

Kršulja Aleksandar¹

Bakša Dalibor²

Bognolo Dario³

Kršulja Marko⁴

PROCJENA UTJECAJA BUKE I ODREĐIVANJE OZO PRI ISPITIVANJU FREKVENTNOG PRETVARAČA⁵

Sažetak

U ovome istraživanju je prikazano ispitivanje razine zvučnih tlakova (buke) koju generira frekventni pretvarač tvrtke Siemens koji se koristi u postrojenju Termoelekrane. Prikazano je određivanje pozicije postavljanja mjernih uređaja, zbrajanja zvučnih tlakova te analiziranje rezultata mjerenja. Prikazana je rezultirajuća ocjena prema zakonskoj direktivi 2003/10/EC te je dana preporuka za izbor Osnovne zaštitne opreme (OZO) prema metodi SNR, HML i oktavnim pojasevima. Dane su smjernice zaštite radnika od prekomjernog izlaganja buci i komentirana je potencijalna dnevna izloženost te maksimalno vrijeme rada radnika.

Ključne riječi: Buka, OZO, Zvučni tlak, 2003/10/EC.

1. Uvod

U ovome istraživanju prikazano je mjerenje razina zvučnog tlaka (buke) koje generira frekventni pretvarač tvrtke Siemens u postrojenju Termoelekrane. Cilj istraživanja je prikazati metodu mjerenja i zbrajanja zvučnih tlakova te analize dobivenih rezultatu u skladu sa Zakonom o zaštiti od buke NN 30/09, 55/13, 153/13. Mjerenja su izvedena pomoću zvukomjerom (analizator zvuka) Norsonic NOR 140, tv.br. 1403061.

Instrument je izrađen u skladu sa sljedećim normama : IEC 61672-1: 2002 class1, IEC 60651 type1, IEC 60804 type 1, IEC 61260 class 1, ANSI S1.4 – 1983 (R 2001) sa AMD.S1.4A-1985 class 1 i ANSI S1.43-1997 (R 2002) class 1.

Mjerenje je izvršeno na udaljenosti od 50 cm od frekventnog pretvarača „Siemens“ u visini uha radnika na 1,7 m. Prilikom mjerenja radila su 2 od ukupno 4 ventilatora na

¹ Dipl. ing. stroj., ZZZR, Veleučilište u Rijeci, Vukovarska 58, 51000, Rijeka, akrsulja@gmail.com

² Dipl. ing. el., ZZZR, Veleučilište u Rijeci, Vukovarska 58, 51000, Rijeka, dalibor.baksa@gmail.com.

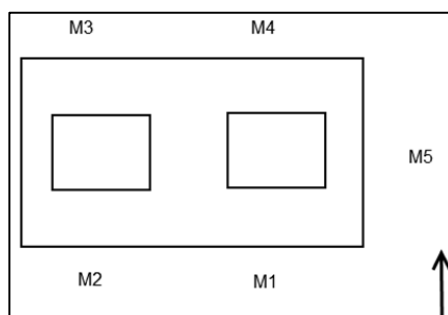
³ Dipl. ing. stroj., pročelnik, Veleučilište u Rijeci, Vukovarska 58, 51000, Rijeka, dbognolo@veleri.hr.

⁴ Dr. sc. stroj., asistent, Veleučilište u Rijeci, Vukovarska 58, 51000, Rijeka, mkrsulja@veleri.hr.

⁵ Primljeno: 15. 02. 2015.; Prihvaćeno: 15. 03. 2015.

frekventnom pretvaraču. Mjerenje je obavljeno na 5 mjesta oko pretvarača kao što se vidi na grafikonu 1.

Grafikon 1: Odabrane pozicije mjerenja oko frekventnog pretvarača Siemens



Izvor: Obrada autora

Zvukomjer je mjerni uređaj koji registrira zvuk na približan način kao i ljudsko uho. Postoje dva načina na koji se zvučni tlakovi prikazuju. Prvi način je prikaz zvučnog tlaka ili razine u ovisnosti o vremenu a drugi prikaz je ovisnost zvučnog tlaka o frekvenciji. Rezultate mjerenja prikazuje se spektralnom ili frekventnom analizom. Spektralna analiza izvodi se preko odabranih intervala frekvencija a u akustici su standardizirani oktavni i terčni intervali. Frekventno vrednovanje temelji se na fon krivuljama i najčešće se koriste dvije standardne karakteristike frekvencijskog vrednovanja prema A krivulji (korekciji) za niske i prema C krivulji (korekciji) za visoke razine. Važno je naglasiti da su krivulje frekvencijskog vrednovanja određene na temelju krivulja jednake glasnoće koje su dobivene mjerenjima na čistim tonovima, Sever (2007).

U tablici 1 prikazane su izmjerene razine tlakova za 5 odabranih mjernih mjesta za frekvencije oktavnog vrednovanja. Korekcija za vrednovanje po krivulji A dana je u posljednjem stupcu u tablici. U tablici 1 u posljednjem redu dani su rezultati zbrajanja zvučnih razina tlakova L_{peq} zbrojenih prema (1). Te razine nisu prilagođene ljudskoj slušnoj plohi a njihova ukupna prosječna vrijednost iznosi 92,91 dB.

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \log \sum_i 10^{0,1 \cdot L_{Ai}}; \text{ Regent A. (2015)} \quad (1)$$

U tablici 2 prikazane su vrijednosti koje su vrednovane prema krivulji A i rezultirajući tlak L_{Aeq} koji ljudsko uho čuje. Te razine jesu prilagođene ljudskoj slušnoj plohi a njihova ukupna prosječna vrijednost iznosi 87,37 dB/A.

Uz pretpostavku da dva ventilatora stvaraju buku od 87,37 dB/A možemo zaključiti da je jedan ventilator dvostruko manja buka te da je onda buka za 3 decibela manje tj. 84,37 dB/A. Jednako tako možemo zaključiti da ako svih 4 ventilatora rade tada je buka dvostruko veća od 87,37 te iznosi 3 dB više tj. 90,37 dB/A. Pravilnik o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu NN 46/2008 koji prati direktivu 2003/10/EC kaže sljedeće:

- granična vrijednost izloženosti:
 $L_{Ex,8h} = 87 \text{ dB/A}$ i $p_{peak} = 200 \text{ Pa}$, odnosno 140 dB/C.
- gornja upozoravajuća granica izloženosti:
 $L_{Ex,8h} = 85 \text{ dB/A}$ i $p_{peak} = 140 \text{ Pa}$, odnosno 137 dB/C.
- gornja upozoravajuća granica izloženosti:
 $L_{Ex,8h} = 80 \text{ dB/A}$ i $p_{peak} = 112 \text{ Pa}$, odnosno 135 dB/C.

Vrijednosti izloženosti odnose se na 8 sati rada na dan tj. 40 sati rada na tjedan. Podrazumijeva se da radnici imaju pravo na 30 minuta odmora tako da dnevno rade 7 h i 30 minuta tj. 450 minuta na tjedan.

Tablica 1: Izmjerene razine frekvencijski vrednovanog tlaka na 5 pozicija

Frekvencija	Lfeq1	Lfeq2	Lfeq3	Lfeq4	Lfeq5	Korekcija za krivulju A
	dB	dB	dB	dB	dB	
31,5 Hz	79,60	80,30	85,50	81,00	76,80	-39,40
63 Hz	82,10	85,40	82,70	86,70	81,10	-26,20
125 Hz	84,20	88,00	88,30	87,20	83,20	-16,10
250 Hz	86,10	88,10	86,90	87,90	87,60	-8,60
500 Hz	85,30	86,40	84,40	83,90	83,30	-3,20
1,0 kHz	82,90	82,90	82,90	84,00	82,20	0,00
2,0 kHz	78,60	78,20	77,60	79,80	78,10	1,20
4,0 kHz	71,90	71,90	71,60	73,10	71,00	1,00
8,0 kHz	66,40	68,00	66,30	67,50	64,30	-1,10
$L_{peq} =$	91,90	93,89	93,53	93,72	91,52	

Tablica 2: Izmjerene razine frekvencijski vrednovanog tlaka na 5 pozicija

Frekvencija	Lfeq1/A	Lfeq2/A	Lfeq3/A	Lfeq4/A	Lfeq5/A
	dB	dB	dB	dB	dB
31,5 Hz	40,20	40,90	46,10	41,60	37,40
63 Hz	55,90	59,20	56,50	60,50	54,90
125 Hz	68,10	71,90	72,20	71,10	67,10
250 Hz	77,50	79,50	78,30	79,30	79,00
500 Hz	82,10	83,20	81,20	80,70	80,10
1,0 kHz	82,90	82,90	82,90	84,00	82,20
2,0 kHz	79,80	79,40	78,80	81,00	79,30
4,0 kHz	72,90	72,90	72,60	74,10	72,00
8,0 kHz	65,30	66,90	65,20	66,40	63,20
$L_{Aeq} =$	87,31	87,93	87,07	87,95	86,59

2. Izbor OZO-a za sluh

Postoje tri metode kojima se može procijeniti Osnovna zaštitna oprema OZO za sluh a to su metoda po oktavnim pojasevima, metoda po HML vrijednostima (*H* (high), *M* (medium), *L* (low) - vrijednost gušenja buke redom u visokim, srednjim i niskim frekvencijama) te SNR vrijednosti (*SNR* (engl. *Single Number Rating*) – jednobrojna

ocjenska vrijednost razine buke), Regent, A (2010). Cilj ovih metoda je da se uspostavi pretpostavljena (vjerojatna) vrijednost zaštite ili **PNR** (engl. *Predicted Noise Reduction*). Ove metode razlikuju se prema broju odabranih frekventnih intervala kako metoda oktavnih pojaseva traži najviše podataka možemo zaključiti da je i najtočnija dok je SNR metoda najmanje točna. PNR je zapravo srednja vrijednost prigušenja umanjena za standardnu devijaciju (2) označava se i sa APV (engl. *Assumed Protection Value*).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

Cilj je da se razina zvučnih tlakova (buka) spusti ispod 75 dB/A koliko Svjetska zdravstvena organizacija WHO (engl. *World Health Organization*) navodi kao sigurnu granicu za očuvanje neoštećenog sluha. U ovome istraživanju potrebno je dati na raspolaganje OZO radniku koji spušta razinu buke sa 90,37 dB/A na razinu ispod 70 - 75 dB/A. Potrebno je nabaviti upravo čepove koji će spustiti buku za razinu od 16 dB/A - 21 dB/A i koji poštuju standarde EN 352-1 za štitnike za uši ili EN 352-2 standard za čepiće za uši. Treba napomenuti da ispravno postavljeni čepići daju najveću sigurnost a svako neispravno postavljanje uzrokuje veću buku u uhu a time i oštećivanje sluha. Jedan od nepoželjnih rezultata izlaganja buci osim smanjene sposobnosti da se čuju zvukovi je i Tinitus koji se manifestira kao šum u uhu koji se povezuje sa gubitkom sluha. Tinitus je osjet zvuka u uhu bez odgovarajućeg vanjskog podražaja a najčešći uzrok Tinitusa je prekomjerno izlaganje glasnim zvukovima poput industrijske buke.

3. Proračun OZO

Na radnom mjestu u tvornici izmjerene su razine buke prema tablici 1 a u tablici 2 izvršena je korekcija prema krivulji A. Izmjereno je $L_C = 93,89$ dB/C a $L_A = 90,37$ dB/A. Odabrani su štitnici koji spuštaju razinu buke za 25 dB/A, grafikom 2. U ovom primjeru prikazati će se proračun po metodi oktavnih pojaseva, SNR i HML metodi.

Grafikon 2: Odabrani štitnici za uši



31030
MAX 300
EN352-1

Udobni štitnik protiv buke

- » Školjka od plavog ABS-a
- » Jastučić od PVC-a, poput kože
- » Držać podesiv u 3 položaja
- » Težina: 186 gr

Udobni štitnik proti hrupu

- » Školjka iz modrega ABS
- » Blaznica iz PVC-ja, imitacija usnja
- » Nosilec nastavljiv v 3 položaje
- » Teža: 186 gr

Comfortable

- » Blue ABS shells
- » PVC cushions with leather touch
- » Extent headband with 3 positions
- » Weight : 186 gr

	SNR : 25 dB							
	H : 31		M : 22			L : 13		
Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Prigušenje Mean attenuation	13.6	9.3	14.2	23.1	31.7	31.9	39.1	32.2
St. odstupanje Standard deviation	3.1	3.0	1.3	1.7	2.2	2.3	2.5	3.3
Svama zaštita Effective protection	10.5	6.3	12.9	21.4	29.5	29.6	36.6	28.9

Izvor: www. earline.com

Postavlja se pitanje hoće li radnik koji radi 8 h/dan biti adekvatno zaštićen ako stalno nosi štitnike (izmjerene vrijednosti buke reprezentativne su za čitavo radno vrijeme)? U tablici 3 prikazani su podaci koje proizvođač daje na pakiranju za odabrane slušalice sa grafikona 2. Na uređaju je definirano $H = 31$ dB; $M = 22$ dB; $L = 13$ dB; $SNR = 25$ dB.

3.1 HML metoda:

[PNR] = dB - Pretpostavljena (vjerojatna) vrijednost zaštite.

$$\text{Za } L_C - L_A \leq 2 \text{ dB, } PNR = M - \frac{H-M}{4} \cdot (L_C - L_A - 2).$$

$$\text{Za } L_C - L_A > 2 \text{ dB, } PNR = M - \frac{M-L}{8} \cdot (L_C - L_A - 2).$$

$$L'_{pA} = L_A - PNR,$$

$$L_C - L_A = 93,87 - 90,37 = 3,5 > 2.$$

$$PNR = 22 - \frac{31-22}{8} \cdot (93,87 - 90,37 - 2) = 20,31 \text{ [dB]} \approx 20 \text{ [dB]}.$$

$$L'_{pA} = L_A - PNR = 90,37 - 20,31 = 70,06 \text{ [dB/A]}.$$

3.2 SNR metoda:

$$L'_{pA} = L_C - SNR = 93,87 - 25 = 68,87 \text{ [dB/A]}.$$

3.3 Metoda po oktavnim pojasevima:

Kod metode po oktavnim pojasevima dolazi do uzimanja prirodnog otpora ljudskog uha, tj jednaki zvučni tlak uho ne percipira jednako glasno pri različitim frekvencijama. Važno je napomenuti da je ljudsko uho najosjetljivije pri srednjim frekvencijama od 1000 Hz do 4000 Hz. U tablici 3 prikazani su podaci proizvođača zaštitne opreme i ponuđena vrijednost zaštite APV po oktavnim pojasevima tj. standardnim frekvencijama.

Tablica 3: Podaci proizvođača zaštitne opreme

Frekvencije [Hz]	Srednje prigušenje buke [dB]	Standardna devijacija gušenja buke [dB]	Pretpostavljena vrijednost zaštite APV [dB]
63	13,6	3,1	10,5
125	9,3	3,0	6,3
250	14,2	1,3	12,9
500	23,1	1,7	21,4
1000	31,7	2,2	29,5
2000	31,9	2,3	29,6
4000	39,1	2,5	36,6
8000	32,2	3,3	28,9

U tablici prikazana je srednja vrijednost svih 5 mjerenja iz tablice 1 za pojedine frekvencije. Na te frekvencije dodana je najprije APV pretpostavljena vrijednost zaštite a nakon toga i korekcija po krivulji A. Krivulja A određuje se prema standardnom oktavnom pojasevima. Na taj način izračunata je razina buke ispod štitnika za uši koju čuje radnik prema svakoj frekvenciji u oktavnom pojasevu (tablica 4).

Tablica 4: Korekcija po krivulji A i korekcija prema APV

Oktava/Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Izmjereno L_p [dB]	80,64	83,6	86,18	87,32	84,66	78,46	71,9	66,5
APV [dB]	10,5	6,3	12,9	21,4	29,5	29,6	36,6	28,9
Kor. [dB/A]	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1
Razina buke iza štitnika [dB/A]	43,94	61,2	64,68	62,72	55,16	50,06	36,3	36,5

Ukupna razina buke iza odabranih štitnika za uši nakon što se zbroje međusobni utjecaji frekvencija:

$$L'_{pA} = 10 \cdot \log(10^{4,394} + 10^{6,12} + 10^{6,468} + 10^{6,272} + 10^{5,516} + 10^{5,006} + 10^{3,63} + 10^{3,65}) = 68,19 \text{ dB/A} \approx 68 \text{ dB/A.}$$

Buka je po sve tri metode smanjene na ili ispod 70 decibela i zadovoljavaju preporuke svjetske zdravstvene organizacije. Važno je upamtiti da pri kratkotrajnom izlaganju razinama iznad 70 do 75 dB dolazi do privremenog gubitka sluha i oporavka slušnog organa nakon prestanka izlaganja, Sever S. (2007). Oporavak nakon izlaganja traje najmanje koliko i vrijeme izlaganja a zbog preopterećenja slušnog sustava dolazi i do privremenog pomaka praga čujnosti. Kod dugotrajnog izlaganja dolazi do trajnog pomaka praga čujnosti tj. do trajnog oštećenja slušnog organa. Osam sati izlaganja pri 90 dB izmjenjenog u ovome radu može dovesti do privremenog pomaka praga čujnosti od 30 dB a oporavak traje barem osam sati. To može dovesti do umora, razdražljivosti, smanjenja radne sposobnosti a u najtežim slučajevima do poremećaja u razumijevanju i komunikaciji tj. naglušnosti i gluhoći, Sever S. (2007).

4. Zaključak

Za očuvanje sluha potrebno je razumjeti osnovne pojmove koje se tiču buke te koristiti adekvatni OZO za sluh. U ovome radu prikazano je mjerenje 2 ventilatora te pretpostavka kako izračunati razinu buke ako su sva četiri ventilatora uključena. Za dva ventilatora se postiže 87,37 db/A dok se za sva četiri postiže 90,37 dB/A te je važno napomenuti da radnika treba u potpunosti zaštititi. Za svu buku iznad 87 dB/A prema pravilniku o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu NN 46/2008 mora se primijeniti OZO kako bi se sačuvao sluh i zdravlje radnika. Za odabrani OZO prikazane su tri metode proračuna zaštite sluha prema SNR broju koji je smanjio buku za 25 decibela, HML metodi koja je smanjila buku za 20,31 dB te oktavni pojas koji je smanjio buku za 22,18 dB. Može se reći da je oktavna metoda najtočnija jer uzima u obzir frekventna područja vrednovanja. Preporuke svjetske zdravstvene organizacije je da se buku spušta na razinu ispod 75 dB/A kako bi se zaštitio sluh radnika.

Literatura

- Direktiva 2003/10/EC; <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/exposure-to-physical-hazards/osh-directives/82>.
- Pravilnik o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu NN 46/2008.
- Regent, A.; Kršulja, M. (2015): *Fizikalne štetnosti - Zbirka riješenih zadataka*, Rijeka: Veleučilište u Rijeci, ISBN 978-953-6911-82-0, 2015.
- Regent, A (2010) : Proračun i izbor optimalne OZO za sluh, *Strojarsstvo* 52 (6) ISSN 0562-1887, pp. 695-702.
- Sever, S. (2007): *Fizikalne štetnosti*, IPROZ, VŠSR, Zagreb, skripta, ISBN 9536313065. *Zaštita sluha*, www.earline.com - 15.1.2015.
- Zakon o zaštiti od buke, NN 30/09, 55/13, 153/13 <http://www.zakon.hr/z/125/Zakon-o-za% C5% A1titi-od-buke>.