

Eksperimentalno određivanje buke malih zrakoplova s različitim klipnim motorima

Kuzmanović, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:119:027524>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Marko Kuzmanović

**EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE BUKE MALIH
ZRAKOPLOVA S RAZLIČITIM KLIPNIM MOTORIMA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2018.

Zagreb, 15. ožujka 2018.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 4494

Pristupnik: **Marko Kuzmanović (0135228967)**
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Eksperimentalno određivanje buke malih zrakoplova s različitim klipnim motorima**

Opis zadatka:

Klasificirati izvore buke zrakoplova. Opisati tehničko-eksploatacijske značajke ispitivanih zrakoplova i njihovih pogonskih grupa. Dati pregled mjernih metoda, odabrati optimalnu metodu i isplanirati postupak mjerenja. Provesti planirano mjerenje buke na zrakoplovima Cessna 172R i FR172J u statičkim i dinamičkim režimima, na zemlji i u zraku pri različitim fazama leta. Analizirati dobivene rezultate mjerenja i izvesti odgovarajući zaključak.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

prof. dr. sc. Tino Bucak

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE BUKE MALIH
ZRAKOPLOVA S RAZLIČITIM KLIPNIM MOTORIMA**

**EXPERIMENTAL NOISE DETERMINATION OF SMALL
AIRCRAFT WITH DISSIMILAR PISTON POWERPLANTS**

Mentor: prof. dr. sc. Tino Bucak

Student: Marko Kuzmanović

JMBAG: 0135 228 967

Zagreb, rujan 2018. g.

SAŽETAK

Piloti malih elisno klipnih zrakoplova su podložni utjecaju buke značajnih razina kakvu proizvode poglavito pogonske grupe takvih zrakoplova. Stoga je zanimljivo odrediti karakteristike takve buke, pogotovo s obzirom na neke dane zahtjeve ili usporedbe. Korištenjem odgovarajućih mjernih uređaja može se doći do preciznih mjernih rezultata koji će ukazivati na razmjere utjecaja buke na pilota koje može doživjeti tijekom leta. U ovom diplomskom radu provedeno je eksperimentalno utvrđivanje i usporedba buke dva zrakoplova istog tipa, ali sa motorima različite snage. Svrha je bila odrediti koliko se razlikuju zvučni otisci obaju motora te procijeniti koji od njih je bučniji i subjektivno neugodniji. Korelirao se razmjer buke kako bi se utvrdio stupanj promjene ovisno o promjeni snage pogonske grupe i sukladno tome stupanj povećanja utjecaja snažnijih motora na samog pilota. Upotrebljavajući stvarne, opipljive i konkretne mjerne rezultate, cilj ovog istraživanja je dokazati kako buka zrakoplova utječe na ergonomiju i performanse pilota s obzirom na različitost pogonske grupe.

KLJUČNE RIJEČI: buka; mali elisno klipni zrakoplovi; pogonska grupa; utjecaj

SUMMARY

Pilots of small propeller piston aircraft are submissive to the influence of significant levels of noise originating mainly from the powerplants of these kinds of aircraft. Therefore, it would be interesting to determine their noise characteristics, especially regarding to some given requirements and comparisons. By using appropriate measurement instruments, precise results can be obtained which will indicate the levels of noise influence that a pilot can experience during a flight. In this master thesis an experimental determination and comparison was conducted on a two same model aircraft but with dissimilar powerplants. The purpose was to determine how different are the sound clips of both engines and to evaluate which one is noisier and subjectively more unpleasant. The scale of noise was correlated, so the degree of change could be determined, depending on the variation of engine power and according to that, the degree of influence on a pilot was also determined. By using the real, tangible and specific measured results, the aim of this research is to demonstrate how the noise of an aircraft can influence the ergonomics and performances of pilots, considering different powerplants.

KEYWORDS: noise; small piston engine aircraft; powerplant; influence

SADRŽAJ

1.)	UVOD	1
2.)	OPĆENITO O BUCI ZRAKOPLOVA.....	3
2.1.)	Zvuk	3
2.2.)	Buka zrakoplova	8
2.2.1.)	Aerodinamična buka	8
2.2.2.)	Mehanička buka	9
2.2.3.)	Kontrola buke elise.....	12
3.)	ISPITIVANI ZRAKOPLOVI I NJIHOVE POGONSKE GRUPE.....	13
3.1.)	Općeniti podaci	13
3.2.)	Tehničko-eksploatacijske karakteristike C-172 R.....	16
3.3.)	Tehničko-eksploatacijske karakteristike FR-172 J.....	20
4.)	MJERNE METODE I OPREMA	24
4.1.)	Mjerne metode i postupci.....	24
4.2.)	Mjerna oprema	27
5.)	MJERENJE BUKE NA ZRAKOPLOVIMA CESSNA 172 R I FR172 J.....	28
5.1.)	Metodologija i uvjeti izvođenja mjerenja	28
5.2.)	Rezultati mjerenja	30
5.2.1.)	Rezultati mjerenja vanjske buke	30
5.2.2.)	Rezultati mjerenja unutarnje buke	36
6.)	ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA.....	43
7.)	ZAKLJUČAK.....	45
	LITERATURA	46
	POPIS KRATICA	47
	POPIS SLIKA	48
	POPIS TABLICA.....	49
	POPIS GRAFIKONA.....	50

1.) UVOD

Buka je neželjen proizvod prevelike razine zvuka koja ometa i negativno utječe na ljude pa čak i životinje. U svim oblicima prometa i transporta prisutna je ova neželjena pojava koja zagađuje okoliš, a posebice je prisutna u zrakoplovstvu. Važno je poznavati i proučiti sve aspekte buke kako bi se ista mogla kvalitetno smanjivati i svoditi na minimalne razine. Zbog toga je poželjno proučavati, analizirati i mjeriti razine buke u svim oblicima transporta, pogotovo u zrakoplovstvu.

Kao što je rečeno, zrakoplovstvo, odnosno sredstva letaćkih operacija – zrakoplovi, su jedan od većih zagađivača bukom. Niz je istraživanja i mjera smanjenja buke posvećeno većim mlaznim putničkim zrakoplovima od strane konstruktora zrakoplova, zračnih luka, zakonodavaca i aviokompanija jer se isti smatraju najvećim zagađivačima u odnosu na ostale zrakoplove. Značajno manje istraživanja i analiza mjerenja buke posvećeno je manjim jednomotornim klipnim zrakoplovima, jer se isti ne smatraju prevelikim problemom za stanovništvo na koje bi ta buka utjecala. No, ljudi koji jesu pod utjecajem buke takvih zrakoplova su ponajprije piloti i putnici te je zbog istih potrebno provoditi istraživanja i implementirati metode smanjivanja buke što i postoji danas u nekoj mjeri. Dugotrajna izlaganja većoj buci mogu dovesti do zdravstvenih poteškoća, pogotovo kod pilota, posebice oštećenja sluha. Vanjska buka je uvelike standardizirana od strane ICAO-a (*International Civil Aviation Organisation*), no za unutarnju kabinsku buku još ne postoje posebna pravila, pogotovo za vrstu zrakoplova koja će se ispitivati u ovom radu.

Ovaj diplomski rad će predstaviti komparativno mjerenje vanjske i unutarne razine buke dva ista zrakoplova *Cessna C-172*, ali drugačijih inačica sa drugačijom pogonskom grupom. Jedan ispitivani zrakoplov ima pogonsku grupu veće snage od drugog i cilj istraživanja je prikazati rezultate te ustanoviti koji je zrakoplov bučniji i subjektivno neugodniji za pilota, ali i za okolinu na temelju vanjske buke. Svrha je vidjeti koliko stupanj promjene snage motora utječe na različitost buke.

Istraživanja su provedena na Zračnoj luci Mali Lošinj i mjerenjima u letu u Lošinjskom CTR-u (*Control zone*) sa zvukomjerom Fakulteta prometnih znanosti. Izmjerena buka će biti predstavljena i analizirana u daljnjim poglavljima te će biti analiziran njen utjecaj. Buka će se mjeriti u svim režimima leta, a samo mjerenje će se prikazati A-ponderiranim mjerenjima te oktavno pojasnim mjerenjima. Cilj je istraživanja nadalje, utvrditi da li će dobiveni rezultati biti iznad normalnih i prihvatljivih vrijednosti kako bi se ukazalo u tom slučaju na problem buke ovakvih zrakoplova, a isto je najbolje dokazati na najzastupljenijem zrakoplovu generalne avijacije, *C-172*.

Ovaj rad će biti predstavljen kroz sedam cjelina ili poglavlja:

- 1.) Uvod
- 2.) Općenito o buci zrakoplova
- 3.) Ispitivani zrakoplovi i njihove pogonske grupe
- 4.) Mjerne metode i oprema
- 5.) Mjerenje buke na zrakoplovima Cessna 172 R i FR 172 J
- 6.) Analiza dobivenih rezultata
- 7.) Zaključak

U ovom uvodu je tek kratak opis tematike diplomskog rada i njegovih pripadajućih cjelina.

Drugo poglavlje će predstaviti općenite pojmove o zvuku i njegovim fizikalnim veličinama kao i formule koje opisuju te iste veličine. Opisati će se i razvrstati zrakoplovna buka te izvori te buke, a naglasak će biti stavljen na elisne zrakoplove koji su predmet ispitivanja ovog rada.

Treće poglavlje će se baviti ispitivanim zrakoplovima. Prikazati će se povijest ove vrste zrakoplova kao i tehničko eksploatacijske karakteristike dva ispitivana zrakoplova te karakteristike njihovih pogonskih grupa kako bi se bolje razumio sam predmet ispitivanja ovoga rada. Poglavlje će uključivati mase, performanse, ograničenja te dimenzije navedenih zrakoplova.

Četvrto poglavlje se bavi mjernim metodama i opremom. Ukratko će biti predstavljeni mjerni postupci koji se inače koriste pri ovakvim vrstama mjerenja te će biti opisana mjerna oprema kojom se izvršilo ispitivanje.

Peto poglavlje će biti mjerenje buke na zrakoplovima Cessna 172 R i FR 172 J. Ovo poglavlje će predstaviti metodologiju izvođenja i uvjete mjerenja kao i lokaciju mjerenja. Navesti će se režimi rada motora i leta zrakoplova koji su bili ispitivani te će se pristupiti prikazivanju rezultata vanjske, pa unutarnje buke ispitivanih zrakoplova. Rezultati će biti prikazani tablično i grafički te biti će predstavljeni kroz više razina mjerenja zvučnog tlaka, odnosno prikazati će se više vrsta samih vrijednosti.

Šesto poglavlje je poglavlje analize u kojem će se navesti razmatranje i opažanja autora na temelju dobivenih rezultata kao i razmatranju bučnijeg i subjektivno neugodnijeg zrakoplova. Navesti će se razlozi iz kojih proizlaze rezultati kakvi su dobiveni te analiza pojedinih režima koji odstupaju od očekivanih vrijednosti.

Sedmo poglavlje je zaključak u kojem će se objediniti cijeli rad i navesti završno mišljenje autora sa završnim stavkama dobivenih iz ispitivanja.

2.) OPĆENITO O BUCI ZRAKOPLOVA

Buka zrakoplova se definira kao zagađenje okoliša bukom koju proizvodi određena letjelica tokom različitih režima svojih operacija. Generalno, buka zrakoplova može biti:

- a) buka mehaničkih dijelova – rotacija dijelova motora
- b) aerodinamična buka – opstrujavanje zraka oko dijelova zrakoplova
- c) buka zrakoplovnih sustava – razni zrakoplovni sustavi poput APU-a (*auxiliary power unit*), klimatizacijskih uređaja...

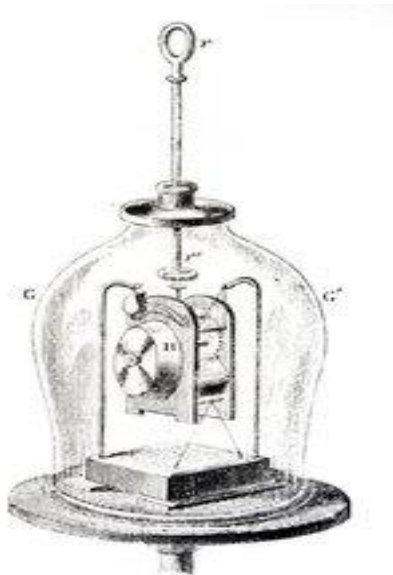
Da bismo mogli razmatrati zrakoplovnu buku, prvo moramo definirati i opisati buku kao zvuk općenito i sve njene procese.

2.1.) Zvuk

Zvuk je pojava promjene tlaka, napona, pomaka ili brzine čestice (titranje), koja se određenom brzinom širi elastičnim medijem, a koje ljudsko uho može zamijetiti [1].

Jednostavnijim rječnikom, zvuk je energija koju neki objekti proizvode kada vibriraju, pomiču se naprijed i natrag velikom brzinom. Ta se vibracija prenosi na okolni zrak, koji prenosi energiju tih objekata u svim smjerovima. Naposljetku, taj vibrirajući zrak dođe čak do uha slušaoca ili slušatelja u blizini i tada čovjek počinje percipirati taj vibrirajući zrak, odnosno energiju nekog objekta ili izvora kao zvuk [2].

Da bi se zvuk mogao prenositi, mora prolaziti kroz određeni medij od svog izvora pa do slušaoca. Poznato je da svjetlo putuje od Sunca do Zemlje kroz vakuum, no isto ne bi moglo vrijediti i za zvuk koji mora prolaziti kroz određeni elastični medij. Taj medij može biti zrak, voda, staklo ili metal primjerice. Da zvuk mora prolaziti kroz neki medij dokazao je britanski znanstvenik Robert Boyle (1627.-1691.) sa svojim eksperimentom. Primitivna budilica (slika 1.) je postavljena i bila zaklopljena običnom čašom te nakon što je puštena da zvoni, jednostavnom pumpom je bio izvučen sav zrak iz čaše, dok se zvuk nije skroz prigušio. Budilica je i dalje zvonila, no više nije bilo njenog zvuka čime je dokazano da je zvuku potreban medij za rasprostiranje [2].



Slika 1. Robert – Boyleov eksperiment zvuka, [3]

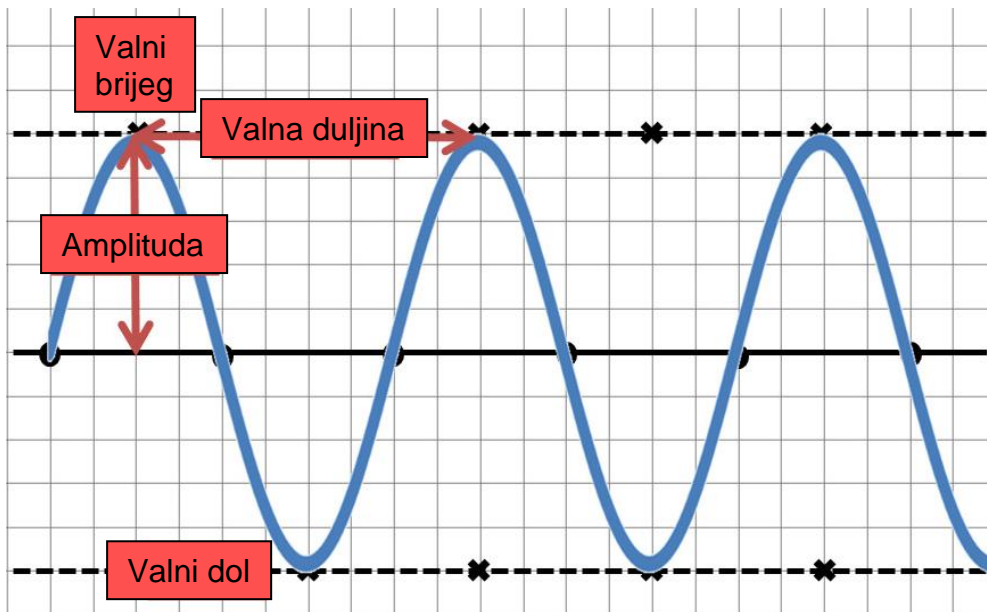
Zvuk putuje na način da kako se isti kreće naprijed, tjera molekule zraka na nekim mjestima u kompresije ili refrakcije. Drugim riječima, zvuk „gura“ zrak naprijed i natrag longitudinalnim valovima [2].

Također, osobina zvuka jest i da se odbija, isto kao što se reflektira sunčeva svjetlost. Stvoriti će se povratni zvuk manjeg intenziteta. To je refleksija zvuka ili nestručnim pojmom ustvari jeka, i njena jačina kao i njeno kašnjenje ovisi o udaljenosti od objekta odbijanja [2].

Tendencija zvučnih valova da se savijaju oko kutova i šire se, naziva se difrakcija [2].

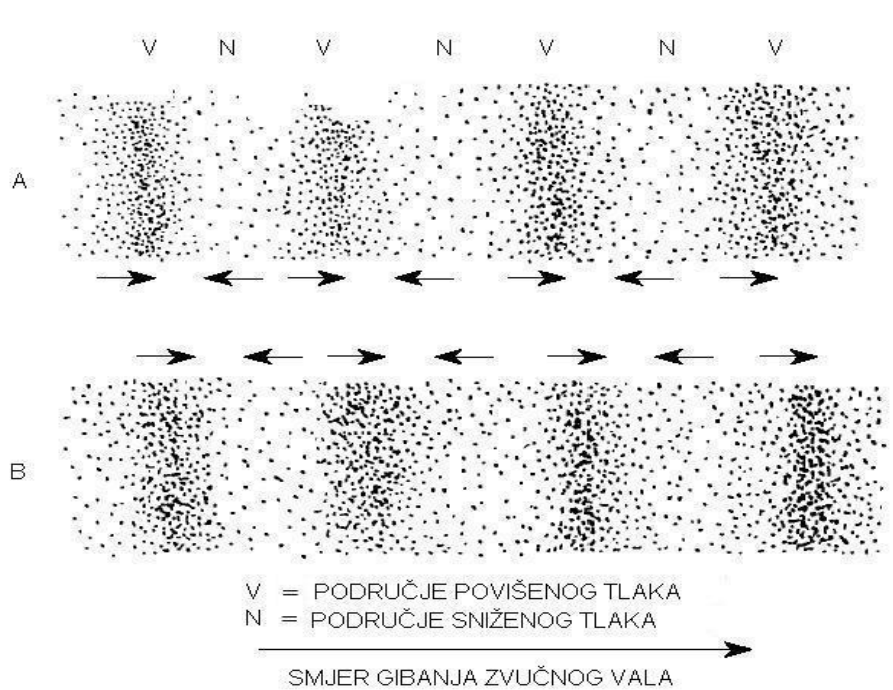
Svi zvučni valovi su isti; putuju kroz medij pomičući molekule naprijed i natrag. Ali, svi zvučni valovi su također različiti. Postoji slabiji zvuk i jači zvuk, postoje različite frekvencije zvuka, čak i dva ista glazbena instrumenta koji proizvode istu notu će imati poprilično drugačije zvučne valove te se nameće pitanje zašto je tomu tako? Iz razloga jer zbog energije koju neki objekt proizvodi kada vibrira, stvara zvučne valove koji imaju određeni uzorak. Također, svaki zvučni val može biti veći i manji: veliki zvučni valovi imaju veliku amplitudu i percipiramo ih kao jači zvuk dok za manje vrijedi obrnuto. Još jedna karakteristika zvučnih valova jest njihova frekvencija. Frekvencija je ništa drugo no, broj zvučnih valova koje nešto ili netko proizvede u jednoj sekundi [2].

Područje čujnosti normalnog zdravog ljudskog uha je u spektru frekvencije od 20 Hz do 20 kHz. Na slici 2. je prikazan zvučni val sa svojim svojstvima.



Slika 2. Zvučni val, [4]

Kako je već rečeno, titranje molekula zraka, odnosno čestica, se pod energijom zvuka prenose s jedne na drugu poput „domino efekta“ [1].



Slika 3. Smjer gibanja zvučnog vala, [1]

Kako je medij taj koji je ključan za prenošenje zvuka, odnosno zvučnog vala, brzina širenja zvuka ovisi o fizikalnim osobinama medija, primjerice: kisik= 317 m/s, voda= 1440 m/s, zrak 340 m/s; $c = 331,4 + 0,6t$ [m/s] [1].

Raspon čujnih vrijednosti zvučnog tlaka je od 20 μ Pa do 100 Pa. Donja granica predstavlja statističku srednju vrijednost praga čujnosti kod ljudi. Gornja granica predstavlja statističku srednju vrijednost praga boli [1].

Najčešće tri fizikalne veličine kojima se opisuje zvuk su: zvučni tlak, zvučni intenzitet i zvučna snaga [1].

- Zvučni tlak je periodična oscilacija tlaka zraka oko vrijednosti atmosferskog tlaka uzrokovane longitudinalnim titranjem molekula zraka oko ravnotežnog položaja [1].
- Za razinu zvučnog tlaka (ali i intenziteta i snage) potrebna je referentna vrijednost koja iznosi prema međunarodnom dogovoru $2 \cdot 10^{-5}$ Pa (Pascal) ili 20 μ Pa [1].

$$L_p = 20 \log \frac{P}{P_0} = 20 \log \frac{P}{2 \cdot 10^{-5}} \text{ [dB]} \quad (1)$$

- Zvučni intenzitet je količina energije koja u jednoj sekundi prostruji kroz plohu od 1 m² postavljenu okomito na smjer rasprostiranja [1].

$$I = \frac{p^2}{\rho_0 \cdot c} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (2)$$

- Razina zvučnog intenziteta je zvučni intenzitet izražen u decibelima iznad referentne razine od 10^{-12} W/m² (za zdrav sluh) [1].

$$L_i = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} \text{ [dB]} \quad (3)$$

- Zvučna snaga je zvučna energija koja u jednoj sekundi prostruji kroz plohu okomitu na smjer rasprostiranja [1].

$$P = S \cdot p^2 / \rho \cdot c \text{ [W]} \quad (4)$$

- Razina zvučne snage je zvučna snaga iznad referentne razine za zdrav sluh (10^{-12} W), izražena u dB [1].

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

Neke od veličina u tekstu iznad bile su izražene u decibelima. Decibel je decimalna jedinica brojčane jedinice *BEL*, iznimno dopuštene izvan međunarodnog sustava mjernih jedinica – SI. Prikazuje odnos dviju fizikalnih veličina čime izražava njihovu veličinu, poput razine zvuka, napona, struje, snage i drugih. Izračunava se jednadžbom:

$$L = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} [dB] \quad (6)$$

$$1 [dB] = \frac{1}{10} [B] \quad (7)$$

Zvučna percepcija kod normalnog zdravog ljudskog uha je takva da promjena od 1 dB se percipira kao jedva primjetna, 3 dB kao primjetna, 6 dB kao očigledna dok ona od 10 dB kao znatna [1].

Buka je neželjena zvučna pojava koja ometa rad ili odmor čovjeka, te da bi zvuk bio definiran kao buka, isti mora imati dovoljan intenzitet, biti izdvojen od ostalih zvučnih pojava i biti dovoljno čujan [1].

Karakteristika buke i kakva će ona imati utjecaj ponajviše ovisi o karikama u lancu prenošenja iste poput: izvoru buke, putovima rasprostiranja i okolišu u kojem se nalazi prijatelj, odnosno slušatelj [1].

Izvor same buke može biti prirodan i umjetan. Karakteristike tog izvora su prostorne (ovise da li je izvor pokretan ili nepokretan), vremenske (stalna ili promjenjiva buka) i akustičke (jačina, spektar i usmjerenost) [1].

Putovi rasprostiranja mogu biti stacionarni i promjenjivi sa prijenosnim medijem koji može biti plin (zrak), tekućina, čvrsto tijelo ili kombinacija navedenih [1].

Okoliš u kojem se nalazi prijatelj, odnosno slušatelj, se dijeli na slobodan prostor i na prostor konačnih dimenzija [1].

Objektivne metode mjerenja buke svode se na mjerenje triju najvažnijih parametara buke:

- razine buke,
- trajanja, odnosno promjene u vremenu,
- amplitudnog spektra [1].

2.2.) Buka zrakoplova

Buka zrakoplova je jedan od većih, ako ne i najvećih negativnih utjecaja na okoliš vezanih uz zrakoplovstvo. Može uzrokovati razdražljivost stanovništva, ometati san, stres, čak može i povećati rizik od kardiovaskularnih bolesti te negativno utjecati na školovanje djece. Neke zračne luke su zaustavljene u svom daljnjem razvoju i širenju zbog procedura za smanjivanje buke koje se moraju primjenjivati na istima.

Kao što je na početku poglavlja 2. rečeno, tri su glavna izvora buke na zrakoplovu. Pošto ovaj rad analizira zrakoplove generalne avijacije u ovom poglavlju će se obrađivati tematika nastajanja buke vezane za ovakvu vrstu letjelica.

Buka koju proizvode manji zrakoplovi generalne avijacije se dijeli na aerodinamičnu buku (opstrujavanje zraka oko dijelova zrakoplova) i buku mehaničkih dijelova (rotacija dijelova motora).

2.2.1.) Aerodinamična buka

Količina turbulencije zraka koja se proizvodi tokom opstrujavanja uvelike ovisi o udaljenostima. Primjerice, drugačija je buka opstrujavanja par centimetara oko prozora, od buke opstrujavanja preko tetive krila duge više metara. Buka nastaje kada zrak prelazi preko strukture zrakoplova i uzrokuje promjenu tlakova, te se ta buka mora prenositi ili kroz atmosferu do promatrača na zemlji ili kroz strukturu trupa do osobe unutar zrakoplova.

Kod normalnog leta u krstarenju, sa uvučenim stajnim trapom, zakrilcima i pretkrilcima, glavni izvor buke kod zrakoplova „čiste“ konfiguracije jest krilo. Iako i trup zrakoplova je tijelo koje stvara uzgon, većinu uzgona, a tako buke koju stvara proporcionalni otpor uzgonu, proizvodi glavno krilo i struktura repa. „Čisti“ aeroprofil će generirati diskretne tonove, dok primjerice gondole stajnog trapa ili zakrilca uzrokuju diskontinuitete u tonovima [5].

U praksi, kod polijetanja i početnog penjanja zrakoplova za promatrača na tlu buka je glavni problem, dok za osobe koje se nalaze u kabini samog zrakoplova, glavni je problem kod daljnjeg penjanja i ubrzavanja zrakoplova. Velika je razlika i u samoj veličini zrakoplova. Iako se ovdje ne razmatraju zrakoplovi većih dimenzija, smatra se da glavni i najveći izvor buke velikih turbo-fan zrakoplova je buka opstrujavanja oko trupa i najizraženija je u prilazu, dok kod manjih zrakoplova to nije slučaj gdje prevladava buka motora [5].

Istraživanja su pokazala da kod većih zrakoplova može doći do povećanja buke od čak 10 dB prilikom izvlačenja zakrilaca i stajnog trapa. Isti je učinak i kod manjih zrakoplova, no puno manji u intenzitetu. Od ova dva izvora, najveću buku će proizvesti

stajni trap. Iz razloga jer su istraživanja provedena uvijek većinom na jednom tipu zrakoplova, spektralni karakter i varijacija zvučnog otiska sa brzinom su funkcija konstrukcije svakog pojedinog zrakoplova [5].

Glavni zaključci ovakvih istraživanja ukazuju da će „čisti“ trup zrakoplova proizvoditi širokopojasni zvuk, distribuiran na niskofrekvencijskom spektru tipično u području od 200 Hz, ali će varirati ovisno o veličini i brzini zrakoplova. Najizgledniji izvor najviše buke će biti struktura krila. Razmjerno jaki tonovi se mogu primijetiti također kod nastajanja vrtloga na izlaznoj ivici krila. Teoretski, intenzitet zvuka bi trebao varirati proporcionalno sa petinom ili šestinom brzine ispitivanog zrakoplova. U praksi, mjerenja su obično zaklonjena sa zvukom pogonske grupe, pa čak i na *idle* snazi [5].



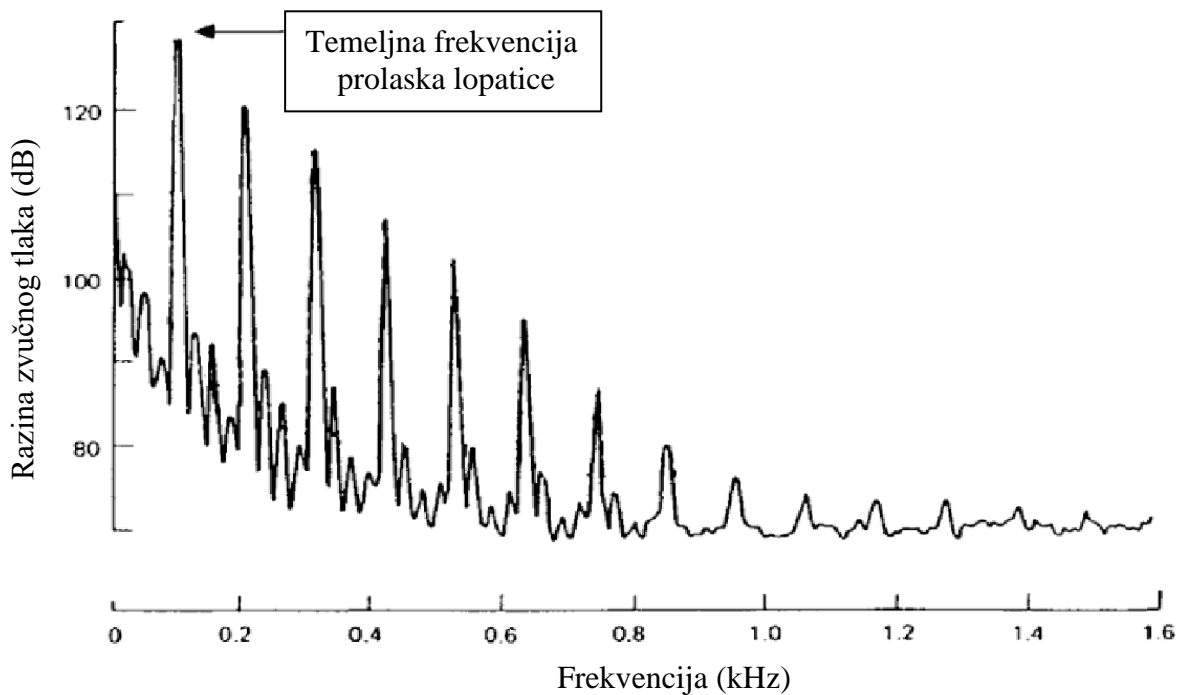
Slika 4. Općeniti prikaz izvora aerodinamičke buke, [6]

2.2.2.) Buka mehaničkih dijelova

Pogonske grupe zrakoplova su bez sumnje jedan od velikih izvora buke na zrakoplovima. Pogonski sustavi dolaze u mnogim oblicima, turbo-mlazni motori, turbofan motori, turbo-elisni motori, klipno-elisni motori itd. Za potrebe ovog rada će biti razmatrani elisni motori i buka koju isti stvaraju, pošto su zrakoplovi koji će se analizirati pogonjeni klipnim elisnim motorima. U povijesti, od jednostavnih drvenih elisa do danas modernih kompozitnih elisa, izvori buke su bili isti, ali su samo varirali u intenzitetu i proporcijama. Mehanizmi nastajanja buke elise su bili poznati već 1920-ih godina prošlog stoljeća, iako nije bilo potrebe za proučavanjem istih zbog malog broja komercijalnih aviokompanija i njihovih malobrojnih flota, dapače tokom rata se priželjkivalo da je prijateljski avion što glasniji [5].

Činjenica je da su mnogo godina zrakoplovi s elisnim motorima smatrani kao „tihu“ zrakoplovi, stoga su i studije o buci elisa tokom godina stale i takvim zrakoplovima je dana puno veća razina slobode operacija s manje ograničenja, nego turbo-mlaznim zrakoplovima. Tek oko 1970.g. kada su uvedeni certifikati o buci i njihova primjena na elisne zrakoplove, istraživanja u ovom području su se nastavila [5].

Kao i većina buke propulzivnih sustava, elisna buka spada pod tonalne (diskretne frekvencije) i širokopolasne kategorije. Zvučni otisak nastaje kao rezultat pravilne cikličke rotacije lopatice elise u atmosferi s obzirom na nepomičnog promatrača. Frekvencijski spektar se sastoji od tona koji nastaje po pravilnom redu prolaska svake lopatice i njihovih viših harmonika, sa stupnjem smanjenja amplitude harmonika koji je funkcija oblika lopatice. Spektar na slici 5. je tipičan za konvencionalnu elisu sa prosječnim stupnjem smanjenja amplitude harmonika od 5-10 dB [5].



Slika 5. Spektar tipične konvencionalne elise, prikazujući ton elise harmoničkog sadržaja i stupanj smanjenja amplitude harmonika, [5]

Generalno gledajući, signal ima temeljni sinusoidni otisak na manjim brzinama okretaja lopatice, koji postaje „izoštren“ kao rezultat nastajanja inicijalnog udara u trenutku kada vrh lopatice u svojoj relativnoj brzini prekorači brzinu zvuka [5].

Širokopolasna komponenta nastaje zbog nasumičnih promjena tlaka u širokom spektru frekvencija i povezuje se sa turbulentnim strujanjem ispred elise, te graničnim slojevima i strujanjima iza lopatica. Dimenzije lopatica i brzina kretanja zraka oko njih će utvrditi spektralni oblik [5].

Zaključno, glavni izvori tonske buke kod elisa nastaju kao rezultat sljedećeg:

- Učinaka pomaka volumena zraka, kada svaka lopatica pomiče zrak te kao posljedica nastaje puls u točnim intervalima nasuprot nepomičnom promatraču. Ovo se često naziva kao buka „debljine“, koja je najvažnija na velikim brzinama lopatica.
- Promjeni u gibanju sekcija lopatice, relativno u odnosu na promatrača dok umjereno opterećena elisa rotira. Naziv za ovaj izvor je buka „opterećenja“. Ovaj izvor teži biti prevladavajući kod malih brzina lopatica.
- Lokaliziranih učinaka u trenutku kada brzina lopatice se približi ili prekorači brzinu zvuka.
- Periodičnih neumjerenih opterećenja zbog polja tlaka.
- Drugih učinaka zbog interakcija, primjerice učinaka lopatica na druge nepomične ili rotirajuće strukture, poput krila ili drugog seta lopatica na istoj elisi koja se suprotno okreće [5].

Kada se Machov broj lopatice u odnosu na lokalni smjer strujanja zraka približi većim vrijednostima, lokalizirani efekti u zraku oko lopatice mogu biti izvor velike buke. Prve elise koje su bile namijenjene supersoničnim brzinama, na vrhovima lopatica su bile notorno bučne, ali iz razloga jer se lokalni izvori zvuka uvijek povezuju sa jako neučinkovitim aerodinamičnim režimima. Takve elise se nikada nisu u potpunosti razvile. Zato se danas konvencionalne elise, ravnih lopatica nikad ne upotrebljavaju za civilne operacije visokih brzina krstarenja, nego su razvijeni takozvani „propfan“ motori [5].

Zanimljivo je za primijetiti kako nepomična struktura zrakoplova, poput krila može utjecati na buku same elise. Zbog utjecaja promjene smjera strujanja zraka na krilo prilikom stvaranja uzgona, može doći do asimetrije u buci sa obje strane elise. Naime, razlika između lijeve i desne strane elise u buci može iznositi do čak 5 dB [5].

2.2.3.) Kontrola buke elise

Tokom godina je zamijećeno da kod elisa sa lopaticama čiji vrhovi ne prelaze brzinu zvuka, buka se može smanjiti smanjenjem brzina vrha lopatice ili sa povećavanjem broja lopatica na elisi [5].

Zbog snažnog učinka koji ima dio vrha lopatice i njen profil kada su brzine vrha velike, posebna se pažnja posvećuje oblikovanju vrha lopatice. Jednako tako raspodjela opterećenja preko raspona i preko tetive lopatice se pomno raspoređuje kako bi se izbjegla područja na lopatici gdje bi promjene u strujanju zraka mogle uzrokovati velike količine buke, koja se naravno ovim načinom može izbjeći [5].

Standardne tehnike kontrole buke elise su slijedeće:

- *Povećanje razmaka pojedinih vijenaca elemenata propulzije (propelera/kompresora):* smanjuje međusoban utjecaj polja tlaka i vrtloga na lopaticama.
- *Povećanje broja lopatica:* uzrokuje da dio energije diskretnih harmonika ode iznad čujnog područja ili u područje 3-4 Hz gdje je manji psiho-akustički doživljaj i mnogo se brže prigušuje u atmosferi.
- *Diferencijalni odabir broja lopatica:* utječe na smetnje koje nastaju zbog buke tako da se izbjegava visoka energija u istim frekvencijskim pojasevima gdje su jednaki brojevi lopatica.
- *Smanjenje brzine vrha lopatica:* ovo se provodi kako bi se smanjili Machovi brojevi lopatica [5].

Zaključno, u ovom poglavlju 2.) je pokazano da kod manjih zrakoplova generalne avijacije, glavni uzroci buke jesu njihovi elisni motori i opstrujavanje zraka oko trupa i krila. Buka sustava se u ovom poglavlju zanemarila iz razloga što ispitivani zrakoplovi u ovom radu većinom nemaju takvu vrstu buke, poput sustava APU-a, klimatizacije, izvlačenja stajnog trapa, a i buka tijekom izvlačenja zakrilaca nije znatna ako se zakrilca izvlače na normalnoj operativnoj brzini, kao što je bilo u ispitivanim letovima. Također obrađene su temeljne veličine samog zvuka, kako bi se mogla izvoditi daljnja promatranja.

Sljedeće poglavlje će predstaviti zrakoplove koji su bili predmet u ovom ispitivanju kao i pobliže opisati njihove pogonske grupe koje su ključ za komparativnu analizu buke ovih zrakoplova.

3.) ISPITIVANI ZRAKOPLOVI I NJIHOVE POGONSKE GRUPE

Zrakoplovi koji su predmet ispitivanja ovog diplomskog rada su Cessna 172 serije. Ispitivanja su izvršena na dva zrakoplova C-172, ali sa različitom snagom motora. Cessna 172 je široko korišten zrakoplov koji se proizvodi od 50-ih godina prošloga stoljeća za školske, sportske, poljoprivredne, panoramske, komercijalne i mnoge druge svrhe. U nastavku će se opisati karakteristike tih zrakoplova kao i njihovih pogonskih grupa, koje su važne za analizu ovoga rada.

3.1.) Općeniti podaci

Tablica 3.1. Osnovni podaci ispitivanih zrakoplova

ISPITIVANI ZRAKOPLOVI					
Model	Hrvatski registar	Serijski broj	Porijeklo proizvodnje	Operator	Namjena
C-172 R	9A-DAD	17280174	SAD, Cessna Aircraft Company	Hrvatsko zrakoplovno nastavno središte	školska
FR-172 J	9A-BPR	0 578	Francuska, Reims Aviation	Zračno pristanište Mali Lošinj d.o.o.	komercijalna

Hrvatsko zrakoplovno nastavno središte je ustrojbeno jedinica Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu koja služi za praktično i teorijsko školovanje studenata civilnih pilota. Flota HZNS-a se trenutno sastoji od više C172 kao i ostalih zrakoplova poput *Piper* i *Diamond*. Prvi ispitivani zrakoplov, C-172 R registracijskih oznaka 9A-DAD je u vlasništvu navedene ustanove i koristi se isključivo za školske svrhe. Matični aerodrom HZNS-a pa tako i ispitivanog zrakoplova je Zračno pristanište Lučko (LDZL) pored Zagreba sa travnatom uzletno sletnom stazom dugom 800 m.

Zračno pristanište Mali Lošinj d.o.o. je aerodrom na otoku Mali Lošinj sa asfaltnom uzletno sletnom stazom dugom 900 m. U poduzeće aerodroma je također inkorporirana istoimena mala aviokompanija koja se bavi taxi i panoramskim letovima. Flota se sastoji od tri zrakoplova; FR-172 J, P-28 T i Beechcraft King Air C90B. Drugi ispitivani zrakoplov ovog rada je navedena FR-172 J registracijskih oznaka 9A-BPR, koja je u vlasništvu ove tvrtke i koristi se isključivo za komercijalne svrhe, točnije za panoramske letove i taxi letove unutar Hrvatske i u susjedne države. Matični aerodrom drugog ispitivanog zrakoplova je Zračno pristanište Mali Lošinj, ICAO oznake – LDLO.

Cessna 172 je jednomotorni klipni zrakoplov, visokokrilac sa četiri sjedišta i tricikl stajnim trapom koji se proizvodi u SAD-u u *Cessna Aircraft Company*. Prvi put je poletjela 1955.g. i više je C-172 proizvedeno, nego bilo kojih drugih zrakoplova u povijesti. Ovaj model *Cessne* je najuspješniji zrakoplov u povijesti, prvi serijski model je poletio 1956.g. i u proizvodnji je do danas. Trenutno *Cessna* kompanija i njezini partneri su u ove 62 godine proizveli više od 44 000 C-172. 1958.g. C-172 je postavila rekord za najveću istrajnost u letu koji i danas stoji [7].

Prva C-172 se pojavila u studenom 1956.g. i ostala u proizvodnji do prve inačice C-172 A ranih 1960-ih. Bila je opremljena sa šesterocilindričnim Continental O-300 motorom od 145 KS (108 kW) koji je bio hlađen zrakom [7].



Slika 6. Jedna od prvih C-172 proizvedena 1956.g., [7]

Nakon prve serije C-172 A, uslijedile su mnoge inačice koje su doživljavale mnogo promjena tokom desetljeća, ali se zadržao isti koncept visoko stabilnog zrakoplova sa sličnom konstrukcijom trupa, repa i krila. Zadnja inačica je C-172 S predstavljena 1998.g. i danas je u punoj proizvodnji sa modernom avionikom. Slijed svih inačica je prikazan u tablici 2., kao i dvije posebne verzije u tablici 3.

Tablica 3.2. Inačice svih C-172 sa napomenama

C 172 INAČICE	
172 A	predstavljena 1960.g., uvedeni rep i kormilo više strjelastog oblika
172 B	predstavljena 1961.g., kraći stajni trap, rekonstruiran spinner elise i kapotaž motora, max. težina povećana na 2250 lb (1021 kg)
172 C	predstavljena 1962.g., uveden opcionalni autopilot i paljenje ključem
172 D	predstavljena 1963.g., niži zadnji dio trupa, novi vjetrobrian i zadnji prozor, max. težina 2300 lb (1043 kg), novo kormilo i pedale kočnica
172 E	predstavljena 1964.g., el. osigurači su zamijenjeni strujnim prekidačima, rekonstruirana instrumentalna ploča
172 F	predstavljena 1965.g., uvedena električni pokretana zakrilca umjesto mehaničke poluge, izrađivala se u Reims, Francuskoj kao F 172
172 G	predstavljena 1966.g., uveden oštrije spinner elise, „Skyhawk“ verzija
172 H	predstavljena 1967.g., zadnja inačica sa Continental O-300 motorom, kraći prednji amortizer, pneumatsko upozorenje sloma uzgona umjesto električnog
172 I	predstavljena 1968.g., početak Lycoming ere motora na 172, Lycoming O-320-E2D 150 KS (112 kW) motor, uvedena „T“ ploča instrumenata
172 J	nikad komercijalno predstavljena, preimenovana u C-177
172 K	predstavljena 1969.g., rekonstruiran rep i zadnji prozori, ponuđen opcijski veći spremnik goriva, kroz 1970.g. u proizvodnji također
172 L	1971-1972, zamijenjen glavni stajni trap, aerodinamični poklopci
172 M	1973-76, rekonstruirano krilo za stabilnost na manjim brzinama, bolja oprema i avionika, motorni instrumenti na lijevoj strani ploče
172 N	1977-1980, novi Lycoming O-320-H2AD (160 KS) motor, 100 oktansko gorivo umjesto 80/87, uveden trimer kormila, 28 V DC el. sustav umjesto 14 V, opcionalni spremnici goriva povećani na 66 US Gal(250l)
172 O	nije postojala ova inačica kako bi se izbjegla zamjena sa brojem 0
172 P	1981-1986, novi motor Lycoming O-320-D2J kako bi riješila probleme motora C-172N, odklon zakrilaca smanjen sa 40° na 30° kako bi se max. težina povećala na 2400lb (1089kg), svijetlo slijetanja pomaknuto sa nosa na krilo, bolja zvučna izolacija i deblji prozori, proizvodnja C-172 stala sa ovim modelom 1986.g. zbog previsokog osiguranja(cijene)
172 Q	predstavljena 1983.g., verzija C-172P sa motorom od 180 KS (134 kW) i max. težinom povećanom na 2550 lb (1157 kg)
172 R	predstavljena 1996.g. kao nastavak proizvodnje C-172 nakon desetogodišnjeg zastoja, Lycoming IO-360-L2A 160 KS (119 kW), prva C-172 sa motorom s direktnim ubrizgavanjem goriva, puno novih poboljšanja, novi interijer i zvučna izolacija te ventilacija
172 S	predstavljena 1998.g., Lycoming IO-360-L2A 180 KS (134 kW), jači motor od C-172R, nudi se sa Garmin 1000 standardnom avionikom i kožnim sjedalima, jedina C-172 koja je ostala u proizvodnji nakon 2009

Izvor: [7]

Tablica 3.3. Posebne inačice C-172

POSEBNE INAČICE C-172	
172 RG	predstavljena 1980.g. kao posebna verzija imena „Cutlass“ sa uvlačecim stajnim trapom, promjenjivim korakom elise i snažnijim motorom Lycoming O-360-F1A6 180 KS (134 kW) od običnih C-172, komercijalno nije dobro prihvaćena, ali su je koristile mnoge pilotske škole
FR172 J	proizvodila se u francuskoj tvrtki <i>Reims Aviation</i> od kasnih 60-ih do sredine 70-ih, koncept je bio proizvesti najsnažniju C-172, <i>Rolls-Royce</i> motor Continental IO-360-H 210KS (157kW) sa direktnim ubrizgavanjem goriva i promjenjivim korakom elise, nasljednik R172 K koji se proizvodio do 1981.g. sa motorom smanjene snage od 195 KS (145 kW), iskorištavani u velikom broju kao i hidro-zrakoplovi

Izvor: [7]

3.2.) Tehničko-eksploatacijske karakteristike C-172 R

Prvi ispitivani zrakoplov je C-172 R registarskih oznaka 9A-DAD, proizveden 1997.g. i u uporabi Hrvatskog zrakoplovnog nastavnog središta od 1998.g. do danas. C-172 R je jedan od najvažnijih zrakoplova stavljen u proizvodnju tokom 90-ih godina iz razloga jer je naznačio nastavak proizvodnje najvažnijeg zrakoplova generalne avijacije u povijesti, nakon dužeg prekida zbog recesije i zakonskih rješenja SAD-a tokom 80-ih godina.

Tada nova C-172 R, je bila bazirana na prošloj C-172 N, ali je imala *Textron* motor sa direktnim ubrizgavanjem goriva Lycoming IO-360-L2A. Ova C-172 je bila znatno tiša od prijašnjih sa O-320 motorima, jer proizvodi maksimalnu snagu na samo 2400 *rpm* (okretaja u minuti). Druge preinake su uključivale potpuno novu unutrašnjost sa novim sjedalima, novi ventilacijski sustav, standardni u četiri točke interkom, bolju zvučnu izolaciju, kabele komandi izrađenih od nehrđajućeg čelika, dvostruki vakumski sustav, zatamnjene prozore, veće spremnike goriva, novu instrument ploču i, dva para avionike. Sve serijske C-172 R su proizvedene u tvornici u gradu Independence u saveznoj državi Kansas [8].

MOTOR:

Textronov Lycoming IO-360-L2A hlađen zrakom, sa direktnim ubrizgavanjem goriva, četverocilindrični bokser motor sa nasuprotnim cilindrima postavljenim horizontalno sa radnom zapreminom od 360 in³. Snaga motora je 160 KS ili 120 kW na 2400 rpm [9].

ELISA:

Elisu je proizveo *McCauley Propeller System*, ima dva kraka i dijametar od 75 in (1.91 m) sa nepromjenjivim korakom elise [9].

GORIVO I ULJE:

Dozvoljeno gorivo je 100LL *aviation gasoline* (plavi) ili 100 *grade aviation fuel* (zeleni). Ukupan kapacitet goriva je 56 U.S. Galona (212 l) od kojih je iskoristivo 53 U.S. Galona (201 l). Od toga svaki spremnik ima ukupan kapacitet od 28 U.S. Galona (106 l) ili ukupan iskoristivi od 26.5 U.S. Galona (100 l).

Kapacitet ulja je 8 U.S. *Quart*, a minimalna količina za let 6 U.S. *Quart-a*. Ulje koje se koristi mora biti mineralno, SAE vrste [9].

MASE:

Standardna masa praznog zrakoplova iznosi 1639 lbs (743 kg) sa max. korisnim teretom u normalnoj kategoriji od 818 lbs (371 kg) ili u *utility* kategoriji od 468 lbs (212 kg) [9].

Tablica 3.4. *Maksimalne propisane mase C-172 R*

MAKSIMALNE PROPISANE MASE C-172R		
<i>RAMP WEIGHT</i> (MASA NA STAJANCI)	Normalna kategorija	2457 lbs (1114 kg)
	<i>Utility</i> kategorija	2107 lbs (956 kg)
<i>TAKEOFF WEIGHT</i> (MASA POLIJETANJA)	Normalna kategorija	2450 lbs (1111 kg)
	<i>Utility</i> kategorija	2100 lbs (953 kg)
<i>LANDING WEIGHT</i> (MASA SLIJETANJA)	Normalna kategorija	2450 lbs (1111 kg)
	<i>Utility</i> kategorija	2100 lbs (953 kg)
TERETNI DIO 1	120 lbs (54 kg)	
TERETNI DIO 2	50 lbs (23 kg)	

Izvor: [9]

Performanse C-172 R su kako slijede:

Tablica 3.5. C-172 R ograničenja brzina

C-172 R OGRANIČENJA BRZINA [kn]			
V_{NE}	163 kn		brzina koja se nikad ne prelazi
V_{NO}	129 kn		brzina koja se može prijeći samo u mirnom zraku
V_A	2450 lbs 2000 lbs 1600 lbs	99 kn 92 kn 82 kn	brzina iznad koje se ne smiju izvoditi nagli pokreti
V_{FE}	10° zakrilca 10°-30° zakrilca	110 kn 85 kn	brzina koja se ne prelazi sa zakrilcima

Izvor: [9]

Tablica 3.6. C-172 R performanse penjanja

VRIJEME, BRZINA I UDALJENOST PENJANJA SA 2450 lbs C-172 R						
BARO. VISINA [ft]	TEMP. [°C]	BRZINA PENJANJA [KIAS]	STUPANJ PENJANJA [FPM]	VRIJEME [min]	POTROŠENO GORIVO [GAL]	DALJINA [NM]
S.L.	15	79	720	0	0.0	0
2000	11	77	625	3	0.7	4
4000	7	76	560	6	1.5	8
6000	3	74	465	10	2.1	14
8000	-1	72	365	15	3.0	21
10000	-5	71	270	22	4.0	29

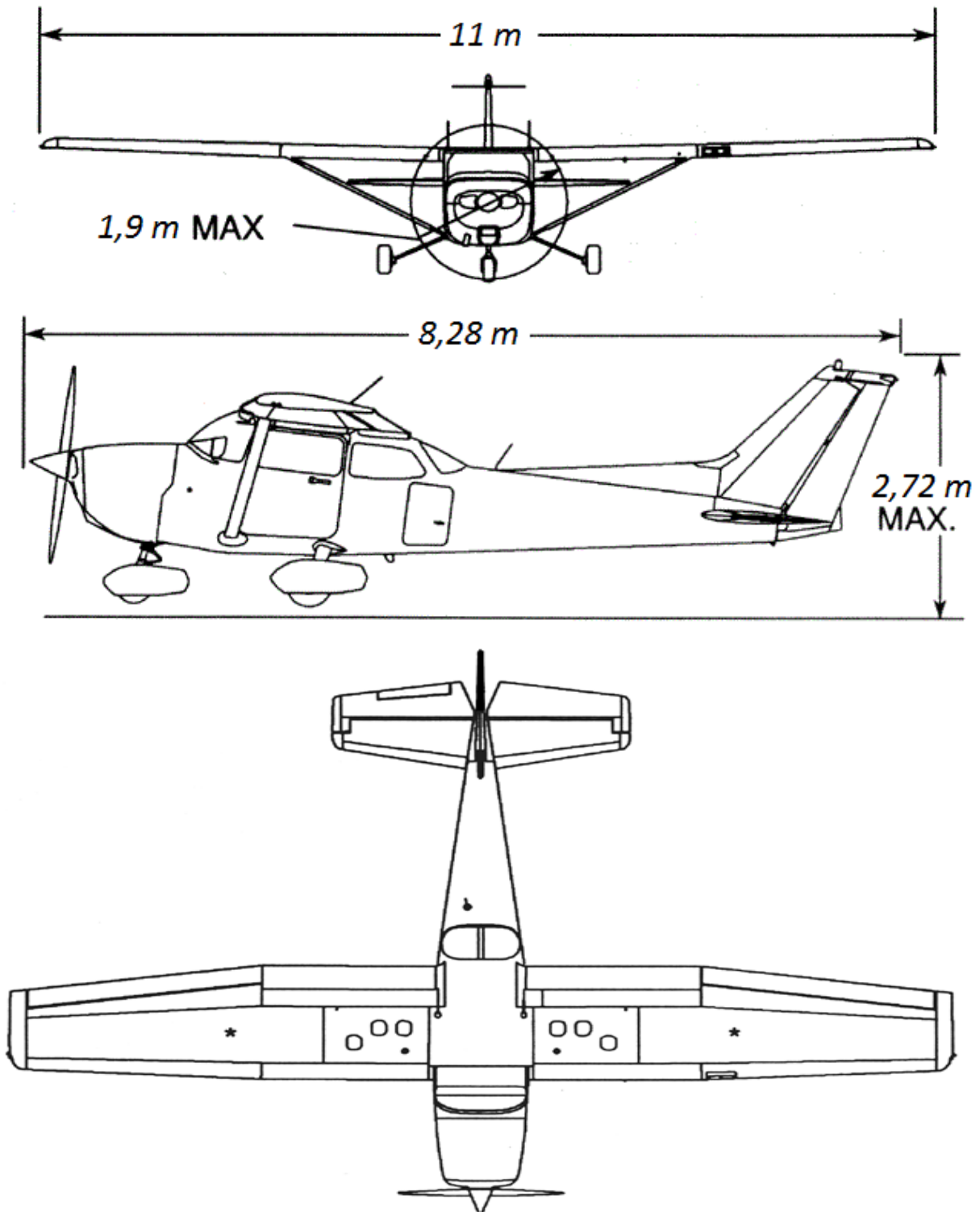
Izvor: [9]

Tablica 3.7. C-172 R performanse krstarenja na primjeru 4 000 stopa

PERFORMANSE KRSTARENJA NA 4000 STOPA C-172 R							
BARO. VISINA	BR. OKRETAJA	20°C ISPOD STAND. TEMP.		STANDARDNA TEMPERATURA		20°C IZNAD STAND. TEMP.	
		TAS [kn]	GPH [galoni/h]	TAS [kn]	GPH [galon/h]	TAS [kn]	GPH [galon/h]
4000 ft		/	/	117	9.1	117	8.6
	2300	115	9.2	114	8.6	114	8.1
	2200	112	8.6	111	8.1	110	7.6
	2100	106	7.6	105	7.1	103	6.8
	2000	100	6.7	98	6.4	95	6.2
	1900	92	6.0	90	5.8	87	5.6

Izvor: [9]

Duljina C-172 R iznosi 8.28 m, raspon krila 11.0 m, a max. visina iznosi 2.72 m, dok je površina krila 16.2 m². Na polijetanju C-172 R se odvaja sa 55 kn s brzinom daljnjeg penjanja od 70-80 kn, nakon čega se u krstarenju uspostavlja brzina od 100 kn (IAS). Maksimalni plafon leta iznosi 4 115 m ili 13 500 stopa. Najveći stupanj penjanja je 830 stopa po minuti, ali pri uvjetima od -20°C na razini mora sa brzinom penjanja od 79 kn. Najveći dolet ovog modela je 687 NM (nautičkih milja) ili 1272 km.



Slika 7. Dimenzije C-172 R, [9]



Slika 8. Prvi ispitivani zrakoplov C-172 R (9A-DAD), [10]

3.3.) Tehničko-eksploatacijske karakteristike FR-172 J

Drugi ispitivani zrakoplov je FR-172 J registarskih oznaka 9A-BPR, proizveden 1976.g., a u vlasništvu Zračnog pristaništa Mali Lošinj od 2003.g. FR-172 J popularnog naziva „Reims Rocket“ izašao je iz francuske tvornice *Reims Aviation* nastale 1962.g. kada je 49% dionica kupila američka *Cessna*, za proizvodnju *Cessna* zrakoplova pod europskom licencom za europsko tržište. Zrakoplovi proizvedeni u Reimsu se razlikuju od ostalih sa predznakom F u imenu. Od 1967.g. pa nadalje *Reims* je prodavao svoju verziju američke C-172 pod imenom FR-172 Reims Rocket. Ova verzija C-172 se razlikovala po tome što je imala uvelike povećanu snagu motora, motor koji je bio Continental IO-360-H od 157 kW ili 210 KS. Ova verzija je imala promjenjiv korak elise i mogla se prepoznati od ostalih C-172 po laganim linijama kapotaža i zavojitom udubljenju između repa i dorsalne peraje koju *Cessna* nije primijenila sve do C-172 K 1969.g. Najprepoznatljivija je bila zbog svog jačeg motora u odnosu na „normalne“ *Cessne* koje su joj davale zavidne performanse u odnosu na ostale C-172. Prototip FR-172 je poletio u siječnju 1967.g., a ukupno je proizvedeno 239 jedinica ispitivane inačice FR-172 J [11].

MOTOR:

Continentalov IO-360-H snage 157 kW ili 210 KS na 2800 rpm, hlađen zrakom sa direktnim ubrizgavanjem goriva, šest cilindra bokser motor sa nasuprotnim cilindrima postavljenim horizontalno s radnom zapremninom od 360 in³. Ima kompresijski omjer od 8.5:1 [12].

ELISA:

Elisu je proizveo *McCauley Propeller System*, ima dva kraka i dijametar od 76 in (1.93 m) s promjenjivim korakom elise u boljoj izvedbi – *constant speed propeller* [12].

GORIVO I ULJE:

100/130 *Octane minimum* gorivo se mora koristiti za ovu vrstu motora, dakle *Aviation Gasoline 100LL* kao i kod C-172R. Gorivo se dovodi u motor iz dva spremnika u krilima, a ukupni kapacitet iznosi 52 U.S. Galona (197 l), dok iskoristivi dio iznosi 46 U.S. Galona (174 l). Svaki spremnik ima kapacitet od 26 U.S. Galona (98,5 l).

Mineralno ulje SAE se koristi za podmazivanje, SAE50 za vanjske temperature iznad 5°C, A SAE30 za temperature manje od 5°C [12].

MASE:

Standardna masa praznog zrakoplova iznosi 677,7 kg što je nešto manje nego uobičajeno za C-172, iako sa većim i težim motorom. No, za masu polijetanja primjetno je da je nešto veća, nego kod C-172R [12].

Tablica 3.8. Maksimalne propisane mase FR-172 J

MAKSIMALNE PROPISANE MASE FR-172J		
TAKEOFF WEIGHT (MASA POLIJETANJA)	Normalna kategorija	2550 lbs (1157 kg)
	Utility kategorija	2200 lbs (998 kg)
LANDING WEIGHT (MASA SLIJETANJA)	Normalna kategorija	2550 lbs (1157 kg)
	Utility kategorija	2200 lbs (998 kg)
TERETNI DIO	200 lbs (91 kg)	

Izvor: [12]

Performanse FR-172 J su kako slijede:

Tablica 3.9. Ograničenja brzina FR-172 J

FR-172 J OGRANIČENJA BRZINA [kn]			
V_{NE}	161 kn		brzina koja se nikad ne prelazi
V_{NO}	127 kn		brzina koja se može prijeći samo u mirnom zraku
V_A	104 kn		brzina iznad koje se ne smiju izvoditi nagli pokreti
V_{FE}	10° zakrilca 10°-30° zakrilca	110 kn 87 kn	brzina koja se ne prelazi sa zakrilcima

Izvor: [12]

Tablica 3.10. FR-172 J performanse penjanja

MAKSIMALNI STUPANJ PENJANJA FR-172 J								
TEŽINA [kg]	RAZINA MORA +15°C		5 000 STOPA +5°C		10 000 STOPA -5°C		15 000 STOPA -15°C	
	[ft/min]	gorivo [L]	[ft/min]	gorivo [L]	[ft/min]	gorivo [L]	[ft/min]	gorivo [L]
1 157	880	4,9	650	11,7	420	20,1	190	33,3
1 000	1120	4,9	860	10,2	595	16,3	340	24,2
850	1420	4,9	1115	8,7	815	13,2	515	19,3

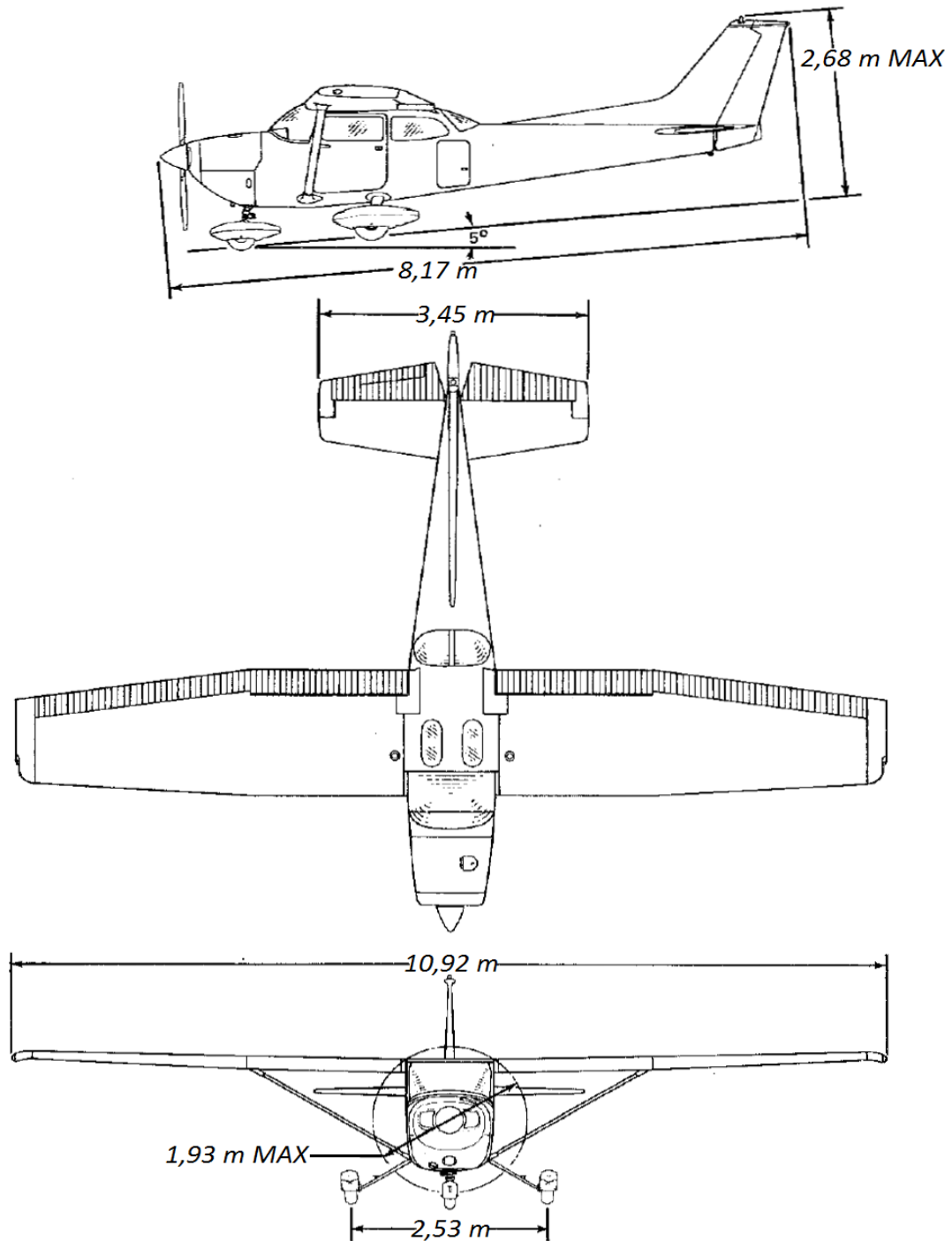
Izvor: [12]

Tablica 3.11. FR-172 J performanse krstarenja na primjeru 5 000 stopa

PERFORMANSE KRSTARENJA NA 5000 STOPA FR-172 J					
STANDARDNI UVJETI ISA					
RPM	MANIFOLD PRESSURE	TAS	POTROŠNJA GORIVA	46 U.S.GAL (174 LITRE) (BEZ REZERVE)	
	[in Hg]	[kn]	[U.S. GAL/h]	AUTONOMIJA [h]	DALJINA [NM]
2600	23	125	11,4	4.0	504
2500	23	123	11,0	4.2	517
2400	23	119	10,3	4.5	534
2300	23	116	9,7	4.8	552
2200	23	112	9,0	5.1	574

Izvor: [12]

Duljina FR-172 J iznosi 8.17 m, raspon krila 10.92 m, maksimalna visina 2,68 m, dok mu je površina krila 16,3 m². Na polijetanju FR-172 J se odvaja sa 55 kn, nakon početnog penjanja uspostavlja se brzina penjanja od 75-90 kn i na krstarenju se održava brzina od 110 kn (IAS). Parametri motora se uz klasični brojač okretaja (*RPM*), motre i uz još *MAP* (manifold pressure) instrument koji mjeri tlak unutar usisne grane motora. Plafon leta ovog modela iznosi 15 000 stopa ili 4572 metara, dok mu je maksimalni stupanj penjanja 1420 ft/min pri uvjetima težine od 850 kg i brzine 70 kts. Najveći dolet je 656 NM ili 1215 km pri standardnim uvjetima na 15 000 stopa visine.



Slika 9. Dimenzije FR-172 J, [12]



Slika 10. Drugi ispitivani zrakoplov FR-172 J (9A-BPR), [autor]

4.) MJERNE METODE I OPREMA

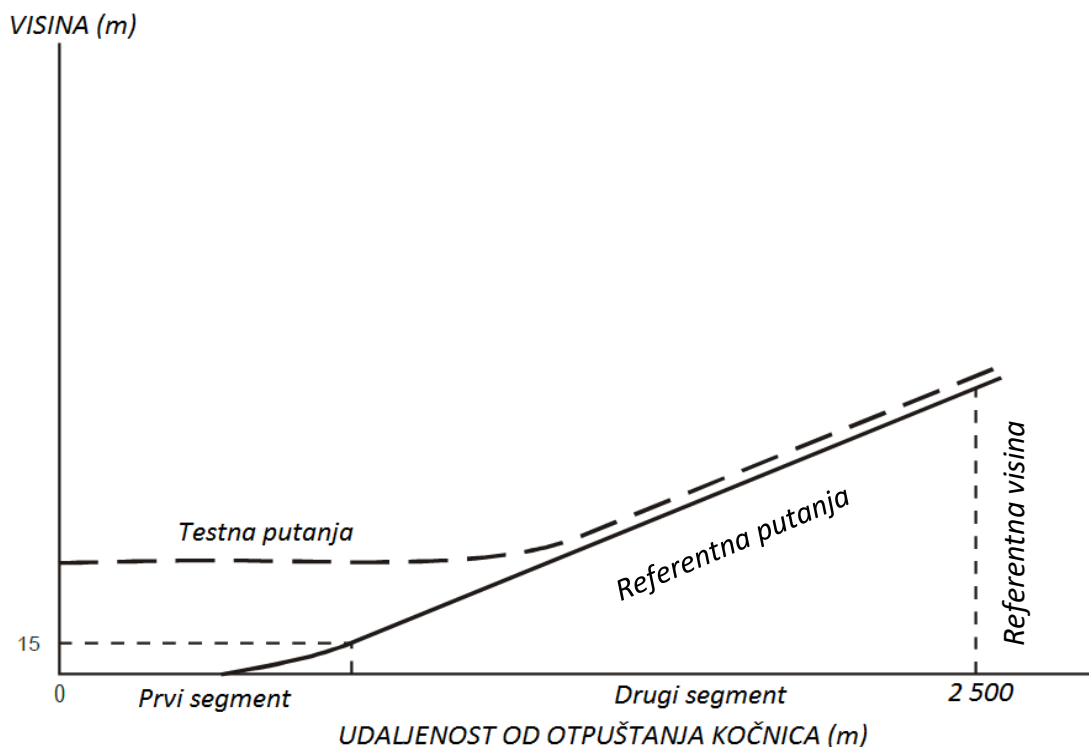
4.1.) Mjerne metode i postupci

Mjerne metode kojima se provode mjerenja se razlikuju o vrsti ispitivanog zrakoplova. Razlikuju se uređaji i postupci mjerenja zrakoplova težih od 8618 kg i lakših od 8618 kg. Isti se pak razlikuju po tome radi li se o mlaznim zrakoplovima ili zrakoplovima sa elisom. Također, veličina i namjena zrakoplova uvelike ovisi o mjernim metodama. Drugačije je radi li se o manjem ili većem zrakoplovu, kao i o putničkom, sportskom ili vojnom borbenom zrakoplovu.

Metoda koja se provodi ovisiti će o tome da li se mjeri unutarnja (kabinska) ili vanjska buka. Kabinska buka se može kod većih zrakoplova mjeriti u putničkoj kabini ili u kabini letačke posade kako bi se razmotrio utjecaj na ljude kao putnike i posadu. Kod malih zrakoplova jedna je točka mjerenja unutarnje buke zbog malog prostora. Kod mjerenja vanjske buke, najčešće se mjerenja izvršavaju u putanji polijetanja ili slijetanja ispred praga piste kod velikih zrakoplova ili u kritičnim dijelovima grada. Također, mjerenja se mogu izvoditi i po školskom krugu za ispitivanja namijenjena za zračne luke. Kod manjih zrakoplova manje česta su mjerenja u putanji polijetanja ili

slijetanja, ona koja se češće provode su vanjska kod nepomičnog zrakoplova na stajanci sa radećim motorom, poradi ispitivanja samih svojstava buke samog zrakoplova, a ne radi utjecaja na okoliš. Većina ostalih mjernih metoda je namijenjena za studiju utjecaja na okoliš. Ovaj rad se bavi komparativnom analizom promjene buke dva ista zrakoplova različite snage, stoga metoda koja se primjenjuje će biti vanjsko mjerenje na stajanci i unutarnje mjerenje kabinske buke.

Kod manjih jednomotornih klipnih zrakoplova ICAO definira da se vanjska mjerenja buke zrakoplova prilikom mjerenja na stajanci, obavljaju na udaljenosti i referentnoj točki po potrebi ispitivanja, dok su mjerenja u nadlijetanju uređaja točno definirana. Prilikom mjerenja vanjske buke ovakvih zrakoplova, definira se referentna putanja tog zrakoplova u polijetanju i testna putanja. Referentna putanja polijetanja ili profil, služi kako bi se utvrdila brzina i visina zrakoplova iznad mikrofona u standardnim uvjetima tog dana. Definira se da prvi segment počinje od otpuštanja kočnica na snazi motora za polijetanje do 15 m (50 ft) visine. Drugi segment se pretpostavlja da počinje na kraju prvog segmenta sa zrakoplovom u konfiguraciji za penjanje, uvučenim stajnim trapom i zakrilcima za polijetanje s brzinom za najbolji stupanj penjanja, V_y . Slika 11. ilustrira razliku između referentne putanje i stvarne testne putanje. Primjetno je da stvarna testna putanja ne treba uključivati polijetanje iz nepomičnog položaja, nego se pretpostavlja da se upotrebljava tehnika presretanja kako bi se nadletio mikrofona u drugom segmentu sa 20% referentne visine od 15 m (50 ft). Kod provođenja ovakvih ispitivanja, zrakoplovi sa elisama sa nepromjenjivim korakom se lete na različitim postavkama okretaja propelera (rpm), dok se zrakoplovi sa promjenjivim korakom elise lete na različitim postavkama tlaka unutar usisne grane motora, MAP [13].



Slika 11. Tipični profil testne i referentne putanje, [13]

ELISE SA NEPROMJENJIVIM KORAKOM:

Kod zrakoplova sa ovakvim elisama, krivulje osjetljivosti izvora buke se dobivaju iz podataka dobivenih mjerenjima na visini do maksimalno 300 m (984 ft) te na brzini elise koja odgovara maksimalnoj kontinuiranoj snazi – (N_{MCP}). Ovakav zrakoplov mora nadletjeti mikrofona na referentnoj visini, pri brzini penjanja (V_y) i brzini elise (N_{MAX}). Maksimalna razina buke A-težinske krivulje (L_{Amax}) se u grafovima označuje nasuprot Machovog broja vrha lopatice elise (M_H), kako bi se dobila krivulja kojom se može dobiti ispravak izvora buke. Za elise sa nepromjenjivim korakom, generalno nije moguće odvojiti dva najznačajnija parametra koja doprinose buci s testiranjima u letu. Na dva parametra misli se na Machov broj vrha lopatice elise i snagu koju apsorbira elisa. Stoga, krivulja osjetljivosti Machovog broja nasuprot razini zvuka dobivena testiranjima zrakoplova sa nepromjenjivim korakom elise u letu, bilo preletima iznad mikrofona ili penjanjima sa istom brzinom, će uključivati unutar krivulje efekte ne samo Machovog broja već i snage. Zbog ovakvih okolnosti nije poželjno primijeniti odvojenu korekciju za snagu [13].

ELISE SA PROMJENJIVIM KORAKOM:

Za ovakve elise, krivulje osjetljivosti izvora buke se iscrtavaju iz podataka dobivenih kod zrakoplova u letu sa više postavki brzine elise (tipično tri), te sa fiksnom postavkom *MAP*-a. U ovom slučaju to znači da bi maksimalne brzine elise, (N_{MCP}) i (N_{MAX}) odgovarale maksimalnoj dozvoljenoj postavci *MAP*-a za navedene maksimalne brzine elise. To se ponavlja za dvije manje vrijednosti *MAP*-a kako bi se dobio graf maksimalne razine buke A-težinske krivulje (L_{Amax}) nasuprot Machovog broja vrha lopatice elise (M_H) i *MAP*-a. Ovom dobivenom krivuljom se može dobiti (L_{Amax}) koja je razlika između referentnih i testnih uvjeta. Kod ovakvih mjerenja mora se primijeniti korekcija za snagu motora kod različitih brzina u *ISA* uvjetima, kako bi se ustanovila točna snaga motora za testne uvjete okolne temperature i gustoće zraka. Korekcije se izračunavaju prema sljedećim formulama:

a) za motore sa prirodnim punjenjem:

$$P_T = P_R [(T_R/T_T)^{1/2}] [(q - 0.117)/0.883]; \quad (8)$$

b) Za motore sa turbo prednabijanjem:

$$P_T = P_R [(T_R/T_T)^{1/2}]; \quad (9)$$

gdje:

- P_T i P_R su testna i referentna snaga motora,
- T_T i T_R su testna i referentna okolna temperatura,
- q je omjer gustoće zraka [13].

4.2.) Mjerna oprema

Oprema kojom su se izvršila mjerenja dva ispitivana zrakoplova je zvukomjer *Nor140*, proizvođača *Norsonic* iz Norveške. Oprema 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 [14].

Oprema uz zvukomjer uključuje:

- DC 12V izvor napajanja,
- 4 baterije AA,
- avionski priključak,
- GRAS niskofrekventni mikrofoni,
- nor1251 akustički kalibrator,
- instalacijski CD,
- USB kabel,
- zaštitnik od vjetra,
- uputstva za uporabu,
- prienosnu torbu [14].



Slika 12. *Nor140* mjerna oprema, [14]

Funkcije dostupne sa ovim zvukomjerom su: SPL (*The Instantaneous Sound Pressure Level*) – trenutna razina zvučnog tlaka, L_{MAX} (*The Maximum Sound Pressure Level*) – maksimalna razina zvučnog tlaka, L_{MIN} (*The Minimum Sound Pressure Level*) – minimalna razina zvučnog tlaka, L_{eq} (*The Integrated Averaged SPL*) – prosječna integrirana razina zvučnog tlaka, L_E (*The Sound Exposure Level*) – razina izloženosti zvuku, L_{PEAK} (*The Maximum Peak Level*) – maksimalna razina vrha [15].

5.) MJERENJE BUKE NA ZRAKOPLOVIMA CESSNA 172 R I FR172 J

Mjerenje buke dva ispitivana zrakoplova se provodilo na lokaciji Zračnog pristaništa Mali Lošinj. Izvršeno je vanjsko i unutarnje mjerenje buke navedenih zrakoplova, 9A-BPR i 9A-DAD. Vanjska mjerenja su se izvodila na stajanci zračnog pristaništa, dok su unutarnja izvođena tijekom taksiranja i letova u školskom krugu tijekom različitih režima leta. U ovom poglavlju će se opisati uvjeti i postavke pri mjerenjima buke kao i dobiveni, odnosno prikupljeni podaci.

5.1.) Metodologija i uvjeti izvođenja mjerenja

Mjerenja su izvršena na lokaciji Zračnog pristaništa Mali Lošinj 29.06.2018.g. od 12:00 h do 12:45 h. Pošto su se ispitivala dva zasebna zrakoplova, prvi set mjerenja je izvršen na zrakoplovu 9A-BPR (FR-172 J), a drugi set mjerenja na zrakoplovu 9A-DAD (C-172 R).

Uvjet koji se morao ispoštovati jest da su ispitivani zrakoplovi morali biti pod približno jednakim opterećenjem. Tri osobe su bile prisutne u svakom zrakoplovu tokom mjerenja u letu (uključujući pilota), dok je kod mjerenja na stajanci aerodroma u zrakoplovima bio prisutan samo jedan pilot. Težilo se približno jednakim masama zrakoplova u letu, odnosno opterećenju, jer buka zrakoplova će ovisiti o tome da li je zrakoplov pod većim ili manjim težinskim opterećenjem.

Meteorološki uvjeti toga dana u 12:00 h su bili sa prevladavajućim vjetrom od 8 kts iz smjera 010°, 10 km vidljivosti, maloj količini naoblake na 6000 stopa, temperaturi od 24°C i tlakom od 1009 hPa. Podaci su dobiveni iz METAR meteorološkog izvješća za taj dan u navedeno vrijeme: *METAR LDLO 291000Z 01008KT 9999 FEW060 24/15 Q1009=*.

Lokacija izvođenja ispitivanja je kao što je već navedeno, aerodrom Mali Lošinj, ICAO oznaka LDLO. Aerodrom ima asfaltnu uzletno sletnu stazu dužine 900 m orijentiranu 02/20 s elevacijom 154 stopa. Ispitivanja u letu kod 9A-BPR i 9A-DAD su izvršena u lijevom školskom krugu za uzletno sletnu stazu 02.



Slika 13. Školski krug ispitivanja u letu 9A-BPR i 9A-DAD, [16]

Vanjsko mjerenje ispitivanih zrakoplova obavljeno je na asfaltnoj stajanci. Mjerenje se obavljalo iz pozicije ispred vrha desnog krila svakog zrakoplova u ravnini okretanja elise motora. Mikrofon je bio na udaljenosti od 4.5 m od ravnine okretanja elise. Tri režima rada motora su uzimana kao relevantna za vanjsko mjerenje buke dva ispitivana zrakoplova. Režimi su bili postavljeni prema broju okretaja i oni su redom iznosili:

Tablica 5.1. Ispitivani režimi rada u mjerenju vanjske buke C-172 R i FR-172 J

REŽIMI RADA ZA MJERENJE VANJSKE BUKE	
1000 RPM	predstavlja količinu buke za rad motora na manjim snagama
1800 RPM	predstavlja količinu buke na postavci probe motora
MAX. RPM	predstavlja količinu buke na najjačem režimu rada motora

Unutarnje mjerenje buke, odnosno kabinska buka se mjerila i na tlu i u letu. Na tlu su također izmjereni svi režimi koji su se mjerili i kod vanjskog mjerenja sa dodatnim mjerenjima taksiranja i zatrčavanja. Dalje, kabinska buka se mjerila u režimima leta koji su postavljeni ovisno o poziciji na kojoj se letjelo u školskom krugu. Unutarnja buka je mjerena na poziciji desnog prednjeg sjedišta u oba ispitivana zrakoplova.

Tablica 5.2. Ispitivani režimi rada u mjerenju unutarnje buke C-172 R i FR-172 J

REŽIMI RADA ZA MJERENJE UNUTARNJE BUKE	
1000 RPM	predstavlja količinu buke za rad motora na manjim snagama
1800 RPM	predstavlja količinu buke na postavci probe motora
MAX. RPM	predstavlja količinu buke na najjačem režimu rada motora
ZATRČAVANJE	pozicija „ground roll-a“ na uzletno sletnoj stazi
POLIJETANJE	trenutak odvajanja od USS-e, motor na najvećoj snazi
PENJANJE	početno penjanje, motor na snazi za penjanje, <i>climb power</i>
HORIZONTALNI LET	pozicija šk. kruga niz vjetar „downwind“, snaga krstarenja
SPUŠTANJE	pozicija šk. kruga „base“, snaga motora za poniranje
PRILAZ 20°	pozicija šk. kruga „final“, poniranje, manji stupanj zakrilca
PRILAZ 30°	pozicija šk. kruga „final“, poniranje, veći stupanj zakrilca
SLIJETANJE	kontakt sa USS-om pri „idle“ snazi
TAKSIRANJE	voženje zrakoplova po spojnici sa snagom za taksiranje

Zvukomjer koristi terčne i oktavne filtre te paralelno može mjeriti i računati čitav niz akustičkih parametara. Snimanje je obavljeno u odsjecima od 5 sekundi za svaki navedeni ispitivani režim. Tijekom većine režima, pozadinska buka je bila na zadovoljavajućoj razini koja nije ometala sama mjerenja, no kod nekih je postojala i ti će režimi biti napomenuti. U nastavku će biti predstavljeni rezultati mjerenja za pojedine režime koji će biti prikazani tablično i grafički.

5.2.) Rezultati mjerenja

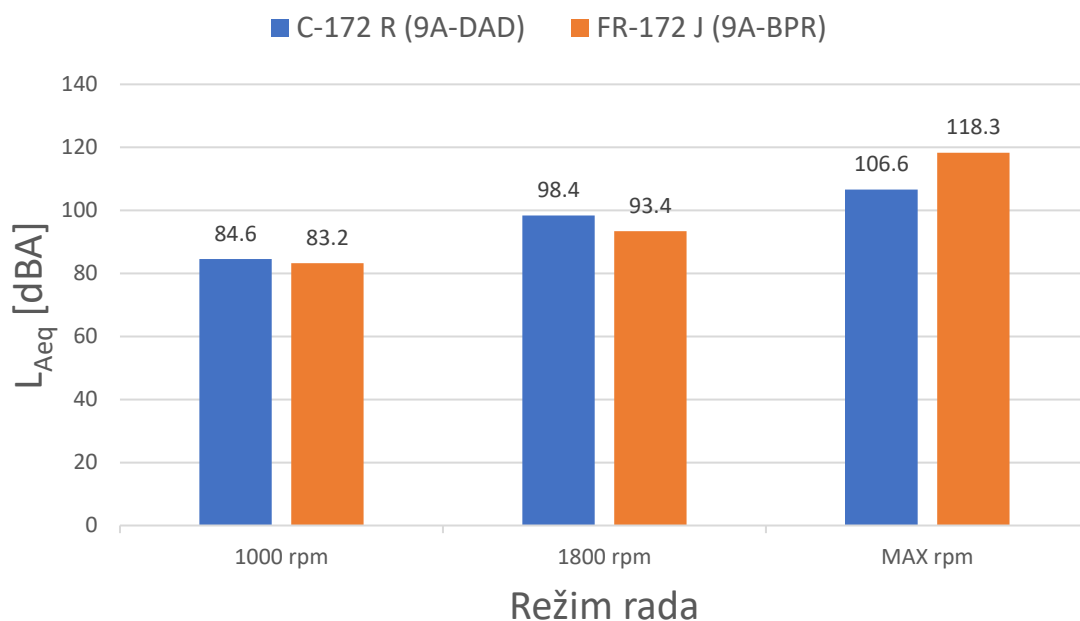
Rezultati dobiveni ispitivanjem biti će prikazani u ovom pod poglavlju koristeći A-ponderirana i oktavno pojasna mjerenja. Rezultati vanjske i unutarnje buke za ispitivane zrakoplove će biti prikazane vrijednostima razine zvučnog tlaka u jedinici decibel (dB). U tablicama će se prvo prikazivati rezultati 9A-DAD, a potom 9A-BPR.

5.2.1.) Rezultati mjerenja vanjske buke

U sljedećoj tablici biti će prikazani rezultati A – ponderiranim mjerenjem za vanjsku razinu buke oba ispitivana zrakoplova. Tablica 5.1. prikazuje ispitivane režime kod vanjskog mjerenja buke. Sljedeća tablica 5.3. će prikazati A – ponderiranu integriranu srednju vrijednost razine buke ili zvučnog tlaka (L_{Aeq}) – ekvivalentnu razinu. Vrijednosti u svim tablicama biti će prikazani u jedinici decibel dB, odnosno dBA.

Tablica 5.3. A – ponderirana srednja vrijednost razine vanjske buke

A – PONDERIRANA MJERENJA VANJSKE BUKE: SREDNJA VRIJEDNOST, L_{Aeq} [dBA]		
REŽIM	C-172 R (9A-DAD)	FR-172 J (9A-BPR)
1000 RPM	84,6	83,2
1800 RPM	98,4	93,4
MAX. RPM	106,6	118,3

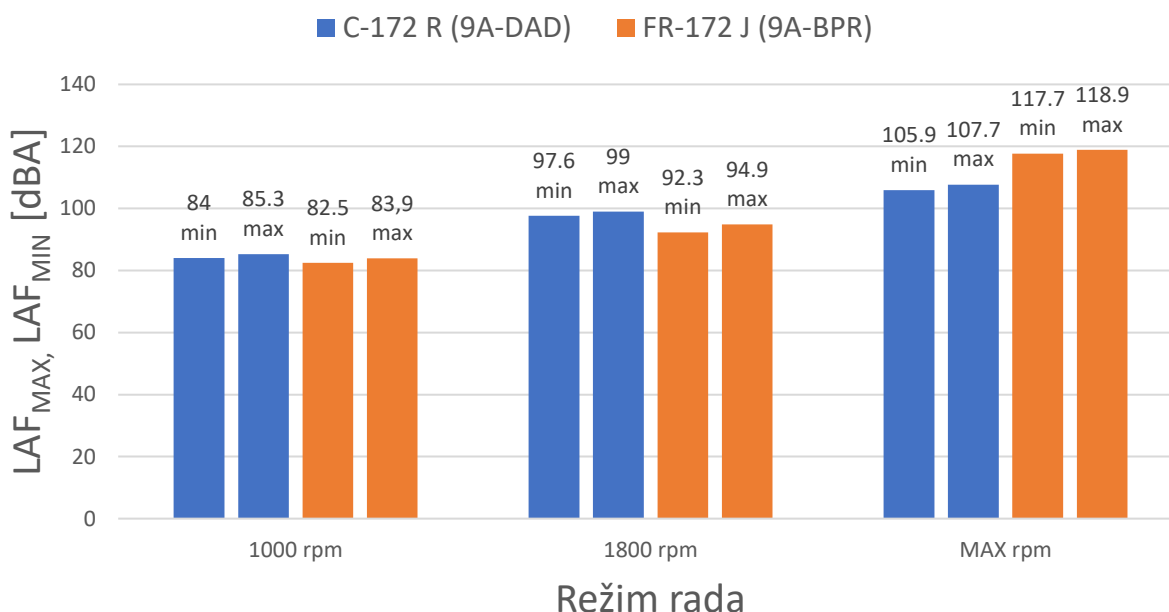


Grafikon 1. A – ponderirana srednja vrijednost razine vanjske buke

Prethodna tablica i grafikon potvrđuju očito, odnosno rast razine zvučnog tlaka (ekvivalentne A-ponderirane razine) sa povećanjem broja okretaja za oba ispitivana zrakoplova. I dok je na 1000 *rpm* razina zvučnog tlaka gotovo jednaka, razina zvučnog tlaka je osjetno veća na maksimalnoj snazi kod zrakoplova sa motorom veće snage FR-172 J (9A-BPR), što je i logično. Zanimljivo je za primijetiti da kod srednjeg režima (1800 *rpm*, režim probe motora) zrakoplov slabijeg motora C-172 R (9A-DAD) je bučniji 5 dB od 9A-BPR.

Tablica 5.4. A – ponderirana maksimalna i minimalna vrijednost razine vanjske buke

A – PONDERIRANA MJERENJA VANJSKE BUKE: MAKSIMALNA I MINIMALNA VRIJEDNOST, LAF _{MAX} , LAF _{MIN} [dBA]				
REŽIM	C-172 R (9A-DAD)		FR-172 J (9A-BPR)	
LAF _{MAX} , LAF _{MIN}	MIN	MAX	MIN	MAX
1000 RPM	84,0	85,3	82,5	83,9
1800 RPM	97,6	99,0	92,3	94,9
MAX. RPM	105,9	107,7	117,7	118,9

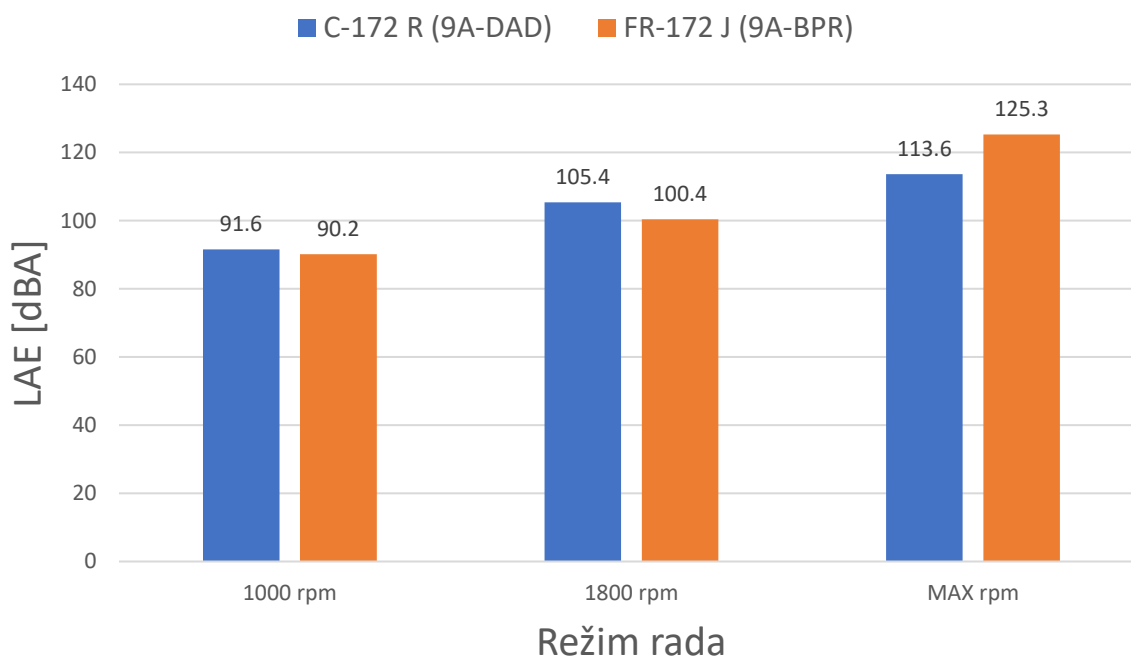


Grafikon 2. A – ponderirana maksimalna i minimalna vrijednost razine vanjske buke

I kod maksimalnih i minimalnih vrijednosti (tablica 5.4. i grafikon 2.) primjetan je isti trend kao i kod srednje razine vanjske buke, a to je da u režimu 1000 *rpm* vrijednosti oba ispitivana zrakoplova su približno jednake, u maksimalnom režimu veće su vrijednosti snažnijeg zrakoplova, a u režimu 1800 *rpm* i dalje je primjetan trend veće razine buke kod slabijeg zrakoplova.

Tablica 5.5. A – ponderirana razina izloženosti vanjskoj buci

A – PONDERIRANA MJERENJA VANJSKE BUKE: RAZINA IZLOŽENOSTI ZVUKU, LAE [dBA]		
REŽIM	C-172 R (9A-DAD)	FR-172 J (9A-BPR)
1000 RPM	91,6	90,2
1800 RPM	105,4	100,4
MAX. RPM	113,6	125,3

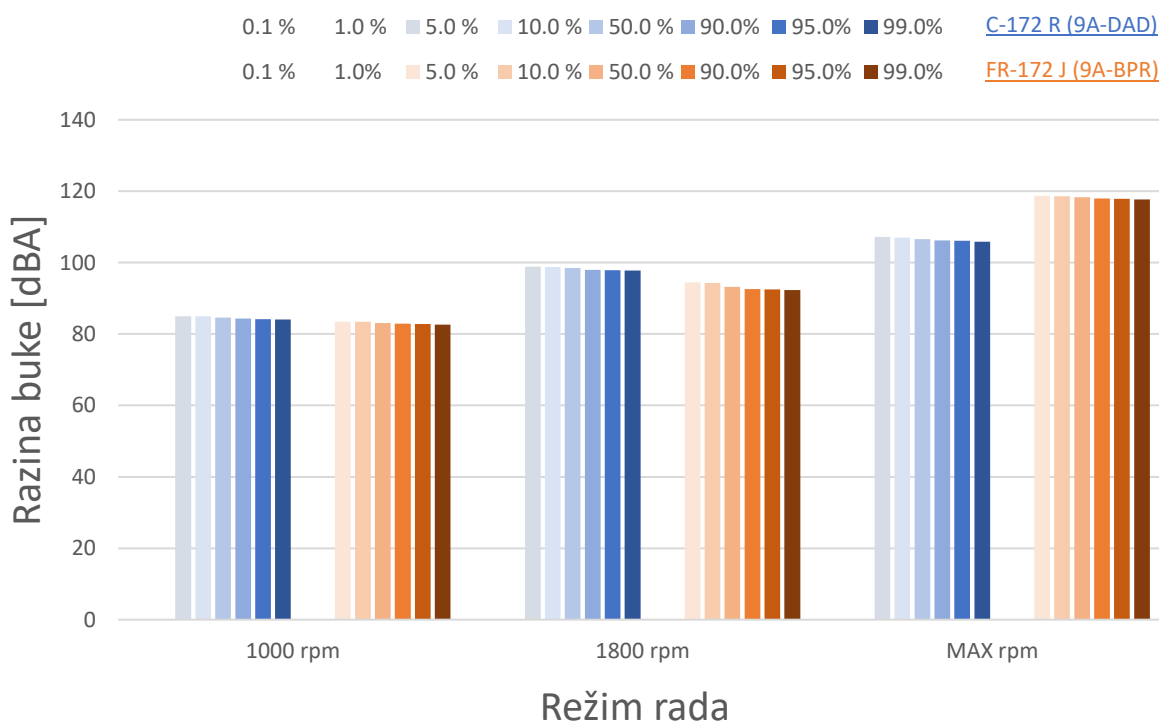


Grafikon 3. A – ponderirana razina izloženosti vanjskoj buci

Ponovno, kao i kod prethodnih razina zvučnog tlaka, kod razine izloženosti zvuku koju percipiramo, isti je trend kao i u prijašnjima. Logično je da na maksimalnoj snazi kod snažnijeg ispitivanog zrakoplova je razina veća, no to pretpostavljeno pravilo neće vrijediti za režime na manjim brojevima okretaja što se vidi po priloženih približno jednakih vrijednosti na 1000 rpm, ali i buci većoj kod slabijeg zrakoplova na 1800 rpm.

Tablica 5.6. A frekvencijski vrednovana razina vanjske buke u postotcima

A PONDERIRANA MJERENJA VANJSKE BUKE: A FREKVENCIJSKI VREDNOVANA RAZINA VANJSKE BUKE U POSTOTCIMA, LAF % [dBA]								
REŽIM	C-172 R (9A-DAD)							
	0.1 %	1.0 %	5.0 %	10.0 %	50.0 %	90.0%	95.0%	99.0%
1000 RPM	/	/	85,0	85,0	84,6	84,3	84,2	84,1
1800 RPM	/	/	98,9	98,8	98,5	98,0	97,9	97,8
MAX. RPM	/	/	107,2	107,0	106,6	106,2	106,1	105,9
REŽIM	FR-172 J (9A-BPR)							
	0.1 %	1.0%	5.0 %	10.0 %	50.0 %	90.0%	95.0%	99.0%
1000 RPM	/	/	83,4	83,4	83,1	82,9	82,8	82,6
1800 RPM	/	/	94,5	94,3	93,2	92,6	92,5	92,3
MAX. RPM	/	/	118,7	118,6	118,3	118,0	117,9	117,7



Grafikon 4. A frekvencijski vrednovana razina vanjske buke u postotcima, C-172 R (9A-DAD) i FR-172 J (9A-BPR)

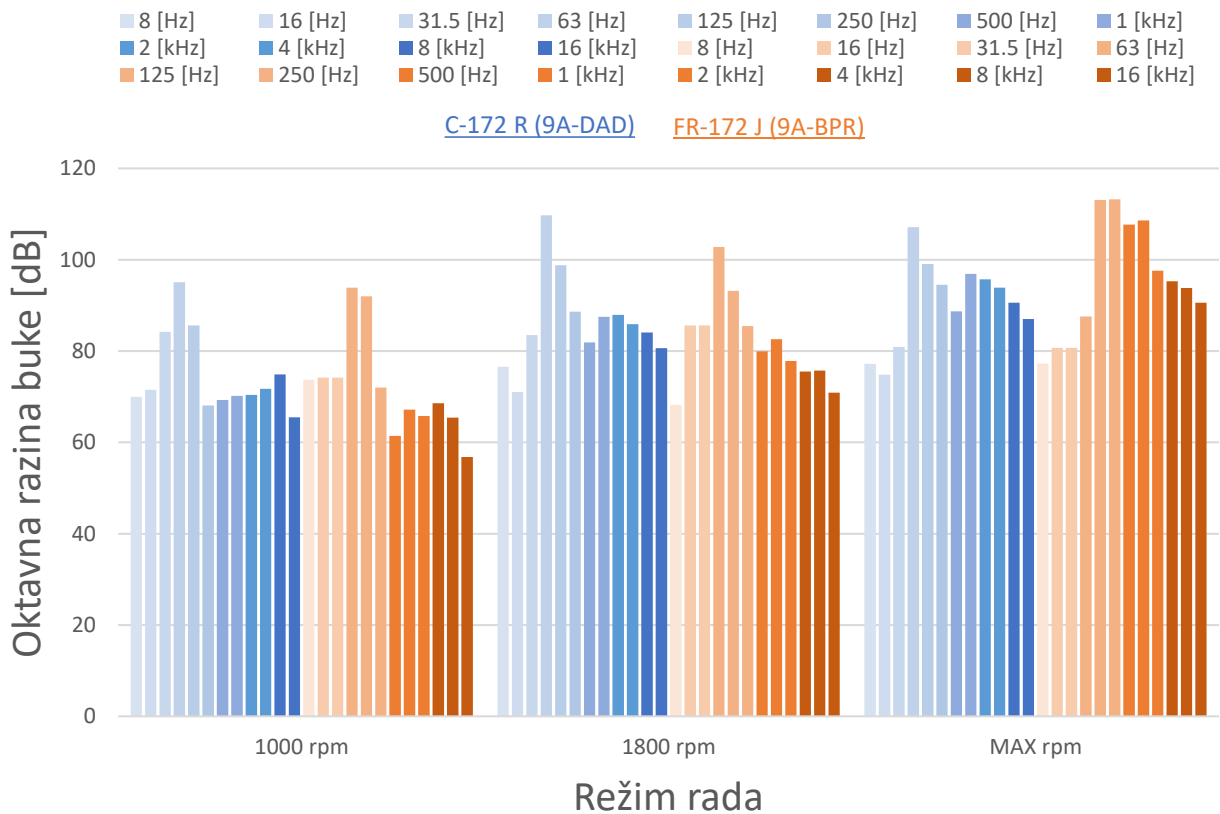
U tablici 5.6. može se vidjeti A-frekvencijski vrednovana razina vanjske buke prikazana u postotcima počevši sa 0.1 % pa sve do 99 %. Zanimljivo je za primijetiti da se percentili 0.1 % i 1 % ne mogu izračunati. Trend ostalih vrijednosti ovisno o režimima pokazuju nastavak kao i u prethodnim razinama buke.

Tablica 5.7. Rezultati oktavno – pojasnog mjerenja razine vanjske buke C-172 R (9A-DAD)

OKTAVNO – POJASNO MJERENJE RAZINE VANJSKE BUKE C-172 R (9A-DAD), L_{feq} [dB]						
REŽIM	C-172 R (9A-DAD)					
	8 [Hz]	16 [Hz]	31.5 [Hz]	63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]
1000 RPM	70,0	71,5	84,2	95,1	85,6	68,1
1800 RPM	76,6	71	83,5	109,7	98,8	88,6
MAX. RPM	77,2	74,8	80,9	107,1	99,1	94,5
REŽIM	C-172 R (9A-DAD)					
	500 [Hz]	1 [kHz]	2 [kHz]	4 [kHz]	8 [kHz]	16 [kHz]
1000 RPM	69,3	70,2	70,4	71,7	74,9	65,5
1800 RPM	81,9	87,5	87,9	85,9	84,1	80,6
MAX. RPM	88,7	96,9	95,7	93,9	90,6	87,0

Tablica 5.8. Rezultati oktavno – pojasnog mjerenja razine vanjske buke FR-172 J (9A-BPR)

OKTAVNO – POJASNO MJERENJE RAZINE VANJSKE BUKE FR-172 J (9A-BPR), L_{feq} [dB]						
REŽIM	FR-172 J (9A-BPR)					
	8 [Hz]	16 [Hz]	31.5 [Hz]	63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]
1000 RPM	73,7	70,2	74,2	93,9	92,0	72,0
1800 RPM	68,2	75,4	85,6	102,8	93,2	85,5
MAX. RPM	77,3	76,4	80,7	87,6	113,1	113,2
REŽIM	FR-172 J (9A-BPR)					
	500 [Hz]	1 [kHz]	2 [kHz]	4 [kHz]	8 [kHz]	16 [kHz]
1000 RPM	61,4	67,2	65,8	68,6	65,4	56,8
1800 RPM	79,9	82,6	77,8	75,5	75,7	70,9
MAX. RPM	107,7	108,6	97,6	95,3	93,8	90,6



Grafikon 5. Prikaz kombiniranih rezultata oktavno – pojasnog mjerenja razine vanjske buke, C-172 R (9A-DAD) i FR-172 J (9A-BPR)

Tablice 5.7. i 5.8. prikazuju rezultate mjerenja, oktavno – pojasnim mjerenjem u rasponu od 8 Hz – 16 kHz za ispitivane režime leta vanjskog mjerenja buke. Ovakvo mjerenje se provodi ako se očekuje da će razina buke biti iznad vrijednosti od 90 dB.

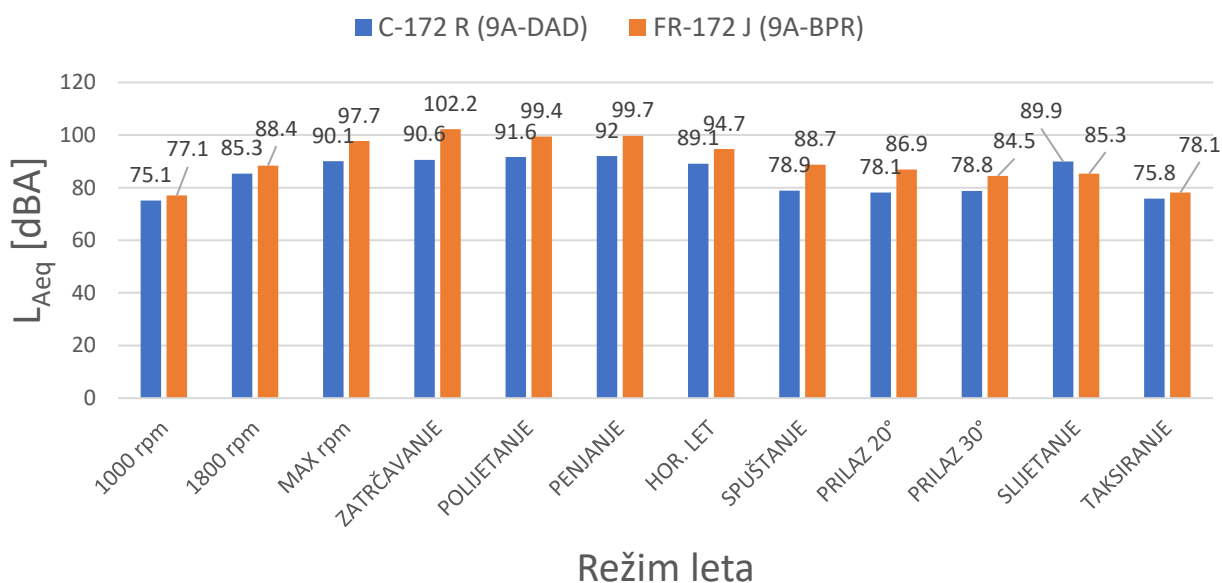
Grafikon 5. prikazuje isto mjerenje za oba zrakoplova u tri ispitivana režima vanjske buke. I kod oktavno – pojasnog mjerenja i dalje je prisutna ista tendencija razina buke kao i u prošlim ispitivanim vrijednostima.

5.2.2.) Rezultati mjerenja unutarnje buke

Promatrajući rezultate unutarnjeg mjerenja kabinske buke za oba ispitivana zrakoplova, isti će biti predstavljeni jednakim skupom rezultata kao i vanjska buka, ali u više ispitivanih režima na tlu i u letu prikazanih u tablici 5.2. Kao i kod vanjske buke, rezultati će biti predstavljeni u razini zvučnog tlaka kao decibel [dB].

Tablica 5.9. A – ponderirana srednja vrijednost razine unutarnje buke

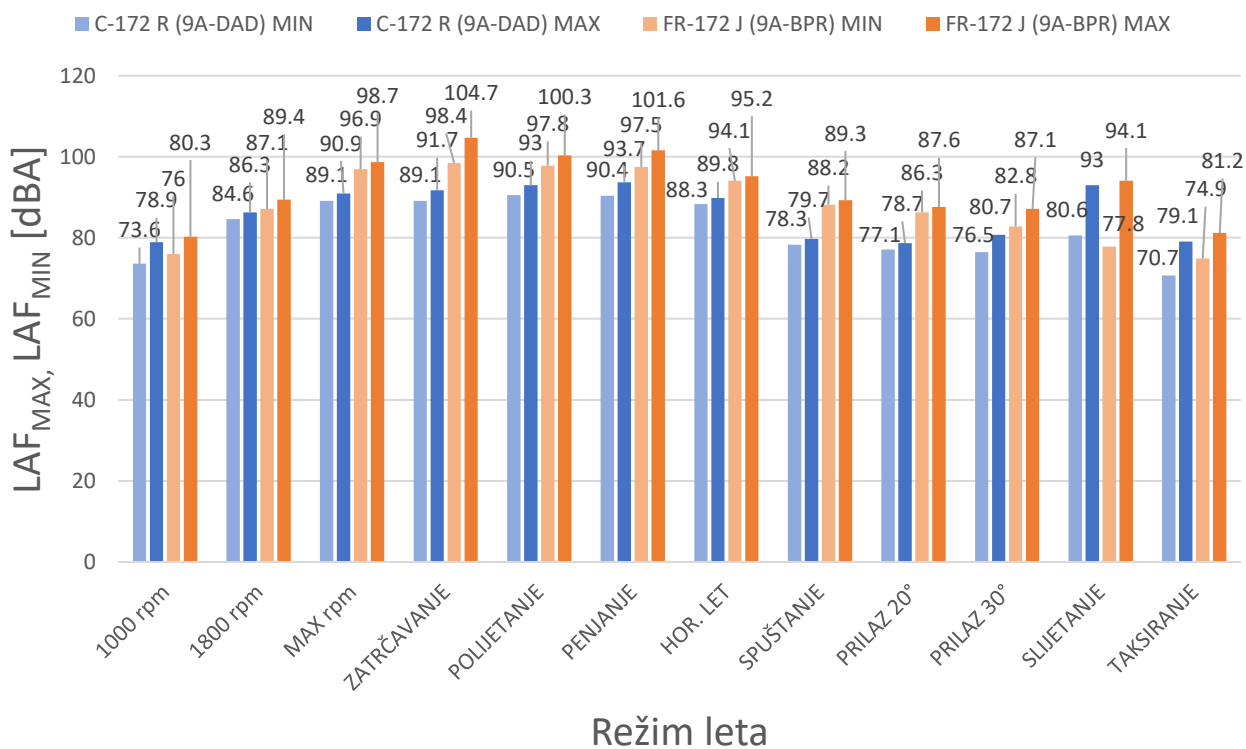
A – PONDERIRANA MJERENJA UNUTARNJE BUKE: SREDNJA VRIJEDNOST, L_{Aeq} [dBA]		
REŽIM	C-172 R (9A-DAD)	FR-172 J (9A-BPR)
1000 RPM	75,1	77,1
1800 RPM	85,3	88,4
MAX. RPM	90,1	97,7
ZATRČAVANJE	90,6	102,2
POLIJETANJE	91,6	99,4
PENJANJE	92,0	99,7
HOR. LET	89,1	94,7
SPUŠTANJE	78,9	88,7
PRILAZ 20°	78,1	86,9
PRILAZ 30°	78,8	84,5
SLIJETANJE	89,9	85,3
TAKSIRANJE	75,8	78,1



Grafikon 6. A – ponderirana srednja vrijednost razine unutarnje buke

Tablica 5.10. A – ponderirana maksimalna i minimalna vrijednost razine unutarnje buke

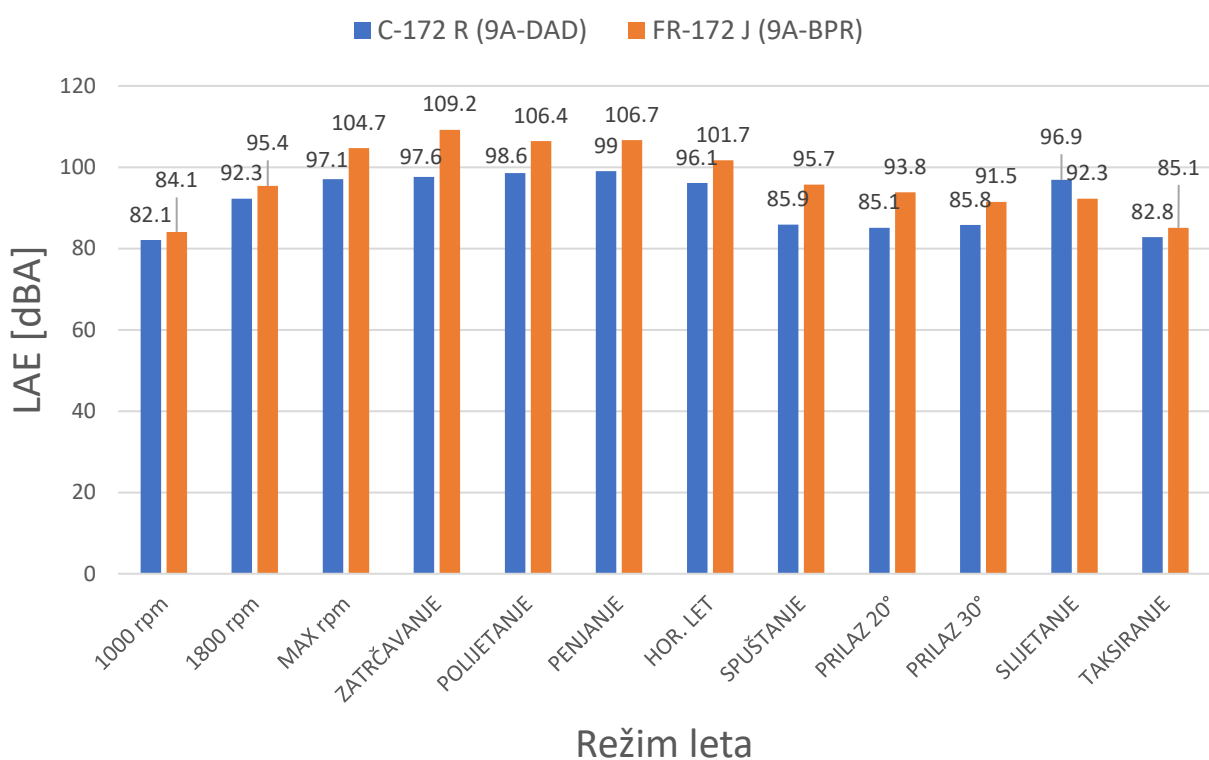
A – PONDERIRANA MJERENJA UNUTARNJE BUKE: MAKSIMALNA I MINIMALNA VRIJEDNOST, LAF_{MAX}, LAF_{MIN} [dBA]				
REŽIM	C-172 R (9A-DAD)		FR-172 J (9A-BPR)	
LAF _{MAX} , LAF _{MIN}	MIN	MAX	MIN	MAX
1000 RPM	73,6	78,9	76,0	80,3
1800 RPM	84,6	86,3	87,1	89,4
MAX. RPM	89,1	90,9	96,9	98,7
ZATRČAVANJE	89,1	91,7	98,4	104,7
POLIJETANJE	90,5	93,0	97,8	100,3
PENJANJE	90,4	93,7	97,5	101,6
HOR. LET	88,3	89,8	94,1	95,2
SPUŠTANJE	78,3	79,7	88,2	89,3
PRILAZ 20°	77,1	78,7	86,3	87,6
PRILAZ 30°	76,5	80,7	82,8	87,1
SLIJETANJE	80,6	93,0	77,8	94,1
TAKSIRANJE	70,7	79,1	74,9	81,2



Grafikon 7. A – ponderirana maksimalna i minimalna vrijednost razine unutarnje buke

Tablica 5.11. A – ponderirana razina izloženosti unutarnjoj buci

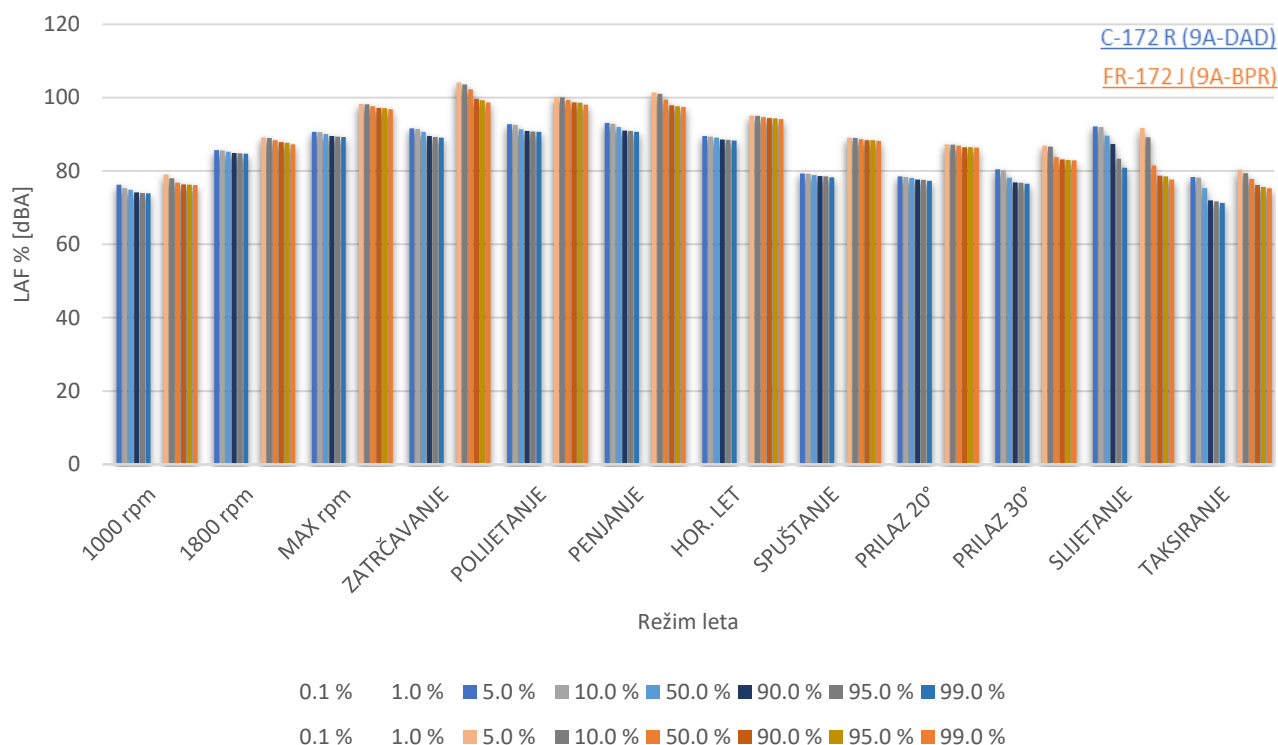
A – PONDERIRANA MJERENJA UNUTARNJE BUKE: RAZINA IZLOŽENOSTI ZVUKU, LAE [dBA]		
REŽIM	C-172 R (9A-DAD)	FR-172 J (9A-BPR)
1000 RPM	82,1	84,1
1800 RPM	92,3	95,4
MAX. RPM	97,1	104,7
ZATRČAVANJE	97,6	109,2
POLIJETANJE	98,6	106,4
PENJANJE	99,0	106,7
HOR. LET	96,1	101,7
SPUŠTANJE	85,9	95,7
PRILAZ 20°	85,1	93,8
PRILAZ 30°	85,8	91,5
SLIJETANJE	96,9	92,3
TAKSIRANJE	82,8	85,1



Grafikon 8. A – ponderirana razina izloženosti unutarnjoj buci

Tablica 5.12. A frekvencijski vrednovana razina unutarnje buke u postotcima

A PONDERIRANA MJERENJA UNUTARNJE BUKE: A FREKVENCIJSKI VREDNOVANA RAZINA UNUTARNJE BUKE U POSTOTCIMA, LAF % [dBA]								
REŽIM	C-172 R (9A-DAD)							
	0.1%	1.0%	5.0%	10.0%	50.0%	90.0%	95.0%	99.0%
1000 RPM	/	/	76,3	75,3	74,9	74,2	74,1	73,9
1800 RPM	/	/	85,7	85,6	85,3	84,9	84,8	84,7
MAX. RPM	/	/	90,7	90,6	90,1	89,5	89,4	89,3
ZATRČAVANJE	/	/	91,6	91,5	90,7	89,5	89,3	89,1
POLIJETANJE	/	/	92,8	92,6	91,4	90,9	90,8	90,7
PENJANJE	/	/	93,1	92,9	92,0	91,0	90,9	90,7
HOR. LET	/	/	89,5	89,4	89,1	88,6	88,5	88,3
SPUŠTANJE	/	/	79,3	79,2	78,9	78,6	78,5	78,3
PRILAZ 20°	/	/	78,5	78,4	78,1	77,7	77,6	77,3
PRILAZ 30°	/	/	80,5	80,2	78,2	76,9	76,8	76,5
SLIJETANJE	/	/	92,2	92,0	89,6	87,4	83,3	80,9
TAKSIRANJE	/	/	78,4	78,2	75,3	72,0	71,7	71,3
REŽIM	FR-172 J (9A-BPR)							
	0.1%	1.0%	5.0%	10.0%	50.0%	90.0%	95.0%	99.0%
1000 RPM	/	/	79,1	78,0	76,8	76,4	76,3	76,2
1800 RPM	/	/	89,2	89,0	88,4	87,9	87,7	87,3
MAX. RPM	/	/	98,3	98,2	97,7	97,2	97,1	96,9
ZATRČAVANJE	/	/	104,1	103,6	102,3	99,7	99,3	98,7
POLIJETANJE	/	/	100,2	100,1	99,4	98,7	98,6	98,1
PENJANJE	/	/	101,4	101,1	99,5	97,9	97,7	97,5
HOR. LET	/	/	95,1	95,0	94,7	94,4	94,3	94,2
SPUŠTANJE	/	/	89,1	89,0	88,7	88,4	88,4	88,2
PRILAZ 20°	/	/	87,3	87,2	86,9	86,5	86,5	86,4
PRILAZ 30°	/	/	86,9	86,7	83,8	83,2	83,0	82,9
SLIJETANJE	/	/	91,7	89,2	81,5	78,7	78,5	77,7
TAKSIRANJE	/	/	80,4	79,4	77,8	76,2	75,7	75,3



Grafikon 9. A frekvencijski vrednovana razina unutarnje buke u postotcima

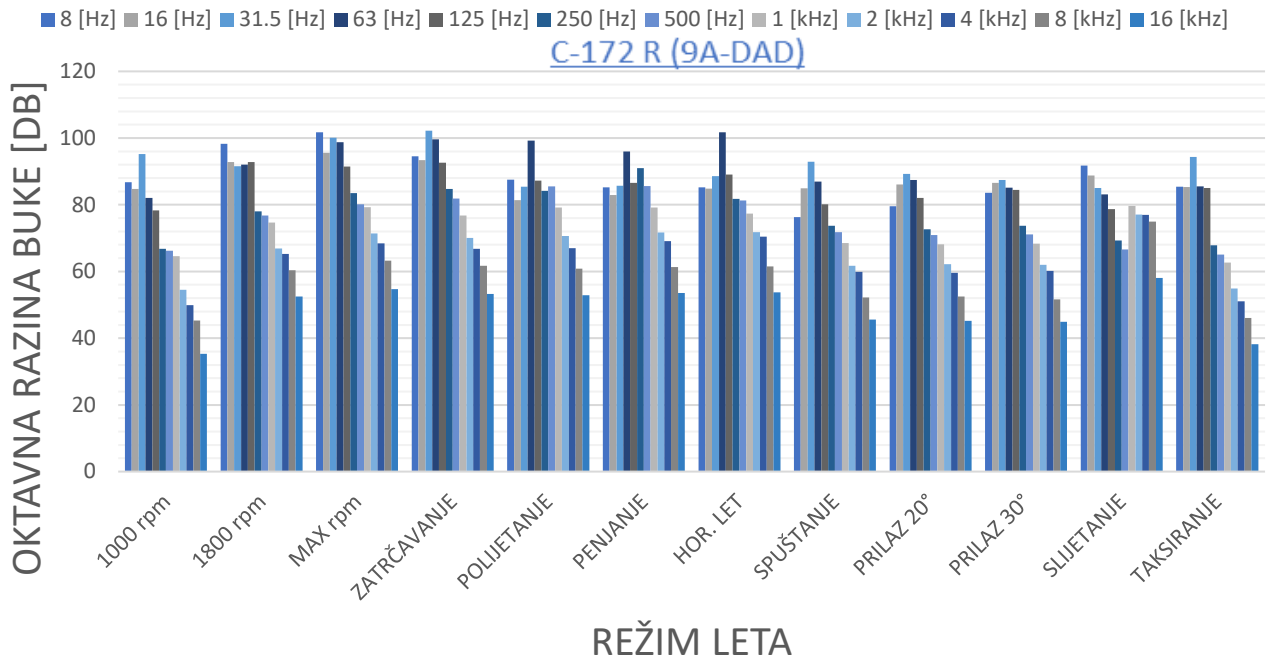
Tablica 5.13. Rezultati oktavno – pojasnog mjerenja razine unutarnje buke C-172 R (9A-DAD)

OKTAVNO – POJASNO MJERENJE RAZINE UNUTARNJE BUKE C-172 R (9A-DAD), L_{feq} [dB]						
REŽIM	C-172 R (9A-DAD)					
	8 [Hz]	16 [Hz]	31.5 [Hz]	63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]
1000 RPM	86,8	84,7	95,2	82,1	78,3	66,8
1800 RPM	98,3	92,8	91,6	92,0	92,8	78,0
MAX. RPM	101,7	95,6	100,1	98,8	91,5	83,5
ZATRČAVANJE	94,5	93,4	102,2	99,6	92,6	84,7
POLIJETANJE	87,5	81,4	85,4	99,2	87,2	84,2
PENJANJE	85,2	82,9	85,7	96,0	86,6	91,0
HOR. LET	85,2	84,8	88,6	101,7	89,1	81,8
SPUŠTANJE	76,3	84,9	92,9	87,0	80,1	73,7
PRILAZ 20°	79,6	86,1	89,3	87,4	82,1	72,7
PRILAZ 30°	83,6	86,6	87,4	85,1	84,5	73,7
SLIJETANJE	91,8	88,8	85,0	83,1	78,7	69,3
TAKSIRANJE	85,4	85,3	94,3	85,5	85,0	67,9
REŽIM	C-172 R (9A-DAD)					
	500 [Hz]	1 [kHz]	2 [kHz]	4 [kHz]	8 [kHz]	16 [kHz]
1000 RPM	66,2	64,6	54,5	49,9	45,3	35,3
1800 RPM	76,8	74,7	66,9	65,3	60,4	52,5
MAX. RPM	80,1	79,3	71,4	68,4	63,2	54,7

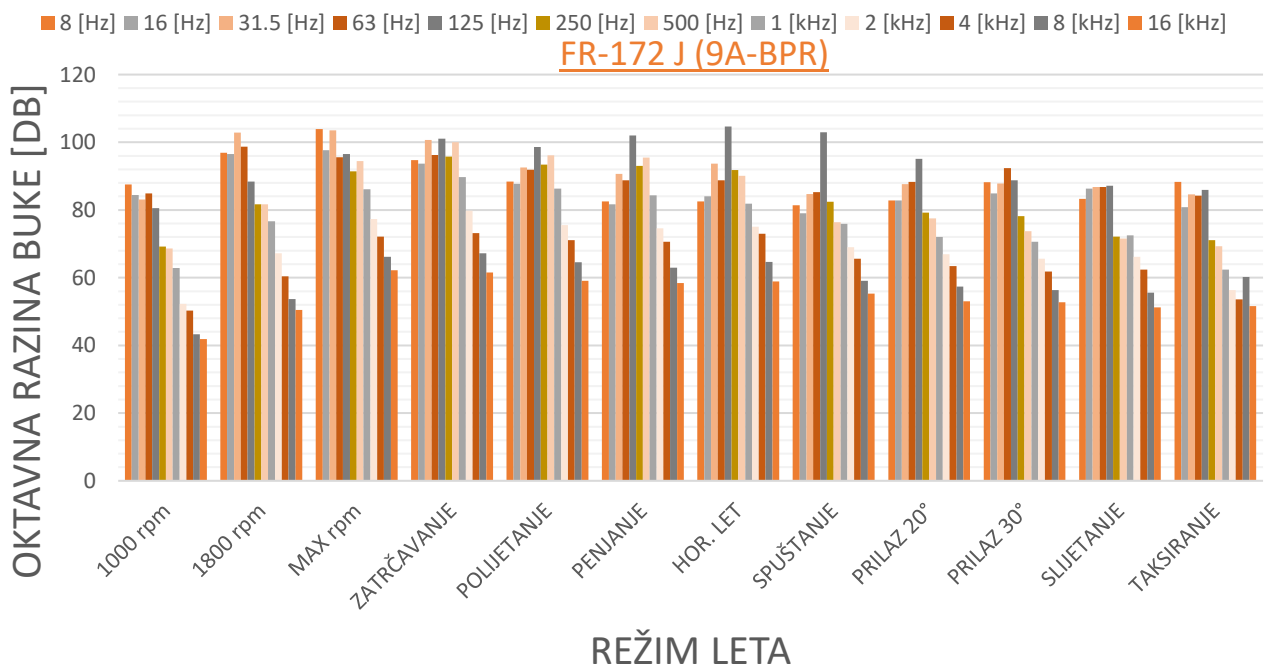
ZATRČAVANJE	81,9	76,8	70,1	66,8	61,7	53,3
POLIJETANJE	85,5	79,2	70,6	67,0	60,8	52,9
PENJANJE	85,6	79,2	71,7	69,1	61,3	53,6
HOR. LET	81,3	77,4	71,8	70,4	61,5	53,7
SPUŠTANJE	71,8	68,5	61,7	59,9	52,2	45,6
PRILAZ 20°	70,9	68,1	62,2	59,6	52,5	45,2
PRILAZ 30°	71,1	68,3	62,0	60,2	51,6	44,9
SLIJETANJE	66,6	79,7	77,1	77,0	75,0	58,1
TAKSIRANJE	65,1	62,7	54,9	51,1	46,1	38,2

Tablica 5.14. Rezultati oktavno – pojasnog mjerenja razine unutarnje buke FR-172 J (9A-BPR)

OKTAVNO – POJASNO MJERENJE RAZINE UNUTARNJE BUKE FR-172 J (9A-BPR), L_{freq} [dB]						
REŽIM	FR-172 J (9A-BPR)					
	8 [Hz]	16 [Hz]	31.5 [Hz]	63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]
1000 RPM	87,5	84,4	83,1	84,9	80,5	69,2
1800 RPM	96,9	96,5	102,9	98,7	88,4	81,7
MAX. RPM	103,9	97,7	103,5	95,6	96,5	91,4
ZATRČAVANJE	94,7	93,7	100,7	96,2	101,1	95,8
POLIJETANJE	88,4	87,7	92,6	91,9	98,6	93,4
PENJANJE	82,5	81,7	90,7	88,8	102,0	93,0
HOR. LET	82,5	84,0	93,7	88,8	104,7	91,8
SPUŠTANJE	81,4	79,0	84,7	85,3	103,0	82,4
PRILAZ 20°	82,8	82,8	87,6	88,3	95,1	79,2
PRILAZ 30°	88,2	84,9	87,8	92,4	88,8	78,2
SLIJETANJE	83,3	86,3	86,8	86,8	87,2	72,1
TAKSIRANJE	88,3	80,8	84,6	84,2	85,9	71,1
REŽIM	FR-172 J (9A-BPR)					
	500[Hz]	1 [kHz]	2 [kHz]	4 [kHz]	8 [kHz]	16 [kHz]
1000 RPM	68,6	62,9	52,3	50,3	43,3	41,9
1800 RPM	81,7	76,7	67,2	60,4	53,7	50,5
MAX. RPM	94,4	86,1	77,3	72,1	66,2	62,2
ZATRČAVANJE	100,0	89,7	79,8	73,2	67,2	61,5
POLIJETANJE	96,1	86,3	75,5	71,1	64,6	59,1
PENJANJE	95,5	84,3	74,6	70,6	63,0	58,4
HOR. LET	90,1	81,9	75,1	73,0	64,7	58,9
SPUŠTANJE	76,4	75,9	69,0	65,6	59,1	55,3
PRILAZ 20°	77,5	72,0	66,9	63,4	57,4	53,0
PRILAZ 30°	73,7	70,6	65,6	61,8	56,3	52,7
SLIJETANJE	71,6	72,5	66,2	62,4	55,6	51,2
TAKSIRANJE	69,3	62,4	56,3	53,6	60,2	51,6



Grafikon 10. Prikaz rezultata oktavno – pojasnog mjerenja razine unutarnje buke, C-172 R (9A-DAD)



Grafikon 11. Prikaz rezultata oktavno – pojasnog mjerenja razine unutarnje buke, FR-172 J (9A-BPR)

6.) ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA

Nakon dobivenih rezultata i prikazivanjem istih može se pristupiti analizi i interpretaciji. Ono što se očekuje jest i logičan zaključak da će zrakoplov sa pogonskom grupom jačom više od 50 KS ili 37 kW od slabijeg zrakoplova, stvarati veću razinu zvučnog tlaka, odnosno buke.

Kako kod vanjske tako i kod unutarnje razine buke, valja za primijetiti da na prvom ispitivanom režimu rada 1000 *rpm* ili *idle* snazi, razine buke su gotovo pa izjednačene kod oba ispitivana zrakoplova. To se može pripisati tomu da iako su motori različitih snaga, na tako malim brojevima okretaja neće se zamijetiti velika razlika u snagama pri mirnom, *idle* režimu rada. Motori iako različiti, u oba zrakoplova su suštinski jednaki, te njihova razlika u snazi se očituje pri većim i zahtjevnijim režimima rada, dok su razine buke i karakteristike frekvencijskog spektra približno jednaki u ovom najmanje zahtjevnom i najtišem režimu rada. Iako je kod režima taksiranja razlika nešto veća, također se očituju manje diferencijalne vrijednosti jer se radi o zapravo režimu 1000 *rpm*, samo sa kretanjem zrakoplova na tlu.

Isto tako, zanimljiv je i režim probe rada motora, odnosno 1800 *rpm* na kojima se i obavlja proba te provjera motora prije polijetanja. Razina unutarnje buke u ovom režimu je veća kod snažnijeg zrakoplova FR-172 J, a manja kod slabijeg C-172 R, dok za vanjsku buku vrijedi obrnuti slučaj. Iz tog razloga može se pretpostaviti da je kod vanjskog mjerenja buke pri režimu 1800 *rpm*, ipak došla do izražaja različitost elisa ispitivanih zrakoplova. Kako je zapravo elisa C-172 R (9A-DAD) nepromjenjiva koraka, a FR-172 J (9A-BPR) promjenjiva koraka ili takozvani „*constant speed propeller*“, može se zaključiti da je to razlog nekonzistentnosti rezultata vanjske buke u ovom režimu. *Constant speed propeller* je tako konstruiran da automatski mijenja kut lopatica elise kako bi se održavao konstantni broj okretaja bez obzira na veličinu momenta kojeg proizvodi sama pogonska grupa ili visini i brzini na kojoj zrakoplov leti. Iako je u svim ostalima režimima sama pogonska grupa veće snage pridonijela da je FR-172 J (9A-BPR) bučniji zrakoplov, očito ovaj režim pri vanjskoj buci je istaknuo različitost elisa samih zrakoplova te rezultirao time da slabiji zrakoplov C-172 R (9A-DAD), zbog svoje elise nepromjenjiva koraka bude bučniji zrakoplov. Elisa nepromjenjiva koraka zadržava svoj napadni kut tijekom same instalacije i njen broj okretaja je izravno povezan s brojem okretaja motora. Kut lopatica takve elise je zapravo kompromis između optimalnog kuta za polijetanje, penjanje i krstarenje, te je stoga u ovom režimu slabiji zrakoplov imao veću razinu buke, zbog svoje može se reći nepovoljnije elise. Također, 1800 *rpm* režim slijedi nakon 1000 *rpm* režima koji je pak pokazao približno jednake rezultate buke. Na kraju, ostali režimi su pokazali da snažniji zrakoplov ipak ima veće razine buke bez obzira na svoju napredniju elisu.

U svim rezultatima mjerenja unutarnje razine buke osim jednog, utvrđeno je da se zrakoplov FR-172 J (9A-BPR) odlikuje većom razinom unutarnje buke uslijed 50 KS

jače i zastarjele pogonske grupe u odnosu na C-172 R (9A-DAD). Nadalje, jedan od većih razloga što je FR-172 J bučniji zrakoplov je broj okretaja ili *rpm* koji na max. snazi iznosi 2800 *rpm*, dok je kod tišeg zrakoplova na max. snazi taj iznos 2400 *rpm*. Broj okretaja elise je veliki faktor doprinosa većoj buci što je objašnjeno u drugom poglavlju. Tiši zrakoplov C-172 R (9A-DAD) je bolje opremljen unutarnjom zvučnom izolacijom i kvalitetnijim materijalima koji smanjuju kabinsku buku.

Režim koji upućuje na suprotno je režim slijetanja, odnosno samog dodira kotača sa USS-om, gdje je veća razina unutarnje buke na strani C-172 R (9A-DAD). Navedeno je razlog pozadinske buke ili onečišćenja, odnosno aktiviranja upozorenja pred slom uzgona (trubice visokog intenziteta) na zrakoplovu 9A-DAD prilikom slijetanja, koje je omelo mjerenje za taj režim tog zrakoplova. No, može se pretpostaviti da i pri režimu slijetanja 9A-DAD je subjektivno tiši zrakoplov.

Tri režima na kojima su najizraženije razlike između dva zrakoplova su režimi: max. *rpm*, zatrčavanje pred polijetanje i samo polijetanje. Tu su motori na najvećim radnim opterećenjima gdje najviše iskorištavaju pogonsku snagu i zato je razlika buke najveća jer oba ispitivana zrakoplova pokazuju najveće razine buke svojih pogonskih grupa, gdje će biti i najveća razlika između istih. U tekstu gore je navedeno da pri nižim režimima ta ista razlika se smanjuje, čak je i približno jednaka, iako i dalje postoji do neke mjere u korist FR-172 J (9A-BPR) kao bučnijeg zrakoplova. Režim vanjske buke 1800 *rpm* je izdvojen iz ovog generalnog zaključka zbog utjecaja izvedbe elisa.

Kod vanjske vrijednosti buke, najveća vrijednost izražena kao A – ponderirana srednja vrijednost (L_{Aeq}) iznosila je 118,3 dBA kod FR-172 J (9A-BPR) u max. režimu rada, dok je LAE razina izloženosti iznosila u najvećoj vrijednosti iznosila 118,9 dBA kod istog zrakoplova u istom režimu.

Kod unutarnje vrijednosti buke, najveća vrijednost izražena kao A – ponderirana srednja vrijednost (L_{Aeq}) iznosila je 102,2 dBA kod FR-172 J (9A-BPR) u režimu zatrčavanja, dok je LAE razina izloženosti iznosila u najvećoj vrijednosti iznosila 109,2 dBA kod istog zrakoplova u istom režimu.

Subjektivni doživljaj buke je veći i neugodniji kod zrakoplova FR-172 J (9A-BPR) sa time da je izraženija unutarnja ili kabinska buka, nego vanjska kod subjektivnog ljudskog doživljaja. Razlog tomu je, iako je vanjska razina buke zamjetno veća, pilot i putnici su izloženi unutarnjoj buci kroz duži period vremena u letu, dok vanjskoj buci okolni promatrači kroz kraći period, time je i unutarnja buka opasnija. Također, postoji disipacija zvuka u okoliš kod vanjske buke, dok unutar kabine većina buke prevladava unutar iste bez izlaza u okoliš i doživljaj je neugodniji. Subjektivno autor ovoga rada je proveo više vremena u oba zrakoplova, te u FR-172 J (9A-BPR) razina zvučnog tlaka je neugodnija, iako su buke oba zrakoplova na propisanim zadovoljavajućim razinama za radne uvjete, no može se zamijetiti manji utjecaj buke na ergonomiju i performanse pilota prilikom dužeg izlaganja istoj.

7.) ZAKLJUČAK

Mali jednomotorni klipni zrakoplovi generalne avijacije mogu stvarati znatnu količinu buke, pogotovo oni starije proizvodnje. Ovaj rad je usporedio dva jednaka zrakoplova sa suštinski istom pogonskom grupom, ali različitom snagom, te je potvrđeno da se zrakoplov snažnije pogonske grupe odlikuje većim zvučnim otiskom i subjektivno je neugodniji. Izvršena mjerenja su ponudila veoma precizne mjerne rezultate kojima su se prikazali različitosti zvučnih otisaka.

C-172 je konstruirana da spriječi veći prodor buke unutar kabine, što konstrukcija i u određenoj mjeri ispunjava. C-172 R je imala i posebna poboljšanja kako bi se umanjio utjecaj buke u kabinskom prostoru, to je bilo i jedno od glavnih poboljšanja sa tadašnjom novom verzijom predstavljenom 1996.g. kao napredak, u odnosu na bučnije C-172 iz 1970-ih, iz kojih je i FR-172 J.

Rezultati pokazuju da je razina dobivena A-ponderiranim mjerenjem kod oba ispitivana zrakoplova veća od 80 dBA u većini slučajeva, kod bučnijeg zrakoplova čak je u prosjeku oko 90 dBA. To znači da kod ispitivanih zrakoplova buka je u većem broju režima rada i leta takva, gdje kontinuirana izloženost ovoj vrijednosti buke može dovesti do oštećenja sluha i drugih tjelesnih poteškoća. Iz tog razloga je važno da piloti ne samo ova dva zrakoplova, nego i svih istih tipova zrakoplova, ali i drugih budu opremljeni adekvatnim slušalicama koje umanjuju utjecaj ovakve razine buke.

Prilikom oktavnog mjerenja kod zrakoplova C-172 R (9A-DAD) najveća izmjerena vrijednost kod vanjske buke iznosila je 109,7 dB na središnjoj frekvenciji od 63 Hz pri režimu 1800 *rpm*, dok kod unutarnje buke je iznosila 102,2 dB na središnjoj frekvenciji od 31.5 Hz u režimu zatrčavanja. Kod FR-172 J (9A-BPR) najveća izmjerena vrijednost vanjske buke iznosila je 113,2 dB na središnjoj frekvenciji od 250 Hz pri max. *rpm* režimu, dok unutarnje buke je iznosila 104,7 dB na središnjoj frekvenciji od 125 Hz u režimu horizontalnog leta. Vrijednost buke u dB se smanjuje prema višim frekvencijama, čime se može zaključiti da oplata prigušuje zvuk na većim frekvencijama puno bolje nego na nižima, no to i dalje nije dovoljno da se razina svede na ispod 80 dB.

Ovaj rad je pokazao kako ponajprije jednomotorni klipni zrakoplovi generalne avijacije razvijaju znatnu količinu buke u većini režima leta, a to je pokazano na jednom od najzastupljenijih takvih tipova zrakoplova, C-172. Također, prikazano je kako isti zrakoplov sa snažnijom pogonskom grupom razvija veći zvučni otisak koji je i subjektivno neugodniji. Indikativno je da zrakoplovi generalne avijacije prošlog stoljeća sa klipnim pogonskim grupama imaju problema sa kontrolom buke, ali ista ta buka nije na kritičnoj razini. Ono na čemu se može poraditi i što zapravo već i jest realnost su zrakoplovi sa modernijim i tišim klipnim motorima, te posebnim oblicima zvučno izolacijskih materijala unutar same kabine, kao i veća aerodinamičnost konstrukcije.

LITERATURA

- [1] Bucak, T. , Ivošević, J.: *Zrakoplovne emisije – buka zrakoplova*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016., Autorizirana predavanja
- [2] URL: <https://www.explainthatstuff.com/sound.html> (pristupljeno: srpanj 2018.)
- [3] URL: http://www.fotolibra.com/gallery/1258892/experiment-ot-show-that-sound-needs-a-medium-in-which-to-travel/?search_hash=56f49f3ae3202b1546725c8a7fdac889&search_offset=0&search_limit=100&search_sort_by=relevance_desc (pristupljeno: srpanj 2018.)
- [4] URL: <https://www.tes.com/teaching-resource/drawing-sound-waves-ks3-low-ability-11404097> (pristupljeno: srpanj 2018.)
- [5] Smith, M. J. T.: *Aircraft Noise*, Cambridge Aerospace Series, UK
- [6] URL: <http://www.qice.dlr.de/images/Fig1.jpg> (pristupljeno: srpanj 2018.)
- [7] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Cessna_172 (pristupljeno: srpanj 2018.)
- [8] URL: <http://www.pilotfriend.com/aircraft%20performance/Cessna/172R.htm> (pristupljeno: srpanj 2018.)
- [9] The Cessna Aircraft Company Wichita: *Pilot's Operating Handbook*, FAA Approved Airplane Flight Manual, Kansas, USA, 1996.
- [10] URL: https://planewatcher.com/details.php?image_id=3048&sessionid=e2oc25nojtb4fq51res8q4f2j3 (pristupljeno: srpanj 2018.)
- [11] Smith, R.: *Cessna 172 - A Pocket History*, UK, 2010
- [12] Reims Aviation: *Flight Manual*, Reims Rocket, Reims Marne, France, 1972.
- [13] ICAO Annex 16, Volume 1, Environmental Technical Manual, *Procedures for the Noise Certification of Aircraft*, based on Doc 9501, URL: https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Publications/Doc_9501_Volume_1.pdf (pristupljeno: srpanj 2018.)
- [14] *Katalog laboratorijske opreme*, Fakultet prometnih znanosti, 2016., URL: <http://static.fpz.hr/FPZWeb/files/pravilnici/Katalog-laboratorijske-opreme-2013-2016.pdf> (pristupljeno: kolovoz 2018.)

[15] Norsonic AS, *Nor140 Instruction Manual*, Lierskogen, Norway, 2017.,
URL: <https://web2.norsonic.com/product/soundanalyser-nor140/> (pristupljeno:
kolovoz 2018.)

[16] Jeppesen, JeppView, *LDLO Visual Approach Chart 19-1*, 2015.

POPIS KRATICA

APU	(Auxiliary power unit) pomoćna jedinica napajanja
CTR	(Control zone) kontrolirana zona
dBA	A-ponderirana vrijednost decibel
dB	decibel
ft/min	(feet per minute) stopa po minuti
HZNS	Hrvatsko zrakoplovno nastavno središte
IAS	(Indicated airspeed) indicirana zračna brzina
ICAO	(International Civil Aviation Organisation) Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva
ISA	(International standard atmosphere) međunarodna standardna atmosfera
KS	konjska snaga
KN	(Knots) čvorovi
kW	(Kilowatt) kilovat
LAE	A-ponderirana razina izloženosti zvuku
LAF_{MAX}	A-ponderirana maksimalna vrijednost razine buke
LAF_{MIN}	A-ponderirana minimalna vrijednost razine buke
LAF%	A-frekvencijski vrednovana razina buke u postotcima
L_{Aeq}	A-ponderirana srednja vrijednost razine buke
L_E	(Sound Exposure Level) razina izloženosti zvuku
L_{eq}	(The Integrated Averaged Sound Pressure Level) prosječna integrirana razina zvučnog tlaka
L_{feq}	oktavno-pojasna razina buke
L_{MAX}	(The Maximum Sound Pressure Level) maksimalna razina zvučnog tlaka
L_{MIN}	(The Minimum Sound Pressure Level) minimalna razina zvučnog tlaka

L_{PEAK}	(The Maximum Peak Level) maksimalna razina vrhunca zvučnog tlaka
MAP	(manifold pressure) tlak unutar usisne grane motora
METAR	(Meteorological Aerodrome Report) meteorološko izvješće zračne luke
M_H	Machov broj vrha lopatice elise
NM	(Nautical Miles) nautičke milje
N_{MAX}	(maximum propeller speed) maksimalna brzina elise
N_{MCP}	(maximum continuous power propeller speed) brzina elise na maksimalnoj kontinuiranoj snazi
RPM	(revolution per minute) broj okretaja u minuti
SI	(International system of units) Međunarodni sustav mjernih jedinica
SPL	(The Instantaneous Sound Pressure Level) trenutačna razina zvučnog tlaka
V_A	(maneuvering speed) brzina iznad koje se ne smiju izvoditi nagli pokreti
V_{FE}	(maximum flap extended speed) brzina koja se ne prelazi sa izvučenim zakrilcima
V_{NE}	(never exceed speed) brzina koja se nikad ne prelazi
V_{NO}	(maximum speed for normal operations) brzina koja se smije preći samo u mirnom zraku

POPIS SLIKA

Slika 1. Robert – Boyleov eksperiment zvuka	4
Slika 2. Zvučni val	5
Slika 3. Smjer gibanja zvučnog vala	5
Slika 4. Općeniti prikaz izvora aerodinamičke buke	9
Slika 5. Spektar tipične konvencionalne elise, prikazujući ton elise harmoničkog sadržaja i stupanj smanjenja amplitude harmonika	10
Slika 6. Jedna od prvih C-172 proizvedena 1956.g.....	14
Slika 7. Dimenzije C-172 R	19
Slika 8. Prvi ispitivani zrakoplov C-172 R (9A-DAD)	20
Slika 9. Dimenzije FR-172 J.....	23
Slika 10. Drugi ispitivani zrakoplov FR-172 J (9A-BPR).....	24
Slika 11. Tipični profil testne i referentne putanje.....	25
Slika 12. Nor140 mjerna oprema	27
Slika 13. Školski krug ispitivanja u letu 9A-BPR i 9A-DAD.....	28

POPIS TABLICA

Tablica 3.1. Osnovni podaci ispitivanih zrakoplova.....	13
Tablica 3.2. Inačice svih C-172 sa napomenama	15
Tablica 3.3. Posebne inačice C-172	16
Tablica 3.4. Maksimalne propisane težine C-172 R.....	17
Tablica 3.5. C-172 R limitacije brzina.....	18
Tablica 3.6. C-172 R performanse penjanja	18
Tablica 3.7. C-172 R performanse krstarenja na primjeru 4 000 stopa.....	18
Tablica 3.8. Maksimalne propisane težine FR-172 J	21
Tablica 3.9. Limitacije brzina FR-172 J.....	22
Tablica 3.10. FR-172 J performanse penjanja	22
Tablica 3.11. FR-172 J performanse krstarenja na primjeru 5 000 stopa	22
Tablica 5.1. Ispitivani režimi rada u mjerenju vanjske buke C-172 R i FR-172 J	29
Tablica 5.2. Ispitivani režimi rada u mjerenju unutarnje buke C-172 R i FR-172 J..	29
Tablica 5.3. A – ponderirana srednja vrijednost razine vanjske buke	30
Tablica 5.4. A – ponderirana maksimalna i minimalna vrijednost razine vanjske buke	31
Tablica 5.5. A – ponderirana razina izloženosti vanjskoj buci	32
Tablica 5.6. A frekvencijski vrednovana razina vanjske buke u postotcima	33
Tablica 5.7. Rezultati oktavno – pojasnog mjerenja razine vanjske buke C-172 R (9A-DAD)	34
Tablica 5.8. Rezultati oktavno – pojasnog mjerenja razine vanjske buke FR-172 J (9A-BPR)	34
Tablica 5.9. A – ponderirana srednja vrijednost razine unutarnje buke	36
Tablica 5.10. A – ponderirana maksimalna i minimalna vrijednost razine unutarnje buke.....	37
Tablica 5.11. A – ponderirana razina izloženosti unutarnjoj buci	38
Tablica 5.12. A frekvencijski vrednovana razina unutarnje buke u postotcima	39
Tablica 5.13. Rezultati oktavno – pojasnog mjerenja razine unutarnje buke C-172 R (9A-DAD)	40
Tablica 5.14. Rezultati oktavno – pojasnog mjerenja razine unutarnje buke FR-172 J (9A-BPR)	41

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. A – ponderirana srednja vrijednost razine vanjske buke	30
Grafikon 2. A – ponderirana maksimalna i minimalna vrijednost razine vanjske buke	31
Grafikon 3. A – ponderirana razina izloženosti vanjskoj buci.....	32
Grafikon 4. A frekvencijski vrednovana razina vanjske buke u postotcima, C-172 R (9A-DAD) i FR-172 J (9A-BPR).....	33
Grafikon 5. Prikaz kombiniranih rezultata oktavno – pojasnog mjerenja razine vanjske buke, C-172 R (9A-DAD) i FR-172 J (9A-BPR)	35
Grafikon 6. A – ponderirana srednja vrijednost razine unutarnje buke	36
Grafikon 7. A – ponderirana maksimalna i minimalna vrijednost razine unutarnje buke	37
Grafikon 8. A – ponderirana razina izloženosti unutarnjoj buci	38
Grafikon 9. A frekvencijski vrednovana razina unutarnje buke u postotcima.....	40
Grafikon 10. Prikaz rezultata oktavno – pojasnog mjerenja razine unutarnje buke, C-172 R (9A-DAD).....	42
Grafikon 11. Prikaz rezultata oktavno – pojasnog mjerenja razine unutarnje buke, FR-172 J (9A-BPR)	42