICA.....	55
POPIS GRAFIKONA .....	56

# 1. UVOD

Buka je sveprisutan i potencijalno opasan čimbenik u zrakoplovstvu. Utjecaj buke na pilote i drugo osoblje koje radi u i oko zrakoplova tema je koja izaziva zabrinutost već dulji niz godina. U prošlosti je buka zrakoplova bila značajan problem i za pilote i za ljude koji žive u blizini zračnih luka. Visoke razine buke oko zračnih luka uzrokovale su mnoge zdravstvene probleme, primjerice poremećaje spavanja, oštećenja sluha i dr. Iako se krajem 1940- ih pojavom mlaznog motora postupno smanjila kabinska buka pogonske grupe u 1950- ima i 1960- ima, rast zračnog prometa doveo je do značajnog povećanja razine buke zrakoplova, a pritužbe zajednica koje žive u blizini zračnih luka postale su učestalije. Nadalje, buka zrakoplova nije bila problem samo onih koji žive u blizini zračnih luka; utjecalo je i na samu zrakoplovnu industriju. Visoke razine buke u kokpitu i na pisti otežavaju komunikaciju između pilota i kontrole zračnog prometa, što potencijalno dovodi do zabune i pogrešne komunikacije čime se smanjuje sigurnost leta te povećava rizik od nesreća. Svi piloti, instruktori letenja i drugi zrakoplovni stručnjaci bore se s umorom izazvanim, između ostalog, i bukom. Za razliku od drugih „bučnih“ zanimanja, piloti su iz leta u let neprestano izloženi buci motora, propelera, rotora, aerodinamičkih površina i drugih izvora. Većina problema s pretjeranom razinom buke u pilotskoj kabini tijekom rata uzrokovana je potrebom provođenja operativnog letenja pri ekstremno velikim brzinama i malim visinama. Kako bi se smanjila vjerojatnost radarske detekcije i količina vremena izloženog protuzračnim sustavima, korišteno je taktičko letenje. U proteklih 40- tak godina u floti helikoptera zabilježen je obrazac povećanja buke iz kabine i kokpita. Posada modernog helikoptera CH-47 Chinook na nekim je mjestima izložena buci od 120 dBA [1].

Tema ovog diplomskog rada je mjerenje i analiza kabinske buke u helikopteru Bell 206B koji se u Hrvatskom ratnom zrakoplovstvu koristi kao glavni helikopter za školovanje kadeta vojnih pilota. Uz tu glavnu zadaću, također se provode VIP letovi, daljnje obuke mladih nastavnika letenja te metodički letovi za sve nastavnike letenja. Nastavnici letenja koji provode obuku za kadete na ovom tipu zrakoplova do četiri puta tjedno izloženi su velikim razinama buke u trajanju od nekoliko sati dnevno. Zbog štetnog utjecaja buke



može doći do zamora i smanjenja fizičkih i psihičkih sposobnosti što može dovesti do potencijalnih nesreća zbog otežanog komuniciranja između kadeta i nastavnika letenja.

Za potrebe diplomskog rada organiziran je let na helikopteru Bell 206B u vojarni "Pukovnik Mirko Vukušić" u Zemuniku Donjem i pilotažnoj zoni "Kašić-Novigrad" te se uz korištenje zvukomjera klase 1 izmjerila i analizirala kabinska buka kroz različite režime leta koji su prikazani u poglavlju 8.

Cilj ovog istraživanja je prikupiti bitne podatke o razini buke u kabini u različitim režimima leta, analizirati ih i izvesti rezultate koji pokazuju koliko je buka u kabini helikoptera kratkoročno i dugoročno štetna za zdravlje posade. Pomoću analizatora zvuka Norsonic Nor140 provesti će se mjerenje buke A-ponderiranom i tercnom metoda mjerenja. Na temelju dobivenih rezultata mjerenja izvest će se zaključak o karakteristikama kabinske buke u helikopteru Bell 206B.

Prijašnja istraživanja na temu mjerenja buke uključivale su analizu vanjske buke, kao i buke u kokpitu i kabini na raznim zrakoplovima. Istraživači s Fakulteta prometnih znanosti mjerili su buku na komercijalnim zrakoplovima kao što su Diamond DV20, Airbus A319, DASH, EC 135 i C-172 uz pomoć profesora, asistenta i studenata. Mjerenja buke obavljali su i piloti u sastavu HRZ za potrebe diplomskih radova na vojnim zrakoplovima PC-9M, Zlin 242L, CL-415, Mi-8, OH-58D.

Rad se sastoji od 9 poglavlja:

- U uvodnom poglavlju iznesen je problem istraživanja i definicija rada, potrebe za istraživanje i dosadašnja istraživanja vezana za buku u zrakoplovstvu te struktura rada.
- U 2. poglavlju naziva Zvuk objašnjava se pojam zvuka, vrste izvora, osnovne karakteristike i vrste tonova.
- U 3. poglavlju naziva Buka prikazana je definicija buke te parametri buke.
- U 4. poglavlju naziva Utjecaj buke na čovjeka opisan je organ sluha- uho te utjecaj buke na sluh i zdravlje.

- U 5. poglavlju naziva Izvori buke na helikopteru definirani su svi izvori buke na helikopteru odnosno buka samog helikoptera, buka glavnog i repnog rotora, buka motora te aerodinamička buka.
- U 6. poglavlju naziva Karakteristike helikoptera Bell 206B navedene su tehničko eksploatacijske karakteristike helikoptera Bell 206B sa njegovim glavnim izvorima buke.
- U 7. poglavlju naziva Zaštita od buke opisani su uređaji za zaštitu sluha od buke te načini zaštite od buke koji se koriste na helikopteru Bell 206B
- U 8. poglavlju pod nazivom Mjerenje i analiza unutarnje buke helikoptera Bell 206B opisuje uvjete prilikom mjerenja, uređaj koji se koristio za prikupljanje podataka i analizu buke, popis režima i analizu buke.
- U 9. poglavlju odnosno Zaključak prikazan je konačni rezultat i objašnjenje istraživanja koji je proveden u ovom radu.

## 2. ZVUK

Proučavanje zvuka započinje proučavanjem mehaničkih valova. S obzirom na mogućnost rasprostiranja valova postoji više vrsta valova, ali dva osnovna vala su poprečni (transverzalni) i uzdužni (longitudinalni) val [2].

Poprečni (transverzalni) val je vrsta vala koji se kreće okomito na smjer u kojem titraju čestice medija. To znači da se čestice u mediju kreću gore-dolje ili s jedne strane na drugu, dok se sam val kreće naprijed. Primjeri transverzalnih valova uključuju svjetlosne valove i elektromagnetske valove. Ovaj val je karakterističan za rasprostiranje zvuka u krutinama i na površinama tekućina [2].

Uzdužni (longitudinalni) val je vrsta vala koji se giba paralelno sa smjerom u kojem titraju čestice medija. To znači da se čestice u mediju kreću naprijed-natrag u istom smjeru u kojem putuje val. Primjeri longitudinalnih valova uključuju zvučne valove i seizmičke valove [2].

Zvuk se širi zrakom i drugim medijima kao longitudinalni val. Zvučni val je vrsta longitudinalnog vala koji je uzrokovan vibracijama materije, kao što su molekule zraka, u mediju. Zvučni valovi odgovorni su za prijenos zvuka, što je osjećaj koji percipiramo kada naše uši otkriju promjene tlaka uzrokovane vibracijama. Zvučni valovi mogu putovati kroz bilo koji medij, poput zraka, vode ili čvrstih tijela, sve dok medij može vibrirati. Kada objekt vibrira, stvara tlačne valove koji se kreću prema van od izvora vibracije. Ovi tlačni valovi uzrokuju komprimiranje i ekspanziju molekula zraka oko njih, stvarajući niz područja visokog i niskog tlaka koji se šire kroz medij kao zvučni val [2].

### 2.1. Vrste izvora zvuka

Izvor zvuka je mehaničko tijelo koje titra i predaje energiju titranja okolnom mediju mijenjajući tlak u njegovom okruženju. Postoji različite vrste izvora zvuka, a to su točkasti i linijski izvor zvuka [2].

Točkasti izvori zvuka su izvori zvuka koji se nalaze na jednoj točki, tj. zvuk se širi ravnomjerno u svim smjerovima od jedne točke. Karakteristika ovog izvora je da zvučni

tlak i intezitet opadaju proporcionalno s udaljenošću od izvora, odnosno za dvostruku udaljenosti -6 dB [2].

Linijski izvori zvuka su izvori zvuka koji se nalaze duž jedne linije, a zvuk se širi ravnomjerno u svim smjerovima okomito na tu liniju. Karakteristika ovog izvora je da zvučni tlak opada s kvadratom udaljenosti od izvora, odnosno za dvostruku udaljenost -3 dB [2].

## 2.2. Osnovni pojmovi valova

Valna duljina je udaljenost između dva susjedna vrha (maksimalna vrijednost amplitude) ili dvije susjedne doline (minimalna vrijednost amplitude) u zvučnom valu koji se širi kroz neko sredstvo. Mjeri se u metrima, označava sa  $\lambda$  i opisuje pomoću formule (1).

$$\lambda = c/f \quad (1)$$

gdje je  $\lambda$  = valna duljina;  $c$  = brzina zvuka;  $f$  = frekvencija

Kako se val širi kroz medij, jednoj cijeloj valnoj duljini treba određeni vremenski period da prođe određeni put u prostoru; taj period se označava sa  $T$  i obično se mjeri u djelićima sekunde. Također za vrijeme od jedne sekunde određeni broj oscilacija ili ciklusa zvučnog vala pređe neku udaljenost poznata kao frekvencija zvučnog vala. Izražava se u hercima (Hz) ili kilohercima (kHz) što označava broj ciklusa u jednoj sekundi. Označava se sa  $f$  i opisuje sljedećom formulom (2):

$$fT = 1 \text{ ili } f = 1/T \quad (2)$$

gdje je  $f$  = frekvencija;  $T$  = period

Iz formule (2) zaključuje se da zvučni valovi niskih frekvencija imaju dulje periode, a visokih frekvencija kraće. Frekvencija zvuka utječe na percepciju zvuka. Ljudsko uho može čuti zvukove u rasponu frekvencija od oko 20 Hz do 20 000 Hz. Zvukovi s nižom frekvencijom (npr. 20 Hz - 200 Hz) smatraju se niskofrekventnim ili dubokim zvukovima, dok se zvukovi s višom frekvencijom (npr. 2 kHz - 20 kHz) smatraju visokofrekventnim ili visokim zvukovima. Osobe mlađe dobi u pravilu mogu čuti zvukove u rasponu od 16 Hz do 20 kHz. Infrazvučne frekvencije ispod 16 Hz ljudsko uho ne percipira kao zvuk, ali uz

dovoljan intenzitet mogu se osjetiti kao nelagoda. Frekvencije iznad 20 kHz nazivaju se ultrazvuk koje odrasla osoba nije u stanju percipirati [3].

Također postoji veza između brzine zvučnog vala, valne duljine i njegove frekvencije ili perioda, a prikazuje se pomoću formule (3):

$$c = f\lambda = \lambda/T \quad (3)$$

gdje je  $c$  = brzina vala;  $f$  = frekvencija;  $\lambda$  = valna duljina;  $T$  = period

Brzina zvuka se koristi za opisivanje brzine zvučnih valova koji prolaze kroz medij i različita je ovisno o mediju. Brzina zvuka u mediju ovisi o nekoliko faktora, uključujući gustoću, elastičnost i temperaturu medija. Veća gustoća materijala znači da će se zvuk brže širiti kroz njega, dok će veća elastičnost medija rezultirati većom brzinom zvuka. Temperature medija također utječu na brzinu zvuka, pa će se tako zvuk brže širiti kroz toplije materijale. Brzinu zvuka kroz medij opisuje se formulom (4):

$$c = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (4)$$

gdje je  $c$  = brzina zvuka;  $B$  = model elastičnosti fluida;  $\rho$  = gustoća

### 2.3. Zvučni intenzitet, razina zvučnog tlaka i glasnoća zvuka

Intenzitet ili jakost zvuka označava količinu energije koja u jednoj sekundi prostruji kroz plohu od  $1 \text{ m}^2$  postavljenu okomito na smjer rasprostiranja i izražava se u watima na  $\text{m}^2$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ). Kao referentni zvučni intenzitet prema međunarodnom dogovoru akustičara uzet je zvuk jakosti od  $10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$  jer mladi čovjek sa zdravim sluhom može registrirati tu jačinu. Pri tom intenzitetu zvučni tlak je  $20 \text{ }\mu\text{Pa}$  pa je taj tlak uzet kao referentni zvučni tlak i te dvije vrijednosti zajedno čine nulte razine zvučnog tlaka i intenziteta. Najniži zvučni tlak koje zdravo uho može registrirati je  $20 \text{ }\mu\text{Pa}$  pri frekvenciji od  $1000 \text{ Hz}$  stoga se taj zvučni tlak u akustici označava s vrijednosti od  $0 \text{ dB}$  (decibela). Važno je istaknuti da  $0 \text{ dB}$  nije jednaka  $0$  u matematici već je to minimalna razina zvuka koji ljudsko uho čuje na frekvenciji od  $1000 \text{ Hz}$  gdje je ono najosjetljivije (kao standard uzeta je vrijednost od  $1 \text{ kHz}$  iako je uho najosjetljivije pri frekvencijama od oko  $3 \text{ kHz}$ ). Iz tog razloga na audiogramu je moguće čuti zvuk pri  $0 \text{ dB}$  pa čak i tiše, odnosno s negativnim predznakom ako osoba ima izuzetno osjetljiv sluh.

Glasnoća zvuka opisuje subjektivni dojam jačine zvuka koji ljudi percipiraju svojim organom sluha. Ovisi o intenzitetu zvuka, ali i o drugim faktorima poput frekvencije zvuka, trajanja i okoline u kojoj se zvuk nalazi. U tablici 1. prikazani su primjeri zvukova te njihovih razina glasnoće [4].

**Tablica 1.** Prikaz primjera zvukova i njihovih glasnoća.

Primjer zvuka	Razina glasnoće (phon)
Prag čujnosti (20 $\mu$ Pa)	0
Najtiši šapat	20
Spavaća soba noću	30
Tihi razgovor	40
Prosječna kućna buka	50
Normalan razgovor	60
Glasan razgovor	70
Prometna ulica	80
Prag neugode	90
Mlazni avion (20 m)	120
Prag bola	130

## 2.4. Vrste zvukova

- Čisti ton

Čisti ton je zapravo jednostavni periodični zvuk, najčešće sinusoidnog oblika s konstantnom frekvencijom. U prirodi čisti tonovi su rijetka pojava, ali imaju primjenu u elektroakustici za razna mjerenja [5].

- Složeni zvuk

Složeni zvuk je zvuk koji se sastoji od više različitih frekvencija. To se može postići na različite načine, kao što su kombiniranje više čistih tonova različitih frekvencija, ali s karakteristikom da se sastoji od osnovnog tona i nekoliko harmoničkih tonova koji su cjelobrojni višekratnici osnovnog tona u isto vrijeme, stvaranje harmoničkih oblika zvuka ili korištenje različitih tehnika sinteze zvuka. Složeni zvukovi su često prisutni u prirodi, kao što su zvukovi glasa, instrumenta ili zvukovi okoline [5].

- Šum

Šum je obično neželjeni zvuk koji se javlja u mnogim zvučnim izvorima i okolini. Šum se može opisati kao neuređeni i slučajni signal koji sadrži različite frekvencije i intenzitete. Postoji nekoliko vrsta šuma, uključujući bijeli šum i ružičasti šum. Bijeli šum je složeni zvuk koji u sebi sadrži veliki broj frekvencija čujnog spektra s akustičnom energijom jednako raspoređenom po cijelom spektru. Ružičasti šum je jednak bijelom šumu po spektralnom sastavu, ali intenzitet unutar spektra linearno pada u svakoj sljedećoj oktavi za 3 dB od najniže prema najvišoj frekvenciji [5].

### 3. BUKA

Svaki nepoželjan ili neugodan zvuk koji otežava normalnu komunikaciju, iritira ljude ili remeti njihov mir i dobrobit naziva se bukom. S akustičkog stajališta buka i zvuk su isti fenomen oscilacije tlaka oko srednjeg atmosferskog tlaka, ali je razlika subjektivna. Što je za nekoga buka, drugoj osobi može biti samo zvuk. Da bi zvuk bio proglašen bukom mora imati dovoljan intenzitet, biti odvojen od ostalih izvora i biti dovoljno glasan. Prijevoz, proizvodni procesi, građevinski radovi, glazbeni nastupi i ljudska aktivnost samo su neki od primjera mnogih uzroka buke [6].

Ovisno o vremenskim razlikama u razini zvučnog tlaka, buka se može kategorizirati kao stalna, povremena ili impulsna.

Stalna buka je buka sa zanemarivim varijacijama u razini zvučnog tlaka tijekom vremena praćenja.

Povremena buka je buka u kojoj se javlja do značajnih promjena razine tlaka tijekom promatranja. Potkategorije ove buke su isprekidana i fluktuirajuća buka. Kontinuirane i česte varijacije u razini tlaka visokog intenziteta karakteriziraju fluktuirajuću buku. Isprekidanu buku karakterizira pad razine buke tijekom intervala promatranja na razinu pozadinske buke. Mora proći dulje od jedne sekunde da razina tlaka ostane na konstantnoj vrijednosti različitoj od buke okoline.

Jedan ili više naleta zvučne energije, od kojih svaki traje kraće od sekunde, čine impulsnu buku. Izboji se obično klasificiraju u tipove A i B. Izboj tipa A definirane su impulsom, što se najčešće događa u eksplozijama, dok se izboj tipa B najčešće nalazi u industrijskim okruženjima i rezultat su udara. Karakteristike impulsne buke uključuju visoku vršnu vrijednost tlaka, brzo povećanje i kratko trajanje.

#### 3.1. Parametri buke

- Glasnoća

Glasnoća buke se opisuje jednako kao i glasnoća zvuka. Mjerna jedinica je son (engl. *son*) koja nije standardna mjerna jedinica u akustici ili zvučnoj tehnologiji već je to psihoakustička jedinica koja se koristi za mjerenje percepcije glasnoće zvuka od strane



ljudskog uha i mozga. Soni su definirani kao jedinice glasnoće koju prosječna osoba percipira kada čuje ton određene frekvencije i razine zvuka. Najčešće se koristi za mjerenje glasnoće tonova između 40 Hz i 4 kHz [7].

- Oštrina

Oštrina je mjera koliko je buka oštra ili suptilna, odnosno koliko je nagla promjena u frekvenciji zvuka. Oštri zvukovi imaju veću promjenu u frekvenciji u kratkom vremenskom razdoblju, dok suptilniji zvukovi imaju manju promjenu. Na primjer, zvuk pištaljke ima visoku oštrinu, dok zvuk violine ima nižu oštrinu. Mjerna jedinica je *acum*, što odgovara uskopojasnom šumu širine jednog kritičnog pojasa središnje frekvencije 1kHz i razine 60 dB [7].

- Grubost

Grubost je mjera percepcije brze modulacije (AM ili FM) prisutne u nekom zvučnom podražaju. Opisuje kvalitetu zvuka koji je grub ili nepravilan. Grubost je povezana s prisutnošću modulacije amplitude u zvuku, što može stvoriti osjećaj fluktuacije ili otkucaja. Mjerna jedinica je *asper*, što odgovara tonu frekvencije 1kHz i razine 60 dB koji je 100% amplitudno moduliran frekvencijom 70 Hz [7].

- Jačina kolebanja

Jačina kolebanja je mjera percepcije spore modulacije (AM) u nekom zvučnom podražaju brzinom promjene od 0- 20 Hz. Mjerna jedinica je *vacil*, što odgovara tonu frekvencije 1kHz razine 60 dB koji je 100% amplitudno moduliran frekvencijom 4 Hz [7].

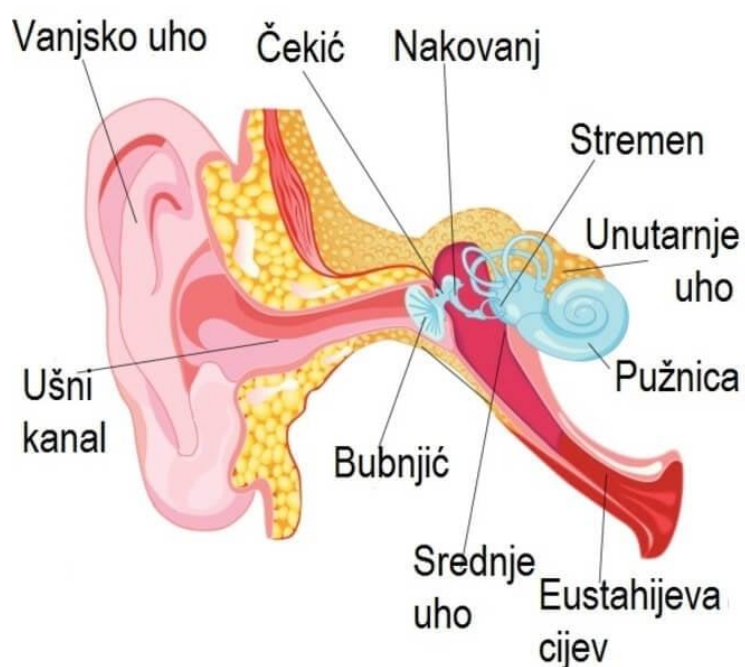
- Tonalnost

Tonalnost je mjera pristunih tonalnih komponenti (diskretnih frekvencija) u spektru buke. Određuje se uspoređivanjem amplitude tonalnih komponenti s amplitudom buke u okolišnom spektru uzimajući u obzir vrijednosti glasnoće pojedinih frekvencijskih komponenti. Mjerne jedinice ovise o primjenjenoj metodi određivanja tonalnosti buke [7].

## 4. UTJECAJ BUKE NA ČOVJEKA

### 4.1. Uho

Uho ima nekoliko funkcija uključujući prikupljanje zvuka iz okoline, pretvaranje zvuka u električne signale koje mozak može interpretirati i održavanje ravnoteže tijela. Uho se sastoji od velikog broja malih i kompleksnih organa, ali dijeli se na tri cjeline: vanjsko, srednje i unutarnje uho. Na slici broj 1. prikazani su osnovni organi ljudskog sluha [8].



**Slika 1.** Ljudsko uho i osnovni organi sluha [8]

Vanjsko uho je dio uha koji se nalazi izvan lubanje i sastoji se od ušne školjke i vanjskog slušnog kanala. Glavna funkcija vanjskog uha je prikupljanje zvučnih valova iz okoline i usmjeravanje prema bubnjiću, koji se nalazi u srednjem uhu. Ušna školjka je vidljivi dio vanjskog uha i sastoji se od hrskavice koja je prekrivena kožom. Ima različite oblike i veličine, ovisno o genetskim karakteristikama svakog pojedinca, relativno je mala i nepokretna pa uška kod ljudi nije toliko efektivna u prikupljanju zvuka i određivanju izvora

kao što je kod životinja. Ušna školjka ima važnu ulogu u prikupljanju zvučnih valova i usmjeravanju ih prema vanjskom slušnom kanalu. Vanjski slušni kanal je cjevasti prolaz koji se proteže od ušne školjke do bubnjića. Njegov zid obložen je dlačicama i žlijezdama koje proizvode cerumen (ušni vosak). Cerumen ima važnu ulogu u sprečavanju ulaska prašine, bakterija i drugih stranih tijela u uho, a također pomaže u održavanju pH ravnoteže u uhu [9].

Srednje uho je dio uha koji se nalazi između vanjskog uha i unutarnjeg uha, a sastoji se od bubnjića i tri slušne koštice: čekića, nakovanj i stremena. Glavna funkcija srednjeg uha je da prenese zvučne valove iz vanjskog u unutarnje uho. Kada zvučni valovi dospiju u uho, oni predaju mehaničku energiju titranja bubnjiću, tankoj membrani koja vibrira u skladu s frekvencijom zvuka. Što je veća amplituda zvučnih valova to je pomak membrane veći i zvuk je glasniji, a što je frekvencija viša, membrana vibrira brže i veća je visina zvuka. Ove vibracije se prenose kroz srednje uho pomoću tri slušne koštice, koje pojačavaju mehaničke vibracije iz bubnjića. Čekić, nakovanj i stremen su međusobno povezane zglobovima i formiraju lančani prijenosnik. Čekić se nalazi uz bubnjić i povezan je s nakovnjem, koji je povezan sa stremenom. Stremen se naslanja na ovalni prozorčić unutarnjeg uha i prenosi vibracije u unutarnje uho. Srednje uho također ima važnu ulogu u regulaciji tlaka u uhu preko Eustahijeve cijevi koja je zapravo kanal koji povezuje srednje uho sa stražnjim dijelom vokalnog trakta i omogućava izjednačavanje statičkog tlaka između vanjskog i srednjeg uha. Ovo je važno za održavanje normalnog tlaka u srednjem uhu i sprječavanje osjećaja pritiska ili zagušenosti u uhu, a također i za održavanje normalnog slušnog osjeta [9].

Kako bi se zvuk mogao prenijeti na unutarnje uho, vibracije u zraku moraju se pretvoriti u vibracije u endolimfi. Endolimfa je tekućina koja se nalazi unutar pužnice u unutarnjem uhu. Kada se zvukovi prenose kroz srednje uho i stignu do unutarnjeg uha, oni uzrokuju pomicanje ove tekućine i stvaraju mehaničke vibracije. Ove mehaničke vibracije u endolimfi uzrokuju pomicanje vrlo osjetljivih dlačica koje se nalaze na osjetnim stanicama u pužnici. Pomicanjem dlačica stvaraju se električni impulsi koje osjetne stanice šalju kroz slušni živac do mozga gdje se pretvaraju u osjet zvuka koji mozak može prepoznati. Količina i učestalost vibracija u endolimfi utječu na to kako osjetne stanice reagiraju i

koliko električnih impulsa generiraju, što utječe na percepciju zvuka. Uz to, endolimfa igra važnu ulogu u održavanju ravnoteže i orijentacije, jer se nalazi i u polukružnim kanalima koji pomažu u registriranju pokreta i promjena položaja glave [9].

## 4.2. Utjecaj buke na čovjeka

Prekomjerna izloženost buci ne narušava samo sluh već postupno uništava i druge organe i funkcije ljudskog tijela. Kada se jednom naruši sluh zbog buke, koji je jedan od najvažnijih sposobnosti i bez kojega kvalitetan život nije moguć, više nikada se ne može izliječiti pa je vrlo važno spriječiti ili smanjiti utjecaj buke na čovjeka koristeći razne protumjere [10].

### 4.2.1. Utjecaj buke na sluh

Oštećenje sluha uzrokovano bukom je čest problem u današnjem svijetu. Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji, izloženost buci iznad 85 dB može dovesti do oštećenja sluha, a dugotrajna izloženost buci iznad 75 dB može dovesti do gubitka sluha. Bučni zvukovi mogu uzrokovati oštećenje unutarnjeg uha, koje se sastoji od osjetnih stanica dlačica u pužnici. Oštećenje sluha uzrokovano bukom može biti akutno ili kronično [11].

Akutno oštećenje sluha je iznenadni gubitak sluha koji se razvija u kratkom vremenskom razdoblju, može se dogoditi kada je osoba izložena vrlo jakom zvuku poput eksplozije ili pucnja. Ovisno o uzroku i ozbiljnosti problema, akutno oštećenje sluha može biti privremeno ili trajno. Simptomi mogu uključivati smanjenje sluha ili potpuni gubitak sluha u jednom ili oba uha, osjećaj zvonjenja u ušima (tinitus), vrtoglavicu i druge poteškoće [11].

Kronično oštećenje sluha je gubitak sluha koji se razvija tijekom duljeg vremenskog razdoblja. To može biti uzrokovano različitim faktorima, uključujući izloženost buci, starenje, genetske čimbenike, bolesti i ozljede. Izloženost buci je jedan od najčešćih uzroka kroničnog oštećenja sluha. To se može dogoditi u okruženjima poput radnih mjesta u industriji ili građevinarstvu. Pri jakom utjecaju buke opterećuje se unutarnje uho što rezultira prolaznim pomakom praga čujnosti. Nakon dužeg mirovanja sluh odnosno prag se oporavlja i vraća u prvobitno stanje, ali osobama koje su zbog radnog okruženja

konstantno u bučnoj okolini sluh se ne uspije u potpunosti regenerirati i svakim daljnjim izlaganjem buci oporavak traje duže i samo je djelomičan. U tablici broj 2. prikazana su vremenska ograničenja za buku kroz dan. Tijekom određenog vremena ponavljanja ovog procesa uho gubi sposobnost obnove tijekom mirovanja između radnih smjena i nastaje trajni gubitak sluha ili oštećenje slušnog organa [11] .

**Tablica 2.** Ograničenja izloženosti buci

<b>INTEZITET ZVUKA (dB)</b>	<b>OGRANIČENJE IZLOŽENOSTI (SATI U DANU)</b>
90	8
92	6
95	4
97	3
100	2
102	1.5
105	1
110	0.5
115	0.25

#### 4.2.2. Utjecaj buke na zdravlje

Izloženost prekomjernoj ili dugotrajnoj buci može imati negativne učinke na fizičko i mentalno zdravlje, što dovodi do niza zdravstvenih problema.

- Problemi sa sluhom - gubitak sluha jedna je od najpoznatijih posljedica zagađenja bukom. Visoke razine buke mogu trajno oštetiti uho, rezultirajući gubitkom sluha, bilo da su prisutne na poslu, kod kuće ili na javnim mjestima. Budući da gubitak sluha može utjecati na komunikaciju, društveni kontakt i kvalitetu života, ovo je ozbiljan problem. Više od 1 milijarde mladih ljudi u opasnosti je od gubitka sluha zbog izlaganja glasnoj buci, prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) [12].

- Stres, tjeskoba i poremećaj spavanja - izloženost buci može dovesti do stresa i tjeskobe, što može imati negativan učinak na mentalno zdravlje. Kronična izloženost buci može dovesti do povećane razine stresa, što zauzvrat može dovesti do tjeskobe i depresije. Studije su pokazale da ljudi koji žive u bučnim okruženjima, poput zračnih luka ili autocesta, imaju veću vjerojatnost da će prijaviti više razine stresa, tjeskobe i depresije u usporedbi s onima koji žive u tišim okruženjima. Jedan od razloga zašto zagađenje bukom može uzrokovati stres i tjeskobu je taj što može poremetiti osjećaj kontrole nad okolinom. Kada smo izloženi glasnim i neočekivanim zvukovima, možemo osjetiti osjećaj bespomoćnosti ili nedostatka kontrole. To može dovesti do osjećaja tjeskobe i stresa. Osim toga, izloženost buci može ometati našu sposobnost koncentracije i fokusa, što može dovesti do daljnjeg osjećaja stresa i tjeskobe. Izloženost buci noću remeti san, što također može dovesti do povećane razine stresa i tjeskobe. Nekontinuirani san uzrokuje pad energije što rezultira vrlo velikim umorom što može značajno smanjiti sposobnost osobe za provođenje efikasnog rada. Kronična deprivacija sna može imati negativne učinke na mentalno zdravlje, uključujući povećanu razinu anksioznosti i depresije [12].
- Kardiovaskularne bolesti - kronična izloženost buci povezana je s povećanim rizikom od kardiovaskularnih bolesti, uključujući visoki krvni tlak, bolesti srca i moždani udar. Kronična izloženost glasnoj buci može uzrokovati oslobađanje hormona stresa u tijelu, što može dovesti do upala i drugih kardiovaskularnih problema. Istraživanja su pokazala da zvuk visokog intenziteta uzrokuje uočljiv porast krvnog tlaka uz povećan broj otkucaja srca i da dugoročno gledano takve abnormalne promjene povećavaju vjerojatnost kardiovaskularnih bolesti [12].
- Kognitivne funkcije - osim učinaka na fizičko zdravlje, zagađenje bukom također je povezano s kognitivnim oštećenjem. Izloženost buci može smanjiti kognitivne funkcije, uključujući probleme sa sposobnosti čitanja, pamćenjem, pažnjom, učenjem i razumijevanjem. Djeca izložena buci također mogu doživjeti kašnjenje u razvoju i poteškoće u učenju [12].

## 5. IZVORI BUKE NA HELIKOPTERU

### 5.1. Helikopter kao izvor buke

Zrakoplovi s rotorom kao primarno sredstvo uzgona (helikopteri) proizvode intenzivnu vanjsku, ali i unutarnju buku, koja se na neki način može usporediti s bukom motora zrakoplova s fiksnim krilima (avioni). U helikopterima su oba rotora koja stvaraju sile potrebne za let paralelna sa smjerom leta, dok je kod aviona ravnina vrtnje propelera okomita na njega. Osim toga, kada lopatica rotora prolazi kroz vrh vrtloga koji nastaje prolaskom prijašnje lopatice koja se nalazi ispred nje pojavljuje se karakteristični zvuk „šamaranja“ (*slapping*) koji proizvode helikopteri, osobito pri spuštanju. Većina ove stvorene vanjske buke (sl. 2) na kraju dolazi do kabine, gdje je poznata kao unutarnja buka i predstavlja ozbiljan zdravstveni rizik za pilote i druge putnike [3].

Zbog svih ovih vrsta buka helikopter ostavlja karakteristični „zvučni otisak“. Što se tiče udaljenosti na kojoj se helikopter može prepoznati, taj "otisak" je ključan za vojne helikoptere. U civilnim djelatnostima utječe na izračun i mjerenje dopuštenog intenziteta buke. Inženjeri koji se trude umanjiti vanjsku buku helikoptera koriste razne metode pri izradi, a jedna od njih je smanjenje broja okretaja glavnog i repnog rotora. Općenito govoreći, to smanjuje buku koju proizvodi rotor i buku koju stvara komprimiranje zraka pri velikim brzinama, osobito ako lopatice imaju tanke i/ili zakrivljene vrhove, ali zahtijeva povećanje duljine samih lopatica, što predstavlja drugačiji inženjerski izazov. Međutim, da bi se lopatice rotora okretale nižom brzinom, površina lopatica mora biti dovoljno povećana, što znači da rotor mora biti teži da bi pružio iste performanse. Masa transmisije i veličina glavnog pogonskog vratila rastu kao rezultat manjeg broja okretaja i većeg okretnog momenta. Kao posljedica toga, konačni proizvod uvijek uključuje kompromis između visokih performansi i niske razine buke koji najbolje ispunjava sve zahtjeve namjene helikoptera [3].

### 5.2. Buka glavnog rotora

Kada se buka mjeri s položaja neposredno iznad osi rotacije rotora s električnim pogonom može se čuti samo tupi zvuk "šištanja" zraka zbog lopatica rotora koje se gibaju kroz zrak. Molekule zraka koje se ubrzavaju u graničnom sloju zraka koji struji oko lopatica rotora,

a zatim se odbacuju u nepravilnom i kaotičnom kretanju preko izlaznog ruba lopatice rotora, glavni su izvor ove buke. Zračni vrtlozi nastaju na vrhovima lopatica kako se napadni kut lopatice rotora povećava, zajedno sa silom uzgona, i mogu promijeniti karakteristike buke u nešto oštiji zvuk. Učinci nadolazećeg zraka koji proizvode uvjeti lebdjenja helikoptera doprinose ovoj promijeni. Budući da zvuk koji nastaje u vrtložnom strujanju i turbulentni zrak nema istu frekvenciju, nastala buka mjerena s veće udaljenosti (tzv. „daleko polje“) zbog širokopojasnog (kontinuiranog) spektra ima karakter „bijelog šuma“. Ako se buka mjeri blizu rotora (u tzv. bliskom polju“), u širokopojasnom spektru pojavit će se tonalne (harmoničke) komponente kao posljedica prolaska lopatica rotora i time spektar postaje kombiniranog karaktera. Frekvencija prolaska lopatica će rasti s brojem okretaja i s brojem lopatica. Budući da je ljudsko uho osjetljivije na više nego na niže frekvencije, moguće je da četverokraki repni rotor malog promjera brže proizvede veću količinu buke nego dvokraki glavni rotor većeg promjera koji je sporiji, iako kroz repni rotor prolazi manja količina zraka [3].

Uz buku koju proizvodi rotiranje glavnog rotora koja je prethodno navedena, impulsna buka je još jedna posebna vrsta buke koja se može čuti kada helikopter leti horizontalnim letom. Postoje dva slučaja koja bi mogla proizvesti ovakvu buku. U prvom slučaju, vrh lopatice koja se kreće prema naprijed u smjeru leta helikoptera (napredujuća) s brzinom koja joj omogućuje da snažno i brzo komprimira zrak ispred sebe, rezultira udarnim valovima koji se šire kao velika promjena tlaka ispred vrha lopatica. "Izbijanje" ovih impulsa može biti vrlo neugodno kada su blizu. Ta se buka pretvara u niz "prigušenih" udara koji se mogu čuti na velikoj udaljenosti kada glavni rotor razmjerno brzo rotira, a taj je zvuk poznat kao visokobrzinska impulsna buka (*High Speed Impulse Noise* - HSI). U drugom slučaju impulsna buka koja se naziva *blade slap* nastaje kada rotirajuća lopatica prolazi kroz vrtloge koje stvara prethodna lopatica i naziva se *Blade vortex Interaction* (BVI). Dok se lopatica kreće kroz zrak, ona stvara vrtloge iza sebe, što može utjecati na performanse sljedećih lopatica. Interakcija između lopatica i vrtloga može dovesti do promjena u aerodinamičkim silama na lopaticama, kao što su promjene u uzgonu i otporu uz nastajanje udarnih valova. Ovi uvjeti se mogu dogoditi u režimu laganog spuštanja, ulaska u zaokret i ponekad pri umjerenim brzinama u horizontalnom letu. U ovom slučaju



dolazi do promjene tlaka zraka, što za uzrok ima stvaranje ove vrste buke koja se najčešće širi ispod i ispred putanje leta [3].

### 5.3. Buka repnog rotora

Buka koju proizvodi repni rotor helikoptera uzrokovana je interakcijom između lopatica rotora i okolnog zraka i može se reći da je u osnovi ista kao i buka glavnog rotora, ali kako se repni rotor nalazi iza glavnog rotora postoji mogućnost neujednačenog toka zraka koji nastaje strujanjem s glavnog rotora i tada se javlja dodatna pojava buke zbog njihove interakcije. Kako se repni rotor okreće, iza sebe stvara vrtlog zraka koji može generirati visok ton "cviljenja". Ovaj zvuk može biti posebno glasan kada helikopter lebdi ili se kreće pri malim brzinama, budući da tada repni rotor radi jače kako bi održao stabilnost helikoptera. Postoji nekoliko načina za smanjenje buke repnog rotora. Jedan od njih je modificiranje samih lopatica repnog rotora. Promjenom oblika ili profila lopatica moguće je smanjiti količinu buke koju proizvode. Upotrebom materijala koji apsorbiraju buku na repnom rotoru se također može smanjiti buka repnog rotora. Ovi materijali mogu apsorbirati neke od zvučnih valova koje proizvodi repni rotor, smanjujući ukupnu razinu buke. Postoje alternativni načini koji se koriste modificiranjem dizajna samog helikoptera kao što su na primjer neki helikopteri opremljeni *Fenestron* sustavom, koji je zatvoreni sustav rotora koji smanjuje količinu turbulencije zraka i vrtloga koje proizvodi rotor čime može značajno smanjiti razinu buke. Ovaj dizajn također može poboljšati sigurnost smanjenjem rizika od ozljeda od repnog rotora [3].

### 5.4. Buka motora

Primarni izvori buke koju proizvode turbovratilni motori su radijalni i/ili aksijalni kompresor(i), stupnjevi turbine i širokopojasni šum koja se stvara u komori za izgaranje. Ventilator kompresora turbovratilnog motora obično emitira visokofrekventni ton koji brzo slabi dok putuje kroz atmosferu [3].

Manji helikopteri često imaju klipne motore, što može biti značajan izvor buke za tu vrstu zrakoplova. Većina napora da se smanji emisija buke klipnih motora helikoptera kojom dominira šum ispuha bila je usmjerena prema korištenju okrenutih ispušnih cijevi, prigušivača i rezonatora [3].

Neutišana buka ispušnih plinova je širokopojasna i najintenzivnija je na niskim frekvencijama. U spektru buke ispušnih plinova mogu se uočiti izraženi tonovi (harmonici) povezani s učestalošću paljenja gorivne smjese u cilindrima. Moderna tehnologija sposobna je uspješno smanjiti buku ispušnih plinova motora [3].

## 5.5. Aerodinamička buka

Oblik i dizajn trupa mogu stvoriti turbulencije i smetnje u opstrujavanju dok se helikopter kreće kroz zrak. To može rezultirati dodatnom bukom dok zrak struji oko i preko trupa. Buka koju stvara trup može biti posebno izražena pri velikim brzinama, tijekom složenih manevara ili kada se leti bez vrata, prozora ili sa spuštenim rampama kada je strujanje zraka oko zrakoplova poremećeno i turbulencije su povećane [3].



**Slika 2.** Izvori buke na helikopteru Bell 206B: 1) buka interakcije glavnog repnog rotora; 2) buka repnog rotora; 3) buka motora; 4) visokofrekventna širokopojasna buka glavnog rotora; 5) visokobrzinska impulsna buka; 6) aerodinamička buka

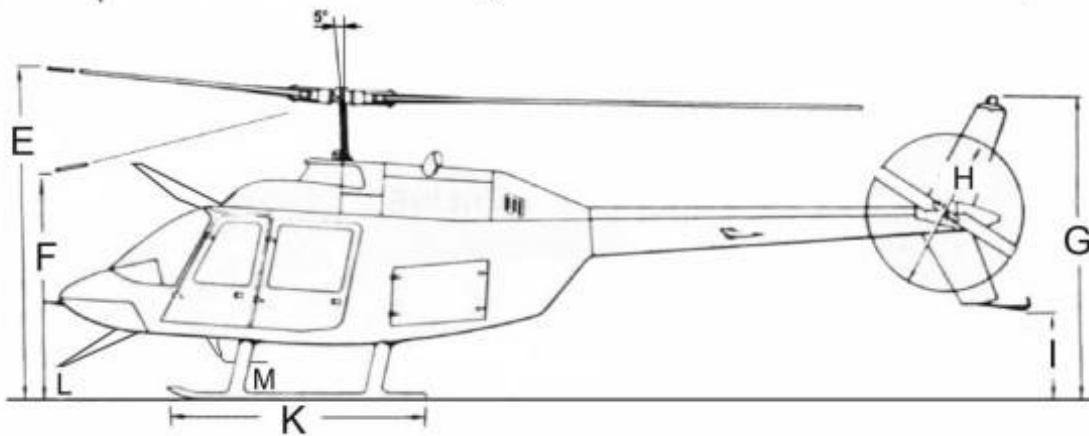
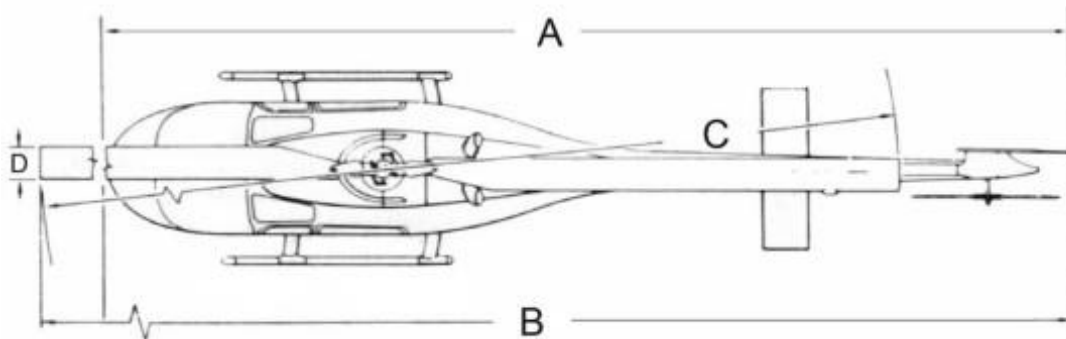
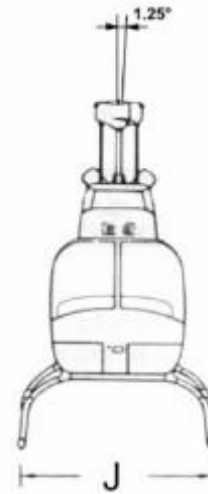
## 6.0. KARAKTERISTIKE HELIKOPTERA BELL 206B

Bell 206B je popularan laki helikopter koji se proizvodi od 1960-ih. Jedan je od najprepoznatljivijih i najkorištenijih helikoptera na svijetu, s više od 7300 proizvedenih primjeraka do danas. Izvorno je dizajniran kao civilni helikopter, ali je od tada prilagođen raznim vojnim i policijskim ulogama. Bell 206B se u Hrvatskoj vojsci koristi kao školski helikopter za obuku učenika letača. Jedna od ključnih značajki helikoptera Bell 206B je njegova kompaktnost i svestranost. Može prevoziti do pet putnika, što ga čini idealnim za razne primjene, uključujući hitne medicinske službe, policiju i turizam. Dizajn helikoptera također mu omogućuje rad u širokom rasponu okruženja, uključujući urbana područja, planine i iznad vodenih površina. Helikopter Bell 206B pokreće turbovratilni motor Rolls Royce 250- C20J. Sustav glavnog rotora helikoptera sastoji se od dvije lopatice koje osiguravaju uzgon i stabilnost tijekom leta. Repni rotor koji se također sastoji od dvije lopatice nalazi na kraju repne grede i odgovoran je za kontrolu smjera i suprotstavljanje okretnom momentu što ga stvara glavni rotor. U tablici 3. prikazane su osnovne karakteristike, a na slici 3. osnovne dimenzije helikoptera.

**Tablica 3.** Osnovni tehnički podatci helikoptera Bell 206B

<b>Proizvođač</b>	Bell Helicopter Textron - USA
<b>Zemlja proizvodnje</b>	SAD
<b>Pogonska skupina</b>	Rolls Royce 250- C20J
<b>Masa praznog helikoptera</b>	730 kg (1609 lbs)
<b>Maksimalna poletna masa (MTOW)</b>	1451.5 kg (3200 lbs)
<b>Max brzina</b>	130 kn (240 km/h)
<b>Krstareća brzina</b>	70 kn (130 km/h)
<b>Posada</b>	5
<b>Max visina leta</b>	20000 ft (6096 m)
<b>Istrajnost</b>	2: 40 h
<b>Gorivo</b>	Ukupno: 92. 06 U.S. gal (348.5 l) Iskoristivo: 91.03 U.S. gal (344.5 l)

A	- Dužina helikoptera .....	9.50 m
B	- Dužina helikoptera s rotorom .....	11.90 m
C	- Promjer rotora .....	10.16 m
D	- Dužina tetive lopatice .....	0.33 m
E	- Max. visina helikoptera na prednjoj lopatici ....	≈ 3.00 m
F	- Min. visina helikoptera na prednjoj lopatici ....	≈ 1.80 m
G	- Visina helikoptera na repu .....	≈ 3.20 m
H	- Promjer repnog rotora .....	1.70 m
I	- Visina repne skije .....	≈ 1.00 m
J	- Razmak skija .....	≈ 2.00 m
K	- Dužina skija .....	2.70 m
L	- Klirens donjih škara .....	≈ 0.30 m
M	- Klirens VHF antene .....	≈ 0.40 m



Slika 3. Osnovne dimenzije helikoptera [13]

## 6.1. Izvori buke na helikopteru Bell 206B

### 6.1.1. Motor

Osnovna namjena turbovratilnog motora Rolls Royce 250-C20J koji je prikazan na slici 4. je da preko sustava transmisije pogoni rotore helikoptera. Maksimalna nazivna izlazna snaga na vratilu slobodne turbine je 313 kW, ali zbog ograničenja transmisije iskoristivo je približno 75% maksimalne nazivne snage (236 kW). Motor je modularne izvedbe što pridonosi jednostavnijem i ekonomičnijem održavanju, a sastoji se od četiriju osnovnih sekcija (modula): aksijalno- radijalnog kompresora, komore izgaranja, sklopa turbina s kolektorom ispušnih plinova i reduktora [13].

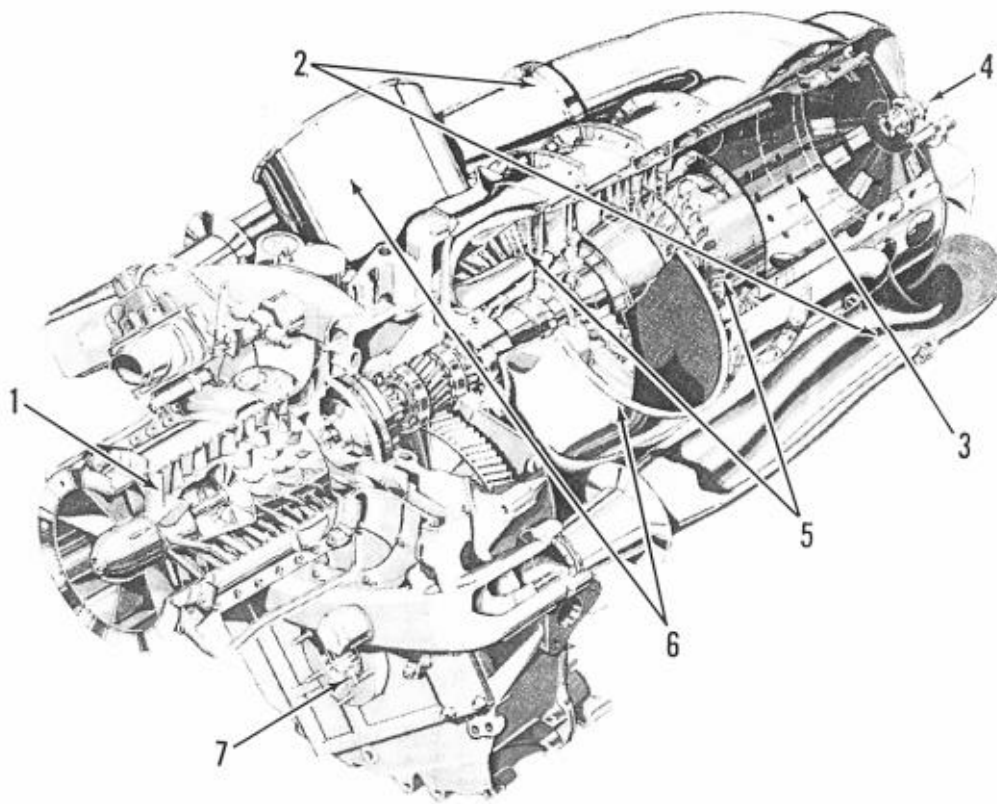
Kompresor uzima okolni zrak kroz uvodnik zraka helikoptera, komprimira ga kroz šest aksijalnih stupnjeva te jednim radijalnim stupnjem i usmjerava u prstenasti kolektor odakle se dvjema cijevima vodi do komore izgaranja. Tvore ga četiri osnovna dijela: prednji oslonac, rotor, kućište i difuzor s prstenastim kolektorom. Na kućištu prednjeg oslonca kompresora s lijeve i desne strane ugrađen je po jedan priključak za dovod vrućeg zraka iz prstenastog kolektora. Na priključke se vrući zrak dovodi preko ventila protiv zaleđivanja smještenog na prednjoj gornjoj strani prstenastog kolektora. Vrući zrak, doveden na kućište prednjeg oslonca kompresora, ulazi u svih sedam upornica i izlazi kroz proreze na izlaznim rubovima upornica te kroz rupice na prednjoj strani kućišta ležaja br. 1, onemogućavajući na taj način formiranje leda u uvodniku zraka motora [13].

Komora izgaranja sastoji se od vanjskog kućišta i plamene cijevi. Gorivna mlaznica i svjećica smještene su na stražnjoj strani vanjskog kućišta komore izgaranja i prolaze u unutrašnjost plamene cijevi kroz njezin stražnji dio. Drenažni ventil, smješten s donje strane vanjskog kućišta komore izgaranja osigurava istjecanje neizgorenog goriva iz komore izgaranja nakon zaustavljanja motora. Ventil se automatski zatvara kada se u komori izgaranja uspostavi određeni tlak. Najveći dio komprimiranoga zraka dovedenog u vanjsko kućište komore izgaranja usmjerava se u plamenu cijev, a mali dio oko cijevi prema sklopu turbina gdje se koristi za hlađenje turbina i aksijalno rasterećenje ležaja br. 8. U plamenoj cijevi se komprimirani zrak miješa s raspršenim gorivom. Smjesa goriva i zraka se početno pali svjećicom, nakon čega nastaje kontinuirani proces izgaranja koji traje sve dok se ne prekine dotok goriva. Taj proces rezultira širenjem plinova koji se

usmjeravaju u sklop turbina. Plamena cijev treba osigurati brzo miješanje goriva i zraka te kontroliranu duljinu i položaj plamena kako on ne bi dodirivao njezine stijenke. Isto tako, vrući plinovi nastali izgaranjem smjese goriva i zraka trebaju biti ohlađeni na odgovarajuću temperaturu prije negoli uđu u sklop turbina. Zbog toga veći dio zraka usmjerenog u plamenu cijev služi za hlađenje (sekundarni zrak), a manji dio za izgaranje (primarni zrak) [13].

Sklop turbina s kolektorom ispušnih plinova pretvara energiju plinova nastalih u komori izgaranja u mehanički rad. Sastoji se od pet osnovnih dijelova: kućišta turbine kompresora, rotora turbine kompresora, kućišta slobodne turbine, rotora slobodne turbine i kućišta kolektora ispušnih plinova. Energiju plinova nastalih u komori izgaranja apsorbiraju rotor turbine kompresora pogoni rotor kompresora "N1" zupčanički niz reduktora motora, a rotor slobodne turbine pogoni "N2" zupčanički niz reduktora. Obje turbine imaju po dva stupnja. S obzirom na to da rotor turbine kompresora ni na koji način nije mehanički povezan s rotorom slobodne turbine, broj okretaja rotora turbina je različit. Jedina veza između rotora je putem plinova koji na svom putu od komore izgaranja do ispušnih cijevi moraju proći kroz sva četiri stupnja [13].

Reduktor je glavna strukturna sekcija motora na koju se pričvršćuju sve ostale sekcije, kompresor s prednje strane te sklop turbina s kolektorom ispušnih plinova i komorom izgaranja sa stražnje strane. Na njemu su smještene četiri montažne stope koje zajedno s upornicama služe za pričvršćivanje motora za strukturu helikoptera. Osnovna namjena reduktora je reduciranje broja okretaja rotora slobodne turbine na transmisiji prihvatljivu razinu te pogon niza agregata. Agregati pogonjeni "N1" zupčaničkim nizom su: uljna pumpa, davač broja okretaja rotora kompresora/ turbine kompresora, regulator protoka goriva (FCU), visokotlačna gorivna pumpa, starter- generator, pomoćni generator (ukoliko je ugrađen). Agregati pogonjeni "N2" zupčaničkim nizom su: jednosmjerna spojnica (FWU), davač broja okretaja rotora slobodne turbine, centrifugalni regulator broja okretaja rotora slobodne turbine (PTG) [13].



- 1 - AKSIJALNO-RADIJALNI KOMPRESOR
- 2 - CIJEVI ZA DISTRIBUCIJU ZRAKA IZ PRSTENASTOG KOLEKTORA KOMPRESORA U KOMORU IZGARANJA
- 3 - KOMORA IZGARANJA
- 4 - SVJEĆICA
- 5 - TURBINE
- 6 - ISPUŠNE CIJEVI
- 7 - GLAVNA POGONSKA PRIRUBNICA

**Slika 4.** Motor Rolls Royce 250-C20J [13]

### 6.1.2. Rotor i reduktori

Najveći izvor buke tijekom leta je interakcija rotora sa strukturom helikoptera i zraka. Glavni rotor služi za stvaranje aerodinamičke sile. Osim što predstavlja nosivu površinu

helikoptera, osigurava promjenu brzine, visine i smjera leta. Sastoji se od: glavčine, lopatica i ograničavača mahanja. Lopatice glavnog rotora su potpuno metalne konstrukcije s aluminijskom ramenjačom, saćastom ispunom i oplatom. Korijen lopatice izveden je višeslojno radi povećanja čvrstoće. Reduktor glavnog rotora preko dva stupnja redukcije osigurava potreban broj okretaja za pravilan rad glavnog rotora. Preveliki broj okretaja glavnog rotora rezultira povećanim centrifugalnim silama koje mogu preopteretiti rotirajuće dijelove. Isto tako ne treba zanemariti činjenicu da preveliki broj okretaja može dovesti do štetne pojave nadzvučnog opstrujavanja vrhova lopatica i stvaranja dodatnog velikog zračnog otpora. Premalen broj okretaja rezultira prekomjernim savijanjem lopatica prema gore, a samim time i njihovim prevelikim naprezanjem. Prvi stupanj redukcije izveden je konusnim zupčanicom kojim se postiže redukcija od 6016 na 1845 okretaja u minuti. Drugi stupanj redukcije postiže se "planetarnim" zupčaničkim nizom koji ostvaruje redukciju od 1845 na 395 okretaja u minuti [13].

Repni rotor je namijenjen za uravnoteženje reaktivnog momenta glavnog rotora i upravljanje helikoptera oko uspravne osi. Smješten je s lijeve strane repnog konusa i sastoji se od glavčine i lopatica. Lopatice repnog rotora su potpuno metalne konstrukcije s oplatom od nehrđajućeg čelika i aluminijskom saćastom ispunom. Napadni rub je ojačan s abrazivnom trakom od nehrđajućeg čelika. Reduktor repnog rotora osigurava potreban broj okretaja za pravilan rad repnog rotora. Redukcija od 6016 na 2560 okretaja u minuti izvedena je konusnim zupčanicom, slično prvom stupnju redukcije reduktora glavnog rotora [13].



## 7. ZAŠTITA OD BUKE

### 7.1. Uređaji za zaštitu sluha

Uređaji za zaštitu sluha su dizajnirani za zaštitu od glasnih zvukova koji bi mogli oštetiti sluh. Djeluju tako da smanjuju intenzitet zvučnih valova prije nego što dođu do bubnjića. Dostupni su različiti tipovi uređaja za zaštitu sluha, svaki s vlastitom razinom smanjenja buke (NRR), koja označava količinu buke koju mogu blokirati. Tri glavne kategorije uređaja za zaštitu sluha su kanalni čepići, koji su u biti čepići za uši spojeni fleksibilnom trakom za glavu, čepići za uši koji se mogu nositi u vanjskom slušnom kanalu kako bi se spriječio ulazak zvuka i slušalice koje pokrivaju vanjsko uho i djeluju kao akustična barijera (antifoni).

- Antifoni

Antifoni obično imaju ocjenu smanjenja buke (NRR) od 26 dB ili više, što znači da mogu smanjiti razinu buke do 26 decibela. Često se koriste u industrijskim okruženjima gdje su radnici izloženi visokim razinama buke, kao što su gradilišta, tvornice i zračne luke. *Antiphon* štitnici za uši dizajnirani su da budu udobni za nošenje dulje vrijeme, s podstavljenim ušima i trakama za glavu koje se mogu podesiti za sigurno prisanje. Podstavljene školjke za uši tijesno pristanaju oko ušiju, stvarajući jastučić između uha i štitnika za uši. Podstava je često izrađena od pjene ili drugih mekanih materijala koji se oblikuju prema obliku uha za udobno nalijeganje i brtvljenje između jastuka i uha o čemu i ovisi učinkovitost slušalica. Traka za glavu na antifonima obično je podesiva, omogućujući nositelju da prilagodi veličinu i oblik svoje glave. To osigurava da su antifoni sigurni i da ne klize ili se pomiču tijekom uporabe. Antifoni su dizajnirani tako da budu lagani, što smanjuje pritisak na glavu i uši, te ih čini udobnijima za nošenje dulje vrijeme. Neki antifoni dizajnirani su od prozračnih materijala kako bi se spriječilo nakupljanje topline i smanjilo znojenje oko ušiju. Na slici 5. prikazani su antifoni.



**Slika 5.** Antifoni [14]

- Čepići

Čepići za uši na slici 6. su mali elastični predmeti dizajnirani za umetanje u ušni kanal kako bi se smanjio intenzitet zvuka koji dopire do bubnjića. Dolaze u različitim oblicima, veličinama i materijalima, a naširoko ih koriste ljudi koji trebaju zaštititi svoj sluh od glasnih zvukova. Postoje različite vrste čepića za uši, uključujući čepiće za uši od pjene, silikonske čepiće za uši i voštane čepiće za uši. Pjenasti čepići za uši najčešći su tip i izrađeni su od meke pjene koja se može smotati u mali cilindar i umetnuti u ušni kanal. Silikonski čepići za uši mogu se ponovno koristiti i mogu se očistiti i pohraniti za kasniju upotrebu. Voštani čepići za uši izrađeni su od mekanog materijala koji se može oblikovati i koji se može oblikovati tako da pristaje ušnom kanalu.



**Slika 6.** Čepići za uši [15]

- Čepići s naglavnim obručem

Slika 7. ilustrira kako su napravljeni čepići za uši s nosačem u obliku obruča fleksibilnih vrhova od silikona, vinila ili pjene u obliku gljive, šupljih kuglica ili čunjeva koji su pričvršćeni na tanki plastični obroč. Mogu se koristiti smještajem obruča na glavu, iza glave ili ispod brade, a jednostavno se skidaju i mijenjaju.



**Slika 7.** Čepići s naglavnim obručem [16]

- Korištenje više načina zaštite sluha u isto vrijeme

Brojne su situacije u kojima korištenje samo jedne zaštite nije dovoljno. Korištenje "kombinirane" zaštite u određenim okolnostima, kao što su čepići za uši i slušalice, treba uzeti u obzir, ali to zahtijeva poseban oprez, te je važno razumjeti prednosti "kombinacije" prije njezine uporabe. Prema ispitivanjima, učinak "kombinirane" zaštite nije ukupni učinak korištenih zaštitnika, već se umjesto toga kreće od 5 do 15 dB iznad učinka najbolje zaštite korištene u kombinaciji. Prema istraživanju, većina kombinacija čepića za uši i slušalice nudi najvišu razinu zaštite na 2 kHz i više. Čepić za uši je ključna komponenta zaštite na nižim frekvencijama, a dodatno prigušenje se kretalo od 3 do 10 dB u usporedbi s boljim uređajem za zaštitu sluha.

## 7.2. Zaštita od buke na helikopteru Bell 206B

### 7.2.1. Kaciga HGU- 56/P

HGU- 56P kaciga je vrsta letačke kacige dizajnirane za korištenje od strane pilota helikoptera i članova posade, a također se koristi kao glavna kaciga za posadu helikoptera u Hrvatskom ratnom zrakoplovstvu. Proizvodi je kompanija Gentex Corporation i jedna je od najpopularnijih helikopterskih kaciga koja se danas koristi. HGU- 56/P izrađena je od laganih i izdržljivih materijala otpornih na udarce, uključujući kevlar, karbonska vlakna i polikarbonate. Kaciga je dizajnirana kako bi pružila vrhunsku zaštitu glave u slučaju udara, a istovremeno je udobna za nošenje tijekom duljeg razdoblja. Kaciga ima niz naprednih tehnologija, uključujući integriranu masku za kisik i komunikacijski sustav. Maska za kisik osigurava sigurno prijanjanje i osigurava da nositelj ima stalnu opskrbu kisikom tijekom leta, dok komunikacijski sustav omogućuje jasnu i pouzdanu komunikaciju između pilota i članova posade. HGU- 56/P također uključuje podesivi sustav vizira koji se može lako podići ili spustiti, ovisno o uvjetima leta. Vizir je izrađen od polikarbonata otpornog na udarce i dizajniran je za zaštitu lica i očiju nositelja od vjetra, krhotina i drugih opasnosti. Kaciga je dizajnirana za korištenje raznih konfiguracija slušalica, uključujući standardne zrakoplovne slušalice i sustave montirane na kacigu. Jastučići za uši obloženi su pjenastom podstavom za maksimalnu udobnost i

smanjenje razine vanjske buke koja dopire do ušiju korisnika. Kaciga HGU- 56/P je dizajnirana s modularnim sustavom koji omogućuje jednostavnu prilagodbu i integraciju dodatnih značajki. To znači da piloti i članovi posade mogu dodavati ili uklanjati komponente ovisno o svojim specifičnim potrebama, čineći kacigu vrlo svestranim dijelom opreme. Jedan primjer ovog modularnog dizajna su uklonjivi jastučići za uši. Jastučići se mogu jednostavno ukloniti i zamijeniti različitim vrstama zaštite za uši, ovisno o razini buke u kokpitu ili specifičnim potrebama misije. Uz integrirani komunikacijski sustav, HGU- 56/P ima napredni mikrofon za uklanjanje buke. Mikrofon svojom usmjerenom karakteristikom prijama potiskuje pozadinsku buku i osigurava jasnu i pouzdanu komunikaciju između pilota i članova posade, čak i u bučnim okruženjima. HGU- 56/P je kompatibilan s raznim sustavima koji se koriste pri noćnim letovima, uključujući ANVIS (Aviator's Night Vision Imaging System) i NVG (Night Vision Goggles). Vizir kacige može se lako podići ili spustiti kako bi se prilagodio korištenju ovih sustava, a školjka kacige dizajnirana je tako da minimizira bilo kakve smetnje u vidnom polju korisnika. Druga važna značajka HGU- 56/P je njegova sposobnost da zaštiti korisnika od udara i balističkih prijetnji. Školjka kacige izrađena je od laganih i izdržljivih materijala koji mogu izdržati udarce krhotina i druge opasnosti. Kaciga se može opremiti balističkim štitnikom za lice za dodatnu zaštitu od balističkih prijetnji. HGU- 56/P je kompatibilna sa Gentex sustavom za aktivno smanjenje buke (Aircrew Helmet Noise Reduction - ANHR) koji je već postavljen u kacigu ili dolazi kao dodatak. Dizajniran je za dodatno smanjenje buke u glasnijim zrakoplovima ili na dužim misijama. Sustav se može napajati iz zrakoplovnih sustava ili pomoću baterija, pri visokim ili niskim impedancijama, ovisno o zrakoplovu. Ovisno o vrsti i karakteristikama buke, sustav omogućuje programiranje precizne modifikacije aktivnih postavki redukcije, omogućavajući optimizaciju za pojedini zrakoplov ili čak za određenu fazu leta. Sustav je dizajniran za kontinuirani rad do 40 sati na baterijsko napajanje, uz mogućnost spajanja na izvor napajanja iz zrakoplova. Prvenstveno je namijenjen borbenim zrakoplovima kao što su F-15, F-16 i F-22, kao i transportnim avionima i borbenim helikopterima. U tablici 4. prikazane su karakteristike kacige HGU- 56/P [17].

**Tablica 4.** Osnovne specifikacije kacige HGU- 56/P

HGU- 56/P			
Težina	Zaštita od udara	Frekvencija (Hz)	Prigušenje dB(A)
1338 g	Do 175 G	250	14
		1000	21
		2000	26
		4000	37
		8000	42

### 7.2.2. CEP

Komunikacijski čepić za uši (Communications earplug – CEP) je vrsta uređaja za zaštitu sluha koji je dizajniran za smanjenje buke i jasnu komunikaciju te je vrlo čest izbor za pojedince koji rade u bučnim okruženjima, kao što su gradilišta, zračne luke i vojne operacije. Kada se koristi pri radu u helikopter čepić za uši sastoji se od male slušalice koja se umetne u ušni kanal i reproducira komunikacijske signale iz kabinskog komunikacijskog sustava, na slušalicu se nastavlja žica koja se spaja na komunikacijski sustav preko konektora na stražnjoj strani kacige. Čepić za uši je dizajniran da osigura sigurno i udobno pristajanje, a istovremeno blokira štetne razine buke. Komunikacijske mogućnosti čepića za uši postižu se korištenjem ugrađenog mikrofona i zvučnika. Mikrofon hvata glas korisnika i šalje ga na prijemnik, dok zvučnik reproducira dolazne audio poruke. Mnogi komunikacijski čepići za uši također imaju napredne tehnologije za smanjenje buke, poput aktivnog poništavanja buke ili pasivnog prigušivanja buke. Aktivno poništavanje buke koristi mikrofone za otkrivanje vanjske buke, a zatim generira protufazni zvučni signal za poništavanje buke. Pasivno prigušivanje buke uključuje upotrebu materijala koji apsorbiraju zvuk ili fizičkih barijera za blokiranje buke. Komunikacijski čepići za uši mogu se koristiti s raznim uređajima, uključujući radio, pametne telefone i druge komunikacijske sustave [18].

Device	Frequency in Hertz								
	125	250	500	1,000	2,000	3,150	4,000	6,300	8,000
HGU-56/P Mean	18.0	19.2	22.7	33.3	31.7	40.4	42.5	43.8	43.4
SD	3.5	3.2	3.5	6.0	4.6	5.0	4.1	6.1	5.8
HGU-56/P Mean With CEP SD	29.1	26.0	33.0	30.6	40.1	50.2	55.6	54.1	53.5
	6.2	6.6	6.4	3.9	3.9	4.4	6.7	5.7	5.7

**Slika 8.** Prigušenje buke na različitim frekvencijama kacige HGU- 56/P i kombinacije HGU- 56/P i CEP- a [15]



**Slika 9.** Kaciga HGU- 56/P sa CEP- ovima [15]

## 8. MJERENJE I ANALIZA UNUTARNJE BUKE HELIKOPTERA BELL 206B

### 8.1. Analizator zvuka Norsonic Nor140

Analizator zvuka Norsonic Nor140 ubraja se u zvukomjere klase 1, a koristi se za globalno i profilno mjerenje razine zvučnog tlaka/intenziteta. Moguće je mjeriti, pohranjivati i kasnije analizirati čitav niz akustičkih veličina kao što su trenutna razina, ekvivalentna razina, maksimalna i minimalna razina zvuka, percentili i dr. Zvukomjer koristi tercne i oktavne filtre te paralelno može mjeriti i računati velik broj veličina s tri vremenske konstante. Oprema uz zvukomjer uključuje: DC 12V izvor napajanja, avionski priključak, GRAS niskofrekventni mikrofoni, nor1251 akustički kalibrator, instalacijski CD, USB kabel, zaštitnik od vjetra, upute za uporabu i prijenosnu torbu [3].



**Slika 10.** Zvukomjer Norsonic Nor140 [19]



## 8.2. Postupak mjerenja

Mjerenje buke je izvedeno 17.04.2023 na helikopteru Bell 206B registarske oznake 602, na stajanci helikoptera zrakoplovne baze "Pukovnik Mirko Vukušić" u Zemuniku Donjem te u pilotažnoj zoni Kašić-Novigrad. Mjerenje je provedeno mjernim instrumentom Norsonic Nor140 postavljenim u kabini helikoptera između pilota i kopilota u razini glave sukladno standardu ISO 5129:2001. Zvuk je sniman u periodu od 5 sekundi za svaki režim leta.

**Tablica 5.** Opći podatci o uvjetima mjerenja

Datum	17.04.2023
Vrijeme (Lokalno)	12:30-13:00
Lokacija	LDZD/ PZ Kašić- Novigrad
Zrakoplov	Bell 206B
Visina	GND- 4000 ft
Meteo	17 C°; 070/10 kt
Mjerni instrumenti	Norsonic Nor140

## 8.3. Režimi leta u kojima je izvršeno mjerenje

Mjerenja su izvršena u svim fazama leta kroz koje helikopter Bell 206B prolazi prilikom jednog svog leta. Obuhvaćene su faze na stajanci prilikom pokretanja, lebdenja i provjere raspoložive snage, zatim prelazak u progresivan let, karakteristični režimi i snage u letu koje se koriste prilikom vježbe te sam prilaz na slijetanje. U sljedećoj tablici 6. mjerenja će biti imenovana, numerirana, i ukratko objašnjena te će biti naveden broj zapisa iz kojeg su iščitani relevantni podaci.

**Tablica 6.** Podatci o izvršenom mjerenju

Faza leta	Opis režima	Broj zapisa
Pokretanje	1. Mali gas– helikopter na malom gasu (Flight Idle), N1 60- 64%	0008
	2. Puni gas- gas otvoren u potpunosti, N2/NR 100%	0009
Lebdenje	3. IGE- lebdenje u uvjetima zračnog jastuka (In Ground Effect)	0010
	4. OGE- lebdenje u uvjetima izvan zračnog jastuka (out of Ground Effect- 50 ft AGL)	0011
Prelazak u progresivni let	5. Prelazak u prog. let- prelazak iz lebdenja u progresivni let 80% TQ (Torque), povećanje brzine i visine	0012
Horizontalan let	6. 50 kt- let na min. brzini	0021
	7. 70 kt- krstareća brzina	0015
	8. let na max. brzini 85% TQ	0014
Zaokreti	9. 70 kt/20°- zaokret nagiba 20° brzinom 70 kt	0016
	10. 70 kt/30°- zaokret nagiba 30° brzinom 70 kt	0017
	11. 70 kt/ 45°- zaokret nagiba 45° brzinom 70 kt	0018
Vertikalni režimi	12. 70 kt; 500ft/min penjanje- režim penjanja sa 70 kn i 500 ft/min promjene visine	0019
	13. 70 kt; 500ft/min spuštanje- režim spuštanja sa 70 kn i 500 ft/min promjene visine	0020
	14. 60kt; 85% TQ- režim penjanja sa max. snagom	0013
	15. 60kt; 20% TQ- režim spuštanja s min. snagom	0022
Prilaz za slijetanje	16. Prilaz za slijetanje- prelazak iz progresivnog leta u zalebdenje	0024

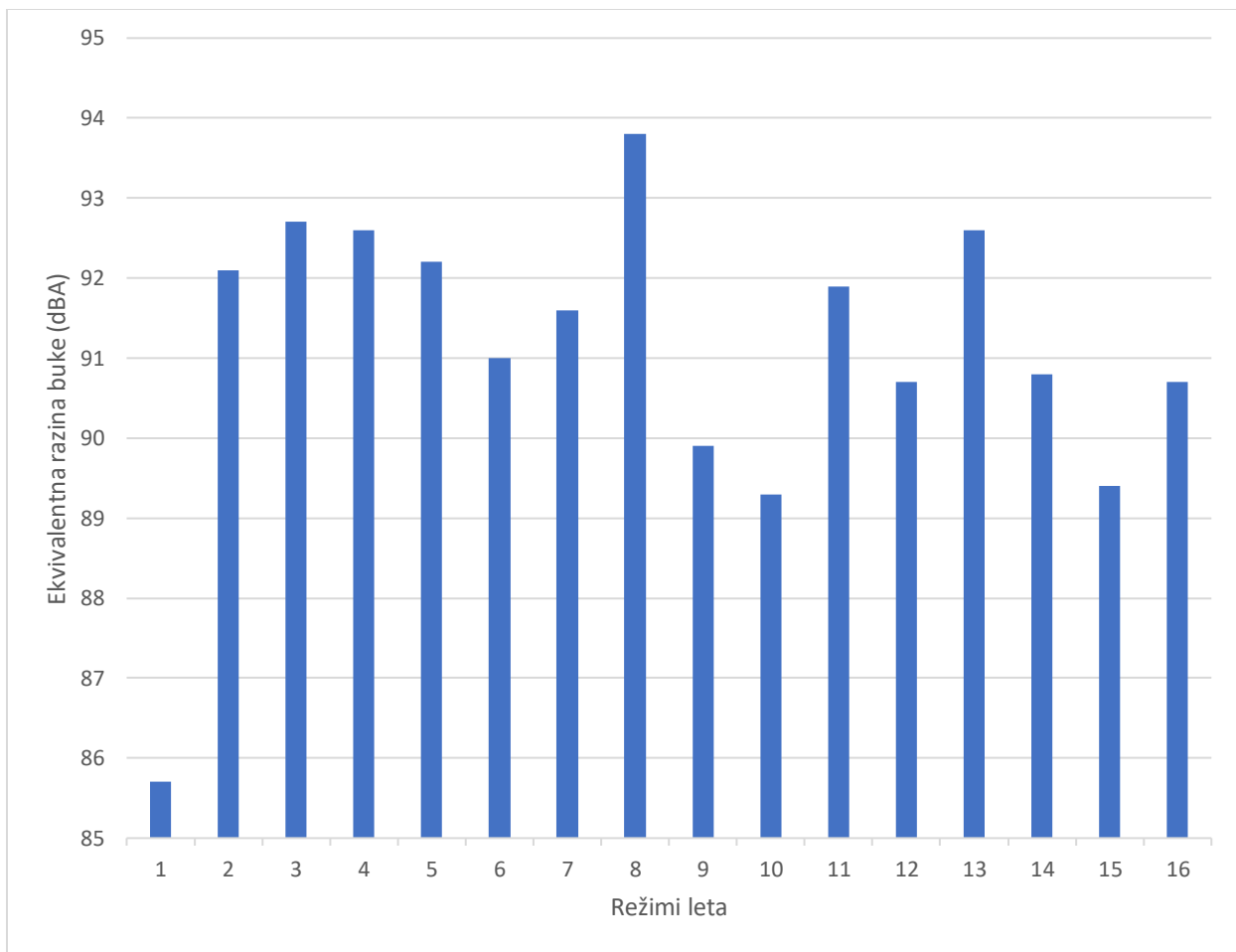
## 8.4. Rezultati mjerenja

Tablice i grafikoni koristit će se u ovom poglavlju za prikaz prikupljenih i izmjerenih vrijednosti za svaki režim leta helikoptera Bell 206B. Režimi su identificirani brojem ili nazivom u tablicama i grafikonima, a tablica sadrži detaljniji opis svakog režima. Mjerna jedinica decibel (dB) ili dBA koristit će se za prikaz svih mjernih vrijednosti buke.

Rezultati mjerenja unutarnje buke u kabini korištenjem A-ponderiranom metodom prikazani su u tablici 7. zajedno s ekvivalentnom vrijednošću razine buke za svaki režim leta. Grafikon 1. prikazuje grafičku usporedbu razine buke za svaki režim leta. Tablica 7. i grafikon 1. pokazuju da režim 8 odnosno let na max. brzini pri 85% TQ ima najveću ekvivalentnu razinu buke zabilježene pomoću A-ponderiranom metodom, a sljedeće najveće vrijednosti imaju režimi 3- lebdenje u uvjetima zračnog jastuka; 4- lebdenje u uvjetima izvan zračnog jastuka i 13- režim spuštanja sa 70 kn i 500 ft/min promjene visine dok najniža ekvivalentna razina buke izmjerena je u režimu 1- helikopter na malom gasu (Flight Idle), N1 60- 64%. Svi ostali režimi imaju razinu buke od najmanje 89,9 dBA, što je znatno više od prosjeka.

**Tablica 7.** Rezultati mjerenja ekvivalentne razine unutarnje buke helikoptera Bell 206B A-ponderiranom metodom pri određenim režimima leta

Režim	1	2	3	4	5	6	7	8
LAeq [dBA]	85,7	92,1	92,7	92,6	92,2	91	91,6	93,8
Režim	9	10	11	12	13	14	15	16
LAeq [dBA]	89,9	89,3	91,9	90,7	92,6	90,8	89,4	90,7

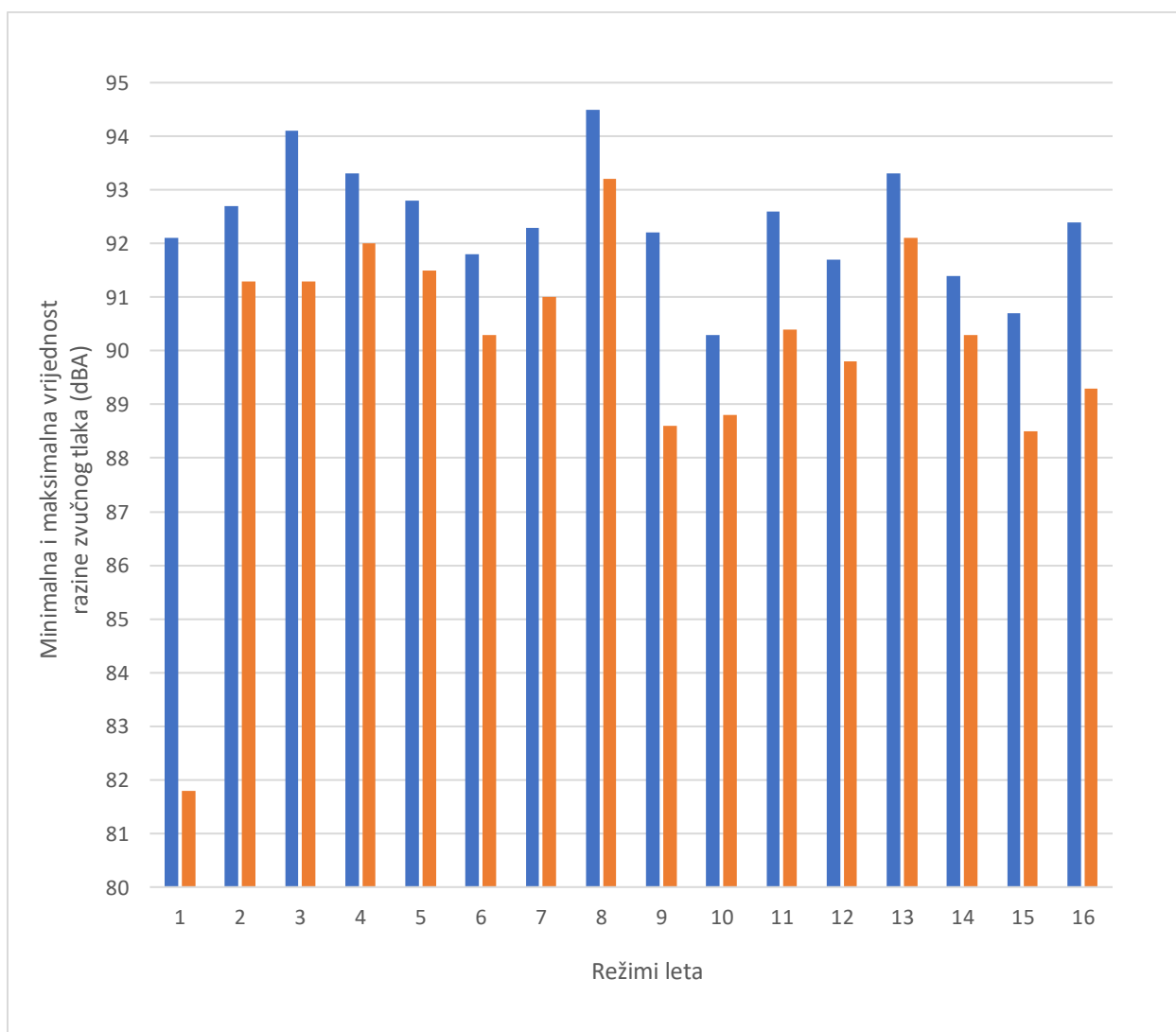


**Grafikon 1.** Rezultati mjerenja ekvivalentne razine unutarnje buke helikoptera Bell 206B A pri određenim režimima leta.

U tablici 8. mogu se vidjeti rezultati mjerenja unutarnje kabinske buke A-ponderiranom metodom odnosno minimalne i maksimalne vrijednosti razine buke tijekom mjerenja u trajanju od 5 sekundi. Grafikon 2. prikazuje grafičku usporedbu minimalnih i maksimalnih vrijednosti razine buke za svaki režim leta. Iz tablice i grafa se vidi da u dva najbučnija režima vrijednosti prelaze preko 94 dBA, a da minimalna vrijednost je opet pri radu helikoptera na malom gasu.

**Tablica 8.** Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B A-ponderiranom metodom, maksimalna i minimalna vrijednost pri određenim režimima leta

Režim	1	2	3	4	5	6	7	8
Max [dBA]	92,1	92,7	94,1	93,3	92,8	91,8	92,3	94,5
Min [dBA]	81,8	91,3	91,3	92	91,5	90,3	91	93,2
Režim	9	10	11	12	13	14	15	16
Max [dBA]	92,2	90,3	92,6	91,7	93,3	91,4	90,7	92,4
Min [dBA]	88,6	88,8	90,4	89,8	92,1	90,3	88,5	89,3

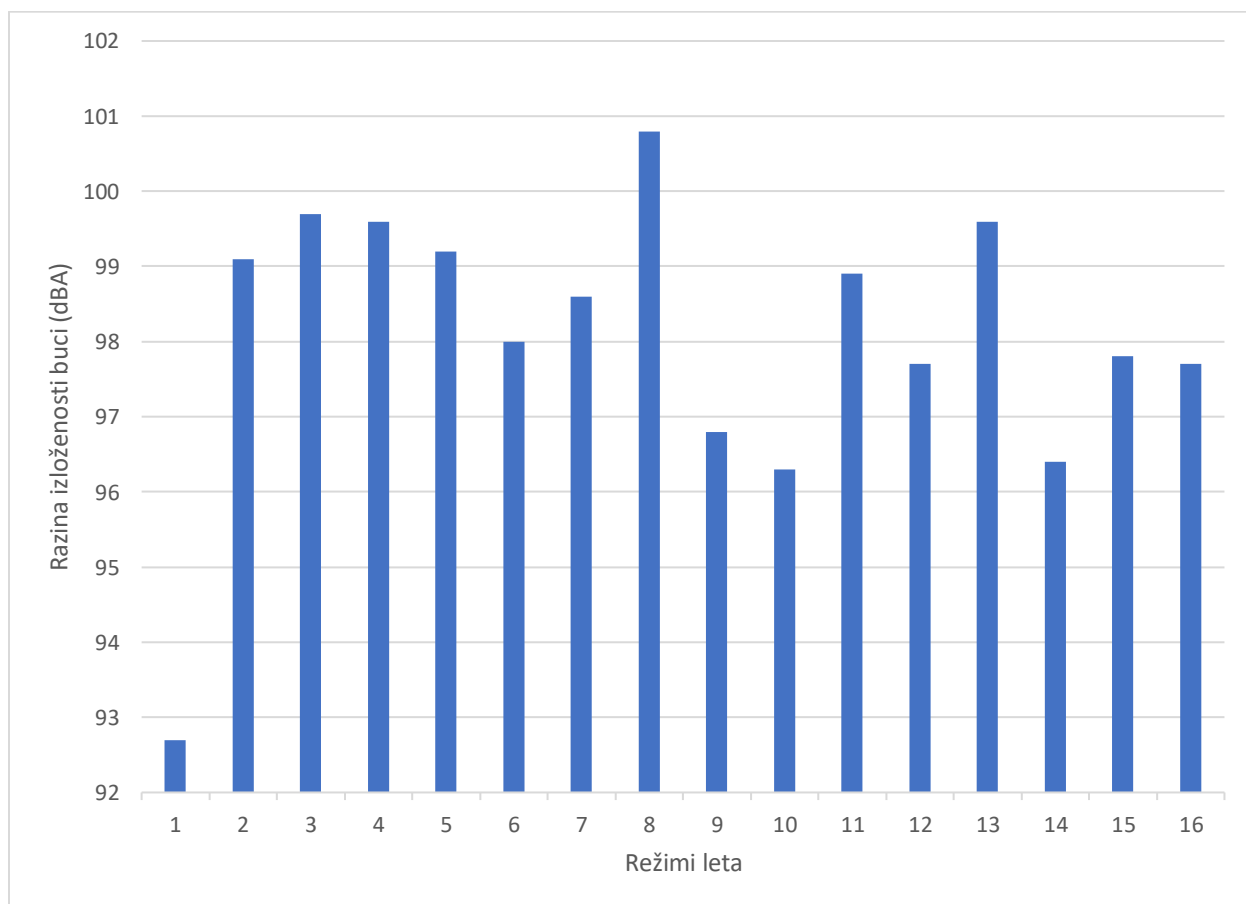


**Grafikon 2.** Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B A-ponderiranom metodom, maksimalna i minimalna vrijednost pri određenim režimima leta

U tablici 9. prikazani su rezultati mjerenja unutarnje kabinske buke A–ponderiranom metodom, a prikazana je razina izloženosti zvuku, a na grafikonu 3. se vidi grafički prikaz razine buke za sve režime leta. Iz tablice i grafikona se vidi da je u svim režimima vrijednost buke iznimno velika i prelazi 96 dBA sa maksimalnom vrijednosti od 100.8 dBA, osim u režimu Mali gas gdje je vrijednost buke 92.7 dBA.

**Tablica 9.** Rezultati mjerenja razine izloženosti unutarnjoj buci helikoptera Bell 206B A pri određenim režimima leta

Režim	1	2	3	4	5	6	7	8
LE [dBA]	92,7	99,1	99,7	99,6	99,2	98	98,6	100,8
Režim	9	10	11	12	13	14	15	16
LE [dBA]	96,8	96,3	98,9	97,7	99,6	96,4	97,8	97,7

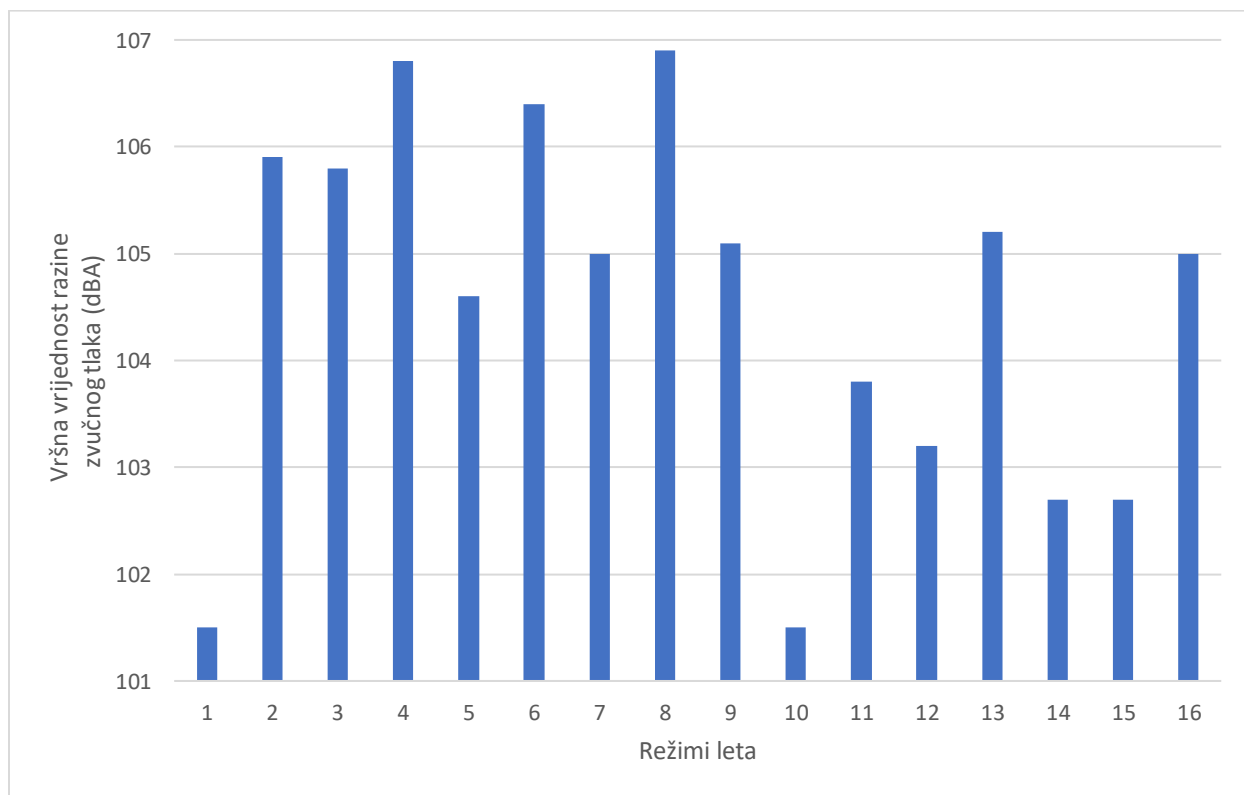


**Grafikon 3.** Rezultati mjerenja razine izloženosti unutarnjoj buci helikoptera Bell 206B A pri određenim režimima leta

U tablici 10. mogu se vidjeti rezultati mjerenja unutarnje kabinske buke A-ponderiranom metodom, a prikazane su vršne vrijednosti buke pri svakom režimu, a grafikon 4. prikazuje grafički prikaz vršnih razina buke za sve režime leta. Iz tablice i grafikona vidljivo je da u skoro svim režimima vršna vrijednost buke prelazi 102.5 dBA, osim u režimima 1 („mali gas“) gdje je vrijednost buke 101.5 dBA i režima 10 („zaokret nagiba 30°“) s brzinom 70 kn gdje je vrijednost buke također 101.5 dBA. Maksimalna vrijednost je 106.9 dBA u režimu 8 („let na maksimalnoj brzini pri 85 % TQ“).

**Tablica 10.** Rezultati mjerenja vršnih vrijednosti unutarnje buke helikoptera Bell 206B A-ponderiranom metodom pri određenim režimima leta

Režim	1	2	3	4	5	6	7	8
L <sub>Apeak</sub> [dBA]	101,5	105,9	105,8	106,8	104,6	106,4	105	106,9
Režim	9	10	11	12	13	14	15	16
L <sub>Apeak</sub> [dBA]	105,1	101,5	103,8	103,2	105,2	102,7	102,7	105



**Grafikon 4.** Rezultati mjerenja vršnih vrijednosti unutarnje buke helikoptera Bell 206B A-ponderiranom metodom pri određenim režimima leta.

U tablicama 11. i 12. prikazani su rezultati tercnog mjerenja buke helikoptera u frekvencijskom rasponu od 6.3 Hz do 20 kHz za sve režime leta, a u grafikonima od 5. do 20. se može vidjeti grafički prikaz razine buke u dB po tercama za sve režime leta.

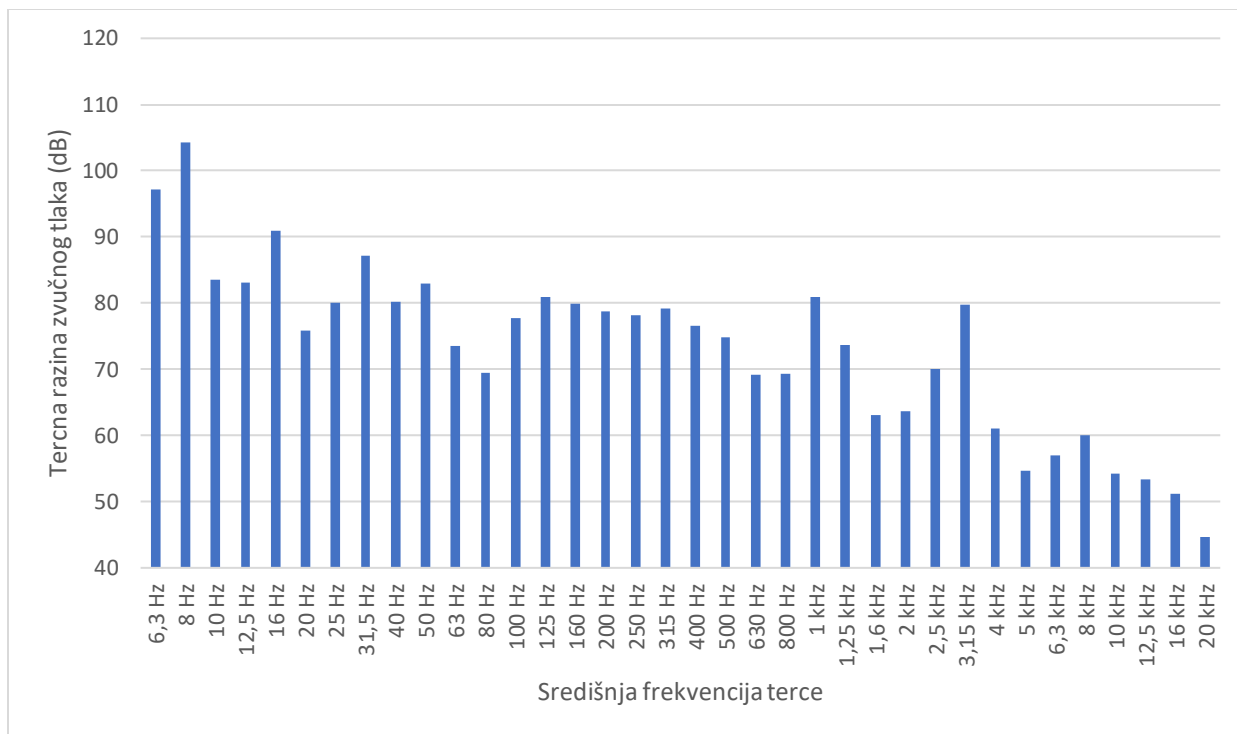
**Tablica 11.** Vrijednosti tercnog mjerenja u dB unutarnje buke helikoptera Bell 206B u režimima leta 1- 8

Središnja frekvencija terce	Režimi							
	1	2	3	4	5	6	7	8
6,3 Hz	97,2	86,1	95,7	103,6	91,5	89,6	90,4	98,7
8 Hz	104,3	86,1	95,1	91,4	90,1	83,9	87,7	90,8
10 Hz	83,6	89	96,1	89,4	94,2	86,1	91	88,5
12,5 Hz	83,1	110,5	112,2	109,8	114,1	107,2	109,5	110,8
16 Hz	91	96,7	98,9	95,6	100,1	93,4	95,6	97,2
20 Hz	75,8	77,2	87,1	85,7	84,7	87,1	87,6	91,3
25 Hz	80,1	93,9	100,5	94,2	96,8	102,8	104,3	101,7
31,5 Hz	87,1	87,3	93,4	88,8	92	92,3	92,2	93,5
40 Hz	80,2	87,4	97,7	93,1	93,4	94,2	91,5	92,1
50 Hz	82,9	83,7	89,3	85,5	89,3	92	92,4	90,2
63 Hz	73,5	75,3	83,2	80,4	80	88,3	89,3	82,6
80 Hz	69,4	80,6	85,7	83	85,3	82,7	83,1	85,5
100 Hz	77,8	88,6	91,8	89,2	90,7	91,9	89,6	91
125 Hz	80,9	83,2	91	87	88,7	92,2	88,8	89,5
160 Hz	79,9	83,7	88,5	89,4	90	88,7	90,3	89,1
200 Hz	78,7	83,3	88,6	87,7	88,8	85,8	86,9	86,8
250 Hz	78,2	85,3	88	87,8	87,9	86,4	87,5	88,6
315 Hz	79,2	85,8	88	84,2	86	81,2	80,3	85,1
400 Hz	76,6	81,4	83,7	80,9	82,2	80,7	80,8	85,9
500 Hz	74,9	84,1	82,3	82,5	82	82,1	80,9	85,6
630 Hz	69,2	87,7	90,2	88,7	89,8	86,1	85,2	90,5
800 Hz	69,3	80	81,8	83,4	83,3	78,3	81,1	84,1
1 kHz	80,9	78,3	77,5	78,1	77,8	76,6	76,6	80,8
1,25 kHz	73,7	84,7	84,4	86,2	80,7	85,3	86,8	85,8
1,6 kHz	63,1	77,8	76,5	78,7	77,9	76	76,8	79
2 kHz	63,7	82,1	75,4	77,4	77,6	76,7	77,6	79
2,5 kHz	70,1	75,9	73	73,7	74	72,7	74,3	76,6
3,15 kHz	79,7	74,7	70,8	72,2	72,8	72,3	72,5	75,1
4 kHz	61,1	71,7	69,1	70	70,3	69,9	71,6	71,9
5 kHz	54,6	68,3	65,8	66,9	67,4	66,4	67,2	69,1
6,3 kHz	57	65,5	63,2	63,7	63,6	62,9	63,3	65,7
8 kHz	60,1	63,3	60,8	61,2	61,7	60,6	61,6	63,3
10 kHz	54,3	65	61,3	60,4	61,9	60	60,7	61,3
12,5 kHz	53,3	67,1	64,2	63,7	66	60,2	59	60,1
16 kHz	51,2	61,8	59,2	56,3	59,1	57	57,3	60,1
20 kHz	44,7	54,5	56,4	48,3	53,4	50	51,1	56,2

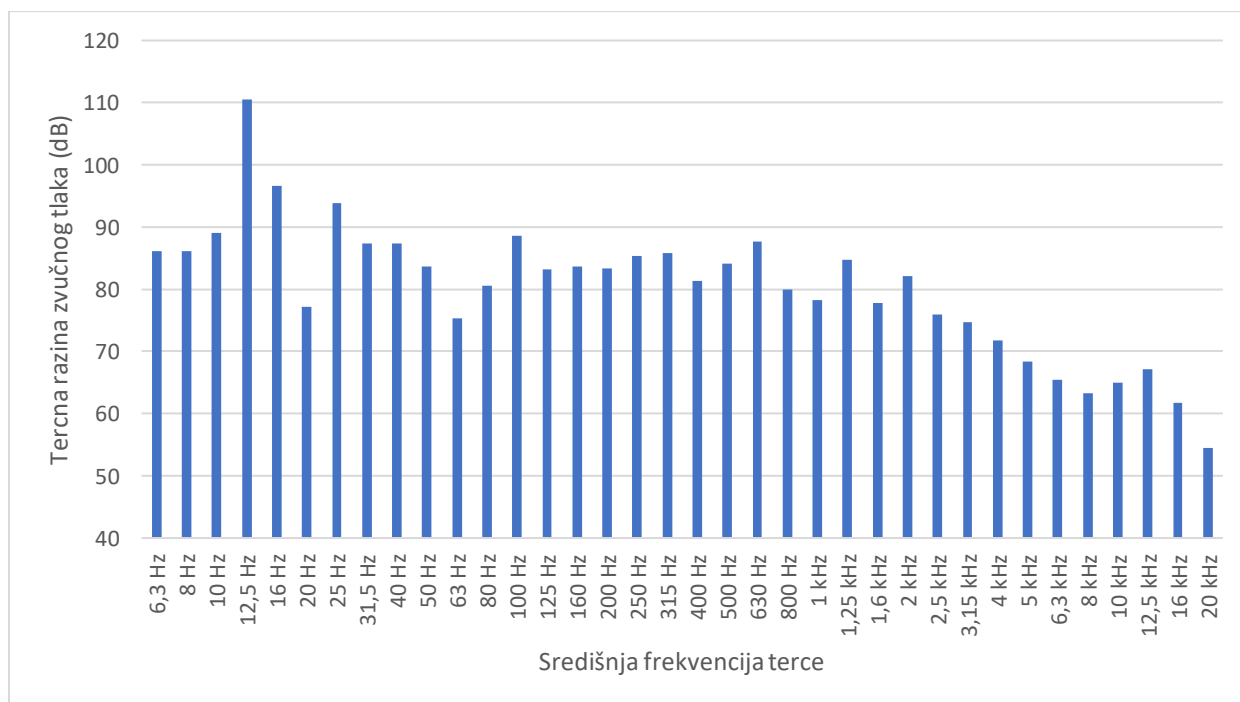


**Tablica 12.** Vrijednosti tercnog mjerenja u dB unutarne buke helikoptera Bell 206B u režimima leta 9- 16

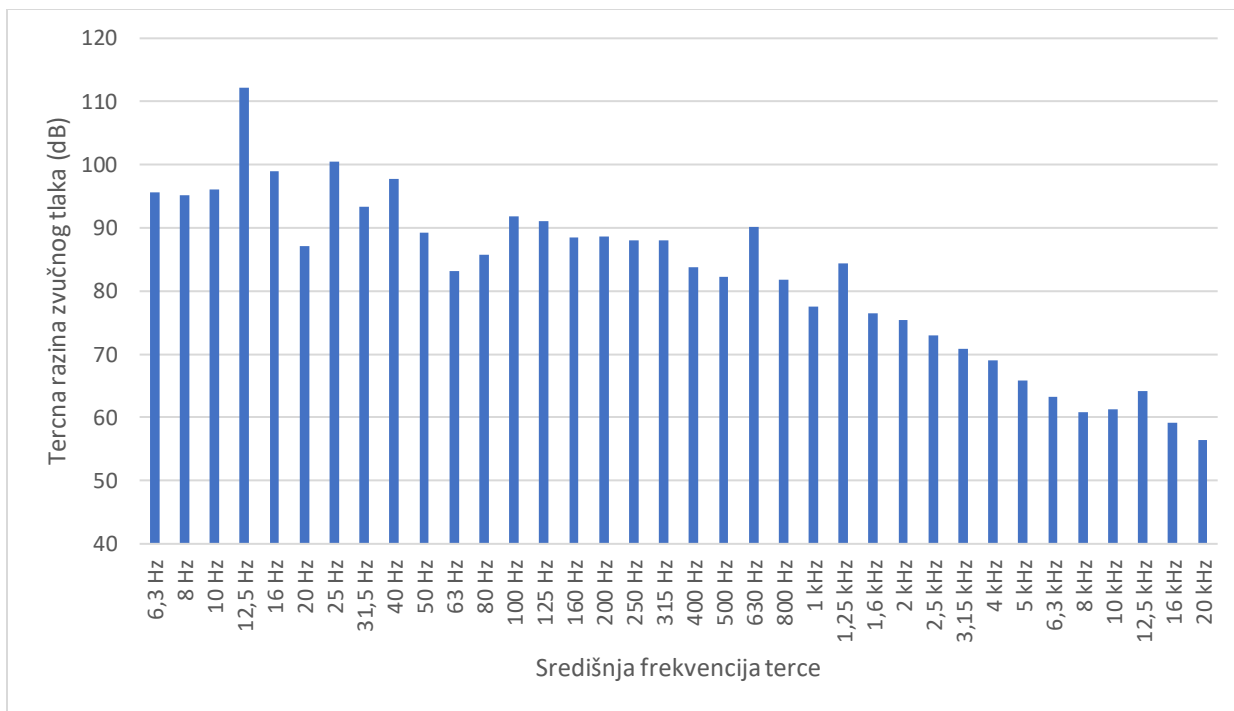
Središnja frekvencija terce	Režimi							
	9	10	11	12	13	14	15	16
6,3 Hz	87,2	88,2	93,8	89,1	89,5	90,6	91	85,4
8 Hz	85,1	86,8	90,6	86,5	84,4	84	84,6	78,4
10 Hz	87,3	88,5	95	89,2	86,9	85,6	88,2	87,2
12,5 Hz	108,6	110,1	111,3	110,2	107,9	106,9	111,3	108,9
16 Hz	94,8	97,1	98,4	96,4	94	95	97,3	94,4
20 Hz	88,4	89,7	91,1	89,3	88,5	86,4	87,6	84,4
25 Hz	105,5	106,3	109,1	102,6	102,5	104,8	99	102,5
31,5 Hz	95,7	96,1	97,1	93,1	94,9	94,5	93,9	92,8
40 Hz	94,1	97,5	92,3	91,2	92,4	95,5	95,1	97,3
50 Hz	94,9	95	90,7	90,3	94,8	92,2	90,7	96,3
63 Hz	89,8	87,9	88,9	85,2	92,6	86,2	84,2	91
80 Hz	84,6	83,7	84,7	83,3	85	83,7	82,4	85,8
100 Hz	90,3	90,8	91,4	90,1	91,6	92,6	90,3	89,7
125 Hz	89,3	87,8	92	87,9	89,3	89,5	87,6	93
160 Hz	90,5	89,1	89	89,9	90,6	87,1	91,9	91,6
200 Hz	85,8	85,3	87,4	86,4	86,1	84,5	87,6	88,9
250 Hz	85,9	85,5	86,8	87,6	88,2	87,3	87,3	89,2
315 Hz	84,2	81,4	82,9	82,1	84,6	81,5	83,9	85,8
400 Hz	84,1	79,3	80,4	79,7	81,7	79,9	79,5	82,2
500 Hz	83,6	79,4	80,9	78,6	81	80,1	78,6	79,8
630 Hz	84,3	85,8	89,8	86,8	85,3	81,3	88,5	84,5
800 Hz	78,5	78	80,3	81,6	78,6	75,8	81	77,6
1 kHz	76,6	76	76,9	75,9	77	75,9	74,3	75,9
1,25 kHz	76,3	79,1	83,8	83,2	88,9	81,9	77,3	81,7
1,6 kHz	77,1	76,4	76,2	76,1	78,1	76,8	76,5	76,7
2 kHz	78,2	75,8	76,3	76,1	78	79,9	77,3	78,4
2,5 kHz	72,3	72,4	73,8	72,8	72,6	72,1	73,3	74,2
3,15 kHz	71,3	71,7	71,9	72,9	72,2	72,1	72,7	73,6
4 kHz	69,9	70	69,5	70,2	70,1	71,8	70,4	73,1
5 kHz	66,7	66,7	67,6	67,1	67,3	67,2	67,4	68
6,3 kHz	63,6	63,8	65,3	63,3	63,6	63,4	63,5	63,8
8 kHz	61	61,3	62,2	61,1	61,1	61	61,5	61,6
10 kHz	60,7	60,5	60,5	60,4	60,2	61,2	61,2	61,5
12,5 kHz	59,6	58,7	58,9	58,7	58,9	58,9	59,7	62
16 kHz	58,1	57,1	57,2	57,3	57,3	57,9	57	56,4
20 kHz	52,1	52,6	52,8	52	51,1	51,4	52,2	49



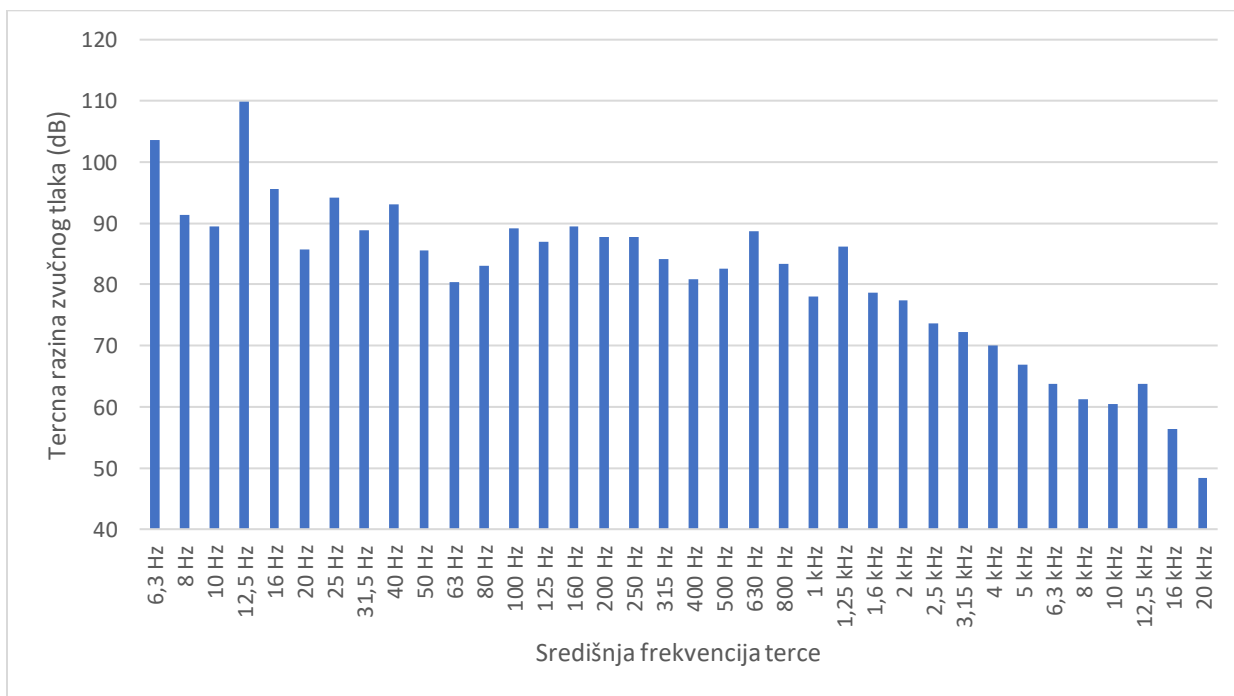
**Grafikon 5.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B na malom gasu



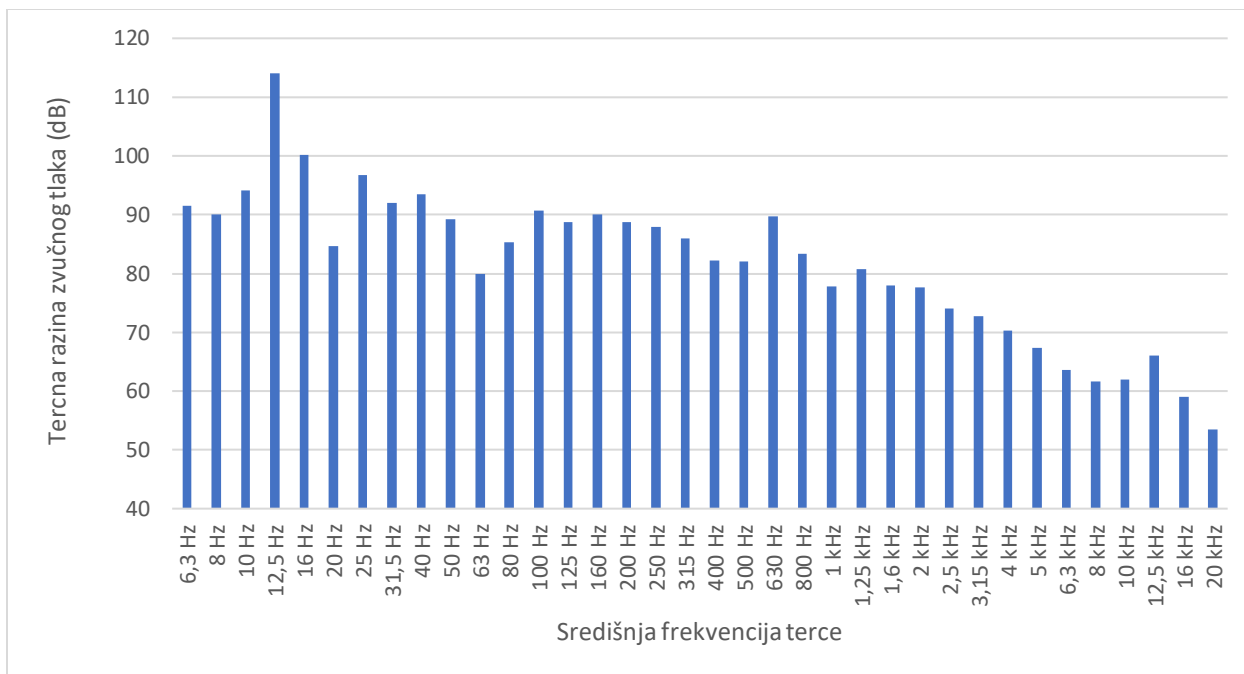
**Grafikon 6.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B na punom gasu



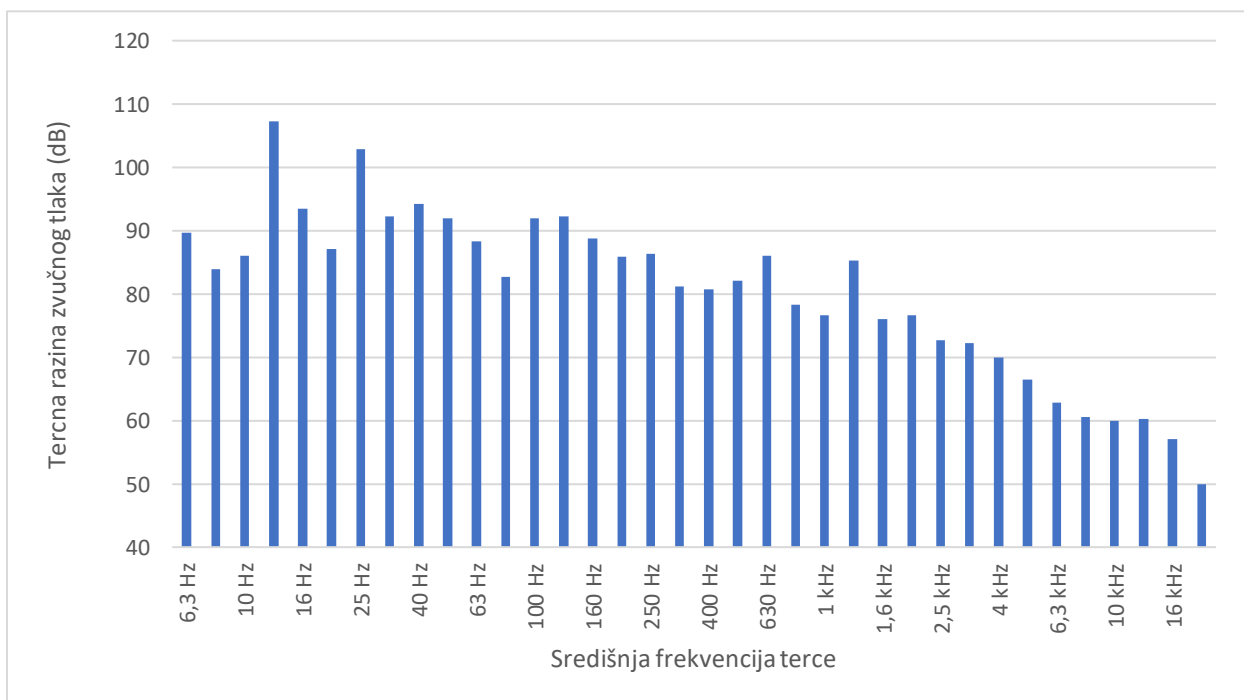
**Grafikon 7.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B prilikom lebdenja u uvjetima zračnog jastuka - IGE



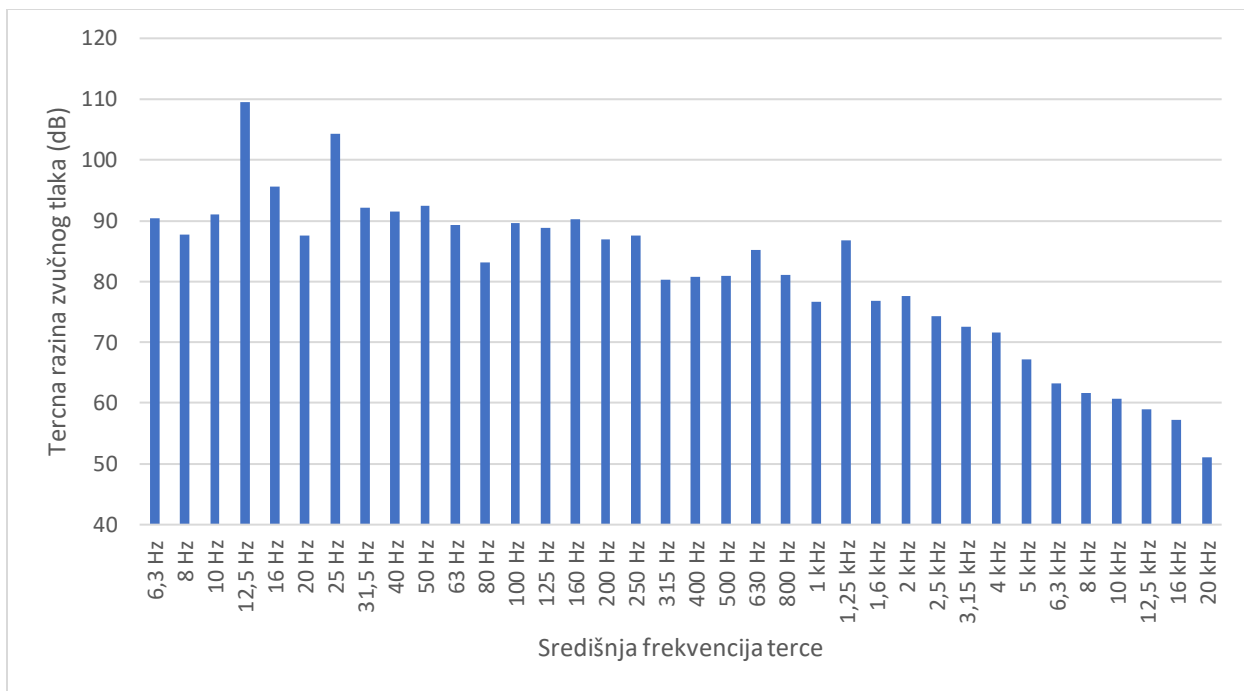
**Grafikon 8.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B u uvjetima lebdenja izvan utjecaja zračnog jastuka - OGE



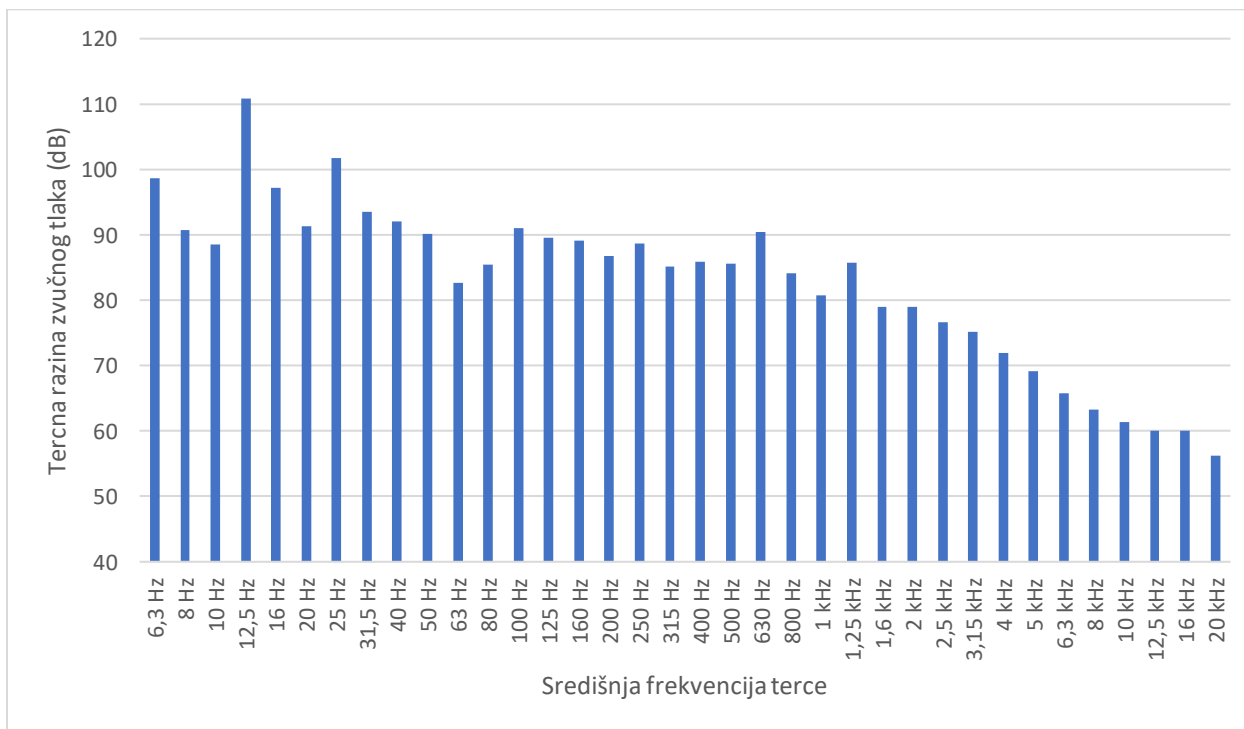
**Grafikon 9.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B pri prelasku u progresivni let



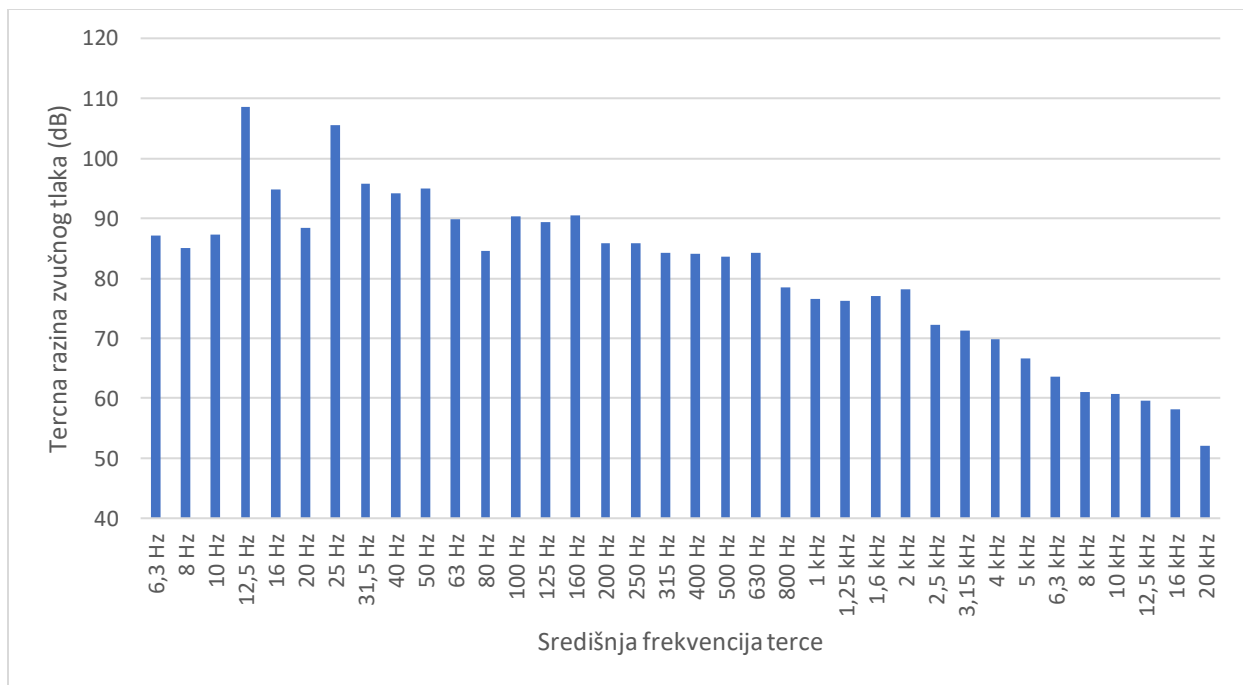
**Grafikon 10.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B pri letu na minimalnoj brzini - 50 kt



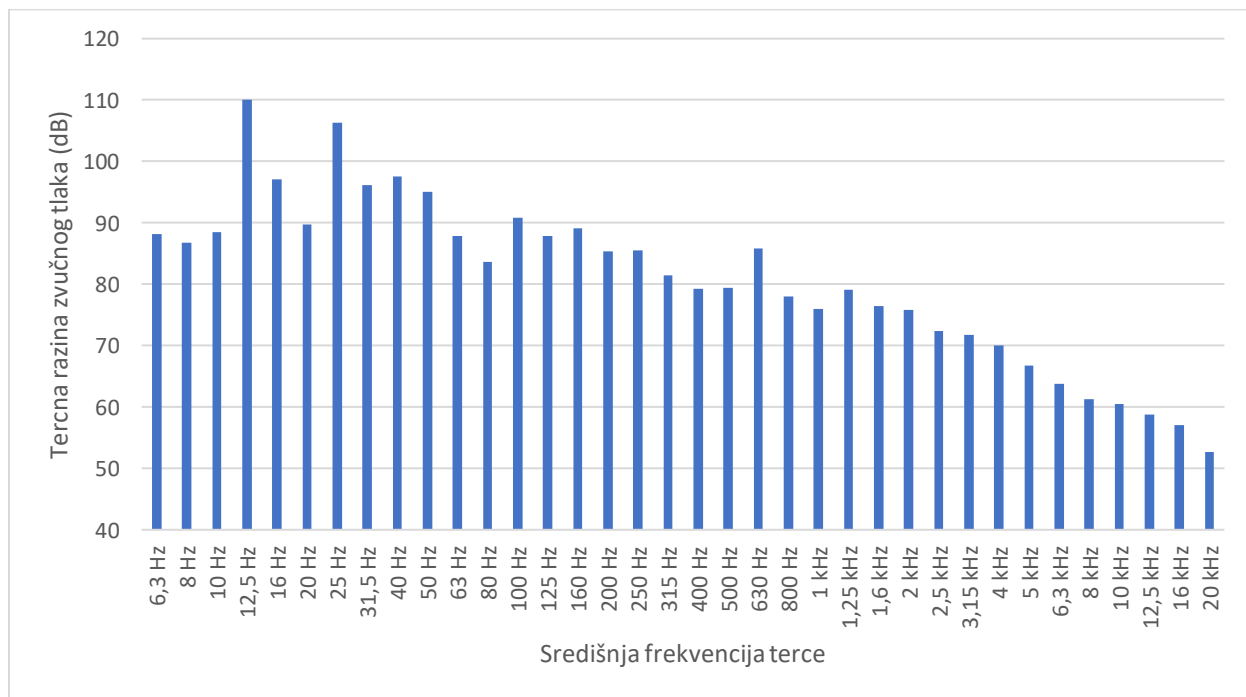
**Grafikon 11.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B pri krstarećoj brzini - 70 kt



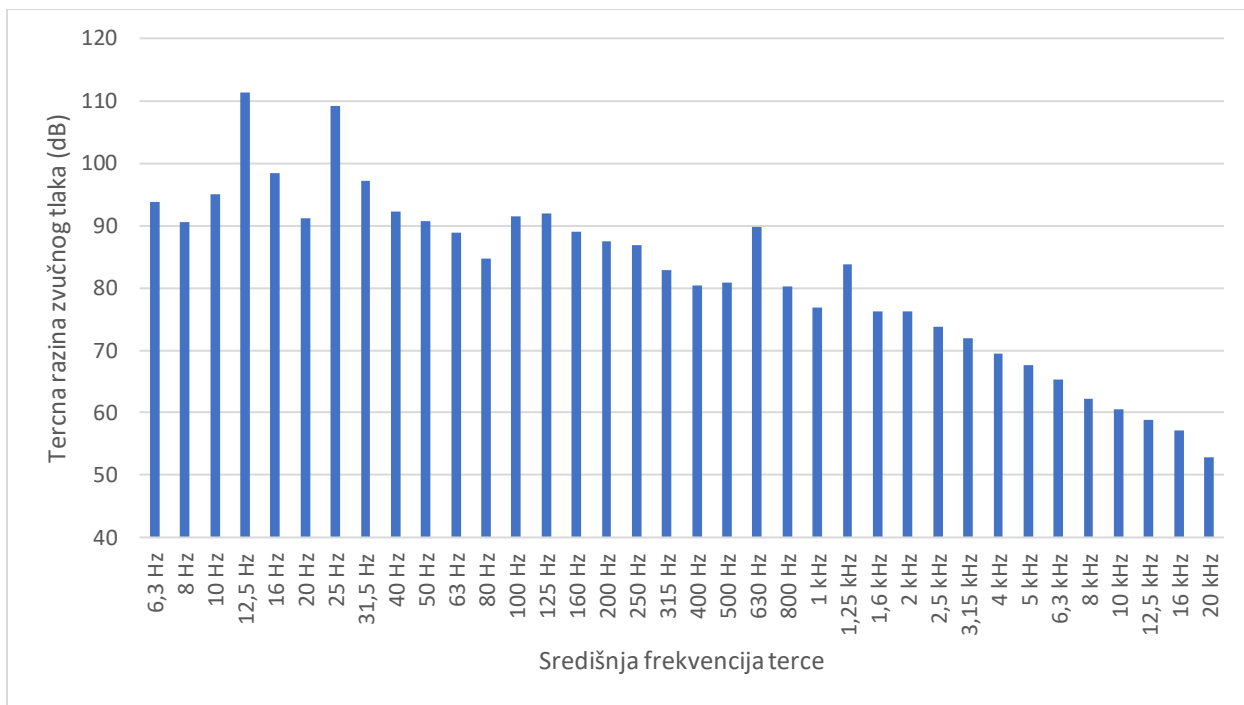
**Grafikon 12.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B pri maksimalnoj brzini - 85 % TQ



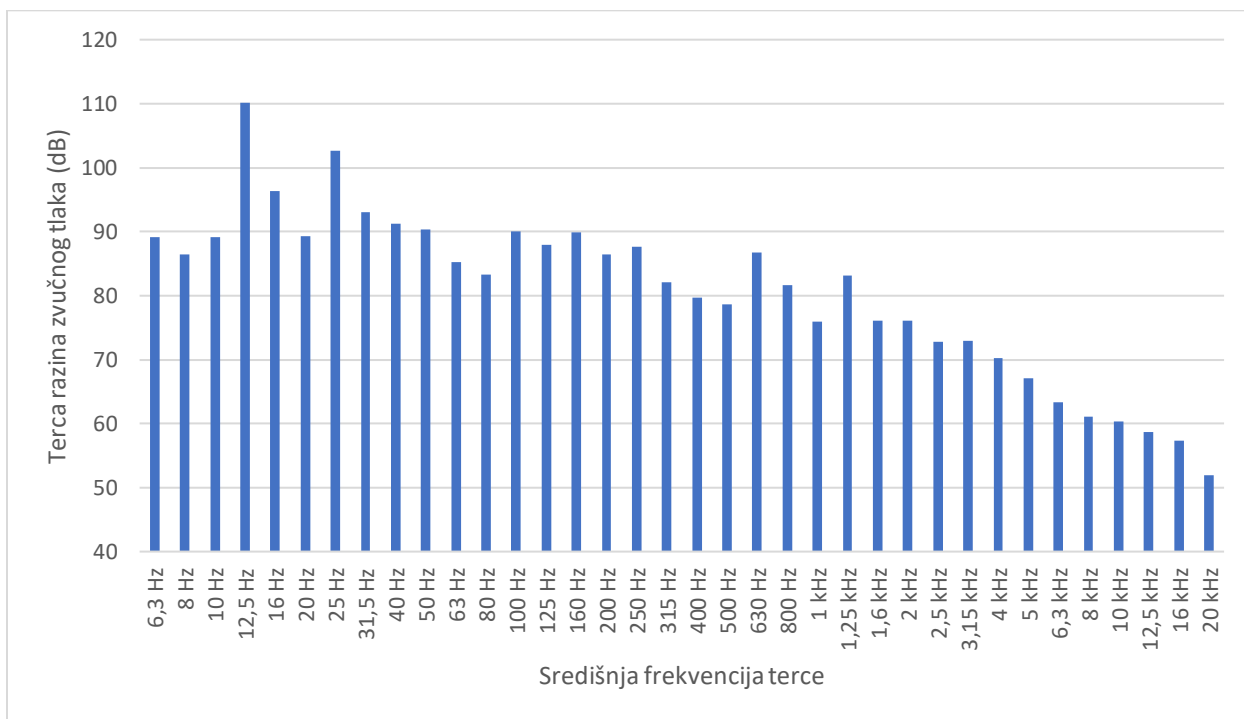
**Grafikon 13.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B kroz zaokret nagiba 20° pri brzini od 70 kt



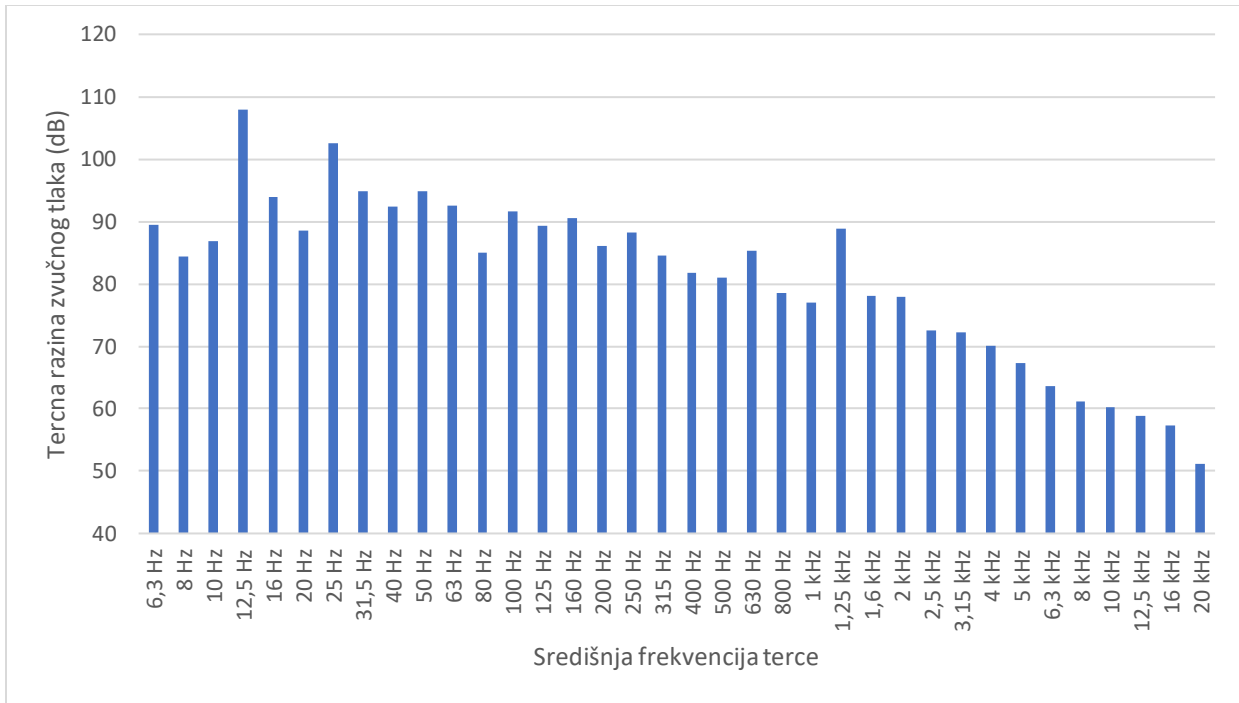
**Grafikon 14.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B kroz zaokret nagiba 30° pri brzini od 70 kt



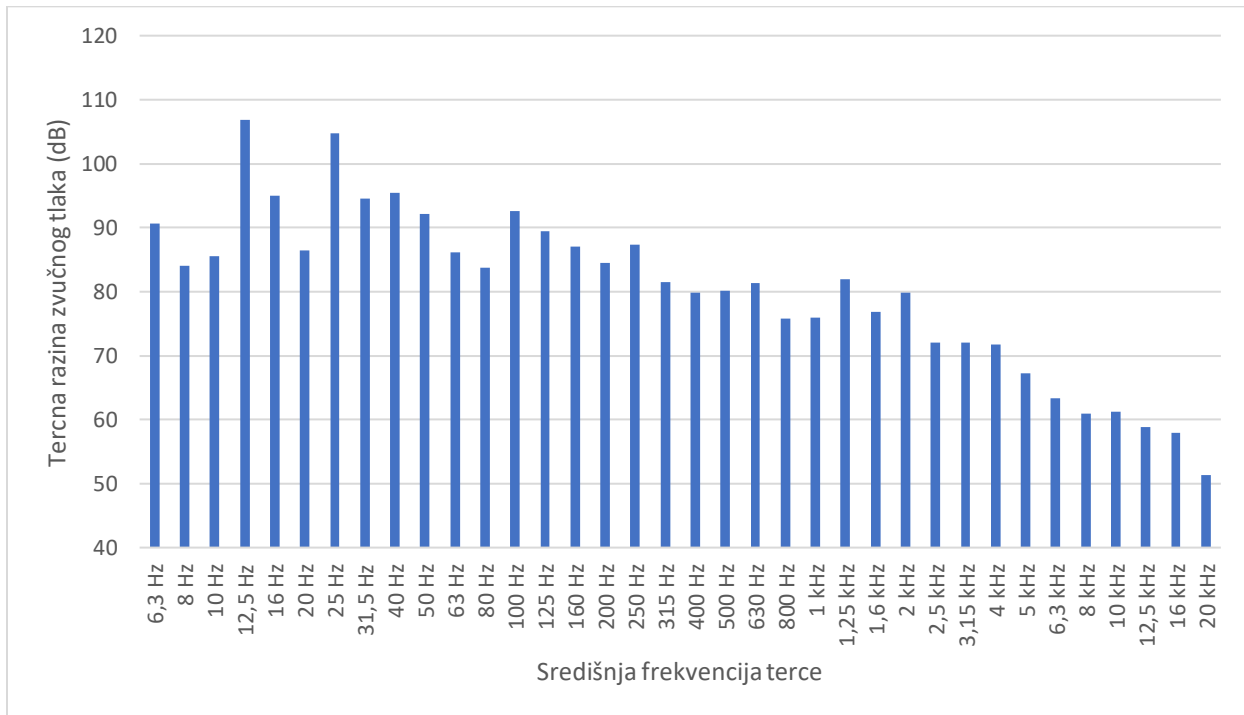
**Grafikon 15.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B kroz zaokret nagiba 45° pri brzini od 70 kt



**Grafikon 16.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B prilikom penjanja od 500 ft/min sa 70 kt

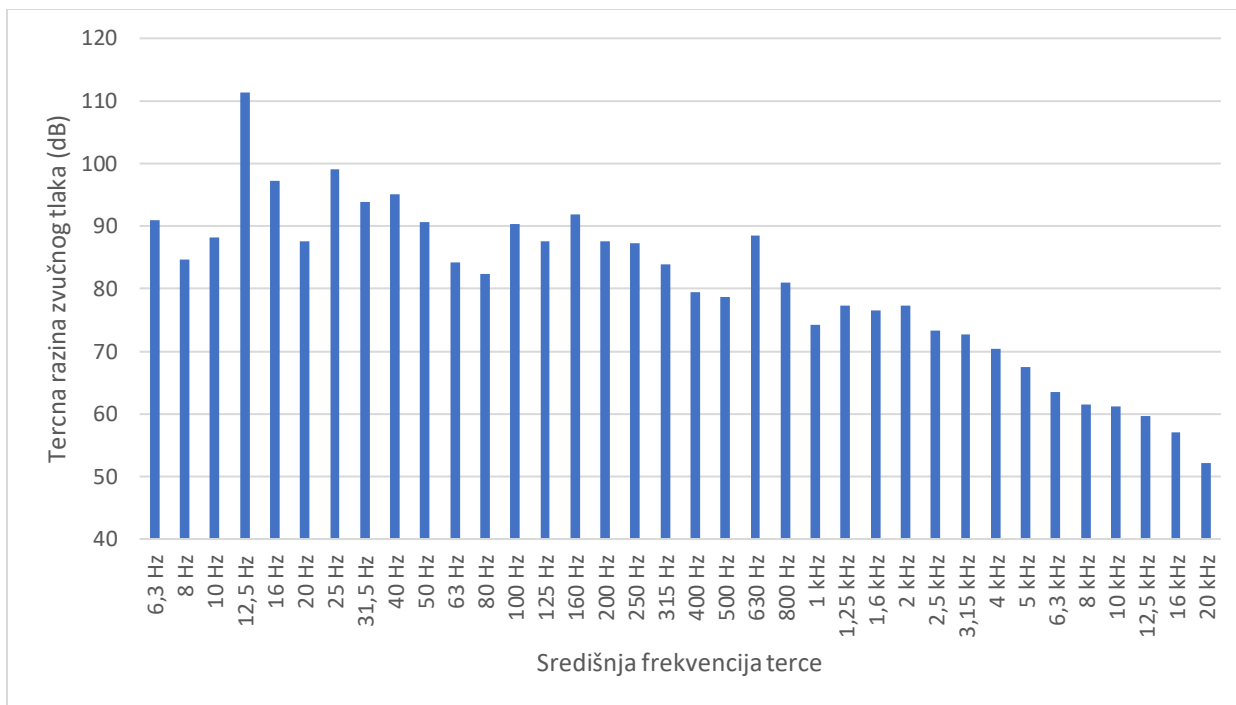


**Grafikon 17.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B prilikom spuštanja od 500 ft/min sa 70 kt

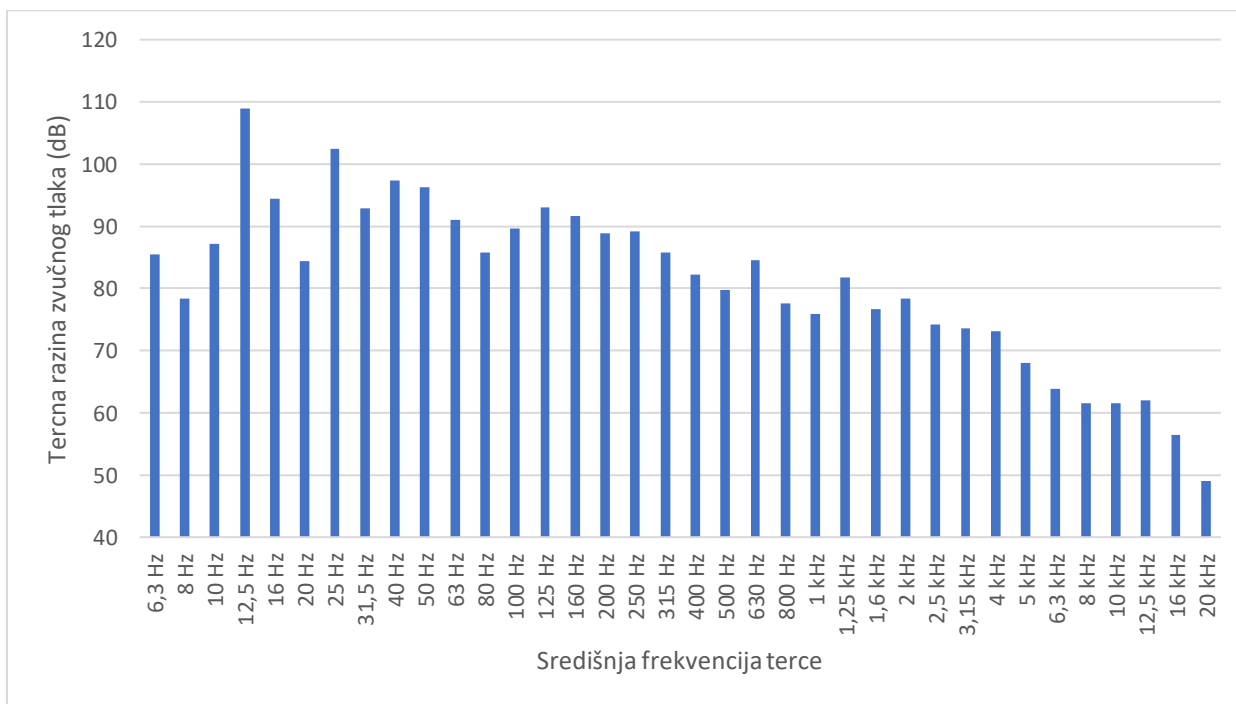


**Grafikon 18.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B prilikom penjanja sa 60 kn i maksimalnom snagom - 85 % TQ





**Grafikon 19.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206 B prilikom spuštanja sa 60 kn i minimalnom snagom - 20 % TQ



**Grafikon 20.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B u prilazu za slijetanje

## 9. ZAKLJUČAK

Izmjerena je buka unutarnje kabine helikoptera Bell 206B, a analiza podataka otkrila je koliko je helikopter glasan u svim režimima leta. Rezultati mjerenja jasno pokazuju da dok helikopter leti pri maksimalno raspoloživoj snazi odnosno pri 85 % TQ razina buke je najviša (100,8 dBA). Sljedeće najveće vrijednosti buke su u režimima: lebdenje u uvjetima zračnog jastuka - IGE (99.7 dBA); lebdenje u uvjetima izvan zračnog jastuka koji ima jednaku vrijednost kao i režim spuštanja sa 70 kn i 500 ft/min promjene visine (99.6 dBA), ali ovaj podatak u uvjetima spuštanja se može prepisati udaru vjetra koji je znatno povećao razinu buke u trenutku mjerenja; konačno, dok je helikopter na zemlji, svi sustavi su uključeni, a rotor i turbina se vrte (NR/N2) na 100% odnosno pri punom gasu (99.1 dBA). Najmanju vrijednost, očekivano, ima režim pri malom gasu odnosno gas na *Flight Idle* (92.7 dBA). Izmjereni podaci također pokazuju da se vrijednost razine buke smanjuje s povećanjem frekvencije, što se može pripisati učinkovitom prigušenju na oplati helikoptera.

Analiza podataka na kraju pokazuje da je prosječna razina buke u kabini tijekom svih režima leta iznad 92 dBA. Može se stoga zaključiti da su piloti helikoptera Bell 206B u nesumnjivoj opasnosti od buke i njenih posljedica, te su potrebne učinkovite preventivno-sigurnosne mjere budući da dugotrajnija izloženost razinama većim od 85 dBA povećava vjerojatnost gubitka sluha i razvitka raznih kroničnih bolesti uzrokovanih bukom. Rezultati pokazuju da je glavni izvori buke rotor odnosno da proizvodi najveću razinu buke, a jedino što bi se moglo promijeniti je konstrukcija samih lopatica glavnog rotora. Jedan način je korištenje najnovijih tehnologija, kao što su aerodinamični vrhovi lopatica te dizajn lopatica rotora za smanjenje buke što bi imalo značajan utjecaj na buku u kabini. Čak i uz točnu prilagodbu, sama kaciga nije dovoljna za zaštitu sluha pilota, stoga je korištenje CEP- a kao dodatnog sloja zaštite ključno za pilote izložene dugotrajnim letovima kao što su nastavnici letenja tijekom jednog radnog dana koji su izloženi višesatnoj buci za razliku od kadeta učenika letaća koji su tijekom jednog radnog dana izloženi buci od helikoptera do dva sata.

## LITERATURA

- [1] M. S. James, Defining the Cockpit Noise Hazard, Aircrew Hearing Damage Risk and the Benefits Active Noise Reduction Headsets Can Provide, UK: Future Systems & Technology, Division QinetiQ, Farnborough, Hants GU14 OLX, 2005.
- [2] R. R. a. J. W. David Halliday, Fundamentals of Physics, Us: John Wiley & Sons, Inc., 2021.
- [3] D. M., »Eksperimentalno određivanje karakteristika buke helikoptera Bell OH-58D Kiowa Warrior,« Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2019.
- [4] H. M., »Osnove fiziološke i govorne akustike (predavanja za studente logopedije),« Sveučilište u Zagrebu, Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet, Zagreb, 2012.
- [5] T. R. Nevillea H. Fletchera, The Physics of Musical Instruments, Australia: Research School of Physical Sciences and Engineering, Australian National University, 1988.
- [6] H. C. H., Fundamentals of acoustics, Australia: Departement of Mechanical Engineering, University of Adelaide, 1951.
- [7] T. Bucak, "Zrakoplovne emisije - buka zrakoplova", autorizirana predavanja, online nastavni materijal, FPZ, 2022.
- [8] K. W., Priručni anatomske atlas u tri sveska, Treći svezak živčani sustav i osljetila, Zagreb: Medicinska naklada, 2006.
- [9] R. D. Luce, Sound and hearing, a conceptual introduction, Lawrence Erlbaum Associates, 1993.
- [10] Zaštita od buke – načela i primjena, Zagreb: Zavod za istraživanje i razvoj sigurnosti d.d., 1995.
- [11] Joseph Loscalzo, Harrison's Principles of Internal Medicine, 21e, Us: McGraw Hill, 2022.
- [12] S. J. Antunano M.J., Hearing and noise in aviation, Oklahoma City: Federal Aviation Administration, 2019.
- [13] T. Pezelj, Tehnički Opis Helikoptera Bell 206B, Zadar, 2018.

- [14] **URL:** <https://www.puskarnicazagreb.hr/shop/37087000-peltor-sporttac-aktivni-antifoni-929?page=8&category=7#attr=1895>. [Pokušaj pristupa travanj 2023].
- [15] **URL:** <https://www.healthyhearing.com/report/53228-Earplugs-to-prevent-hearing-loss>. [Pokušaj pristupa 25.04.2023.]
- [16] **URL:** <https://www.shootingillustrated.com/content/browning-adds-to-hearing-protection-line/>. [Pokušaj pristupa travanj 2023].
- [17] **URL:** <http://www.flightgear.dk/hgu56.htm>. [Pokušaj pristupa travanj 2023].
- [18] P. J.A., Improved Communications and Hearing Protection in Helmet Systems: The Communications Earplug, Us: Military Medicine, 2003.
- [19] **URL:** [https://web2.norsonic.com/product\\_single/soundanalyser-nor140/](https://web2.norsonic.com/product_single/soundanalyser-nor140/). [Pokušaj pristupa travanj 2023].

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1.</b> Ljudsko uho i osnovni organi sluha.....	11
<b>Slika 2.</b> Izvori buke na helikopteru Bell 206B: 1) buka interakcije glavnog repnog rotora; 2) buka repnog rotora; 3) buka motora; 4) visokofrekventna širokopojasna buka glavnog rotora; 5) visokobrzinska impulsna buka; 6) aerodinamička buka.....	19
<b>Slika 3.</b> Osnovne dimenzije helikoptera .....	21
<b>Slika 4.</b> Motor Rolls Royce 250-C20J .....	24
<b>Slika 5.</b> Antifoni .....	27
<b>Slika 6.</b> Čepići za uši.....	28
<b>Slika 7.</b> Čepići s naglavnim obručem .....	28
<b>Slika 8.</b> Prigušenje buke na različitim frekvencijama kacige HGU- 56/P i kombinacije HGU- 56/P i CEP- a .....	32
<b>Slika 9.</b> Kaciga HGU- 56/P sa CEP- ovima .....	32
<b>Slika 10.</b> Zvukomjer Norsonic Nor140 .....	33

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 1.</b> Prikaz primjera zvukova i njihovih glasnoća .....	7
<b>Tablica 2.</b> Ograničenja izloženosti buci .....	14
<b>Tablica 3.</b> Osnovni tehnički podatci helikoptera Bell 206B .....	20
<b>Tablica 4.</b> Osnovne specifikacije kacige HGU- 56/P .....	31
<b>Tablica 5.</b> Opći podatci o uvjetima mjerenja .....	34
<b>Tablica 6.</b> Podatci o izvršenom mjerenju .....	35
<b>Tablica 7.</b> Rezultati mjerenja ekvivalentne razine unutarnje buke helikoptera Bell 206B A-ponderiranom metodom pri određenim režimima leta .....	36
<b>Tablica 8.</b> Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B A-ponderiranom metodom, maksimalna i minimalna vrijednost pri određenim režimima leta .....	38
<b>Tablica 9.</b> Rezultati mjerenja vršnih vrijednosti unutarnje buke helikoptera Bell 206B A-ponderiranom metodom pri određenim režimima leta .....	39
<b>Tablica 10.</b> Rezultati mjerenja unutarnje buke A- ponderiranom (vršne vrijednosti po režimima) .....	40
<b>Tablica 11.</b> Vrijednosti tercnog mjerenja u dBA unutarnje buke helikoptera Bell 206B u režimima leta 1- 8 .....	41
<b>Tablica 12.</b> Vrijednosti tercnog mjerenja u dBA unutarnje buke helikoptera Bell 206B u režimima leta 9- 16 .....	42

## POPIS GRAFIKONA

<b>Grafikon 1.</b> Rezultati mjerenja ekvivalentne razine unutarnje buke helikoptera Bell 206B A pri određenim režimima leta. ....	37
<b>Grafikon 2.</b> Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B A-ponderiranom metodom, maksimalna i minimalna vrijednost pri određenim režimima leta .....	38
<b>Grafikon 3.</b> Rezultati mjerenja razine izloženosti unutarnjoj buci helikoptera Bell 206B A pri određenim režimima leta.....	39
<b>Grafikon 4.</b> Rezultati mjerenja vršnih vrijednosti unutarnje buke helikoptera Bell 206B A-ponderiranom metodom pri određenim režimima leta. ....	40
<b>Grafikon 5.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B na malom gasu .....	43
<b>Grafikon 6.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B na punom gasu .....	43
<b>Grafikon 7.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B prilikom lebdenja u uvjetima zračnog jastuka - IGE.....	44
<b>Grafikon 8.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B u uvjetima lebdenja izvan utjecaja zračnog jastuka - OGE .....	44
<b>Grafikon 9.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B pri prelasku u progresivni let .....	45
<b>Grafikon 10.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B pri letu na minimalnoj brzini - 50 kt .....	45
<b>Grafikon 11.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B pri krstarećoj brzini - 70 kt .....	46
<b>Grafikon 12.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B pri maksimalnoj brzini - 85 % TQ .....	46
<b>Grafikon 13.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B kroz zaokret nagiba 20° pri brzini od 70 kt .....	47
<b>Grafikon 14.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B kroz zaokret nagiba 30° pri brzini od 70 kt .....	47
<b>Grafikon 15.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B kroz zaokret nagiba 45° pri brzini od 70 kt .....	48

<b>Grafikon 16.</b> Grafikon ternog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B prilikom penjanja od 500 ft/min sa 70 kt .....	48
<b>Grafikon 17.</b> Grafikon ternog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B prilikom spuštanja od 500 ft/min sa 70 kt .....	49
<b>Grafikon 18.</b> Grafikon ternog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B prilikom penjanja sa 60 kn i maksimalnom snagom - 85 % TQ .....	49
<b>Grafikon 19.</b> Grafikon ternog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206 B prilikom spuštanja sa 60 kn i minimalnom snagom - 20 % TQ.....	50
<b>Grafikon 20.</b> Grafikon ternog mjerenja unutarnje buke helikoptera Bell 206B u prilazu za slijetanje .....	50



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je \_\_\_\_\_ diplomski rad \_\_\_\_\_  
(vrsta rada)

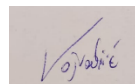
isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom \_\_\_\_\_ Mjerenje i analiza buke helikoptera Bell 206B \_\_\_\_\_ , u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, \_\_\_26.04.2023\_\_\_

Luka- Stjepan Vojvodić



(ime i prezime, potpis)