

# Eksperimentalno određivanje karakteristika buke helikoptera Bell OH-58D Kiowa Warrior

---

**Debuš, Martin**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*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:119:008043>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-11**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Martin Debuš**

**EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE**  
**KARAKTERISTIKA BUKE HELIKOPTERA BELL**  
**OH-58D KIOWA WARRIOR**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2019.**

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

Zagreb, 5. travnja 2019.

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

**DIPLOMSKI ZADATAK br. 5278**

Pristupnik: **Martin Debuš (0135206651)**  
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Eksperimentalno određivanje karakteristika buke helikoptera Bell OH-58D  
Kiowa Warrior**

Opis zadatka:

Navesti fizikalne parametre zvuka i buke. Opisati utjecaj buke na čovjeka. Identificirati opće izvore i karakteristike buke helikoptera. Navesti tehničko-eksploatacijske karakteristike helikoptera OH-58D. Odabrati mjerne metode za mjerenje buke helikoptera OH-58D. Prikazati i analizirati dobivene rezultate mjerenja.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

prof. dr. sc. Tino Bucak

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**DIPLOMSKI RAD**

**EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA BUKE  
HELIKOPTERA BELL OH-58D KIOWA WARRIOR**

**EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF BELL OH-58D KIOWA WARRIOR  
HELICOPTER NOISE CHARACTERISTICS**

Mentor: prof. dr. sc. Tino Bucak

Student: Martin Debuš

JMBAG: 0135206651

Zagreb, prosinac 2019.

## **SAŽETAK**

Piloti zrakoplova su tijekom radnog vremena izloženi visokim razinama buke, a s obzirom da sigurnost letenja i uspješnost zadaće ovisi o psihofizičkom stanju pilota, potrebno je proučiti karakteristike buke kojoj su oni izloženi te moguće kratkotrajne i dugotrajne posljedice na zdravlje. Prvih par poglavlja pojašnjava zvuk, buku, i sluh te ukazuje na posljedice koje prekomjerna buka može imati na zdravlje pojedinca. Ostatak rada opisuje helikopter kao izvor buke i tehničko eksploatacijske karakteristike helikoptera Bell OH-58D, te predstavlja metode mjerenja, dobivene rezultate i njihovu analizu. Svrha ovog diplomskog rada je izmjeriti i analizirati razinu kabinske buke helikoptera Bell OH-58D i procijeniti je li trenutna zaštita sluha i zdravlja pilota adekvatna te koja su moguća poboljšanja.

## **KLJUČNE RIJEČI**

Buka helikoptera; Bell OH-58D; zvuk; sluh; analiza buke; mjere zaštite od buke

## **SUMMARY**

Aircraft pilots are exposed to high noise levels during their working hours, and since flight safety and mission success depend on the psychophysical condition of the pilots, the noise characteristics to which they are exposed and the possible short- and long-term health effects must be studied. The first couple of chapters explain sound, noise, and hearing, and outline the effects that excessive noise can have on an individual's health. The rest of the paper describes the helicopter as a source of noise and the technical operational characteristics of the Bell OH-58D helicopter, and presents methods of measurement, the results obtained and their analysis. The purpose of this thesis is to measure and analyze the cabin noise level of a Bell OH-58D helicopter and to see if the pilot's current hearing and health protection is adequate and what are the possible improvements.

## **KEYWORDS**

Helicopter noise; Bell OH-58D; sound; hearing; noise analysis; noise protection measures

# SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. Uvod.....  | 1  |
| 2. Teorijske osnove zvuka i buke.....   | 4  |
| 2.1. Teorijske osnove zvuka.....  | 4  |
| 2.2. Intenzitet zvuka.....  | 6  |
| 2.3. Vrste zvukova.....   | 9  |
| 2.4. Vrste buke.....  | 9  |
| 3. Utjecaj buke na čovjeka.....   | 11 |
| 3.1. Uho i sluh.....  | 11 |
| 3.2. Utjecaj buke na sluh i zdravlje.....   | 13 |
| 3.2.1. Učinci na sluh.....  | 13 |
| 3.2.2. Učinci na zdravlje.....  | 15 |
| 3.3. <i>Aviators notch</i> .....  | 16 |
| 4. Izvori i karakteristike buke.....  | 17 |
| 4.1. Helikopter kao izvor buke.....   | 17 |
| 4.1.1. Buka glavnog rotora.....   | 17 |
| 4.1.2. Buka repnog rotora.....  | 19 |
| 4.1.3. Buka motora.....   | 19 |
| 4.1.4. Aerodinamička buka.....  | 19 |
| 4.2. Tehničko – eksploatacijske katakteristike helikoptera<br>OH-58D Kiowa Warrior..... | 20 |
| 4.3. Izvori buke na helikopteru OH-58D.....   | 23 |
| 4.3.1. Motor.....   | 23 |
| 4.3.2. Rotori i reduktori.....  | 25 |
| 4.3.3. Naoružanje.....  | 26 |
| 5. Uređaji i metode redukcije buke.....   | 30 |
| 5.1. Uređaji za zaštitu sluha.....  | 30 |
| 5.2. Zaštita od buke i vibracija na OH-58D.....   | 33 |

|  |    |
|--|----|
| 5.2.1. Kaciga HGU-56/P.....  | 33 |
| 5.2.2. CEP.....  | 34 |
| 5.2.3. HUMS.....   | 35 |
| 5.3. Nove metode zaštite od buke.....  | 36 |
| 5.3.1. Aktivno poništavanje/redukcija buke<br>(ACTIVE NOISE CANCELLING/REDUCTION ANC/ANR)..... | 36 |
| 5.3.2. Prednosti i mane ANC/ANR.....   | 37 |
| 6. Mjerenje i analiza unutarnje buke helikoptera OH-58D.....                                   | 39 |
| 6.1. Postupak mjerenja.....  | 39 |
| 6.2. Analizator zvuka Norsonic Nor 140.....  | 39 |
| 6.3. Režimi leta u kojima je izvršeno mjerenje.....  | 40 |
| 6.4. Rezultati mjerenja.....   | 42 |
| 7. Zaključak.....  | 58 |
| Literatura.....  | 59 |
| Popis slika.....   | 61 |
| Popis tablica.....   | 62 |
| Popis grafikona.....   | 63 |

# 1. UVOD

Buka u kokpitu nije problem modernog doba. Dokumentirano je da je u doba dvokrilaca komunikacija bila značajan problem, a u komercijalnom zrakoplovstvu nakon prvog svjetskog rata, stalna izloženost pilota buci na dugim letovima dodatno je osvijestila problem gubitka sluha te je zabilježena pojava tzv. *Aviators notch*. Pojavom mlaznih motora krajem 1940-ih smanjila se buka propelera i ispušnih plinova što je dovelo do značajnog smanjenja buke u kabini zrakoplova. Kako je razvoj zrakoplova napredovao, motori su se premještali prema stražnjem dijelu zrakoplova te su sve češće bili ukomponirani u trup, što je dodatno pripomoglo smanjenju buke unutar kokpita. Zamor koji stvara buka velik je problem za sve pilote, instruktore letenja i druge stručnjake u zrakoplovstvu. Iz leta u let, piloti su izloženi stalnoj buci motora, ispuha, propelera, rotora, aerodinamičkih površina i ostalih izvora, a za razliku od drugih bučnih zanimanja, piloti su uglavnom izloženi buci sličnih akustičkih karakteristika kroz dulji vremenski period. U ratnom zrakoplovstvu većina problema povezanih s visokim razinama buke u kokpitu povezana je s potrebom da se operativno letenje obavlja pri velikim brzinama i na malim visinama. Ovakvo taktičko letenje je usvojeno kako bi se smanjila mogućnost radarskog otkrivanja i vrijeme izloženosti protuzračnim sustavima. Međutim, visoka razina kabinske buke nije prisutna samo u brzim mlažnjacima. Sličan trend rasta buke u kokpitu i kabini u zadnjih 40 godina primijećen je i u helikopterskoj floti. Na pojedinim pozicijama posada modernog helikoptera CH-47 Chinook izložena je razinama buke od 120 dBA [1].

Tema ovog diplomskog rada je kabinska buka u helikopteru Bell OH-58D Kiowa Warrior. Kao najnoviji zrakoplov u floti HRZ-a, obuka na njemu je bila jedna od prioritarnih zadaća 393. Eskadrile Helikoptera te joj se pristupilo brzo i intenzivno. Osnovna zadaća OH-58D je izviđanje i potpora zemaljskim snagama što karakterizira letenje velikim brzinama na malim visinama koje samo po sebi predstavlja značajan psiho-fizički napor. Karakteristično za ovaj helikopter je da se leti bez prednjih vrata kabine kako bi posada kvalitetnije obavljala svoju primarnu zadaću, što značajno povećava buku u helikopteru čak i pri običnom letenju. Kada se u obzir uzme i to da cijevi naoružanja helikoptera završavaju približno u ravnini s kabinom helikoptera, prilikom bojevog djelovanja, pogotovo iz strojnice, buka u kabini može doseći razine iznimno opasne za zdravlje pilota. Iz iskustva američkih pilota, helikopter OH-58D je korišten i kao važan komunikacijski kanal između postrojbi na tlu i zapovjedništva stoga je i razumljivost



komunikacije od presudne važnosti. Zbog posebne konstrukcije ulivnog grla spremnika goriva, helikopter je moguće nadopunjavati gorivom na zemlji bez gašenja motora, što mu omogućava brz povratak u operativno područje ali isto tako postavlja fizičku spremnost i sposobnosti pilota kao jedino ograničenje naleta. Iz tog razloga, sve čimbenike koji predstavljaju dodatan zamor pilota treba proučiti i što je moguće više smanjiti.

Za potrebe diplomskog rada organiziran je let na helikopteru OH-58D u vojarni "Pukovnik Mirko Vukušić" u Zemuniku Donjem i pilotažnoj zoni "Novigrad" te je zvukomjerom klase 1 izmjerena buka u kabini helikoptera u različitim režimima leta koja je prikazana u poglavlju 6. Prikazani rezultati su dobiveni temeljem mjerenja te je analizom istih određena buka u kabini.

Cilj ovog istraživanja je prikupiti relevantne podatke o razini buke u kabini helikoptera pri različitim režimima leta, analizirati ih, te doći do rezultata koji će pokazati koliko je buka u kabini helikoptera kratkoročno i dugoročno štetna za zdravlje posade. Mjerenje buke će se obaviti Norsonic Nor140 zvukomjerom te će se koristiti A-ponderirana i terčna metoda mjerenja. Na temelju rezultata dobivenih iz tih mjerenja procijenit će se razina buke u kabini helikoptera.

U dosadašnjim istraživanjima na temu mjerenja buke, kako u kokpitu i kabini, tako i vanjske buke analize su provedene na raznim tipovima letjelica. Na civilnim zrakoplovima poput Diamond DV20, Airbus A319, DASH, EC 135 te C-172 izvršena su mjerenja buke od strane profesora, asistenata i studenata Fakulteta prometnih znanosti. Na vojnim zrakoplovima u sastavu HRZ-a također su izvršena mjerenja buke od strane pilota za potrebe diplomskih radova i to na zrakoplovima PC-9M, Zlin 242L, CL-415 te Mi-8, te će biti od koristi imati podatke i od OH-58D kako bi se usporedili s ostalim letjelicama i kako bi se moglo sustavno i profesionalno pristupiti smanjenju buke kojoj su izloženi piloti.

Rad se sastoji od 7 poglavlja:

- U prvom, odnosno uvodnom poglavlju postavljen je problem istraživanja i definicija rada, ciljevi i svrha istraživanja, dosadašnja istraživanja problema buke u zrakoplovstvu, te struktura rada.
- Drugo poglavlje pod nazivom *Teorijske osnove zvuka i buke* objašnjava pojam zvuka, njegovo rasprostiranje, podjelu, mjerne jedinice i ostale karakteristike te definiciju i osnovnu podjelu buke.

- Treće poglavlje pod nazivom *Utjecaj buke na čovjeka* objašnjava ulogu uha i ostalih slušnih organa, utjecaj buke na sluh i zdravlje te karakterističnu pojavu gubitka sluha kod pilota.
- Četvrto poglavlje pod nazivom *Izvori i karakteristike buke helikoptera* objašnjava koji su glavni izvori buke na helikopterima i navodi tehničke karakteristike helikoptera OH-58D sa glavnim izvorima buke.
- Peto poglavlje pod nazivom *Uređaji i metode redukcije buke* navodi osobne mjere zaštite od buke na raspolaganju pilotima, razvoj budućih mjera, te objašnjava rad sustava helikoptera za smanjenje vibracija
- Šesto poglavlje pod nazivom *Mjerenje i analiza unutarnje buke helikoptera OH-58D* objašnjava uvjete prilikom mjerenja, uređaj koji se koristio za snimanje i analizu buke, te popis režima i analizu buke.
- Sedmo poglavlje pod nazivom *Zaključak* donosi konačan rezultat i objašnjenje istraživanja provedenih u ovom radu.

## 2. TEORIJSKE OSNOVE ZVUKA I BUKE

### 2.1. Teorijske osnove zvuka

Proučavanje zvuka u pravilu započinje proučavanjem svojstva valova općenito. Postoji više vrsta valova s obzirom na način širenja (rasprostiranja), no dvije su osnovne, poprečni i uzdužni. U poprečnom valu, poput vala stvorenog u napetom užetu kada se jedan kraj pomiče naprijed-natrag, gibanje koje čini val okomito je odn. poprečno, na smjer u kojem se val kreće. Važne primjere poprečnih valova stvaraju elektromagnetski izvori poput svjetlosti ili radio uređaja, u kojima električno i magnetsko polje uzrokuju osciliranje vala okomito na smjer širenja.

Zvuk se, međutim, širi zrakom ili drugim medijima kao uzdužni val u kojem se mehanička vibracija koja tvori val pojavljuje uzduž smjera širenja vala. Zvučni val se sastoji od naizmjeničnih kompresija i relaksacija ili područja visokog i niskog tlaka koji se kreću određenom brzinom. Drugim riječima, sastoji se od periodične promjene tlaka koja se javlja oko ravnotežnog tlaka koji prevladava u određeno vremenu na određenom mjestu.

Varijacija tlaka u zvučnom valu se ponavlja u prostoru na određenoj udaljenosti. Ta udaljenost poznata je kao valna duljina zvuka, obično se mjeri u metrima i predstavlja ju  $\lambda$  pomoću formule (1):

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

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

Kako se val širi zrakom, jednoj punoj valnoj duljini treba određeno vremensko razdoblje ili perioda, da prođe određenu točku u prostoru; ovo razdoblje, predstavljeno s  $T$ , obično se mjeri u djelićima sekunde. Osim toga, tijekom svakog vremenskog intervala od jedne sekunde, određeni broj valnih duljina prelazi točku u prostoru. Poznata i kao frekvencija zvučnog vala, broj valnih duljina koje prolaze u sekundi tradicionalno se mjeri u hertzima (Hz) ili kilohercima (kHz) i predstavljena je sa  $f$  sljedećom formulom (2):

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

$f$  = frekvencija;  $T$  = perioda

To znači da zvučni valovi s visokim frekvencijama imaju kratke periode, dok oni s niskim frekvencijama imaju dugačke periode. Na primjer, zvučni val s frekvencijom od 20 Hz imao bi period od 0,05 sekunde, dok bi zvučni val od 20 kHz imao periodu od 0,00005 sekundi. Između 20 Hz i 20 kHz nalazi se frekvencijski raspon sluha za ljude. Fizičko svojstvo frekvencije fiziološki se doživljava kao visina tona - što je viša frekvencija, to je viši percipirani ton. Postoji i veza između valne duljine zvučnog vala i njegove frekvencije ili periode i brzine vala ( $S$ ) pomoću formule (3):

$$S = f\lambda = \frac{\lambda}{T} \quad (3)$$

$S$  = brzina vala;  $f$  = frekvencija;  $\lambda$  = valna duljina;  $T$  = perioda

Brzina zvuka je pojam koji se koristi za opisivanje brzine zvučnih valova koji prolaze kroz elastični medij. Brzina varira ovisno o korištenom mediju (na primjer, zvučni valovi se kreću brže kroz vodu nego kroz zrak), kao i o svojstvima medija. Za brzinu zvuka u mediju se najčešće koristi formula (4):

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

$S$  = brzina zvuka;  $\rho$  = gustoća;  $B$  = modul elastičnosti fluida

Zdravo ljudsko uho mlađih osoba do 20. godine starosti može čuti zvukove u frekvencijskom rasponu od 16 Hz do 20 kHz. Frekvencije ispod 16 Hz ljudsko uho nije u stanju percipirati kao zvuk nego kao vibracije. Te frekvencije u rasponu od 0,1 Hz do 16 Hz zovemo infrazvukom. Frekvencije veće od 20 kHz nazivamo ultrazvukom [2].

Infrazvuk ljudsko uho doživljava kao pulsirajuću vibraciju na bubnjiću te ga istovremeno taktilno osjećamo po cijelom tijelu kao potresanje i vibraciju. Posljednjih godina, zbog sve veće izloženosti čovjeka buci čak i van radnog okruženja, više se posvetilo istraživanju posljedica buke na zdravlje. Tako je otkrivena i nova vibroakustička bolest (*Vibroacoustic disease* – VAD), koja je posljedica dugotrajne izloženosti zvukovima niskih frekvencija (ispod 100 Hz) intenziteta

većih od 110 dB. Infrazvuk može uzrokovati i rezonanciju unutarnjih organa, a izloženost velikom intenzitetu infrazvučnim frekvencijama od 1 do 7 Hz čak i smrt [2].

Ultrazvukom nazivamo sve frekvencije u području iznad 20 kHz te za razliku od infrazvuka odrasle osobe ove visoke frekvencije nisu sposobne osjetiti ili percipirati niti jednim osjetilom. Mlađe osobe su u stanju čuti određene zvukove visokih frekvencija, međutim kako čovjek stari, tako i gornja granica čujnosti opada. Ultrazvuk ima iznimno raširenu primjenu u medicini gdje se koristi prilikom dijagnostike i liječenja, a veliku primjenu ima i u tehničkim područjima za kontrolu materijala ili varenje. Zbog svoje karakteristike da prilikom gibanja kroz vodu slabo gubi na intenzitetu, koristi se i pri izradi sonara [2].

## 2.2. Intenzitet zvuka

Intenzitet ili jakost zvuka prikazujemo kao količinu energije koja u jednoj sekundi prostruji kroz plohu površine  $1 \text{ m}^2$  postavljenu okomito na smjer rasprostiranja zvuka, a izražava se u watima na  $\text{m}^2$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ). Mlade osobe zdravog sluha mogu zamijetiti zvuk jakosti od  $10\text{-}12 \text{ W}/\text{m}^2$  što je uzeto kao referentni zvučni intenzitet prema međunarodnom dogovoru akustičara. S obzirom da tom intenzitetu odgovara zvučni tlak od  $20 \text{ }\mu\text{Pa}$  (mikro Paskala), to je referentni zvučni tlak i zajedno čine nulte razine zvučnog tlaka i intenziteta. Zvučni tlak od  $20 \text{ }\mu\text{Pa}$  na frekvenciji od  $1000 \text{ Hz}$  je najmanji intenzitet koje zdravo uho može percipirati te se u akustici označava kao vrijednost od  $0 \text{ dB}$  (decibela). Važno je napomenuti da  $0 \text{ dB}$  nije isto što i nula u matematici nego je to minimalni intenzitet zvuka koji čujemo na frekvenciji od  $1000 \text{ Hz}$  gdje je uho najosjetljivije (uho je osjetljivije na frekvencijama od oko  $3 \text{ kHz}$  ali je kao standard uzeta vrijednost od  $1 \text{ kHz}$ ). Zbog toga je na audiogramu moguće čuti zvuk na  $0 \text{ dB}$  pa i tiše, tj. s negativnim predznakom, ukoliko osoba ima izuzetno osjetljiv sluh. U tablici 1. prikazani su primjeri zvukova koje možemo susresti te njihove razine [2].

**Tablica 1.** Prikaz decibela i odnos zvučnih tlakova za neke zvukove[2]

| Primjer zvuka                           | Decibel<br>(dB) | Omjer tlakova<br>$p/p_0$ ( $p_0 = 20\mu Pa$ ) |
|---|-----------------|---|
| Prag čujnosti ( $20\mu Pa$ )            | 0               | 1   |
| Najtiši šapat                           | 20              | 10  |
| Tihi razgovor                           | 40              | 100   |
| Prosječna razina buke u dnevnoj sobi    | 50              | 316   |
| Normalan razgovor                       | 60              | 1000  |
| Glasan razgovor, prometna ulica         | 70              | 3160  |
| Unutrašnjost autobusa, teški kamion (5) | 80              | 10000   |
| Prag neugode (prolazak vlaka)           | 90              | 31600   |
| Bučna tvornica                          | 100             | 100000  |
| Pneumatski čekić                        | 110             | 316000  |
| Mlazni avion (20m)                      | 120             | 1000000                                       |
| Prag bola                               | 130             | 3160000                                       |

Decibel se najčešće koristi za izražavanje glasnoće zvuka, ali se ona može iskazati i kao efektivni ili maksimalni iznos promjene tlaka u odnosu na tlak nekog sredstva u stanju mirovanja. U tom slučaju se koristi jedinica za tlak – paskal. S obzirom da je decibel logaritamska mjera odnosa dviju veličina te mora biti definirana referentna veličina, razina zvuka se prikazuje u odnosu na referentni tlak od  $20 \mu Pa$ , a zvučni intenzitet  $10^{-12} W/m^2$  koji načelno odgovara pragu čujnosti [2].

$$\text{Jednadžba snage zvuka (5): } PWL = L_w = 10 \log \left( \frac{P}{P_{ref}} \right) \quad (5)$$

$$P = \text{snaga zvuka; } P_{ref} = \text{referentna snaga}$$

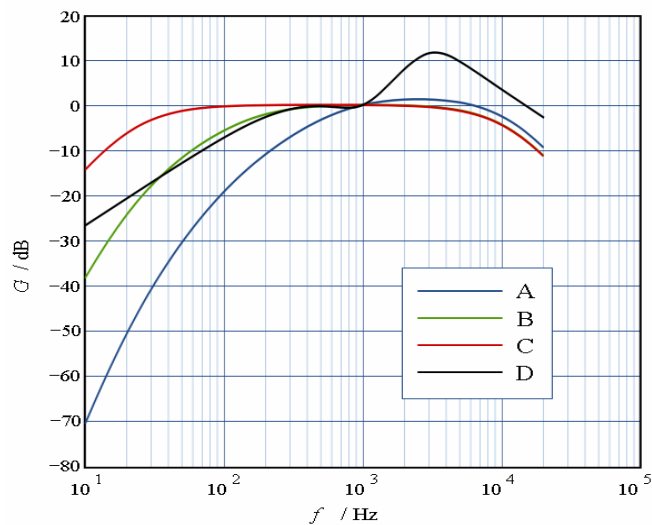
$$\text{Jednadžba intenziteta zvuka (6): } L_i = 10 \log \left( \frac{I}{I_{ref}} \right) \quad (6)$$

$$I = \text{intenzitet zvuka; } I_{ref} = \text{referentni intenzitet}$$

Jednadžba tlaka zvuka (7):  $SPL = L_p = 10 \log \left( \frac{p^2}{p_{ref}^2} \right) = 20 \log \left( \frac{p}{p_{ref}} \right)$  (7)

$p$  = tlak zvuka;  $p_{ref}$  = referentni tlak

Osjetljivost ljudskog uha na zvuk ovisi o frekvenciji samog zvuka, zbog čega su određeni težinski faktori kojima se intenzitet pojedine frekvencije uzima u obzir prilikom mjerenja glasnoće zvuka zavisno o osjetu sluha, a prikazani su na slici 1. u obliku krivulja. Za intenzitete zvukova u području normalne glasnoće težinski faktori standardizirani su tzv. krivuljom A. Ukoliko promatramo veće i štetnije razine zvuka poput pucnja iz vatrenog oružja ili industrijske buke, koriste se težinske krivulje B, C i D [2].



**Slika 1.** Težinske krivulje[2]

### 2.3. Vrste zvukova

- Čisti ton

Čisti ton je ustvari jednostavan periodični zvuk, najčešće sinusoidnog valnog oblika i konstantne frekvencije. Čisti tonovi u prirodi su rijetka pojava, ali imaju primjenu u elektroakustici za razna mjerenja [2].

- Složeni zvuk

Složeni zvuk nastaje kombiniranjem čistih tonova različitih frekvencija s karakteristikom da se sastoji od osnovnog tona i nekoliko harmoničkih tonova koji su cjelobrojni višekratnici osnovnog tona [2].

- Šum

Šum je zvuk nepravilnog titranja u kojem nema stalnih frekvencija i amplitude. Bijeli i ružičasti šum su dva karakteristična oblika koji se koriste u elektroakustičnim mjerenjima. Bijeli šum je složeni zvuk koji u sebi sadrži veliki broj frekvencija čujnog spektra s akustičkom energijom jednoliko raspoređenom u cijelom spektru. Ružičasti šum je identičan bijelom šumu po spektralnom sastavu, ali intenzitet unutar spektra linearno opada u svakoj narednoj oktavi za 3 dB od najniže ka najvišoj frekvenciji. Kao poseban oblik šuma kratkog trajanja, a velike snage imamo prasak [2].

### 2.4. Vrste buke

Buka se može definirati kao "neskladan ili nepoželjen zvuk" ili neka druga vrsta ometanja. S akustičkog gledišta, zvuk i buka predstavljaju isti atmosferski fenomen oscilacije tlaka oko srednjeg atmosferskog tlaka; razlika je većinom subjektivna. Ono što je zvuk za jednu osobu, može biti buka nekom drugom. Prepoznavanje buke kao ozbiljne opasnosti za zdravlje počelo je tek nedavno modernizacijom industrije - mnoštvo glasnih izvora je ubrzalo gubitak sluha izazvan bukom [3].



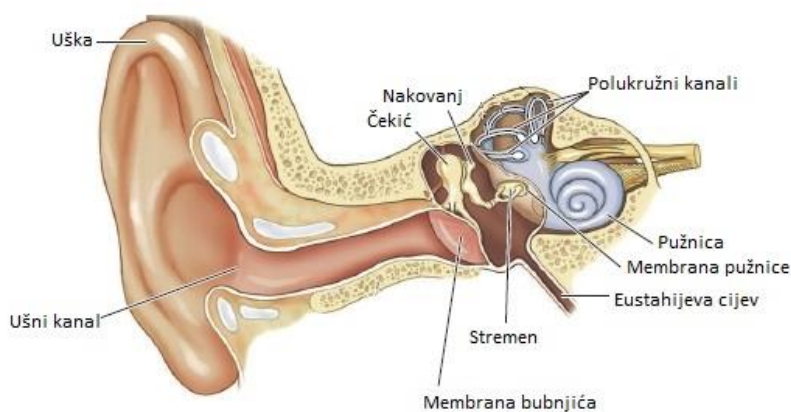
Buka može biti klasificirana kao stalna, povremena ili impulsna, ovisno o vremenskim varijacijama u razini zvučnog tlaka:

- Stalna buka – buka sa zanemarivo malim promjenama u razini zvučnog tlaka tijekom vremena promatranja.
- Povremena buka – naziv za buku kada dolazi do značajnih promjena razina tlaka tijekom vremena promatranja. Dodatno se dijeli na isprekidanu buku i fluktuirajuću buku. Fluktuirajuća buka ima stalne i pravilne promjene razine tlaka velikog intenziteta. Karakteristika isprekidane buke je da njezina razina nekoliko puta padne na razinu pozadinske buke tijekom perioda promatranja. Vrijeme tijekom kojeg razina tlaka ostaje na konstantnoj vrijednosti različitoj od buke okoline mora biti veće od jedne sekunde.
- Impulsna buka se sastoji od jednog ili više izboja zvučne energije, svakog u trajanju kraćem od jedne sekunde. Izboji se obično klasificiraju u tipove A i B. Izboj tipa A karakterizira impuls koji najčešće nastaje kod eksplozija dok se tip B najčešće nalazi u industrijskom okruženju i posljedica je udarca. Za impulsnu buku je karakteristična velika vršna vrijednost tlaka te kratko vrijeme porasta i trajanje.

### 3. UTJECAJ BUKE NA ČOVJEKA

#### 3.1. Uho i sluh

Funkcija uha je pretvoriti fizičku vibraciju u kodiran živčani impuls te se najlakše može zamisliti kao biološki mikrofoni. Kao i mikrofoni, uho se stimulira vibracijom: u mikrofoni, vibracija se pretvara u električni signal, a u uhu u živčani impuls koji se potom obrađuje u mozgu. Ljudsko uho se sastoji od velikog broja malih i složenih organa, ali se može podijeliti u tri cjeline: vanjsko, srednje i unutarnje uho. Na slici 2. su prikazani osnovni organi ljudskog sluha.



**Slika 2.** Ljudsko uho i osnovni organi sluha

Vanjsko uho usmjerava zvučne valove iz vanjskog okruženja do membrane bubnjića. Uška, vidljivi dio vanjskog uha, skuplja zvučne valove i pomaže usmjeriti zvuk u kanal. Zbog svoje male veličine i praktične nepokretnosti, uška u ljudi nije toliko korisna u prikupljanju zvuka i pronalaženju izvora kao što je to slučaj kod životinja. Kanal pomaže povećati količinu zvuka koja dopire do membrane bubnjića koji se smatra početkom srednjeg uha. Ovo pojačanje rezonancije djeluje samo na zvučne relativno kratke valne duljine - one u frekvencijskom rasponu između

2.000 i 7.000 Hz - što pomaže u određivanju frekvencija na koje je uho najosjetljivije, onih važnih za komunikaciju [4][5].

Kad membrana bubnjića apsorbira zvučne valove, njezin središnji dio vibrira kao kruti stožac, savijajući se prema unutra i prema van. Što je veća amplituda zvučnih valova, to je pomak membrane veći i zvuk je glasniji. Što je viša frekvencija zvuka, membrana brže vibrira i veća je visina zvuka. Kretanje membrane prenosi se na dršku čekića čiji je vrh pričvršćen na bubnjić. Pri višim frekvencijama gibanje membrane više nije jednostavno te prijenos gibanja na čekić više nije toliko učinkovit [4][5].

Glava čekića i tijelo nakovnja čvrsto su vezani, zbog čega se kreću jedinstveno s membranom bubnjića. Pri umjerenim zvučnim tlakovima, vibracije se prenose na stremen te se sve tri slušne košćice zajednički gibaju. Međutim, može doći do značajne slobode kretanja i gubitka energije na spoju između nakovnja i stremena zbog njihovog relativno labavog spoja. Stremen se ne pomiče prema unutra i prema van, već se ljulja oko donjeg spoja koji se naslanja na membranu koja prekriva ulaz u pužnicu. Djelovanje stremena prenosi zvučne valove u perilimfatičke prostore koji ispunjuju pužnicu. U srednjem uhu se također nalazi Eustahijeva cijev koja je ustvari kanal koji povezuje srednje uho sa stražnjim dijelom nosa te pomaže u izjednačavanju tlaka u srednjem uhu. Za pravilan prijenos zvučnih valova potreban je izjednačeni tlak. Eustahijeva cijev obložena je sluznicom, baš poput unutrašnjosti nosa i grla [4][5].

Da bi se zvuk mogao prenijeti na unutarnje uho, vibracije u zraku moraju se promijeniti u vibracije u endolimfi, viskoznoj tekućini koja ispunjuje pužnicu. U ovom procesu dolazi do problema koji se odnosi na razliku u impedanciji - otpornosti na prolaz zvuka - između zraka i tekućine. Ova razlika ili neusklađenost impedancija smanjuje prijenos zvuka. Membrana bubnjića i slušne košćice pomažu u prevladavanju neusklađenosti impedancije između zraka i tekućina u pužnici te tako srednje uho služi kao transformator ili uređaj za usklađivanje impedancije. Mehaničke vibracije stremena stvaraju valove u perilimfi u pužnici te uzrokuju pomicanje tekućine. Pomicanje tekućine uzrokuje valovite vibracije bazalne membrane koja se proteže kroz pužnicu [4][5].

Zvukovi niske frekvencije uzrokuju vibriranje stražnjeg kraja bazalne membrane u pužnici, a visokofrekventni zvukovi uzrokuju vibriranje prednjeg dijela. Što je viša frekvencija zvuka, to je

kraća udaljenost koju valovi prelaze. Dakle, ton određene frekvencije uzrokuje da stimulacija dosegne vrhunac na određenom mjestu na bazalnoj membrani. Bazalna membrana nosi na sebi Cortijev organ koji je prekriven osjetnim stanicama u obliku dlačica (cilijarnih stanica ili ćelija) koje su podešene da reagiraju na specifične zvukove ovisno o njihovoj visini tj. frekvenciji. Područje koje vibrira najjače stimulira najveći broj dlačica u tom području Cortijevog organa, a te stanice dlake šalju najviše živčanih impulsa na slušni živac i mozak. Mozak prepoznaje mjesto na bazalnoj membrani, a samim tim i visinu tona, prema određenoj skupini aktiviranih živčanih vlakana [4][5].

### 3.2. Utjecaj buke na sluh i zdravlje

Sluh je jedan od naših najdragocijenijih sposobnosti i bez njega nije moguć kvalitetan život ni na poslu niti u slobodno vrijeme. Pretjeranom bukom ne napreže se ili čak uništava samo sluh, nego i drugi organi i funkcije ljudskog tijela. Posljedice se osjećaju na zdravlju i u zajedničkom životu ljudi. Jednom izazavano oštećenje sluha zbog buke više se ne može izliječiti pa je nužno spriječiti ili bar smanjiti utjecaj buke na čovjeka primjenom protumjera tamo gdje ona nastaje. To je jedini učinkoviti način zaštite ljudskog zdravlja, posebice sluha [6].

#### 3.2.1. Učinci na sluh

Oštećenja sluha nastaju uglavnom zbog djelovanja posebno jake i dugotrajne buke, a ovise o frekvenciji (visini tona). Pritom viši tonovi jače oštećuju sluh nego niži. Pri jakom utjecaju buke zamara se unutarnje uho, što se očituje prolaznim pomakom praga čujnosti. Nakon duljeg mirovanja prag, a time i sluh, najčešće se vraćaju u prvobitno stanje. Osobama koji počinju rad u bučnoj okolini, sluh se oporavlja do početka sljedeće radne smjene. Ponovnim izlaganjem buci slušni organi se opet opterećuju i zamaraju. Ponovljeni pomak praga čujnosti nakon završetka izloženosti postupno se oporavlja, ali to traje satima i samo je djelomično. Periodička naprezanja sluha tijekom jedne smjene trajno umanjuju sposobnost prijema zvučnih signala i govora, što povećava vjerojatnost nastanka nezgode i izaziva promjenu ponašanja i u socijalnom okruženju izvan radnog mjesta. Ponavlja li se utjecaj buke uvijek iznova, uho će izgubiti sposobnost obnove

tijekom mirovanja između radnih smjena, a u tablici 2. su prikazana vremenska ograničenja izloženosti kroz dan po intenzitetu zvuka. Nakon prolaznih pomaka praga čujnosti slijedi trajni gubitak sluha ili čak oštećenje slušnog organa. On nastaje zbog oštećenja cilijarnih stanica u unutarnjem uhu koje se ne mogu nadomjestiti ili izliječiti [6].

Trajni gubitak sluha nastaje zbog trajno ponovljenih opterećenja bukom ili u pojedinačnim primjerima zbog kratkog djelovanja buke vrlo visokih razina. Trajni gubitak sluha nastaje postupno i prvo obuhvaća visoke tonove, tj. gornje frekvencijsko područje. Osoba tako oštećenog sluha još čuje mnoge šumove, ali govor čuje nejasno i izobličeno [6].

**Tablica 2.** Ograničenja izloženosti glasnim zvukovima[8]

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

### 3.2.2. Učinci na zdravlje

Buka ne oštećuje samo sluh već i povećava vjerojatnost pojave nezgode. Opterećivanje organizma bukom može uzrokovati funkcionalne poremećaje ljudskog tijela i njegovih regulacijskih sustava te smetnje u orijentaciji. Vegetativne reakcije i smetnje u orijentaciji – zbog dugotrajnog izlaganja buci, posebno uz dodatna naprezanja zbog vibracija, rada u smjenama, topline te intenzivne radne aktivnosti – ugrožavaju zdravlje, a posebno rad srca i krvotoka [7][8].

- Problemi sa sluhom - Izloženost buci može oštetiti jedan od najvažnijih organa tijela, uho. Oštećenje sluha zbog buke može biti privremeno ili trajno. Kad razina zvuka prijeđe 70 dB, postaje buka za uho, a već razina buke iznad 80 dB proizvodi štetne učinke na uho. Kada je uho izloženo ekstremno glasnoj buci (iznad 100 dB) tijekom dužeg vremenskog perioda, može se prouzročiti nepopravljiva šteta i dovesti do trajnog gubitka sluha [7][8].
- Slabije kognitivne funkcije - Redovitim izlaganjem glasnom zvuku, sposobnost čitanja, učenja i razumijevanja s vremenom se značajno smanjuje. Mogućnosti rješavanja problema i sposobnost prisjećanja također mogu opadati zbog učestalne izloženosti buci. Buka također može povećati učestalost pogrešaka i bitno utjecati na produktivnost [7][8].
- Kardiovaskularni problem - Bučno okruženje može biti izvor srčanih problema. Studije su pokazale da zvuk visokog intenziteta uzrokuje dramatičan porast krvnog tlaka uz povećan broj otkucaja srca. Ove nagle abnormalne promjene povećavaju vjerojatnost kardiovaskularnih bolesti dugoročno gledano [7][8].
- Poremećaji spavanja - Poteškoće u spavanju zbog izloženosti buci može narušiti opće blagostanje. Poznata je činjenica da buka može prekinuti noćni san, a kad se to dogodi, osoba se osjeća izuzetno iznervirano i neugodno. Osobe lišene neispredanog sna pokazuju oštar pad razine energije što često rezultira ekstremnim umorom. Ovo može značajno umanjiti sposobnost osobe za efikasan rad [7][8].
- Problemi u komunikaciji - Bučno okruženje koje je više od 50-60 decibela, jednostavno ne dopušta neometanu komunikaciju dvije osobe. Tumačenje govora druge osobe postaje prilično teško i može dovesti do nesporazuma [7][8].
- Problemi s mentalnim zdravljem - Izloženost glasnom zvuku može dovesti do povišene razine stresa kao i potaknuti nasilno ponašanje. Stalni šum u blizini također može

potaknuti glavobolju, učiniti ljude napetim i anksioznim i poremetiti emocionalnu ravnotežu [7][8].

### 3.3. *Aviators notch*

1930-ih se počelo ozbiljnije pratiti zdravlje pilota i učinke zrakoplova i uvjeta leta na zdravlje pilota i posada te je primijećeno da na audiogramima postoji značajan pad čujnosti u području oko 4 kHz te je ta pojava u zrakoplovnoj industriji dobila naziv *Aviators notch*. Moderni zrakoplovi i strojevi imaju puno veći potencijal buke, posebno s pojavom mlaznih motora i probijanjem zvučnog zida, što rezultira povećanjem zvučne energije na većim frekvencija uključujući i 6 kHz. Nedavna promatranja na pilotima u vojsci ukazuju na poremećaje u sluhu na višim frekvencijama sa značajnim padom osjeta sluha na 6 kHz kod pilota borbenih i transportnih zrakoplova te pilota helikoptera kod kojih je zabilježen dodatan pad na 3 kHz [9].

## 4. IZVORI I KARAKTERISTIKE BUKE HELIKOPTERA

### 4.1. Helikopter kao izvor buke

Zrakoplovi koji koriste rotore kao primarno sredstvo uzgona (helikopteri i tiltrotori) izvor su jake buke, kako vanjske tako i unutarnje, što u konačnici postaje ozbiljan problem zaštite okoliša i zdravlja. Stvorena buka je u nekim aspektima slična buci propelera u zrakoplovu s fiksnim krilima (avionu), ali se bitno razlikuje u poravnavanju glavnog izvora buke u odnosu na relativni protok zraka: kod helikoptera, oba rotora, glavni i repni, koji stvaraju sile potrebne za let, su u ravnini smjera leta, dok je kod zrakoplova ravnina vrtnje propelera okomita na smjer leta [10].

Sve ove vrste buke rezultiraju „zvučnim otiskom“ koji helikopter ostavlja, a uključuje područja različitog intenziteta buke. Ovaj "otisak" važan je za vojne helikoptere u smislu udaljenosti na kojoj se helikopter može identificirati, a u civilnim operacijama utječe na određivanje i mjerenje dozvoljenog intenziteta buke. Za inženjere koji žele smanjiti vanjsku buku koju stvaraju helikopteri, optimalna metoda je smanjenje broja okretaja nosivog i repnog rotora. To u pravilu smanjuje buku koju stvara rotor i smanjuje buku uzrokovanu komprimiranjem zraka pri velikim brzinama, posebno ako lopatice imaju tanke i/ili uvijene vrhove, ali zahtijeva povećanje duljine same lopatice, što pak predstavlja drugačiji inženjerski izazov. Međutim, smanjenje brzine okretanja lopatica rotora zahtijeva adekvatno povećanje površine lopatica, što znači da će rotor biti teži kako bi postigao iste performanse. Zbog manjeg broja okretaja i većeg okretnog momenta, povećava se masa transmisije i veličina glavne pogonske osovine. Stoga, konačni rezultat je uvijek kompromis između visokih performansi i niske razine buke koji najbolje zadovoljavaju sve uvjete za koje je helikopter namijenjen [10][11][12].

#### 4.1.1 Buka glavnog rotora

Ako se buka bilježi iz položaja koji se nalazi neposredno iznad osi rotacije rotora s električnim pogonom, iz lopatica rotora koji se kreću kroz zrak čuje se samo tup zvuk zraka koji „šišti“. Tu buku stvaraju prvenstveno molekule zraka koje se ubrzavaju u graničnom sloju zraka koji struji oko lopatica rotora, a zatim se odbacuju nepravilnim i kaotičnim kretanjem preko izlaznog ruba lopatice rotora. Kako se napadni kut lopatice rotora povećava, uključujući i silu uzgona, vrtlozi



zraka pojavljuju se na vrhovima lopatica i mogu promijeniti karakteristike buke u nešto grublji zvuk. Dio ove promjene uzrokovan je utjecajima nadolazećeg zraka koji nastaje u uvjetima lebdenja helikoptera. Zvuk koji stvara turbulentni zrak i zvuk koji nastaje iz vrtloženja nemaju istu frekvenciju i zato se takav šum naziva bukom širokog spektra ili „bijelom“ bukom. Ako se buka snima iz položaja koji je u blizini rotora, snimljeni zvuk će imati različite karakteristike i pojavit će se buka uzrokovana rotacijom, koja sadrži svaki prolazak lopatice rotora. Što je veći broj okretaja i broj lopatica, veća je frekvencija prolazećih lopatica. Kako je ljudsko uho osjetljivije na više nego na niže frekvencije, može se dogoditi da repni rotor malog promjera s četiri lopatice, brže stvori veću buku od sporije rotirajućeg glavnog rotora s dvije lopatice, iako manji volumen zraka prolazi kroz repni rotor [10][11][12].

Kod helikoptera u horizontalnom letu, osim već spomenute buke stvorene rotacijom glavnog rotora, može se zabilježiti i druga karakteristična vrsta buke, koja se naziva impulzivna buka. Do nje može doći kao posljedica dva slučaja. U jednom slučaju vrh napredujuće lopatice (lopatice koja se kreće u smjeru leta helikoptera) se kreće takvom brzinom da snažno i brzo komprimira zrak ispred. To uzrokuje udarne valove koji se protežu kao velike promjene tlaka ispred vrha lopatice. Na maloj udaljenosti, "pucanje" tih impulsa može biti vrlo neugodno. Pri razmjerno velikom broju okretaja glavnog rotora, ova buka pretvara se u niz "prigušenih" udara koji se tada mogu čuti na velikim udaljenostima i naziva se visokobrzinskom impulsnom bukom (*High Speed Impulse noise* – HIS). Druga vrsta impulsne buke uzrokovana je interakcijom između vrtloga kada lopatica ulazi u vrtlog zraka koji nastaje prolaskom prethodne lopatice i naziva se *Blade Vortex Interaction* (BVI) te se ta vrsta impulsne buke ponekad naziva *blade slap*. U većini režima leta helikoptera, vrtložne strujnice vrha lopatica i lopatice ne dolaze u kontakt, ali kod nekih manevara, poput laganog spuštanja ili ulaska u zaokret, još uvijek postoji interakcija. Strujanje zraka oko vrtloga stvara nagle promjene napadnog kuta i brzine strujanja zraka oko lopatice, što uzrokuje lokalni gubitak uzgona i mogućnost stvaranja udarnih valova. Ovdje do izražaja dolazi promjena tlaka zraka, što posljedično stvara ovu vrstu buke koja se uglavnom širi ispred i ispod putanje leta [10][11][12].

#### 4.1.2. Buka repnog rotora

Mehanizmi buke za repni rotor ili sustav za pariranje okretnog momenta u osnovi su identični buci glavnog rotora. Međutim, zbog svog položaja iza glavnog rotora, uređaj za pariranje okretnog momenta može također biti podložan neujednačenom toku zraka uzrokovanom strujanjem s glavnog rotora, što dovodi do dodatnih pojava buke uslijed interakcije. Alternativni sustavi poput NOTAR® ili Fenestron™ sustava imaju oklopljene rotore ili posebne ispuhe koji imaju nešto drugačiju karakteristiku buke zbog efekta zaštite u ravnini rotiranja rotora [12].

#### 4.1.3. Buka motora

Buka koju emitiraju turbovratilni motori u osnovi se sastoji uglavnom od rotacijske buke koju proizvode radijalni i/ili aksijalni kompresor(i) i stupnjevi turbine te širokopojasni šum koji nastaje u komori izgaranja. Kompresor motora s turbo vratilom obično stvara visokofrekventni ton koji dolazi iz uvodnika motora i brzo se smanjuje prolaskom kroz atmosferu [12].

Klipni motori se obično koriste na manjim helikopterima i mogu biti jedan od značajnijih izvora buke za te zrakoplove. Šum ispuha obično dominira emisijom buke klipnih motora, a za helikoptere, većina smanjenja buke se fokusirala na korištenje preokrenutih ispuha, prigušivača i rezonatora. Neutišana buka ispuha je širokopojasna s najvišim razinama na niskim frekvencijama. Spektar buke ispuha sadrži snažne tonove povezane s rasporedom rada cilindara. Relativno naprednom tehnologijom uspješno se kontrolira buku ispuha klipnih motora na helikopterima [12].

#### 4.1.4. Aerodinamička buka

Buka strukture zrakoplova definira se kao neželjeni zvuk koji nastaje prilikom protoka zraka uz aeroprofil. Zbog ograničenih brzina progresivnog leta helikoptera, buka izazvana trupom, stajnim trapom ili aerodinamičkim površinama je relativno mala, ali buka turbulentnog strujanja zraka postaje uočljiva kada se leti na helikopterima bez vrata, prozora ili sa spuštenim rampama.

Prilikom lebdenja i leta na malim brzinama ta buka je zanemariva, ali pri većim brzinama ona postaje značajan faktor u ukupnoj kabinskoj buci [12].



**Slika 3.** Izvori buke helikoptera OH-58D: 1) buka uzrokovana interakcijom glavnog i repnog rotora; 2) buka repnog rotora; 3) buka motora; 4) visokofrekventna širokopojasna buka glavnog rotora; 5) visokobrzinska impulsna buka; 6) aerodinamička buka

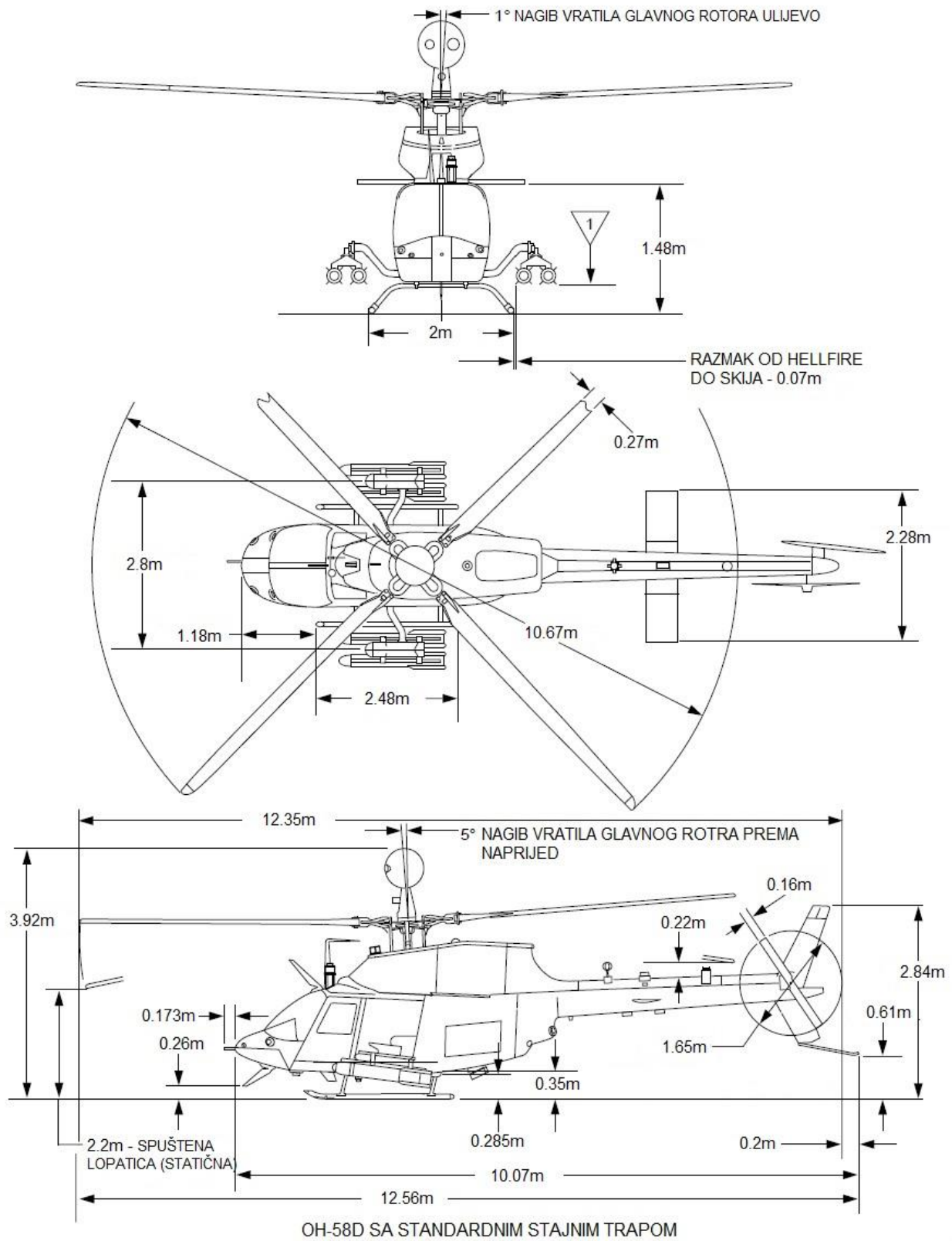
#### 4.2. TEHNIČKO - EKSPLOATACIJSKE KARAKTERISTIKE HELIKOPTERA OH-58D KIOWA WARRIOR

Helikopter Kiowa Warrior OH-58D je namijenjen za oružano izviđanje, operacije sigurnosti i zaštite, zračno osmatranje, identificiranje ciljeva, lagane napade te za obrambene zračne operacije u podršci kopnenim snagama. Za pogon koristi jedan mlazni motor tipa Rolls Royce 250-C30R/3 nominalne snage 650 KS. Uzgon stvara glavni rotor koji se sastoji od četiri lopatice dok pariranje okretnog momenta obavlja repni rotor od dvije lopatice. Na vratilo glavnog rotora postavljen je MMS (*Mast Mounted Sight*) koji u sebi sadrži termalne senzore (*Thermal Imaging system – TIS*), TV kameru te laser s mogućnošću određivanja udaljenosti. Ovi sustavi omogućavaju Kiowa Warrior-u djelovanje danju i noću te zahvaćanje ciljeva i djelovanje na sigurnim udaljenostima i u nepovoljnim vremenskim uvjetima. Zbog položaja senzora, helikopter može biti maksimalno zaklonjen, a da i dalje može obavljati svoju primarnu zadaću. Helikopter je opremljen s dva

univerzalna nosača naoružanja (*Universal Weapon Pylon - UWP*) na koje je moguće montirati kombinaciju laserski navođenih raketa AGM-114 Hellfire, višecijevnog lansera nevođenih raketa Hydra 70 te strojnice kalibra 12,7 mm. U tablici 3. su navedene osnovne karakteristike, a na slici 4. su prikazane osnovne dimenzije helikoptera [13].

**Tablica 3.** Osnovni tehnički podaci helikoptera OH-58D[13]

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| <b>Proizvođač</b>                     | Bell Helicopter Textron - USA   |
| <b>Zemlja proizvodnje</b>             | SAD   |
| <b>Pogonska skupina</b>               | Rolls Royce 250-C30R/3  |
| <b>Masa praznog helikoptera</b>       | 3,289 lb (1,492 kg)   |
| <b>Maksimalna poletna masa (MTOW)</b> | 5,501 lb (2,495 kg)   |
| <b>Posada</b>                         | 2   |
| <b>Max brzina</b>                     | 130 kn (240 km/h)   |
| <b>Krstareća brzina</b>               | 110 kn (203 km/h)   |
| <b>Izdržljivost</b>                   | 2 sata  |
| <b>Max visina leta</b>                | 15 000ft (4,575m)   |
| <b>Gorivo</b>                         | Ukupno - 112 U.S. galona (424 l)<br>Iskoristivo - 110 U.S. galona (416 l)<br>Tip - JP-8 |



**Slika 4.** Osnovne dimenzije helikoptera[13]

## 4.3. IZVORI BUKE NA HELIKOPTERU OH-58D

### 4.3.1 Motor

Pogonsku skupinu čini turbovratilni motor Rolls Royce M250-C30/3 čija je osnovna namjena da preko transmisija pogoni rotore helikoptera, a podaci su prikazani tablici 4. Motor je modularne izvedbe što pridonosi jednostavnijem i ekonomičnijem održavanju, a sastoji se od četiri osnovne sekcije: jednostupanjskog radijalnog kompresora, komore izgaranja, sklopa turbina s kolektorom ispušnih plinova i reduktora [13].

Kompresor uzima okolni zrak kroz uvodnik zraka helikoptera, komprimira ga kroz jedan radijalni stupanj te usmjerava u prstenasti kolektor odakle se dvjema cijevima zrak vodi do komore izgaranja. Sprječavanje zaleđivanja i odleđivanje uvodnika kompresora se vrši kroz pet aerodinamički oblikovanih upornica koje istovremeno služe i za usmjeravanje zraka na kompresor te dovode i odvode ulje za pomazivanje ležaja kompresora [13].

Komora izgaranja sastoji se od vanjskog kućišta i plamene cijevi. Gorivna mlaznica i svjećica, smještene na stražnjoj strani vanjskog kućišta komore izgaranja, prolaze u unutrašnjost plamene cijevi kroz njezin stražnji dio. Drenažni ventil je smješten na donjoj strani kućišta i osigurava istjecanje neizgorenog goriva nakon zaustavljanja, a automatski se zatvara nakon uspostavljanja određenog tlaka. Najveći dio komprimiranog zraka usmjerava se u plamenu cijev gdje se miješa sa raspršenim gorivom. Smjesa goriva i zraka se početno pali svjećicom nakon čega nastaje kontinuirani proces izgaranja koji rezultira širenjem plinova koji se potom usmjeravaju u sklop turbina. Vrući plinovi nastali izgaranjem smjese trebaju biti ohlađeni na odgovarajuću temperaturu prije negoli uđu u sklop turbina. Zbog toga veći dio zraka usmjeren u plamenu cijev služi za hlađenje (sekundarni zrak), a manji dio za izgaranje (primarni zrak). Približno 75% komprimiranog zraka dovedenog u komoru izgaranja iskoristi se za hlađenje, dok se preostalih 25% iskoristi za izgaranje [13].

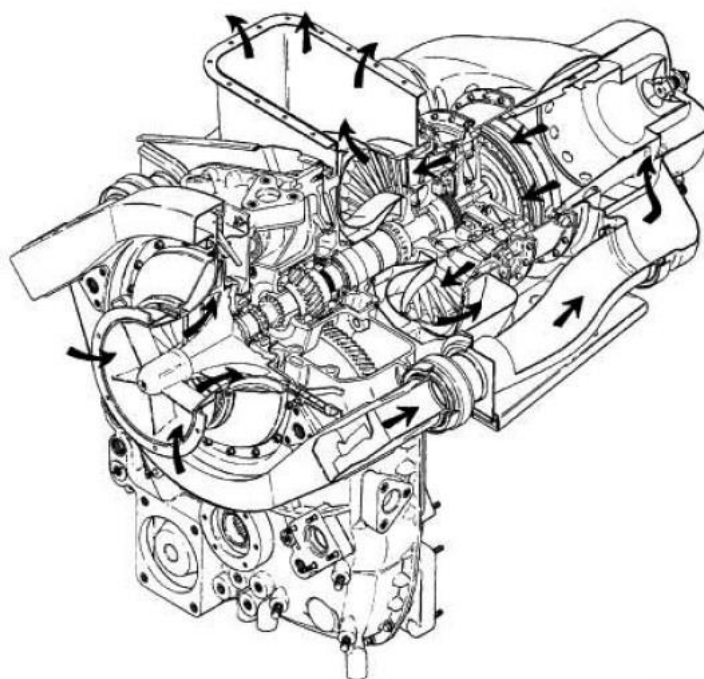
Sklop turbina s kolektorom ispušnih plinova pretvara energiju plinova nastalih u komori izgaranja u mehanički rad. Sastoji se od pet osnovnih dijelova: kućišta turbine kompresora, rotora turbine kompresora, kućišta slobodne turbine, rotora slobodne turbine te kućišta kolektora ispušnih plinova. Energiju plinova nastalih u komori izgaranja apsorbiraju rotori turbina. Tako rotor turbine kompresora pogoni rotor kompresora i 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 turbina je različit, a jedina veza su im plinovi koji na svojem putu od komore izgaranja do ispušnih cijevi moraju proći kroz sva četiri stupnja. Prolazak zraka kroz cijeli motor je prikazan na slici 5 [13].

Reduktor motora je glavna strukturna sekcija motora na koju se pričvršćuju sve ostale sekcije. 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, starter generator i hidro mehanička jedinica (*Hydromechanical Unit* - HMU). N2 zupčanički niz pogoni glavno pogonsko vratilo, AC generator i permanentni magnetni alternator (*Permanent Magnet Alternator* - PMA) [13].

**Tablica 4.** Osnovni podaci o motoru[13]

|  |  |
|--|--|
| <b>Maksimalna snaga motora (30 min)</b>        | 650 KS (485 KW)                            |
| <b>Maksimalana stalna snaga motora</b>         | 600 KS (458 KW)                            |
| <b>Broj okretaja kompresora N1</b>             | 100% (51,000 revolutions per minute - rpm) |
| <b>Broj okretaja slobodne turbine</b>          | 100% (30,650 rpm)                          |
| <b>Broj okretaja glavnog pogonskog vratila</b> | 6,016 rpm                                  |



**Slika 5.** Rolls Royce M250-C30/3 sa strujanjem zraka[13]

#### 4.3.2. Rotori i reduktori

U letu, rotor i njihova interakcija sa zrakom i strukturama helikoptera su izvor najveće buke. Reduktor glavnog rotora, preko dva stupnja ukupne redukcije od 15.2961/1.0 (6016 rpm na 393 rpm) osigurava potreban broj okretaja za pravilan rad glavnog rotora. Prvi stupanj redukcije izveden je konusnim zupčanicom kojim se postiže redukcija 3.2632/1.0 (6016 rpm na 1845 rpm). Drugi stupanj redukcije postiže se planetarnim zupčaničkim nizom koji ostvaruje redukciju 4.6875/1 (1845 rpm na 393 rpm). Glavni rotor se sastoji od glavčine na koju su spojene četiri lopatice sa jarmovima izrađenim od stakloplastike što omogućuje nezavisnu slobodu mahanja svake lopatice. Same lopatice glavnog rotora su promjera 10.67 m sa tetivom dužine 0.27 m, sa ramenjačom i oplatom izrađenom od stakloplastike koja prekriva sačastu strukturu, što omogućava stvaranje uzgona čak i u slučaju nekih oštećenja nastalih neprijateljskom vatrom. Reduktor repnog rotora osigurava potreban broj okretaja za pravilan rad repnog rotora, a redukcija od 2.52/1.0 (6016 rpm na 2387 rpm) izvedena je s dva konusna zupčanika postavljena



pod kutem od 90 stupnjeva. Lopatice repnog rotora su metalne konstrukcije s oplatom od nehrđajućeg čelika i aluminijskom saćastom ispunom [13].

### 4.3.3. Naoružanje

Značajan izvor buke na helikopteru OH-58D je i naoružanje. Iako je ta buka u odnosu na ostale izvore buke na helikopteru relativno kratkotrajna, zbog svog intenziteta nije zanemariva.

- **Strojnica FN M3P**

Strojnica FN M3P kalibra .50 (12,7x99 mm) je automatsko, elektronički aktivirano, zrakom hlađeno vatreno oružje postavljeno na lijevoj strani helikoptera na nosač kojim je povezana na UWP te vrši paljbu od 950 do 1100 metaka u minuti (*rounds per minute* - RPM), s optimalnom brzinom od 1025 RPM. Kutija sa streljivom se montira na lijevu bočnu stranu helikoptera te omogućuje pohranu do 500 metaka. Daljinski punjač, postavljen na stražnji nosač strojnice, je elektro-mehanički uređaj za napinjanje koji se daljinski kontrolira prekidačem RECOCK / ARM / SAFE na upravljačkoj ploči naoružanja (*Armament Control Panel* - ACP). Omogućuje rukovatelju da osigura (SAFE), zabravi (ARM) ili repetira (RECOCK) strojnicu prema potrebi [13].

**Tablica 5.** Karakteristike strojnice M3P[13]

| <b>FN M3P .50</b>                |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Težina strojnice</b>          | 34.5 kg                                  |
| <b>Težina cijevi</b>             | 5.0 kg                                   |
| <b>Dužina strojnice</b>          | 1.675 m                                  |
| <b>Dužina cijevi</b>             | 895 mm                                   |
| <b>Broj i smjer užljebljenja</b> | 8 desno                                  |
| <b>Brzina paljbe</b>             | 1025 +- 75 rds/min                       |
| <b>Početna energija</b>          | 17,544 J                                 |
| <b>Početna brzina</b>            | 880 m/s                                  |
| <b>Domet</b>                     | 1,850 m (efektivni), 6500 m (maksimalni) |
| <b>Kalibar</b>                   | .50; 12,7 mm                             |

- **Hydra 70**

Raketni sustav Hydra-70 predstavlja skupinu 2,75in nevođenih raketa zrak-zemlja, izvedenih iz Mk 4 / Mk 40 FFAR (*Folding Fin Aerial Rocket*) razvijene 1940-ih. To je najčešće korišten oružani sustav na helikopterima američke vojske. Tijelo rakete je promjera 2,75 inča (70 mm), dugačke su između 1400mm i 1780mm, a teže od 10.43 kg do 12.25 kg. Sastoje se od tri glavne komponente: raketnog motora Mk 66 MOD 4, bojne glave i kontaktnog ili daljinskog detonatora. Raketni sustav Hydra 70 može biti uparen s devet različitih bojnih glava razvrstanih u jedinstvene i teretne. Jedinstvene bojne glave opremljene su eksplozivnim punjenjem, dok su teretne bojne glave opremljene raznim vrstama punjenja s podesivim detonatorima [14].

Raketni motor MK66 MOD 4 najnoviji je dizajn kojem je svrha otkloniti nedostatke prijašnjih modela. Najviše pažnje je posvećeno zaštiti od slučajnog aktiviranja motora ili eksplozivnog punjenja, stoga je raketa dizajnirana da bude otporna na izboje od 300 KV, a bilo kakva ometanja u radio frekventnom području su onemogućena RF filterima postavljenima oko upaljača. Na helikopteru OH-58D rakete Hydra 70 se ispaljuju iz lansera M260 sa 7 cijevi podijeljenih u dvije zone koje pilotu omogućuju izbor raketa koje želi ispaliti [14].

**Tablica 6.** Podaci o raketnom motoru MK66[14]

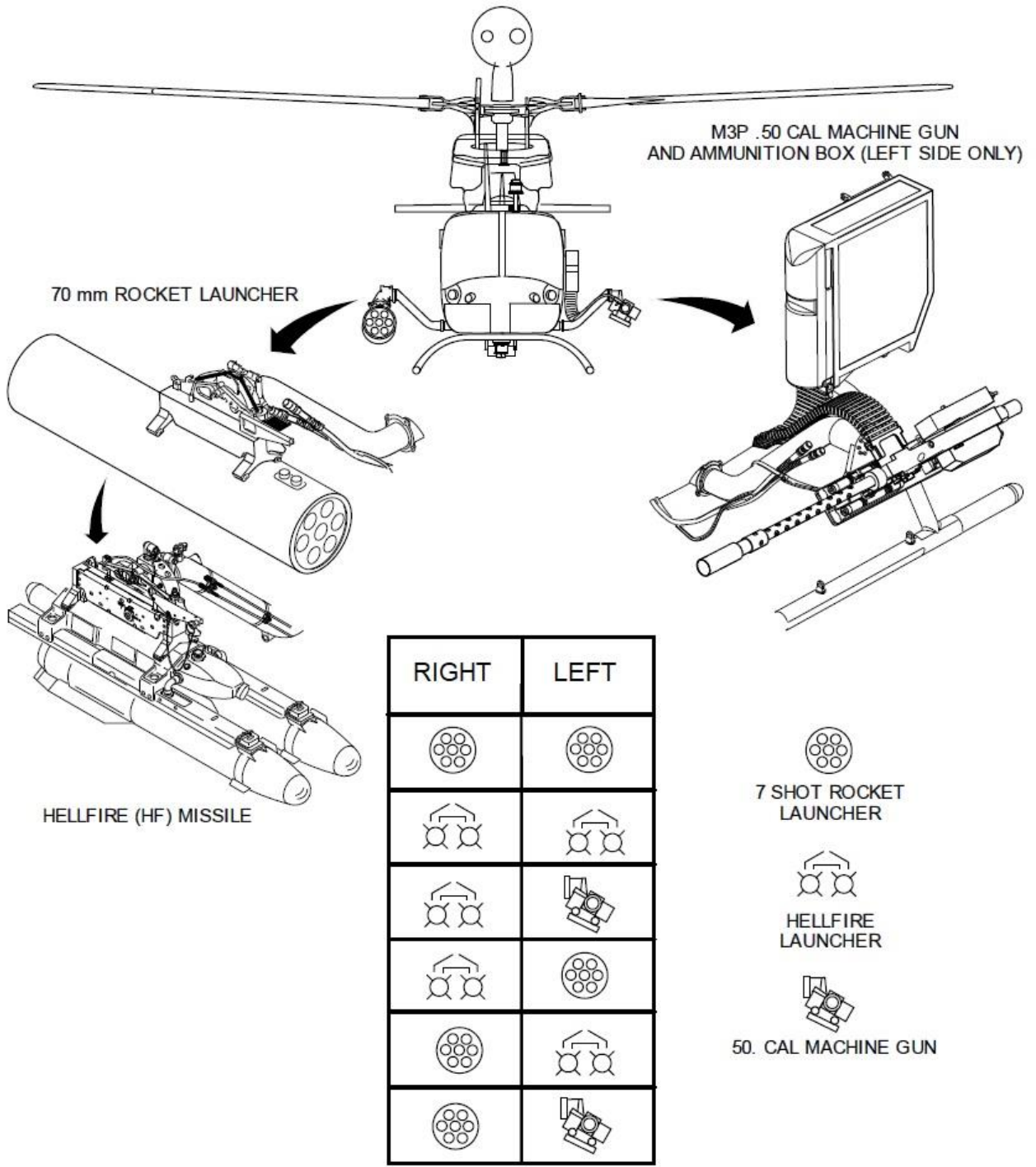
| <b>Raketni motor MK66</b>       |  |
|---------------------------------|--|
| <b>Težina</b>                   | 6.2 kg   |
| <b>Dužina</b>                   | 1060 mm  |
| <b>Vrijeme izgaranja</b>        | 1.5 sek  |
| <b>Potisak</b>                  | 6300 N   |
| <b>Daljina izgranja</b>         | 397 m  |
| <b>Brzina nakon izgaranja</b>   | 739 m/s  |
| <b>Ubrzanje</b>                 | 60-70g početno; 95-100g završno                              |
| <b>Efektivan domet</b>          | 500 do 8000 m (ovisno o bojnoj glavi i platformi lansiranja) |
| <b>Maksimalni domet</b>         | 10500 m u optimalnim uvjetima                                |
| <b>Temperaturna ograničenja</b> | -54 do +74c skladištenje<br>-45 do +65c korištenje           |

- **AGM-114 Hellfire**

AGM-114 Hellfire spada u skupinu vođenih raketa klase do 100 lbs (45kg) koje se mogu lansirati s helikoptera, aviona i bespilotnih letjelica protiv stacionarnih i pokretnih ciljeva. Hellfire je poluaktivno laserski navođena raketa zrak-zemlja te je primarno zrak-zemlja naoružanje za precizne udare borbenih helikoptera AH-64 Apache, OH-58 Kiowa Warrior, AH-1W Super Cobra te bespilotnih letjelica MQ-1 Predator i MQ-9 Reaper [15].

Raketa je promjera 17.8cm, težine 45 – 48.5 kg, dužine 162 – 175cm. Sastoji se od četiri sekcije: sekcije za pretraživanje i navođenje, bojne glave, pogonske sekcije i kontrolne sekcije. Raketa se navodi laserskom energijom koja se odbija od cilja. Najnovija varijanta Hellfire-a je višenamjenska raketa Hellfire II AGM-114R (Hellfire Romeo) koja koristi niz tehnoloških poboljšanja koja povećavaju njegovu učinkovitost i primjenjivost [15].

AGM-114R može se lansirati s većih visina u odnosu na prethodne varijante zbog poboljšanog sustava vođenja i poboljšanih navigacijskih mogućnosti. Nova višenamjenska programibilna bojna glava omogućuje projektilima djelovanje protiv tvrdih, mekih i zatvorenih ciljeva, što povećava fleksibilnost na bojnom polju. Ovisno o načinu lansiranja minimalan domet je između 500m i 1500m, maksimalan domet je 8km, a maksimalna brzina projektila iznosi 1.3 Ma. Na slici 6. moguće je vidjeti sve moguće rasporede naoružanja na OH-58D [15].



Slika 6. Mogući rasporedi naoružanja na OH-58D [13]

## 5. UREĐAJI I METODE REDUKCIJE BUKE

### 5.1. Uređaji za zaštitu sluha

Uređaji za zaštitu sluha mogu se pojednostavljeno podijeliti u tri osnovne vrste: slušalice koje pokrivaju vanjsko uho i djeluju kao akustička barijera (antifoni), čepići za uši koji se mogu umetnuti u vanjski ušni kanal i tako blokiraju širenje zvuka u srednje uho i kanalne čepiće koji su u osnovi čepići za uši povezani fleksibilnom vrpcom za glavu.

Kanalni čepići obično brtve ušni kanal na njegovom otvoru, ali s obzirom da ne ulaze u ušni kanal i pritisak koji spojnica vrši nije velik, smanjenje buke je manje. U novije vrijeme pojavile su se slušalice s digitalnim krugovima s aktivnom redukcijom buke.

- Čepići

Čepići za uši se mogu klasificirati po veličini, obliku i materijalima; izrađeni po mjeri, unaprijed pripremljeni i proširivi. Prethodno pripremljeni čepići za uši najčešće su izrađeni od meke plastike ili silikonske gume i dostupni su u različitim veličinama te su obično dostupni s kabelom kako bi se spriječio gubitak. Primjer standardnih čepića za uši se može vidjeti na slici 7.



**Slika 7.** Primjer standardnih čepića za uši od sporošireće spužve tvrtke 3M

Karakteristike ovih čepića ovise o podesivosti i održavanju. Ova vrsta čepića može kod korisnika izazvati osjećaj pritiska ili nelagode zbog svoje polutvrde konstrukcije. Čepići po mjeri izrađeni

su od mekog gumenog materijala koji je utisnut i oblikovan za pojedinačni vanjski ušni kanal, što omogućuje visoki stupanj prigušenja. Proširivi čepići se smatraju najudobnijima, budući da su izrađeni od poroznih i mekanih materijala poput spužve sa sporim širenjem. Nude visoko prigušenje jer se šire prema vanjskom ušnom kanalu i brtve ga pod manjim pritiskom.

- Antifoni

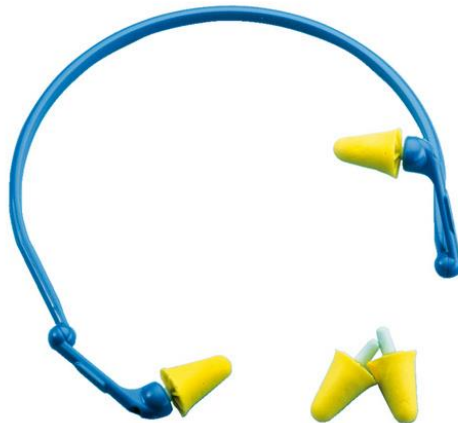
Antifoni su posebne slušalice izrađene od krutih materijala, uglavnom su ovalnog oblika i dizajnirane su tako da potpuno pokriju vanjsko uho. Na mjestu se drže pomoću podesive trake ili mehanizma koji omogućava precizno namještanje i podešavanje obliku glave, a rubovi slušalica su pokriveni ovalnim mekim obodnim jastukom napunjenim pjenom ili drugim mekanim materijalima, kako bi se postiglo kontinuirano brtvljenje. Učinkovitost slušalica uglavnom ovisi o pritisku koji nosač slušalica vrši na glavu i brtvljenju između jastuka i glave. Prigušenje koje pružaju ušne slušalice može se uvelike smanjiti ukoliko kosa ili naočale naruše brtvljenje oko uha. Slušalice odgovaraju većini ljudi, lako se stavljaju i uklanjaju pa se preporučuju za upotrebu u prljavim područjima i za osobe koje pate od problema s vanjskim ušnim kanalima. Na slici 8. prikazani su tipični antifoni za široku upotrebu.



**Slika 8.** Antifoni za smanjenje buke tvrtke 3M

- Kanalni čepići za uši

Sastoje se od fleksibilnih vrhova izrađenih od silikona, vinila ili pjene u obliku gljive, šupljeg metka ili stožca, pričvršćenih na laganu plastičnu traku, prikazani na slici 9. Lako se uklanjaju i zamjenjuju te se mogu koristiti ispod brade i iza glave.



**Slika 9.** Kanalni čepići za uši tvrtke 3M

- Istovremeno korištenje više načina zaštite sluha

Postoje mnoge situacije u kojima uporaba jednog zaštitnika nije dovoljna. U tim slučajevima treba razmotriti uporabu "kombinirane" zaštite (čepići za uši i slušalice), no potrebna je iznimna pažnja i prije primjene treba znati korisnost "kombinacije". Ispitivanja su pokazala da izvedba "kombinirane" zaštite nije zbroj zaštitnika koji se koriste, već je u rasponu od 5 do 15 dB više nego što je učinak najbolje zaštite u kombinaciji. Istraživanja su pokazala da na 2kHz i više, većina kombinacija čepić-slušalice pružaju maksimalnu moguću zaštitu. Na nižim frekvencijama čepić je ključan element zaštite, te je dodatno prigušenje variralo od 3 do 10 dB u odnosu na bolji uređaj zaštite sluha.

## 5.2. Zaštita od buke i vibracija na OH-58D

### 5.2.1. Kaciga HGU-56/P

Kaciga Gentex HGU-56/P standardna je kaciga za posade helikoptera zapadne proizvodnje u HRZ-u. Zamijenila je SPH-4G kacigu koja je dizajnirana kasnih 1960-ih kao prva kaciga napravljena primarno za zaštitu sluha, u odnosu na koju su napravljena poboljšanja u vidu udobnosti, prigušenju buke i mogućnosti postavljanje dodatne opreme. Ljuska kacige je izrađena od grafita i polietilena i štiti glavu od udara i oštih predmeta. Na stražnjoj strani kacige nalazi se otvor za protok zraka koji služi za hlađenje glave i odmagljivanje vizira. Na stražnjoj desnoj strani smješten je sklop adaptera za dodatni ventilacijski uređaj kao dodatna oprema kacige. Uložak je izrađen od polistirenskog materijala koji apsorbira energiju i smanjuje sile udara, a kanali i rezovi u ulošku ostavljaju prostor za unutarnje komponente. Termoplastična obloga (*Thermoplastic Liner* - TPL) je napravljena da odgovara većini oblika glave te nakon zagrijavanja na tjelesnu temperaturu povećava udobnost, ali po potrebi TPL se može zagrijati i na veću temperaturu te trajno oblikovati [16][17].

Sklop za pričvršćivanje se sastoji od dva podesiva podloška za pričvršćivanje slušalica, podupirača za bradu i jastučića za zatiljak. Podupirač za bradu je izrađen od najlonskih traka ojačanih aramidnim vlaknima te pomaže držati kacigu na mjestu, a D-prstenovi omogućuju zatezanje i opuštanje ovog remena. Jastuk za zatiljak smješten je na unutarnjem stražnjem dijelu kacige (ispod TPL) te poboljšava stabilnost smanjujući rotaciju kacige. Komunikacijski sustav sastoji se od para slušalica, komunikacijskog kabela i okretnog sklopa sa mikrofonom. Sklop dvostrukih vizira standardno dolazi sa prozirnog i zatamnjenim vizikom, ali su dostupni i viziri u drugim bojama te varijante koje neutraliziraju laserske zrake. Vizirima se upravlja preko pokretačkih gumba na bočnim dijelovima sklopa. Kućište osigurava montažno područje za ANVIS (*Aviator's Night Vision Imaging System*) naočale sa brzim odvajanje, ali i sa standardnim nosačem. Dostupna je u šest veličina tako da je omogućena optimalna zaštita glave i sluha. U tablici 7. prikazane su zaštitne sposobnosti kacige HGU-56/P [16][17].



**Tablica 7.** Osnovne specifikacije kacige HGU-56/P[17]

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

### 5.2.2. CEP

Komunikacijski čepići za uši (*Communications earplug* - CEP) je uređaj koji poboljšava zaštitu sluha i razumljivost komunikacije u bučnom okruženju. Sastoji se od minijaturnih slušalica koje reproduciraju komunikacijske signale iz kabinskog komunikacijskog sustava (*Interphone communication system* – ICS). Na slušalice se nastavlja spužvasti nastavak u obliku stošca, sličan čepićima za uši, kroz koji ide gumena cijev koja služi kao kanal za provođenje zvuka od zvučnika do uha. Žice iz CEP-a se spajaju na komunikacijski sustav preko konektora na stražnjoj strani kacige te su dovoljno tanke da je mogućnost istjecanja zvuka ili prolaska buke između slušalica kacige i glave zanemariva. Iako stavljanje CEP-a predstavlja dodatan korak prilikom stavljanja kacige, zaštita koju pruža kroz cijeli radni period je iznimna, te istovremeno osigurava razumljivu komunikaciju čak i u najbučnijim uvjetima [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 | 29.1               | 26.0 | 33.0 | 30.6  | 40.1  | 50.2  | 55.6  | 54.1  | 53.5  |
| With CEP SD   | 6.2                | 6.6  | 6.4  | 3.9   | 3.9   | 4.4   | 6.7   | 5.7   | 5.7   |

**Slika 10.** Prigušenje buke na različitim frekvencijama kacige HGU-56/P i kombinacije HGU-56/P i CEP-a[18]



**Slika 11.** Kaciga HGU-56/P sa CEP-ovima

### 5.2.3. HUMS

Sustav za nadzor statusa (*Health and usage monitoring system* - HUMS) je trajno instaliran sustav na helikopteru za nadgledanje sustava i balansiranje rotora. Sustav daje preporuke za korektivne radnje kako bi se razine vibracija održale na minimumu. HUMS će savjetovati kad god dođe do prekoračenja ograničenja te će preporučiti akciju održavanja [13].

HUMS prikuplja informacije s petnaest akcelerometara i pet tahometara koji su trajno instalirani na raznim mjestima na komponentama rotirajućeg pogonskog sklopa helikoptera. Akcelerometri mjere ubrzanje i koriste se za otkrivanje i mjerenje vibracija. Tahometri se koriste za određivanje brzine rotacije određenih komponenata u pogonskom sklopu. Podaci o vibracijama automatski se prikupljaju i pohranjuju na HUMS 1134 ECA LRU i na USB (*Universal Serial Bus*) ukoliko ima 28VDC i NR preko 90%, dok se ne preuzmu na osobno računalo koje interpretira podatke radi pružanja preporučenih korektivnih radnji. Kada je potrebno praćenje rotorskog sustava, kamera za praćenje privremeno se instalira s kabelom za praćenje i pripadajućim ciljevima praćenja.

Izmjereni podaci o praćenju uključuju praćenje lopatica, kao i podatke o zamahivanju i mahanju. Vrijeme zadržavanja podataka može se postaviti od 1 do 99 dana, a preporučuje se da se postavi na 30 dana [13].

Vibracija je normalna pojava u helikopteru. Nenormalne vibracije su znak nadolazećih problema u zrakoplovu. Vibracije u cjelini mogu se podijeliti po kategorijama na temelju njihove učestalosti:

- Vibracija niske frekvencije - frekvencije do 15 Hz, najčešći uzrok su razlike u ravnoteži mase između glavnih komponenata rotora ili razlike u uzgonu između lopatica glavnog rotora [13].
- Vibracije srednje frekvencije - frekvencije između 15 i 50 Hz, uključuju vibracije glavnog i repnog rotora, budući da je određena razina vibracija glavnog rotora uvijek prisutna u trupu, svako povećanje tih vibracija može ukazivati na labavost komponenti trupa, kao što su stalni trap, repne skije ili nosači motora [13].
- Visokofrekventne vibracije - frekvencije iznad 50 Hz su povezane s pobuđivanjem repnog rotora od strane pogonskog sklopa ili dijelova motora, a posada može to primjetiti kao zujanje ili buku u kabini. Promjene tih vibracija mogu ukazivati na propadanje glavčine repnog rotora ili komponenti upravljačkog sustava ili pogonskog sklopa [13].

### 5.3. Nove metode zaštite od buke

#### 5.3.1. Aktivno poništavanje/redukcija buke (*Active noise cancelling/reduction – ANC/ANR*)

Kaciga HGU-56/P kompatibilna je sa Gentex sustavom za aktivnu redukciju buke (*Aircrew Helmet Noise Reduction - ANHR*) koji je napravljen kako bi dodatno smanjio izloženost posada buci u glasnijim zrakoplovima ili na duljim zadaćama. Sustav dolazi ili već postavljen u kacigu ili kao dodatak za postojeće kacige te se može napajati iz zrakoplovnih sustava ili pomoću baterija, na visokim ili niskim impedancijama, ovisno o zrakoplovu. Sustav omogućava programiranje kako bi se precizno podesile postavke aktivne redukcije, ovisno o vrsti bučnog polja, što omogućava optimiziranje za specifičan zrakoplov ili čak za određenu fazu leta, u

slučaju da se spektar niskih i visokih frekvencija značajno razlikuje. Optimiziran za napajanje preko baterije sustav omogućuje do 40 sati neprekidnog rada, s mogućnošću spajanja na zrakoplovni izvor napajanja . Dizajniran je primarno za lovačke zrakoplove F-15, F-16, F-22, transportne zrakoplove i borbene helikoptere [17].



**Slika 12.** Gentex ANHR[16]

### 5.3.2. Prednosti i mane ANR/ANC

Težina kacige je presudna za određivanje krajnje učinkovitosti zaštite od udaraca i opterećenja. Piloti u zrakoplovima su izloženi značajnim silama na glavi i vratu prilikom leta, koje su onda pojačane dodatnom težinom kacige i ostale opreme montirane na nju. Te sile postaju iznimno velike prilikom naglih ubrzanja ili usporenja, promjena smjera te posebno kod nesreća. Težina komunikacijskog sustava obično je otprilike 25% ukupne težine kacige. Istraživanja su pokazala da su slušalice udobne te su nužan dio sustava kacige kao uređaj za zaštitu sluha i za stabilizaciju kacige na glavi, što je od iznimne važnosti prilikom korištenja dodatnih uređaja.

Dugotrajno istraživanje učinkovitosti ANR slušalica na helikopterima Sea King AEW2 Britanske ratne mornarice pokazuje kako su ANR slušalice smanjile pozadinsku buku unutar kaciga pilota za 8-9 dB više od običnih slušalica, zbog čega je i posada mogla smanjiti razinu zvuka komunikacijskih uređaja, što je smanjilo opasnost oštećenja sluha i poboljšalo uvjete rada. CEP osigurava primarnu zaštitu sluha i prenosi glasovne komunikacijske signale, dok će slušalice dopuniti zaštitu, pružajući adekvatnu zaštitu u bučnom okruženju kokpita [1][18].

Ova je kombinacija posebno povoljna kada je u kabini prisutna impulsna buka (prilikom bojevog djelovanja). Zaštita sluha i komunikacija najvažniji su kada se veliki broj metaka ispaljuje iz zrakoplova s otvorenom kabinom sa cijevima oružja smještenim u blizini članova posade, a ANR sustavi ne smanjuju razinu impulsne buke u tom okruženju. Učinkovitost ANR sustava se također drastično smanjuje ukoliko kaciga nije pravilno podešena ili je brtvljenje između slušalica i glave narušeno [1][18].

## 6. MJERENJE I ANALIZA UNUTARNJE BUKE HELIKOPTERA OH-58D

### 6.1. Postupak mjerenja

Mjerenje buke je izvedeno 30.10.2019 na helikopteru OH-58D registarske oznake 321 sa skinutim vratima kabine, na stajanci helikoptera zrakoplovne baze "Pukovnik Mirko Vukušić" u Zemuniku Donjem te u pilotažnoj zoni Novigrad. Mjerenje je provedeno mjernim instrumentom Norsonic Nor 140 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 8.** Opći podaci o uvjetima mjerenja

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Datum</b>             | 30.10.2019  |
| <b>Vrijeme (Lokalno)</b> | 12:10-12:55   |
| <b>Lokacija</b>          | LDZD / PZ Novigrad  |
| <b>Zrakoplov</b>         | OH-58D/321<br>ETF( <i>Engine Torque Factor</i> ) - 1.13<br>Masa – 4670 lb (2118 kg) |
| <b>Visina</b>            | GND – 2000 ft   |
| <b>Meteo</b>             | 13C°; 3011in/Hg; 210/5kn  |
| <b>Mjerni instrument</b> | Norsonic Nor 140  |

### 6.2 Analizator zvuka Norsonic Nor 140

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 terčne 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

mikrofon, nor1251 akustički kalibrator, instalacijski CD, USB kabel, zaštitnik od vjetra, upute za uporabu i prijenosnu torbu [19].



**Slika 13.** Zvukomjer Norsonic Nor140

### 6.3. Režimi leta u kojima je izvršeno mjerenje

Mjerenja su izvršena u raznim fazama leta kroz koje helikopter OH-58D prolazi prilikom jedne svoje vježbe. Obuhvaćene su faze na stajanci prilikom pokretanja, lebdenja, provjere raspoložive snage, prelaska u progresivan let, karakteristični režimi i snage u letu koje se koriste prilikom vježbe te sam prilaz na slijetenje. U sljedećoj tablici 9. mjerenja će biti imenovana, numerirana, i ukratko objašnjena te će biti naveden broj zapisa iz kojeg su isčitani relevantni podaci.

**Tablica 9.** Podaci o izvršenom mjerenju

| Faza leta                  | Opis režima   | Broj zapisa |
|----------------------------|---|-------------|
| Pokretanje                 | 1) Mali gas - helikopter na malom gasu (Flight Idle), Ng 60-64%   | 785         |
|                            | 2) Puni gas – gas u potpunosti otvoren, pokrenuti svi uređaji, N2/Nr 100%   | 754         |
| Lebdenje                   | 3) IGE – lebdenje u uvjetima zračnog jastuka (In Ground Effect)   | 756         |
|                            | 4) OGE – lebdenje u uvjetima van zračnog jastuka (Out of Ground Effect – 50ft AGL)                                | 758         |
| Prelazak u progresivan let | 5) Prelazak u prog. let - Prelazak iz lebdenja u progresivan let, 90% MQ (Mast Torque), povećanje brzine i visine | 760         |
| Horizontalan let           | 6) 50 kn – horizontalan let brzinom 50 kn   | 761         |
|                            | 7) 70 kn – horizontalan let brzinom 70 kn   | 763         |
|                            | 8) 90 kn – horizontalan let brzinom 90 kn   | 765         |
|                            | 9) 110 kn – horizontalan let brzinom 110 kn   | 775         |
| Zaokreti                   | 10) 70 kn/30° – zaokret nagiba 30° brzinom 70kn   | 777         |
|                            | 11) 70 kn/45° - zaokret nagiba 45° brzinom 70kn   | 779         |
|                            | 12) 70 kn/60° - zaokret nagiba 60° brzinom 70kn   | 783         |
| Vertikalni režimi          | 13) 70 kn; 500 ft/min penjanje – režim penjanja sa 70 kn i 500 ft/min promjene visine                             | 767         |
|                            | 14) 70 kn; 500 ft/min spuštanje – režim spuštanja sa 70 kn i 500 ft/min promjene visine                           | 769         |
|                            | 15) 50 kn/95% TQ penjanje – penanje sa maksimalnom brzinom penjanja   | 771         |
|                            | 16) 50 kn/20% TQ spuštanje – spuštanje sa maksimalnom brzinom spuštanja   | 773         |
| Prilaz za slijetanje       | 17) Prilaz za slijetanje - Prelazak iz progresivnog leta u zalebdenje   | 781         |



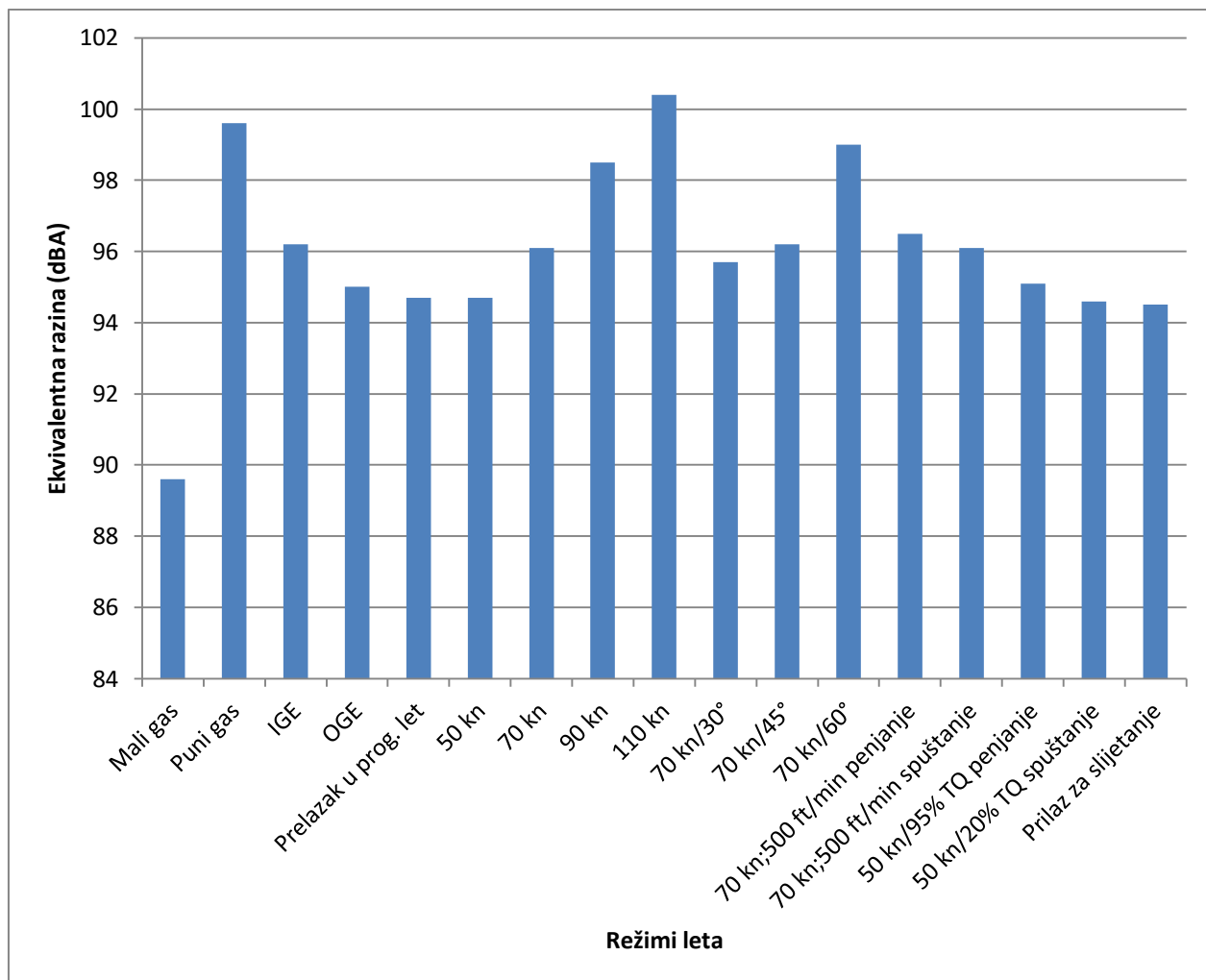
## 6.4. Rezultati mjerenja

U ovom poglavlju će se kroz tablice i grafove prikazati prikupljene i izmjerene vrijednosti za svaki režim leta na helikopteru OH-58D. U tablicama i grafovima režimi će biti označeni brojem ili imenom, a detaljniji opis pojedinog režima se nalazi u tablici 9. Sve vrijednosti mjerenja buke će biti prikazane u mjernoj jedinici decibel (dB) odnosno dBA.

U tablici 10. prikazani su rezultati mjerenja unutarnje kabinske buke A –ponderiranom metodom za sve režime leta te je prikazana ekvivalentna vrijednost razine buke u decibelima, dok se na grafikonu 1. može vidjeti grafička usporedba razine buke za pojedine režime leta. Iz tablice i grafikona može se vidjeti da je najveća ekvivalentna razina buke mjerena A – ponderiranom metodom u režimima *Puni gas* i *110 kn*, a da režimi *90 kn* i *70 kn/60°* imaju neznatno manje vrijednosti. Promatrajući razine buke u ostalim režimima u samo jednom režimu vidljiva je razina buke ispod 90 dBA i to režim *Mali gas*, dok je u svim ostalim režimima razina buke minimalno 94.5 dBA, što je visoko iznad normalnih razina.

**Tablica 10.** Rezultati mjerenja unutarnje buke A-ponderiranom metodom (ekvivalentna razina)

|                   |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| <b>Režim</b>      | <b>1</b>  | <b>2</b>  | <b>3</b>  | <b>4</b>  | <b>5</b>  | <b>6</b>  | <b>7</b>  | <b>8</b>  | <b>9</b> |
| <b>LAeq [dBA]</b> | 89.6      | 99.6      | 96.2      | 95        | 94.7      | 94.7      | 96.1      | 98.5      | 100.4    |
| <b>Režim</b>      | <b>10</b> | <b>11</b> | <b>12</b> | <b>13</b> | <b>14</b> | <b>15</b> | <b>16</b> | <b>17</b> |          |
| <b>LAeq [dBA]</b> | 95.7      | 96.2      | 99        | 96.5      | 96.1      | 95.1      | 94.6      | 94.5      |          |



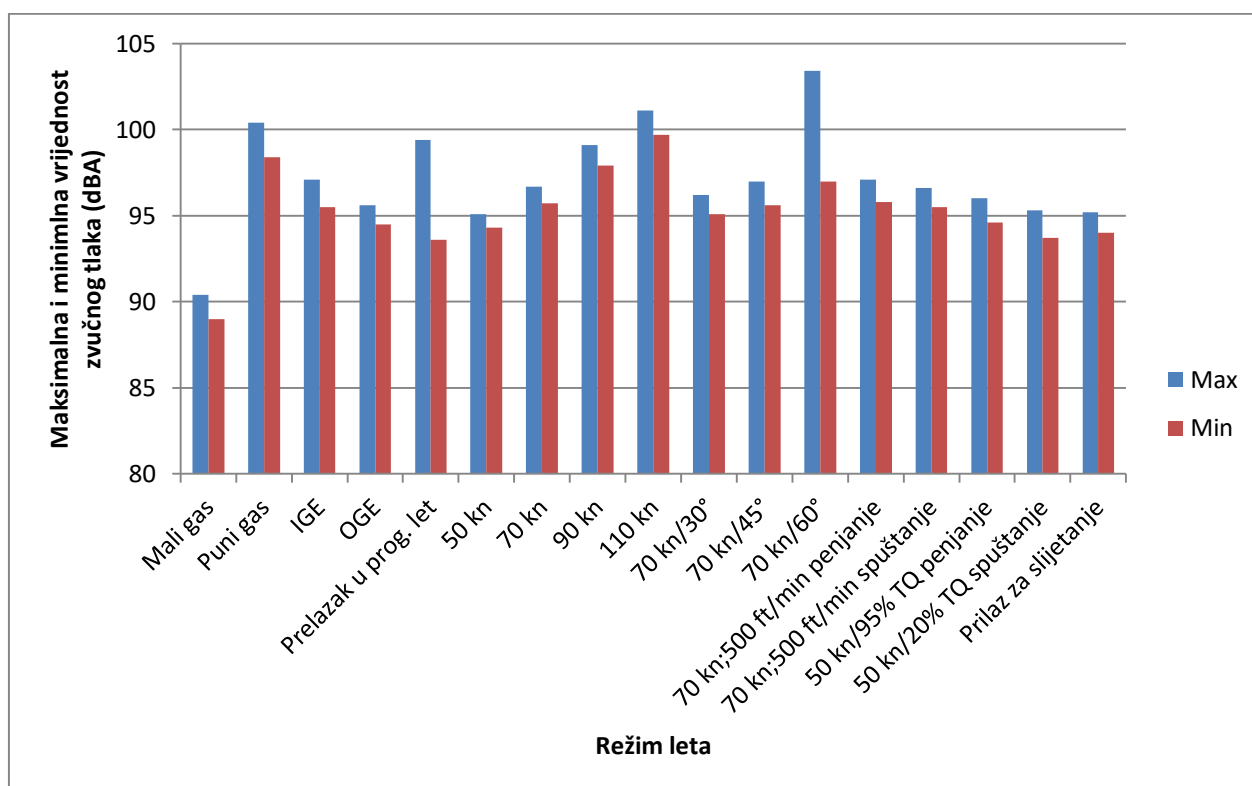
**Grafikon 1.** Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D Kiowa Warrior A-ponderiranom metodom – ekvivalentna razina pri određenim režimima leta.

*(A-weighted Integrated Averaged SPL (LAeq))*

U tablici 11. mogu se vidjeti rezultati mjerenja unutarnje kabinske buke A – ponderiranom metodom, tj. maksimalne i minimalne vrijednosti razine buke tijekom mjerenja u trajanju od 5 sekundi. Na grafikonu 2. se može vidjeti grafička usporedba minimalnih i maksimalnih vrijednosti razine buke za svaki režim leta. Iz tablice i grafa vidljivo je da u najbučnijim režimima vrijednost prelazi 100 dBA, tj. da u režimu *70 kn/60°* dostiže vrijednost od 103.4 dBA.

**Tablica 11.** Rezultati mjerenja unutarnje buke A-ponderiranom metodom (maksimalna i minimalna vrijednost)

|                  |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| <b>Režim</b>     | <b>1</b>  | <b>2</b>  | <b>3</b>  | <b>4</b>  | <b>5</b>  | <b>6</b>  | <b>7</b>  | <b>8</b>  | <b>9</b> |
| <b>Max [dBA]</b> | 90.4      | 100.4     | 97.1      | 95.6      | 99.4      | 95.1      | 96.7      | 99.1      | 101.1    |
| <b>Min [dBA]</b> | 89        | 98.4      | 95.5      | 94.5      | 93.6      | 94.3      | 95.7      | 97.9      | 99.7     |
| <b>Režim</b>     | <b>10</b> | <b>11</b> | <b>12</b> | <b>13</b> | <b>14</b> | <b>15</b> | <b>16</b> | <b>17</b> |          |
| <b>Max [dBA]</b> | 96.2      | 97        | 103.4     | 97.1      | 96.6      | 96        | 95.3      | 95.2      |          |
| <b>Min [dBA]</b> | 95.1      | 95.6      | 97        | 95.8      | 95.5      | 94.6      | 93.7      | 94        |          |



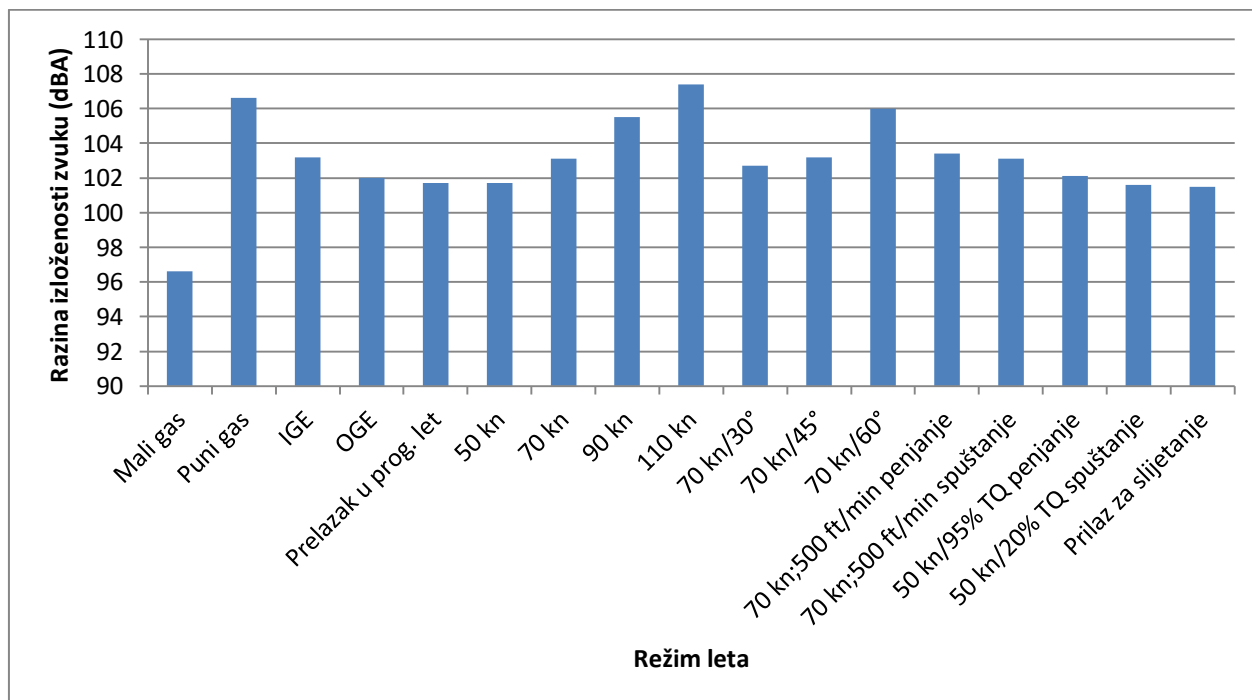
**Grafikon 2.** Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D Kiowa Warrior A-ponderiranom metodom – maksimalna i minimalna vrijednost pri određenim režimima leta.  
(A-weighted maximum/minimum SPL LAFmax/LAFmin)

U tablici 12. prikazani su rezultati mjerenja unutarnje kabinske buke A – ponderiranom metodom, a prikazana je razina izloženosti zvuku, a na grafikonu 3. se može vidjeti grafički

prikaz razine buke za sve režime leta. Iz tablice i grafikona vidljivo je da je u svim režimima vrijednost buke iznimno velika i prelazi 100 dBA sa maksimalnom vrijednosti od 107.4 dBA, osim u režimu *Mali gas* gdje je vrijednost buke 96.6 dBA.

**Tablica 12.** Rezultati mjerenja unutarnje buke A-ponderiranom metodom (razina izloženosti zvuku)

|                  |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| <b>Režim</b>     | <b>1</b>  | <b>2</b>  | <b>3</b>  | <b>4</b>  | <b>5</b>  | <b>6</b>  | <b>7</b>  | <b>8</b>  | <b>9</b> |
| <b>LAX [dBA]</b> | 96.6      | 106.6     | 103.2     | 102       | 101.7     | 101.7     | 103.1     | 105.5     | 107.4    |
| <b>Režim</b>     | <b>10</b> | <b>11</b> | <b>12</b> | <b>13</b> | <b>14</b> | <b>15</b> | <b>16</b> | <b>17</b> |          |
| <b>LAX [dBA]</b> | 102.7     | 103.2     | 106       | 103.4     | 103.1     | 102.1     | 101.6     | 101.5     |          |



**Grafikon 3.** Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D Kiowa Warrior A-ponderiranom metodom – razina izloženosti zvuku pri određenim režimima leta.

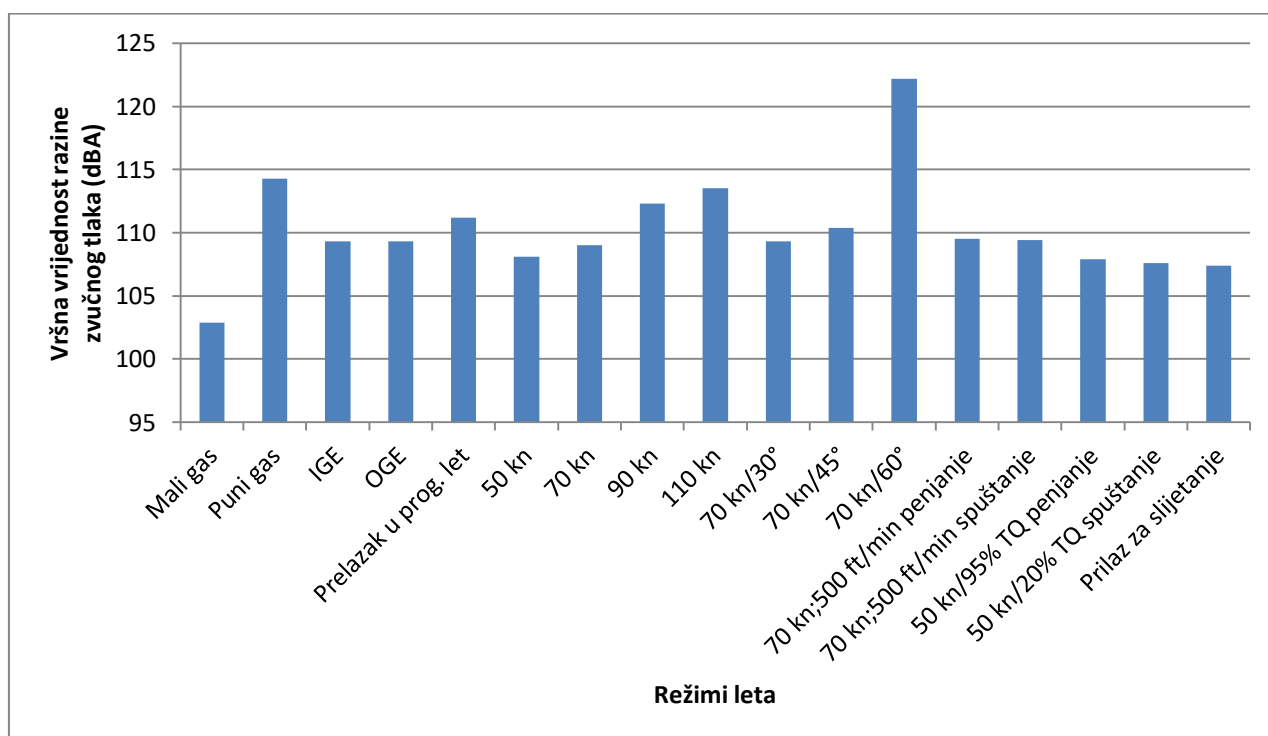
(A-weighted Sound Exposure Level (LAX ili SEL))

U tablici 13. mogu se vidjeti rezultati mjerenja unutarnje kabinske buke A – ponderiranom metodom, a prikazane su vršne vrijednosti buke pri određenim režimima leta te se na grafikonu . može vidjeti grafički prikaz vršnih razina buke za sve režime leta. Iz tablice i grafikona vidljivo

je da u skoro svim režimima vršna vrijednost buke prelazi 105 dBA, osim u režimu *Mali gas* gdje je vrijednost buke 102.9 dBA, te da je maksimalna vrijednost 122.2 dBA u režimu *70 kn/60°*.

**Tablica 13.** Rezultati mjerenja unutarnje buke A-ponderiranom metodom (vršne vrijednosti po režimima)

| Režim               | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>LApeak [dBA]</b> | 102.9 | 114.3 | 109.3 | 109.3 | 111.2 | 108.1 | 109   | 112.3 | 113.5 |
| Režim               | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    |       |
| <b>LApeak [dBA]</b> | 109.3 | 110.4 | 122.2 | 109.5 | 109.4 | 107.9 | 107.6 | 107.4 |       |



**Grafikon 4.** Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D Kiowa Warrior A-ponderiranom metodom – vršne vrijednosti pri određenim režimima leta.

(*LApeak*)

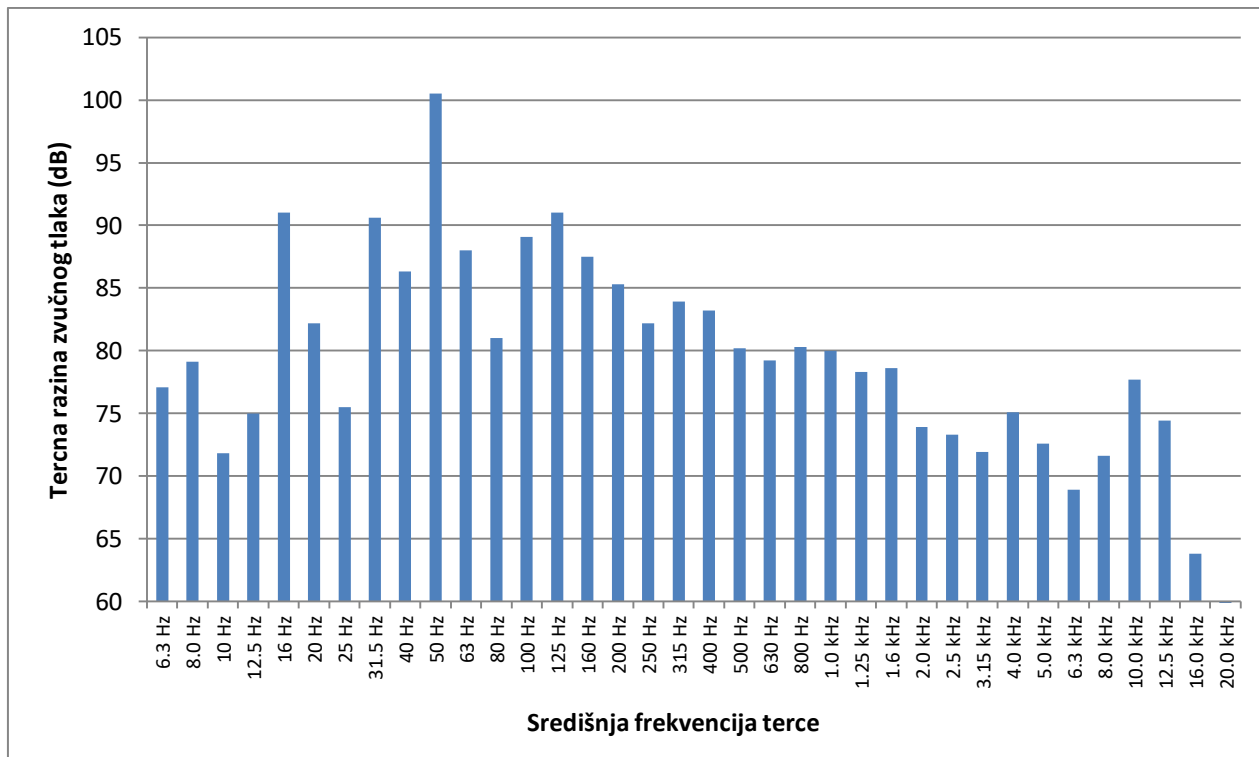
U tablicama 14. i 15. su prikazani rezultati tercnog mjerenja buke helikoptera u frekvencijskom rasponu od 6.3 Hz do 20 kHz za sve režime leta, a u grafikonima od 5. do 21. je grafički prikaz razine buke u dB po tercama za sve režime leta.

**Tablica 14.** Vrijednosti tercnog mjerenja u dB unutarnje buke helikoptera OH-58D u režimima leta 1 - 9

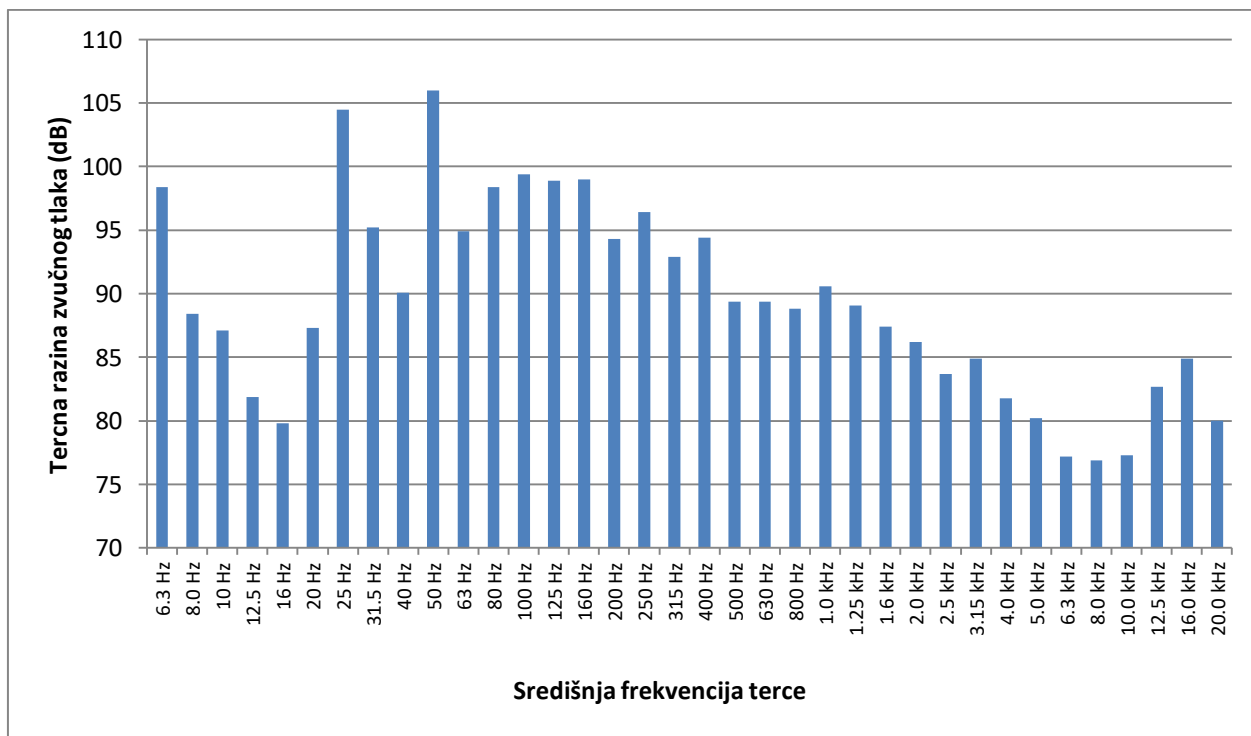
|          | Središnja<br>frekvencija terce | REŽIMI |       |       |       |       |      |       |       |       |
|----------|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
|          |                                | 1      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6    | 7     | 8     | 9     |
| dB       | 6.3 Hz                         | 77.1   | 98.4  | 97.1  | 89.6  | 102.9 | 96.4 | 98.1  | 97.7  | 97.2  |
|          | 8 Hz                           | 79.1   | 88.4  | 93.3  | 82.6  | 95.3  | 84.6 | 87.6  | 93.5  | 93.2  |
|          | 10 Hz                          | 71.8   | 87.1  | 89    | 83.7  | 97.3  | 78.6 | 84.4  | 91    | 91.7  |
|          | 12.5 Hz                        | 75     | 81.9  | 86.9  | 90.6  | 105.8 | 86.7 | 86.7  | 93.9  | 101.3 |
|          | 16 Hz                          | 91     | 79.8  | 83.8  | 83.7  | 100.2 | 84.6 | 84.7  | 91.7  | 93.4  |
|          | 20 Hz                          | 82.2   | 87.3  | 92.4  | 86    | 98.5  | 90.6 | 88.3  | 95.4  | 97.9  |
|          | 25 Hz                          | 75.5   | 104.5 | 111.6 | 103.2 | 104.4 | 107  | 104.7 | 109.3 | 113.8 |
|          | 31.5 Hz                        | 90.6   | 95.2  | 98.3  | 92    | 100.3 | 95.6 | 95    | 98.9  | 102   |
|          | 40 Hz                          | 86.3   | 90.1  | 88.6  | 90.5  | 99.3  | 91.6 | 96.1  | 101.6 | 103   |
|          | 50 Hz                          | 100.5  | 106   | 101.3 | 96.8  | 101.3 | 97.2 | 104.1 | 106.1 | 105.4 |
|          | 63 Hz                          | 88     | 94.9  | 89.3  | 89.5  | 96.7  | 88.2 | 94    | 97.4  | 99.6  |
|          | 80 Hz                          | 81     | 98.4  | 94    | 93.9  | 96.4  | 88.3 | 91.4  | 97.2  | 99.5  |
|          | 100 Hz                         | 89.1   | 99.4  | 97.5  | 95.4  | 97    | 96.9 | 97    | 102   | 104.1 |
|          | 125 Hz                         | 91     | 98.9  | 96.1  | 92.8  | 94.5  | 93.5 | 96.7  | 101   | 104.4 |
|          | 160 Hz                         | 87.5   | 99    | 95.5  | 95.9  | 94.3  | 89.6 | 92.7  | 99.2  | 99.5  |
|          | 200 Hz                         | 85.3   | 94.3  | 91.7  | 91.2  | 93.7  | 89.5 | 92.2  | 97.5  | 99.6  |
|          | 250 Hz                         | 82.2   | 96.4  | 91    | 89.4  | 93.1  | 89.3 | 89.5  | 94.3  | 96.2  |
|          | 315 Hz                         | 83.9   | 92.9  | 89.3  | 85    | 85.4  | 85.1 | 87.2  | 91.5  | 94    |
|          | 400 Hz                         | 83.2   | 94.4  | 89.3  | 84.9  | 86.3  | 83.5 | 85.5  | 90.5  | 93.1  |
|          | 500 Hz                         | 80.2   | 89.4  | 84.9  | 84    | 83.9  | 85.1 | 85.1  | 87    | 90.1  |
|          | 630 Hz                         | 79.2   | 89.4  | 86.7  | 84.3  | 83    | 82   | 81.8  | 86.7  | 89.1  |
|          | 800 Hz                         | 80.3   | 88.8  | 86.4  | 83.2  | 82.3  | 81.6 | 82.5  | 87.2  | 89.2  |
|          | 1 kHz                          | 80     | 90.6  | 85.4  | 82.2  | 80.1  | 81.2 | 81.6  | 83.7  | 86.6  |
|          | 1.25 kHz                       | 78.3   | 89.1  | 84    | 82.7  | 80.2  | 82.1 | 83.5  | 88.1  | 90.9  |
|          | 1.6 kHz                        | 78.6   | 87.4  | 84.7  | 84.4  | 84.9  | 85.6 | 87.2  | 86.6  | 87.6  |
|          | 2 kHz                          | 73.9   | 86.2  | 83.1  | 83.4  | 80.1  | 84.7 | 87    | 85.9  | 87    |
|          | 2.5 kHz                        | 73.3   | 83.7  | 81.8  | 81.8  | 80.8  | 80.8 | 82.8  | 83.8  | 86.2  |
|          | 3.15 kHz                       | 71.9   | 84.9  | 84.2  | 85.8  | 84.2  | 84   | 85.5  | 86.2  | 86.8  |
| 4 kHz    | 75.1                           | 81.8   | 80.4  | 80.1  | 80.5  | 81.4  | 81.6 | 83.3  | 84.3  |       |
| 5 kHz    | 72.6                           | 80.2   | 79.3  | 79.6  | 80.9  | 81.1  | 81.4 | 83    | 83.7  |       |
| 6.3 kHz  | 68.9                           | 77.2   | 76.8  | 76.3  | 77.3  | 77    | 77.9 | 80    | 80.3  |       |
| 8 kHz    | 71.6                           | 76.9   | 76.4  | 74.6  | 75.4  | 75.6  | 76.7 | 78.1  | 78.6  |       |
| 10 kHz   | 77.7                           | 77.3   | 77.4  | 73.1  | 74.9  | 75.3  | 76   | 76.9  | 77.2  |       |
| 12.5 kHz | 74.4                           | 82.7   | 80.8  | 73    | 75.7  | 77    | 77   | 77.3  | 77.5  |       |
| 16 kHz   | 63.8                           | 84.9   | 82.6  | 74.9  | 76.7  | 75.5  | 75.6 | 76.2  | 76.1  |       |
| 20 kHz   | 58.7                           | 80     | 80.5  | 70.1  | 72.6  | 74.3  | 74.4 | 75.1  | 73.7  |       |

**Tablica 15.** Vrijednosti tercnog mjerenja u dB unutarnje buke helikoptera OH-58D u režimima leta 10–17

|          | Središnja<br>frekvencija terce | REŽIMI |       |       |       |       |       |       |       |
|----------|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|          |                                | 10     | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    |
| dB       | 6.3 Hz                         | 96.6   | 95.9  | 95.2  | 98.6  | 97.4  | 100.7 | 96.7  | 92.6  |
|          | 8 Hz                           | 86     | 88.7  | 95    | 91.6  | 89    | 88.1  | 91.7  | 88.6  |
|          | 10 Hz                          | 83.9   | 85.2  | 93.9  | 87.2  | 86    | 84.2  | 90.7  | 85.3  |
|          | 12.5 Hz                        | 87.8   | 93.9  | 97.9  | 88.4  | 88.5  | 90.9  | 93    | 91.5  |
|          | 16 Hz                          | 87.5   | 87.9  | 94.9  | 88.9  | 87.4  | 86.9  | 94.5  | 88.8  |
|          | 20 Hz                          | 89.3   | 94.3  | 97.2  | 93.7  | 94.5  | 89.9  | 95.2  | 94    |
|          | 25 Hz                          | 104.7  | 109.4 | 113.8 | 102.2 | 110.3 | 100.6 | 111.6 | 111.9 |
|          | 31.5 Hz                        | 96.5   | 97.9  | 102.2 | 95.9  | 98.3  | 94.2  | 100   | 99.1  |
|          | 40 Hz                          | 97     | 95.9  | 98.1  | 99.6  | 96.1  | 94.9  | 94.4  | 93    |
|          | 50 Hz                          | 99.9   | 98.2  | 109.1 | 102.6 | 103   | 98    | 102.2 | 96.7  |
|          | 63 Hz                          | 91.8   | 91.3  | 97.1  | 93.3  | 93.2  | 89.7  | 89.8  | 88.3  |
|          | 80 Hz                          | 92.1   | 92.4  | 94.5  | 94.2  | 93    | 90.4  | 94.8  | 92.1  |
|          | 100 Hz                         | 96.4   | 95.7  | 99.7  | 96.7  | 96.3  | 95.4  | 93.8  | 97.3  |
|          | 125 Hz                         | 95.1   | 95.3  | 100.8 | 96.6  | 95.2  | 93.6  | 88    | 94.4  |
|          | 160 Hz                         | 92.7   | 94.5  | 97    | 96.8  | 94.3  | 95.5  | 86    | 91.1  |
|          | 200 Hz                         | 92.8   | 94    | 98    | 96.2  | 93.2  | 96    | 87.4  | 92.1  |
|          | 250 Hz                         | 89.6   | 89.1  | 95    | 91.6  | 90.7  | 91.3  | 87.8  | 90.8  |
|          | 315 Hz                         | 87.3   | 87.2  | 93.8  | 87.7  | 88.2  | 86.5  | 82.9  | 87.4  |
|          | 400 Hz                         | 86.1   | 87.2  | 94.5  | 86.9  | 88.2  | 87.2  | 83.4  | 85.5  |
|          | 500 Hz                         | 84.3   | 84    | 91.2  | 84.1  | 85.3  | 83.1  | 78.9  | 82.1  |
|          | 630 Hz                         | 81.6   | 82.8  | 88.7  | 83.4  | 83.5  | 82.8  | 78.7  | 80.9  |
|          | 800 Hz                         | 82.1   | 82.4  | 87.3  | 82.9  | 82.7  | 83    | 77.7  | 80.1  |
|          | 1 kHz                          | 81.9   | 81.4  | 85.3  | 79.1  | 80.5  | 77.5  | 75.1  | 76.8  |
|          | 1.25 kHz                       | 84.3   | 84.6  | 86.9  | 81.8  | 82.2  | 80.8  | 80.5  | 80.6  |
|          | 1.6 kHz                        | 87     | 86.9  | 87.1  | 85.5  | 86.2  | 84.5  | 84.5  | 84.3  |
|          | 2 kHz                          | 84.6   | 86.1  | 88.8  | 88.1  | 83.3  | 81.3  | 87.4  | 78.9  |
|          | 2.5 kHz                        | 82.6   | 83    | 83.1  | 81.7  | 82    | 81    | 80    | 80.8  |
|          | 3.15 kHz                       | 84.6   | 85.9  | 81    | 85.8  | 87    | 85.9  | 86    | 85.8  |
| 4 kHz    | 82.1                           | 81.9   | 79.6  | 81.2  | 83    | 80.4  | 81.7  | 82.1  |       |
| 5 kHz    | 81.4                           | 82.5   | 77.4  | 82.3  | 83    | 81.2  | 82.9  | 83.1  |       |
| 6.3 kHz  | 77.9                           | 78.7   | 75    | 78.9  | 79.6  | 78    | 78.8  | 78.8  |       |
| 8 kHz    | 76.2                           | 76.9   | 73.5  | 77.1  | 78    | 76.6  | 77    | 77.3  |       |
| 10 kHz   | 75.5                           | 75.5   | 73.6  | 76.1  | 75.7  | 75.7  | 74.4  | 74.8  |       |
| 12.5 kHz | 77.1                           | 76.5   | 74.5  | 77    | 77.3  | 76.4  | 76.3  | 76.2  |       |
| 16 kHz   | 75.7                           | 75     | 73.2  | 75.8  | 75.7  | 76.7  | 76.2  | 75.5  |       |
| 20 kHz   | 74.6                           | 74.5   | 71.7  | 74.5  | 73.6  | 76.8  | 72.7  | 72.7  |       |

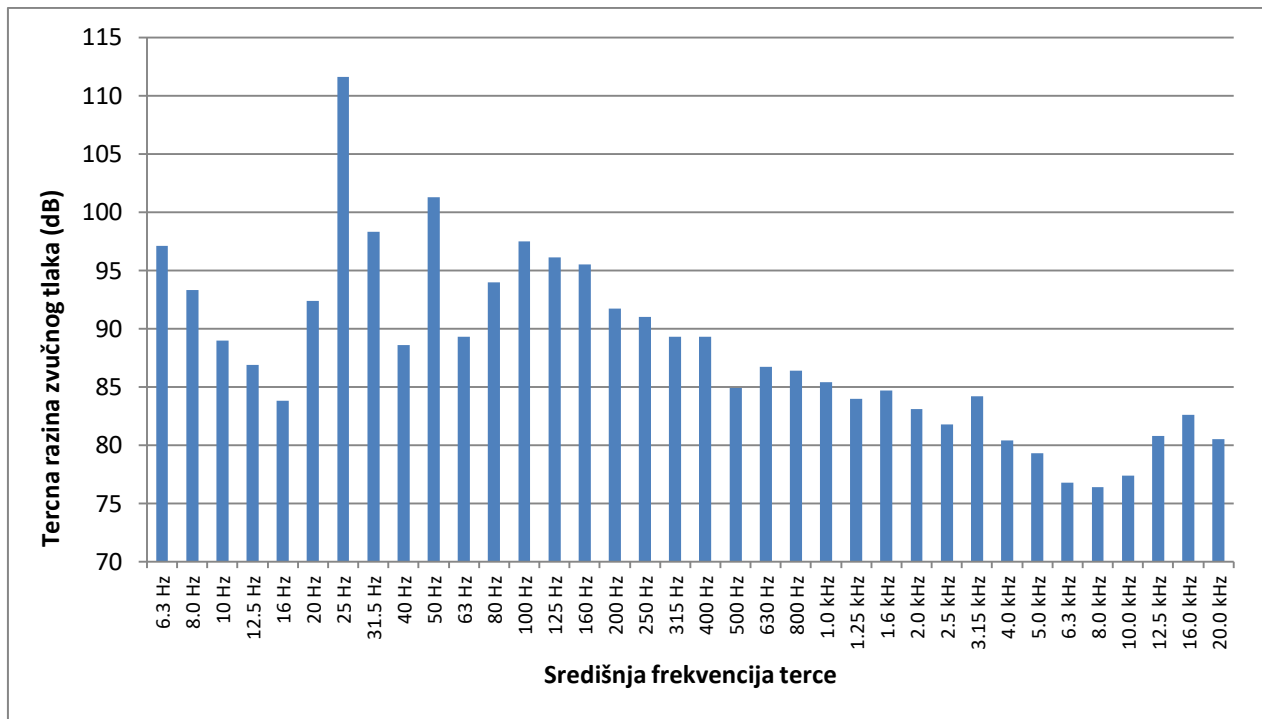


**Grafikon 5.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D na malom gasu

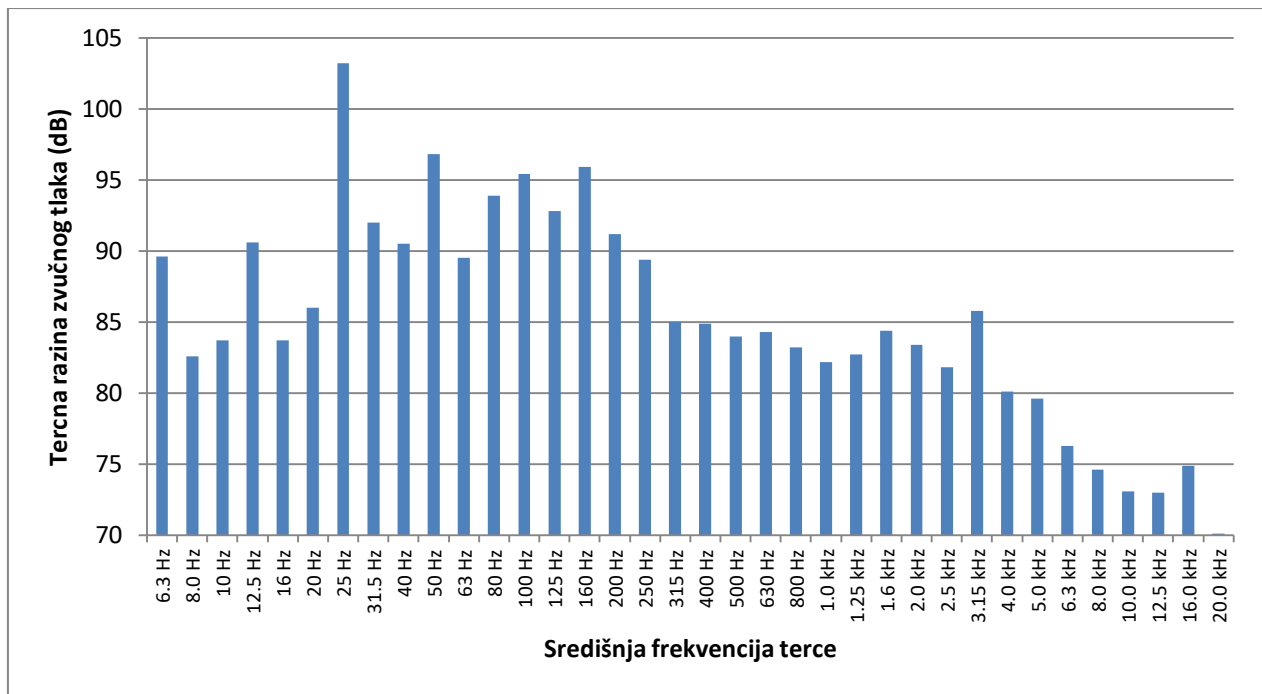


**Grafikon 6.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D na punom gasu

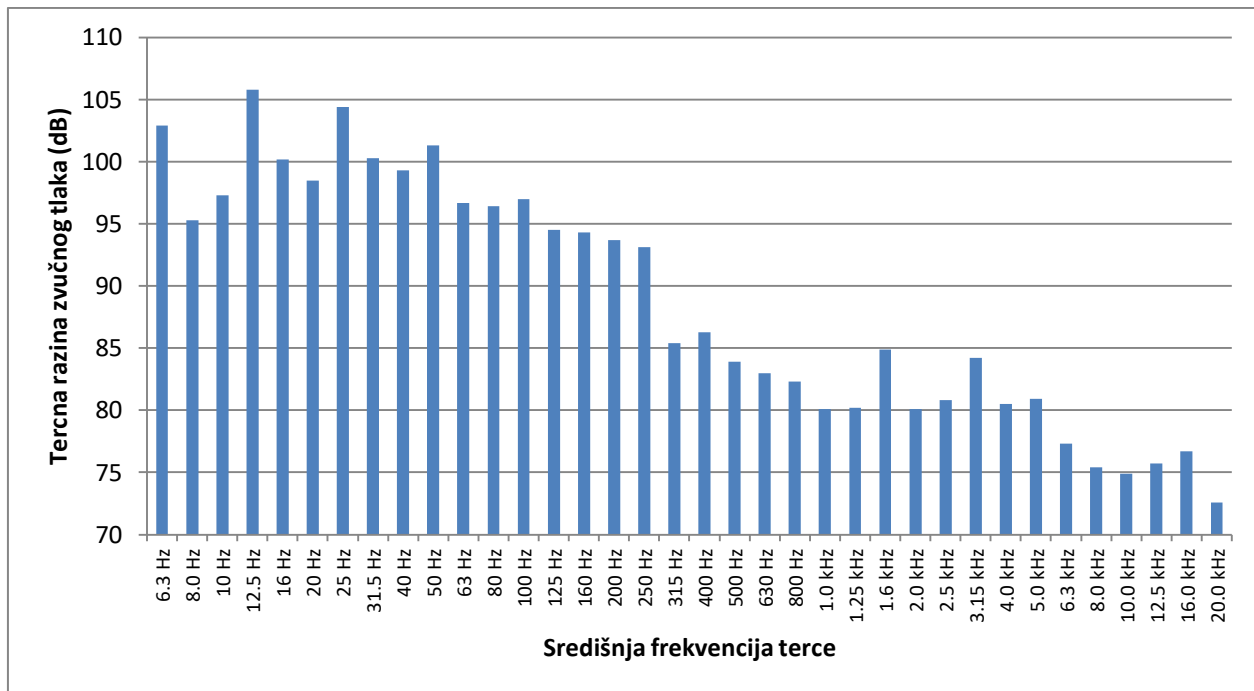




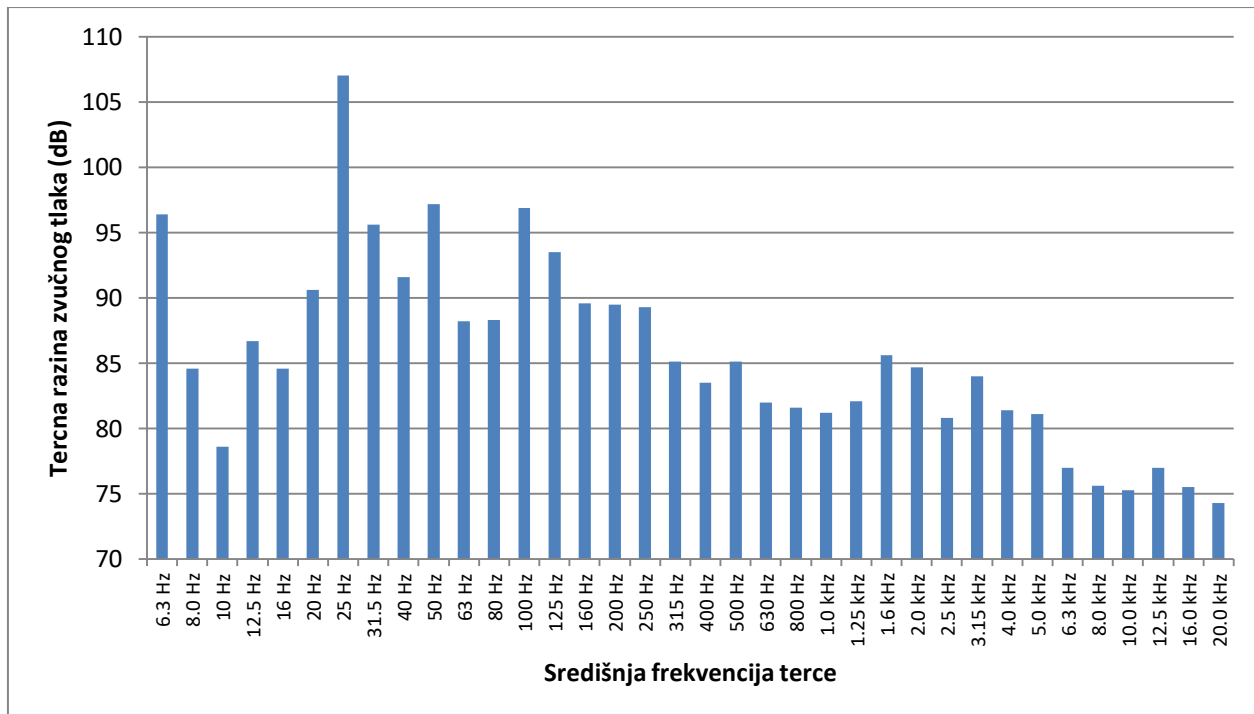
**Grafikon 7.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom lebdenja u IGE uvjetima



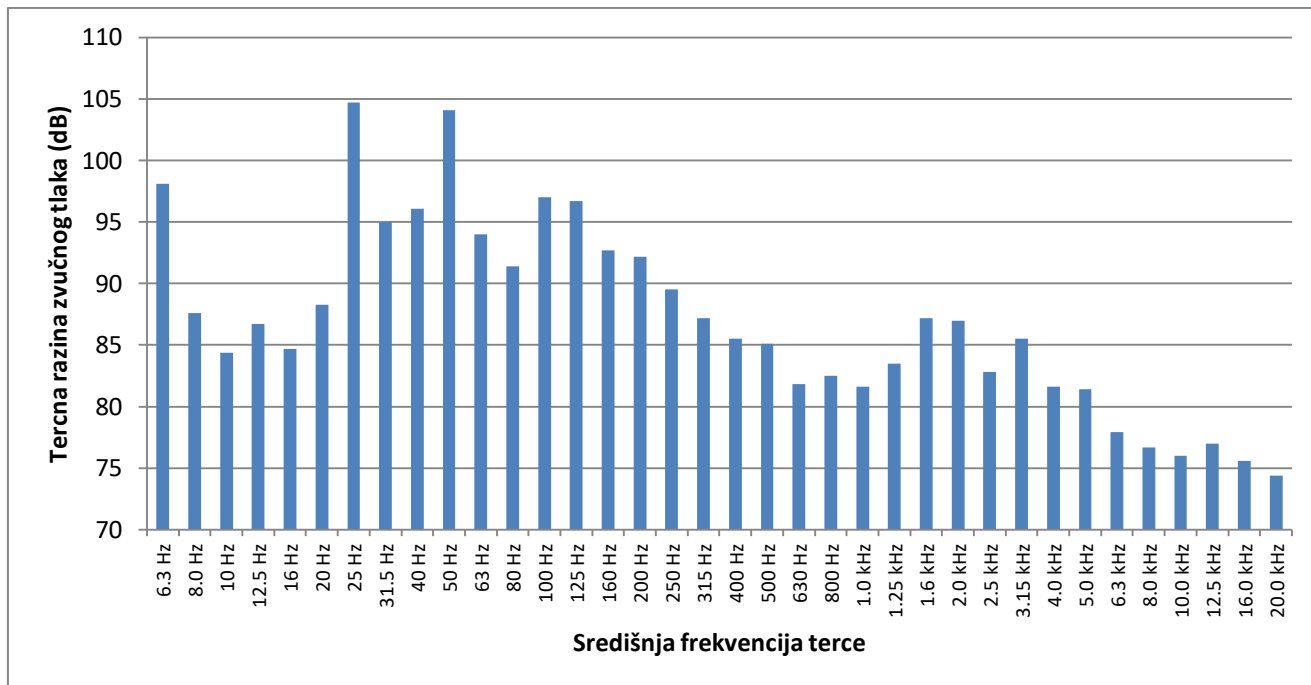
**Grafikon 8.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom lebdenja u OGE uvjetima



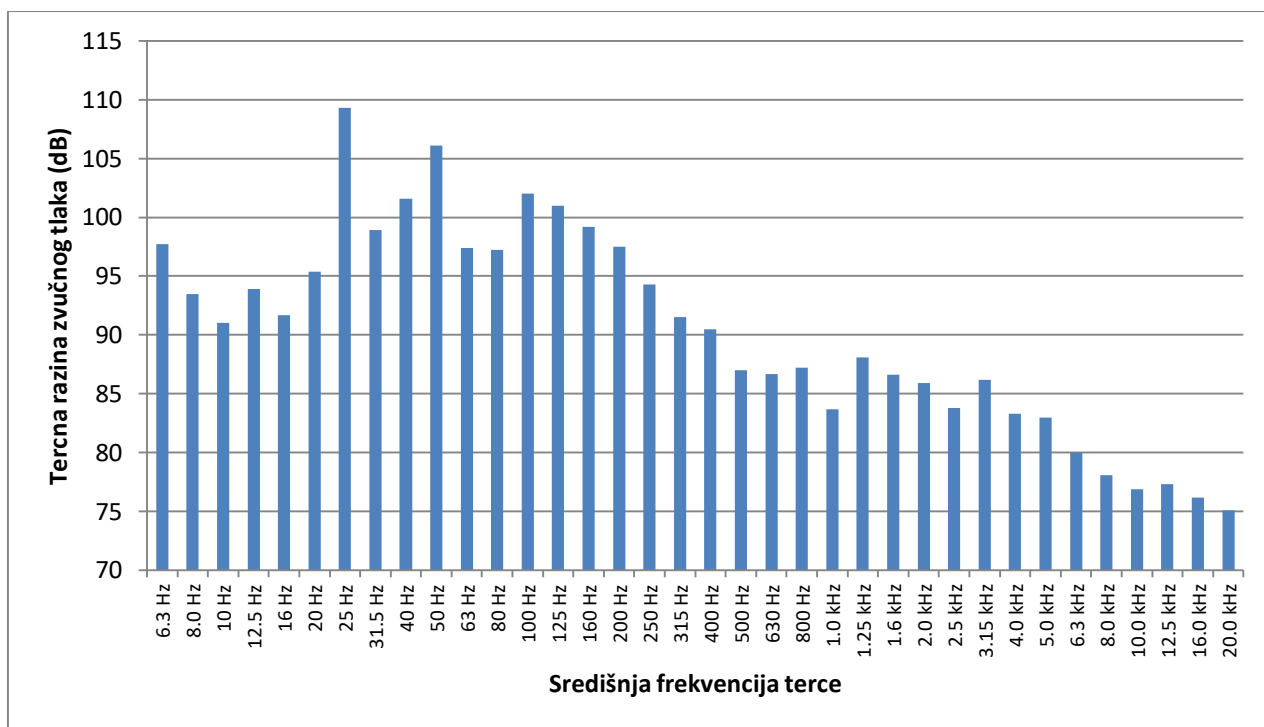
**Grafikon 9.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom prelaska u progresivan let



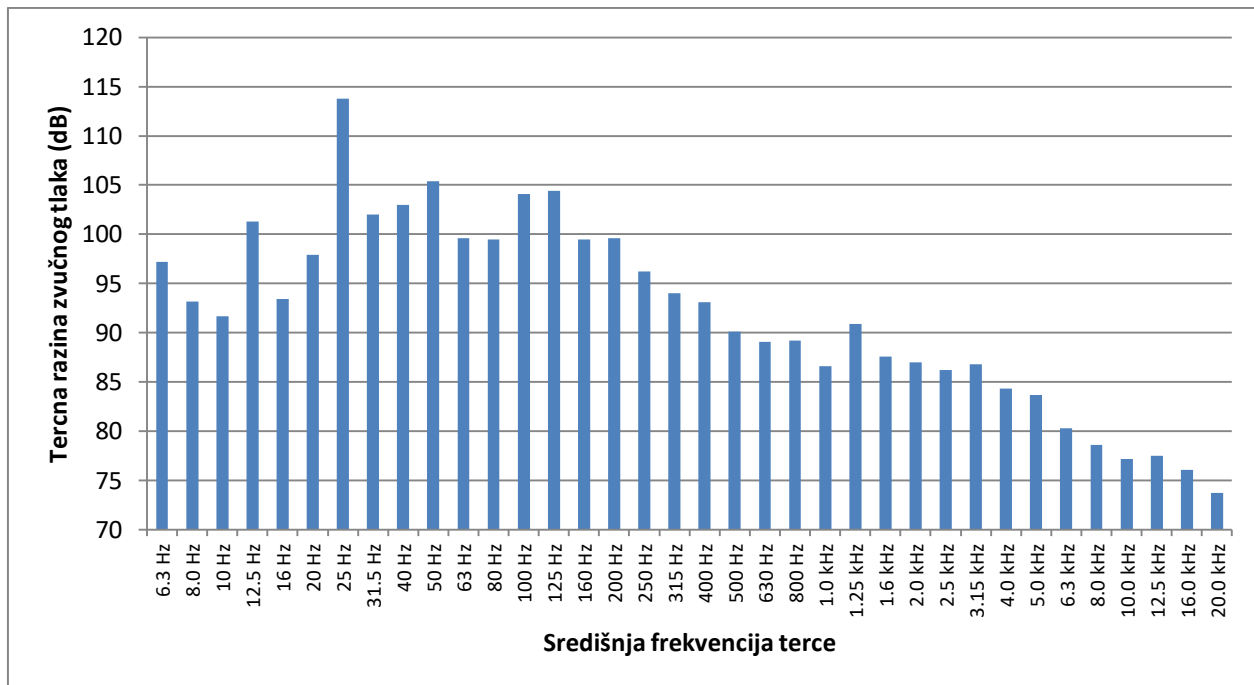
**Grafikon 10.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 50 kn



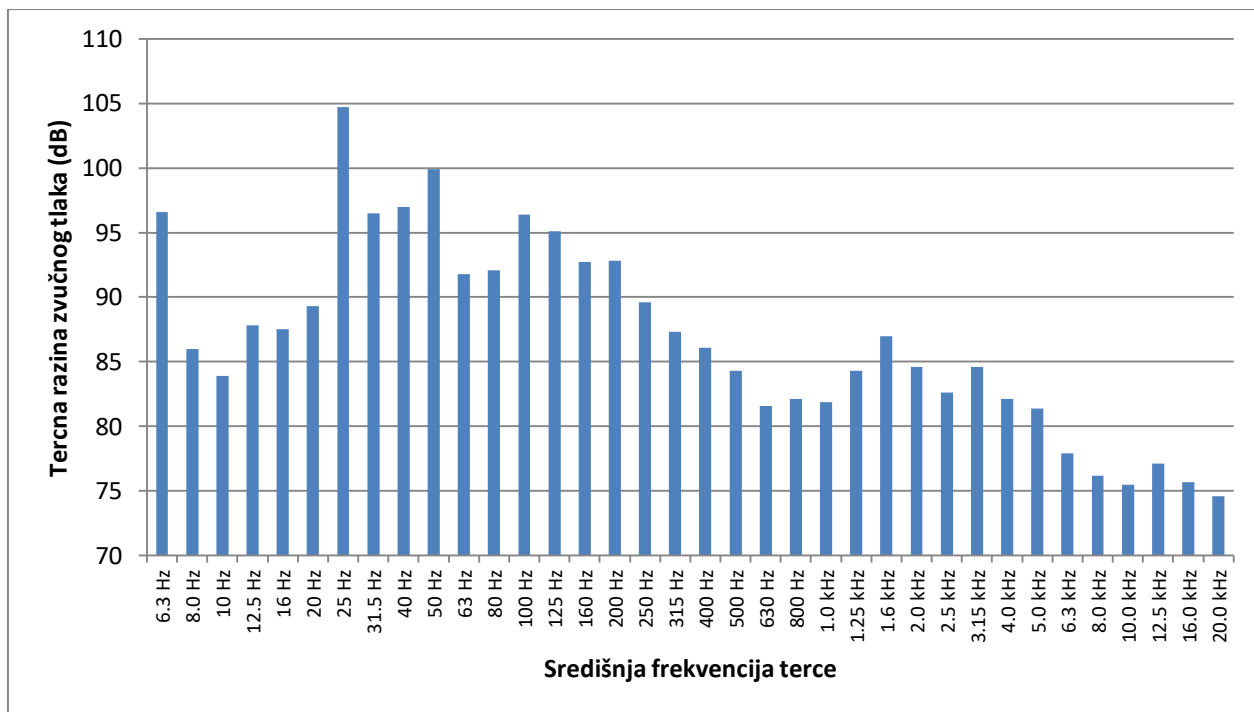
**Grafikon 11.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 70 kn



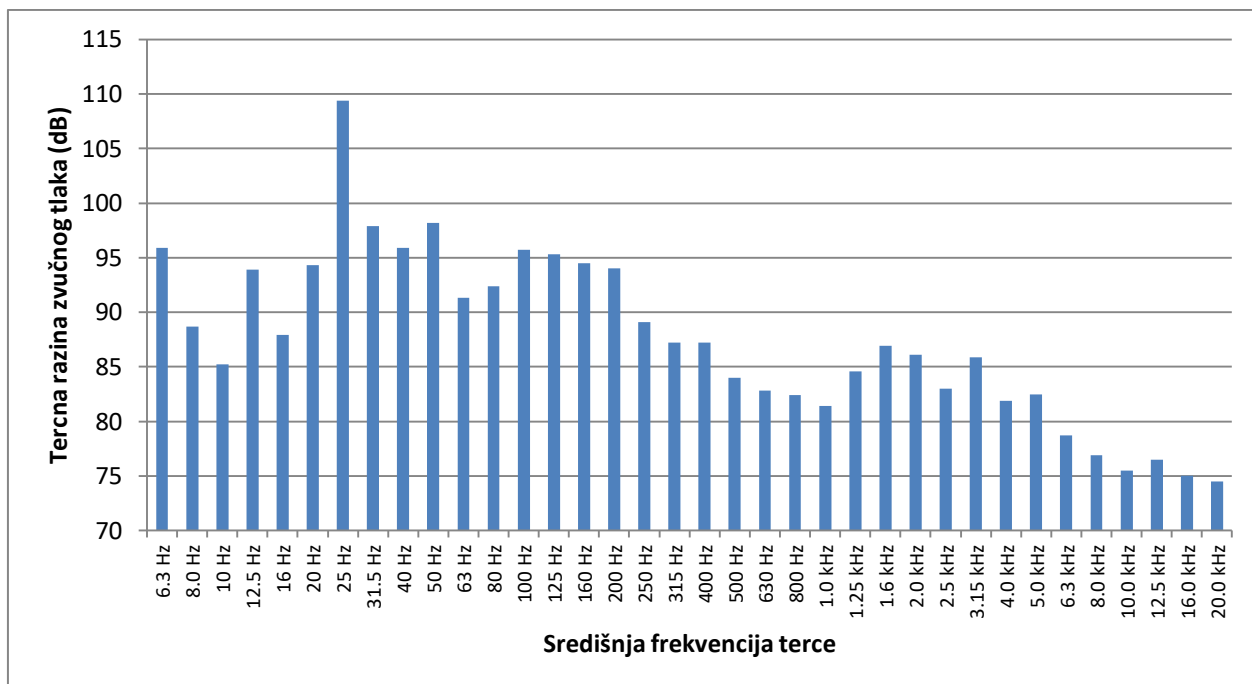
**Grafikon 12.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 90 kn



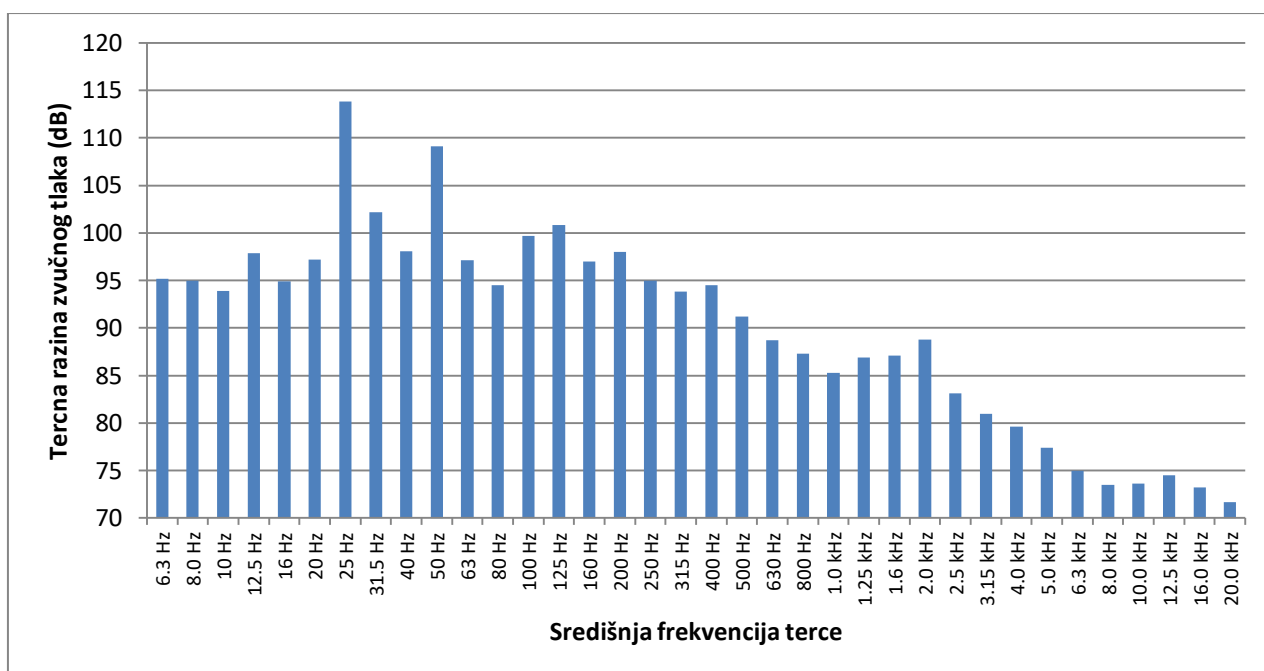
**Grafikon 13.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 110 kn



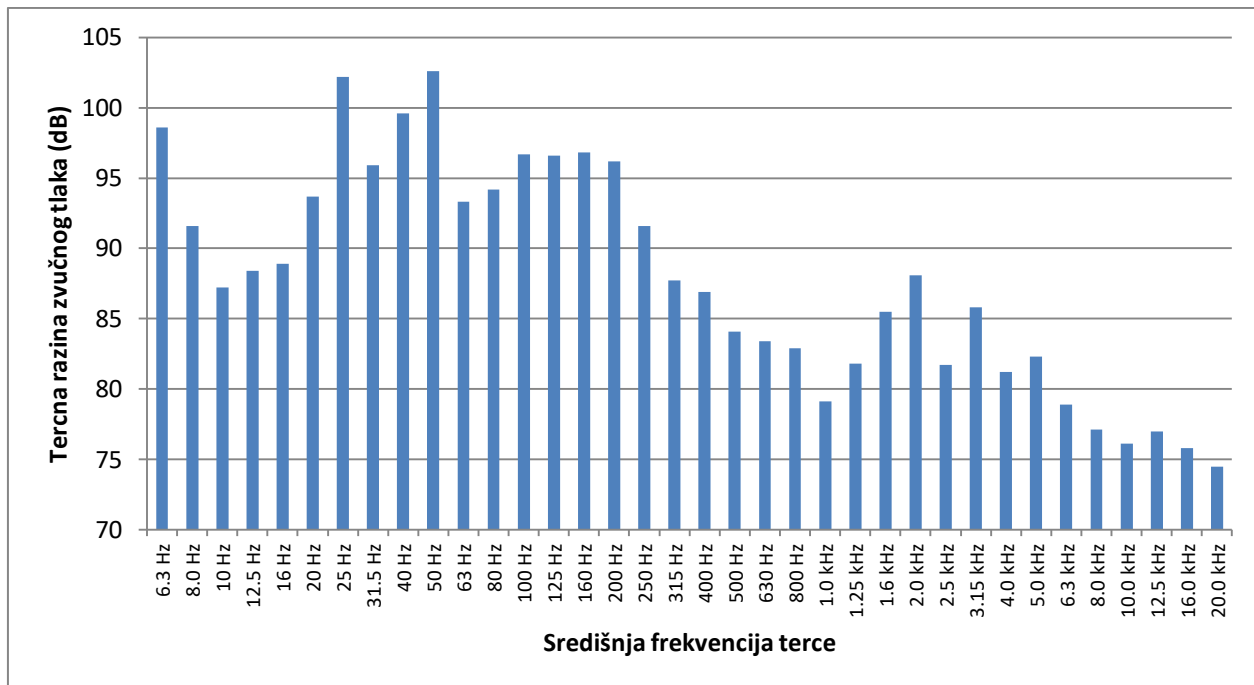
**Grafikon 14.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 70 kn kroz zaokret nagiba 30°



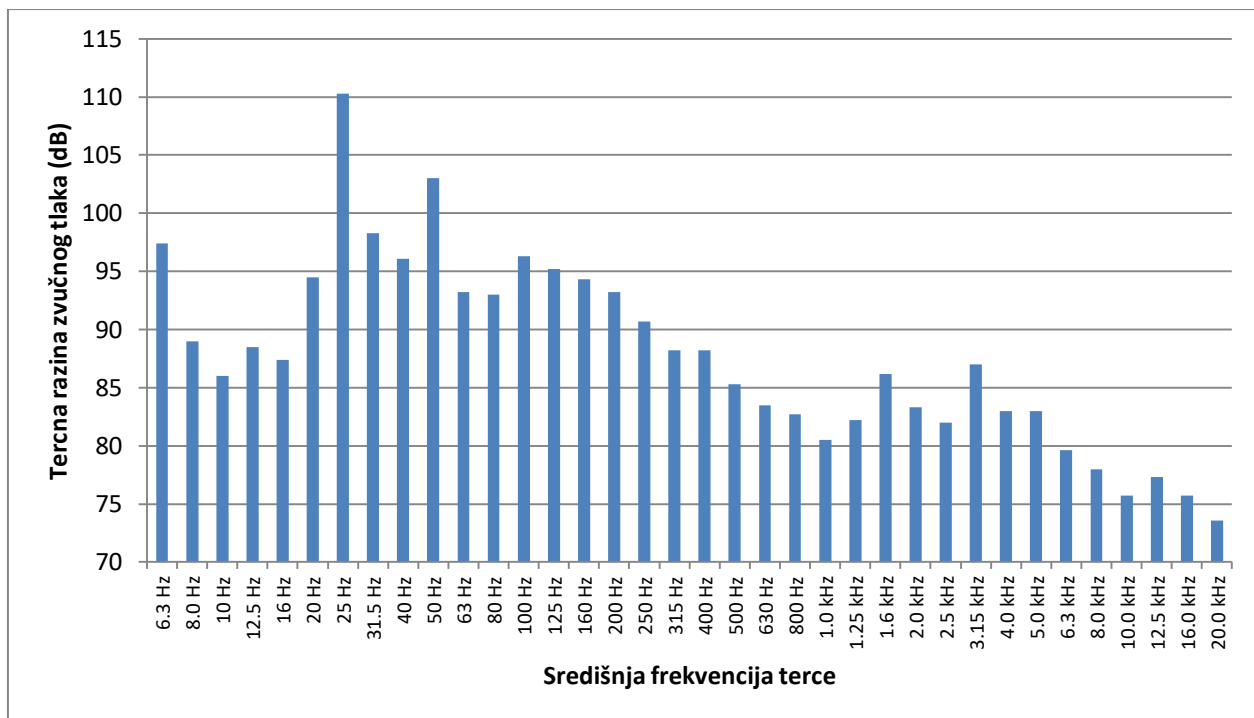
**Grafikon 15.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 70 kn kroz zaokret nagiba 45°



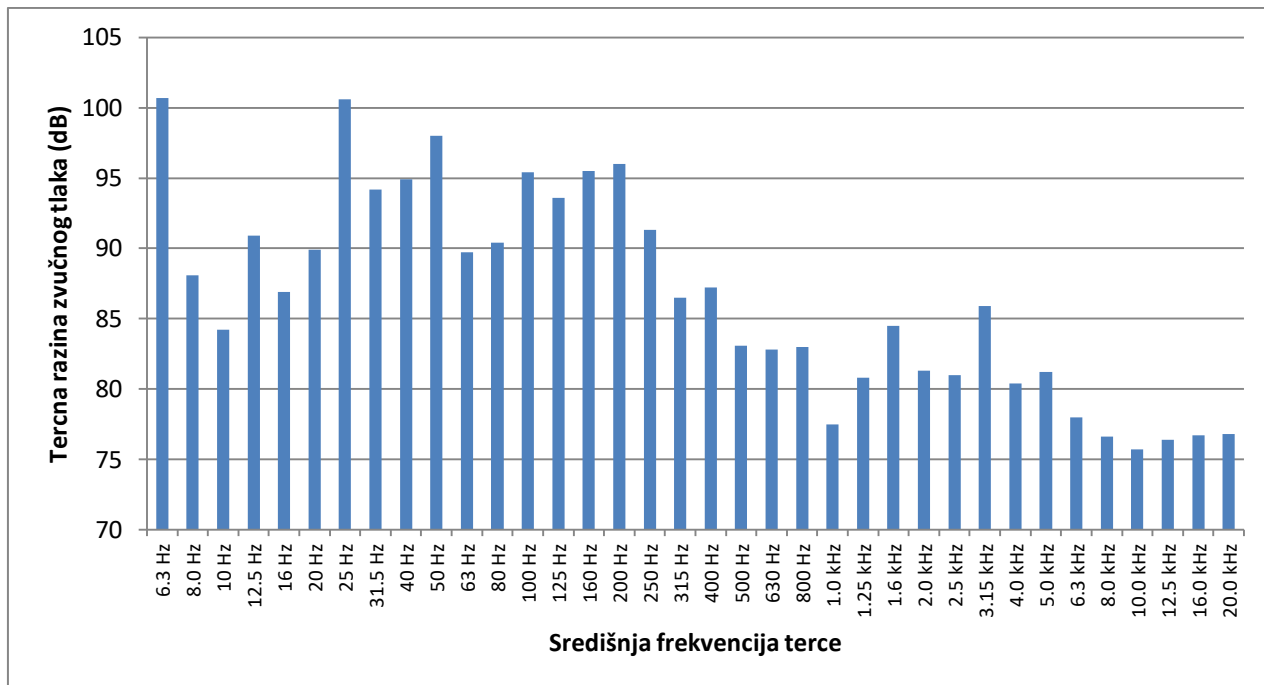
**Grafikon 16.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 70 kn kroz zaokret nagiba 60°



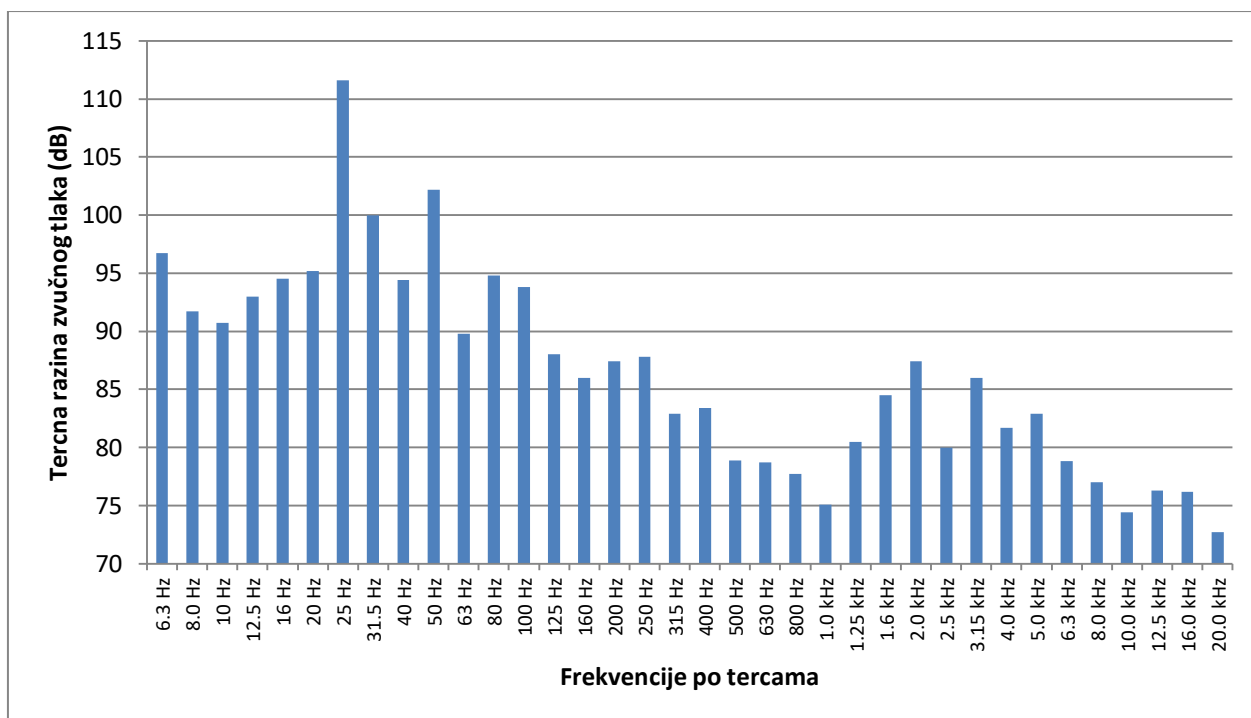
**Grafikon 17.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 70 kn i penjanjem od 500ft/min



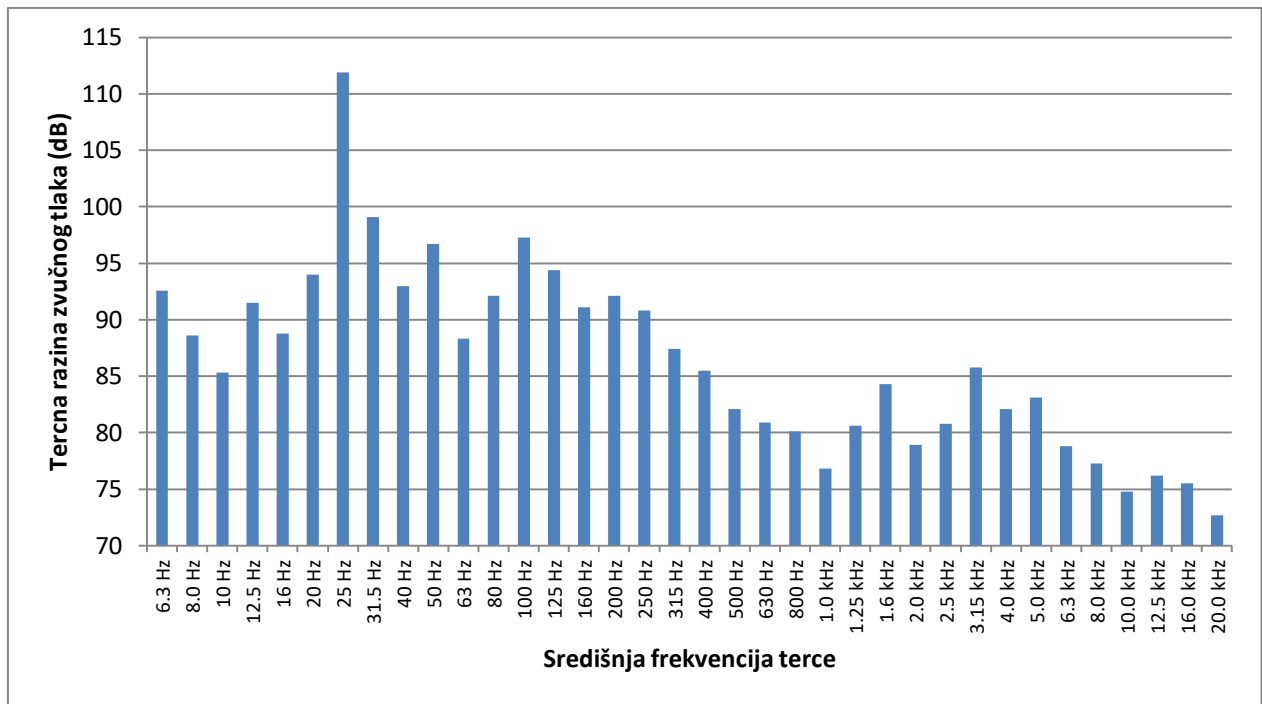
**Grafikon 18.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 70 kn i spuštanjem od 500ft/min



**Grafikon 19.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 50 kn i snagom od 95% MQ (maksimalna brzina penjanja)



**Grafikon 20.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 50 kn i snagom od 20% MQ (maksimalna brzina spuštanja)



**Grafikon 21.** Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom prilaza za slijetanje



## 7. ZAKLJUČAK

Izvršena mjerenja i analiza unutarnje kabinske buke helikoptera OH-58D Kiowa Warrior pokazuju da je buka koju helikopter stvara kroz sve režime leta iznimno velika. Iz rezultata provedenih mjerenja vidljivo je da su najveće razine buke prisutne u režimu *Puni gas* (106.6 dBA) kada je helikopter na zemlji, s uključenim svim sustavima i s okretajima rotora i slobodne turbine (NR/N2) na 100%. Čim helikopter prijeđe u režime lebdenje *IGE* (103.2 dBA) i *OGE* (102 dBA) dolazi do značajnog smanjenja razine buke. Iduće velike vrijednosti buke se mogu primjetiti u režimima s velikom progresivnom brzinom, *90 kn* (105.5 dBA) i *110 kn* (107.4 dBA) gdje je prisutna velika količina buke koja se može pripisati buci turbulentnog strujanja zraka unutar kabine. Zanimljivo je da je buka pogonske skupine relativno mala u usporedbi s ostalim izvorima buke što možemo primjetiti uspoređujući *50 kn/95% TQ* (102.1 dBA) i *50 kn/20% TQ* (101.6 dBA) koji ustvari predstavljaju maksimalne i minimalne vrijednosti izlazne snage motora. Iz mjerenja se može vidjeti kako se vrijednost buke smanjuje prema višim frekvencijama, što je i za očekivati s obzirom da zračna masa kao i oplata helikoptera puno bolje prigušuje visoke frekvencije.

Iz analize podataka može se u konačnici zaključiti kako je kabinska razina buke u svim režimima leta u prosjeku iznad 95 dBA. S obzirom da dugotrajna izloženost zvukovima jačine 85 dBA može uzrokovati oštećenje sluha i druge poremećaje, može se također zaključiti kako su piloti na helikopteru OH-58D ugroženi bukom te su potrebne kvalitetne mjere zaštite. Zbog zadaća za koje je ovaj helikopter namijenjen, nije moguće pristupiti smanjenju buke na izvoru, zato jer bi svi dodatni sustavi i izolacija povećali masu praznog helikoptera, a osim toga rezultati pokazuju da su glavni uzroci buke rotor i let sa skinutim vratima kabine, te bi jedino promjena lopatica glavnog rotora značajnije utjecalo na buku u kabini. Oprema koju koriste piloti na ovom helikopteru je dovoljna da zaštiti sluh pod uvjetom da se ispravno koristi. Sama kaciga, čak i ako je pravilno podešena, nije dovoljna da zaštiti pilota te je upotreba CEP-ova kao dodatne zaštite sluha od iznimne važnosti pri običnom letenju, a naročito prilikom bojevog djelovanja. Korištenje novijih tehnologija poput ANR/ANC slušalica bi dodatno smanjilo buku kojoj su izloženi piloti te bi olakšalo komunikaciju između posade, ali bi i olakšalo korištenje radio-komunikacijskih uređaja što bi naposljetku rezultiralo jasnijom i razumljivijom komunikacijom povećavajući sigurnost letenja i smanjujući radno opterećenje posade.

## Literatura

- [1] Miss S. James: **Defining the Cockpit Noise Hazard, Aircrew Hearing Damage Risk and the Benefits Active Noise Reduction Headsets Can Provide**, Future Systems & Technology Division QinetiQ, Farnborough, Hants GU14 OLX, UK, 2005
- [2] Heđever M.: **Osnove fiziološke i govorne akustike (predavanja za studente logopedije)**, Sveučilište u Zagrebu, Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet, Zagreb, 2012.
- [3] Hansen C. H.: **Fundamentals of acoustics**, Departement of Mechanical Engineering, University of Adelaide, Australia
- [4] **URL:**<https://www.britannica.com/science/ear/Transmission-of-sound-within-the-inner-ear> (pristupljeno - listopad 2019)
- [5] Kahle W.: **Priručni anatomski atlas u tri sveska, Treći svezak Živčani sustav i osljetila**, Medicinska naklada, Zagreb, 2006.
- [6] **Zaštita od buke – načela i primjena**, prijevod 3. njemačkog prerađenog izdanja "Lärmbekämpfung", Zavod za istraživanje i razvoj sigurnosti d.d., Zagreb, 1995.
- [7] Sravani M., Ashok Kumar M., Sowmya P., Naga Siva P. Manasa G. Preethi A.P.: **Noise Pollution and Its Impact on Human Health and Social Behavior using Systems Approach-A Case Study in Kurnool City**, G. Pulla Reddy Engineering College, Kurnool, 2016
- [8] Antunano M.J., Spanyers J.P.: **Hearing and noise in aviation**, Federal Aviation Administration, Oklahoma City, 2019
- [9] Lt Col Satish K.: **Significance of 6 khz in noise induced hearing loss in Indian Air Force personnel**, Indian air force, New Delhi, 2008
- [10] Bucak T., Novak D. Miljković D.: **Comparative Interior Helicopter Noise Analysis in Static and In-Flight Conditions**, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, HEP, Zagreb, 2008.
- [11] Tatić B., Bogojević N., Todosijević S., Šoškić Z., **Analysis of noise level generated by helicopter with various numbers of blades in the main rotor**, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka Kraljevo, Srbija, 2012.
- [12] **Helicopter noise reduction technology**, NASA, DLR, ONERA, JAXA, 2015
- [13] **Technical manual TM 1-1520-248-23&P**, 2014.
- [14] **URL:** <https://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/hydra-70.htm> (pristupljeno - listopad 2019)

[15] **URL:** <https://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/agm-114.htm>  
(pristupljeno - listopad 2019)

[16] **URL:** <http://www.flightgear.dk/hgu56.htm>, (pristupljeno - listopad 2019)

[17] **GENTEX Product Catalog Rev 4.0**, Simpson, PA, 2017

[18] Powell J.A., **Improved Communications and Hearing Protection in Helmet Systems: The Communications Earplug**, Military Medicine, 168, 6:431, USA, 2003

[19] Ivošević J., **Određivanje utjecaja unutarnje buke zrakoplova na sposobnost pilota**, Doktorski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.

## Popis slika

|   |    |
|---|----|
| <b>Slika 1.</b> Težinske krivulje.....  | 8  |
| <b>Slika 2.</b> Ljudsko uho i osnovni organi sluha.....   | 11 |
| <b>Slika 3.</b> Izvori buke helikoptera OH-58D.....   | 20 |
| <b>Slika 4.</b> Osnovne dimenzije helikoptera.....  | 22 |
| <b>Slika 5.</b> Rolls Royce M250-C30/3 sa strujanjem zraka.....   | 25 |
| <b>Slika 6.</b> Mogući rasporedi naoružanja na OH-58D.....  | 29 |
| <b>Slika 7.</b> Primjer standardnih čepića za uši od sporošireće spužve tvrtke 3M.....                              | 30 |
| <b>Slika 8.</b> Antifoni za smanjenje buke tvrtke 3M.....   | 31 |
| <b>Slika 9.</b> Kanalni čepići za uši tvrtke 3M.....  | 32 |
| <b>Slika 10.</b> Prigušenje buke na različitim frekvencijama kacige<br>HGU-56/P i kombinacije HGU-56/P i CEP-a..... | 34 |
| <b>Slika 11.</b> Kaciga HGU-56/P sa CEP-ovima.....  | 35 |
| <b>Slika 12.</b> Gentex ANHR.....   | 37 |
| <b>Slika 13.</b> Zvukomjer Norsonic Nor140.....   | 40 |

## Popis tablica

|   |    |
|---|----|
| <b>Tablica 1.</b> Prikaz decibela i odnos zvučnih tlakova za neke zvukove.....  | 7  |
| <b>Tablica 2.</b> Ograničenja izloženosti glasnim zvukovima.....  | 14 |
| <b>Tablica 3.</b> Osnovni tehnički podaci helikoptera OH-58D.....   | 21 |
| <b>Tablica 4.</b> Osnovni podaci o motoru.....  | 24 |
| <b>Tablica 5.</b> Karakteristike strojnice M3P.....   | 26 |
| <b>Tablica 6.</b> Podaci o raketnom motoru MK66.....  | 27 |
| <b>Tablica 7.</b> Osnovne specifikacije kacige HGU-56/P.....  | 34 |
| <b>Tablica 8.</b> Opći podaci o uvjetima mjerenja.....  | 39 |
| <b>Tablica 9.</b> Podaci o izvršenom mjerenju.....  | 41 |
| <b>Tablica 10.</b> Rezultati mjerenja unutarnje buke A-ponderiranom metodom<br>(ekvivalentna razina).....               | 42 |
| <b>Tablica 11.</b> Rezultati mjerenja unutarnje buke A-ponderiranom metodom<br>(maksimalna i minimalna vrijednost)..... | 44 |
| <b>Tablica 12.</b> Rezultati mjerenja unutarnje buke A-ponderiranom metodom<br>(razina izloženosti zvuku).....          | 45 |
| <b>Tablica 13.</b> Rezultati mjerenja unutarnje buke A-ponderiranom metodom<br>(vršne vrijednosti po režimima).....     | 46 |
| <b>Tablica 14.</b> Vrijednosti ternog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D u režimima<br>leta 1– 9.....           | 47 |
| <b>Tablica 15.</b> Vrijednosti ternog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D u režimima<br>leta 10 – 17.....        | 48 |

## Popis grafikona

|  |    |
|--|----|
| <b>Grafikon 1.</b> Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D Kiowa Warrior A-ponderiranom metodom – ekvivalentna razina pri određenim režimima leta. ( <i>A-weighted Integrated Averaged SPL (LAeq)</i> ).....                  | 43 |
| <b>Grafikon 2.</b> Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D Kiowa Warrior A-ponderiranom metodom – maksimalna i minimalna vrijednost pri određenim režimima leta. ( <i>A-weighted maximum/minimum SPL LAFmax/LAFmin</i> )..... | 44 |
| <b>Grafikon 3.</b> Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D Kiowa Warrior A-ponderiranom metodom – razina izloženosti zvuku pri određenim režimima leta. ( <i>A-weighted Sound Exposure Level (LAX ili SEL)</i> ).....         | 45 |
| <b>Grafikon 4.</b> Rezultati mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D Kiowa Warrior A-ponderiranom metodom – vršne vrijednosti pri određenim režimima leta. ( <i>LApeak</i> ).....   | 46 |
| <b>Grafikon 5.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D na malom gasu.....  | 49 |
| <b>Grafikon 6.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D na punom gasu.....  | 49 |
| <b>Grafikon 7.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom lebdenja u IGE uvjetima.....   | 50 |
| <b>Grafikon 8.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom lebdenja u OGE uvjetima.....   | 50 |
| <b>Grafikon 9.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom prelaska u progresivan let.....  | 51 |
| <b>Grafikon 10.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 50 kn.....   | 51 |
| <b>Grafikon 11.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 70 kn.....   | 52 |
| <b>Grafikon 12.</b> Grafikon tercnog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 90 kn.....   | 52 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Grafikon 13.</b> Grafikon ternog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 110 kn.....  | 53 |
| <b>Grafikon 14.</b> Grafikon ternog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 70 kn kroz zaokret nagiba 30°.....                           | 53 |
| <b>Grafikon 15.</b> Grafikon ternog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 70 kn kroz zaokret nagiba 45°.....                           | 54 |
| <b>Grafikon 16.</b> Grafikon ternog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 70 kn kroz zaokret nagiba 60°.....                           | 54 |
| <b>Grafikon 17.</b> Grafikon ternog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 70 kn i penjanjem od 500ft/min.....                          | 55 |
| <b>Grafikon 18.</b> Grafikon ternog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 70 kn i spuštanjem od 500ft/min.....                         | 55 |
| <b>Grafikon 19.</b> Grafikon ternog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 50 kn i snagom od 95% MQ (maksimalna brzina penjanja) .....  | 56 |
| <b>Grafikon 20.</b> Grafikon ternog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom leta brzinom 50 kn i snagom od 20% MQ (maksimalna brzina spuštanja) ..... | 56 |
| <b>Grafikon 21.</b> Grafikon ternog mjerenja unutarnje buke helikoptera OH-58D prilikom prilaza za slijetanje.....  | 57 |



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 **Eksperimentalno određivanje karakteristika buke helikoptera**

**Bell OH-58D Kiowa Warrior**

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

Student/ica:

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 18-11-19 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(potpis)