Eksperimentalno određivanje karakteristika buke helikoptera Agusta Westland AW139

Kirin, Tino

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:119:943225

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Tino Kirin

EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA BUKE HELIKOPTERA AGUSTAWESTLAND AW139

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 18. ožujka 2019.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Zrakoplovne emisije**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 4993

Pristupnik: **Tino Kirin (0135227564)**
Studij: Aeronautika

Zadatak: **Eksperimentalno određivanje karakteristika buke helikoptera Agusta Westland AW139**

Opis zadatka:

Navesti izvore i karakteristike buke helikoptera. Opisati tehničko-eksploatacijske značajke ispitivanog helikoptera i njegove pogonske grupe. Dati pregled standardnih mjernih metoda i opreme. Odabrati mjernu metodu i isplanirati mjerni postupak. Izvršiti mjerenje buke na helikopteru AW139 u različitim pogonskim i letnim uvjetima. Dobivene rezultate analizirati te prikazati tablično i grafički.

Mentor:

prof. dr. sc. Tino Bucak

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA BUKE HELIKOPTERA AGUSTAWESTLAND AW139

EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF AGUSTAWESTLAND AW139 HELICOPTER NOISE CHARACTERISTICS

Mentor: prof. dr. sc. Tino Bucak

Student: Tino Kirin, 0135227564

Zagreb, kolovoz 2019.

SAŽETAK

Buka helikoptera je jedan od glavnih čimbenika na utjecaj ljudi, posada, okoliša te izvršenje same misije za koju je helikopter namijenjen. Svakodnevna izloženost buci koju stvara helikopter ima dugoročan učinak na zdravlje ljudi. Ovaj diplomski rad pristupa temi kojoj je cilj odrediti količinu vanjske i unutarnje buke na helikopteru AgustaWestland AW139 u vlasništvu Specijalne policije MUP-a Republike Hrvatske te ustvrditi na koji način i u kojoj mjeri utječe na rad posade i tehničara. Okosnica rada je prezentirana u poglavlju gdje su prikazani rezultati mjerenja vanjske i unutarnje buke na helikopteru AW139, te analiza dobivenih rezultata.

KLJUČNE RIJEČI: buka helikoptera; zvuk; akustika; AW139 helikopter; utjecaj buke na ljude; metode mjerenja; kontrola buke helikoptera

SUMMARY

Helicopter noise is one of the major factors in influencing the people, aircrews, environment and the execution of the mission for which the helicopter is intended. Daily exposure to noise generated by a helicopter has a long-term effect on human health. This thesis approaches the topic of determining the amount of exterior and interior noise on an AgustaWestland AW139 helicopter owned by the Special Police of the Ministry of the Interior of the Republic of Croatia and determining how and to what extent it affects the work of crew and technicians. The backbone of the paper is presented in the chapter where the results of exterior and interior noise measurements on the AW139 helicopter are presented, as well as the analysis of the obtained results.

KEY WORDS: helicopter noise; sound; acoustics; AW139 helicopter; the impact of noise on humans; measurement methods; helicopter noise control

SADRŽAJ

1. Uvod 1
2. Osnove akustike i zvuka 3
   2.1. Izvor zvuka 4
   2.2. Brzina zvuka 5
   2.3. Jakost zvuka (intenzitet) 6
   2.4. Širenje zvuka 8
   2.5. Vrste zvuka 11
3. Buka i njezin utjecaj na ljude 14
   3.1. Slušni proces i građa uha 14
   3.2. Buka 16
   3.3. Utjecaj na ljude 17
4. Buka u zrakoplovstvu 18
   4.1. Regulativa i propisi o buci 18
   4.2. Izvori buke na zrakoplovu 19
   4.3. Izvori buke na helikopteru 20
5. Tehničko-eksploatacijske značajke helikoptera AW139 22
   5.1. Tehničke karakteristike AW139 23
   5.2. Eksploatacijske karakteristike AW139 25
   5.3. Performanse AW139 26
   5.4. AW139 Specijalne policije MUP-a 28
6. Metode smanjenja buke na helikopterima 30
   6.1. Kontrola buke glavnog rotora 31
   6.2. Kontrola buke repnog rotora 31
   6.3. Kontrola buke turbovratilnog motora 32
   6.4. Kontrola buke klipnog motora 32
   6.5 Metode smanjenja buke na helikopteru AW139 33
7. Mjerenje buke na helikopteru AW139 36
   7.1. Izvođenje mjerenja 36
   7.2. Mjerenje i rezultati vanjske buke 38
   7.3. Mjerenje i rezultati unutarnje (kabinske) buke 47
8. Analiza dobivenih rezultata 51

8.1. Vanjska buka 51
8.2. Unutarnja (kabinska) buka 52
9. Zaključak 53
Literatura 55
Popis oznaka i kratica 57
Popis slika 61
Popis tablica 62
Popis grafikona 63

1. Uvod

Razvoj čovječanstva i tehnološki napredak doprinose boljitku življenja ljudi na planeti, ali s razvitkom i sa sve većim utjecajem čovjeka na prirodu dolazi i do rastućih problema onečišćenja okoliša. Primjeri izvora onečišćenja su različiti, a neki od njih su kemikalije, plastika, zagađenje zraka, buka, itd.

Buka kao segment onečišćenja se javlja od samih početaka tehnološkog razvoja čovječanstva, a do njenog rasta dolazi industrijskom revolucijom i pojavom prvih strojeva na umjetni pogon. Povećanjem razine buke u ljudskom okruženju dolazi i do razvitka alata i metoda za smanjenje buke kod ljudi koji su izloženiji buci zbog svog radnog okruženja. Zrakoplovstvo je jedna od tih grana industrije koja ima veliki utjecaj buke na radnike u zračnim lukama, zrakoplovima, hangarima i pratećim sadržajima, te isto tako i na ljude koji žive u neposrednoj okolini operacija zrakoplova.

Zbog želje za što boljim performansama zrakoplova, izrađuju se sve snažniji zrakoplovni motori koji su samim time i sve bučniji. Kako bi se ublažio utjecaj buke na zdravlje čovjeka počinje se sve više obraćati pozornost na zaštitu od buke te se provode sustavna istraživanja kako smanjiti taj utjecaj.

Helikopterske operacije diljem svijeta, a posebno u razvijenijim dijelovima kao što su Europa i Sjeverna Amerika, dovode do prigovora javnosti oko količine buke. Takav negativan odgovor na operacije helikoptera kao posljedica buke je malo teško razumjeti jer većina helikoptera proizvodi manje buke od standarda za certifikaciju buke i, u većini slučajeva, zadovoljavaju utvrđene kriterije za količinu buke.

U diplomskom radu analiziraju se akustična mjerenja buke na helikopteru AgustaWestland AW139 pod oznakama specijalne policije Ministarstva unutarnjih poslova (MUP-a). Helikopter AW139 je trenutno jedan od najmodernijih helikoptera na svijetu, koji se koristi u svrhu zaštite granica, traganja i spašavanja te za policijske i vojne namjene.

Svrha i cilj istraživanja je akustična analiza parametara vanjske i unutarnje buke helikoptera AW139 u različitim režimima postavke snage te na različitim pozicijama izvan helikoptera. Cilj je dobiti akustičnu sliku helikoptera AW139.

Dosadašnja istraživanja i rezultati su obavljeni od strane studenata i profesora (mentora) Fakulteta prometnih znanosti u Zagrebu. Također su provedena istraživanja na području multidisciplinarnih pokušaja za razvojem metodologije koja će pratiti razinu buke tijekom leta helikoptera. Simulirani su procedure i režimi rada na helikopteru AW139, a sudionici projekta su bili Europski proizvođač helikoptera: „Leonardo – Finmeccanica Helicopter Division“ (FHD), dvije akademske institucije: „Politecnico di Milano“ i „Universita Roma Tre“ te dvije kompanije: „Logic Spa“ i „Vicoter Snc.“ Detaljna analiza karakteristike buke za helikopter AgustaWestland AW139 nije poznato na našim prostorima te bi rezultati istraživanja trebali pokazati količinu buke te njezin utjecaj na putnike i posadu na jednom od najmodernijih helikoptera u Republici Hrvatskoj.

2. Osnove akustike i zvuka

Akustika je grana fizike koja se bavi proučavanjem nastajanja, širenja i osjeta zvuka. Opća podjela akustike je na objektivnu i subjektivnu, a po vrstama namjene se dijeli na atmosfersku, građevinsku i prostornu akustiku.

Zvuk je osjet što ga prima ušni živac našeg uha. Da se ušni živac podraži na osjet zvuka, potreban je izvor zvučne energije i sredstvo (medij) koji tu energiju prenosi od izvora do našeg uha. Izvor zvuka je uvijek mehaničko titranje nekog tijela. Kad udarimo o neki predmet, na primjer trgnemo napetu žicu, čujemo zvuk, a taj osjet zvuka prestaje čim spriječimo da tijelo titra. Energija zvuka širi se nekim sredstvom (medijem) u obliku mehaničkog vala. To sredstvo je obično zrak, a može biti i tekuće ili elastično čvrsto tijelo. Bez sredstva u kojem se šire mehanički valovi ne možemo čuti zvuk. Prema pravilnosti titranja razlikujemo ton, šum i buku. Ton je zvuk koji se sastoji od harmonijskih titraja, dok su šum i buka smjesa titraja različitih frekvencija i amplituda.

Zvuk se širi longitudinalnim valovima, ali zvuk nije dio elektromagnetnog spektra kao što su to svjetlosni ili radio valovi. Zvuk se širi zbog elastične veze među molekulama sredstva. U plinovima i tekućinama valovi zvuka su isključivo longitudinalni (to jest šire se u istom pravcu u kojem se gibaju čestice medija pri titranju), dok u čvrstim tijelima valovi mogu biti i transverzalni, to jest čestice medija mogu titrati i okomito na pravac širenja vala. Zvuk se ne može širiti kroz vakuum. Zvuk nastaje kada neka materija vibrira. Frekvencija tih vibracija mjeri se jedinicama koje se nazivaju herci (prema njemačkom fizičaru Heinrichu Rudolfu Hertzu koji je dao veliki fizikalni doprinos u elektromagnetizmu). Herci se označavaju oznakom Hz. Pojam frekvencija odnosi se na broj titraja u sekundi, a varijacije u frekvenciji zvuka proizvode njegovu visinu, odnosno zvuk visokog ili niskog tonaliteta.

Zvuk frekvencije niže od 16 Hz naziva se infrazvukom, zvuk frekvencije više od 20 kHz ultrazvukom, a ako je frekvencija viša od 1 GHz, hiperzvukom. Zvuk se širi bez prijenosa mase, ali se zvukom prenose impuls sile i energija. U svezi s tim, definiraju se jakost, razina jakosti, glasnoća i razina glasnoće zvuka (akustika). Kao i u ostalim vrstama valova, i u širenju zvuka očituju se pojave svojstvene svakom valnom gibanju, kao što su apsorpcija, Dopplerov učinak, interferencija valova, lom (refrakcija), odbijanje (refleksija), ogib (difrakcija) [1].

Zvuk je određen, kao i ostali valovi, dvjema fizikalnim veličinama:

- *Valnom duljinom*. – to je udaljenost nakon koje se oblik vala ponavlja i označava se grčkim slovom lambda (λ). Ona je i razmak između dva susjedna najveća zgušnjenja, kao i između dva susjedna razrjeđenja medija kroz koje se val širi.
- *Frekvencijom* – fizikalna veličina kojom se izražava koliko se puta ponovio neki periodički događaj u određenom vremenskom intervalu, a mjerna jedinica je Hz (Herc).

2.1. Izvor zvuka

Izvori zvuka su fizikalna tijela koja titraju frekvencijom od 16 do 20 000 Hz u nekom elastičnom sredstvu, na primjer napeta struna glazbala ili neki od primjera koji su navedeni u tablici 1. Najjednostavniji je oblik titranja izvora zvuka harmonijsko titranje. Harmonijsko titranje stvara harmonijske valove. Čisti ton nastaje ako se frekvencija titranja ne mijenja. Složeni tonovi sadrže više frekvencija. Po Fourierovu teoremu složeni ton može se prikazati kao zbroj sinusnih titranja osnovnom frekvencijom v_0 i višim harmonicima frekvencije $n \cdot v_0$, (n = 1, 2, 3, ...). Šum je posljedica potpuno nepravilna titranja. Valovi nastali titranjem izvora frekvencijom većom od 20 kHz opisuju se kao ultrazvuk (mogu ih čuti neke životinje, na primjer psi i šišmiši), a frekvencijom manjom od 16 Hz kao infrazvuk (mogu ih čuti na primjer patke i slonovi) [2].

Tabela 1: Neki od izvora zvuka, Izvor: https://repozitorij.unios.hr/islandora/object/fizos:77/preview

Izvor zvuka (buke)	Razina zvuka (dB)
Granica čujnosti	0
Šum lišća	10
Šaputanje	20
Tiho sviranje radija u kući	40
Običan govor	65
Prolazak automobila pri 50 km/h	70
Simfonijski orkestar	80
Disko klub (unutar prostorije)	90
Zrakoplov (uzlijetanje)	110
Granica bola	120

2.2. Brzina zvuka

Brzina zvuka je brzina kojom se širi zvučni val u nekom mediju. Kod krutih medija ovisi o elastičnosti dok kod plinova ovisi o izentropskom (adijabatskom) koeficijentu plina te o njegovoj temperaturi, ali ne ovisi o gustoći i tlaku plina. Brzina valova ovisi o mediju kroz koje se valovi šire pa je na primjer brzina mehaničkih valova u čvrstom tijelu:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \tag{1}$$

Brzina mehaničkih valova u plinu:

$$v = \sqrt{\frac{X \cdot p}{\rho}} \tag{2}$$

gdje je: E - modul elastičnosti, ρ - gustoća tijela ili plina, X - adijabatski koeficijent plina, p - tlak plina.

Brzina zvuka u zraku temperature 20°C iznosi 343 m/s (1235 km/h na 0 metara nadmorske visine). Kako za pojedini plin brzina zvuka ovisi isključivo o njegovoj

temperaturi, tako se kod zrakoplova prilikom povećanja visine leta brzina zvuka smanjuje uslijed smanjenja temperature zraka s visinom [1].

Brzina zvuka na 10°C i atmosferskom tlaku od 100 000 Pa za neke medije:

- kisik - 317 m/s (na 20°C),
- zrak - 319 m/s (na -20°C),
- zrak - 343 m/s (na 20°C),
- pluto - 500 m/s,
- vodik – 1 270 m/s,
- olovo – 1 300 m/s,
- voda – 1 440 m/s,
- željezo – 5 000 m/s.

2.3. Jakost zvuka (intenzitet)

Jakost zvuka (znak *I*), fizikalna veličina koja opisuje energiju zvučnoga vala u vremenskom intervalu kroz površinu okomitu na smjer širenja vala. Mjerna je jedinica watt po kvadratnom metru (W/m²) [3].

Prag čujnosti (znak I_0) je najmanja jakost zvuka koju ljudsko uho može čuti:

$$I_0 = 10^{-12}\ W/m^2 = 1\ pW/m^2 \tag{3}$$

Razina jakosti zvuka (znak L) je veličina prilagođena osjetljivosti ljudskoga uha, deseterostruki logaritam omjera jakosti nekoga zvuka i praga čujnosti, odnosno:

$$L = \frac{1}{2} \cdot ln\left(\frac{I}{I_0}\right) Np = log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) B = 10 \cdot log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) dB \quad (4)$$

gdje je:

- I - jakost zvuka;
- I_0 - prag čujnosti;
- Np - neper;
- B - bel;
- dB - decibel.

Mjerna je jedinica decibel (dB). Vrijednost od 0 dB je najmanja vrijednost jakosti zvuka koju ljudsko uho može zamijetiti.

Bel (prema A. G. Bellu; oznaka B) je brojčana jedinica razine određene fizikalne veličine prema odabranoj usporedbenoj vrijednosti, kada je ta razina određena dekadskim logaritmom omjera vrijednosti tih veličina. Bel je iznimno dopuštena jedinica izvan Međunarodnog sustava mjernih jedinica (SI), povezana s jedinicom neper (Np) jednadžbom:

$$L = \frac{1}{2} \cdot ln\, 10 \ \ (Np) \quad (5)$$

Većinom se upotrebljava decimalna jedinica decibel (dB = 0,1 B)

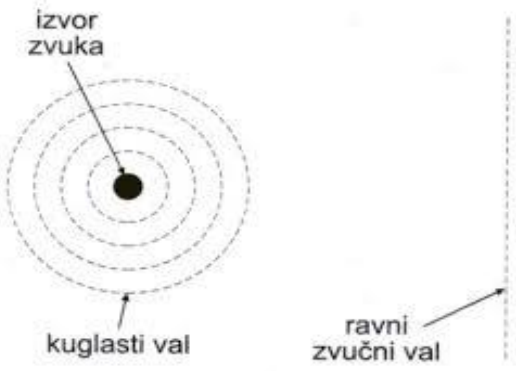
Decibel (oznaka dB) je decimalna jedinica brojčane jedinice bel iznimno dopuštene izvan SI. Decibel je jedinica razine neke fizikalne veličine (razine snage, napona, struje, jakosti zvuka i drugog). Poseban je naziv za broj jedan kada je razina (na primjer snage P_2 prema snazi P_1) izračunana jednadžbom:

$$L = 10 \cdot log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1}\right) dB \quad (6)$$

Neper (po J. Napieru ili Neperu; oznaka Np) je brojčana jedinica razine određene fizikalne veličine prema odabranoj usporedbenoj vrijednosti, kada je ta razina određena prirodnim logaritmom omjera vrijednosti tih veličina, pa je poseban naziv broja jedan (Np = 1). Neper je iznimno dopuštena jedinica izvan SI. Rabi se uglavnom u telekomunikacijama za izražavanje gušenja signala [4].

2.4. Širenje zvuka

Zvučni valovi su mehanički valovi koji se prenose kroz materijalni medij (krutina, tekućina, plin) određenom brzinom koja ovisi o elastičnosti i tromosti tog materijalnog medija. Zbog elastičnih veza među molekulama medija, koncentrično od izvora, dolazi do pojave širenja zvuka. Blizu izvora zvuka zvučni val ima kuglasti oblik. Povećanjem radijusa udaljavanja od izvora zvuka, fronta širenja vala je manje zakrivljena. Tako na većoj udaljenosti zvučni val ima izgled ravnog vala, kao što je prikazano na slici 1.



Slika 1: Rasprostiranje zvučnog vala, Izvor: https://simunic.files.wordpress.com/2014/01/c5a1irenje-zvuka.pdf

Zvučni val se širi na dva načina. U zraku, plinovima i vodi zvučni val se širi isključivo kao longitudinalni val, jer ga prenose čestice sredstva titrajući u smjeru širenja vala. U čvrstim tvarima širi se kao transverzalni val, jer čestice materije titraju okomito na smjer širenja vala. Širenje zvuka u prostorijama drukčije je od širenja zvuka u otvorenom prostoru. U otvorenom prostoru, u idealnim uvjetima, zvučni valovi ne nailaze na prepreke. Na otvorenom zvučni valovi putuju od izvora u sfernoj valnoj fronti koja se stalno širi. Zvučna energija raspodijeljena je po zamišljenoj sferi s površinom koja raste razmjerno kvadratu udaljenosti od izvorišne točke. Površina sfere raste četiri puta sa svakim udvostručenjem udaljenosti od izvora. S udaljenošću od izvora razina zvuka pada. Svako udvostručenje udaljenosti od izvorišne točke prouzročit će smanjenje razine zvuka za 6 dB [5].

U zatvorenom prostoru zvučni valovi nailaze na različite prepreke, pa možemo razmatrati sljedeće pojave koje slijede.

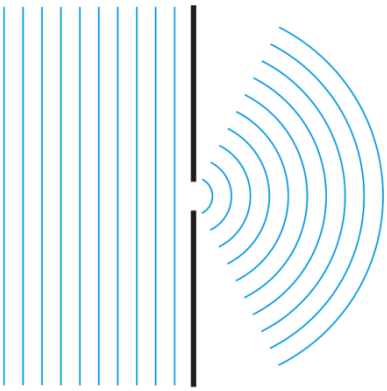
Refleksija ili odbijanje valova je pojava odbijanja zvuka od prepreke. Refleksija zvuka se poboljšava što je hrapavost površine prepreke manja, a što je veća gustoća materijala od kojeg je ona izrađena. Kad se zvuk odbija od ravne, čvrste površine, reflektirani val jednak je ulaznom. Ako je površina ispupčena, konveksna, zvuk se raspršuje (disperzira). Ako je površina udubljenja, konkavna, može doći do:

- usnopljavanja ako je $d>(r/2)$,
- paralelnosti zraka ako je $d=(r/2)$,
- raspršenja ako je $d<(r/2)$,

gdje je r radijus zakrivljenosti konkavne površine, a d udaljenost izvora od površine.

Refleksija može prouzročiti manje produljenje trajanja zvuka, što se naziva *odjek*, a veće produljenje trajanja zvuka naziva se *jeka*.

Difrakcija ili ogib valova je pojava savijanja ili ogiba zvuka. Osim što se odbija od prepreke, zvuk je jednim dijelom može i zaobići kao što je prikazano na slici 2. Difrakcija je obrnuto razmjerna visini tona (frekvenciji zvučnog vala), pa je izraženija kod nižih frekvencija. Ako je zapreka mala u odnosu na valnu duljinu, gotovo da i ne utječe na širenje zvučnog vala [5].



Slika 2: Difrakcija zvučnog vala, Izvor: https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=difrakcija

Refrakcija ili lom valova je pojava loma zvučnog vala kod koje dolazi do promjene smjera zvuka. Događa se uslijed promjene u sredstvu kojim se zvuk kreće (tlak, temperatura zraka i sl.). Karakterističan primjer je skretanje zvuka pod utjecajem vjetra. Zvučne zrake se lome pri prijelazu iz jednog sredstva u drugo. Indeks loma ovisi o odnosu brzina širenja zvuka u medijima.

Upojnost ili zvukoupojnost je pojava upijanja zvuka koja se javlja prilikom refleksije. Kad zvučni val udari o neku plohu postavljenju na čvrstu podlogu, jedan se dio zvučne energije reflektira, a ostatak se upojnira, Jedan je dio zvučne energije tada predan materiji od koje se zvuk reflektira. Prilikom upojnosti veći se dio energije pretvara u toplinu tj. zvuk se u nekom materijalu upojnira tako da se pretvori u drugi oblik energije i onda u toplinu. Za materijale se određuje koeficijent upojnosti (α), koji je definiran kao odnos upojnirane i upadne zvučne energije [5].

Disperzija ili raspršenje valova je pojava odbijanja zvuka nailaskom na neku prepreku. Kad zvučni val udari u neku konveksnu (zaobljenu) prepreku širiti će se oblikom te prepreke kao da se stvorio novi izvor zvuka. Druga mogućnost disperzije se događa nailaskom zvučnog vala na konkavnu (udubljenju) prepreku prilikom koje se zvučni val vraća u određenu točku u pojasu zvučnog vala odakle je bio njegov izvor.

Difuzija je pojava višestruke refleksije upadnog vala kada je valovitost površine reda veličine valne duljine. Kutovi refleksije nisu jednaki kutu upada vala.

Dopplerov efekt je pojava promjene visine tona zbog kretanja zvučnog izvora u odnosu na slušača (npr. zrakoplov koji proleti iznad slušača velikom brzinom). Ako nam se izvor zvuka približava, zvučni se valovi zgušnjavaju tj. povećava im se frekvencija. Ako se izvor zvuka udaljava, valovi se prorjeđuju, a zvuk dobiva sve manju frekvenciju, dok se ton čuje kao niži. Približavanjem izvora zvuka, slušaču dolazi više zvučnih valova u jedinici vremena nego kad izvor zvuka stoji. Tada je frekvencija zvuka koju slušač čuje viša od one koju izvor zapravo emitira. Situacija je obrnuta kad se izvor udaljava od slušača. Te se pojave događaju bez obzira giba li se izvor zvuka, slušač, ili obojica istovremeno [5].

Interferencija je pojava koja nastaje uzajamnim djelovanjem dvaju valova koji se susreću. Ako im se faze poklope, dolazi do zbrajanja po amplitudi, a ako su im faze suprotne, njihove se amplitude oduzimaju.

Stojni val je pojava koja nastaje uslijed interferencije dolazećeg i reflektiranog vala. U tom slučaju nastaje mjestimično poništavanje i pojačavanje zvuka. Na mjestima poništavanja nastaju tzv. nule, a na mjestima pojačavanja „maksimumi“ zvuka. Pojava se očituje kao potpuna odsutnost zvuka u nekim dijelovima prostora [6].

2.5. Vrste zvuka

S obzirom na oblik zvučnog spektra, zvuk može biti:

- čisti ton,
- složeni zvuk (glazbeni ton),
- šum,
- prasak.

Čisti ton je jednostavno sinusoidno titranje jedne stalne frekvencije. U elektroakustici se vrlo često primjenjuje pri različitim mjerenjima. U prirodi se gotovo i ne pojavljuje.

Složeni zvuk sastoji se od osnovnog čistog tona i njegovih harmonika, tj. niza tonova višestruko viših frekvencija od osnovnog tona. Nastaje kombinacijom čistih i tonova različitih frekvencija, odnosno većeg broja sinusoidnih titranja. Često se može čuti u prirodi, gdje se

javlja kao glazbeni ton (harmonični zvuk). Njegova se karakteristika sastoji od osnovnog tona i određenog broja harmoničkih tonova (nadvalova) koji su cjelobrojni višekratnici osnovnog tona (omjer cijelih brojeva – 1:2, 1:3, 1:4, itd.). slušnu visinu tona određuje osnovni ton ako se osnovna frekvencija prema višim tonovima nalazi u nekom drukčijem omjeru, a ne kao cjelobrojni višekratnik, složeni je zvuk neharmoničan. Svaki se složeni zvuk može rastaviti na svoje osnovne sastavnice, na niz čistih tonova. Samoglasnici u govoru imaju svojstva harmoničkog zvuka. Broj i jakost harmonika određuju boju zvuka [5].

Šum je nepravilno, odnosno neperiodičko titranje, čija amplituda i frekvencija poprimaju slučajne iznose. Šum je skup različitih zvučnih i nadzvučnih valova izazvanih vibracijama u nekom sredstvu (npr. zraku) s kontinuiranim, vremenski nestalnim spektrom. Amplitude, faze i frekvencije tih vibracija ne stoje ni u kakvu pravilnom (harmoničnom) međusobnom odnosu. Šum je svugdje prisutan, a stvaraju ga vjetar, strojevi, promet i sl. Jak šum naziva se *bukom*.

Što je veći omjer šuma u odnosu na signal, manja je razumljivost signala. Iako je ljudsko uho sposobno za prilagodbu šumu u smislu usredotočivanja na signal, omjer šuma i signala 1 : 1 već umanjuje razumljivost za 50%. Šum je i važno obilježje govora i zato što je on sastavni dio akustičke definicije skupine konsonanata koji su u fonetici i fonologiji poznati pod nazivom šumnici (opstruenti). Takvi se konsonanti artikuliraju uz potpuno zatvoren prolaz zračnoj struji (koji se naglo otvara pa nastaje prasak) ili tako uzak prolaz da nastaje primjetan šum. Kao takvi tvore prirodnu fonološku kategoriju, tj. podliježu istim fonološkim pravilima, za razliku od suprotne kategorije, tzv. sonanata. Šum definira i kakvoću glasa (npr. dahtav glas) [7].

Postoji više vrsta šumova. Karakteristični oblici šuma koji se često primjenjuju u mjerenjima su sljedeći:

- *bijeli šum* je oblik složenog zvuka koji u sebi sadrži velik broj frekvencija čujnog spektra. Akustička energija jednoliko je raspoređena u cijelom spektru. Naziv je dobio po analogiji na „bijelo“, danje svjetlo koje u sebi sadrži sve boje (sve valne duljine vidljivog spektra).
- *ružičasti šum* po spektralnom je sastavu identičan bijelom šumu, ali mu se intenzitet unutar spektra linearno smanjuje od najniže prema najvišoj frekvenciji. U svakoj sljedećoj oktavi intenzitet opada za 3 dB.

Prasak je kratkotrajni zvučni impuls velike snage.

Zvuk može biti jednostavan ili složen, ovisno o tomu od koliko je komponenti sastavljen. Raspodjela akustične energije kao funkcije frekvencije se često naziva spektar zvuka. Tako različiti glazbeni instrumenti imaju različitu kakvoću zvuka jer im je spektar drukčiji. Jednostavni zvuk sastoji se od jedne frekvencijske komponente određene frekvencije,a složeni je sastavljen od većeg broja komponenata različitih frekvencija. Frekvencije komponenata glazbenih tonova višekratnici su osnovne frekvencije. Osnovna frekvencija glazbenog tona naziva se osnovnim harmonikom. Komponente čija je frekvencija višekratnik osnovne nazivaju se višim harmonicima. Njihov raspored i jakost daju boju tona, po kojoj se na primjer razlikuju tonovi instrumenata. Ako su komponente vrlo gusto raspoređene, a pojedine se ne mogu izdvojiti, tada govorimo o šumu. Osim šuma i prasak ima kontinuiranu amplitudno-frekvencijsku karakteristiku, a čisti i složeni ton diskretnu [1].

3. Buka i njezin utjecaj na ljude

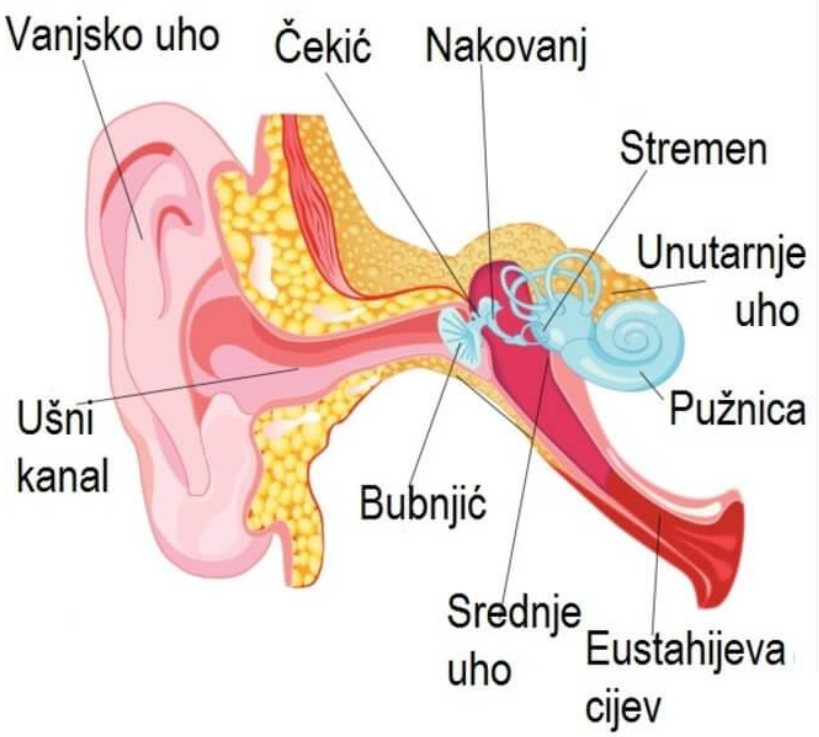
3.1. Slušni proces i građa uha

Uho (Sl. 4) je prijemnik zvuka koji radi kao mikrofon i određuje smjer zvučnog izvora, frekvencijski je analizator i kao organ ima tri dijela:

- *Vanjsko uho* – sastoji se od usne školjke, slušnog kanala (zvukovoda) i bubnjića. Usna školjka i slušni kanal čine lijevak koji na visokim frekvencijama pojačava zvuk. Rezonantna frekvencija slušnog kanala je oko 3 500 Hz pa na tom području dobivamo pojačanje zvuka za oko 10 dB. Bubnjić je membrana u obliku lijevka s naborom na donjem kraju koji mu daje veću pokretljivost i omogućuje titranje oko svoje osi koja je u blizini gornjeg uha. Najniža impedancija bubnjića je oko 800 Hz i u tom području, bubnjić je idealan prijemnik zvuka jer se zvučni valovi praktički ne reflektiraju.

- *Srednje uho* – sadrži slušne koščice i taj prostor je s usnom šupljinom spojen Eustahijevom cijevi. Ona je zatvorena osim u slučaju zijevanja i gutanja. Veza srednjeg uha i vanjskog prostora preko Eustahijeve cijevi je bitna jer se tim putem izjednačavaju tlakovi da ne bi došlo do oštećenja bubnjića. Primjer je promjena nadmorske visine ili ulazak automobila u tunel u kojem se vozimo. Zbog nejednakosti tlakova, možemo osjetiti bol u uhu, a tlak najlakše izjednačimo „gutanjem“ jer se tada otvara Eustahijeva cijev. Koščice prilagođavaju veliki akustički otpor limfne tekućine malom akustičkom otporu zraka. Prva slušna koščica je čekić spojen sa sredinom bubnjića i zajedno s njime se okreće oko njegove osi. To gibanje se prenosi na nakovanj s kojim je povezana treća koščica koja je dobila ime stremen po svom obliku. Slušne koščice su relativno velikih masa pa je naše uho zaštićeno od prevelikog pobuđivanja vlastitim govorom. Veliki zvučni tlak postiže se samim time što je površina prozorčića na koji je pričvršćen stremen dva puta manja od površine bubnjića. Naše uho također ima i regulaciju glasnoće pomoću dva mišića koja su tetivama povezana s jednim hvatištem na stremen, a drugim na čekić. Na zvuk oko 60 dB, prvi mišić povlači vrh stremena, a između 60 i 100 dB, drugi mišić vuče čekić unutra.

- *Unutrašnje uho* – ili labirint, se sastoji od polukružnih kanala, predvorja i pužnice te je cijelo ispunjeno limfnom tekućinom. Slušni kanali ne sudjeluju u slušnom procesu već služe za osjet ravnoteže. Predvorje se nalazi ispred polukružnih kanala i pužnice. Pužnica je najsloženije konstrukcije u cijelom ljudskom tijelu. Uzduž nje se protežu tri kanala međusobno odijeljena bazilarnom i Reissnerovom membranom, a na dnu je otvor nazvan helikotrema. Na dijelu gdje pužnica graniči sa srednjim uhom ima dva otvora – gornji u kojem je stremen vezan sa stjenkom i naziva se ovalni prozorčić i drugi koji je zatvoren – okrugli prozorčić. Iznad bazilarne membrane je Cortijev organ koji ima 23 500 osjetilnih stanica iz kojih izlaze fine dlačice koje pomažu u slušnom procesu i ujedno sprečavaju ulaz kukcima [8].



Slika 3: Građa uha, Izvor: https://www.krenizdravo.rtl.hr/zdravlje/simptomi/pritisak-u-usima-moguci-uzroci-i-lijecenje

3.2. Buka

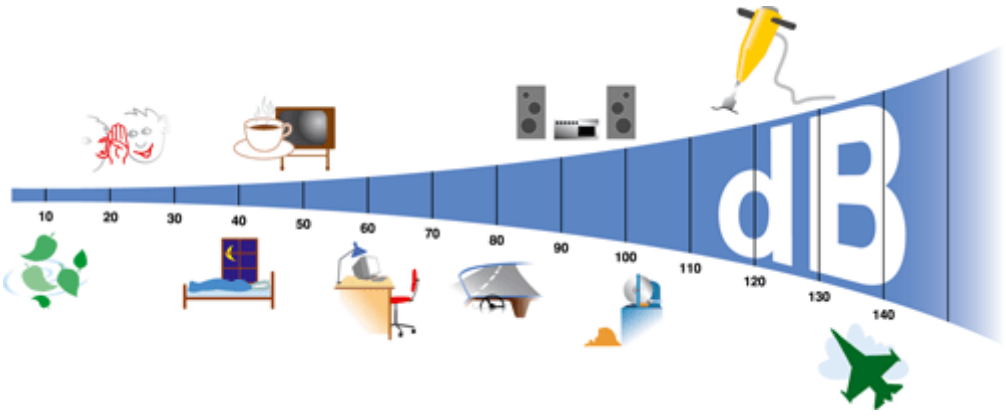
Buka je neželjeni zvuk koji onemogućava komunikaciju, remeti koncentraciju te oštećuje sluh. Može djelovati vrlo ometajuće i odvlačiti pozornost od rada za koji je potrebna povećana koncentracija (npr. pilotiranje). Dugotrajno izlaganje buci može dovesti do fizičkih poremećaja kao što su oštećenja sluha ili njegov gubitak te također i psihičkih poremećaja kao što su problemi u komunikaciji, smanjenje produktivnosti, nervoza, itd.

Osnovne značajke buke sadržane su u njezinoj jačini (intenzitetu) (Sl. 5), ali i u njezinoj kakvoći (dodatni šumovi), visini, trajanju, isprekidanosti ili kontinuiranosti. Stupanj smetanja ovisi o psihološkim čimbenicima (o vrsti zvučnih informacija, očekivanju ili nenadanosti i drugom). Svaka buka intenziteta većeg od 85 do 90 dB može nakon duge izloženosti uzrokovati trajna oštećenja sluha. Buka se smatra zagađivačem okoliša, pa se propisuju maksimalno dopuštene granice, izražene u decibelima (dB).

Ovisno o izvoru, buka se može podijeliti na:

- izravnu,
- neizravnu.

Izravna ili direktna buka je određena jakošću izvora i njegovom udaljenošću. Neizravna buka ovisi o koeficijentima refleksije poda, zidova, stropa, itd. i o poziciji takvih objekata [5].



Slika 4: Jačina (intenzitet) buke, Izvor: http://svafizika.org/2017/04/24/sta-je-to-akustika/

3.3. Utjecaj na ljude

Medicinsko stajalište razlikuje dvije vrste štetnog djelovanja buke:

- auralno,
- ekstraauralno.

Auralno djelovanje buke izravno na organ sluha poznato je već odavno. S razvojem suvremenih prometnih sredstava i ostale tehnike sve je veći broj radnih mjesta s pretjeranom bukom te to dovodi do sve većeg broja ljudi s oštećenim sluhom (vozači, piloti, strojari, itd.)

Ekstraauralno ili djelovanje buke na ostale organe i cijeli organizam je takvo djelovanje koje utječe na neurovegetativni sustav, povećava napetost, krvni tlak, izaziva poremećaje rada srca, pluća, želuca i endokrinog sustava, izaziva osjećaj straha, sužava pozornost, smanjuje imunobiološku otpornost i produktivnost rada, što je kod zrakoplovnog osoblja vrlo kritično i opasno po sigurnost samog letenja.

Pored neposrednog djelovanja na sluh, buka može imati razne psihofizičke reakcije. Posebno je na buku osjetljiv vegetativni živčani sustav, precizno simpatički, preko kojeg se manifestiraju razne promjene. Buka zapravo djeluje kao fizički stres i dovodi uglavnom do nekarakterističnih odgovora organizma. Od karakterističnih efekata koji se manifestiraju pri djelovanju buke su mišićne reakcije i reakcije uznemirenja.

Kod djelovanja iznenadne buke javljaju se karakteristične reakcije prestrašenosti, najčešće motoričke prirode, uključujući više mišićnih skupina. Dolazi do spontanog zatvaranja očiju, kontrakcije mišića, povijanja tijela, a ponekad se javljaju i trzaji glave. Takve reakcije uznemirenja gube se ponavljanjem zvuka, ali neki odgovori i dalje ostaju prisutni kao što su trzanje glave i treptanje očiju.

Kratkotrajni fizički efekti se najčešće manifestiraju u vegetativnim reakcijama, kao što su periferna cirkulacija, srčani ritam, respiratorna aktivnost, povećanje brzine sedimentacije, itd. Kratkotrajni i intenzivni šum trenutno izaziva povećanje frekvencije pulsa i nakon razdoblja od pola minute ponovno se uspostavlja normala ritma [9].

4. Buka u zrakoplovstvu

Buka kao ozbiljan problem prvi put je razmatrana početkom 70-ih godina prošlog stoljeća. Temeljni dokument za reguliranje problematike buke u zrakoplovstvu se smatra Annex 16 Međunarodne organizacije za civilno zrakoplovstvo (*International Civil Aviation Oganization* - ICAO) konvencije iz Chicaga. Prihvaćene su norme za homologaciju postojećih i novih tipova zrakoplova, odnosno za izdavanje atesta (ovisno o težini i broju motora) za dvije glavne kategorije zrakoplova. Također se osniva Povjerenstvo za zaštitu okoliša (*Committee on Aviation Environmental Protection* - CAEP), sa zadaćom koordinacije i regulacije ICAO članica u primjeni ekoloških normi u zrakoplovstvu.

Za mjerenje buke definiran je veći broj jedinica od kojih je najčešće u uporabi dB (decibel). Budući da se uz jačinu buke kao vrijednost uzima i njezino trajanje, dopuštena razina bučnosti u zračnom prometu izražava se u novodefiniranoj jedinici – decibel efektivno čujne buke (*Effective perceived noise in decibels* - EPNdB). Mjera EPNdB povećava se s mjerenjem buke u večernjim i noćnim satima.

Zrakoplovi proizvode najveću buku pri uzlijetanju i slijetanju. Buka zračnog prometa je širokopojasna te veličine za njezino izražavanje moraju obuhvaćati frekvencijsko područje unutar kojeg se javlja buka. Veličine koje se koriste u tu svrhu su razina zvučnog tlaka i korigirane razine buke. Sa stajališta zračnih luka, odnosno stanovništva koje živi u okolici zračnih luka interesantnije od mjerenja buke je otisak površine na zemlji prema čijoj konturi buka ima određeni intenzitet [10].

4.1. Regulativa i propisi o buci

Rezolucije ICAO i američkog kongresa postavile su opće smjernice za razvoj svjetske politike o pitanju povećane bučnosti zrakoplova. Tokom 90-ih godina prošlog stoljeća počinje postepeno primjena međunarodnih normi kako bi se ublažio ekonomski udar, a ovlast same primjene je u domeni državnih vlada.

Primjena restrikcije na bučne zrakoplove u Europskoj uniji (*European union* - EU) započela je 1.4.1995.godine kroz visoke "clean-up" račune, naplatom kaznenih taksi i na posljetku zabranom letenja prema kategorijama navedenim u direktivi EU:

- povlačenje iz prometa zrakoplova kategorije 2 starijih od 25 godina,
- zamjena zrakoplova kategorije 2 mlađih od 25 godine do 2002. godine,
- zamjena zrakoplova kategorije 2 mlađih od 25 godine koji pripadaju kompanijama u zemljama u razvoju nakon 2002. godine.

Federalna zrakoplovna regulativa (*Federal Aviation Regulations* - FAR) je propis izdan od strane Savezne uprave za civilno zrakoplovstvo (*Federal Aviation Administration* - FAA) koji izdaje zapovjedi (procedure po kojima se FAA osoblje mora ravnati u izvršavanju dužnosti) i naputke (pismeni dokumenti koji osiguravaju korisno vođenje i informacije u vezi s američkim normama). Postoji nekoliko FAR propisa kojima je cilj smanjiti razinu buke u Sjedinjenim Američkim Državama (SAD-u).:

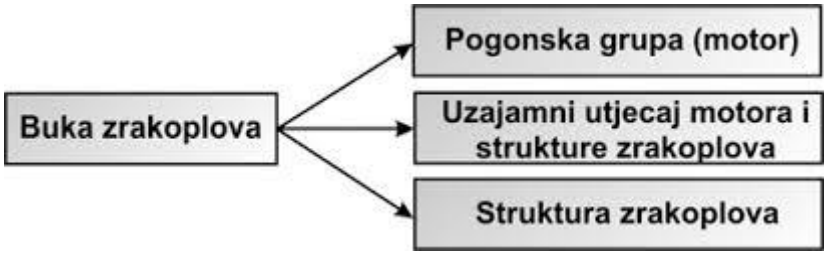
- FAR 36 – postavlja standard buke koji zrakoplov mora zadovoljiti da bi dobio dozvolu tipa i certifikat o plovidbenosti za operacije u SAD-u,
- FAR 91 – pravilnik koji ograničava operacije civilnih podzvučnih turbo-mlaznih zrakoplova s maksimalnom težinom većom od 75 000 lb (34 000 kg),
- FAR 150 – sastoji se od karata izloženosti buci i programa kompatibilnosti buke (*Noise Equivalent Power* - NEP),
- FAR 161 – uspostavlja zahtjeve koje aerodromski operator mora zadovoljiti prije potpisivanja aerodromskih ograničenja pristupa zrakoplovima [9].

4.2. Izvori buke na zrakoplovu

Buka zrakoplova je jedna od buka sa najvećim intenzitetom u čovjekovom radnom okruženju. Karakteristike takve buke najviše ovise o konfiguraciji letjelice i vrsti pogonske

skupine. Uz točno poznavanje izvora buke na zrakoplovima može se pristupiti problematici utjecaja takve buke na okoliš i ljude te problematici smanjenja i ublažavanja iste.

Na slici 6. navedeni su glavni izvori buke na zrakoplovu kao što su pogonska grupa, struktura zrakoplova te njihova međusobna interakcija.



Slika 5: Glavni izvori buke na zrakoplovu, Izvor: Štimac Igor: *Implementacija sustava praćenja i analiza buke na zračnoj luci Zagreb*, Magistarski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009.

4.3. Izvori buke na helikopteru

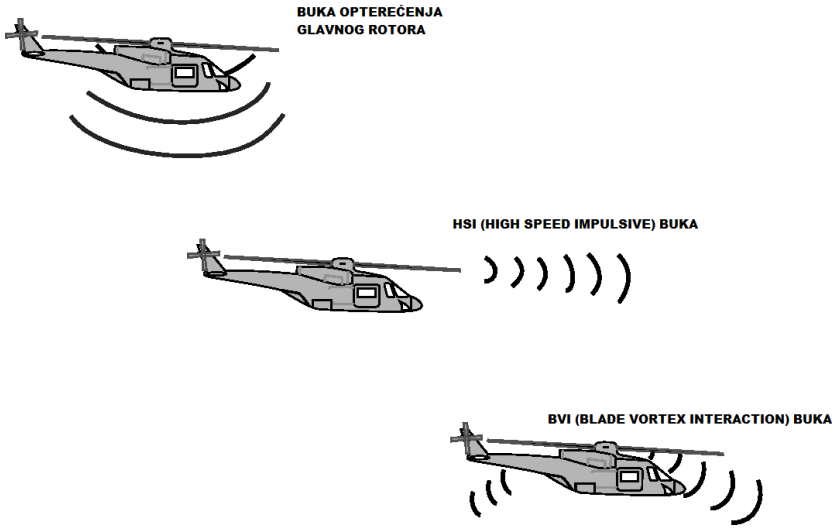
Helikopteri predstavljaju snažan izvor buke, kako vanjske tako i unutarnje, što dovodi do problema onečišćenja okoliša i zdravlja ljudi. Buka helikopter je u nekim aspektima slična buci propelera koju proizvode zrakoplovi pogonjeni elisama. Glavna razlika buke helikoptera i zrakoplova je izvor buke s obzirom na relativni protok zraka. Kod helikoptera glavni i repni rotor, koji proizvode sile potrebne za let su u istoj liniji s pravcem leta, dok su kod zrakoplova lopatice rotora motora smještene okomito na smjer leta zrakoplova. Jedna od karakterističnih buka na helikopteru, poznata kao „šamaranje“, dolazi od rotora koji „reže“ svoj vlastiti ulazni vrtlog zraka. Takva buka se najčešće javlja pri spuštanju helikoptera [11].

Glavni izvori buke na helikopteru su glavni rotor koji proizvodi impulsivnu buku velike brzine (*High Speed Impulsive* - HSI) i buku prouzročenu međudjelovanjem vrtloga zraka nastalog kretanjem lopatica rotora (*Blade Vortex Interaction* - BVI), repni rotor na kojem dolazi do buke nastale međudjelovanjem repnog rotora sa vrtlogom zraka glavnog rotora (*Tail Rotor Interaction* - TRI) i buke repnog rotora (*Tail Rotor* - TR), ispušni plinovi iz klipnog ili mlaz iz turbo-mlaznog motora te struktura samog helikoptera. Zadnja dva navedena izvora

buke su zanemarivo mala te se kao takvi ne uzimaju u obzir kod određivanja količine i intenziteta buke na helikopteru.

Brzo impulsna buka, odnosno HSI buke je buka kod koje vrh napredujuće lopatice rotora (lopatica koja se kreće u smjeru leta helikoptera) se kreće takvom brzinom da brzo i jako komprimira zrak ispred sebe. Takva kompresija uzrokuje udarne valove koji se projiciraju kao velike promjene tlaka ispred vrha lopatice. Pri relativno velikom broju okretaja glavnog rotora, ova buka se pretvara u niz „tupih“ udara koji se mogu čuti na velikim udaljenostima. Za razliku od HSI buke BVI buka je tip impulsne buke uzrokovan interakcijom između vrtloga zraka pri kojemu lopatica rotora ulazi u postojeći vrtlog zraka koji nastaje prolaskom prethodne lopatice rotora.

HSI, TRI i TR buka je najizraženija tijekom prelijetanja, dok je BVI buka obično dominantna tijekom spuštanja, što je prikazano na slici 7., iako je u toj fazi leta postoji mogućnost prisutnosti TR i TRI buke. BVI buka se također može pojaviti na nekim helikopterima tijekom samog leta u krstarenju te je izražena tijekom skretanja sa nagibom. Kod postojanja tandemskih rotora, BVI se odvija neprekidno, bez obzira na trenutni režim leta. Direkcionalna svojstva HSI i BVI buke su takva da ti izvori imaju mali utjecaj na maksimalnu razinu buke koja je prisutna točno ispod helikoptera u letu. Helikopteri koji rade blizu BVI ili TRI praga buke bit će posebno osjetljivi na vanjske podražaje i temperaturu okoline u kojoj helikopter djeluje. Takve promjene u razini buke biti će izraženije na rotorima s većom brzinom vrtnje, jer su izvori prirodno intenzivniji [12].



Slika 6: Izvori i vrste buke na helikopteru, Izvor: https://www.semanticscholar.org/paper/Modeling-aerodynamically-generated-sound-of-rotors-Brentner-Farassat/9bcd64cea51d65b90bcb119ea93a6415df2e4aac/figure/1

5. Tehničko-eksploatacijske značajke helikoptera AW139

AgustaWestland AW139 je srednji dvomotorni helikopter s 15 sjedala, razvijen i proizveden uglavnom od strane tvrtke AgustaWestland. Koristi se za nekoliko različitih uloga, uključujući prijevoz vrlo važnih osoba (*Very Important Person* - VIP, prijevoz na naftne bušotine, gašenje požara, provedbu zakona, traganje i spašavanje (*Search and Rescue* – SAR) i borbeno traganje i spašavanje (*Combat Search and Rescue* - CSAR), hitnu medicinsku pomoć, pomoć u slučaju katastrofe i pomorsku patrolu. Osim vlastitih proizvodnih pogona tvrtke AgustaWestland u Italiji i SAD-u, AW139 u Rusiji proizvodi HeliVert, zajednički pothvat AgustaWestlanda i Rostvertola.

AW139 izvorno je osmišljen i razvijen od strane Agusta i Bell Helicoptersa i prodan kao Agusta-Bell AB139, a ime je promijenjeno u AW139 kada se Bell povukao iz projekta. Od ulaska u službu 2003. godine, AW139 je postao jedan od najutjecajnijih proizvoda tvrtke AgustaWestland te se naknadno razvio u dva srednje teška helikoptera, vojno orijentirani AW149 i AW189 za civilno tržište [13].

Prvi AW139 je poletio 3. veljače 2001. u mjestu Vergiate u Italiji. 24. lipnja 2002. godine proizveden je prvi helikopter, dok je prvome kupcu isporučen 2003. godine. Europske zajedničke zrakoplovne vlasti (*Joint Aviation Authority* - JAA) certifikat zaprimljen je u lipnju 2003., a certifikat od FAA-a uslijedio je u prosincu 2004. godine. Do svibnja 2005. godine AW139 je dobio više od 100 narudžbi diljem svijeta. AgustaWestland je 2005. godine otkupio Bellovih 25% udjela u programu i sva njegova prava na AW139 za 95 milijuna dolara.

AgustaWestland je 2015. godine predstavio varijantu AW139 sa povećanom ukupnom masom od 7 tona, čime je omogućen dolet od 305 kilometara prevozeći pritom 12 putnika. Teža konstrukcija helikoptera dovodi do smanjenja performansi pri visokim temperaturama i na velikoj visini leta. U studenom 2015. Godine AgustaWestland je prikazao 60-minutni „run-dry“ test (rad bez ulja) mjenjačke kutije na AW139, 30 minuta duži test od bilo kojeg drugog certificiranog helikoptera u to vrijeme [13].

Inačice AW139 helikoptera:

- AB139 – Izvorni model talijanske proizvodnje (54 proizvedena helikoptera),
- AW139 – Inačica sa promijenjenom oznakom od 55. helikoptera nadalje,
- AW139 (konfiguracija s produženim nosom) – inačica s dugim nosom u kojemu je smještena avionika izrađena u Italiji i SAD-u,
- AW139M – militarizirana varijanta , sposobna za nošenje raznog oružja,
- HH139A – inačica talijanskog zrakoplovstva za 10 SAR helikoptera,
- VH139A – inačica talijanskog zrakoplovstva za 2 VIP helikoptera,
- US139 – militarizirana inačica predložena za program lakog korisnog helikoptera (*Light Utility Helicopter* - LUH) američke vojske u partnerstvu sa L-3 Communications,
- Boeing MH139 – američka vojna inačica koja ima za cilj zamijeniti flotu UH-1N helikoptera od 2021. godine.

5.1. Tehničke karakteristike AW139

AW139 je konvencionalni dvomotorni višenamjenski helikopter. Glavni rotor se sastoji od pet kompozitnih lopatica s glavčinom od titana te repnim rotorom sa četiri lopatice. Opremljen je sa uvlačećim stajnim trapom oblika tricikl (stražnji trapovi se uvlače u vanjska kućišta koja se također koriste za smještaj dodatne opreme). Namijenjen je za posadu od dva pilota s do 15 putnika smještenih u tri reda po pet osoba. AW139 pokreću dva Pratt & Whitney Canada PT6C turbovratilna motora, kontrolirana pomoću digitalne kontrole motora (*Full Authority Digital Engine Control* - FADEC) koji neprimjetno prilagođava motore za praktičnost pilota i udobnost putnika te može bez primjetnog odstupanja riješiti problem kod otkaza jednog motora. Dizajn AW139 omogućava lako održavanje samog helikoptera i njegovih sustava tako što se lagano može pristupiti kritičnim sustavima, smanjen je broj dijelova gdje je to moguće, a mnoge komponente su dizajniranje za produljeni životni ciklus. AW139 je opremljen sustavom za praćenje zdravlja i korištenja (*Health and Usage Monitoring System* - HUMS). Više od tisuću prilagodljivih dijelova opreme može se konfigurirati po zahtjevu kupca, uključujući pomoćne spremnike za gorivo, spasilačke

dizalice, kuke za teret, vremenski radar i radar za pretraživanje, sustave za zaštitu od leda, kamere i reflektore, te raspored sjedenja. AW139 ima modularni „*glass cockpit*“ sa instaliranim četvero-osnim autopilotom koji omogućuje funkcije poput automatskog lebdenja (Sl. 8). Kokpit je dizajniran da omogući operacije sa jednim pilotom u instrumentalnim uvjetima letenja, a također je kompatibilan sa upotrebom naočala za noćni vid tzv. (*Night Vision Goggles* - NVG) [13].



Slika 7: Kokpit AW139, Izvor: Autor

5.2. Eksploatacijske karakteristike AW139

Dimenzije:

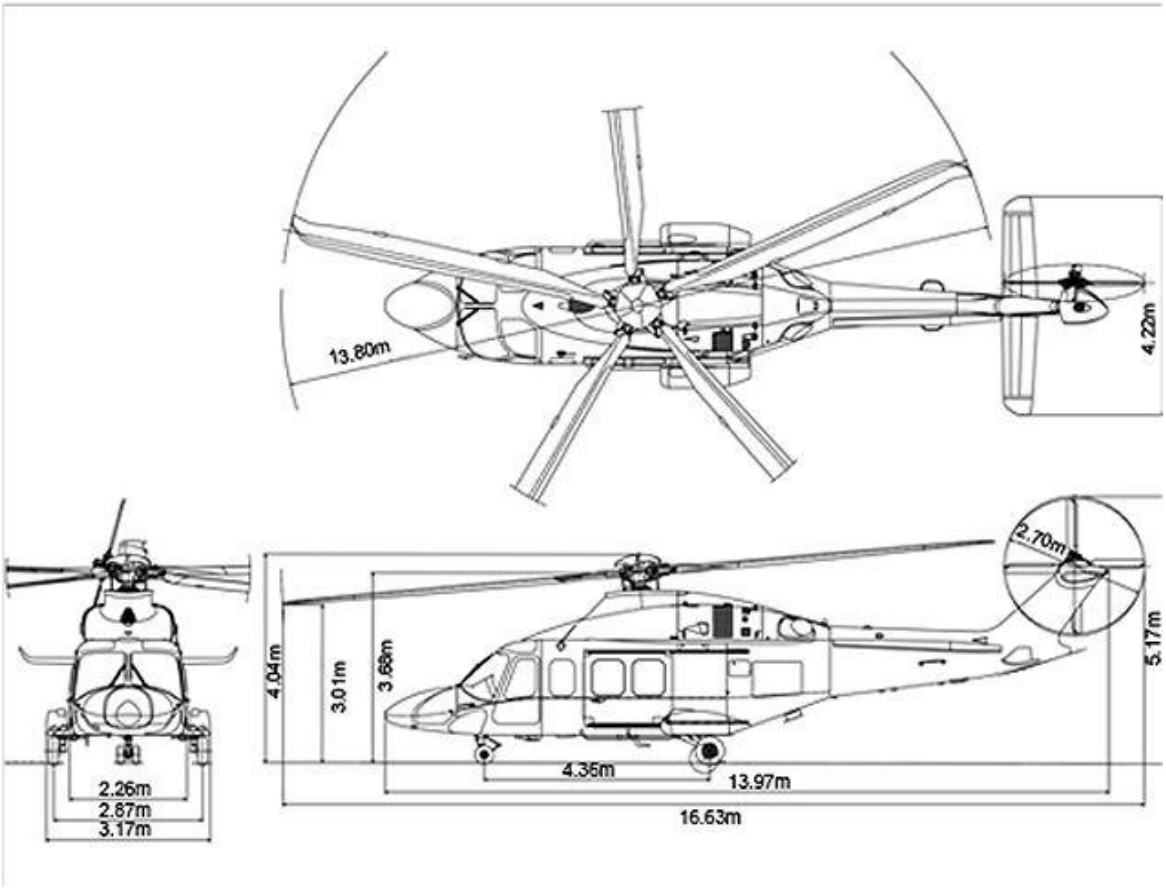
- Dužina (pri vrtnji rotora) → 16,65 m (54 ft 08 in)
- Dužina trupa → 13,53 m (44 ft 05 in)
- Visina (pri vrtnji rotora) → 4,98 m (16 ft 04 in)
- Širina trupa → 2,26 m (10 ft 00 in)
- Promjer glavnog rotora → 13,80 m (45 ft 03 in)
- Promjer repnog rotora → 2,70 m (8 ft 10 in)
- Veličina kabine (D x Š x V) → 2,7 m x 2,0 m x 1,42 m (8 x 7 x 5 ft)
- Površina rotacije glavnog rotora → 149,6 m^2 (1 610 ft^2)
- Zapremnina vanjske prtljage → 3,4 m^3 (120 ft^3)

Težine:

- Masa praznog helikoptera → 3 622 kg (7 985 lb)
- MTOW (Max. Take Off Weight) → 6 400 kg (14 110 lb)
- MTOW (verzije od 7 tona) → 7 000 kg (15 432 lb)
- Normalna poletna masa → 4 268 kg (9 409 lb)
- Maksimalna masa tereta → 2 650 kg (5 843 lb)

Količina goriva:

- Standardna količina goriva → 1 569 l (414 USgal)
- Dodatna količina goriva → 500 l (132 USgal)



Slika 8: Vanjske dimenzije AW139, Izvor: https://airrecognition.com/index.php/world-air-force-military-equipment-aircraft/west-europe-air-force-military-aircraft-planes-equipment/italy-italian-air-force-aircrafts-planes-air-aviation-defence-industry-military-technology/italy-italian-air-force-helicopter-technical-data-sheet-intelligence-information-description-identification-specifications-pictures-photos-video-/646-agusta-aw139-medium-sized-twin-engined-helicopter-technical-data-sheet-specifications-intelligence-description-information-identification-pictures-photos-images-video-italy-italian-air-force-aviation-aerospace-defence-industry-technology.html

5.3. Performanse AW139

Pogonska skupina:

- Broj motora → 2
- Proizvođač motora → Pratt & Whitney Canada
- Model motora → PT6C-67C
- Snaga motora (svaki) → 1 252 kW (1 679 shp)

- Snaga u polijetanju (5 min) → 2 x 1 252 kW (2 x 1 679 shp)
- Maksimalna konstantna snaga → 2 x 1 142 kW (2 x 1 531 shp)
- OEI (One Engine Inoperable) maksimalna snaga → 1 396 kW (1 872 shp)
- OEI maksimalna konstantna snaga → 1 252 kW (1 679 shp)

Prijenos:

- Snaga u polijetanju (5 min) → 1 641 kW (2 200 shp)
- Maksimalna konstantna snaga → 1 491 kW (2 000 shp)
- OEI maksimalna snaga → 1 193 kW (1 600 shp)
- OEI maksimalna konstantna snaga → 1 044 kW (1 400 shp)

Brzine (ISA, 6400 kg / 14110 lb):

- Maksimalna brzina (V_{ne}) → 310 km/h (167 kt)
- Maksimalna brzina krstarenja → 306 km/h (165 kt)
- Brzina krstarenja → 290 km/h (145 kt)
- Ekonomska brzina krstarenja → 260 km/h (140 kt)

Ostale performanse (ISA, 6400 kg / 14110 lb):

- Plafon leta → 6 096 m (20 000 ft)
- Dolet → 1 061 km (573 NM)
- Dolet (sa 1654 kg goriva) → 1 250 km (675 NM)
- ROC (Rate of Climb) → 652 m/min (2 140 ft/min)
- OEI ROC → 232 m/min (760 ft/min)
- Plafon lebdenja IGE (In Ground Effect) → 4 682 m (15 360 ft)
- Plafon lebdenja OGE (Out Ground Effect) → 2 478 m (8 130 ft)
- Istrajnost → 5h 13 min
- Istrajnost (sa 1 654 kg goriva) → 5h 56 min
- Cijena po satu leta → 2 152,75 $

5.4. AW139 Specijalne policije MUP-a

U zrakoplovnoj bazi Lučko smještena je Zrakoplovna jedinica specijalne policije, koja je u sastavu Zapovjedništva specijalne policije. Helikopterska jedinica hrvatske policije raspolaže sa dva višenamjenska helikoptera AW139 (reg. 9A-HRP i 9A-HPH) (Sl. 10) namijenjenih prije svega za operacije kontrole granica koje uključuju i zadatke iznad akvatorija. Osim za nadzor kopnenih i morskih granica AW139 se koristi i za prijevoz interventnih jedinica MUP-a radi što brže reakcije na krizne situacije kao i za ukrcavanje policijskih službenika na plovne objekte radi njihove identifikacije i pregleda. Otprilike 90% operacija AW139 se odvija po noći.



Slika 9: AW139 MUP-a RH reg. 9A-HRP, Izvor: Autor

Konfiguracija AW139 za hrvatsku policiju obuhvaća infracrveni sustav ranog otkrivanja (*Forward-looking infrared* – FLIR) posljednje generacije, sistem video linka sa visokom rezolucijom, svjetla za potragu, dizalicu za spašavanje kao i kabinsku konzolu za planiranje misije. FLIR kamerom, koja se nalazi ispod nosa helikoptera, mogu se locirati ljudi na

udaljenosti od 10 do 20 kilometara. FLIR je kompletan sustav za nadzor s dnevnom i noćnom kamerom te sa snimačem leta da se kasnije može analizirati obavljena misija. Termovizijskom kamerom na helikopteru se vidi odraz topline koji na ekranu daje nijanse sive boje i jasno se može identificirati čovjek. Piloti također koriste NVG naočale za noćno gledanje.

Uz helikopter je isporučen dodatni rezervoar za gorivo kapaciteta 500 litara, kuka za nošenje vanjskog tereta te dizalica za spašavanje. Posada se sastoji od dva pilota i jednog tehničara a može se prevoziti do 12 osoba. Maksimalna brzina je 310 km/h a dolet 1 250 km. AW139 je vrijedan otprilike 15 milijuna eura a financiran je u potpunosti od sredstava EU. Gotovo 3/4 sredstava osigurala je Europska Unija za opremanje MUP-a Hrvatske u periodu 2014-2020. godine [14].

6. Metode smanjenja buke na helikopterima

Tehnologije smanjenja buke na helikopterima koje se najčešće koriste uključuju neravnomjerni razmak lopatica glavnog i repnog rotora, rotore novog dizajna, različite oblike lopatica rotora te smanjenim ili čak automatski prilagođenim brzinama vrtnje rotora.

Projektiranje helikoptera s niskim razinama buke uvelike utječe na tehnološku izvedivost i ekonomsku problematiku često dolaze u konflikt sa povećanjem težine samog helikoptera. Primjerice, neke tehnologije protiv zakretnog momenta su tehnološki izvedive za vrlo male helikoptere, ali nisu ekonomski opravdane za provedbu u određenom dizajnu. Kako se ukupna težina povećava, dizajni protiv zakretnog momenta postaju ekonomičniji. Pri daljnjem povećanju težine tehnološka izvedivost se smanjuje zbog prevelike težine koja onda utječe na performanse helikoptera. Kod srednje teških i teških helikoptera, veća opterećenja lopatica glavnog rotora uzrokuju dominantnu buku, smanjujući akustičnu učinkovitost sistema protiv zakretnog momenta. Tehnologije kao što su automatizirana kontrola motora, napredni 3D dizajn lopatica rotora te aktivna kontrola rotora postaju sve više tehnološki izvedive i ekonomski prihvatljivije sa povećanjem ukupne težine helikoptera. Tablica 2. prikazuje ključne parametre kod dizajna helikoptera koji određuju razinu buke helikoptera.

Na helikopteru Airbus H145 (EC145T2), zamjena klasičnog repnog rotora s visokom brzinom okretaja sa akustičkim „zatvorenim“ sustavom repnog rotora dala je smanjenje buke od 5 EPNdB za akustički identične konfiguracije. Međutim, dosadašnja uporaba „zatvorenog“ sustava repnog rotora ograničena je na lake do srednje teške helikoptere mase do 6 000 kg zbog težine samog sustava, njegove učinkovitosti i akustičkih prednosti [15].

Tablica 2: Ključni parametri dizajna helikoptera koji određuju razinu buke helikoptera, Izvor: ON BOARD ICAO SUSTAINABLE FUTURE ČLANAK

Parametar	Laka kategorija	Srednja kategorija	Teška kategorija
Brzina glavnog rotora	< 215 m/s	215 – 230 m/s	> 230 m/s
Brzina repnog rotora	< 200 m/s	200 -215 m/s	> 215 m/s
Brzina penjanja	< 1 200 ft/min	1 200 – 1 800 ft/min	>1 800 ft/min
Max. brzina krstarenja	<130 kt	130 – 150 kt	>150 kt

6.1. Kontrola buke glavnog rotora

Kontrola buke na glavnom rotoru može se ostvariti sljedećim projektnim mjerama:

- Smanjenje brzine rotacije rotora,
- Povećanje broja lopatica rotora,
- Napredni 3D dizajn lopatica rotora (radijus, tetiva, uvijanje, oblik, odabir i raspodjela duž radijusa, anhedralni/dihedralni oblik, oblik vrha),
- Aktivne tehnologije (Blue Pulse™, aktivno uvijanje, veća harmonička kontrola na korijenu lopatice) [15].

6.2. Kontrola buke repnog rotora

Kontrola buke na repnom rotoru slijedi vrlo slična pravila kao i kod kontrole buke glavnog rotora s nekim dodatnim mogućnostima zbog specifičnog zadatka generiranja anti-momenta:

- Brzina rotacije rotora,
- Broj lopatica rotora,
- Napredni 3D dizajn lopatica rotora (radijus, tetiva, uvijanje, oblik, odabir i raspodjela duž radijusa, anhedralni/dihedralni oblik, oblik vrha),
- Varijante koncepta (klasični repni rotor, usisni ventilator (npr. Fenestron™), raspršivač impulsne buke na repom rotoru (npr. helikopter bez repnog rotora (*No Tail Rotor* - NOTAR™)),
- osjećaj rotacije i položaj u odnosu na vrtlog glavnog rotora,
- aerodinamičke površine koje osiguravaju anti-moment (prilagodba potrebnog potiska za repni rotor),
- specifikacije „zatvorenog“ rotora (3D dizajn rotora/statora, nagnute/zakrivljene lopatice, nejednak razmak lopatica, dizajn kanala) [15].

6.3. Kontrola buke turbovratilnog motora

Tehnologije za smanjenje buke kod turbovratilnih motora uglavnom su vrlo slične onima na turboventilatorskim motorima. Međutim, primjena akustičnih „obloga“, obično primjenjivih kod zrakoplova sa nepromjenjivom geometrijom krila, fizički je ograničena zbog kratke dužine ventilatora u konstrukciji radijalnog kompresora kod većine motora helikoptera.

Napredak u smanjenju buke motora stoga uvelike ovisi o mjerama koje uvedu proizvođači motora kao što su:

- Kontrola buke kod sagorijevanja,
- Uglađivanje frekvencija kompresorskih i turbinskih tonova,
- 3D dizajn rotora/statora,
- Nagnute/zakrivljene lopatice,
- Broj lopatica rotora,
- *„cut-off“* dizajn za akustični način rada u aksijalnim fazama rotora/statora,
- Dizajn usisa/ispuha i akustične obloge [15].

6.4. Kontrola buke klipnog motora

Buka klipnog motora obično proizlazi iz buke ispušnih plinova, a većina napora za smanjenje buke klipnih motora usmjerena je na metode kojima se smanjuje utjecaj buke ispušnih plinova na promatrača na zemlji. Metode koje se pritom koriste su:

- Obrnute konfiguracije ispušnih plinova,
- Rezonatori,
- Prigušnici [15].

6.5 Metode smanjenja buke na helikopteru AW139

AW139 sadrži napredne tehnologije za smanjenje buke koje su u skladu sa zahtjevima visokih performansi, posebno za neograničene operacija kategorije „A“. Tehnologije koje su uključene u AW139 su niska brzina vrtnje rotora u kombinaciji s pažljivo prilagođenim dizajnom oblika lopatica rotora s niskim opterećenjem te uvelike smanjenim interakcijama vrtloga među njima.

Glavni rotor AW139 se sastoji od 5 lopatica sa paraboličnim oblikom vrha i zadnji kraj konusnog oblika koji omogućuje da se vrh lopatice jako sužava, omogućujući mali volumen ali i malu nagnutost vrha lopatice rotora (Sl. 11). Ovakva izvedba lopatica rotora omogućava dobru kontrolu prilikom lebdenja sa malim kontrolnim opterećenjem tijekom normalnih operacija rada te niske razine buke tijekom okretanja rotora. Upotreba tehnologije paraboličnih oblika vrhova lopatica rotora na teškim i bržim helikopterima može biti ograničena povećanom kompresijom i slomom uzgona na lopaticama.



Slika 10: Parabolični vrh lopatice glavnog rotora na AW139, Izvor: Autor

Repni rotor na AW139 se sastoji od 4 lopatica paraboličnog oblika vrha s umjerenom brzinom vrtnje koju ostvaruju lopatice na svojim vrhovima.

Tablica 3 prikazuje intenzitet buke (EPNdB) pri različitim režimima leta za helikopter AW139 prema regulaciji buke članka 8 (8.4.1.) ICAO Annex-a 16.

Tablica 3: Intenzitet buke (EPNdB) za AW139 pri različitim MTOW prema ICAO članku 8 (8.4.1.), Izvor: https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/environment/easa-certification-noise-levels

MTOW (kg)	POLIJETANJE			PRELET			PRILAZ ZA SLIJETANJE		
	Razina	Limit	Razlika	Razina	Limit	Razlika	Razina	Limit	Razlika
7000 kg	90,3	98,5	8,2	90,7	97,5	6,8	94,1	99,5	5,4
6800 kg	90,3	98,3	8	90,7	97,3	6,6	94,1	99,3	5,2
6400 kg	90,5	98,1	7,6	89,8	97,1	7,3	93	99,1	6,1

Tablica 4 prikazuje intenzitet buke (EPNdB) pri različitim režimima leta za helikopter AW139 prema regulaciji buke članka 8 (8.4.2.) ICAO aneksa 16.

Tablica 4: Intenzitet buke (EPNdB) za AW139 pri 6800 kg MTOW prema ICAO članku 8 (8.4.2.), Izvor: https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/environment/easa-certification-noise-levels

MTOW (kg)	POLIJETANJE			PRELET			PRILAZ ZA SLIJETANJE		
	Razina	Limit	Razlika	Razina	Limit	Razlika	Razina	Limit	Razlika
6800 kg	95,3	100,3	5	93,3	95,9	2,6	98,3	102,5	4,2

AgustaWestland neprekidno radi na smanjenju buke koju stvaraju glavni izvori, kao što su glavni i repni rotor, koristeći nove vrhove lopatica rotora, njihove oblike te smanjujući brzinu vrhova lopatica bez narušavanja performansi helikoptera. Također, priručnici za letove tvrtke AgustaWestland uključivati će ne samo potrebne vrijednosti za certifikaciju, već i vrijednosti razine buke koje se mogu postići određenom procedurom i/ili putanjom leta, što posebice vrijedi za faze prilaza za slijetanje i polijetanja [16].

Standardni dio opreme kompletne posade (koju čine kapetan, kopilot i tehničari letači) u MUP-u RH za osobnu zaštitu od buke se sastoji od kacige francuske tvrtke MSA (Sl. 12), pilotske slušalice (Sl.13), te čepići za uši koji se izrađuju od materijala poput silikona te su to iznimno mekani čepići. Akrilni čepići za zaštitu od buke nešto su tvrđi. Čepićima za uši se može postići prigušenje i do 29 dB na višim frekvencijama. Na slici je prikazana osobna zaštita od buke posade helikoptera AW139.



Slika 11: Kaciga letačke posade AW139, Izvor: Autor



Slika 12: Slušalice letačke posade AW139, Izvor: Autor

7. Mjerenje buke na helikopteru AW139

Mjerenje buke na helikopteru AW139 se provodilo na lokaciji aerodroma Lučko. Izvršeno je vanjsko i unutarnje mjerenje buke navedenog helikoptera. Vanjsko mjerenje se izvodilo na vojnom dijelu stajanke za helikoptere, dok se unutarnje mjerenje obavilo u unutrašnjosti helikoptera pri dva različita režima rada motora. U ovom poglavlju će se opisati uvjeti i postavke pri mjerenju buke kao i dobiveni rezultati.

7.1. Izvođenje mjerenja

Mjerenje vanjske i unutarnje buke na helikopteru AW139 registarskih oznaka 9A-HRP u suradnji sa Specijalnom policijom MUP-a provedeno je na aerodromu Lučko. Mjerenje je izvršeno pomoću mjernog instrumenta Norsonic Nor140 dana 05. listopada 2018. godine u 13:00 sati. U tablici 5. prikazani su opći podaci o mjerenju.

Tablica 5: Podaci o mjerenju

Zrakoplov	**Helikopter AgustaWestland AW139**
Datum	05.10.2018.
Vrijeme (local time)	13:00 – 13:30h
Lokacija	Aerodrom Lučko (LDZL)
Mjerni uređaj	Norsonic Nor140
Trajanje mjerenja	30 min
Temperatura/Tlak/Vlaga/Vjetar	19°C / 1 027 mbar / 46 % / 7 km/h
Buka okoliša	<55 dBA

Meteorološki uvjeti na dan 05.listopad 2018. godine su bili gotovo savršeni uvjeti za mjerenje buke. Vrijeme je bilo sunčano sa temperaturom zraka od 19 °C, relativna vlažnost

zraka je iznosila 46% a tlak zraka je bio 1 027 mbar. Vjetar je puhao iz smjera sjevera brzinom od 7 km/h, a vidljivost je iznosila 16 km.

Zvukomjer Norsonic Nor140 (Sl. 14) se koristi za globalno i profilno mjerenje razine zvučnog tlaka/intenziteta. Moguće je mjeriti, pohranjivati i kasnije analizirati čitav niz akustičkih parametara. Zvukomjer koristi tercne i oktavne filtre te paralelno može mjeriti i računati velik broj parametara sa 3 vremenske konstante. Oprema uz zvukomjer uključuje: DC 12V izvor napajanja, 4 baterije AA, avionski priključak, GRAS nisko-frekvencijski mikrofon, Nor1251 akustički kalibracijski uređaj, instalacijski CD, USB kabel, zaštitnik od vjetra, upute za uporabu i prijenosnu torbu [17].

Zvukomjer Norsonic Nor140 uključuje sljedeće funkcije:

- SPL - Trenutna razina zvučnog tlaka,
- Lmax - Maksimalna razina zvučnog tlaka,
- Lmin - Minimalna razina zvučnog tlaka,
- Leq – Ekvivalentna razina zvučnog tlaka,
- Le - Razina ekspozicije zvuka,
- Lpeak - Maksimalna najviša razina [18].

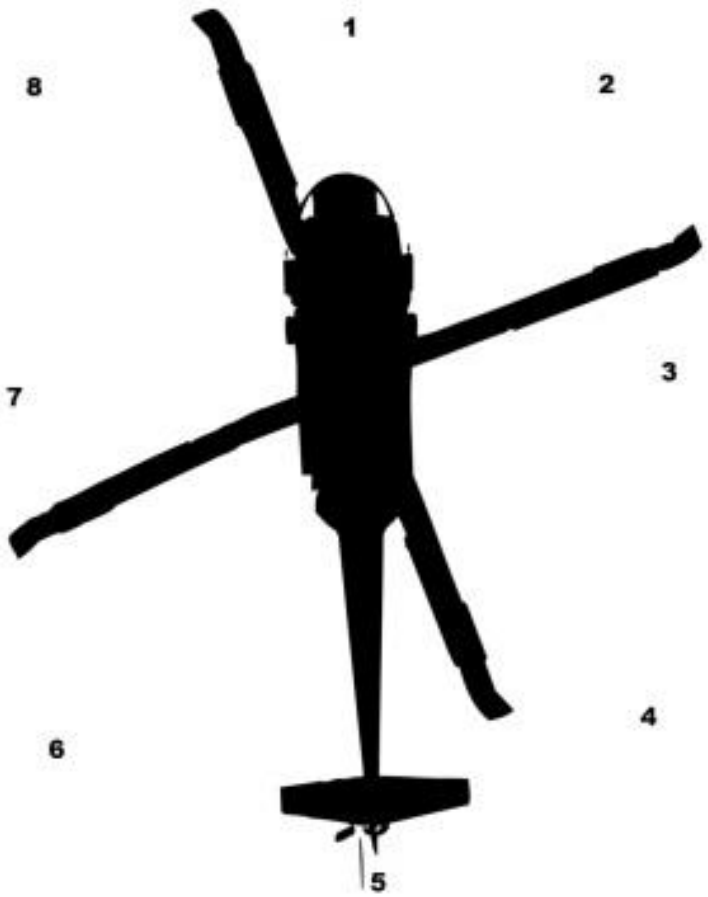


Slika 13: Zvukomjer Norsonic Nor140, Izvor: http://static.fpz.hr/FPZWeb/files/pravilnici/Katalog-laboratorijske-opreme-2013-2016.pdf

Snimanje je obavljeno u odsjecima od 5 sekundi za svaki navedeni ispitivani režim rada motora. Tijekom većine režima, pozadinska buka je bila na zadovoljavajućoj razini koja nije ometala sama mjerenja.

7.2. Mjerenje i rezultati vanjske buke

Mjerenje vanjske buke na helikopteru AW139 je obavljeno na stajanci ispred hangara koji se koristi za potrebe MUP-a RH. Mjerenje je obavljeno zvukomjerom ručno postavljenim na udaljenost od 10 m od helikoptera u osam pozicija sa razlikom od 45 stupnjeva između svake pozicije (Sl. 15).

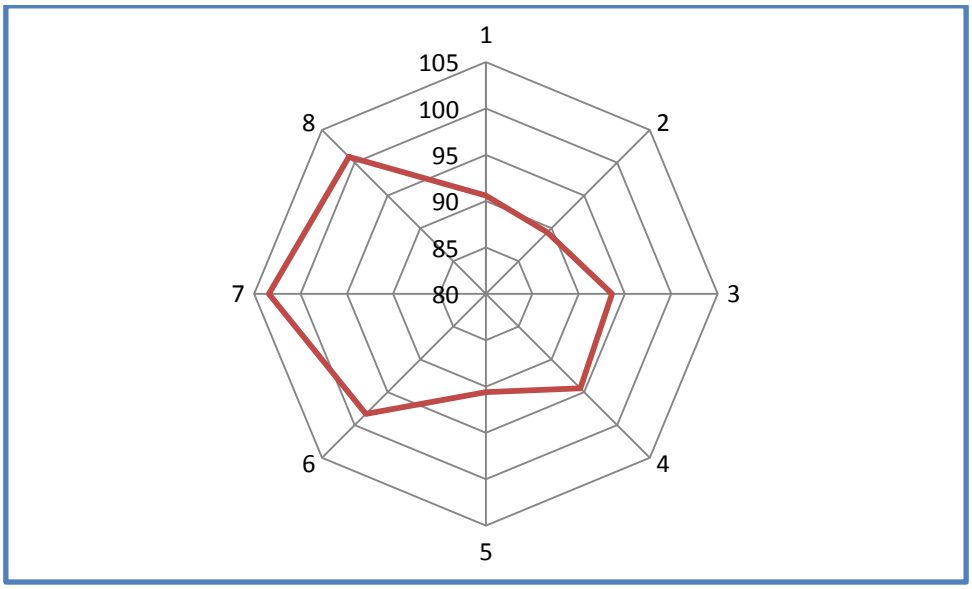


Slika 14: Mjerne pozicije za mjerenje vanjske buke, Izvor: http://clipart-library.com/clipart/kiKRkKaij.htm

Tablica 6. daje prikaz rezultata mjerenja vanjske buke A-ponderiranim mjerenjem za režim rada jednog motora na *„IDLE“* (*ENG 1*) te je prikazana srednja vrijednost razine buke u jedinici decibel (dB), odnosno (dBA). Iste vrijednosti su iskazane i u grafikonu 1. Iz tablice 6. i grafikona 1. može se zaključiti da su najveće srednje vrijednosti razine buke prilikom rada jednog motora u režimu „IDLE“ na pozicijama broj 7 i 8, a sveobuhvatno možemo zaključiti da je srednja razina buke veća između pozicija 6 i 8 (lijeva strana helikoptera na kojoj nije smješten repni rotor) nego između pozicija 1 i 5.

Tablica 6: A - ponderirana srednja vrijednost razine buke rada jednog motora u režimu *"IDLE"*

Broj mjerne pozicije	Srednja vrijednost razine buke - L_{Aeq} (dB)
1	90,6
2	89,4
3	93,6
4	94,4
5	90,6
6	98,3
7	103,4
8	100,9

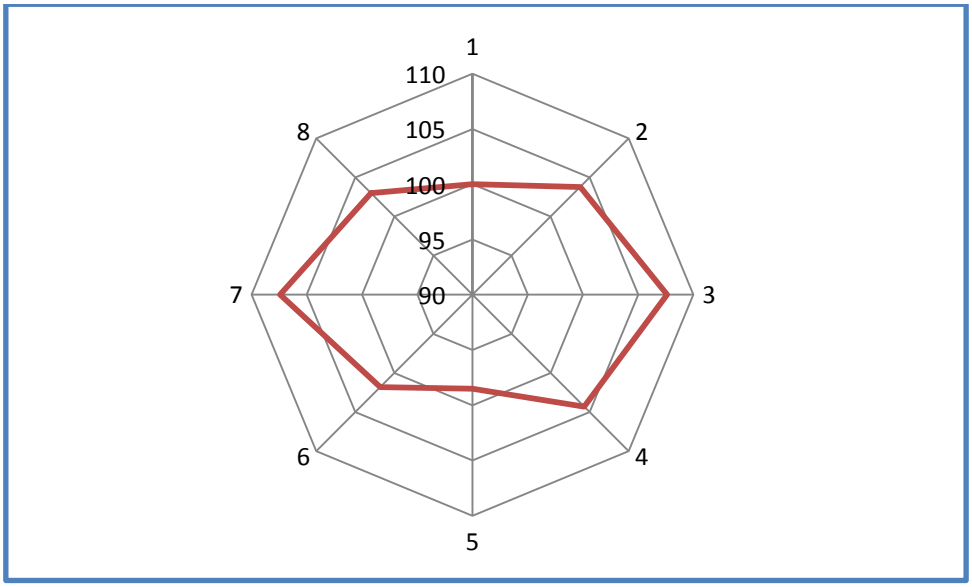


Grafikon 1: A - ponderirana srednja vrijednost razine buke rada jednog motora u režimu "IDLE"

U tablici 7. i grafikonu 2. prikazanu su podaci mjerenja vanjske buke A – ponderiranim mjerenjem za režim rada oba motora (*ENG 1* i *ENG 2*) u režimu rada „100%“. Mjerenja su prikazana u jedinici decibel (dBA). Iz podataka se da zaključiti kako je najviša srednja vrijednost razine buke u poziciji broj 3 i 7, a najmanja na pozicijama broj 1 i 5 što predstavlja glavnu vertikalnu i horizontalnu os helikoptera.

Tablica 7: A - ponderirana srednja vrijednost razine buke rada dva motora u režimu "100%"

Broj mjerne pozicije	Srednja vrijednost razine buke – L_{Aeq} (dB)
1	100,0
2	103,8
3	107,6
4	104,3
5	98,5
6	101,8
7	107,4
8	103,0



Grafikon 2: A – ponderirana srednja vrijednost razina buke rada oba motora u režimu "100%"

Tablica 8: A - ponderirana minimalna vrijednost vanjske buke rada jednog motora u režimu "IDLE"

Broj mjerne pozicije	Minimalna vrijednost razine buke – LAF_{min} (dB)
1	89,6
2	88,9
3	92,9
4	93,4
5	89,8
6	97,3
7	102,3
8	99,8

Tablica 9: A - ponderirana maksimalna vrijednost razine buke rada jednog motora u režimu "IDLE"

Broj mjerne pozicije	Maksimalna vrijednost razine buke – LAF_{max} (dB)
1	91,7
2	90,0
3	94,4
4	95,4
5	92,0
6	99,2
7	104,3
8	102,2

Tablica 10: A - ponderirana minimalna vrijednost razine buke rada dva motora u režimu "100%"

Broj mjerne pozicije	Minimalna vrijednost razine buke – LAF_{min} (dB)
1	99,1
2	102,5
3	106,7
4	102,2
5	97,6
6	100,9
7	105,3
8	102,1

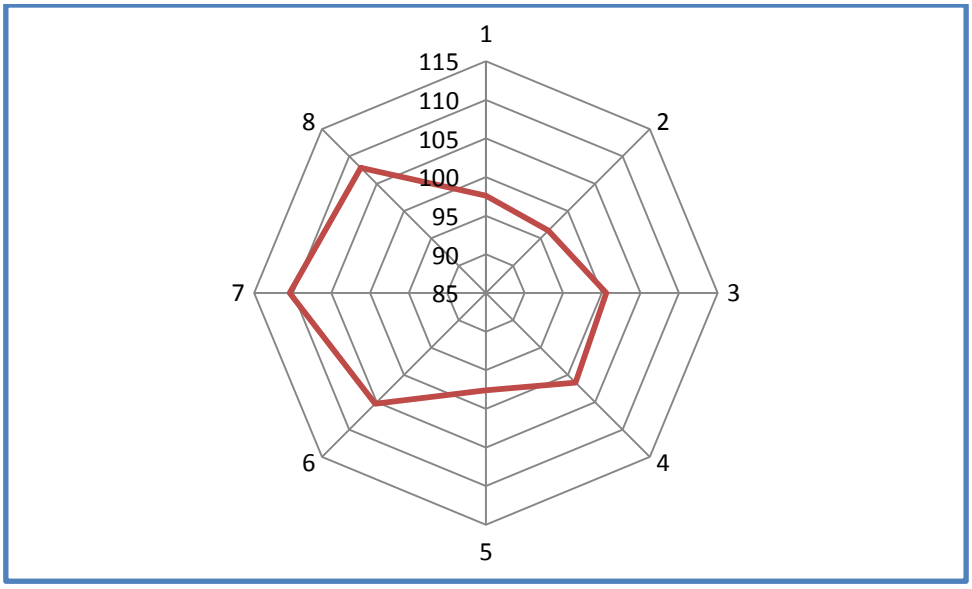
Tablica 11: A - ponderirana maksimalna vrijednost razine buke rada dva motora u režimu "100%"

Broj mjerne pozicije	Maksimalna vrijednost razine buke - LAF_{max} (dB)
1	100,9
2	105,0
3	108,6
4	106,4
5	100,2
6	103,7
7	109,8
8	104,2

Tablice 8. i 9. prikazuju rezultate mjerenja minimalne i maksimalne vrijednosti razine buke rada jednog motora u režimu „Idle“, dok su na tablicama 10. i 11. prikazani rezultati mjerenja minimalne i maksimalne vrijednosti razine buke rada oba motora (*ENG 1* i *ENG 2*) u režimu maksimalne snage, odnosno u režimu „100%“. Jednako kao i kod rezultata mjerenja srednje vrijednosti razine buke rada jednog motora u režimu „Idle“ i dva motora u režimu „100%“ može se zaključiti da je veća vrijednosti razine buke prisutne kod rada oba motora u režimu „100%“, što je bilo i očekivano s obzirom na duplu snagu motora i na snažniji režim rada.

Tablica 12: A - ponderirana razina izloženosti buci kod rada jednog motora u režimu "IDLE"

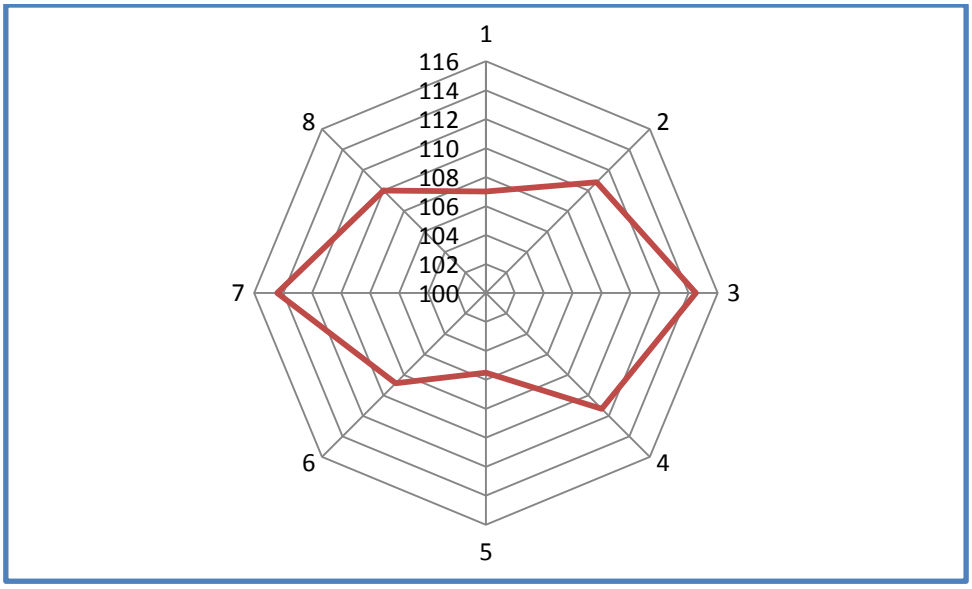
Broj mjerne pozicije	Razina izloženosti buci – LAE (dB)
1	97,6
2	96,4
3	100,6
4	101,4
5	97,6
6	105,3
7	110,4
8	107,9



Grafikon 3: A – ponderirana razina izloženosti buci kod rada jednog motora u režimu "IDLE"

Tablica 13: A - ponderirana razina izloženosti buci kod rada dva motora u režimu "100%"

Broj mjerne pozicije	Razina izloženosti buci – LAE (dB)
1	107,0
2	110,8
3	114,5
4	111,3
5	105,5
6	108,8
7	114,4
8	110,0



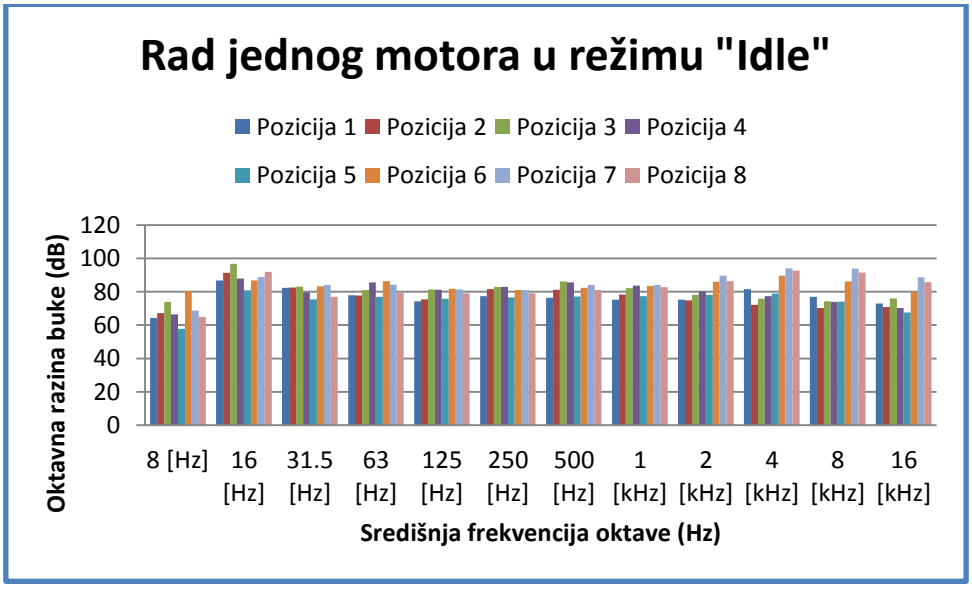
Grafikon 4: A - ponderirana razina izloženosti buci kod rada dva motora u režimu "100%"

Tablicama 12. i 13. te grafikonima 3. i 4. prikazani su rezultati mjerenja razine izloženosti zvuku, odnosno buci, koju mi kao slušatelji doživljavamo. Jednako kao i kod prethodnih razina zvučnog tlaka može se ustanoviti kako je veća razina izloženosti buci prisutnija kod rada oba motora u režimu rada na „100%“. Zanimljivo je za uočiti da razina izloženosti buke (LAE) daje veće vrijednosti prikazane u decibelima nego što su maksimalne vrijednosti razine buke (LAF_{max}) za isti režim rada sa jednakim brojem rada motora.

U tablicama 14. i 15. prikazani su rezultati mjerenja vanjske buke oktavno - pojasnim mjerenjem za svaku poziciju mjerenja u režimu rada jednog motora na „Idle“ i dva motora u režimu rada na „100%“ te u rasponu od 8 Hz do 16 kHz. Iste vrijednosti grafički su prikazane u grafikonima 5. i 6. Ovakvo mjerenje se provodi ako se očekuje da će razina buke biti iznad vrijednosti od 90 dB. Oktavno – pojasno mjerenje pokazuje jednaku pojavu razine buke u određenim režimima kao i kod prošlih vrijednosti mjerenja.

Tablica 14: Oktavno - pojasno mjerenje razine buke rada jednog motora u režimu "IDLE"

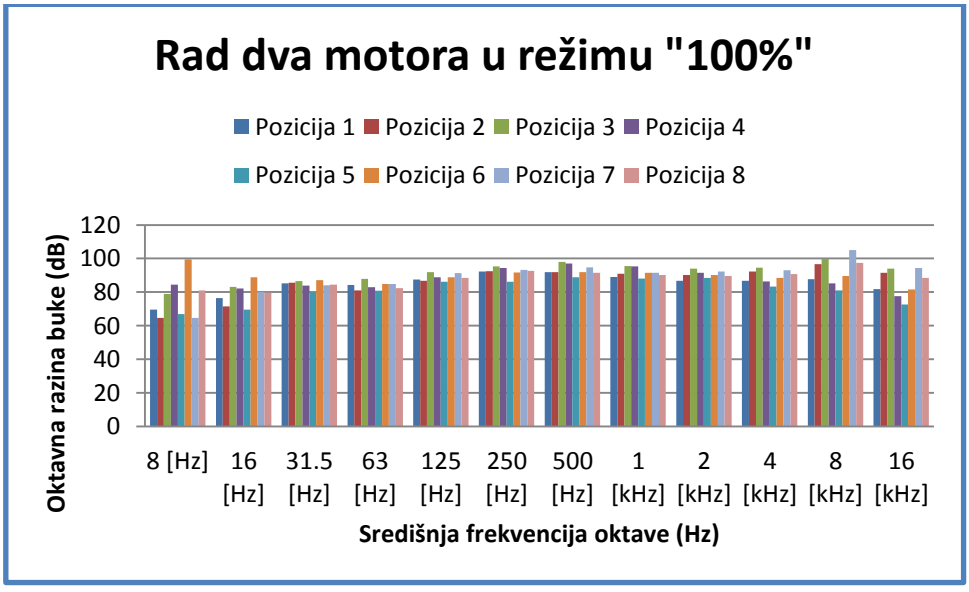
Oktavno – pojasno mjerenje razine buke – L_{feq} (dB) (srednja vrijednost)												
Pozicija mjerenja	Frekvencija											
	8 [Hz]	16 [Hz]	31.5 [Hz]	63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1 [kHz]	2 [kHz]	4 [kHz]	8 [kHz]	16 [kHz]
1	64,3	86,8	82,4	78,0	74,3	77,4	76,3	75,3	75,2	81,5	76,9	72,9
2	67,1	91,3	82,5	77,7	75,4	81,6	81,2	78,3	74,8	72,2	70,3	70,9
3	73,8	96,7	83,0	80,9	81,3	82,9	86,1	82,1	78,2	75,9	74,3	76
4	66,5	87,8	79,6	85,5	81,2	82,9	85,5	83,6	80,2	77,3	73,8	70,2
5	57,7	80,8	75,5	77,0	75,9	76,6	77,1	77,4	78,1	78,8	74,1	67,5
6	80,5	86,8	83,3	86,4	81,8	81,0	82,4	83,4	86,0	89,6	86,2	80,0
7	68,8	88,8	84,1	84,2	81,3	81,0	84,1	84,1	89,7	94,0	93,9	88,6
8	64,8	92,0	77,0	79,2	79,0	79,1	81,0	82,8	86,4	92,7	91,5	85,8



Grafikon 5: Oktavno - pojasno mjerenje razine buke rada jednog motora u režimu "IDLE"

Tablica 15: Oktavno - pojasno mjerenje razine buke rada dva motora u režimu "100%"

Oktavno – pojasno mjerenje razine buke – L_{feq} (dB) (srednja vrijednost)												
Pozicija mjerenja	Frekvencija											
	8 [Hz]	16 [Hz]	31.5 [Hz]	63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1 [kHz]	2 [kHz]	4 [kHz]	8 [kHz]	16 [kHz]
1	69,5	76,4	85,2	84,2	87,5	92,3	91,9	89,1	86,8	86,8	87,7	81,8
2	64,6	71,4	85,6	81,1	86,8	92,4	91,9	91,0	90,2	92,3	96,6	91,5
3	79,0	83,2	86,5	87,8	91,9	95,4	98,0	95,6	94,0	94,5	99,7	94,0
4	84,5	82,2	83,8	82,9	88,8	94,4	97,0	95,3	91,5	86,3	85,2	77,5
5	66,9	69,5	79,9	80,9	86,2	86,1	88,9	88,0	88,5	83,3	81,0	72,7
6	99,5	88,9	87,1	84,9	88,8	91,7	91,8	91,5	90,2	88,5	89,6	81,6
7	64,6	80,1	84,0	84,8	91,4	93,3	94,8	91,5	92,2	93,1	105,0	94,4
8	81,1	79,6	84,4	82,4	88,5	92,6	91,6	90,1	89,6	90,7	97,4	88,5



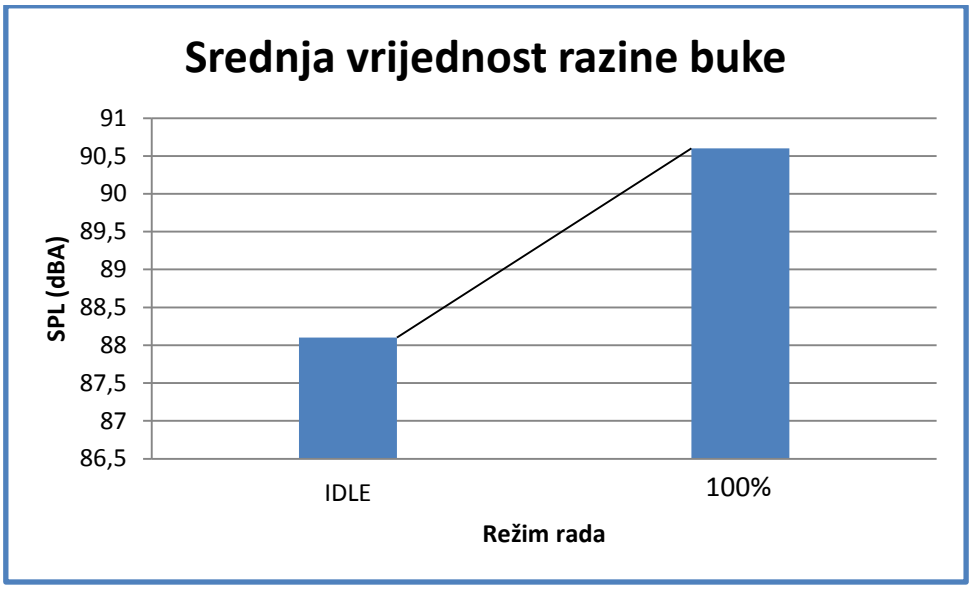
Grafikon 6: Oktavno - pojasno mjerenje razine buke rada dva motora u režimu "100%"

7.3. Mjerenje i rezultati unutarnje (kabinske) buke

Mjerenje unutarnje (kabinske) buke na helikopteru AW139 je obavljeno unutar helikoptera na stajanci ispred hangara MUP-a. Mjerenje je obavljeno zvukomjerom ručno postavljenim u visini glave između pilota i kopilota u kokpitu. Mjerenjem su prikupljeni podaci u dva režima, a to su režim rada dva motora *(ENG 1 i ENG 2)* na *„Idle“* te režim rada dva motora *(ENG 1 i ENG 2)* na *„100%“*. Rezultati su prikazani u tablicama i grafikonima.

Tablica 16: A - ponderirana srednja vrijednost razine buke

Režim rada dva motora	Srednja vrijednost razine buke – L_{Aeq} (dB)
IDLE	88,1
100%	90,6



Grafikon 7: A - ponderirana srednja vrijednost razine buke

Tablica 16. i grafikon 7. prikazuju rezultate mjerenja buke A – ponderiranim mjerenjem za režim rada oba motora na „Idle“ i na „100%“ čime je prikazana srednja vrijednost razine buke u decibelima (dB). Prema tablici i grafikonu može se zaključiti da je srednja vrijednost razine buke veća kod režima rada dva motora na „100%“ nego kod njihovog rada na „Idle“, što je i logično.

U tablicama 17. i 18. prikazani su rezultati mjerenja buke A – ponderiranim mjerenjem za režim rada dva motora na „Idle“ i na „100%“. U tablicama je prikazana minimalna i maksimalna vrijednost razine buke (LAF_{min} i LAF_{max}).

Tablica 17: A - ponderirana minimalna vrijednost razine buke rada dva motor

Režim rada dva motora	Minimalna vrijednost razine buke – LAF_{min} (dB)
IDLE	87,4
100%	89,9

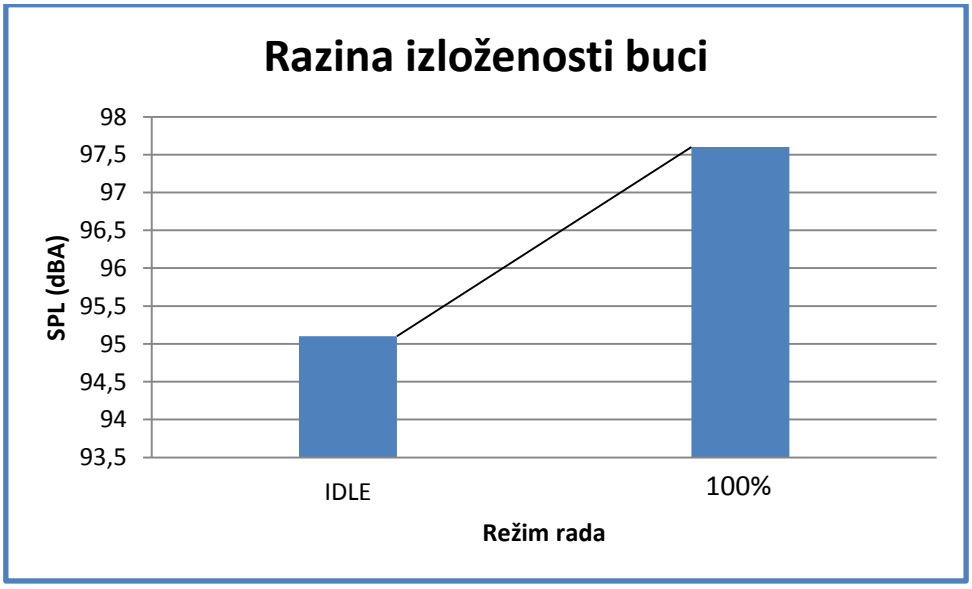
Tablica 18: A - ponderirana maksimalna vrijednost razine buke rada dva motora

Režim rada dva motora	Maksimalna vrijednost razine buke – LAF_{max} (dB)
IDLE	89,3
100%	91,4

Razina izloženosti buci je prikazana u tablici 19. i grafikonu 8. Može se primijetiti kao što je i očekivano da je veća razina izloženosti buci kod rada oba motora pri režimu njihova rada na „100%“ nego na „Idle“.

Tablica 19: A - ponderirana razina izloženosti buci rada dva motora

Režim rada dva motora	Razina izloženosti buci – LAE (dB)
IDLE	95,1
100%	97,6

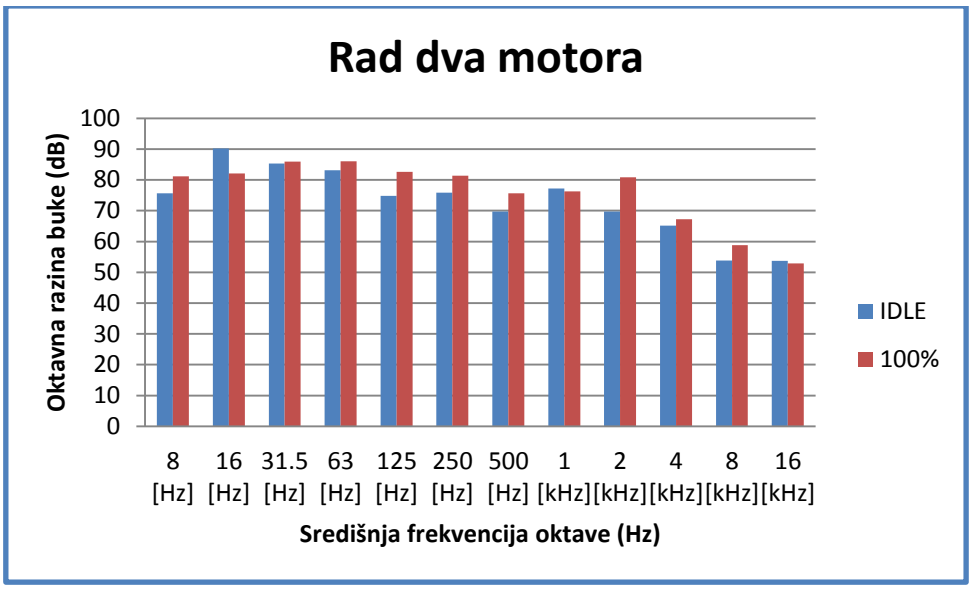


Grafikon 8: A - ponderirana razina izloženosti buci rada dva motora

Rezultati mjerenja unutarnje (kabinske) buke oktavno – pojasnim mjerenjem za režime rada dva motora na „Idle“ i „100%“ u rasponu od 8 Hz – 16 kHz prikazani su u tablici 20. i grafikonu 9.

Tablica 20: Oktavno - pojasno mjerenje razine buke rada dva motora

Oktavno – pojasno mjerenje razine buke – L_{feq} (dB) (srednja vrijednost)												
Režim rada	**Frekvencija**											
	8 [Hz]	**16 [Hz]**	**31.5 [Hz]**	**63 [Hz]**	**125 [Hz]**	**250 [Hz]**	**500 [Hz]**	**1 [kHz]**	**2 [kHz]**	**4 [kHz]**	**8 [kHz]**	**16 [kHz]**
IDLE	75,6	90,2	85,3	83,1	74,8	75,9	69,7	77,2	69,7	65,1	53,8	53,7
100%	81,1	82,1	85,9	86,0	82,6	81,4	75,6	76,3	80,8	67,2	58,8	52,9



Grafikon 9: Oktavno - pojasno mjerenje razine buke rada dva motora

8. Analiza dobivenih rezultata

Prema dobivenim rezultatima od mjerenja vanjske i unutarnje buke na helikopteru AW139 može se analizirati točan utjecaj buke na posadu i ostale slušače. Veća razina zvučnog tlaka, odnosno buke, je kao što je i očekivano dolazila od rada oba motora u režimu „100%“, nego jednog motora u režimu „Idle“.

8.1. Vanjska buka

Zanimljivo je za uočiti da su kod mjerenja srednje vrijednosti razine buke kod režima rada motora broj jedan na „Idle“ najveća očitanja zvučnog tlaka u decibelima prisutni na pozicijama 6, 7 i 8, odnosno s lijeve strane helikoptera, a to je suprotna strana od strane na kojoj je smješten repni rotor. Suprotno tome, kod mjerenja srednje vrijednosti razine buke pri radu oba motora u režimu „100%“ najveća očitanja zvučnog tlaka su prisutni na horizontali helikoptera, odnosno u mjernim pozicijama broj 3 i 7, dok su najmanja očitanja na vertikalnoj osi helikoptera u pozicijama broj 1 i 5. Kod mjerenja minimalne i maksimalne vrijednosti razine buke u oba režima rada motora primjećuje se potpuno isti uzorak kao i kod mjerenja srednje vrijednosti razine buke, a to je veća razina buke na lijevoj strani helikoptera u režimu jednog motora na „Idle“ te horizontalna os kao maksimalne, a vertikalna kao minimalne vrijednosti razine zvučnog tlaka.

Rezultati mjerenja razine izloženosti zvuku, odnosno buci, koju slušatelji doživljavaju, su pokazali kako je razina buke kojoj su ljudi na zemlji izloženi puno veća nego što je to srednja, minimalna ili maksimalna razina buke. Kod ražima rada jednog motora na „Idle“ buka se penje na preko 110 dB, dok se kod rada oba motora na „100%“ buka očitava na čak 114 dB u pozicijama 3 i 7.

Oktavno – pojasno mjerenje je prikazano u rasponu od 8 Hz pa do 16 kHz. Zaključak dobivenih rezultata bi bio da su prilikom mjerenja srednje vrijednosti razine buke kod rada jednog motora u režimu „Idle“ najveće razine buke od mjerne pozicije 1 do 5 očitane na

frekvenciji od 16 Hz, a pozicije 6, 7 i 8 su davale najveća očitanja pri frekvenciji 4 kHz. Rad oba motora u režimu „100%“ je pak dao drugačije rezultate, te su tako najveće vrijednosti očitane u poziciji 1 na 250 Hz, pozicije 2, 3, 7 i 8 na 8 kHz, pozicije 4 i 5 na 500 Hz, a pozicija 6 na 8 Hz.

8.2. Unutarnja (kabinska) buka

Rezultati mjerenja unutarnje (kabinske) buke su gotovo jednaki rezultatima vanjske buke, odnosno kao što je i bilo očekivano, veća razina zvučnog tlaka je prisutna kod rada oba motora u režimu „100%“, nego kod rada oba motora u režimu „Idle“.

Srednja vrijednost razine buke za režim „Idle“ iznosi 88,1 dB, dok za režim „100%“ iznosi 90,6 dB, što predstavlja razliku od 2,5 dB. Minimalna i maksimalna vrijednost razine buke (LAF_{min} i LAF_{max}) također ima razliku od otprilike 2 – 2,5 dB između dva različita režima rada motora. Isto je i sa razinom izloženosti buci.

Rezultati oktavno – pojasnog mjerenja razine buke rada dva motora daju manje razine buke kod viših frekvencija, dok su veće razine buke prisutne kod nižih frekvencija. Konkretno, rad dva motora u režimu „Idle“ najveću razinu buke daje pri frekvenciji od 16 Hz (90,2 dB), dok kod režima „100%“ najveća razina buke je na frekvenciji od 63 Hz (86,0 dB).

9. Zaključak

Helikopteri tijekom leta proizvode buku koju uzrokuje rad motora, protok zraka pri različitim brzinama vrtnje glavnog rotora, repni rotor, te njihova međusobna interakcija. Međutim, najveća buka se generira interakcijom vrtložnog strujanja zraka i lopatica glavnog rotora u određenim fazama leta i pod određenim uvjetima. Potrebno je razumjeti kada i zašto dolazi do pojave takve buke da bi se moglo utjecati na njeno smanjenje. Puno istraživanja i testiranja je provedeno u svijetu kako bi se došlo do tih zaključaka. Razvijaju se numeričke metode za simulaciju i prognoziranje buke, što bi u velikoj mjeri pomoglo pri projektiranju rotora helikoptera. Za što bolje shvaćanje problematike buke potrebna je suradnja između zračnih luka, operatera helikoptera, projektanata motora i helikoptera, te lokalne zajednice. Što se tiče utjecaja buke na ljude i okoliš, potrebno je provesti još mnogo intenzivnih istraživanja kako bi se utvrdile konkretne uzročno-posljedične veze između buke helikoptera i njezinog utjecaja na posadu i ostale slušatelje.

Helikopter AgustaWestland AW139 u okviru MUP-a je namijenjen ponajprije za nadzor granica Republike Hrvatske, te sa tom zadaćom kao primarnom helikopter mora imati što manji zvučni otisak tijekom samih operacija radi što manje uočljivosti koja rezultira na koncu i uspjehom same misije. Rezultati mjerenja buke na AW139 potvrđuju da kompanija AgustaWestland vodi računa i o količini buke svojih helikoptera i njenog utjecaja, te se s pravom može reći da se radi o jednom od najmodernijih helikoptera današnjice. Rezultati mjerenja se nalaze unutar propisanih granica koje su postavili Europska agencija za sigurnost zračnog prometa (*European Aviation Safety Agency* – EASA) i ICAO, a nisu niti daleko od budućih još rigoroznijih propisa koji su planirani u narednim desetljećima. Glavne tehnološke mjere koje koristi AW139 za smanjenje buke su glavni rotor od 5 lopatica paraboličnog oblika, repni rotor od 4 lopatice paraboličnog oblika, kontrolirana brzina vrtnje rotora te uvlačeći stajni trap.

Vrijednosti mjerenja vanjske buke na AW139 su veće pri radu oba motora na maksimalnoj snazi, odnosno na 100%, nego u režimu „Idle“ što je i bilo očekivano prije samog mjerenja. Zanimljivo je ustvrditi da je veća razina buke u režimu „Idle“ prisutna na lijevoj strani helikoptera što je vjerojatno utjecaj repnog rotora smještenog sa desne strane helikoptera. Kod režima rada oba motora na maksimalnoj snazi najveća razina buke se

pojavljuje na horizontalnoj osi helikoptera (90° - 270°), dok najmanja na suprotnoj vertikalnoj osi (0° - 180°).

Mjerenje unutarnje (kabinske) buke na AW139 A – ponderiranim mjerenjem pri radu oba motora u režimima rada „Idle“ i „100%“ prikazuje veću razinu buke kod veće snage motora što je bilo i očekivano prije samog mjerenja. Zanimljivo je za primijetiti da je razlika u razinama buke između ta dva načina rada motora približno jednaka kod različitih mjerenja, te ona iznosi 2,5 dB. Iz dobivenih rezultata mjerenja buke oktavno – pojasnim mjerenjem može se zaključiti kako se razina buke smanjuje prema višim frekvencijama, što se može pripisati prigušivanju buke konstrukcijom helikoptera. Na temelju tih podataka se može zaključiti kako posada helikoptera AW139 nije pod utjecajem prevelike razine buke koje bi dovodile do opasnosti za samu posadu tijekom dugotrajnih misija. Naravno, to se sve podrazumijeva uz korištenje pripadajućih mjera osobne zaštite od buke kao što su kaciga, slušalice i čepići za uši.

Nažalost ovaj rad je obuhvatio samo djelić od mogućih mjerenja buke na helikopteru AW139 zbog nemogućnosti izvođenja mjerenja u letu, te je stoga kompletna analiza vanjske i unutarnje buke izostala. Kako bi se upotpunila zvučna slika AW139 helikoptera potrebna su detaljnija mjerenja koja bi uključivala mjerenje vanjske buke posebno na stajanci i posebno na travi u položaju lebdenja. Dodatna mjerenja unutarnje (kabinske) buke bi uključivala mjerenja tijekom samog leta u različitim režimima leta i rada motora kao što su penjanje, horizontalni let, spuštanje, minimalna i maksimalna brzina, itd. Zanimljiva bi bila i usporedba razine buke između helikoptera AW139 i EC-135 P2+ što je također novi helikopter u postrojbi MUP-a.

Literatura

[1] Hrvatska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Preuzeto sa: http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=67594 [Pristupljeno: lipanj 2019.]

[2] Bucak T., Ivošević J., *Zrakoplovne emisije – buka zrakoplova*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2016., Autorizirana predavanja

[3] Hrvatska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Preuzeto sa: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=69160 [Pristupljeno: lipanj 2019.]

[4] Hrvatska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Preuzeto sa: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=43419 [Pristupljeno: lipanj 2019.]

[5] Element - d.o.o. za nakladništvo. Preuzeto sa: https://element.hr/artikli/file/1605 [Pristupljeno: lipanj 2019.]

[6] Hrvatska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Preuzeto sa: http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=58219 [Pristupljeno lipanj 2019.]

[7] Hrvatska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Preuzeto sa: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=59999 [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[8] Jelaković T. *Zvuk, sluh, arhitektonska akustika*. Zagreb: Školska knjiga; 1978.

[9] Golubić J. *Promet i okoliš*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 1999.

[10] Veleučilište u Rijeci – Prometni odjel. Preuzeto sa: https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_promet_1/Promet_i_ekologija_predavanje_0008.pdf [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[11] Novak D., Bucak T., Miljković D. *Comparative helicopter noise analysis in static and in-flight conditions.* Zagreb: University of Zagreb; 2008.

[12] Leverton W. J. *Helicopter Noise: What is the Problem?.* The Vertical Flight Society, VERTIFLITE. 2014; 60(2): 12-15.

[13] Air Recognition Online magazine for Aviation and Aerospace. Preuzeto sa: https://airrecognition.com/index.php/world-air-force-military-equipment-aircraft/west-europe-air-force-military-aircraft-planes-equipment/italy-italian-air-force-aircrafts-planes-air-aviation-defence-industry-military-technology/italy-italian-air-force-helicopter-technical-data-sheet-intelligence-information-description-identification-specifications-pictures-photos-video-/646-agusta-aw139-medium-sized-twin-engined-helicopter-technical-data-sheet-specifications-intelligence-description-information-identification-pictures-photos-images-video-italy-italian-air-force-aviation-aerospace-defence-industry-technology.html [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[14] Tango Six, Vazduhoplovni portal Srbije. Preuzeto sa: https://tangosix.rs/2016/28/06/hrvatski-mup-primio-na-upotrebu-jos-jedan-helikopter-aw139/ [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[15] ICAO *Helicopter Noise Reduction Technology.* Status Report, 21 April, 2015.

[16] Hampson M. *OEM Perspectives on Noise.* The Vertical Flight Society, VERTIFLITE. 2014; 60(1): 18-23.

[17] *Katalog laboratorijske opreme.* Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2016.

[18] Nor140 Sound Analyser Instruction Manual. Norsonic AS; 2008.

Popis oznaka i kratica

3D - Three dimenional (hrv. treća dimenzija)

α - Absorption coefficient (hrv. koeficijent apsorpcije)

λ - Wavelenght (hrv. valna duljina)

$ - Dollar (hrv. Dolar)

B - Bel (hrv. bel)

BVI - Blade Vortex Interaction noise (hrv. buka prouzročena međudjelovanjem vrtloga zrak nastalog lopaticama rotora

CAEP - Committee on Aviation Environmental Protection (hrv. povjerenstvo za zaštitu okoliša u zrakpolovstvu)

CD - Compact Disc (hrv. kompaktni disk)

CSAR - Combat Search and Rescue (hrv. borbeno traganje i spašavanje)

d - Source distance from the surface (hrv. udaljenost izvora od površine)

dB - Decibel (hrv. decibel)

DC - Direct Current (hrv. istosmjerna struja)

E - Elastic modul (hrv. modul elastičnosti)

EASA - European Aviation Safety Agency (hrv. europska agencija za sigurnost zračnog prometa)

ENG - Engine (hrv. motor)

EPNdB - Effective perceived noise in decibels (hrv. decibel efektivno čujna buka)

EU - European Union (hrv. Europska unija)

f - Frequency (hrv. frekvencija)

ft - Feet (hrv. stopa)

ft^2 - Square feet (hrv. kvadratna stopa)

ft^3 - Cubic feet (hrv. kubična stopa)

ft/min - Feet per minute (hrv. stopa po minuti)

FAA - Federal Aviation Authority (hrv. Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo)

FAR - Federal Aviation Regulation (hrv. federalna zrakoplovna regulativa)

FADEC - Full Authority Digital Engine Control (hrv. digitalna kontrola motora)

FLIR - Forward-looking infrared (hrv.infracrveni sustav ranog otkrivanja)

GHz - Gigahertz (hrv. gigaherc)

h - Hour (hrv.sat)

HSI - High Speed Impulsive noise (hrv. impulsivna buka velike brzine)

HUMS - Health and Usage Monitoring System (hrv. sustav praćenja zdravlja i korištenja)

Hz - Hertz (hrv. herc)

I - Sound intensity (hrv. jakost zvuka)

I_0 - Reference sound intensity (hrv. prag čujnosti)

in - Inch (hrv. inč)

ICAO - International Civil Aviation Organization (hrv. Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo)

IGE - In-Ground Effect (hrv. efekt zemlje)

JAA - Joint Aviation Authority (hrv. Zajedničke zrakoplovne vlasti)

kg - Kilogram (hrv. kilogram)

kHz - Kilohertz (hrv. kiloherc)

km - Kilometer (hrv. kilometar)

km/h - Kilometer per hour (hrv. kilometar na sat)

kt - Knots (hrv. čvorovi)

kW - KiloWatt (hrv. kilovat)

L - Level of sound power (hrv. razina jakosti zvuka)

LAE - A-weighted exposure level sound (hrv. A-ponderirana razina izloženosti zvuku)

LAF_{max} - A-weighted maximum noise level value (hrv. A-ponderirana maksimalna vrijednost razine buke)

LAF_{min} - A-weighted minimum noise level value (hrv. A-ponderirana minimalna vrijednost razine buke)

L_{feq} - Octave-band noise level (hrv. oktavno-pojasna razina buke)

L_{Aeq} - A-weighted average noise level (hrv. A-ponderirana srednja vrijednost razine buke)

Lmax - Maximum sound pressure level (hrv. maksimalna razina zvučnog tlaka)

Lmin - Minimum sound pressure level (hrv. minimalna razina zvučnog tlaka)

Leq - Integrated average SPL (hrv. integrirani prosječni SPL)

Le - Sound exposure level (hrv. razina ekspozicije zvuka)

Lpeak - Maximum noise level (hrv. maksimalna najviša razina buke)

lb - Pound (hrv. funta)

LUH - Light Utility Helicopter (hrv. laki korisni helikopter)

m - Meter (hrv. metar)

m^2 - Square meter (hrv. metar kvadratni)

m^3 - Cubic meter (hrv. metar kubni)

m/s - Meter per second (hrv. metar po sekundi)

mbar - Milibar (hrv. milibar)

min - Minute (hrv. minuta)

MTOW - Maximum Take-Off Weight (hrv. najveća masa uzlijetanja)

MUP - Ministarstvo Unutarnjih Poslova

NEP - Noise Equivalent Power (hrv. ekvivalentna snaga buke)

NM - Nautical Mile (hrv. nautička milja)

NOTAR - No Tail Rotor (hrv. helikopter bez repnog rotora)

Np - Neper (hrv. neper)

NVG - Night Vision Goggles (hrv. naočale za noćno gledanje)

OEI - One Engine Inoperable (hrv. kvar jednog motora)

p - Pressure (hrv. tlak)

P - Power (hrv. snaga)

Pa - Pascal (hrv. paskal)

r - Curvature of concave surface (hrv. radijus zakrivljenosti konkavne površine)

ROC - Rate of Climb (hrv. brzina penjanja)

SAD - Sjedinjenje Američke Države

SAR - Search and Rescue (hrv. traganje i spašavanje)

SHP - Shaft Horse Power (hrv. jedinica konjske snage)

SI - Système International d'Unités (hrv. međunarodni sustav mjernih jedinica)

SPL - Sound Pressure Level (hrv. trenutna razina zvučnog tlaka)

TR - Tail Rotor noise (hrv. buka repnog rotora)

TRI - Tail Rotor Interaction noise (hrv. buka nastala međudjelovanjem repnog rotora sa vrtlogom zraka glavnog rotora)

USB - Universal Serial Bus (hrv. univerzalna serijska sabirnica)

USgal - United States gallon (hrv. galon)

VIP - Very Important Person (hrv. vrlo važna osoba)

Popis slika

Slika 1: Rasprostiranje zvučnog vala 8

Slika 2: Difrakcija zvučnog vala 10

Slika 4: Građa uha 15

Slika 5: Jačina (intenzitet) buke 16

Slika 6: Glavni izvori buke na zrakoplovu 20

Slika 7: Izvori i vrste buke na helikopteru 21

Slika 8: Kokpit AW139 24

Slika 9: Vanjske dimenzije AW139 26

Slika 10: AW139 MUP-a RH reg. 9A-HRP 28

Slika 11: Parabolični vrh lopatice glavnog rotora na AW139 33

Slika 12: Kaciga letačke posade AW139 35

Slika 13: Slušalice letačke posade AW139 35

Slika 14: Zvukomjer Norsonic Nor140 37

Slika 15: Mjerne pozicije za mjerenje vanjske buke 38

Popis tablica

Tabela 1: Neki od izvora zvuka 5

Tablica 2: Ključni parametri dizajna helikoptera koji određuju razinu buke helikoptera 30

Tablica 3: Intenzitet buke (EPNdB) za AW139 pri različitim MTOW prema ICAO članku 8 (8.4.1.) 34

Tablica 4: Intenzitet buke (EPNdB) za AW139 pri 6800 kg MTOW prema ICAO članku 8 (8.4.2.) 34

Tablica 5: Podaci o mjerenju 36

Tablica 6: A - ponderirana srednja vrijednost razine buke rada jednog motora u režimu *"IDLE"* 39

Tablica 7: A - ponderirana srednja vrijednost razine buke rada dva motora u režimu "100%" 40

Tablica 8: A - ponderirana minimalna vrijednost vanjske buke rada jednog motora u režimu "IDLE" . 41

Tablica 9: A - ponderirana maksimalna vrijednost razine buke rada jednog motora u režimu "IDLE" . 41

Tablica 10: A - ponderirana minimalna vrijednost razine buke rada dva motora u režimu "100%"..... 41

Tablica 11: A - ponderirana maksimalna vrijednost razine buke rada dva motora u režimu "100%" .. 42

Tablica 12: A - ponderirana razina izloženosti buci kod rada jednog motora u režimu "IDLE"..... 42

Tablica 13: A - ponderirana razina izloženosti buci kod rada dva motora u režimu "100%" 43

Tablica 14: Oktavno - pojasno mjerenje razine buke rada jednog motora u režimu "IDLE"..... 45

Tablica 15: Oktavno - pojasno mjerenje razine buke rada dva motora u režimu "100%" 46

Tablica 16: A - ponderirana srednja vrijednost razine buke..... 47

Tablica 17: A - ponderirana minimalna vrijednost razine buke rada dva motor..... 48

Tablica 18: A - ponderirana maksimalna vrijednost razine buke rada dva motora 48

Tablica 19: A - ponderirana razina izloženosti buci rada dva motora 49

Tablica 20: Oktavno - pojasno mjerenje razine buke rada dva motora 50

Popis grafikona

Grafikon 1: A - ponderirana srednja vrijednost razine buke rada jednog motora u režimu "IDLE"..... 39

Grafikon 2: A – ponderirana srednja vrijednost razina buke rada oba motora u režimu "100%" 40

Grafikon 3: A – ponderirana razina izloženosti buci kod rada jednog motora u režimu "IDLE" 43

Grafikon 4: A - ponderirana razina izloženosti buci kod rada dva motora u režimu "100%"..... 44

Grafikon 5: Oktavno - pojasno mjerenje razine buke rada jednog motora u režimu "IDLE" 45

Grafikon 6: Oktavno - pojasno mjerenje razine buke rada dva motora u režimu "100%"..... 46

Grafikon 7: A - ponderirana srednja vrijednost razine buke 47

Grafikon 8: A - ponderirana razina izloženosti buci rada dva motora..... 49

Grafikon 9: Oktavno - pojasno mjerenje razine buke rada dva motora..... 50

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 AW139**

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

Student/ica:



U Zagrebu, 27.08.2019.

(potpis)