

Analiza unutarnje (kabinske) buke zrakoplova CL-415

Živaljić, Denis

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:339764>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-15**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Denis Živaljić

ANALIZA UNUTARNJE (KABINSKE) BUKE
ZRAKOPLOVA CL - 415

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**Analiza unutarnje (kabinske) buke
zrakoplova CL - 415**

Mentor: Prof. dr. sc. Tino Bucak

Student: Denis Živaljić, 0135190491

Zagreb, Rujan, 2015

ANALIZA UNUTARNJE (KABINSKE) BUKE ZRAKOPLOVA CL - 415

SAŽETAK

Jedan od glavnih negativnih elemenata u čovjekovu okolišu, pa tako i u pilotskoj kabini, jest buka. Utjecaj je buke na pilote jako bitan jer dugotrajna izloženost zvuku od 80 dBA i više s vremenom može dovesti do oštećenja sluha, a može dovesti i do narušavanja kvalitete komunikacije između posade zrakoplova. U ovom diplomskom radu izložit će se rezultati i analiza mjerenja unutarnje buke za zrakoplov CL - 415 te će se prikazati koliko buka utječe na samu komunikaciju između članova posade. Također će biti predložene mjere redukcije i zaštite od buke u pilotskoj kabini.

KLJUČNE RIJEČI: buka; CL - 415; zvuk; sluh; zrakoplov; izvor; analiza

SUMMARY:

Noise is one of the main negative elements in the human environment, including the flight cabin. The influence of noise on pilots is very important because prolonged exposure to sound of 80 dBA or more can damage hearing over time and can lead to deterioration of the communication quality between the crew. This work will show the results and analysis of aircraft CL – 415 interior noise, and will present how noise influences communication between crew members. It will be also proposed the measures of reduction and noise protection within the cockpit.

KEYWORDS: noise; CL - 415; sound; hearing; aircraft; source; analysis

SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
1.1	Problem istraživanja.....	1
1.2	Svrha i cilj rada.....	1
1.3	Dosadašnja istraživanja i očekivani rezultati	2
1.4	Struktura rada	2
2.	OSNOVE AKUSTIKE, BUKE I VIBRACIJA	4
2.1	Osnove fizikalne akustike	4
2.1.1	Zvuk	4
2.1.2	Karakteristične veličine zvuka	4
2.1.3	Vrste zvuka.....	6
2.2.	Buka i Vibracije.....	7
3.	UTJECAJ BUKE NA LJUDE	8
3.1	Uvod	8
3.2	Organ sluha.....	8
3.3	Oštećenje sluha bukom	10
3.4	Posljedica buke na ljude.....	13
4.	ZRAKOPLOV KAO IZVOR BUKE.....	15
4.1	Uvod.....	15
4.2	Buka pogonske skupine.....	15
4.2.1	Turbo-mlazni pogon	15
4.2.2	Turbo-ventilatorski pogon	16
4.2.3	Propelerski pogon.....	17
4.3	Buka izazvana aerodinamikom zrakoplova	18
5.	IZVORI BUKE NA ZRAKOPLOVU CL-415	20
5.1	Osnovne karakteristike zrakoplova CL-415.....	20
5.2	Izvori buke na zrakoplovu CL-415.....	21
5.3	Buka pogonske skupine zrakoplova CL-415	22
5.4	Buka uzrokovana strukturom zrakoplova CL-415	24
6.	Analiza rezultata mjerenja kabinske buke zrakoplova CL-415	26
6.1	Izvođenje mjerenja i mjerni instrument.....	26
6.2	Rezultati mjerenja	28
6.3	Izračun SIL i SII indeksa	39
6.3.1	SIL indeks	39
6.3.2	SII indeks	42
7.	MJERE ZAŠTITE I REDUKCIJE BUKE.....	45
8.	ZAKLJUČAK	48

Literatura	56
Popis slika i tablica.....	57

1. UVOD

1.1. Problem istraživanja

Danas, kad se velika pažnja posvećuje zaštiti ljudskog zdravlja, jedan od glavnih negativnih elemenata u čovjekovu okolišu, pa tako i u pilotskoj kabini, jest buka. Kabinska je buka jedan od bitnih faktora koji utječu ne samo na putnike već i na članove posade i pilote.

Utjecaj je buke na pilote jako bitan jer dugotrajna izloženost zvuku od 80 dBA i više s vremenom može dovesti do oštećenja sluha, a može dovesti i do ne razumijevanja u komunikacije između posade zrakoplova. Buka koju stvaraju veći i snažniji zrakoplovi mnogo je veća od buke malih zrakoplova te ima puno širi frekvencijski spektar i traje duže. Za razliku od vanjske buke koja je točno definirana i standardizirana međunarodnim propisima, unutarnja kabinska buka još nije posebno standardizirana.

U ovom diplomskom radu orijentirat ćemo se na kabinsku buku zrakoplova CL-415. Piloti ovog zrakoplova su svakodnevno izloženi čestim promjenama zvuka unutar kabine zbog čestih promjena režima leta. To je posebno izraženo tijekom protupožarne sezone kada letovi iste posade mogu trajati i po nekoliko sati. Zbog samog načina letenja tim zrakoplovom, u požarom zahvaćenim područjima, niskim visinama leta, raznoraznim meto neprilikama (turbulencije, jak vjetar, udar valova, gusti dim) te i u nekim slučajevima i letenja u formaciji s više zrakoplova, bitno je da je razina buke što manja kako ne bi utjecala na zdravlje pilota te na samu komunikaciju posade.

Za potrebe diplomskog rada organiziran je let na zrakoplovu CL-415 koji je baziran u zračnoj luci Zadar te je zvukomjerom izmjerena buka za određene režime leta koja će se prikazati u poglavlju *Analiza i mjerenja*. Na temelju mjerenja i istraživanja prikazat će se rezultati te njihovom analizom odrediti u kojima je granicama buka i je li ona prihvatljiva.

1.2. Svrha i cilj istraživanja

Cilj je ovog istraživanja prikupiti sve potrebne podatke, odraditi određena mjerenja za pojedine režime leta te doći do rezultata koji će pokazati je li unutarnja buka štetna za posadu te koliko ona utječe na razumljivost u komunikaciji. Samo mjerenje buke izvršit će se već spomenutim zvukomjerom te će se koristiti širokopojasna, A-ponderirana i oktavno-pojasna metoda mjerenja. Na temelju dobivenih rezultata procijenit će razumljivost govora i intezitet buke u kabini.

Cilj je istraživanja, ukoliko dođemo do određenih rezultata koji su van granica dopuštenih, upozoriti određene strukture na problem te pokušati predložiti mjere za smanjenje buke i predložiti dodatna ispitivanja i mjerenja.

1.3. Dosadašnja istraživanja i očekivani rezultati

Dosadašnja istraživanja na temu mjerenja buke, bilo vanjske ili unutarnje, provedena su na raznim tipovima letjelica. Mjerenja i istraživanja buke na civilnim zrakoplovima provedena su od strane fakulteta prometnih znanosti [1], [2], [3] dok su istraživanja vojnih zrakoplova odrađena većinom od pilota Hrvatskog ratnog zrakoplovstva [11], [12].

Za zrakoplov tipa CL-415 dosada nisu izvršena nikakva istraživanja na temu mjerenja buke bilo vanjske ili unutarnje. Ovim radom upotpuniti će se baza mjerenja buke zrakoplova s još jednim tipom letjelice što bi nam poslije moglo pomoći u standardiziranju same unutarnje buke zrakoplova te mogućnosti usporedbe sa ostalim letjelicama.

1.4. Struktura rada

Rad se sastoji od 8 sadržajnih cjelina tj. poglavlja. U prvom poglavlju odnosno *uvodnom poglavlju* postavljena je definicija rada i predmet istraživanja, ciljevi i svrha istraživanja te struktura rada.

Drugo poglavlje pod nazivom *Osnove akustike, buke i vibracija* donosi osnovne pojmove te mjerne veličine koje su vezane za akustiku i buku. Također će biti dan pregled pojmova koji su bitni za praćenje zvuka i definicije pojedinih zvučnih vrijednosti

Treće poglavlje pod nazivom *Utjecaj buke na ljude*, donosi opisivanje osjetila organa sluha, oštećenje sluha bukom kao i posljedice utjecaja buke na ljude

Četvrto poglavlje pod nazivom *Zrakoplov kao izvor buke*, donosi pregled izvora buke na zrakoplovima te putove rasprostiranja buke.

Peto poglavlje pod nazivom *Izvori buke na zrakoplovu CL-415* donosi pregled osnovnih karakteristika zrakoplova CL-415 te izvora buke na samom zrakoplovu.

Šesto poglavlje pod nazivom *Analize rezultata mjerenja unutrašnje buke na zrakoplovu CL-415*, kao glavno poglavlje donosi rezultate mjerenja obavljenih na samom zrakoplovu, iznosi nam pregled razine buke pri određenim režimima leta u tabličnim i grafičkim prikazima. Šesto poglavlje nam također donosi rezultate proračuna SIL i SII indeksa

Sedmo poglavlje pod nazivom *Mjere zaštite i redukcije buke*, donosi pregled određenih mjera zaštite i redukcije sa zaštitu od buke ili smanjivanje njene razine.

Osmo poglavlje donosi *zaključak* kao konačni rezultat i objašnjenje istraživanja provedenih u ovom radu.

2. OSNOVE AKUSTIKE , BUKE I VIBRACIJA

Akustika je znanost o zvuku (grč. *Akuo* – čujem, *akustos* – slušam) odnosno područje fizike koje proučava titranje materijalnih čestica. To pretpostavlja proučavanje izvora zvuka, njegova širenja i prijama. Fiziološka akustika dio je akustike, a čine je elementi fiziologije. Ona proučava fiziku ljudskog uha i govornih organa.

2.1. Osnove fizikalne akustike

2.1.1 Zvuk

Zvuk je mehaničko, zapravo longitudinalno titranje čestica tvari oko ravnotežnog položaja. Rasprostiranje zvuka u vakumu nije moguće zbog nespostojanja materijalnih čestica.

Titranje čestica zraka nastaje promjenom tlaka zraka oko konstantne vrijednosti atmosferskog tlaka. Takvo titranje čestica zraka osjećamo kao zvuk. Da bi nastala promjena tlaka zraka mora postojati neki izvor koji u određenom trenutku svojim djelovanjem ostvari mjestimično smanjenje, odnosno povećanje tlaka, a time i promjenu gustoće zraka. Nastale promjene tlaka i gustoće zbog elastičnosti zraka teže izjednačenju, što se očituje kao prostorno i vremensko širenje zvuka.¹

Zvuk proizvode različiti izvori: pucanj puške, prasak automobilske gume, pucanje stakla te tonovi glazbenih instrumenata, pjevački glas i sl.

2.1.2. Karakteristične veličine zvuka

Period, tj. najmanja udaljenost između istofaznih točaka, čini *valnu duljinu* (λ). Brzina kojom zvučni val putuje prostorom jest *brzina širenja zvuka* (c). Brzina zvuka ovisi o vrsti sredstva kojim se zvuk širi. Između valne duljine, brzine i frekvencije postoji odnos:

$$c = f\lambda$$

Brzina zvuka za svaki je medij točno određena. Za plinove se može izračunati prema :

$$c = \sqrt{\frac{k\rho_0}{\rho_0}} = \sqrt{k R T_0}$$

¹ Ivica Knežević, *Audiotehnika i televizijska tehnika*, Zagreb 1993.

gdje je:

k – adijabatski koeficijent (za zrak 1.4)

p_0 – tlak (atmosferski tlak za zrak 101352 Pa)

ρ_0 – gustoća (za zrak 1,189 kg /m³)

R – plinska konstanta

T_0 – apsolutna temperatura (K)

Tako brzina širenja zvuka u zraku pri 20 ° C (293 K) i normalnom atmosferskom tlaku (101352 Pa) iznosi 343 m/s.

Brzina zvuka u fluidima izračunava se prema :

$$c = \sqrt{\frac{1}{k\rho_0}}$$

gdje je:

k – adijabatska kompresibilnost fluida

ρ_0 – gustoća fluida

Tako je u vodi brzina zvuka oko 1441 m/s.

Zvučni tlak je izmjenični tlak koji osjećamo kao zvuk. *Apsolutni (ukupni) tlak* jednak je zbroju atmosferskog i zvučnog tlaka.

Karakteristična akustička impedacija ili valni otpor medija (Z_c) umnožak je gustoće sredstva i brzine zvuka:

$$Z_c = \rho_0 c \text{ [Ns/m}^3\text{]}$$

Jakost (intenzitet) zvuka (I) jest količina akustičke energije koja u jedinici vremena prođe jedinicom površine okomite na smjer širenja ravnog vala. Efektivna vrijednost jakosti zvuka može se odrediti prema:

$$I = \frac{P^2_{ef}}{Z_c}$$

gdje je

P^2_{ef} - efektivna vrijednost zvučnog tlaka

Z_c – akustička impedancija medija

Akustička snaga (P) umnožak je jakosti zvuka i površine kojom zvuk prolazi:

$$P = IA$$

Prosječne vrijednosti akustičkih snaga nekih izvora dane su u tablici 1.

Tablica 1. Akustičke snage nekih izvora zvuka [Izvor: *Ivica knežević; Audio tehnika i televizijska tehnika; Zagreb 1993.]*

Normalan govor	$7 \times 10^{-5} \text{ W}$
Ljudski govor	$2 \times 10^{-2} \text{ W}$
Violina	$2 \times 10^{-3} \text{ W}$
Truba	$3 \times 10^{-1} \text{ W}$
Auto sirena	5 W
Orgulje	10 W
Mlazni avion	10^5 W

2.1.3. Vrste zvuka

Svaki se zvuk može grafički prikazati tzv. oscilogramom ili vremenskim dijagramom koji prikazuje vremensku ovisnost signala zvuka. Dijagram može prikazivati i frekvencijsku ovisnost, tj. tada se grafički prikazuje frekvencijski spektar zvuka. Najjednostavniji ton je čisto sinusno titranje koje nazivamo *čistim tonom*.

Složeni ton je periodično neharmonično titranje, a čine ga osnovni ton i njegovi harmonici. Svako periodično titranje je zbroj više sinusnih titranja određenih frekvencija.

Složeni je ton, prema tome, zbroj sinusnog titranja osnovne frekvencije i tonova frekvencije koje su cjelobrojni višekratnici osnovne frekvencije.

Šum je nepravilno neperiodično titranje bez stalnih frekvencija i amplituda. Takve se stohastičke oscilacije prikazuju kontinuiranim spektrom.

Takozvani *ružičasti šum* jest vrsta šuma kojemu je akustička snaga konstantna u određenom frekvencijskom opsegu, a *bijeli šum* je šum čija snaga raste za 3 dB po oktavi (oktava je dvostruki odnos frekvencija).

Tranzijentne zvučne pojave su nagle, kratkotrajne i jednokratne, a imaju kontinuirani spektar. Zvuk poput govora, glazbe i sl. pripada tranzijentnim pojavama.

2.2. Buka i vibracije

Prema definiciji, buka je neželjeni zvuk koji na više načina ugrožava ljudsko zdravlje i sam sluh. Stoga je zaštiti od buke potrebno posvetiti posebnu pažnju, to više što su doneseni zakon i posebne norme o razini dopuštene buke u pojedinim uvjetima i područjima. Govor i glazba koristan su zvuk za one koji ih žele slušati, a drugima su istodobno, pri razgovoru ili kad spavaju, štetni zvukovi.²

Osim buke, u čujnom dijelu zvučnog spektra postoji i buka u infrazvučnom i ultrazvučnom dijelu spektra. Infrazvučna je buka vrlo neugodna, jer je njezin domet vrlo velik, često su i amplitude vrlo velike, a zaštita od takve buke gotovo je nemoguća. Ultrazvučna buka zbog apsorpcije zraka nema velik domet i zaštita je od nje jednostavna.

I vibracije, koje mogu potjecati od najrazličitijih izvora, vrlo loše utječu na ljudsko zdravlje, pa je odgovarajućim zahvatima potrebno provesti zaštitu. Jednaka razina buke nije uvijek jednaka subjektivna smetnja, tj. ne izaziva uvijek jednak neugodan osjećaj. Primjerice, sviranje jedne te iste melodije može biti sasvim tiho, a ipak nekome oduzimati san i postajati nepodnošljivom.³

Karakteristična veličina buke koja se mjeri i na osnovi koje se procjenjuje jest *ekvivalentna razina buke* u decibelima A (L_{aeq} u dBA) (A je karakteristika subjektivne

² Inženjerski priručnik, IP3, Elektrotehnika, komunikacije i električni strojevi, Zagreb 2002.

³ Inženjerski priručnik, IP3, Elektrotehnika, komunikacije i električni strojevi, Zagreb 2002.

glasnoće, ovisna o frekvenciji, prema preporuci IEC⁴). Buka se mjeri standardnim zvukomjerom ili odgovarajućim mjernim sklopom izrađenim u skladu s preporukom IEC.

Vibracije i potresanje čovjek prima s više organa istodobno. Pri potresanju se cijelo tijelo giba uglavnom kao cjelina, a kod vibracija (zapravo mnogo brže potresanje) pomiču se samo dijelovi tijela. U praksi se pojavljuju potresanje i vibracije istodobno. Na frekvencijama od nekoliko herca vibracije prima unutrašnje uho, a na nešto višim frekvencijama (10 – 15 Hz) osjećaju se pomoću živaca na koži.

Buka može biti neisprekidana, isprekidana i impulsna.

Neisprekidanom bukom možemo nazvati onaj zvuk koji stvara stroj kada radi bez prekida u istom stupnju sa istom jačinom zvuka, npr. pumpa i strojevi za obradu. Zvučni događaj kratkog trajanja i relativno visokog zvučnog tlaka označava se kao impulsna buka. Svaki udarac treba smatrati impulsnom bukom.

Isprekidana buka je ona kod koje se razina zvuka naglo poveća i naglo smanji. Primjer za ovakav tip buke je prolaz jednog vozila ili zrakoplova pored slušatelja.

Impulsna buka je ona koja se dogodi iznenada i kratkog je trajanja kao npr. eksplozija ili pucanj.

⁴ IEC – *International Electrotechnical Commission*

3. UTJECAJ BUKE NA LJUDE

3.1. Uvod

Već prije spomenuto, buka utječe na ljudsko zdravlje, ometa koncentraciju i san. Buka izaziva smetnje kardiovaskularnog i imunološkog sustava, povišen krvni tlak, tjeskobu i depresiju. Pilot je na svom radnom mjestu izložen raznim izvorima buke koji manje ili više utječu na njegovu radnu sposobnost. Smanjenju buke danas se pridaje sve veći značaj pogotovo u zrakoplovstvu kako bi se spriječilo narušavanje zdravlja pilota, zemaljske posade te stanovništva u krugu aerodroma.

Poznato je da pri utjecaju intenzivne svjetlosti očni kapak prekriva oko te ga time štiti od oštećenja, no za sluh nemamo nikakvu prirodnu zaštitu. Zamor osjeta sluha prolazna je pojava, dok je traumatizam smanjenja osjetljivost na određene tonove koja nastaje ako je organizam izložen duže vremena jakoj buci. Profesionalnu gluhoću možemo okarakterizirati već kao oboljenje. Nastaje prilikom dužeg rada u uvjetima buke iznad 80-85 dBA. Očituje se gubitkom osjetljivosti za većinu tonova, a i konverzacija je otežana.

Na većini aerodroma buka znatno prelazi ovu granicu zbog čega je neophodno poduzimanje mjera za zaštitu ljudi na aerodromu. Međutim kad je riječ o reakciji našeg organizma na buku, ne događaju se samo promjene u sustavu osjetila sluha već je moguće da se poremećaj odrazi i na druga osjetila. Takve promjene ostavljaju posljedice i na osjetilo vida, sustav disanja, živčani sustav.

3.2. Organ sluha

Funkcija je slušnog organa registriranje zvučnih valova iz atmosfere, koji dolaze do bubnjića (membrane koja vibrira), a zatim i preko tri najmanje koščice u našem tijelu (čekića, nakovnja i stremena), koje pojačavaju vibracije i prenose ih do kohleje (pužnice smještene u unutarnjem uhu. Ispunjene su tekućinom. U kohleji se tek vibracije pretvaraju u živčane impulse koji potom, živcima, odlaze do centra za sluh u korteksu (u slijepo očni režanj) gdje nastaju slušne percepcije.



Slika 1. Građa ljudskog uha [<http://www.neuroth.hr>]

Uška je čovjeka kao rudimentarni organ svakako mnogo izgubila od uloge u percepciji sluha koju ima kod životinja, ali ni u čovjeka nije posve bez značenja. Ta uloga uške očituje se u poboljšanju percepcije zvuka i u stereofonskoj orijentaciji. Uška cijelo vrijeme vibrira na podražaj šumova, osobito dubokih tonova pa se te vibracije prenose u zvukovod. Pojedine udubine uške djeluju poput rezonatora i pojačavaju tako titranje tonova, pojačavaju njihovu percepciju. Posebno je važna uloga uški u lokalizaciji izvora, tj. određivanju pravca iz kojeg dolaze zvučni valovi.

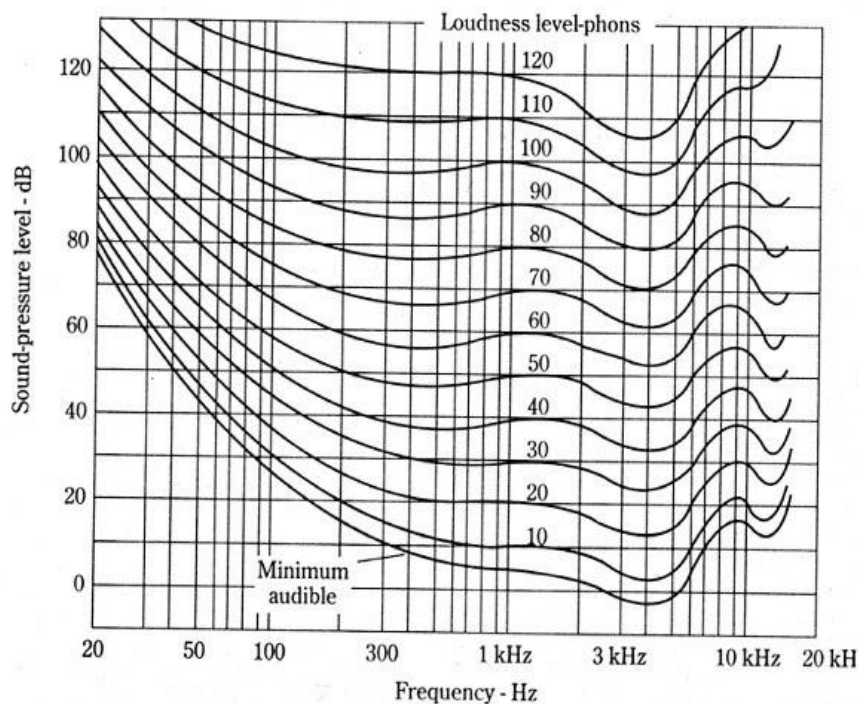
Uho nije jednako osjetljivo na sve čujne frekvencije, odnosno potrebni su različiti tlakovi signala različitih sinusnih frekvencija da bi se subjektivno postigao osjet jednake glasnoće. Razlog toj nelinearnosti različito je prilagođenje impedancije uha na impedanciju zraka ovisno o frekvenciji.⁵

⁵ Hrvoje Domitrović, Kristian Jambrošić, Antonio Petošić ; PRIJENOS ZVUKA; Zagreb 2015

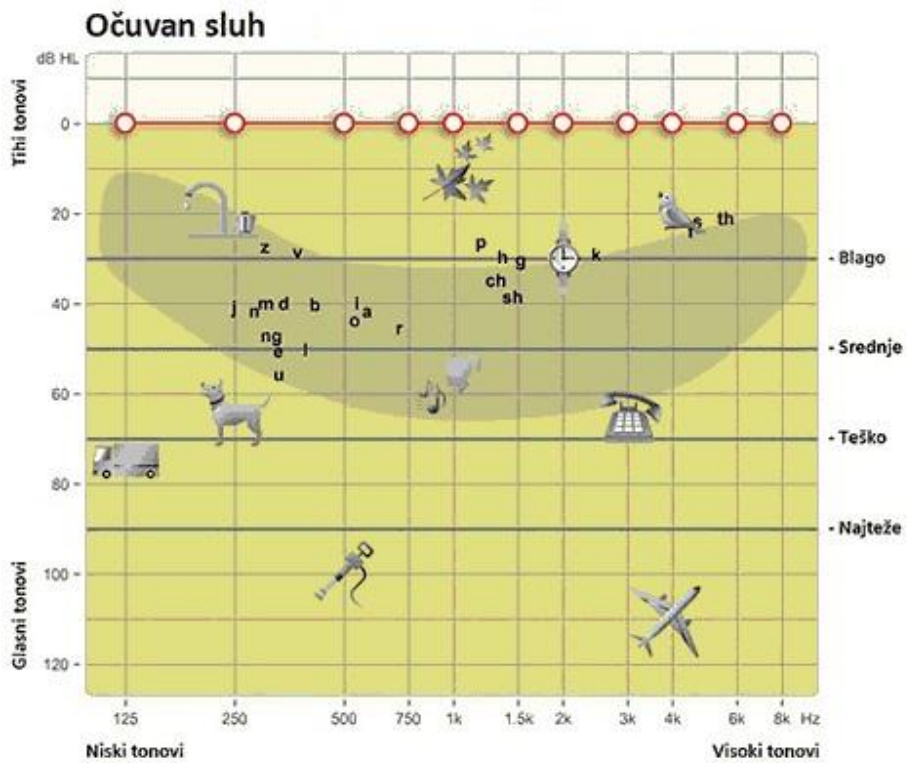
3.3 Oštećenje sluha bukom

U kontekstu medicinske literature, buku možemo definirati kao izrazito intenzivan zvuk sposoban proizvesti oštećenje unutarnjeg uha. Visoke razine zvučnog tlaka prouzrokuju oštećenja cilija na bazilarnoj membrani, koje su zadužene za prijenos impulsa prema slušnom živcu. Kako je rezonantna frekvencija vanjskog dijela zvukovoda oko 3200 Hz, zvukovi takvih frekvencija dolaze do bubnjića pojačani čak i do 20 dB. Uz veću osjetljivost cilija na zvukove viših frekvencija, očekivano je da su cilije zadužene za prihvaćanje zvukova frekvencija oko 4 kHz najranjivije

Kod akustičke traume, koja je uzrokovana kraćem izlaganju intenzivnom zvuku, moguća je pojava gubitka sluha sličnom onom uzrokovanog bukom. Razina zvučnog tlaka koji može proizvesti ovakvo oštećenje iznosi oko 130-140 dB, a varira između pojedinaca. Vanjski pregled uha često ne pokazuje nikakvo oštećenje, osim u rijetkim slučajevima oštećenja bubnjića, dok audiogram pokazuje ponekad krivulju svojstvenu gubitku sluha uzrokovanog bukom, a češće padajuću (*down-sloping*) ili ravnu (*flat*) krivulju.

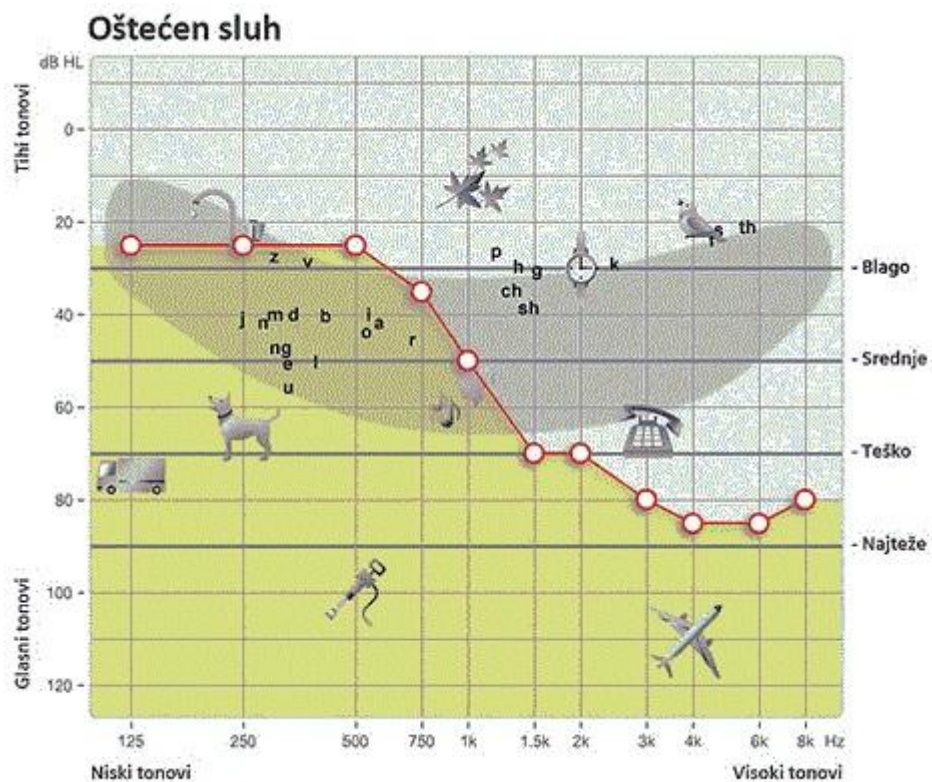


Slika 2. Audiogram normalnog ljudskog uha [Izvor: Štimac, I.: Implementacija sustava praćenja i analiza buke na Zračnoj luci Zagreb, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009.]



Slika 3. Audiogram pokazuje očuvan sluh

[Izvor: <http://www.medical-electronics.com>]



Slika 4. Audiogram pokazuje tipično oštećen sluh

[Izvor: <http://www.medical-electronics.com>]

Kronični gubitak sluha uzrokovan bukom, za razliku od akustičke traume, bolest je koja se vremenom pogoršava uslijed izloženosti buci. Količina zvuka sposobnog za stvaranje oštećenja može se prikazati takozvanim „rizikom oštećenja“ („*Damage Risk Criteria*“). Pokazuje se da kraća izloženost jačoj buci ima jednaki učinak kao duža izloženost nešto slabijoj buci.

Kako povećanje intenziteta zvuka od 3 dB odgovara dvostrukom povećanju razine zvučnog tlaka, zaključuje se da će izloženost intenzitetu zvuka većem za svaka 3 dB dvostruko umanjiti dozvoljeno vrijeme izlaganja. Ipak, kako razina buke varira tijekom vremena, u pravilima se vodi povećanje od 5 dB za dvostruko manje vrijeme. Na primjer, OSHA⁶ propisuje dozvoljenu izloženost buci od 90 dBA u vremenu od 8 sati, odnosno 115 dBA u vremenu od 15 minuta.

U Hrvatskoj, Pravilnik o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu (*NN 46/08*) propisuje sljedeće granice:

- granična vrijednost izloženosti: $L (EX,8h) = 87 \text{ dBA}$
- gornja upozoravajuća granica izloženosti: $L (EX,8h) = 85 \text{ dBA}$
- donja upozoravajuća granica izloženosti: $L (EX,8 h) = 80 \text{ dBA}$

Iako se gubitak sluha uzrokovan bukom razlikuje od pojedinca do pojedinca, glavne karakteristike specificirane od *American College of Occupational Medicine Noise and Hearing Conservation Committee* su:

- gubitak sluha je uvijek perceptivan (zamjedben)
- gotovo je uvijek binauralan i simetričan
- rijetko će prouzročiti gluhoću
- neće se pogoršavati nakon izloženosti buci
- stupanj daljnjeg oštećenja sluha smanjuje se kako se prag sluha povećava
- frekvencija od 4 kHz je najviše pogođena, a također su više frekvencije (3 - 6 kHz) pogođene od nižih (500 Hz – 2 kHz)
- maksimalan gubitak sluha događa se nakon 10 – 15 godina izlaganja buci
- kontinuirana buka je opasnija od one isprekidane tišinom

⁶ OSHA - *Occupational Safety & Health Administration*

3.4. Posljedice buke na ljude

Buka na čovjeka djeluje izravno i neizravno oštećujući njegovo zdravlje, izazivajući umor i smanjenje radne sposobnosti, ometa sporazumijevanje, koncentraciju, odmor i san. Treba napomenuti da postoje individualne razlike reakcije na buku te ovisno o razini i frekvenciji buke te dužini izloženosti one mogu biti od blagih i prolaznih do trajnih oštećenja. Neizravno buka utječe na organe i tjelesne sustave kao što su to živčani sustav, krvožilni sustav, probavni i hormonski sustav. Dovodi do metaboličkih i endokrinoloških poremećaja. Također utječe na čovjekovo funkcioniranje i obavljanje svakodnevnih poslova te odmor i san. Naročito pogubno djeluje na umni rad i dovodi do poteškoća s koncentracijom, zadržavanjem pažnje, usvajanjem novih spoznaja te uzrokuje razdražljivost i nesanicu.

Prema dostupnim podacima u SAD-u preko 50% radne populacije na radnom mjestu izloženo je razinama buke višim od 80 dBA, a čak 20% radne populacije razinama iznad 90 dBA. U Europi više od 30% radne populacije pri radu je izloženo razinama buke opasnim za zdravlje. Oštećenje sluha bukom svrstano je na listu profesionalnih bolesti, kako u Europi tako i kod nas. Od ukupnog broja priznatih profesionalnih bolesti u EU 32% odnosi se na oštećenje sluha bukom, dok se u nas ta vrijednost kreće između 10% i 15%

Djelovanje buke na ljude može imati sljedeće posljedice:

- *Naglušost* – veće ili manje oštećenje sluha a može biti: konduktivna , perceptivna i mješovita
- *Ometanje govornih sporazumijevanja (smanjenje razumljivosti govora)* – izražava se veličinom SIL⁷. SIL je aritmetička sredina oktavnih razina : 250 - 500 - 1000 - 4000 Hz izražena u dB. Normirani odnos razine buke i SIL-a je $dB(A) - SIL = 8$
- *Neurovegetativne reakcije organizma* - hipertenzija, endokrinološki i poremećaji metabolizma
- *Smanjenje radne sposobnosti*
- *Nelagodnost - (psihičke reakcije)*

⁷ SIL - (Speech Interference Level)

4. ZRAKOPLOV KAO IZVOR BUKE

4.1. Uvod

Buka zrakoplova se definira kao neželjen zvuk koji proizvodi sam zrakoplov. Buka kod zrakoplova može biti unutrašnja ili vanjska ali i jedna i druga nastaju od istih izvora koji se mogu podijeliti u tri grupe. U prvu grupu spada buka koju proizvodi pogonska grupa zrakoplova, u drugu grupu spada utjecaj između motora i strukture zrakoplova te u treću grupu sam oblik zrakoplova.

Vanjska buka je certificirana prema FAA (*FAR Part 36, ICAO Annex 16.9.*) dok unutrašnja buka još nije certificirana. U sljedećim točkama će se obraditi općenito izvori buke vezani za sve zrakoplove dok će se u sljedećem poglavlju opisati izvori buke na samom zrakoplovu CL-415.

4.2 Buka pogonske skupine

U pogonsku skupinu spadaju mlazni i elisni motori. Ukoliko se radi kategorizacija unutar pogonskih skupina, zrakoplovi s elisnim pogonom stvaraju nižu buku u usporedbi s ostalima. Buka koju stvara pogonska skupina klipnih i turboelisnih zrakoplova je maskirana bukom elise, te je glavni izvor buke sama elisa. Buka pogonskih skupina je buka uzrokovana svim dijelovima i uređajima koji služe za ostvarenje opstrujavanja zraka oko uzgonskih površina. Kod zrakoplova se za tu svrhu koriste:

- turbo-mlazni pogon
- turbo-ventilatorski
- propelerski pogon sa klasičnim ili turbinskim motorom

4.2.1. Turbo-mlazni pogon

Zrak ulazi u rotirajući kompresor kroz usisnik zraka. U kompresoru se prije ulaska u komore izgaranja zrak komprimira i pod pritiskom miješa s gorivom. Proces izgaranja dovodi do velikog porasta temperature, a vrući plinovi stvoreni gorenjem prolaze velikom brzinom kroz turbinu i okreću je te kroz ispušnu cijev izlaze iz motora. Turbina pokreće kompresor s kojim je spojena preko osovine. Efikasnost mlaznog motora najviše ovisi o omjeru ulaznog pritiska u kompresor i komprimiranog zraka prije ulaska u komore izgaranja te ulazne

temperature na turbinu. Dijelovi mlaznog motora su: usisnik zraka, kompresor, osovina, komora izgaranja, turbina, mlaznica.

Promatrano s aspekta buke, buka koja je uzrokovana turbo-mlaznim motorom sastoji se od: buke kompresora, buke uzrokovane vibracijama kućišta motora i buke izlaznog mlaza. Buka izlaznog mlaza u sebi sadrži i buku turbine i izgaranja goriva, no one su znatno niže od razine buke mlaza. Kod turbo-mlaznih motora izrazita komponenta buke je buka usisa. Ta se buka sastoji od širokopojasne buke i tonskih komponenata kojima su izvor lopatice kompresora, a slična je situacija i sa bukom kompresora. Razina buke mlaza je pri normalnim uvjetima korištenja motora znatno iznad ostalih komponenata buke motora. Buka motora uzrokovana je vrtloženjem do kojeg dolazi u području miješanja vrlo brzih i toplih izlaznih plinova iz motora s mirnim hladnim zrakom okoline. U letu je razina buke mlaza 3-5 dB niža od razine za isti režim rada uz mirovanje na tlu. Uzrok toj razlici je manja relativna brzina izlaznog mlaza u odnosu na zrak okoline, a otud proizlazi i manje intenzivno vrtloženje.

4.2.2 Turbo-ventilatorski pogon

Turbo-ventilatorski motor je tip zrakoplovnog motora sličan turbo-mlaznom motoru. Nastao je kao rezultat nastojanja da se smanji razina buke i poveća stupanj iskorištenja turbomlaznog motora. Sastoji se od ventilatora i manjeg turbomlaznog motora koji dolazi u nastavku i pokreće lopatice. Dio zračne struje sa lopaticama prolazi kroz motor gdje dodatno sagorijeva i daje potisak. Većina komercijalnih zrakoplova koristi turbo-ventilatorske motore, budući da su veoma učinkoviti i relativno tihi u operacijama.

Turbo-ventilatorski motor razlikuje se od turbomlaznog motora u dvije važne točke. Prva točka je da turbo-ventilatorski motor sadrži lepezu koja proizvodi potisak, a druga da taj isti motor proizvodi nižu brzinu mlaznog ispuha. Međutim, spektar buke kod turbo ventilatorskih motora u operacijama maksimalne snage je još dominirao pored široko frekvencijske aerodinamične mlazne buke. Daljnje redukcije mlaznog ispuha buke izvan razine koje su postignute od strane današnjih turbo-ventilatorskih motora mogu se postići u buci drugih mehanizama kao na primjer ventilatora, kompresora, turbine ili procesa izgaranja, dominantnog dijela ukupne buke spektra.

4.2.3 Propelerski pogon

Propelerski pogon u današnje vrijeme nije toliko zastupljen kod komercijalnih zrakoplova. Takva se vrsta pogona koristi uglavnom kod pogona malih zrakoplova generalne avijacije iako se i taj pogon postepeno zbog svog velikog faktora iskoristivosti ponovno vraća kod nekih komercijalnih zrakoplova. Propeler ili elisa definira se kao rotor s najmanje dva kraka koji mogu biti s fiksnim ili promjenjivim korakom.

Krakovi su dizajnirani tako da stvaraju područje niskog tlaka s jedne i područje povišenog tlaka sa druge strane ravne rotacije. Rezultirajuće sile pokreću masu zraka uzduž osi rotacije stvarajući potisak. Što se tiče propfan (ventilatorski propulzori) motora, oni su također otvoreni rotor, no u usporedbi s propelerima za dani potisak imaju manji promjer i veći broj krakova.

Kod standardnih zrakoplova koristi se suvremeni propeler visoke iskoristivosti za kratke i srednje dolete. Takvi tipovi propelera imaju najčešće od 2 do 6 krakova i optimalno su rješenje za ostvarivanje brzina do oko 0,65 Ma. Ventilatorski propulzori razvijeni su u svrhu poboljšanja karakteristika propelera na većim brzinama. Takvi ventilatori imaju više krakova od 6 do 12 čiji je aeroprofil tanji i uvijen kako bi se poboljšale aerodinamične karakteristike na većim brzinama.

Što se tiče buke koja nastaje propelerom, izvor polja buke je izrazito frekvencijski tonalno i prostorno usmjeren. Mehanizmi nastanka propelerske buke povezani su poglavito s debljinom krakova propelera i aerodinamičnim tlakovima na krakovima koji stvaraju postojani potisak i zakretni moment. Turbulencija na graničnom sloju krakova u nadolazećoj struji zraka također je izvor buke, no spektar je širokopojasni, a razina buke općenito niska. Razina i spektarni sustav buke uzrokovane propelerom uvjetovan je nizom čimbenika, kao što su: na propeleru obodna i progresivna brzina vrha kraka, oblik aeroprofila kraka, broj krakova, uravnoteženost rotirajućih dijelova propelera i udaljenost promatrača. Izvori propelerske buke mogu se podijeliti na stalne, promjenjive i slučajne izvore⁸.

Stalne izvore promatrač percipira kao vremensku konstantu i oni proizvode periodičnu buku. Ovi izvori nastaju zbog debljine aeroprofila iz poprečnog periodičnog pomaka zraka zbog prolazećeg kraka propelera. Za umjerene brzine vrtnje propelera, izvori buke zbog debljine i opterećenja su linearni i djeluju na površinu aeroprofila. Ako se brzina opstrujavanja na aeroprofilu propelera približava brzini zvuka, nelinearni efekti mogu postati

⁸ I. Štimac: *Implementacija sustava praćenja i analiza buke na zračnoj luci* Magistarski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009

značajniji, a lokalni efekti u mediju koji okružuje aeroprofile krakova tada postaju izvori intenzivne buke.

Promjenjivi izvori su oni izvori koji vremenski ovise o položaju referentne ravnine rotacije propelera prema nadolazećoj struji zraka, a sadrže periodične i slučajne varijacije opterećenja na krakovima. Tipičan primjer periodičnog opterećenja krakova jest efekt napadnog kuta vratila propelera. Ako je os propelera nagnuta prema pravcu nadolazeće struje zraka, svaki krak osjeća cikličku promjenu u lokalnom napadnom kutu, čija je posljedica promjena opterećenja na kraku tijekom okreta. Opterećenje se može tijekom jednoga okreta promijeniti jednom ili nekoliko puta, što ovisi o razini poremećenosti nadolazeće struje zraka.

Promjenjiva opteretna buka posebice je važna kod dvostrukih propelera na zajedničkoj osnovi suprotnog smjera rotacije. Iako ova vrsta propelera ne sadrži dodatne ili posebne izvore buke, aerodinamična interferencija dvaju rotora zamjetno podiže promjenjivu opteretnu buku naročito pri malim brzinama leta, posebice pri polijetanju i slijetanju. Naime svaki prednji propeler ostavlja iza sebe mlaz koji udara u stražnji. Taj mlaz može biti kompleksan te je sastavljen od primjerice niskoga strujanja nastaloga na pojedinim segmentima kraka i vrtloženja na vrhovima krakova.

Slučajni izvori uvelike proširuju spektar buke i tipični su generatori širokopojasne buke. Za propelere su važna dva izvora, ovisno o njihovom dizajnu i operativnim režimima. Prvi izvor širokopojasne buke je interakcija nadolazeće turbulentne struje zraka s napadnim rubovima krakova, dok se drugi mehanizam širokopojasne buke temelji na generiranju promjenjive opteretne buke na izlaznim rubovima krakova zbog razvoja turbulentnog graničnog sloja na njihovim površinama, pri čemu parametri buke ovise o karakteristikama graničnog sloja.

4.3. Buka izazvana aerodinamikom zrakoplova.

Buka strukture zrakoplova definira se kao neželjeni zvuk koji nastaje prilikom protoka zraka uz aeroprofil. Glavni dijelovi aeroprofila koji stvaraju buku su pokretni sustavi koji se nalaze na krilima te stajni trap. Buka koju proizvodi struktura zrakoplova počela se proučavati 1970- tih godina.

Buka izazvana planerom (aeroprofilom) rezultat je pulsiranja aerodinamičnih sila na krilu, postojanjem turbulentnog graničnog sloja i vrtloga koji se pojavljuje pri opstrujavanju površine krila, trupa i repnih površina, kao i zbog struja oko stajnih organa, zakrilica te raznih izbočina na trupu. Kolebanje tlaka zraka pojavljuje se ondje gdje je strujanje diskontinuirano,

naročito u pogonskim sustavima, gdje generiranje potrebne snage zahtijeva znatne promjene u tlakovima i temperaturi. Pri samom polijetanju, nivo buke izazvan planerom je zanemariv, dok buka izazvana na prilazu ili slijetanju ima velike važnosti i po jačini se može usporediti s bukom pogonskih skupina.

Zrakoplov je kao cjelina glavni izvor buke koji utječe na ljude u određenom radijusu oko toga izvora, kao i na posadu i putnike u njemu. Zbog negativnog utjecaja buke zrakoplova, dizajn zrakoplova koji bi svojom strukturom stvarao najmanje buke postao je izazov za sve dizajnere. U posljednjim desetljećima buka zrakoplova se radikalno smanjila zahvaljujući razvoju tehnologije koja je to omogućila.

Buku koju stvara planer mogli bi nazvati strukturalnom bukom, a definira se kao buka koja nije prouzročena pogonskom skupinom na zrakoplovu u toku leta. Izvori buke koji čine strukturalnu buku su: stajni trap, pretkrilca, zakrilca, površina krila koja se pomiče te vertikalni stabilizator zrakoplova.

Buka koju proizvode zakrilca proizlazi od vanjskih bridova zakrilca i njihovih bočnih rubova. Pojava vrtloga koji je rezultat između otvorenih i zatvorenih zakrilca glavni je uzročnik za stvaranje buke oko bočnog dijela zakrilca. Iz toga razloga pojavljuje se turbulencija i strujanje tlaka koji povećava buku zrakoplova. Jaki vrtlog formira se oštrim prijelazima u polijetanju između podignutih i spuštenih zakrilca te je glavni uzročnik buke koja nastaje na krajevima krila. U blizini ruba zakrilca, razdvojeni zrak stvara turbulenciju i otpor pri protoku zraka što stvara dodatnu buku.

Glavni uzročnik buke strukture zrakoplova je nestabilan protok zraka u području zakrilca, pretkrilca i ostalih pomičnih sistema na krilu. Najveći doprinos stvaranju buke čiji je uzrok oblik zrakoplova čine: krilca, zakrilca i stajni trap. Mjerenja su pokazala da jačina buke koja je nastala od tih elemenata ovisi od zrakoplova do zrakoplova. Dokazano je da svi elementi koji su pomični i djeluju u fazi polijetanja i slijetanja proizvode manju buku kod manjih i srednjih zrakoplova te veću kod većih zrakoplova.

Također jedan od važnih izvora buke strukture je stajni trap. Uzročnik te buke je protok zraka koji opstrujava oko njega. S obzirom da stajni trap ima mnogo krivina i oštih prijelaza to dodatno pojačava kompleksnost protoka zraka, a time i povećava buku. Efekt buke koji čini stajni trap pojavljuje se u fazi prilaza i slijetanja, gdje se javlja i najveći otpor oko tih dijelova. Stajni trap je kompleksan i ima ne aerodinamičan geometrijski oblik te generira veliki turbulentni trag. Dijelovi nosnoga kotača koji najviše utječu na stvaranje buke su: oplata nakon izvlačenja kotača, glavna noga, potpornik, osovina, kotači i kočnice.

5. IZVORI BUKE NA ZRAKOPLOVU CL-415

5.1. Osnovne karakteristike zrakoplova CL-415

Zrakoplov Canadair CL-415 amfibija namijenjen je gašenju požara otvorenog prostora, a može se koristiti i za gašenje požara industrijskih postrojenja, traganje i spašavanje na moru, prijevoz tereta i putnika, bacanje padobranaca, zaprašivanje šuma te tretiranje naftnih mrlja.

Temeljne značajke su mu velika udarna moć, velika količina bačene vode, velika pokretljivost i preciznost te uzimanje vode na malim (kratkim) vodenim površinama. Kod punjenja vode avion glisira brzinom 70 čvorova pri čemu zadržava upravljivost, a može uzimati vodu s mora, jezera te riječnih tokova. U intervalu od samo deset sekundi CL- 415 skupi 5346 litara vode pri čemu prijeđe put od 200 m. U operativnoj je uporabi u Protupožarnoj eskadrili 93. zb HRZ i PZO-a od 1996. godine.

Tablica 2. Tehničke značajke aviona CL-415 [*Izvor: CL-415, Pilot Training Guide*]

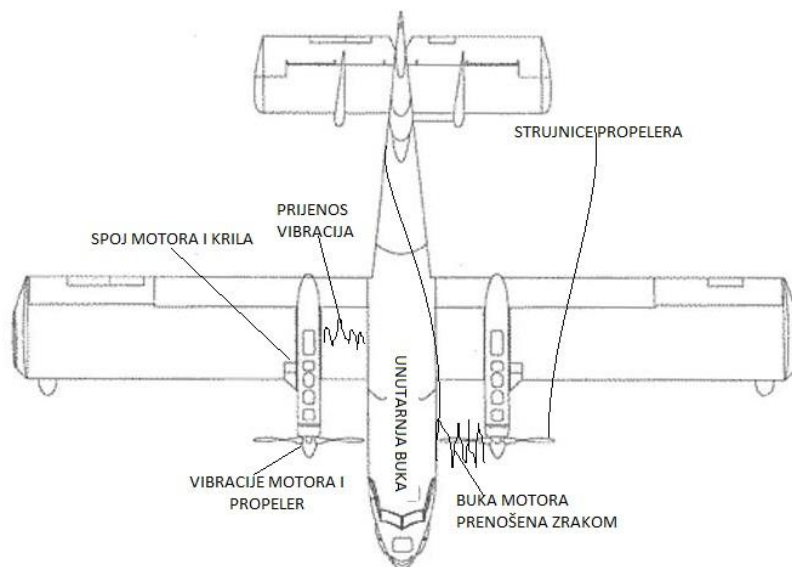
Proizvođač	Kanda	
Posada	Pilot	
	Kopilot	
	Tehničar letač	
Pogonska skupina	Dva turboprop motora Pratt&Whitney Canada svaki snage 2380 KS sa četverokrakim elisama	
Dimenzije	Dužina	19.81 m
	Raspon krila	28.38 m
	Visina	9.11 m
	Površina krila	100.33 m ²
Težine	Prazan	12600 kg
	Maksimalna	19890 kg
Gorivo u internim spremnicima	5796 L	
Brzine	Maksimalna	H=0 m 187kn (365km/h)
	Krstareća	187 kn (365 km/h)
	Dolet	na razini mora 1050 NM

Tablica 3. Ostale značajke zrakoplova CL-415 [*Izvor: CL-415, Pilot Training Guide*]

Duljina polijetanja	700 m
Duljina slijetanja	670 m
Duljina skupljanja vode	1340 m
Operativni vrhunac	20000 ft (6100 m)
Opterećenje	+3,0/-1,0
Maksimalno ostajanje u zraku	7 h
Maksimalno ostajanje na požaru	4 h
Kapacitet spremnika vode	6130 L
Kapacitet spremnika pjene	340 L
Vrijeme skupljanja vode	12 s
Minimalna dubina vode	2 m
Maksimalna visina valova	2 m
Površina pokrivanja vodom	110x25 m (2750 m ²)

5.2. Izvori buke na zrakoplovu CL-415

Izvor buke na zrakoplovu CL-415 kao i kod bilo kojeg drugog zrakoplova možemo podijeliti u tri grupe. U prvu grupu spada buka koju proizvodi pogonska skupina zrakoplova, drugu uzajamni utjecaj između motora i strukture zrakoplova te u treću sam oblik zrakoplova. Ovisno o vrsti operacija koje ovaj tip zrakoplova obavlja buku možemo podijeliti na buku koja nastaje u fazi polijetanja i slijetanja te buku koja nastaje prilikom obavljanja zadaća gašenja požara. Svaki izvor buke na zrakoplovu sadrži i svoje podgrupe koje zajedno čine cjelokupnu buku zrakoplova. Zvuk koji dolazi od svakog izvora posebno čini različitu jačinu buke ovisno o režimu leta. Unutarnju (kabinsku) buku ili ukupnu unutarnju buku kod zrakoplova CL-415 uzrokuju sve tri grupe izvora buke uzajamno.



Slika 5. Izvori i putevi buke uzrokovane pogonskim sustavom i strukturom zrakoplova koji rezultiraju unutarnjom kabinskom bukom kod zrakoplova CL-415



Slika 6. Izvori buke na zrakoplovu [Izvor: www.airliners.net]

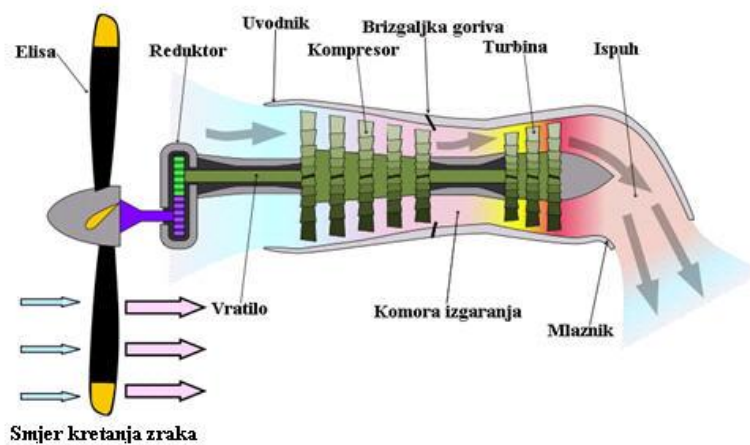
5.3. Buka pogonske skupine zrakoplova CL-415

Buka pogonskih skupina je buka uzrokovana svim dijelovima i uređajima koji služe za ostvarenje opstrujavanja zraka oko uzgonskih površina. Zrakoplov CL-415 je opremljen sa dva turboprop motora proizvođača *Pratt and Whitney Canada* oznake *PW123AF* koji pogone

četverokraku elisu proizvođača *Hamilton Standard*. Svaki motor daje maksimalnu snagu od 2380 KS. Uz svaki motor nalaze se i pomoćni uređaji koji služe za snabdijevanje motora gorivom, uljem te protupožarnim uređajima i uređajima za praćenje rada motora. Glavni izvor pogonske buke kod zrakoplova CL-415 stvara turbinski motor te četverokraka elisa koja stvara vučnu silu, što znači da najveću buku na samom pogonskom sustavu stvaraju rotirajući dijelovi motora i sama elisa. Za razliku od mlaznih motora, turbo-prop motor na zrakoplovu CL-415 stvara buku pri kojoj prevladavaju uglavnom tonovi niskih frekvencija, a problem takve buke je što se ne može kontrolirati i smanjiti na jednostavan način kao što je postavljanje zvučno izolacijskih materija u sam trup zrakoplova već se na zrakoplov trebaju ugraditi sustavi poput ANVS (*Active Noise and Vibration Suppression*) koji smanjuju kabinsku buku i vibracije.



Slika 7. Motor zrakoplova CL-415 s elisom [Izvor: www.airliners.net]



Slika 8. Ilustracija turbo-prop motora sa označenim dijelovima

[Izvor: www.petervaldivia.com]

Buka motora zrakoplova CL-415 *Pratt and Whitney Canada* oznake *PW123AF* klasificirana i uvrštena u ICAO Noise Data base (*ICAO annex 16. Volume I, chapter 3*) dana je u Tablici 4:

Tablica 4. Razina buke pri određenim režimima [Izvor: *ICAO Noise Data base*]

	Lateral/Full power	Approach	Flyover
Noise level (EPNdB)	87.4	99.8	80.9
Noise Limit (EPNdB)	94	98	89
Margin	6.6	-1.8	8.1

5.4. Buka uzrokovana strukturom zrakoplova CL-415

Glavni izvori strukturne buke kod zrakoplova CL-415 su vrtložna strujanja koja nastaju iza upravljačkih površina i samog trupa. Smanjenje jednog dijela tako izazvane buke riješen je postavljanjem wingleta na krajevima krila s čim se uvelike smanjuju vrtložna strujanja iza krila s čime se prvenstveno smanjuje inducirani otpor, smanjuje potrošnja goriva, povećava dolet te samim time i smanjenje strukturne buke. Također, veliki izvor strukturne buke stvara i sam trup zrakoplova koji kod ovakvog tipa zrakoplova služi i za pristajanje na vodene površine kako bi se omogućilo prikupljanje vode (sl.8) . Zavisno o uvjetima vodenih površina (visine valova, vjetra), mijenja se i sam intenzitet buke izazvan strukturom trupa.

Buka izazvana strukturom zrakoplova na zrakoplovu CL-415 širi se preko oplata do posade i putnika unutar zrakoplova. Posada zrakoplova primjećuje prisutnost buke uzrokovanom vanjskom strukturom tijekom promjena režima leta a najviše tijekom samog slijetanja na vodene površine te prikupljanja vode i samog uzlijetanja sa vode. U sljedećem poglavlju će se analizirati izvršena mjerenja te prikazati rezultati kabinske buke zavisno o režimima leta te prikazati njihovi rezultati i utjecaji na samu posadu.



Slika 8. Prikaz izvora buke koju stvara struktura zrakoplova
[Izvor: www.airliners.net]

6. ANALIZA REZULTATA MJERENJA BUKE ZRAKOPLOVA CL-415

6.1. Izvođenje mjerenja i mjerni instrument

Tablica 5. Podaci o mjerenju

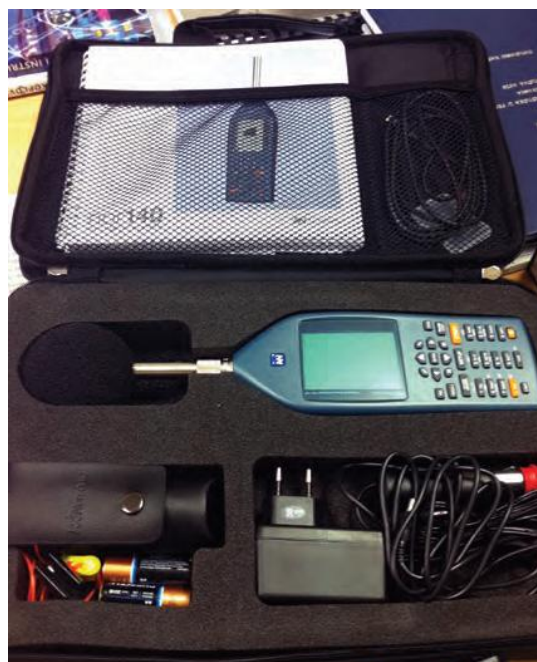
Datum i vrijeme	<i>28.05.2015 / 12:00 L.T.</i>
Mjerni instrument	<i>Nor 140</i>
Tip zrakoplova	<i>CL-415</i>
Aerodrom polijetanja/slijetanja	<i>Zadar - LDZD</i>
Vjetar/Temperatura/More	<i>070/8kn // 25 C // 1-2</i>
Ruta Leta	<i>LDZD-Kornati-V.jezero-LDZD</i>
Trajanje leta	<i>00:40 min, Flight Time</i>

Mjerenje je obavljeno mjernim instrumentom *Nor 140* postavljenim unutar kabine između pilota i kopilota u razini glave. Zvuk je sniman u periodu od 20 sekundi za svaki režim leta. Zvukomjer *Nor140* koristi se 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 s tri vremenske konstante. (*F-Fast, S-Slow, I-Impulse*) Oprema uz zvukomjer uključuje sljedeće komponente prikazane u Tablici 6:

Tablica 6. Oprema zvukomjera Nor140

[Izvor: Katalog laboratorijske opreme, Fakultet prometnih znanosti, 2013]

<i>DC 12 V Izvor</i>	<i>Instalacijski CD</i>
<i>4 baterije AA</i>	<i>USB kabel</i>
<i>Avionski priključak</i>	<i>Zaštitnik od vjetra</i>
<i>GRAS mikrofon</i>	<i>Uputstva</i>
<i>nor1215 kalibrator</i>	<i>Torba</i>



Slika 9. Prikaz pozicije instrumenta u zrakoplovu prilikom mjerenja te mjerni instrument sa pripadajućom opremom

Tablica 7. Režimi leta zrakoplova CL-415

REŽIM	SNAGA	BRZINA
1. POKRETANJE	-----	-----
2.VOŽENJE	<i>Ground Idle</i>	<i>15 kn</i>
3.POLIJETANJE	<i>90% Torque, max 700 ITT</i>	<i>88 kn</i>
4.PENJANJE	<i>80 Torque</i>	<i>110 kn</i>
5.HORIZONTALAN LET	<i>Max Cruise</i>	<i>165 kn</i>
6.SPUŠTANJE	<i>5 Torque</i>	<i>95 kn</i>
7.PRIKUPLJANJE VODE	<i>MAX</i>	<i>75 kn</i>
8.IZBACIVANJE VODE	<i>MAX</i>	<i>115 kn</i>
9.PRILAZ ZA SLIJETANJE	<i>po potrebi</i>	<i>95 kn</i>
10.SLIJETANJE	<i>po potrebi</i>	<i>75 kn</i>

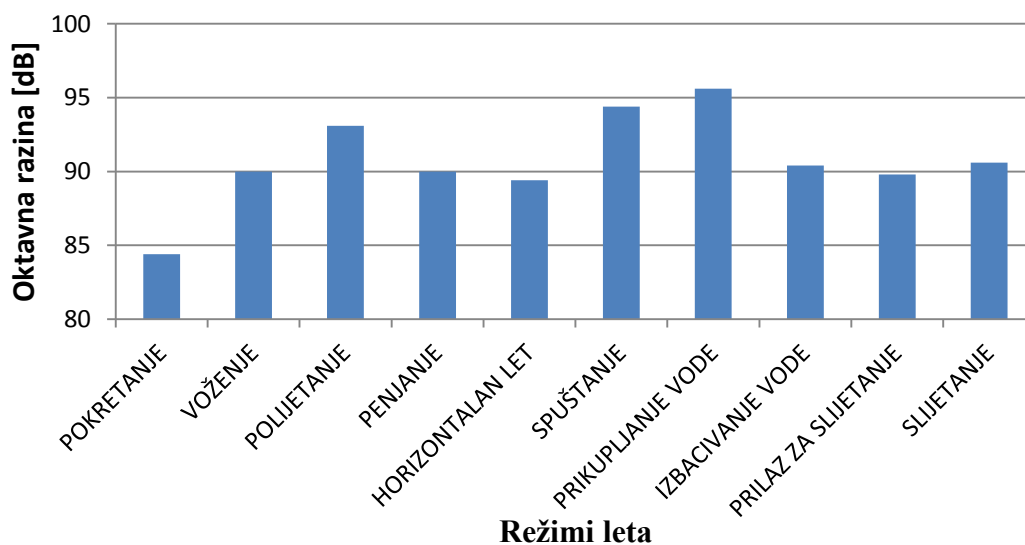
6.2. Rezultati mjerenja

U ovome poglavlju prikazat će se tablično numerički rezultati te grafički prikazi prikupljenih i izmjerenih vrijednosti za svaki režim leta zrakoplova CL-415. U danim tablicama režimi leta biti će označeni sa rednim brojevima od 1-10 dok je detaljan opis režima (snaga, brzina) prikazan u tablici 7. Sve vrijednosti mjerenja buke biti će prikazane u jedinici decibel (dB).

U tablici 8. prikazani su rezultati mjerenja unutarnje kabinske buke A – ponderiranom metodom za sve režime leta te je prikazana srednja vrijednost razine buke u decibelima, dok se na slici 10. može vidjeti grafička usporedba razine buke za pojedine režime leta. Iz tablice i grafikona može se vidjeti da je najveća srednja razina buke mjerena A – ponderiranom metodom u režimu spuštanja na vodenu površinu te režimu skupljanja vode (režim 5 i 6). U tim režimima razina buke je 95,6 dBA odnosno 94,4 dBA. Može se zaključiti da je razina buke najveća u najkritičnijim fazama leta, ali i da je u ostalim režimima također visoko iznad normalnih razina.

Tablica 8. Vrijednosti mjerenja unutarnje kabinske buke A-ponderiranom metodom (srednja vrijednost)

Režim	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
[dBA]	84.4	90	93.1	90	89.4	94.4	95.6	90.4	89.8	90.6

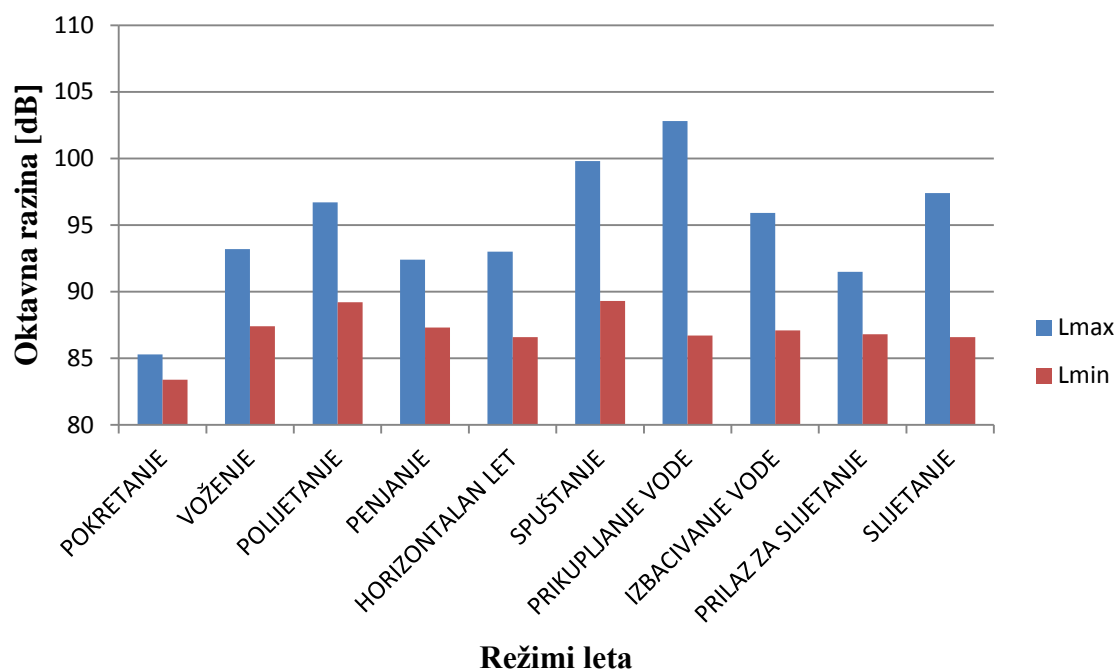


Slika 10. Grafikon unutarnje buke zrakoplova CL-415 izmjerene A-ponderiranom metodom (srednja vrijednost) pri određenim režimima leta. (*A-weighted Integrated Averaged SPL (Leq)*)

U tablici 9. može se vidjeti rezultat mjerenja unutarnje kabinske buke A-ponderiranom metodom, tj. rezultat maksimalne i minimalne vrijednosti razine buke u periodu mjerenja buke od 20 sekundi. Na slici 11. može se vidjeti grafička usporedba minimalne i maksimalne vrijednosti razine buke za svaki režim leta. Iz tablice i grafa vidljivo je da minimalna vrijednost jedino u režimu 1 (pokretanje) pada ispod vrijednosti 85 dBA. Također može se vidjeti da je u režimu 6 i 7 (spuštanje i prikupljanje vode) razina buka vrlo blizu granici od 100 dB, tj. u režimu 7 prelazi razinu od 100 dB.

Tablica 9. Vrijednosti mjerenja unutarnje kabinske buke A-ponderiranom metodom (maksimalna i minimalna vrijednost)

Režim	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Max.	85.3	93.2	96.7	92.4	93	99.8	102.8	95.9	91.5	97.4
Min.	83.4	87.4	89.2	87.3	86.6	89.3	86.7	87.1	86.8	86.6

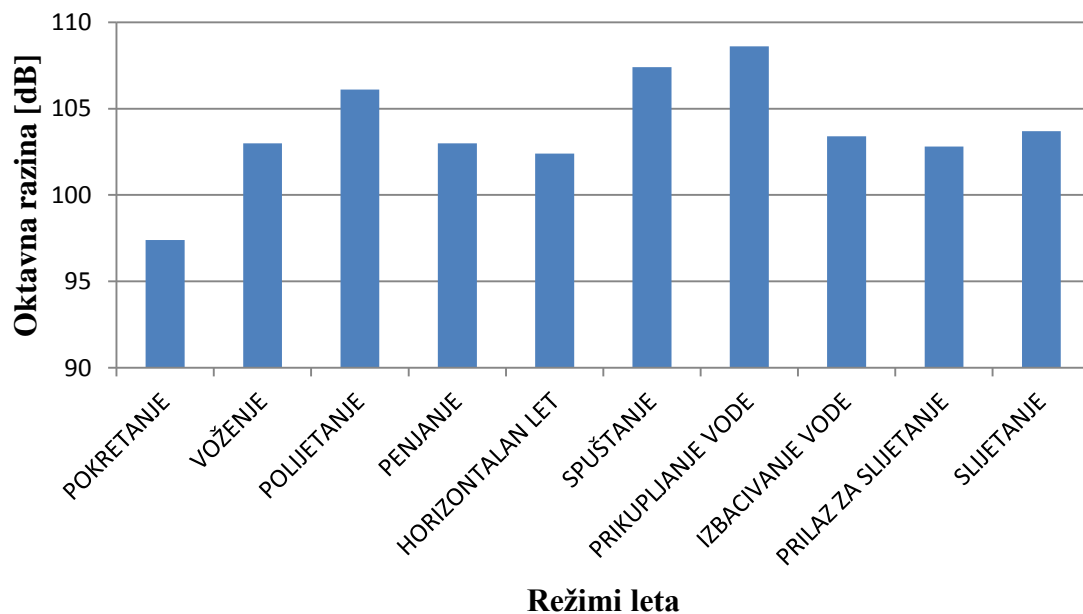


Slika 11. Grafikon unutarnje buke zrakoplova CL-415 mjerene A-ponderiranom metodom (maksimalna i minimalna vrijednost) pri određenim režimima leta. (*A-weighted maximum /minimum SPL Lmax/Lmin*)

U tablici 10. prikazani su rezultati mjerenja unutarnje kabinske buke A ponderiranom metodom, a prikazana je razina izloženosti zvuku (desetostruki dekadni logaritam odnosa izloženosti zvuku prema izloženosti referentnom zvuku koja je dobivena kao produkt kvadrata referentnog zvučnog tlaka i referentnog trajanja od 1 s) te na slici 12 možemo usporediti razinu buke za sve režime leta. Iz tablice i grafa možemo zaključiti da su vrijednosti izloženosti zvuku iznimno velike te u svim režimima leta osim pokretanja prelaze 100 dBA.

Tablica 10. Vrijednosti mjerenja unutarnje kabinske buke A-ponderiranom metodom. Razina izloženosti zvuku (*A-weighted Sound Exposure Level (LE or SEL)*)

Režim	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
[dBA]	97.4	103	106.1	103	102.4	107.4	108.6	103.4	102.8	103.7

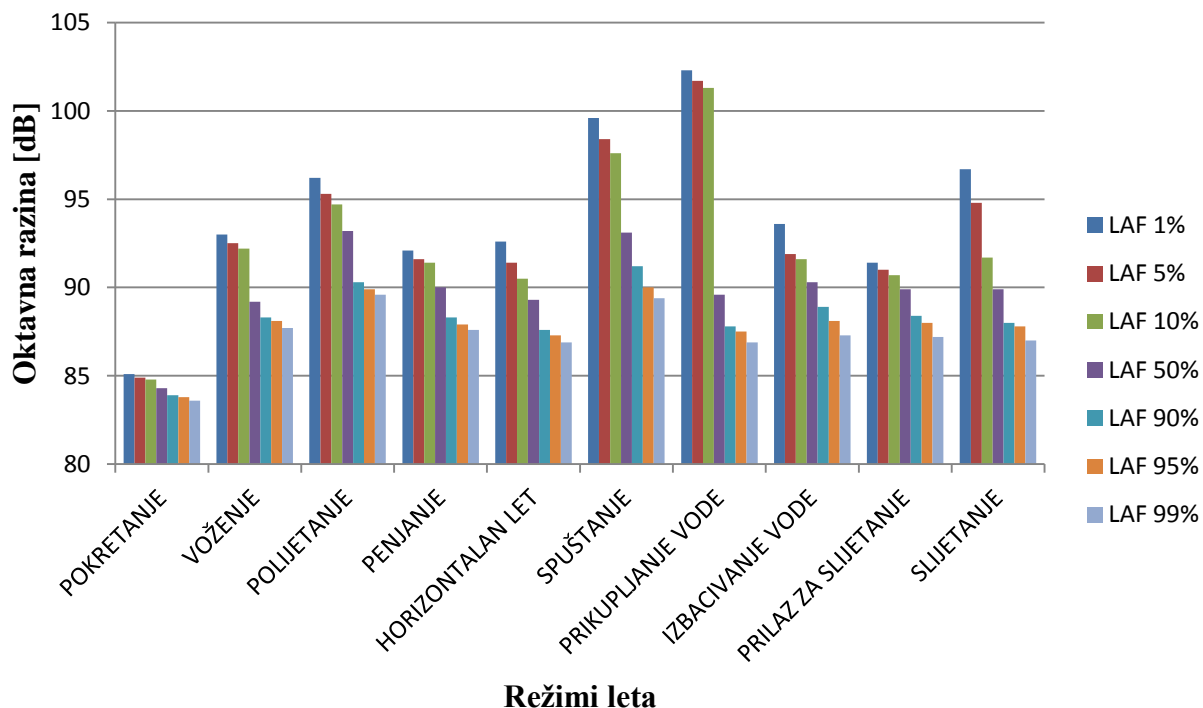


Slika 12. Grafikon unutarnje buke zrakoplova CL-415 mjerene A-ponderiranom metodom. Razina izloženosti zvuku pri određenim režimima leta. *A-weighted Sound Exposure Level (LE or SEL)*

U tablici 11. može se vidjeti prikaz razine unutrašnje buke mjerne A ponderiranom metodom u postotcima od LAF 1 % do LAF 99 % u određenom vremenskom intervalu snimanja buke od 20 sekundi. Vrijednost L_0 je vrijednost L_{max} za pojedini režim, a L_{100} je vrijednost L_{min} za pojedini režim leta. L_{100} prikazuje vrijednost koja je minimalna tijekom 100 % vremena, a vrijednost L_0 vrijednost koja je maksimalna unutar mjernog vremena. Iz tablice 15 može se zaključiti da minimalna razina izloženosti zvuku prelazi razinu od 85 dBA u svim režimima leta osim na pokretanju. Na slici 13. može se vidjeti grafički prikaz usporedbe razine buke u svim režimima leta u postotcima od 1 % - 99 %.

Tablica 11. Vrijednosti mjerenja unutarnje kabinske buke A-ponderiranom metodom u postotcima (*A-weighted Leq Percentiles*) za sve režime.

REŽIM	LAF %						
	1%	5%	10%	50%	90%	95%	99%
1	85,1 (dBA)	84,9(dBA)	84,8(dBA)	84,3(dBA)	83,9(dB)	83,8(dB)	83,6(dB)
2	93(dBA)	92,5(dBA)	92,2(dBA)	89,2(dBA)	88,3(dBA)	88,1(dBA)	87,7(dBA)
3	96,2(dBA)	95,3(dBA)	94,7(dBA)	93,2(dBA)	90,3(dBA)	89,9(dBA)	89,6(dBA)
4	92,1(dBA)	91,6(dBA)	91,4(dBA)	90(dBA)	88,3(dBA)	87,9(dBA)	87,6(dBA)
5	92,6(dBA)	91,4(dBA)	90,5(dBA)	89,3(dBA)	87,6(dBA)	87,3(dBA)	86,9(dBA)
6	99,6(dBA)	98,4(dBA)	97,6(dBA)	93,1(dBA)	91,2(dBA)	90(dBA)	89,4(dBA)
7	102,3(dBA)	101,7(dBA)	101,3(dBA)	89,6(dBA)	87,8(dBA)	87,5(dBA)	86,9(dBA)
8	93,6(dBA)	91,9(dBA)	91,6(dBA)	90,3(dBA)	88,9(dBA)	88,1(dBA)	87,3(dBA)
9	91,4(dBA)	91(dBA)	90,7(dBA)	89,9(dBA)	88,4(dBA)	88(dBA)	87,2(dBA)
10	96,7(dBA)	94,8(dBA)	91,7(dBA)	89,9(dBA)	88(dBA)	87,8(dBA)	87(dBA)



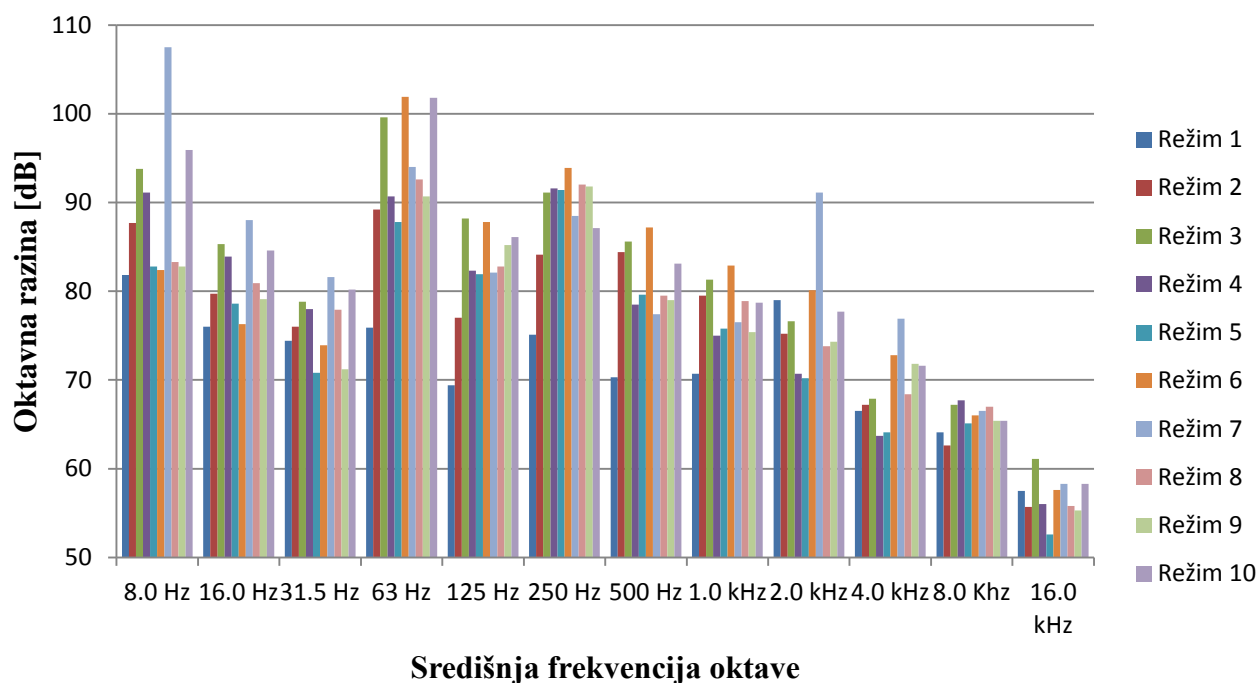
Slika 13. Grafikon unutarnje buke zrakoplova CL-415 mjerene A-ponderiranom metodom u postotcima za sve režime

U tablici 12. prikazani su rezultati oktavnog mjerenja buke zrakoplova u frekvencijskom rasponu od 8.0 Hz – 16.0 kHz za sve režime leta. Oktavna analiza provodi se u svim mjerenjima buke kada pretpostavljamo da je razina buke iznad 90 dBA. Dobiveni rezultati se zatim uspoređuju sa NR⁹ – krivuljama i dijagramima. Pri tome se dopušta prekoračenje krivulje u jednoj ili dvije oktave, ako nisu susjedne, za 3dB. Pošto unutrašnja kabinska buka zrakoplova još nije standardizirana tako nemamo ni određenu standardnu krivulju za unutarnju kabinsku buku te dobivene rezultate nemamo s čime usporediti. Vrijednosti i grafičke usporedbe svih režima leta pri oktavnom mjerenju su prikazane na zajedničkom grafu na slici 14 te na slikama 15-24 je prikazan grafički prikaz oktavnog mjerenja za svaki režim posebno.

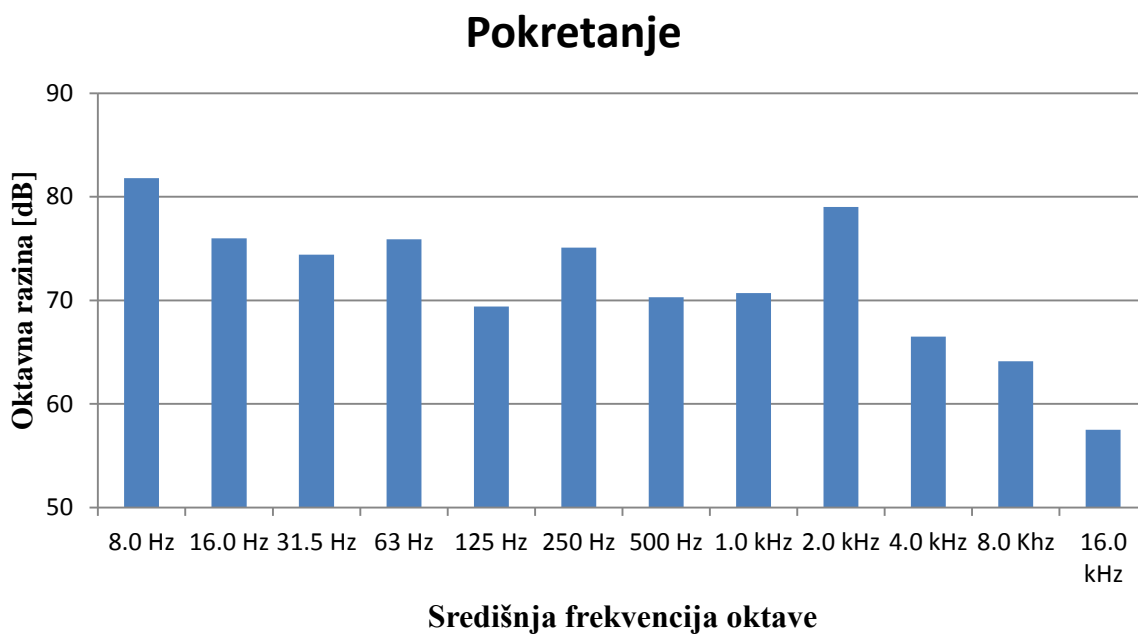
⁹ NR - Noise rating curves, noise rating diagram

Tablica 12. Vrijednosti unutarnjeg oktavnog mjerenja buke zrakoplova CL-415 u svim režimima leta (*Octave-band results in flight regime*).

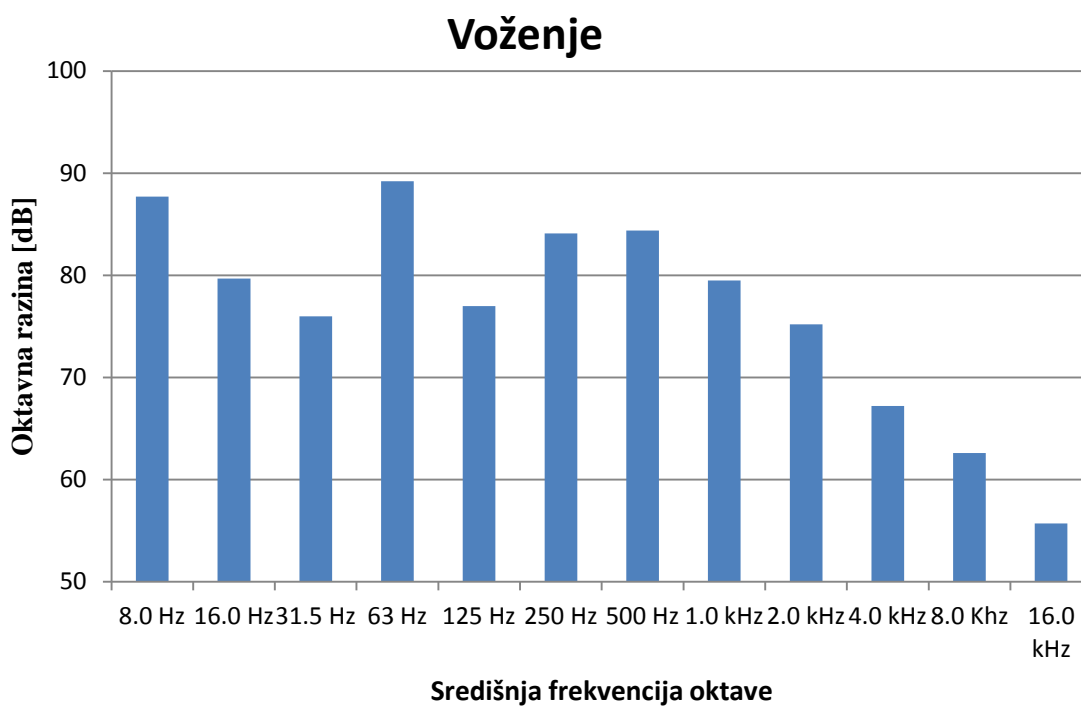
Režim	dB											
	8.0 Hz	16 Hz	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.0 kHz	2.0 kHz	4.0 kHz	8.0 kHz	16.0 kHz
1	81,8	76	74,4	75,9	69,4	75,1	70,3	70,7	79	66,5	64,1	57,5
2	87,7	79,7	76	89,2	77	84,1	84,4	79,5	75,2	67,2	62,6	55,7
3	93,8	85,3	78,8	99,6	88,2	91,1	85,6	81,3	76,6	67,9	67,2	61,1
4	91,1	83,9	78	90,7	82,3	91,6	78,5	75	70,7	63,7	67,7	56
5	81,8	78,6	70,8	87,8	81,9	91,4	79,6	75,8	70,2	64,1	65,1	52,6
6	82,4	76,3	73,9	101,9	87,8	93,9	87,2	82,9	80,1	72,8	66	57,6
7	107,5	88	81,6	94	82,1	88,5	77,4	76,5	91,1	76,9	66,5	58,3
8	83,3	80,9	77,9	92,6	82,8	92	79,5	78,9	73,8	68,4	67	55,8
9	82,8	79,1	71,2	90,7	85,2	91,8	79	70,4	74,3	71,8	65,4	55,3
10	95,9	84,6	80,2	101,8	86,1	87,1	83,1	78,7	77,7	71,6	65,4	58,3



Slika 14. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjernja buke zrakoplova CL-415 u svim režimima leta.

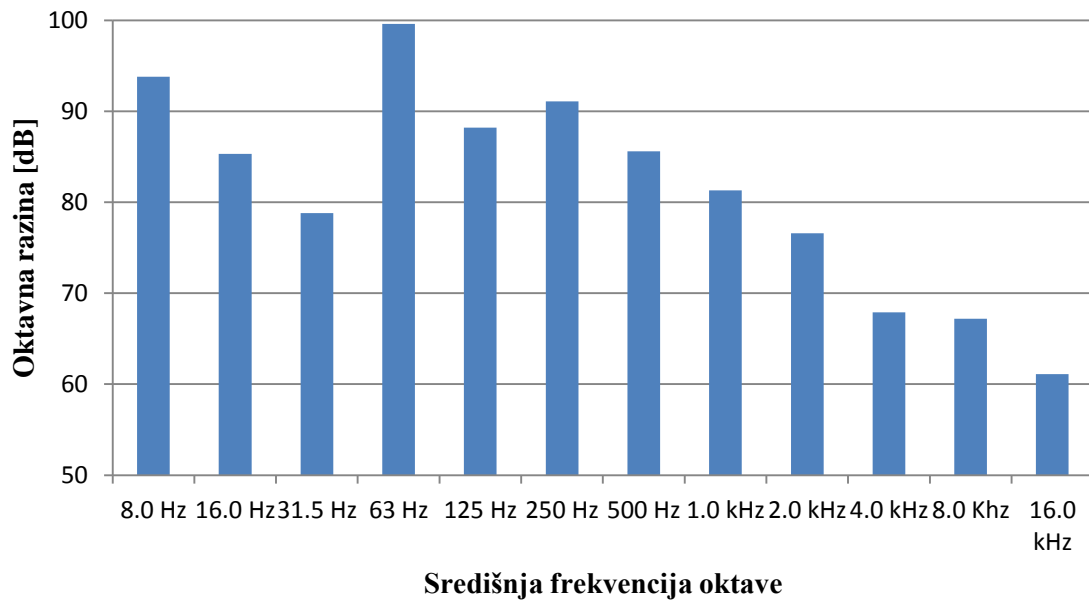


Slika 15. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke zrakoplova CL-415 na pokretanju.



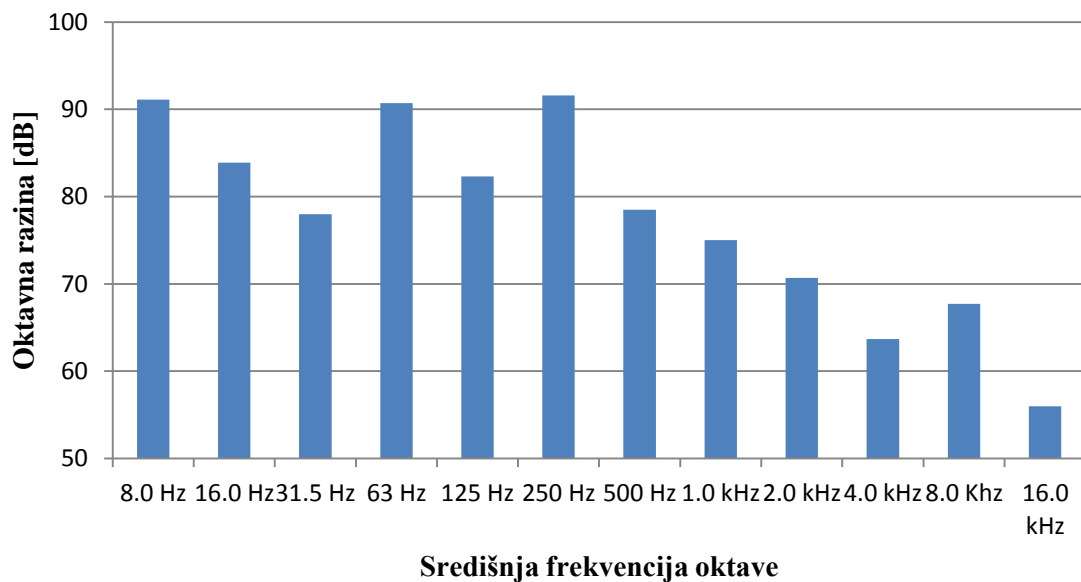
Slika 16. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke zrakoplova CL-415 u voženju.

Polijetanje

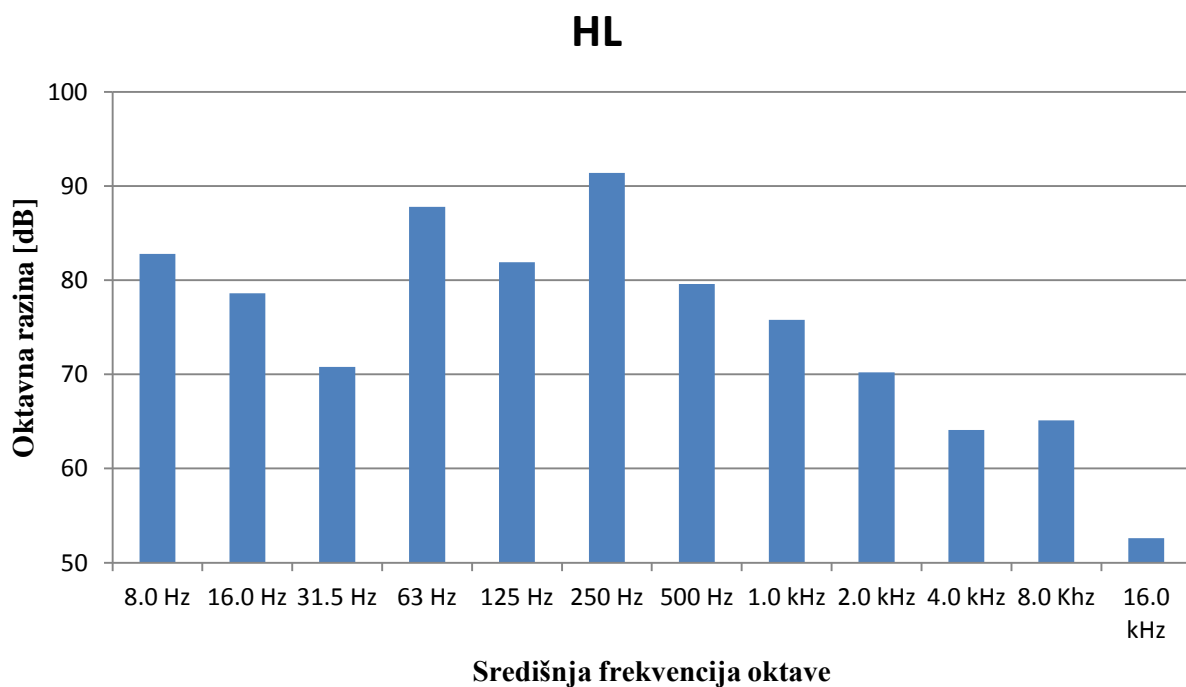


Slika 17. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjernja buke zrakoplova CL-415 u polijetanju.

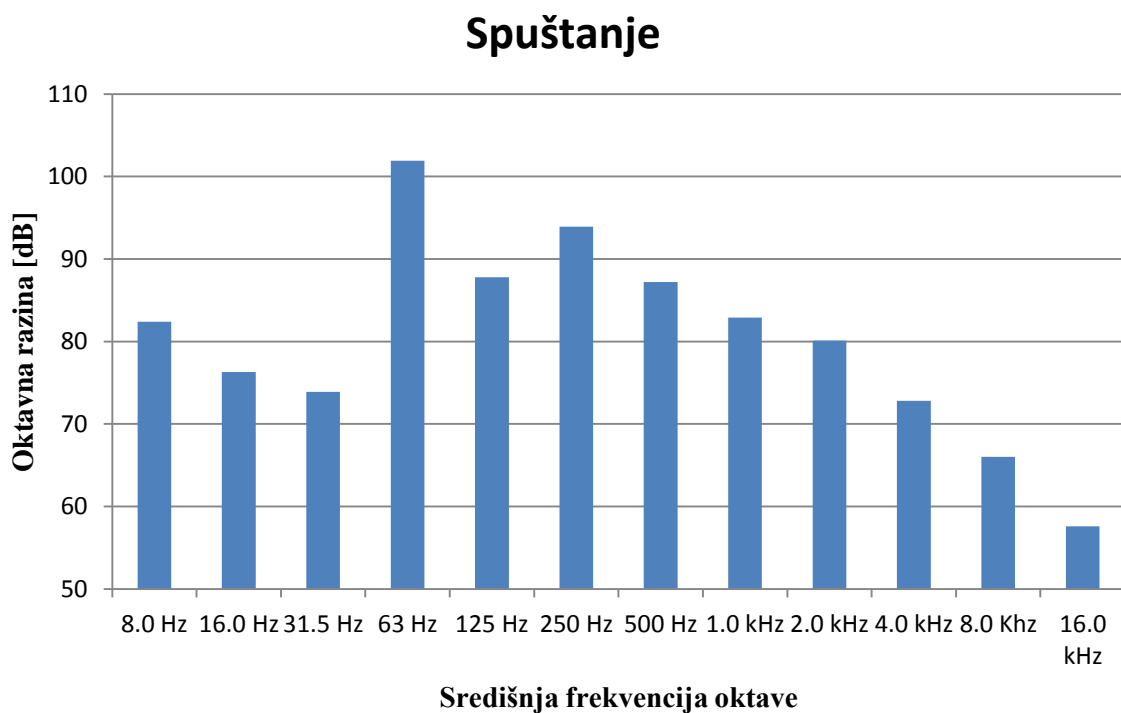
Penjanje



Slika 18. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjernja buke zrakoplova CL-415 u penjanju.

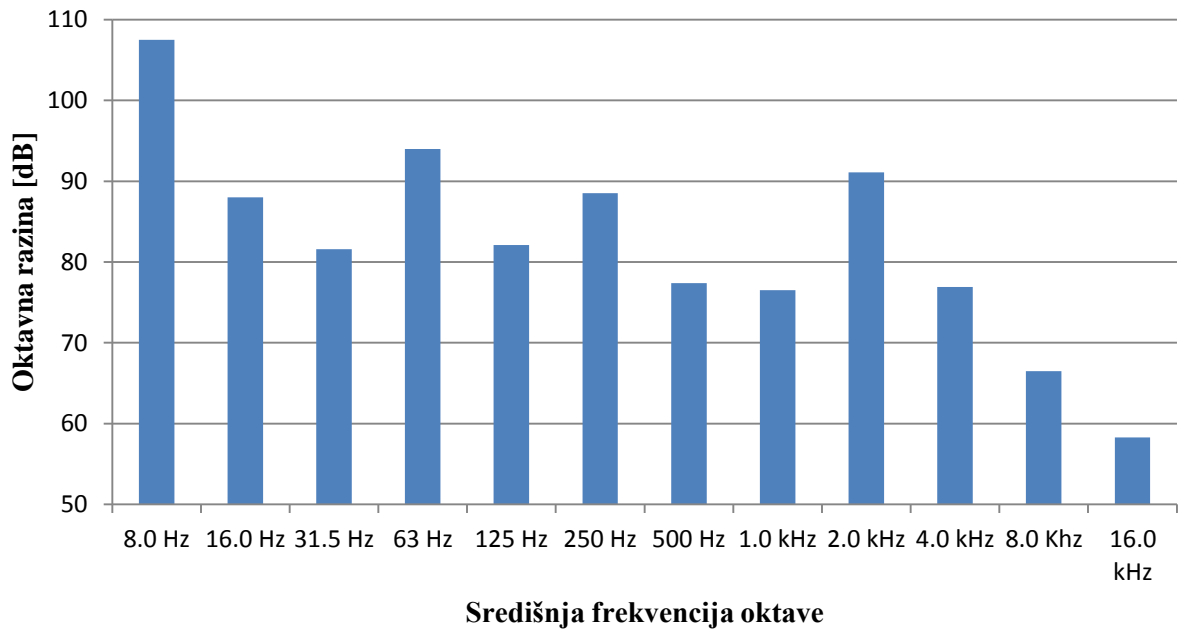


Slika 19. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjernja buke zrakoplova CL-415 u Horizontalnom letu.



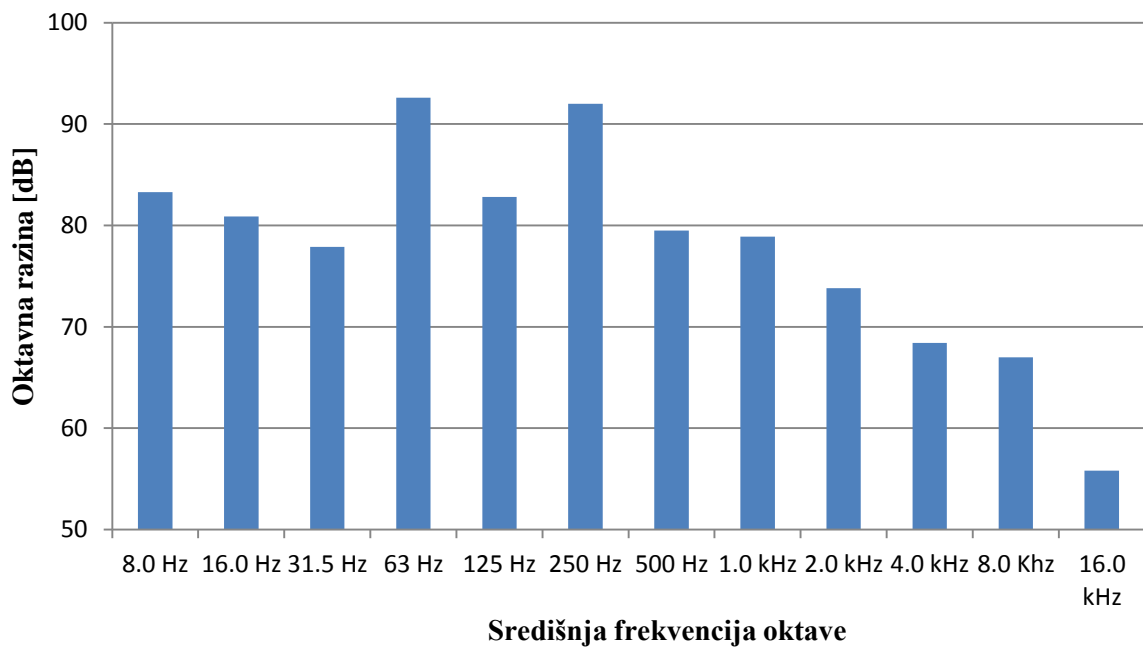
Slika 20. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjernja buke zrakoplova CL-415 u spuštanju.

Prikupljanje vode

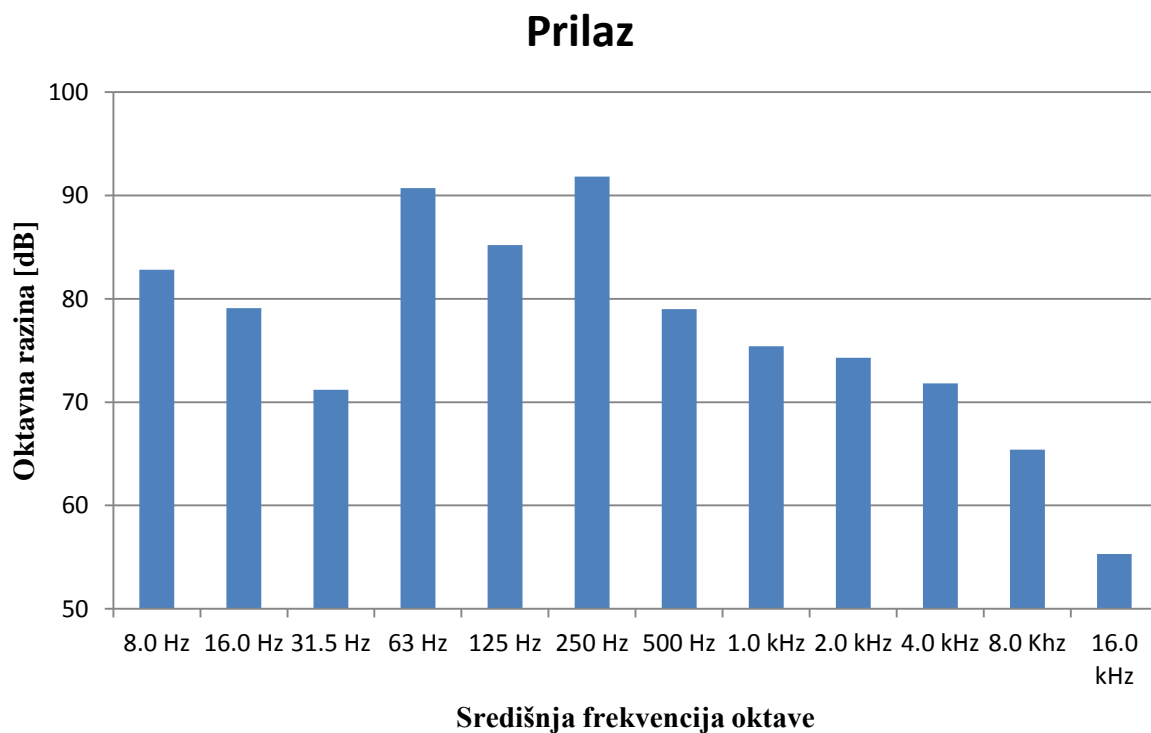


Slika 21. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjernja buke zrakoplova CL-415 u prikupljanju vode.

Izbacivanje vode



Slika 22. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjernja buke zrakoplova CL-415 u izbacivanju vode.



Slika 23. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjernja buke zrakoplova CL-415 u prilazu za slijetanje.



Slika 24. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjernja buke zrakoplova CL-415 na slijetanju

6.3 Izračun SIL i SII Indeksa

6.3.1 SIL

Nivo ometanja govora (SIL - *Speech Interference Level*) određuje maksimalnu udaljenost na kojoj je moguć normalan razgovor. Prema ISO standardu SIL se dobiva mjerenjem područja oktava s centralnim frekvencijama od 0,5 1, 2 i 4 kHz, a zatim se u posebnoj tablici očitava maksimalna udaljenost u metrima s koje je moguće slušanje govora uz zadovoljavajuću razumljivost. To su ujedno i frekvencije odgovorne za dobru razumljivost govora.

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

Utjecaj buke na kvalitetu govornih komunikacija procjenjuje se usporedbom dobivenih rezultata izraženih u decibelima sa referentnim vrijednostima prikazanim u tablici koja prikazuje maksimalnu udaljenost govornika pri normalnim (A) i povišenim (B) glasom pri određenim SIL vrijednostima na kojima je razumljivost komunikacije još uvijek prihvatljiva.

Tablica 13. Maksimalna udaljenost govornika za prihvatljivu razumljivost pri određenoj vrijednosti SIL [*Izvor: Correlation between SIL and SII in a light aircraft cabin during flight; T. Bucak; E. Bazijanac; B. Juričić ICVS14, Cairns, Australia 2007.*]

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

Tablica 14. Primjeri maksimalni prihvatljivih SIL vrijednosti [Izvor: *Correlation between SIL and SII in a light aircraft cabin during flight; T. Bucak; E. Bazijanac; B. Juričić, ICVS14, Cairns Australia 2007.*]

PROSTORIJE	MAKSIMALNI PRIHVATLJIVI SIL (dB)
UČIONICA	30
SALA ZA SASTANKE	35
URED	45
TELEFONSKA GOVORNICA	60
KABINA ZRAKOPLOVA	55-70

Tablica 15. Vrijednosti unutarnje buke zrakoplova CL-415 oktavnim metodom potrebni za izračun SIL indeksa

REŽIMI	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
Pokretanje	75,1	70,3	70,7	79	66,5	64,1
Voženje	84,1	84,4	79,5	75,2	67,2	62,6
Polijetanje	91,1	85,6	81,3	76,6	67,9	67,2
Penjanje	91,6	78,5	75	70,7	63,7	67,7
Horizontalan let	91,4	79,6	75,8	70,2	64,1	65,1
Spuštanje	93,9	87,2	82,9	80,1	72,8	66
Prikupljanje vode	88,5	77,4	76,5	91,1	76,9	66,5
Izbacivanje vode	92	79,5	78,9	73,8	68,4	67
Prilaz za slijetanje	91,8	79	70,4	74,3	71,8	64,4
Slijetanje	87,1	83,1	78,7	77,7	71,6	65,4

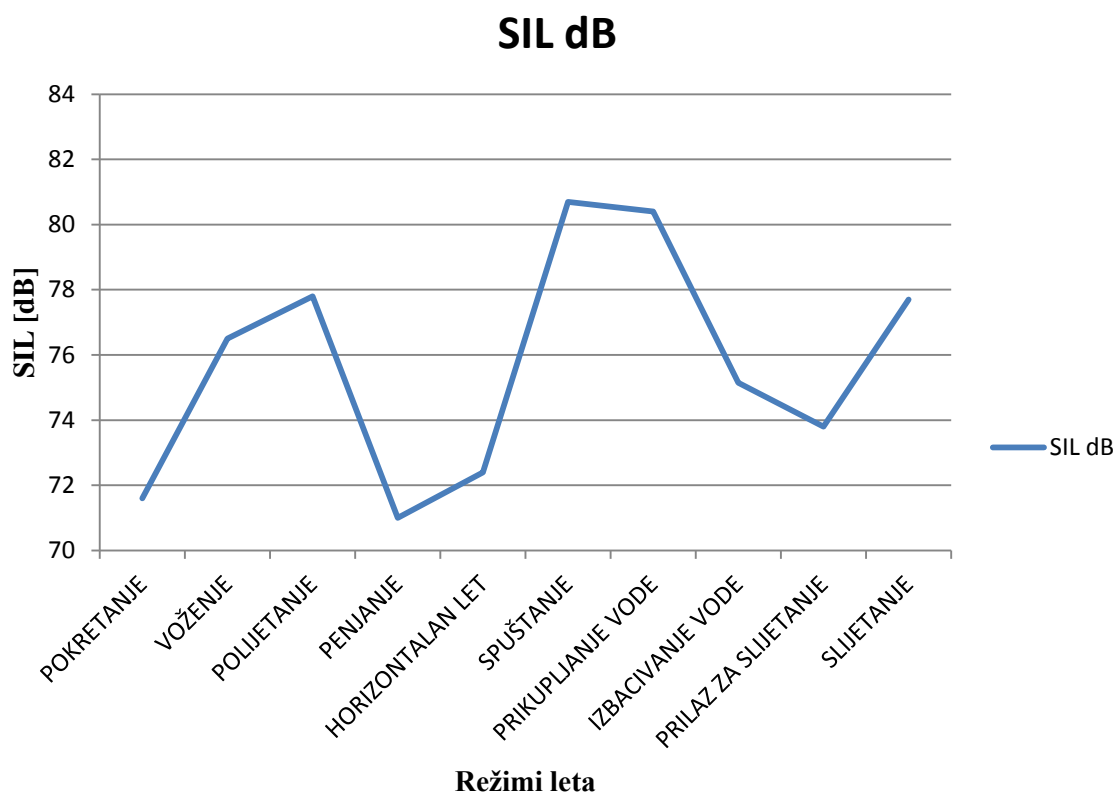
Prema formuli za izračun SIL dobivamo sljedeće rezultate vrijednosti SIL za određene režime leta:

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

U tablici 15 prikazani su dobiveni rezultati za određene režime leta. Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da su vrijednosti SIL za sve režime iznad maksimalne dopuštene razine za kabinu zrakoplova a koji iznosi prema tablici 13. od 55-75 dB

Tablica 16. Dobivene vrijednosti SIL za određene režime leta zrakoplova CL-415

REŽIMI	SIL (dB)
Pokretanje	71,6
Voženje	76,5
Polijetanje	77,8
Penjanje	71
Horizontalan let	72,4
Spuštanje	80,7
Prikupljanje vode	80,4
Izbacivanje vode	75,1
Prilaz za slijetanje	73,8
Slijetanje	77,7

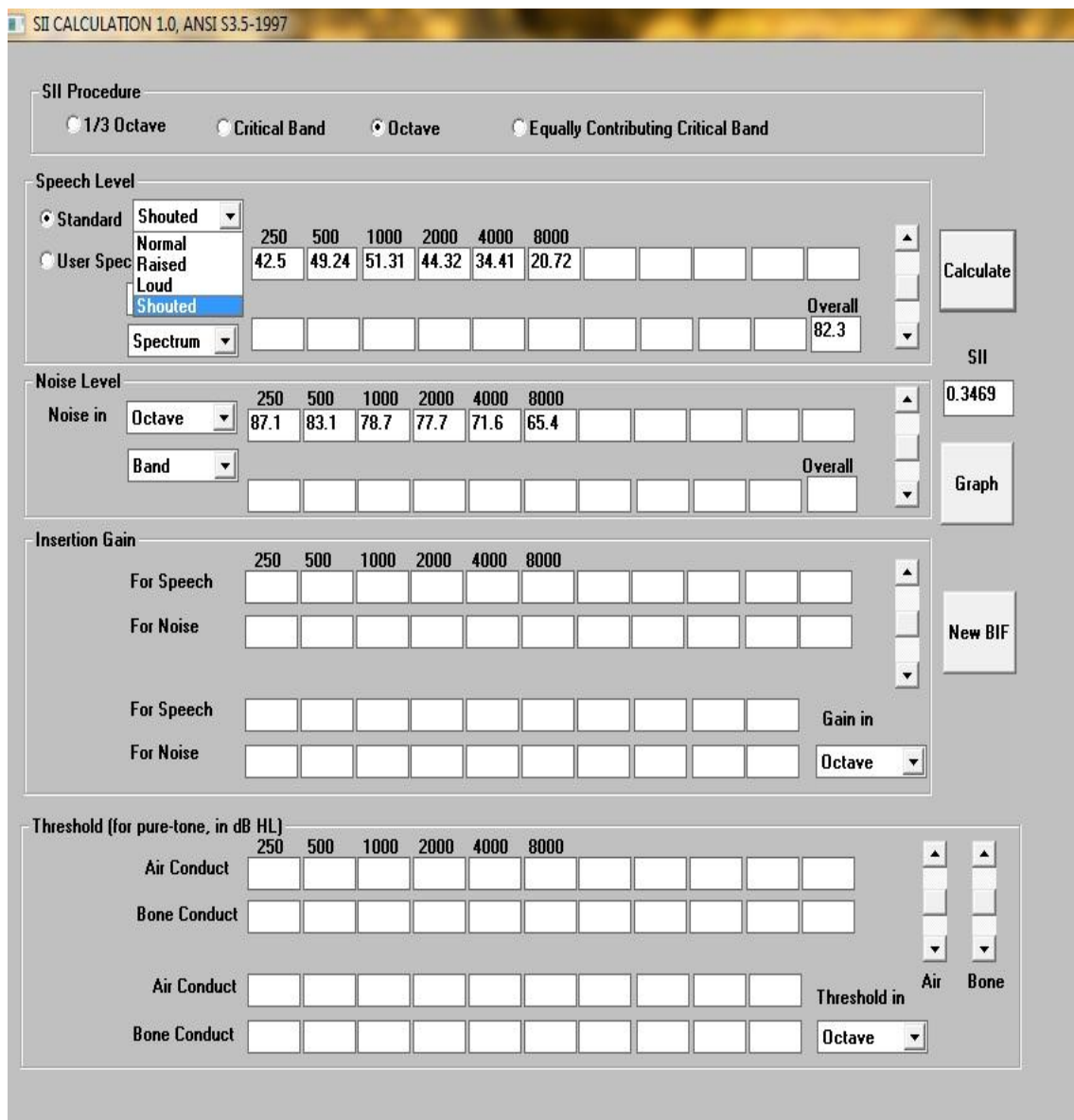


Slika 25. Grafikon dobivenih vrijednosti SIL za zrakoplov CL-415 za određene režime leta

6.3.2 SII indeks (The Speech Intelligibility Index)

SII – indeks razumljivosti govora je mjera u rasponu od 0-1 koja nam govori kolika je razumljivost govora pri određenoj buci. Ako je vrijednost između 0-0.45 onda je govor nerazumljiv, minimalna prihvatljiva vrijednost je 0.45, a sve od 0.75 pa do 1 se smatra odličnom razumljivosti govora.

Za izračun SII indeksa koristi se računalni program *SII Calculation 1.0* © for ANSI S3.5 – 1997. U program se unose vrijednosti unutarnje buke dobivene oktavnim metodom u rasponu od 0.25 kHz do 8 kHz te se odabire jedna od vrijednosti jačine glasa (*normal, raised, loud, shouted*) te se pritiskom na tipku "calculate" dobiva određena vrijednost SII indeksa

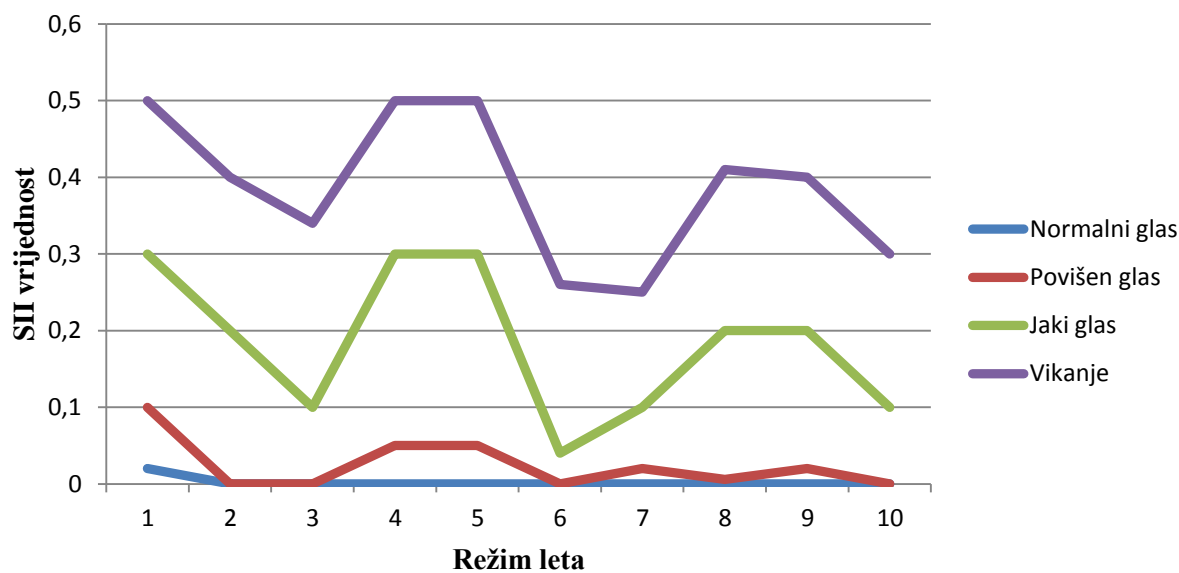


Slika 26. Izgled sučelja programa za proračun SII indeksa sa pregledom potrebnih parametar

U tablici 17. prikazani su rezultati dobiveni sa programom *SII Calculation* za sve režime leta pri četiri vrste glasa (normalan, povišen, jak, vikanje). Iz dobivenih rezultata može se zaključiti kako minimalnu vrijednost SII-a za normalnu komunikaciju koja iznosi od 0.45-0.75 nije moguće ostvariti ni u jednom režimu leta osim u režimu pokretanja i penjanja, gdje je moguće komunikaciju ostvariti samo vikanjem.

Tablica 17. Dobivene vrijednosti SII iz računalnog programa za određene režime leta

	SII			
	Normalan glas	Povišen glas	Jaki glas	Vikanje
Pokretanje	0.02	0.1	0.3	0.5
Voženje	0	0	0.2	0.4
Polijetanje	0	0	0.1	0.3
Penjanje	0	0.05	0.3	0.5
Horizontalan let	0	0.05	0.3	0.5
Spuštanje	0	0	0.04	0.3
Sakupljanje vode	0	0.02	0.1	0.3
Izbacivanje vode	0	0.006	0.2	0.4
Prilaz za slijetanje	0	0.02	0.2	0.4
Slijetanje	0	0	0.1	0.3



Slika 27. Grafički prikaz dobivenih rezultata SII za određene režime leta od 1-10

7. MJERE ZAŠTITE I REDUKCIJE BUKE

Zaštita od buke se sastoji u poduzimanju različitih mjera i postupaka kojima se buka stalnog intenziteta svodi u tolerantne granice i time sprječava njezin štetan utjecaj na čovjeka.

Medicinske mjere zaštite obuhvaćaju otorinolaringološke i audiometrijske preglede i to prije stupanja u radni odnos i tijekom radnog odnosa (periodični pregledi). Prilikom prvih pregleda vrši se i test zamora sluha kako bi se otkrila osjetljivost na buku. U medicinske svrhe spada i redovita kontrola radnih mjesta s mjerenjem intenziteta buke.

Organizacijske mjere zaštite obuhvaćaju vremenska ograničenja zaposlenika na određenom radnom mjestu, uvođenja dodatnih pauza i stanki za vrijeme radnog vremena ili promjenu radnog mjesta,

Građevinsko – planske mjere zaštite obuhvaćaju pravilan raspored objekata i pogona, prostorno odvajanje izvora buke te pravilan raspored radnih strojeva.

Tehničke mjere zaštite imaju cilj smanjiti buku na samom izvoru, na putu širenja te na mjestu prijema.

- O smanjenju buke na samim izvorima vodi se posebna briga još prilikom projektiranja uređaja. Da bi se to postiglo upotrebljavaju se prigušivači različitih oblika i konstrukcija, ali se gotovo svi zasnivaju na istom principu rada – promjene pravca i brzine kretanja zraka i plinova koji iz motora prolaze kroz cijevi (sl. 28.). Zaštita od buke koja se prenosi vibracijama postiže se stavljanjem izvora zvuka na podlogu od zvučno izolacijskog materijala, odnosno umetanjem mekih elastičnih umetaka (gumeni prigušivači, opruge...).



Slika 28. Prikaz promjene mlaznice u svrhu smanjenja buke izazvane pogonskim sustavom. (smanjenje buke do max 5 dB, ali i poremećaj same aerodinamike te potrošnje goriva i smanjenje potiska) [Izvor : <https://commons.wikimedia.org>]

- Kabine na zrakoplovima oblažu se izolacijskim materijalima koji apsorbiraju buku. Materijali su većinom od određene vrste vune, morske trave ili papirnih ljepenki premazanim bitumenom i ostalim izolacijskim materijalom (sl. 29.). Često se ugrađuju i elastični umeci ili se ostavljaju zračni međuprostori.



Slika 29. Primjer oblaganja kabine zrakoplova u svrhu smanjenja unutarnje kabinske buke

[Izvor: <http://www.aerotechs.com>]

- Za zaštitu pojedinca (posada zrakoplova) od velike buke upotrebljavaju se također mnoga sredstva, ali najviše tzv. čepići za uši te antifoni (sl. 30.). Čepovi se stavljaju u ušni kanal, a antifoni se stavljaju preko cijelog uha ili kod samog pilota su to slušalice i kaciga koja ide preko cijele glave. Uporabom ušnih čepića buka se može smanjiti za oko 35 dB, ali je zaštita od nižih frekvencija manja (Tablica 18.). Antifoni i zaštitna kaciga imaju obično okolnu ljusku obloženu staklenom vunom koja prigušuje zvučne valove, a ispod nje sloj plastične koji apsorбира buku. Kombiniranom uporabom čepova i antifona postiže se kratkotrajna zaštita i od buke visokog intenziteta.



Slika 30. Prikaz osobne zaštite protiv buke (antifon, čepići za uši te pilotske slušalice)

[Izvor: www.flightstore.co.uk]

Tablica 18. Primjer gušenja zvuka (dB) u ovisnosti o oktavnim frekvencijskim pojasevima

[Autor : K. Jambrošić; *Osobna zaštita od buke; predavanja; Zagreb 2014*]

Zaštita sluha	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Čepovi za uši	17	18	19	21	29	31	33
Naušnjaci	10	15	23	33	36	37	38

Da bi se smanjila buka na zrakoplovima općenito je potrebno poduzeti određene tehnološke mjere, a to su:

- Promjene na elementima zrakoplovnog motora
- Ugradnja sustava za prigušenje zvuka na motorima
- Poboljšanje strukture zrakoplova
- Rekonstrukcija upravljačkih površina (predkrilca, zakrilca, spoileri)
- Ugradnjom vertikalnih krilaca (Winglet)
- Postavljanje fizičkih barijera buci na putu između izvora i prijemnika.

8. Zaključak

Izvršenim mjerenjima unutarnje kabinske buke zrakoplova CL-415 te prikazanim rezultatima može se zaključiti da je zrakoplov CL-415 veliki izvor buke, te kao što se pretpostavljalo, kabinska je buka vrlo velikog inteziteta. Iz provedenih mjerenja može se vidjeti da je najveća razina buke mjerena A-ponderiranom metodom (L_{Amax}) u režimu prikupljanja vode te iznosi 102.8 dB, dok je najmanja izmjerena razina buke u režimu pokretanja i iznosi 83,4 dB (L_{Amin}). Također mjerenjem A - ponderiranom metodom razine izloženosti zvuku (L_{AE}) vidimo da je maksimalna izmjerena vrijednost u režimu prikupljanja vode, a iznosi 108.6 dBA, dok je najmanja u režimu pokretanja i iznosi 97.4 dBA. Kod oktavnog mjerenja možemo vidjeti da je također najveća izmjerena vrijednost u režimu prikupljanja vode te iznosi 107.5 dB na središnjoj frekvenciji od 8.0 Hz. Iz oktavnog mjerenja može se zaključiti kako se vrijednost buke smanjuje prema višim frekvencijama, što se moglo i očekivati s obzirom da oplata kao i zračna masa puno bolje prigušuje visoke za razliku od nižih frekvencija. Samo prigušenje na oplati ipak nije dovoljno da se vrijednost unutrašnje buke svede na razinu ispod 80 dBA.

Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da je kabinska buka u svim režimima leta u prosjeku iznad 85 dBA, a najviša vrijednost je u režimu spuštanja na vodenu površinu i samog režima prikupljanja vode. Kako dugotrajna izloženost buci vrijednosti veće od 80 dBA može uzrokovati oštećenje sluha i druge tjelesne poteškoće, može se zaključiti kako su piloti ovog zrakoplova ugroženi bukom te je potrebna česta provjera zaštitne opreme za sluh pogotovo u operativnim letovima gašenja požara kada je naprezanje pilota (psihičko i fizičko) na maksimalnoj razini. Također se preporuča da posada zrakoplova (pilot, kopilot, tehničar letač) uz pilotske slušalice nose također i čepiće za uši kako bi se dodatno osigurali od utjecaja buke. Promatrajući rezultate SIL i SII indeksa može se zaključiti da komunikacija unutar kabine u bilo kojem režimu leta u slučaju otkaza mikrofona ne bi bila moguća ni normalnim ni povišenim glasom te razumljivost govora ne bi bila prihvatljiva u niti jednom režimu leta koristeći (normalan, povišen, glasan) govor, osim u režimu pokretanja, penjanja i horizontalnog leta, ali samo vikanjem i to pri minimalnom prihvatljivom koeficijentu $SII=0.5$. U smanjenju utjecaja kabinske buke općenito u zrakoplovstvu može se učiniti još mnogo toga, od samog postavljanja zvučno izolacijskog materijala unutar kabine do smanjenja razine buke na samom izvoru te postavljanje posebnih materijala za smanjenje vibracija. Kabinska buka zahtjeva poseban dio u istraživanju buke koja je većinom usmjerena na mjerenje vanjske buke

te utjecaj buke na okolinu jer kabinska buka ima velik utjecaj na posadu zrakoplova i može dovesti do značajnog utjecaja u smanjenju sigurnosti letenja.

Literatura

- [1.] T. Bucak, E. Bazijanac, B. Juričić : *Correlation between SIL and SII in a light aircraft cabin during flight*, ICVS14, Cairns, Australia, 2007
- [2.] J. Ivošević, D. Miljković, K. Krajček: *Comparative interior noise measurements in a large transport aircraft – Turboprops vs. Turbofans*, 5th congress of Alps-Adria Acoustic Association, Petrčane, Croatia, 2012
- [3.] M. Birt, J. Ivošević, I. Varešak: *Cockpit noise analysis in a small training aircraft*, 5th congress of Alps-Adria Acoustic Association, Petrčane, Croatia, 2012
- [4.] Vrsalovic, Z .A: *Zrakoplovna psihologija*, Fakultet prometnih znanosti. Zagreb, 1998
- [5.] Gospodnetić, D: *Akustika*, Tehnička enciklopedija JLZ, sv 4. 1963
- [6.] *Zakon o zaštiti od buke*, Zagreb,2003
- [7.] ICAO, Annex 16, Volume 1, *Aircraft noise*, 3rd edition, 1993
- [8.] CL-415- *Pilot training guide*, 1994, Canada
- [9.] Bombardier –model CL-415 *airplane flight manual*, 1994,revision 2008
- [10.] I. Štimac: *Implementacija sustava praćenja i analiza buke na zračnoj luci Zagreb*, Magistarski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009
- [11.] Radovanovic, R: *Analiza buke zrakoplova ZLIN 242L*, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009
- [12.] Smajo, D: *Akustička analiza buke zrakoplova Pilatus PC-9*, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2005
- [13.] *Medicinska enciklopedija*, br 10, 1965, Jugoslavenski leksikografski zavod
- [14.] *Glasnik RV i PVO*, broj 1, 3, 1-2 (1974, 1976, 1985), 11082 Zemun;
- [15.] E. Foster, J: *The pilot's Guide to Cabine Noise*, First edition, Arrow Press Tucson, 1995
- [16.] **Nor-140**, Instruction manual, v3RO; December 2008 Edition;_Norway
- [17.] H. Domitrović; K. Jambrošić; A. Petošić ; *Prijenos Zvuka*; 1. Izdanje, Zagreb 2015,Element
- [18.] B. Ivančević; *Akustika, elektroakustika, Audio frekvencijski sklopovi i uređaji*; Inženjerski priručnik IP3; Zagreb 2002; Školska knjiga Zagreb

Popis slika i tablica

Slika 1. Građa ljudskog uha

Slika 2. Audiogram normalnog ljudskog uha

Slika 3. Audiogram pokazuje očuvan sluh

Slika 4. Audiogram pokazuje tipično oštećen sluh

Slika 5. Izvori i putovi buke uzrokovane pogonskim sustavom i strukturom zrakoplova koji rezultiraju unutarnjom kabinskom bukom kod zrakoplova CL-415

Slika 6. Izvori buke na zrakoplovu

Slika 7. Motor zrakoplova CL-415 sa elisom

Slika 8. Ilustracija turboprop motora sa označenim dijelovima

Slika 9. Prikaz izvora buke koju stvara struktura zrakoplova

Slika 10. Prikaz pozicije instrumenta u zrakoplovu prilikom mjerenja te mjerni instrument sa pripadajućom opremom

Slika 11. Grafikon unutarnje buke zrakoplova CL-415 mjerene A-ponderiranom metodom (srednja vrijednost) pri određenim režimima leta. (A-weighted Integrated Averaged SPL (Leq))

Slika 12. Grafikon unutarnje buke zrakoplova CL-415 mjerene A-ponderiranom metodom (maksimalna i minimalna vrijednost) pri određenim režimima leta. (A-weighted maximum /minimum SPL Lmax/Lmin))

Slika 13. Grafikon unutarnje buke zrakoplova CL-415 mjerene A-ponderiranom metodom Razina izloženosti zvuku pri određenim režimima leta. A-weighted Sound Exposure Level (LE or SEL)

Slika 14. Grafikon unutarnje buke zrakoplova CL-415 mjerene A-ponderiranom metodom u postocima za sve režime

Slika 15. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke zrakoplova CL-415 u pokretanju

Slika 16. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke zrakoplova CL-415 u voženju

Slika 17. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke zrakoplova CL-415 u polijetanju

Slika 18. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjerenja buke zrakoplova CL-415 u penjanju

Slika 19. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjernja buke zrakoplova CL-415 u Horizontalnom letu

Slika 20. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjernja buke zrakoplova CL-415 u spuštanju

Slika 21. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjernja buke zrakoplova CL-415 u prikupljanju vode

Slika 22. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjernja buke zrakoplova CL-415 u izbacivanju vode

Slika 23. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjernja buke zrakoplova CL-415 u prilazu za slijetanje

Slika 24. Grafikon unutarnjeg oktavnog mjernja buke zrakoplova CL-415 na slijetanju

Slika 25. Grafikon dobivenih vrijednosti SIL za zrakoplov CL-415 za određene režime leta

Slika 26. Izgled sučelja programa za proračun SII indeksa sa pregledom potrebnih parametar

Slika 27. Grafički prikaz dobivenih rezultata SII za određene režime leta od 1-10

Slika 28. Prikaz promjene mlaznice u svrhu smanjenja buke izazvane pogonskim sustavom. (smanjenje buke do max 5 dB ali i poremećaj same aerodinamike te potrošnje goriva i smanjenje potiska)

Slika 29. Primjer oblaganja kabine zrakoplova u svrhu smanjenja unutarnje kabinske buke

Slika 30. Prikaz osobne zaštite protiv buke (antifon,čepići za uši te pilotske slušalice)

Tablica 1: Akustičke snage nekih izvora zvuka

Tablica 2. Tehničke značajke aviona CL-415

Tablica 3. Ostale značajke zrakoplova CL-415

Tablica 4. Razina buke pri određenim režimima

Tablica 5. Podaci o mjerenju

Tablica 6. Oprema zvukomjera Nor140

Tablica 7. Režimi leta zrakoplova CL-415

Tablica 8. Vrijednosti mjerenja unutarnje kabinske buke A-ponderiranom metodom (srednja vrijednost)

Tablica 9. Vrijednosti mjerenja unutarnje kabinske buke A-ponderiranom metodom (maksimalna i minimalna vrijednost)

Tablica 10. Vrijednosti mjerenja unutarnje kabinske buke A-ponderiranom metodom. Razina izloženosti zvuku (*A-weighted Sound Exposure Level (LE or SEL)*)

Tablica 11. Vrijednosti mjerenja unutarnje kabinske buke A-ponderiranom metodom u postotcima (*A-weighted Leq Percentiles*) za sve režime.

Tablica 12. Vrijednosti unutarnjeg oktavnog mjerenja buke zrakoplova CL-415 u svim režimima leta (Octave-band results in flight regime).

Tablica 13. Maksimalna udaljenost govornika za prihvatljivu razumljivost pri određenoj vrijednosti SIL

Tablica 14. Primjeri maksimalni prihvatljivih SIL vrijednosti

Tablica 15. Vrijednosti unutarnje buke zrakoplova CL-415 oktavnom metodom potrebni za izračun SIL indeksa

Tablica 16. Dobivene vrijednosti SIL za određene režime leta zrakoplova CL-415

Tablica 17. Dobivene vrijednosti SII iz računalnog programa za određene režime leta

Tablica 18. Primjer gušenja zvuka (dB) u ovisnosti o oktavnim frekvencijskim pojasevima