

Potreban nivo alarmnih signala elektronskih sirena u zoni pokrivanja

Aleksandar Gajicki, Dragan Drinčić, Dragan Lopičić, Gorica Aleksić Milosavljević, Jovan Kon, Dušan Straživuk

Apstrakt - U ovom radu su analizirani važeći kriterijumi koji se koriste kod definisanja potrebnog nivoa zvuka alarmnih signala u zoni pokrivanja elektronskih sirena za javno uzbuđivanje. Na bazi detaljnijeg uvida u karakteristike buke u naseljima, koristeći dostupne podatke iz literature, kao i podatke iz sopstvenih obimnih merenja, a imajući u vidu psihoakustičke karakteristike čula sluha, predložene su minimalne vrednosti nivoa alarmnih signala u odnosu na nivo buke u zoni pokrivanja sirena.

Ključne reči— elektronske alarmne sirene; nivo zvuka alarmnih signala; granica dometa sirena.

I. UVOD

Pod elektronskim alarmnim sirenama ovde podrazumevamo sirene za javno alarmiranje stanovništva na otvorenom prostoru koje kao elemente za reprodukciju signala imaju elektrodinamičke pobuđivače sa levkovima. Treba imati u vidu da ove sirene nisu namenjene za uzbuđivanje ljudi koji se nalaze u zatvorenim prostorijama (vozila, stanovi, kancelarije, učionice, hale za proizvodnju, radionice, motorna vozila i sl.), odnosno da je mala verovatnoća da će oni moći da čuju njihov signal, ukoliko se ne nalaze blizu mestima postavljanja sirena.

Osnovni razlog za ovo je slabljenje zvuka pri prolazu kroz pregrade (zidove) koje ove slušaoce okružuju. U fabričkim halama i radionicama, gde je nivo unutrašnje buke jako veliki, situacija je još gora.

Za takvu vrstu alarmiranja i obaveštavanja se moraju koristiti neki drugi sistemi kao što su radio, televizija, internet, mobilna telefonija interni razglasni sistemi i sl.

Zato, kad ovde govorimo o nivou alarmnih signala sirena mislimo na nivo signala na otvorenom, prvenstveno u naseljima i drugim ugroženim zonama, gde se ljudi mogu naći tokom obavljanja svakodnevnih aktivnosti. Najznačajniji faktori koji određuju čujnost alarmnih signala sirena na otvorenom prostoru su prepreke i nivo okolne buke. U ovom

Aleksandar Gajicki - Saobraćajni institut CIP, Nemanjina 6, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: agajicki@sicip-trg.com).

Dragan Drinčić - Visoka škola elektrotehnike i računarstva, Vojvode Stepe 283, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: dragan.drincic@beotel.net).

Dragan Lopičić - Institut Mihajlo Pupin, Volgina 15, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: lopicied@ikomline.net).

Gorica Aleksić Milosavljević - Saobraćajni institut CIP, Nemanjina 6, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: aleksicg@sicip-trg.com).

Jovan Kon - Institut Mihajlo Pupin, Volgina 15, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: jovan.kon@institutepupin.com).

Dušan Straživuk - Institut Mihajlo Pupin, Volgina 15, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: strazivuk@yahoo.com).

radu se dalje nećemo baviti uticajem prepreka.

Mnogobrojna merenja buke u naseljima [1] pokazuju da je njen nivo u neposrednoj vezi sa gustinom naseljenosti. Ovakva veza je rezultat činjenice da buku u naseljima najvećim delom čini buka drumskih vozila, čiji je broj proporcionalan gustini naseljenosti. U pojedinim slučajevima, na određenim ograničenim područjima, mora se uzeti u obzir i buka koju pravi železnički i/ili avio saobraćaj, kao i buka od industrijskih postrojenja.

Tako sva naselja, s obzirom na gustinu naseljenosti stanovništva i sa njom povezane nivoe buke u njima, možemo podeliti u nekoliko grupa. To su ruralna područja, prigradska naselja i rezidencijalne zone, urbane zone sa srednjom gustinom naseljenosti i urbane zone sa velikom gustinom naseljenosti kao i zone uz glavne saobraćajnice.

Uobičajeno je da se ukupni nivoi buke izražavaju u dBA i često su to jedini podaci o karakteristikama buke koji se imaju na raspolaganju. Sa druge strane, nivo zvuka alarmnih sirena se daje u dBC, na rastojanju 30 m od sirene. Ako se ovome doda i činjenica da je frekvencija alarmnog signala najčešće u granicama od 400 Hz do 800 Hz, pred projektantom se postavlja dosta delikatno pitanje: koji minimalni nivo signala treba da ima sirena u svojoj zoni pokrivanja?

Dostupni podaci iz ove oblasti nam govore da različiti proizvođači sirena uzimaju različite vrednosti nivoa zvuka na granici dometa. Kod nekih je to nivo od 71 dBA [2], kod drugih nivo od 70 dBC [3], [4] kod trećih se uzimaju različiti nivoi za različite tipove naselja [5]-[7]. Imamo i slučajeve kada se za granicu dometa računaju nivoi zvuka koji su za (3-5) dB [4], [5], [8], [9] pa čak i 10 dB [1] ili 15 dB [11] iznad nivoa buke.

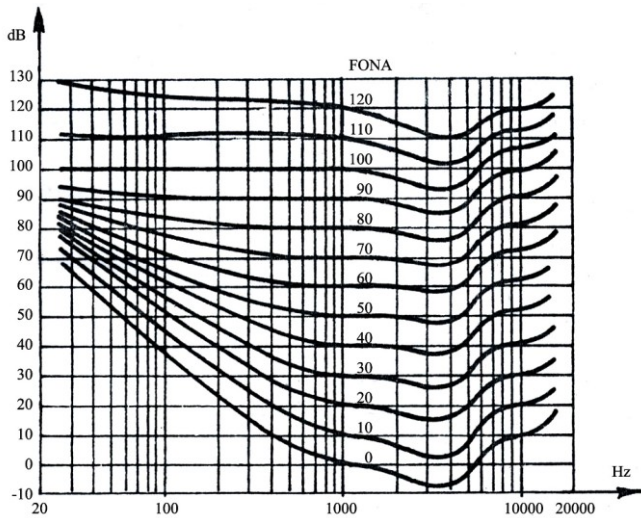
U domaćoj praksi iz ove oblasti računa se sa nivoima zvuka od 60 dBC u seoskim i prigradskim naseljima i 74 dBC u gradskim naseljima na granici dometa.

Autori ovog rada su pokušali da na bazi podataka o karakteristikama buke u naseljima (uzetih iz objavljenih izveštaja o merenju nivoa buke u gradovima, kao i rezultata sopstvenih opsežnih merenja nivoa buke na teritoriji grada Beograda) uzimajući u obzir psihoakustičke osobine čula sluha, definišu potrebne minimalne vrednosti nivoa alarmnih signala u odnosu na nivo buke u zoni pokrivanja sirena.

II. PRAG ČUJNOSTI ALARMNIH SIGNALA

Alarmni signali su tonovi frekvencija između 400 Hz i 800 Hz. Čujnost ovih signala zavisi od njihove frekvencije i nivoa, kako je prikazano na sl. 1 [12]. Krive na ovoj slici

predstavljaju linije jednake čujnosti tonova, odakle se vidi da je čoveče uvo slabije osetljivo na tonove niskih i visokih frekvencija, nego na tonove srednjih frekvencija.

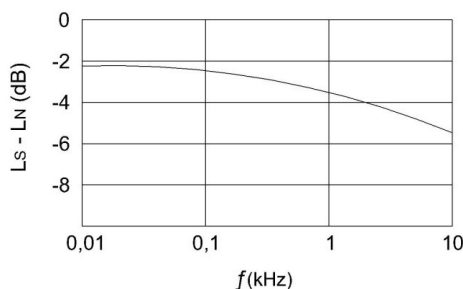


Sl.1 Izofonske krive ili krive jednakog nivoa glasnosti [12]

Drugim rečima, da bi imali osećaj da su tonovi frekvencija 300 Hz i 1000 Hz iste čujnosti od 40 fona, niži ton mora imati za oko 10 dB viši nivo. Ovde se sada s razlogom postavlja pitanje zašto za alarmne signale ne biramo tonove viših frekvencija, recimo iz opsega 2000 Hz do 4000 Hz, gde je uvo najosetljivije, nego baš iz opsega nižih frekvencija gde je uvo manje osetljivo.

Glavni razlog je to što signali viših frekvencija mnogo brže slabe pri prostiranju u otvorenom prostoru nego signali niskih frekvencija. Sa druge strane, električnim i pneumatskim sirenama, koje su se ranije koristile i još se po negde mogu sresti, ove signale ne bi ni bilo moguće reprodukovati.

Kriva na sl. 1 označena sa 0 fona predstavlja prag čujnosti pojedinih tonova u uslovima zanemarljivog nivoa buke okoline (potpuna tišina). Ako u okolini gde se nalazi slušalac postoji šum, ili buka, onda se tonovi neće čuti pri nivoima zvuka koji odgovaraju krivoj 0 fona. Tada je prag čujnosti tonova podignut, i da bi se čuli moraju imati viši nivo od onog koji je potreban kada je u okolini tišina.



Sl. 2. Razlika nivoa tona L_S , i nivoa šuma L_N u kritičnom opsegu centriranom oko frekvencije tona, na pragu čujnosti tona [15].

Drugim rečima, ako se ton reprodukuje u prisustvu signala širokopojasnog šuma (kakav je ambijentalna buka) dolazi do pojave maskiranja tona i on se slabije čuje ili se uopšte ne

čuje. Pri tome samo uzak frekvencijski opseg šuma (takozvani kritični opseg) centriran oko frekvencije tona maskira ton.

Ako je spektar šuma širi od pomenutog kritičnog opsega, efekat maskiranja se ne uvećava i ostaje isti kao kada bi spektar šuma zauzimaio samo širinu kritičnog opsega [13]-[15].

Tonovi iz opsega frekvencija 400 Hz do 800 Hz dostižu prag čujnosti kada je njihov nivo (L_S) niži za oko 2 dB do 3 dB u odnosu na nivo šuma u kritičnom opsegu centriranom oko frekvencije tona (L_N), sl. 2. Ova kriva se može približno opisati izrazom [15]:

$$L_S - L_N = -2 - 2,05 \cdot \arctg\left(\frac{f}{4}\right) - 0,75 \cdot \arctg\left(\frac{f^2}{2,56}\right) \quad (1)$$

gde je f frekvencija tona izražena u kHz.

TABELA I
ODNOS SIGNAL/ŠUM NA PRAGU ČUJNOSTI SINUSNIH SIGNALA U KRITIČNIM OPSEZIMA I TERCAMA ČIJE SE FREKVENCIJE POKLAPAJU SA CENTRALNIM FREKVENCIJAMA OPSEGA

Centralna frekvencija opsega [Hz]	Odnos signal/šum [dB]		
	Na pragu čujnosti		Na pragu uzb.
	Kritični opseg	Terca	Terca
400	-2,3	-1,9	8,1
500	-2,3	-2,9	7,1
630	-2,4	-3,0	7,0
800	-2,6	-3,2	6,8

Za frekvencije ispod 500 Hz može se smatrati da je širina kritičnog opsega 100 Hz, a za frekvencije iznad 500 Hz njegova širina je oko 20% od centralne frekvencije [14]. Podsetimo se da je širina trećinsko – oktavnih filtera 23% od njihove centralne frekvencije što je nešto više od širine kritičnih opsega sa istim centralnim frekvencijama.

Ako sada izračunamo potreban odnos signal/šum iz izraza (1) i korigujemo dobijene vrednosti usled razlike u širini terca i kritičnog opsega sa istom centralnom frekvencijom dobićemo rezultate prikazane u tabeli I. Iz ovoga se može zaključiti da će tonovi alarmnih signala frekvencija od 400 Hz do 800 Hz dostići prag čujnosti u buci širokog spektra kada je njihov nivo za 1,9 do 3,2 dB ispod nivoa buke u terci čija se centralna frekvencija poklapa sa frekvencijom tona.

III. PRAG UZBUNJIVANJA ALARMNIM SIGNALOM

U normalnim situacijama ljudi ignorišu ometajući efekat zvukova koji nisu relevantni za ono što trenutno rade. Zbog toga zvukovi upozorenja moraju biti takvog nivoa da prevaziđu ovu mentalnu barijeru kod potencijalnih slušalaca. Obimna ispitivanja [1], [23] su pokazala da bi se alarmnim zvukom (zvukom upozorenja) privukla pažnja slušalaca koji su okupirani trenutnim poslom, njegov nivo mora da bude oko 10 dB viši nego što bi bilo dovoljno da ga čuje neko ko pažljivo sluša, očekujući taj zvuk. To znači, da bi alarmni signal sigurno privukao pažnju potencijalnog slušaoca njegov nivo mora biti oko 10 dB iznad praga čujnosti istog signala u

prisustvu okolne buke. Imajući u vidu ovaj podatak, a s obzirom na ono što je rečeno u odeljku II, može se konačno zaključiti da je potreban minimalni nivo alarmnog signala za oko (7-8) dB viši od nivoa buke u terci centriranoj oko njegove frekvencije (vidi zadnju kolonu u tabeli I).

IV. KARAKTERISTIKE BUKE U NASELJIMA

Prema iskustvima američkih proizvođača sirena [6], [7], statistički dnevni nivo buke $L_{A10\%}$ u seoskim i prigradskim naseljima i zonama za odmor je 70 dBA, dok u industrijskim zonama i centralnim delovima gradova prelazi 80 dBA. Evropski proizvođači sirena [2]-[5], [8], [9] računaju sa nižim vrednostima, ali ukupnog ekvivalentnog nivoa buke ponderisanog prema krivoj A ili C.

TABELA II
PROSEČNE VREDNOSTI NIVOA BUKE U 156 MERNIH TAČAKA NA
TERITORIJI GRADA BEOGRADA

Nivo buke [dBA]			Nivo buke po tercama [dB]			
L_{AFeq}	$L_{AF5\%}$	$L_{AF10\%}$	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz
60,4	65,5	62,2	51,8	52,1	51,4	50,9

Merenja buke u naseljima u našoj zemlji [16] - [22], pokazuju da i pri veoma jakom saobraćaju prosečni dnevni nivo buke u centralnim zonama najvećih gradova retko kada prelazi 75 dBA. U manjim gradovima prosečan nivo buke je nešto ispod 70 dBA, dok je u prigradskim područjima i manjim mestima ovaj nivo manji od 60 dBA. U seoskim naseljima prosečni dnevni nivo buke jedva dostiže 55 dBA.

Autori ovog rada, tokom izrade akustičke studije za teritoriju grada Beograda za potrebe izgradnje gradskog sistema za osmatranje i uzbunjivanje [24] izveli su veliki broj merenja buke (156 mernih tačaka) u gradskom jezgru, prigradskim i seoskim naseljima.

Prosečne vrednosti nivoa buke dobijene tokom ovih merenja prikazane su u tabeli II. Kao što se iz ove tabele vidi, pored ekvivalentnog A ponderisanog nivoa buke (L_{AFeq}) date su i prosečne A ponderisane vrednosti kvantila $L_{AF5\%}$ i $L_{AF10\%}$ kao i prosečne vrednosti nivoa buke u tercama sa centralnim frekvencijama na 400 Hz, 500 Hz, 630 Hz i 800 Hz.

TABELA III
PROSEČNE VREDNOSTI RAZLIKE UKUPNOG NIVOA BUKE I NIVOA
BUKE U TERCAMA

Centralna frekvencija terce [Hz]	Razlika ukupnog nivoa buke [dBA] i nivoa buke u tercama [dB]		
	Iz [1]	Iz [24]	Prosek
400	8	8,6	8,3
500	8	8,4	8,2
630	9	9,0	9,0
800	10	9,5	9,7

Slični brojni podaci o karakteristikama buke u naseljima prezentirani su i u studiji [1]. Rezultati koje su dobili autori [24] i rezultati iz studije [1], radi poređenja prikazani su u tabeli III, tako da se akcenat stavi na razliku ukupnog nivoa buke, izraženog u dBA, i nivoa iste buke u tercama (bez

frekvencijske korekcije) sa centralnim frekvencijama od 400 Hz do 800 Hz.

Kao što se može videti, dobijeni rezultati su u dobroj međusobnoj korelaciji. U poslednjoj koloni tabele date su prosečne vrednosti odakle se vidi da su nivoi buke u naseljima, u tercama sa centralnim frekvencijama od 400 Hz do 800 Hz u proseku za 8 do 10 dB niži od ukupnog nivoa buke izraženog u dBA.

V. POTREBAN NIVO SIGNALA ALARMNIH SIRENA NA GRANICI DOMETA

Pod dometom alarmnih sirena podrazumeva se rastojanje (dato u metrima) od sirene do granice na kojoj je nivo alarmnog signala čujan. Drugim rečima to znači, da na granici dometa nivo alarmnog signala mora biti veći ili jednak pragu uzbunjivanja, koji smo definisali u odeljku III.

Iz svega prethodno iznetog, a upoređujući rezultate u zadnjim kolonama tabela I i III, može se zaključiti da je u prosečnim uslovima za čujnost tona sirene za spoljašnje alarmiranje dovoljno da njegov nivo na mestu prijema, izražen u dBC, bude brojno jednak ukupnom nivou buke na istom mestu, izraženom u dBA. Pri ovim uslovima, čujnost signala viših frekvencija (630 – 800 Hz) će biti nešto bolja iz dva razloga. Prvo zato jer je nivo buke u ovim tercama manji, a drugo, jer je uvo osetljivije na ovim frekvencijama nego na frekvencijama iz opsega 400 Hz – 630 Hz.

Ipak, ovde treba uzeti u obzir i činjenicu da alarmni signali ne traju neprekidno, a da nivo buke varira i da njegove najviše vrednosti prevazilaze izmerene ekvivalentne nivoe.

To nam dalje govori, da bi i uz prethodno ispunjene uslove, moglo u određenim slučajevima doći do maskiranja alarmnog signala bukom.

Smanjenje ove mogućnosti na najmanju, a ipak racionalnu meru, može se ostvariti uvođenjem koeficijenta sigurnosti kojim bi se potreban nivo tona alarmnog signala dodatno uvećao u zavisnosti od njegove frekvencije. Na osnovu rezultata sprovedenog merenja buke na 156 mernih tačaka na teritoriji grada Beograda, zadavajući verovatnoću da nivo alarmnog signala bude 10 dB viši u odnosu na prag čujnosti u 99,50% slučajeva, dobijene su vrednosti koeficijenta sigurnosti. Te vrednosti iznose: 5,6 dB za alarmni signal na 400 Hz, 4,7 dB za alarmni signal na 500 Hz, 2,4 dB za alarmni signal na 630 Hz i 1,4 dB za alarmni signal na 800 Hz.

Radi lakšeg rada i pamćenja koeficijenata sigurnosti predlaže se da se prilikom praktičnog rada koriste njihove zaokružene vrednosti od 6 dB (400 Hz), 5 dB (500 Hz), 3 dB (630 Hz) i 2 dB (800 Hz). Pri ovome se verovatnoća ispunjenja zadatog uslova neznatno povećala u odnosu na početnu vrednost od 99,5%. Za frekvencije alarmnih signala koje se ne poklapaju sa prethodno navedenim, vrednostima koeficijenat sigurnosti je moguće približno odrediti interpolacijom.

VI. ZAKLJUČAK

Nivo alarmnih signala elektronskih sirena na granici

dometa, u nacionalnim propisima i standardima definisan je na različite načine. Kako je pokazano u ovom radu, taj nivo treba da bude neposredno povezan sa nivoom buke u naseljima koja se pokrivaju zvukom elektronskih alarmnih sirena. Da bi sa velikim stepenom sigurnosti stanovništvo na ugroženom području moglo da ga čuje, nivo ovog signala, izražen u dBC, treba da bude brojno veći od A ponderisanog nivoa buke (L_{Aeq}) za koeficijent sigurnosti čija je vrednost (zavisno od frekvencije signala) od 2 dB do 6 dB.

Na kraju treba naglasiti da prethodna analiza i izvedeni zaključci ne obuhvataju slučajeve kada se buka na mestu prijema može okarakterisati kao tonalna.

LITERATURA

- [1] Outdoor Warning Systems Guide." Report No. 4100. Bolt, Beranek, and Newman, Inc, 1978.
- [2] Electronic siren SES, Sonnenburg, www.sonnenburg.de.
- [3] High power speaker arrays, EATON, www.eaton.com.
- [4] Electronic Siren Sound Levels, Comtel, www.comtel.gr.
- [5] Early warning and emergency notification, www.telegrafia.eu.
- [6] Modulator Arrays, Federal, www.federalwarningsystems.com.
- [7] WPS 2900 Series, Whelen, www.whelen.co.
- [8] DSE electronic siren, Digitex, www.digitex.pl.
- [9] Basics of sound, E2S systems, www.e2s.com
- [10] Electronic siren ECN 3000, Hoermann, www.hoerman-gmbh.de.
- [11] I. Tudor, I Bubljić, P. Vukadin, „The Sound Propagation Prediction of the Siren Alarm System for Peruća Hydropower Dam”, Euronoise, Prague, 2012.
- [12] ISO 226:1987, Acoustics - Normal equal-loudness-level contours, Geneva 1987.
- [13] H.Š. Kurtović, Osnovi tehničke akustike, Naučna knjiga, Beograd 1982.
- [14] F.A Everest, K.C. Pohlmann, Master Handbook of Acoustics, Fift Ed., Mc. Graw Hill, 2009.
- [15] V. G. Oklobdžija, editor, The Computer Engineering Handbook, Digital Systems and Applications, Taylor & Francis Group, 2008.
- [16] Godišnji izveštaj o merenju komunalne buke u životnoj sredini u Zrenjaninu, Zavod za javno zdravlje, Zrenjanin, januar-december 2011.
- [17] Izveštaj o ispitivanju komunalne buke u Pančevu, Zavod za javno zdravlje Pančevo, januar-december, 2009
- [18] Sistematsko merenje buke u Vršcu, Zavod za javno zdravlje Pančevo, 2009
- [19] Maršrutno merenje buke na teritoriji opštine Obrenovac, Gradski zavod za javno zdravlje, Beograd, novembar 2013.
- [20] Kvalitet životne sredine grada Beograda u 2009, Gradska uprava grada Beograda, Sekretarijat za zaštitu životne sredine.
- [21] Izveštaj o merenju buke u Kruševcu, Zavod za javno zdravlje Kruševac, januar 2013.
- [22] Monitoring buke u životnoj sredini na teritoriji grada Subotice u 2013. godini, Zavod za javno zdravlje Subotica, mart 2014..
- [23] Outdoor Warning Systems, Tech. Bulletin. Ver.2.0, FEMA, Jan., 2006.
- [24] Studija akustičnosti za teritoriju grada Beograda, CIP-IMP, Beograd 2015.

ABSTRACT

This paper present analysis of current criteria for determination the required level of sound alarms in the coverage area for electronic sirens in public outdoor warning system. On the basis of detailed data of the noise characteristics in residential areas, data available in the literature, data from a large number of its own measurements, and considering the psychoacoustic characteristics of human hearing, required minimum levels of alarm signals with regard to the background noise level in the sirens coverage areas are proposed.

The required level of alarm signal for electronic sirens in their coverage area

Aleksandar Gajicki, Dragan Drinčić, Dragan Lopičić, Gorica Aleksić Milosavljević, Jovan Kon, Dušan Straživuk