

## Buka, infrazvuk i ultrazvuk oko jednog tipa helikoptera

Dejan Živković, dipl.inž.<sup>1)</sup>  
Doc. dr sc. med. Miroslav Hrnjak<sup>1)</sup>  
Gradimir Basarić, dipl.inž.<sup>1)</sup>

Cilj rada je bio da se izmere ukupni nivoi buke, kao i da se izvrše frekventne analize buke, infrazvuka i ultrazvuka kod članova posade u helikopteru za vreme leta i kod mehaničara oko helikoptera na stajanci. Rezultati merenja su pokazali da ukupni nivoi buke i oktavni nivoi zvučnog pritiska u posmatranim režimima rada motora helikoptera prelaze dopuštene nivoe. Spektralnom analizom infrazvuka i ultrazvuka kod ovog tipa helikoptera utvrđeno je da ne prelaze dopuštene nivoe u posmatranim frekvencijskim opsezima.

*Ključne reči:* Buka, infrazvuk, ultrazvuk, štetno dejstvo, dejstvo na čoveka, posada helikoptera, aviomehaničari, helikopter, zaštita od buke.

### Uvod

POSADU helikoptera i osoblje koje održava helikoptere predstavljaju grupe ljudi koje su izložene kontinualnoj buci, čiji su nivoi daleko iznad nivoa koji mogu kod ljudi izazvati oštećenje čula sluha. Za pogon helikoptera se primenjuju klipni i mlazni motori. Najpogodniji su motori sa unutrašnjim sagorevanjem kod kojih se toplotna energija može da pretvori u mehanički rad obrtanjem rotora ili elise, ili u kinetičku energiju pogonskog mlaza sagorelih gasova [1].

Ovom prilikom su razmatrani: buka, ultrazvuk i infrazvuk koji se javljaju kod jednog tipa helikoptera sa turbomlaznim motorom za vreme leta i deluju na posadu helikoptera. Dobra čujnost je od izuzetne važnosti za pilota i posadu helikoptera, jer pored dobijanja informacija vizuelnim putem i auditivne informacije predstavljaju najveću pomoć u bezbednom letenju. Kod helikoptera buku stvaraju pogonska grupa, rotor i repna elisa, kao i reduktori. U ukupnom spektru buke dominantna je buka rotora čiji je maksimum oko ose obrtanja, tako da se može reći da dominiraju niskofrekventne komponente (0-250 Hz), dok u oblasti srednjih frekvencija (300Hz-4kHz) dominira buka koja potiče od sistema za transmisiju. Dalji izvori buke su i željeni i neželjeni signali koji potiču iz komunikacionih sistema. Svakako da u obzir treba uzeti i razne zvučne upozoravajuće signale, a ovaj problem dodatno uvećava i buka koja se javlja korišćenjem vatrenog oružja.

U nastavku rada se razmatraju isti parametri na stajanci oko posmatranog tipa helikoptera, a koji deluju na ljude službe održavanja helikoptera na stajanci. Stajanka je otvoreni prostor različitih dimenzija, koji može biti travnat ili popločan betonskim pločama, a nalazi se u neposrednoj blizini poletno-sletne staze (piste) sa kojom je povezana rulnom stazom. Na stajanci su parkirani helikopteri pre poletanja kao i posle završenog leta. Na njoj se još obavljaju punjenja helikoptera, gorivom, kao i odgovarajući pregledi

helikoptera shodno postojećim propisima. Pregledima se utvrđuje ispravnost i sposobnost helikoptera za neposredno izvršenje letačkog zadatka. Treba istaći da je izvor spoljašnje buke helikoptera kombinacija buke rotora i izduvne cevi mašine. Helikopteri stvaraju vrlo neprijatnu buku za ljude na stajankama, jer rade na malim brzinama obrtanja i lete na maloj visini, pa tako ostaju čujni u dužem vremenskom periodu [1,2].

Lica koja rade na nabrojanim radnim mestima podležu periodičnim pregledima zdravstvenog stanja, s posebnim naglaskom na audiometriji.

Cilj rada je bio da se izmere ukupni nivoi buke, kao i da se izvrše frekventne analize buke, infrazvuka i ultrazvuka kod članova posade u helikopteru za vreme leta i kod mehaničara oko helikoptera na stajanci.

### Materijal i metode

Za merenje ukupnog nivoa buke korišćen je Modularni precizni merač nivoa zvuka, tip 2231, sa oktavnim filtrom, tip 1625. Ukupni nivoi buke je meren na radnim mestima članova posade u helikopteru za vreme leta i pri različitim režimima rada motora posmatranog tipa helikoptera, kao i na radnim mestima aviomehaničara oko helikoptera, pri različitim režimima rada motora, i to: kod agregata za zapuštanje motora helikoptera, kod uvodnika, uz helikopter i na 10 m ispred helikoptera. Tamo gde je bilo moguće, urađena je oktavna analiza nivoa zvučnog pritiska.

Za određivanje ekvivalentnog nivoa buke ( $L_{eq}$ ) korišćene su metode lične dozimetrije i statističke analize, što znači da je ekvivalentni nivo buke određen na dva načina: korišćenjem ličnih dozimetara za buku, tip, 4434 sa mikrofonima, tip 4130, i korišćenjem mernog lanca koji se sastojao od mikrofona, tip 4165, pretpojačavača, tip 2619, i statističkog analizatora nivoa zvuka, tip 4426. Navedene dozimetre su za vreme redovne aktivnosti nosili aviomehani-

<sup>1)</sup> Institut za medicinu rada, ZPM, Vojnomedicinska akademija, 11000 Beograd, Crnotravska 17

čari, tako da su mikrofoni iz kompleta postavljeni na rastojanju približno 0,20 m od uha. Režim rada dozimetara je bio "Cal". Statističke analize su rađene i u helikopteru i na stajanci.

Merenja su vršena na način koji propisuje *Pravilnik o opštim merama i normativima zaštite od buke u radnim prostorijama* (Sl. list SFRJ 21/2 1992. god.) [3]. Prema *Pravilniku* je vršeno i normiranje, a korišćen je kriterijum - dopušteni nivo s obzirom na vrstu 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 u helikopteru kod mehaničara iza pilotske kabine i na stajanci na 15 m ispred helikoptera. Za snimanje infrazvuka su korišćeni: mikrofoni, tip 4165, precizni impulsi meraci nivoa zvuka, tip 2204, i magnetofon, tip 7003. Za snimanje ultrazvuka su korišćeni: mikrofoni, tip 4135, precizni impulsi meraci nivoa zvuka, tip 2209, i magnetofon, tip 7006. U oba slučaja za analizu snimljenih uzoraka je korišćen digitalni frekventni analizator nivoa zvuka, tip 2131.

Za normiranje dobijenih rezultata spektralne analize infrazvuka su korišćene, pošto nema drugih standarda za infrazvuk, sovjetske norme za zaštitu od profesionalnog izlaganja infrazvuku iz 1980. godine [4]. Za normiranje dobi-

jenih rezultata spektralne analize ultrazvuka su korišćene norme iz *Privremenog uputstva o granicama ekspozicije ljudi ultrazvuku iz vazduha* koji je propisao *Međunarodni komitet za nejonizujuće zračenje (INIRC) Međunarodnog udruženja za zaštitu od zračenja (IRPA)* iz 1984. godine [5].

Sve navedene uređaje proizvodi firma *Brüel & Kjaer* (Danska).

## Dobijeni rezultati

Izmereni ukupni nivoi buke u toku zapuštanja i različitih režima rada motora helikoptera su prikazani u tabeli 1. Iz navedene tabele se može uočiti da izmereni ukupni nivoi buke prelaze dopuštene nivoe od 70 dB(A) i 75 dB(A) koji su određeni zavisno od vrste delatnosti i odnosa članova posade helikoptera i pripadnika službe održavanja prema izvoru buke. Spektralnom analizom je utvrđeno da oktavni nivoi zvučnog pritiska u navedenim režimima rada motora, uglavnom, znatno prelaze dopuštene vrednosti određene normativnim krivama N-65 i N-70 u oktavnim opsezima sa centralnim frekvencijama u opsegu od 63 Hz do 8 kHz (premašenja su data u zagradama). Izmereni ukupni nivoi buke prelaze i nivo od 85 dB(A), koji je u već navedenom

Tabela 1. Izmereni nivoi buke helikoptera pri različitim režimima rada motora

Red. br.	Mesto merenja	Izvor buke	Nivo buke u dB (A)		Oktavni nivoi zvučnog pritiska u dB														
			izmereni	dopušteni	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14						
1.	Proba rada motora helikoptera na travnatoj stajanci: - kod aviomehaničara između helikoptera i agregata za zapuštanje motora	rad pomoćnog motora helikoptera i rad agregata	106-108	75	97	91	(13.1)	(20.9)	(27)	(29)	(31.5)	(29.3)	(29.9)						
							96	98	99	99	99	95	94						
2.	- kod aviomehaničara uz helikopter, kod uvođenika sa leve strane	rad levog motora na malom gasu i rad pomoćnog motora	110	75			(19.2)	(28.1)	(31.9)	(30)	(32)	(37.5)	(36.3)	(38.9)					
							110	111	109	103	102	105	102	103					
3.	- kod aviomehaničara uz helikopter, kod uvođenika sa leve strane	rad levog i desnog motora na malom gasu i rad pomoćnog motora	113	75	104		(19.2)	(26.1)	(30.9)	(31)	(34)	(38.5)	(38.3)	(40.9)					
							110	109	108	104	104	106	104	105					
4.	- kod aviomehaničara na 10 m ispred helikoptera	rad desnog motora na 93% snage i levog na malom gasu	109	75	104		(10.5)	(11.6)	(8.9)	(10)	(11.5)	(10.7)	(9.1)						
							89	84	77	75	74	71	68						
5.	- kod aviomehaničara iza pilota (otvorena vrata helikoptera)	rad motora agregata za za puštanje motora hel.	82	70	78	81	(6.2)	(19.5)	(23.6)	(20.9)	(23)	(25.5)	(25.7)	(22.1)					
							93	98	96	89	88	88	86	81					
6.	- kod pilota	rad dva motora na 88% snage	94-96	70	79														
7.	- kod aviomehaničara iza pilota	rad dva motora na 93% snage	98-100	70	79														
8.	- kod pilota	rad dva motora na malom gasu pri sletanju helikoptera	92-94	70															

Zatamnjena polja predstavljaju oktavne pojaseve u kojima je došlo do premašenja nivoa zvučnog pritiska

pravilniku definisan kao najviši dopušteni nivo za izlaganje buci, s aspekta zaštite sluha od oštećenja.

U tabeli 2 je prikazana vrednost očitana na ličnom dozimetru koji je za vreme leta nosio aviomehaničar, dok su u tabeli 3 prikazane vrednosti očitane na ličnim dozimetrima buke koje su u toku aktivnosti nosili aviomehaničari na stajanci oko posmatranog tipa helikoptera. U tabelama su dati i ekvivalentni nivoi buke ( $L_{eq}$  – nivo stalne buke koji nosi podjednaku zvučnu energiju kao promenljiva buka u posmatranom vremenskom intervalu) kojima su oni izloženi. Ovi nivoi su dobijeni očitavanjem sa odgovarajućih nomograma za "Cal" režim za posmatrane vremenske intervale od 110 minuta (u helikopteru) i za "Cal" režim za posmatrani vremenski interval od 10 minuta (kod helikoptera na stajanci).

Tabela 2. Ekvivalentni nivo buke u toku leta

Red. br.	Nosilac	Očitana vrednost u %	$L_{eq}$ dB(A)
1.	aviomehaničar	6900 p■	94

Tabela 3. Ekvivalentni nivoi buke

Red. br.	Nosilac	Očitana vrednost u %	$L_{eq}$ dB(A)
1.	aviomehaničar 1	5937 p■	111
2.	aviomehaničar 2	5042 p■	109

■- upozorenje da je nosilac dozimetra izložen buci čiji nivo povremeno premašuje 115 dB(A); p- upozorenje da je nosilac dozimetra izložen buci čiji pik povremeno premašuje 140 dB

Statistička analiza je rađena u helikopteru, kao i na 10 m ispred helikoptera na stajanci. Analizom u helikopteru obuhvaćene su sledeće aktivnosti: zpuštanje motora helikoptera, rad motora helikoptera, poletanje helikoptera sa stajanke, let i sletanje helikoptera na stajanku. Iz zapisa statističke analize urađene u helikopteru sledi:

$S=39513$ -broj uzoraka (vreme uzorkovanja 0,1s)

$L_1=96$  dB(A),  $L_5=96,2$  dB(A)

$L_{10}=94,5$  dB(A),  $L_{50}=93,5$  dB(A),

$L_{90}=92,5$  dB(A),  $L_{95}=90,5$  dB(A),

$L_{99}=88,3$  dB(A) i  $L_{eq}=93,3$  dB(A)

$L_N$ - nivo buke premašen u N procenata posmatranog vremenskog perioda.

Ekvivalentni nivo buke prelazi dopušteni nivo od 70 dB(A), s obzirom na vrstu delatnosti.

Statistička analiza, rađena na 10 m ispred helikoptera na stajanci, obuhvatala je sledeće aktivnosti: rad agregata za zpuštanje motora helikoptera, rad motora helikoptera u različitim režimima rada i poletanje helikoptera sa travnate stajanke.

Iz zapisa ove statističke analize se može videti sledeće:

$S=3531$ -broj uzoraka (vreme uzorkovanja 0,1s)

$L_1=109,5$  dB(A),  $L_5=104,5$  dB(A)

$L_{10}=101,5$  dB(A),  $L_{50}=88,8$  dB(A),

$L_{90}=85,0$  dB(A),  $L_{95}=83,8$  dB(A),

$L_{99}=64,3$  dB(A) i  $L_{eq}=97,8$  dB(A)

$L_N$ - nivo buke premašen u N procenata posmatranog vremenskog perioda

Ekvivalentni nivo buke prelazi dopušteni nivo od 75 dB(A), s obzirom na vrstu delatnosti. Snimanje infrazvuka

i ultrazvuka je vršeno u helikopteru kod mehaničara neposredno iza pilota i na stajanci na 15 m ispred helikoptera.

Analizom snimljenog materijala dobijeni su rezultati prikazani u tabelama 4 i 5.

Tabela 4. Spektralna analiza infrazvuka u helikopteru

Red. br.	Režim rada motora helikoptera	Oktavni nivoi infrazvuka u dB		
		4 Hz	8 Hz	16 Hz
1.	rad levog motora na malom gasu i rad pomoćnog motora helikoptera	71,2	75,4	78,0
2.	rad desnog motora u režimu korekcije (93%) i levog motora na malom gasu	91,0	93,4	94,1
3.	rad desnog i levog motora u režimu punog gasa	92,7	95,6	98,2

Tabela 5. Spektralna analiza infrazvuka na stajanci

Red. br.	Režim rada motora helikoptera	Oktavni nivoi infrazvuka u dB		
		4 Hz	8 Hz	16 Hz
1.	rad levog motora na malom gasu i rad pomoćnog motora helikoptera	74,3	75,4	70,9
2.	rad levog i desnog motora na malom gasu i rad pomoćnog motora	79,3	86,4	87
3.	rad desnog motora u režimu korekcije(93%) i levog motora na malom gasu	100,4	102,9	102,1
4.	rad desnog i levog motora u režimu punog gasa	101,9	103,2	103,6

Na osnovu rezultata spektralnih analiza infrazvuka datih u prikazanim tabelama može se zaključiti da izmereni oktavni nivoi infrazvuka kod ovog tipa helikoptera ni u jednom oktavnom opsegu, pri navedenim režimima rada motora helikoptera, ne prelaze dopuštenu vrednost od 105 dB, koja je određena za zaštitu od profesionalnog izlaganja infrazvuku [4].

Analizom snimljenog materijala dobijeni su rezultati prikazani u tabelama 6 i 7.

Tabela 6. Spektralna analiza ultrazvuka u helikopteru

Red. br.	Režim rada motora helikoptera	Trećinsko-oktavni nivoi ultrazvuka u dB					
		20 kHz	25 kHz	31,5 kHz	40 kHz	50 kHz	63 kHz
1.	levi i desni motor na malom gasu i rad pomoćnog motora	58,6	58,2	56,4	57,2	59,3	57,4
2.	desni motor u režimu korekcije i levi motor na malom gasu	64,8	63,1	59,2	58,6	59,0	58,9
3.	desni i levi motor u punom gasu	68,9	66,7	62,7	61,8	59,9	59,5

Tabela 7. Spektralna analiza ultrazvuka na stajanci

Red. br.	Režim rada motora helikoptera	Trećinsko-oktavni nivoi ultrazvuka u dB					
		20 kHz	25 kHz	31,5 kHz	40 kHz	50 kHz	63 kHz
1.	levi i desni motor na malom gasu i rad pomoćnog motora	66,4	64,1	60,3	60,7	63,1	62,1
2.	desni motor u režimu korekcije i levi motor na malom gasu	70,6	68,2	64,6	63,3	64,6	63,2
3.	desni i levi motor u punom gasu	72,9	68,4	64,4	64,0	63,4	62,3

Na osnovu rezultata spektralne analize ultrazvuka, datih u prikazanim tabelama, utvrđeno je da on kod ovog tipa he-

likoptera ni u jednom trećinsko-oktavnom opsegu pri navedenim režimima rada motora helikoptera ne prelazi dopuštenu vrednost od 75 dB, koja je određena za neprekidno izlaganje radnika za 8 sati rada [5].

### Diskusija dobijenih rezultata

Iz rezultata merenja se vidi da buka helikoptera prelazi dopuštene nivoe, dok su infrazvuk i ultrazvuk bili ispod dopuštenih nivoa za profesionalno izlaganje.

Buka koju stvaraju helikopteri se može smanjiti na više načina, zavisno od toga da li se teži smanjenju buke na samom izvoru ili se želi smanjiti buka zaštitnim merama na mestu prijema. Pošto najveći udeo u analiziranoj buci ima motor helikoptera, tj. njegovi pojedini sklopovi, glavni pravci za smanjenje buke usmerili bi se na motor i bili bi aktivni ili pasivni. Pod aktivnim postupcima se podrazumevaju postupci preduzeti pri samom projektovanju pojedinih sklopova motora. Kod helikoptera, se na primer, smanjenje buke rotora može ostvariti smanjenjem brzine obrtanja vrhova krakova rotora. Pasivne metode se ogledaju u postavljanju zvučne izolacije oko delova motora, ili nekim naknadnim rešenjima i prilagođavanjima.

Svakako, najznačajniji realna metoda za smanjenje buke je upotreba zaštitnih sredstava, a to su prvenstveno štitnici protiv buke koji moraju biti korektno postavljeni i komfortni. Zbog potrebe komunikacije, kako sa drugim aviomehaničarima tako i sa pilotom, javlja se potreba za postavljanjem odgovarajućeg mikrofona na štitnik.

Zbog toga što do ušiju članova posade može dopreti buka kroz štitnik, a tu su i ometajući signali iz komunikacijskih sistema, pojavila se potreba za razvijanjem sistema za prigušenje buke koji se naziva ANR sistem (sistem za aktivnu redukciju buke) ili ENC sistem (Electronic Noise Cancellation System). Ovaj sistem se ostvaruje postavljanjem minijaturnog mikrofona u ušnu školjku odmah do slušnog elementa i što je bliže moguće ulazu u slušni kanal. Ovaj mikrofoni je osetljiv na buku koja dolazi do uha. Signal koji proizvodi osetljivi mikrofoni predstavlja buku koja prodire kroz barijeru koja obezbeđuje pasivnu atenuaciju, a sastoji se prvenstveno od niskih frekvencija. Ovaj se signal odvodi u elektronski deo gde je inverziono kolo u kome se signal fazno invertuje, zatim pojačava pomoću pojačavača i vodi do zvučnika stvarajući tzv. "antibučni" signal koji eliminiše buku prodrulu kroz štitnik.

Pored štitnika za zaštitu od buke, neophodno je koristiti i kacige za zaštitu od buke, jer bi se na taj način efikasno 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 helikoptera.

Pri izboru zaštitne opreme treba pažljivo razmotriti dokumentaciju zaštitnog sredstva kako bi se obezbedilo da njegove deklarirane atenuacije po frekventnim opsezima svedu nivoe buke na radnom mestu ispod dopuštenog nivoa. Za vazduhoplove je, uglavnom, potrebno predvideti štitnike sa izrazitom atenuacijom u frekventnim opsezima sa središnjim frekvencijama u opsegu 2-8 kHz. Ako se želi kvalitetnija zaštita za ljudstvo pored helikoptera, štitnici koji bi se koristili za rad kod helikoptera bi morali imati i nešto veće nivoe atenuacije na nižim frekvencijama od onih koji bi se koristili za rad sa helikopterima.

Pored atenuacije buke, vrlo je važno istaći i neophodnost maksimalnog komfora nošenja sredstava lične zaštite, jer je stalno nošenje od vitalnog značaja za efikasnu zaštitu.

Na kraju, treba istaći da nije dovoljno samo nabaviti zaštitna sredstva, jer nepravilno nošenje i rukovanje umanjuje njihov zaštitni efekat. Zbog toga je potrebno organizovati obuku lica koja koriste ova sredstva [2, 3, 5].

### Zaključak

Izmereni ukupni nivoe buke, oktavni nivoe zvučnog pritiska i dobijeni nivoe za Leq kod ispitivanog helikoptera prelaze dopuštene nivoe koje propisuje naš pravilnik, s obzirom na vrstu delatnosti i odnos osoblja prema izvoru buke. Izmereni nivoe buke prelaze i nivo od 85 dB(A), koji je u navedenom pravilniku definisan kao najviši dopušteni nivo za izlaganje buci s aspekta zaštite sluha od oštećenja. Izmereni oktavni nivoe infrazvuka ni u jednom oktavnom opsegu pri navedenim režimima rada motora helikoptera ne prelaze dopuštenu vrednost od 105 dB, koja je određena za zaštitu od profesionalnog izlaganja infrazvuku. Izmereni nivoe ultrazvuka takođe ni u jednom trećinsko-oktavnom opsegu ne prelaze dopuštenu vrednost od 75 dB, koja je određena za neprekidno izlaganje za 8 sati rada.

### Literatura

- [1] PEJČIĆ, P. *Vojni helikopteri*. Vojnoizdavački i novinski centar. Beograd 1993, p.129-135.
- [2] OWEN, M., J.P. Noise induced hearing loss in military helicopter aircrew- a review of the evidence. *J.R. Army Med Corps*. 1995, no.141, p.98-101.
- [3] ...*Pravilnik o merama i normativima zaštite na radu od buke u prostorijama*. Službeni list SFRJ, 1992, no.21, p.310-316.
- [4] Giginičeskie normi infrazvuka na rabočih mestah. *Minzdrav SSSR.-M.* 1980, p.2274-2280.
- [5] *IRPA / INIRC Guidelines*. Guidelines on human exposure to airborne ultrasound *Health Phys* 1984, no.46, p.972-974.

Rad primljen: 7.9.1999.god.