

Izloženost buci, infrazvuku i ultrazvuku zaposlenih na održavanju mlaznog aviona

Dejan Živković, dipl.inž.¹⁾
 Gradimir Basarić, dipl.inž.¹⁾
 Doc. dr sc. med. Miroslav Hrnjak¹⁾
 Prof. dr sc. med. Stojan Dželajlija¹⁾

Ljudstvo koje radi na održavanju mlaznih aviona izloženo je: buci, infrazvuku i ultrazvuku. Cilj rada je bio da se izmere ukupni nivoi buke, izvrši oktavna analiza buke, kao i da se izmere nivoi infra zvuka i ultrazvuka oko jednog tipa podzvučnog mlaznog aviona. Rezultati merenja su pokazali da ukupni nivou buke i oktavni nivoi zvučnog pritiska u posmatranim režimima rada motora prelaze dopuštene nivoe. Spektralnom analizom ultrazvuka je utvrđeno da prelazi dopušteni nivo u trećinsko-oktavnom pojasu sa centralnom frekvencijom oko 20 kHz. Izmereni oktavni nivoi infrazvuka ni u jednom oktavnom pojasu ne prelaze dopuštenu vrednost.

Ključne reči: Buka, infrazvuk, ultrazvuk, dejstvo na čoveka, aviomehaničari, mlazni avioni, zaštita od buke.

Uvod

VAZDUHOPLOVI su različiti tipovi letelica, kao npr.: motorni avioni, jedrilice i helikopteri. Sve su to letelice "teže od vazduha", tzv. aerodin. Savremeni avioni su izuzetno složeni i zato je neophodno obezbediti efikasnu službu održavanja na zemlji. Ovu aktivnost obavlja vazduhoplovnotehnička služba održavanja, koja vrši niz postupaka i radova radi kontrole stanja, pravilnog korišćenja i održavanja vazduhoplova. Tu se svrstavaju: pregledi pre upotrebe vazduhoplova, pregledi u toku i posle upotrebe vazduhoplova, povremeni pregledi, opšti pregledi, vanredni pregledi i smotre vazduhoplova, opšte i druge opravke itd. Ova služba obuhvata ceo niz profila radnika: aviomehaničare u užem smislu reči, avioelektričare, aviooružare, avioinstrumetariste i dr.

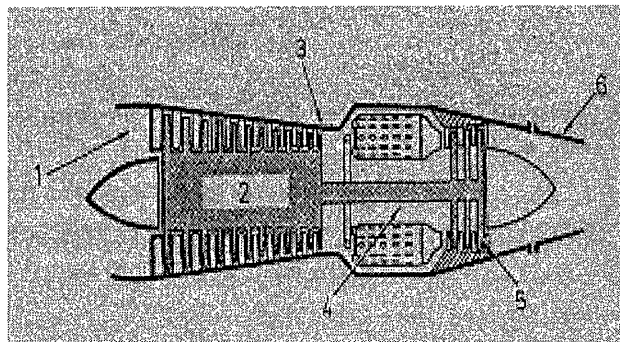
Vazduhoplovstvo se sa problemom buke suočilo još na početku svog razvoja, a u novije vreme sa razvojem motora velike propulzivne moći, problem buke dobija još više na značaju. Buka koju generišu vazduhoplovi je nepoželjna iz više razloga. U prvom redu, štetno deluje na posadu vazduhoplova, zatim na ljudstvo koje opslužuje vazduhoplove, kao i na stanovništvo koje živi i radi u blizini aerodroma.

Buka, ultrazvuk i infrazvuk, koji se javljaju oko posmatranog tipa podzvučnog mlaznog aviona, deluju na pripadnike službe održavanja aviona, koji rade na betonskim stajankama. Stajanka je otvoreni prostor različitih dimenzija, koji može biti travnat ili sa betonskom podlogom. Nalazi se u neposrednoj blizini poletno-sletne staze (piste), sa kojom je povezana rulnom stazom. Na stajanci se parkiraju avioni neposredno pred poletanje ili nakon izvršenog leta, a na njom se obavljaju još i vuča aviona, punjenja aviona gorivom i vazduhom, odgovarajući pregledi prema postojećim

propisima. Pregledima se utvrđuje ispravnost i sposobnost aviona za neposredno izvršenje letačkog zadatka.

U prethodno navedenim pregledima vrši se provera rada motora vazduhoplova, a motori upravo i predstavljaju osnovne izvore buke kojoj je izloženo ljudstvo na stajankama.

Osnovni izvor buke kod posmatranog tipa podzvučnog mlaznog aviona predstavlja njegov jednorotorni turbomlazni motor bez naknadnog sagorevanja (sl.1).



Slika 1. Jednorotorni turbomlazni motor (Viper 632 -Rolls-Royce): 1- uvodnik vazduha, 2- aksijalni kompresor, 3- kućište, 4- komora za sagorevanje, 5- rotor turbine, 6- mlaznik.

Mlazni motori su gasne turbine koje svoj rad zasnivaju na principu reakcije. Za pogon borbenih aviona koriste se turbomlazni motori TMM (jednorotorni motori, dvorotorni motori, dvostrujni turboventilatorski motori), koji se obično klasifikuju na osnovu konstrukcionih koncepcija na TMM bez naknadnog sagorevanja i TMM sa naknadnim sagorevanjem (ovi poslednji su razvijeni za pogon nadzvučnih aviona). Razlika je u ugradnji komore naknadnog sagore-

¹⁾ Institut za medicinu rada, ZPM, Vojnomedicinska akademija, 11000 Beograd, Crnotravska 17

vanja iza turbine čime izduvni gasovi iz motora dobijaju veću energiju, povećava se brzina isticanja, a time i potisak [1].

Glavni izvori buke su kompresor i mlaz izduvnih gasova. Kompresor proizvodi visokofrekventnu buku, koja se lako prigušuje u okolini i značajno opada sa povećanjem rastojanja od izvora. Mlaz izduvnih gasova proizvodi niskofrekventnu buku velikog intenziteta, a karakteristika ove buke je da dospeva daleko u okolinu bez slabljenja. Činjenica je i da se jedan deo energije goriva umesto u korisnu energiju potiska, pretvara u energiju oscilacija, što pored generisanja buke uzrokuje i vibracije koje još i smanjuju radni vek konstrukcije vazduhoplova, motora i raznih uređaja ugrađenih na vazduhoplovu [2].

Pored rada motora aviona u različitim režimima, od izvora buke tu su još i rad motora: agregata za zapuštanje motora aviona, cisterni sa gorivom i vučnih vozila. Lica koja rade na radnim mestima, koja su u ovom radu analizirana, podležu periodičnim pregledima zdravstvenog stanja, s posebnim naglaskom na audiometriji. Za ova radna mesta, od zaštitnih mera predviđeno je korišćenje ušnih štitičnika protiv buke (JUS Z.B1.350).

Cilj rada je bio da se izmere ukupni nivoi buke i izvrši njena oktavna analiza, kao i da se izmere nivoi infrazvuka i ultrazvuka oko jednog tipa podzvučnog mlaznog aviona.

Materijal i metode

Merenje buke, infrazvuka i ultrazvuka vršeno je oko jednog tipa podzvučnog mlaznog aviona u toku pretpoletnog

pregleda na stajanci sa betonskom podlogom. Buka je merena na 5 aviona ovog tipa pri probi motora u režimima rada navedenim u tabeli 1.

Za merenje ukupnog nivoa buke korišćen je modularni precizni merač nivoa zvuka tipa 2231 sa oktavnim filtrom tipa 1625. Merenje ukupnog nivoa buke vršeno je na radnim mestima aviomehaničara pri različitim režimima rada motora, i to: kod agregata za zapuštanje motora aviona, kod uvodnika, na 3 m ispred aviona, iza krila aviona na 0.5 m od repnog dela, na 10 m i na 25 m ispred aviona. Za merna mesta birane su tačke gde se najčešće nalaze ili kreću pripadnici službe održavanja. Tamo gde je bilo moguće, urađena je oktavna analiza nivoa zvučnog pritiska.

Za određivanje Leq korišćene su metode lične dozimetrije i statističke analize. Ekvivalentni nivo buke određen je na dva načina: korišćenjem ličnih dozimetara za buku tipa 4434 sa mikrofonima tipa 4130 i korišćenjem mernog lanca koji se sastojao od mikrofona tipa 4165, pretpojačavača tipa 2619 i statističkog analizatora nivoa zvuka tipa 4426. Dozimetre su za vreme redovne aktivnosti nosili rukovodilac grupe i aviomehaničari, tako da su mikrofoni iz kompleta postavljani na štitnicima za zaštitu od buke. Režim rada dozimetara je bio *on*. Statistička analiza nivoa zvuka je izvršena ispred hangara (prizemni objekat podignut od čvrstog materijala čiji su temelji betonski, a zidovi i krovna konstrukcija čelični) i na odmorištu (mesto gde se obavljaju dogovori, vrše odgovarajuće pripreme i boravi u toku dana).

Merenja su vršena na način propisan *Pravilnikom o optimalnim merama i normativima zaštite od buke u radnim prostora-*

Tabela 1. Merenja i analiza buke kod posmatranog aviona

Redni broj.	Mesto merenja	Izvor buke	Nivo buke u dB (A)	Dopušteni nivo u dB(A)	Oktavni nivoi zvučnog pritiska u dB								
					31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
1.	Kod agregata za zapuštanje motora aviona	rad agregata za zapuštanje motora aviona	94-96	75	98	98	99	92	90	91	89	87	82
2.	Kod agregata za zapuštanje motora aviona	mali gas motora aviona	111-116	75									
3.	Kod uvodnika	mali gas motora aviona	112	75									
4.	Kod meh. na 3 m ispred aviona	mali gas motora aviona	109	75	86	94	93	90	91	94	106	101	96
5.	Kod meh. na 3 m ispred aviona	motor aviona na 60% snage	109-111	75	82	91	96	93	95	96	106	101	98
6.	Kod meh. na 3 m bočno od aviona	motor aviona na 80% snage	114-117	75									
7.	Kod rukovo-dioca na 0,5 m iza krila	proba odušnog ventila	124-127	75	96	104	113	114	115	114	112	109	104
8.	Kod rukovo-dioca na 10 m ispred aviona	motori dva avio-na na 60% snage	106	75									
9.	Kod rukovo-dioca na 25 m ispred aviona	motori dva avio-na na 60% snage	100-102	75									
10.	Ispred hangara	motori dva avio-na na 60% snage	95-98	75									

Zatamnjena polja označavaju opsege u kojima je došlo do premašenja dopuštenih nivoa zvučnog pritiska

rijama (Sl. list SFRJ 21/2 1992. god.) [3]. Prema njemu je vršeno i normiranje, a korišćen je kriterijum - dopušteni nivo zavisen od vrste delatnosti (tabela 1, navedenog *Pravilnika*), dok su za oktavnu analizu korišćene vrednosti nivoa zvučnog pritiska u oktavnim pojasevima (tabela 4 navedenog *Pravilnika*).

Snimanje infrazvuka i ultrazvuka je vršeno na 5 m bočno od kabine pilota aviona. Za snimanje infrazvuka korišćeni su: mikrofoni tipa 4165, precizni impulsni merači nivoa zvuka tipa 2209 i magnetofon tipa 7003, a za snimanje ultrazvuka korišćeni su: mikrofoni tipa 4135, precizni impulsni merači nivoa zvuka tipa 2209 i magnetofon tipa 7006. U oba slučaja za analizu snimljenih uzoraka je korišćen digitalni frekventni analizator nivoa zvuka tipa 2131. Za normiranje dobijenih rezultata spektralne analize infrazvuka korišćene su, pošto nema drugih standarda za infrazvuk, sovjetske norme za zaštitu od profesionalnog izlaganja infrazvuku iz 1980. god. [4], a za normiranje dobijenih rezultata spektralne analize ultrazvuka korišćene su norme iz *Privremenog uputstva o granicama ekspozicije ljudi ultrazvuku iz vazduha* koji je propisao Međunarodni komitet za nejoni-zujuće zračenje Međunarodnog udruženja za zaštitu od zračenja iz 1984. god. [5].

Svi navedeni uređaji su proizvodi danske firme *Brüel & Kjaer*.

Rezultati i diskusija

Izmereni ukupni nivoi buke u toku zapuštanja i različitih režima rada motora aviona su prikazani u tabeli 1. Iz tabele se može uočiti da izmereni nivoi buke prelaze dopušteni nivo od 75 dB(A) koji je određen zavisno od vrste delatnosti i odnosa aviomehaničara prema izvoru buke. Spektralnom analizom je utvrđeno da oktavni nivoi zvučnog pritiska u navedenim režimima rada motora, uglavnom, znatno prelaze dopuštene vrednosti određene normativnom krivom N-70, posebno u oblasti visokih frekvencija.

Tabela 2. Ekvivalentni nivoi buke

Redni broj	Nosilac	Očitana vrednost u %	Leq dB(A)
1.	rukovodilac grupe	172 _p	104
2.	aviomehaničar 1	90 _p	99
3.	aviomehaničar 2	73 _p	98
4.	aviomehaničar 3	84 _p	99

U tabeli 2 su prikazane vrednosti očitane na ličnim dozimetrima buke koje su u toku aktivnosti nosili rukovodilac grupe i aviomehaničari, kao i ekvivalentni nivoi buke - dobijeni očitavanjem sa odgovarajućeg nomograma za *on* režim za posmatrani vremenski interval od 120 minuta.

Ekvivalentni nivoi buke prelaze dopušteni nivo buke od 75 dB(A), zavisno od vrste delatnosti.

Statistička analiza je rađena ispred hangara i na odmoru. Ovim statističkim analizama obuhvaćene su sledeće aktivnosti: punjenje motora gorivom, rad agregata za zapuštanje motora aviona, polazak aviona sa stajanke, poletanja aviona sa piste (na udaljenosti 200 m od mesta merenja), višestruki preleti aviona (300-400 m nad stajankom), sletanje i parkiranje aviona.

Iz zapisa statističke analize, koja je rađena na odmoru, uočava se sledeće:

$S=53707$ -broj uzoraka (vreme uzorkovanja 0,1s),

$L_1=96,5$ dB(A), $L_5=93,8$ dB(A), $L_{10}=91,3$ dB(A),

$L_{50}=74,3$ dB(A), $L_{90}=56,3$ dB(A), $L_{95}=56,3$ dB(A),

$L_{99}=56,3$ dB(A) i $Leq_1=86,0$ dB(A).

Sledi zapis statističke analize (rađena na stajanci):

$S=31258$ -broj uzoraka (vreme uzorkovanja 0,1s)

$L_1=106,8$ dB(A), $L_5=98,3$ dB(A), $L_{10}=96,8$ dB(A),

$L_{50}=81,5$ dB(A), $L_{90}=61,5$ dB(A), $L_{95}=58,3$ dB(A),

$L_{99}=56,3$ dB(A) i $Leq_2=98,4$ dB(A).

Ekvivalentni nivoi Leq_1 i Leq_2 prelaze dopušteni nivo od 75 dB(A), s obzirom na vrstu delatnosti.

Analizom snimljenog materijala, sa magnetofona tipa 7003, na digitalnom frekventnom analizatoru tipa 2131 dobijeni su rezultati prikazani u tabeli 3. Na osnovu rezultata spektralne analize infrazvuka, date u navedenoj tabeli, može se zaključiti da izmereni oktavni nivoi infrazvuka ni u jednom oktavnom opsegu, pri navedenim režimima rada motora aviona, ne prelaze dopuštenu vrednost od 105 dB, koja je određena za zaštitu od profesionalnog izlaganja infrazvuku [4].

Tabela 3. Spektralna analiza infrazvuka

Redni broj	Režim rada motora aviona	Oktavni nivoi infrazvuka u dB		
		4 Hz	8 Hz	16 Hz
1.	zapaštanje motora - mali gas	57	62	65
2.	proba motora na maksimalnom gasu	92	94	97
3.	izrulavanje aviona	73	75	81

Analizom snimljenog materijala, sa magnetofona tipa 7006, na digitalnom frekventnom analizatoru tipa 2131, dobijeni su rezultati prikazani u tabeli 4. Na osnovu rezultata spektralne analize ultrazvuka, date u navedenoj tabeli, utvrđeno je da on u trećinsko-oktavnom opsegu sa središnjom frekvencijom od 20 kHz prelazi dopuštenu vrednost od 75 dB, koja je određena za neprekidno izlaganje radnika u trajanju 8 sati [5].

Tabela 4. Spektralna analiza ultrazvuka

Redni broj	Režim rada motora aviona	Trećinsko-oktavni nivoi ultrazvuka u dB					
		20 kHz	25 kHz	31,5 kHz	40 kHz	50 kHz	63 kHz
1.	mali gas motora	81,0	77,0	73,3	66,5	66,3	65,4
2.	proba motora - 75%	99,1	97,3	92,9	89,0	81,6	76,3

Buka koju stvaraju avioni može se smanjiti na više načina, zavisno od toga da li se teži smanjenju buke na samom izvoru ili se želi smanjiti buka preko zaštitnih mera na mestu prijema. Pošto najveći udeo u analiziranoj buci ima motor aviona, tj. njegovi pojedini sklopovi, glavni pravci za smanjenje buke usmerili bi se na motor i bili bi aktivni ili pasivni. Pod aktivnim postupcima podrazumevaju se oni postupci koji su preduzimani pri samom projektovanju pojedinih sklopova motora (izbor optimalnog broja lopatica statorskog i rotorskog dela, izbor odgovarajućeg mlaznika itd.) i njima se postižu mnogo bolji rezultati nego pasivnim, koji se ogledaju u postavljanju zvučne izolacije oko delova motora ili nekim naknadnim rešenjima i prilagođavanjima.

Bilo koja metoda da se primeni, teško je konstruisati dobar motor koji bi imao dobre performanse i u isto vreme bio

tih. Navedena dva pravca zaštite od buke za naše uslove bi predstavljali veliku investiciju, pa bi trebalo izabrati jeftiniju mogućnost a to je poboljšanje lične zaštite ljudstva.

Štitnici za zaštitu od buke, koji obezbeđuju i zaštitu od dejstva ultrazvuka iz navedenog trećinsko-oktavnog opsega nisu dovoljni. Neophodno je koristiti i zaštitne kacige za zaštitu od buke. Na taj način efikasno bi se smanjio prenos buke do unutrašnjeg uha, kako vazdušnim tako i koštanim putem, a izbegle bi se i eventualne povrede glave do kojih može doći pri radu ispod trupa aviona.

Zaključak

Izmereni ukupni nivoi buke, oktavni nivoi zvučnog pritiska i dobijeni nivoi za *Leq* prelaze dopuštene nivoe koje propisuje navedeni *Pravilnik*, s obzirom na vrstu delatnosti i odnos osoblja prema izvoru buke. Izmereni oktavni nivoi infrazvuka ni u jednom oktavnom opsegu pri navedenim režimima rada motora aviona ne prelaze dopuštenu vrednost od 105 dB, koja je određena za zaštitu od profesionalnog izlaganja infrazvuku. Nivo ultrazvuka u trećinsko-

oktavnom opsegu sa centralnom frekvencijom od 20 kHz prelazi dopuštenu vrednost od 75 dB koja je određena za neprekidno izlaganje u trajanju 8 sati.

Literatura

- [1] ŽIVKOVIĆ S. Mlazni motori borbenih aviona - stanje i razvoj. *Novi glasnik*, 1994, no.5-6, p.67-78.
- [2] BOJANOVIĆ M. Problemi buke u vazduhoplovstvu. *Glasnik RV i PVO*, 1985, no.1-2, p.12-18.
- [3] Pravilnik o merama i normativima zaštite na radu od buke u prostorijama. *Službeni list SFRJ* 1992, no.21, p.310-316.
- [4] Gigijeničke norme infrazvuka na radnim mestima. Minzdrav SSSR.-M. 1980; 2274-2280.
- [5] IRPA/INIRC Guidelines. Guidelines on human exposure to airborne ultrasound. *Health Phys*, 1984, no.46, p.972-974.

Rad primljen: 16.12.1998.god.