

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET

Stipo Dubravac

**UTJECAJ STROJA NA EMISIJU BUKE
KOD RADA KRUŽNIH PILA
PRI PRAZNOME HODU**

Zagreb, 2013.

Ovaj rad izrađen je u laboratoriju za buke i vibracije, Zavoda za procesne tehnike pod vodstvom prof. dr. sc. dr. h. c. Vlade Gogle i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2012. / 2013.

POPIS OZNAKA

D - promjer lista kružne pile, mm

D_0 - promjer prirubnice, mm

α - stražnji kut oštrice, °

β - kut oštrice, °

γ - prednji kut oštrice, °

t - korak ozubljenja, mm

h_z - visina ozubljenja, mm

n_z - broj zubi

n_v - broj okretaja kružne pile, tj. radnog vratila, min^{-1}

Z_s - frekvencija prolaska zubi kroz zrak

h_{max} - maksimalna visina reza, mm

L_p - razina zvučnoga tlaka u dB

p - izmjerena vrijednost zvučnoga tlaka u μP

p_0 - referentna vrijednost koja iznosi $20 \mu\text{Pa}$ za mjerenja u zraku

L_{eq} - energijska srednja vrijednost razine buke

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OPĆENITO O ZVUKU	2
3. KRUŽNE PILE I EMISIJA BUKE.....	6
3.1. Nastanak buke kod kružnih pila	10
3.2. Rezonatna buka tijekom praznoga hoda pile	11
3.3. Utjecajni parametri na emisiju buke	11
3.4. Mjere smanjenja razine buke	12
3.4.1. Optimalna geometrija ozubljenja	13
3.4.2. Poboljšanje prigušnih karakteristika lista pile.....	13
4. CILJEVI RADA	15
5. MATERIJAL I METODE.....	16
5.1. Opis ispitivanih strojeva i listova kružnih pila.....	16
5.2. Mjerne metode, pribor i postupak.....	21
6. REZULTATI S RASPRAVOM.....	26
7. ZAKLJUČCI.....	33
8. ZAHVALE.....	35
9. POPIS LITERATURE	36
10. SAŽETAK.....	39
11. SUMMARY	40
12. ŽIVOTOPIS	41

1. UVOD

Drvena industrija teži sve većim kapacitetima u obradi drva. Često korišteni alat je kružna pila zbog jednostavnog prijenosa gibanja i snage od pogonskog motora do rezne oštrice. No, ta se jednostavnost osigurava zahtjevnom proizvodnjom i održavanjem alata – kružne pile. Najviše pažnje se posvećuje ekonomičnosti, jednostavnosti, brzini rezanja i visokoj učinkovitosti.

Kružne pile se pojavljuju već koncem 18.-og. stoljeća. Od tada kružne pile se uspješno rabe te tako s vremenom postaju jedan od najzastupljenijih alata u mehaničkoj obradi drva. Unatoč svim pozitivnim svojstvima kružne pile, njezina široka primjena je rezultirala uočavanjem raznih problema. Birkeland (1997) navodi kako se postavlja sve više pitanja, dok odgovori na njih ostaju nepoznanica.

Mote (1985a) definira list kružne pile *kao mehanički sustav s vrlo visokom frekvencijom, a s malim prigušenjem*. Mnogi autori istražuju problematiku stabilnosti lista kružne pile, no u posljednje vrijeme sve više autora se posvećuje istraživanju razine buke koju emitiraju kružne pile u praznome hodu i u procesu piljenja.

Kao osnovni problemi lista kružne pile navode se nestabilnosti, vibracije i buka, što sve utječe na kvalitetu obrađenih površina, točnosti obrade, radnu okolinu, itd. (Beljo-Lučić, 1997). Opće je poznato da pogoni drvne industrije emitiraju veliku razinu buke u prostor te je tako rad u njima izuzetno otežan. Proučavanjem upravo ovog problema rezultat će unapređenjem tehnologije obrade drva, te nam tako u konačnici omogućiti lakši, efikasniji i ekonomičniji rad u drvnoj industriji.

2. OPĆENITO O ZVUKU

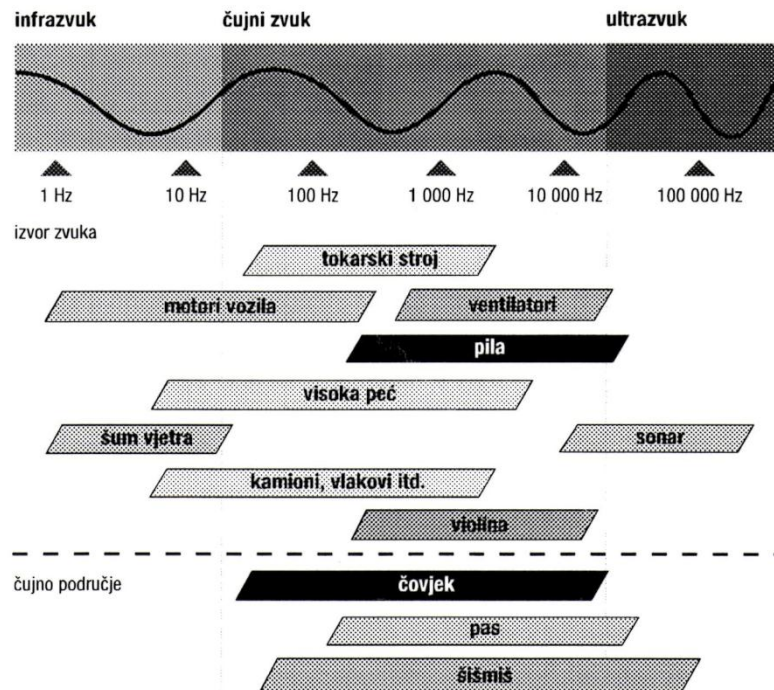
Zvuk je zajednički dio svakodnevnog života. Razni zvukovi su neželjeni ili neugodni. To nazivamo bukom. Razina buke ne ovisi samo o kvaliteti zvuka, nego i o stavu prema njemu. Zvuk ne mora nužno biti glasan da bi bio neugodan.

Zvuk može biti i štetan po zdravlje ukoliko njegova razina prijeđe određene granice. Posljedice se redovito očituju u trajnom oštećenju sluha osobe koja je bila izložena takvoj razini zvučnoga tlaka.

Zvuk se definira kao svaka promjena u razini tlaka. Znanost koja se bavi zvukom zove se *akustika*. *Buka* je svaki neugodan ili neželjen zvuk odnosno nepravilan, statistički slučajaj zvuk. Kada određeni izvor potakne titranje čestica elastičnog medija (npr. zraka) u svojoj neposrednoj okolini nastaje zvuk. Titranja u krutim tijelima nazivaju se strukturnim zvukom, a u tekućinama podvodnim zvukom, a brzina širenja im je uvelika veća negoli u zraku.

Frekvencija zvučnog vala je broj titraja u jedinici vremena (sekundi). Izražava se u hercima (Hz). Frekvencijsko područje čujnoga zvuka (zvučno titranje koje može pobuditi osjet sluha) kod ljudi sa zdravim sluhom nalazi se između 20 Hz i 20 000 Hz. Zvuk čija je frekvencija ispod 20 Hz zovemo *infrazvuk*, a iznad 20 000 Hz *ultrazvuk*.

Frekvencijsko područje različitih izvora zvuka i čujno područje nekih živih bića prikazano je na slici 2.1.



Slika 2.1. Frekvencijsko područje različitih izvora zvuka i čujno područje nekih živih bića, Ingemansson i Elvhammar (1995)

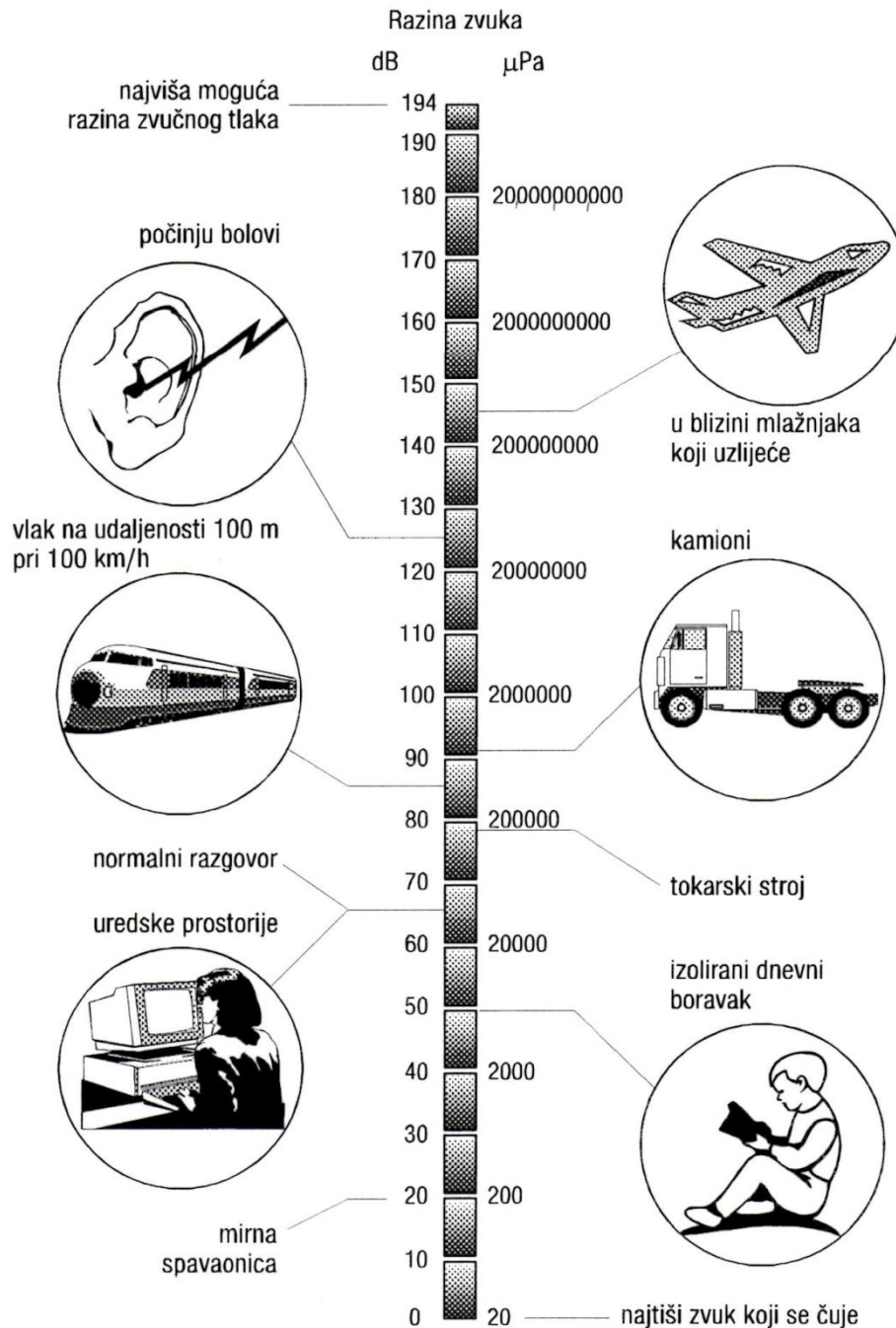
Visinu tona određuje frekvencija titranja čestica elastičnog medija. Više frekvencije jače smetaju od nižih, a čisti tonovi (sinusoidno zvučno titranje) neugodniji su za slušanje od mješavine različitih tonova.

Zvuk najčešće stvaraju promjene tlaka. Uz frekvenciju, amplituda je druga važna veličina kojom se opisuju promjene tlaka koje proizvode zvuk. Najmanja promjena tlaka koju može osjetiti ljudsko uho iznosi $20 \mu\text{Pa}$. Raspon promjena tlaka koje ljudsko uho osjeti vrlo je velik. Granica bola je tek iznad $200\,000\,000 \mu\text{Pa}$. Kako bi se izbjegao rad s velikim brojkama uvedeno je mjerilo u decibelima (dB). Ljestvica u decibelima je logaritamska, a razina zvuka izražena u dB računa se prema jednadžbi:

$$L_p = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0}$$

gdje je: L_p – razina zvučnoga tlaka u dB, p – izmjerena vrijednost zvučnoga tlaka u μPa , a p_0 – referentna vrijednost koja iznosi $20 \mu\text{Pa}$ za mjerenja u zraku.

Na slici 2.2. prikazana je ljestvica tlakova poznatih zvukova izraženih u μPa i dB. Kao što se vidi iz slike, granica čujnosti je 0 dB, a granica bola iznad 130 dB. Povećenje od 10 dB predstavlja dvostruko jači zvuk. Najmanja promjena koja se može primijetiti jest 1 dB (Ingemansson i Elvhammar, 1995). Ljudsko uho najosjetljivije je na zvuk frekvencije između 2 kHz i 5 kHz.



Slika 2.2. Ljestvica razina tlakova poznatih zvukova izraženih u μPa i dB, Beljo-Lučić (1997)

Vlastita frekvencija je frekvencija slobodnog titranja nekog sustava. Za sustav s više stupnjeva slobode vlastite frekvencije jesu frekvencije vlastitih načina (modova) titranja. *Način (mod) titranja* jest karakteristični oblik koji poprimi neki titrajući sustav, pri čemu je gibanje svake čestice jednostavno harmoničko gibanje iste frekvencije. Općenito, svako složeno gibanje sustava može se prikazati kao zbroj vlastitih modova koji titraju neovisno jedan o drugom. Modovi titranja koji nisu međusobno nezavisni nego utječu jedan na drugoga zbog prijenosa energije iz jednog u drugi, tvore spregnute način titranja (Beljo-Lučić, 1997).

Jakost titranja ploča opada s udaljenošću od mjesta pobude. Taj pad je dosta spor kod čeličnih ploča jer materijal ima malo vlastito prigušenje. *Prigušenje* je disipacija energije (pretvorba zvučne energije odnosno energije titranja u toplinu) nekog titrajućeg sustava u ovisnosti o vremenu ili udaljenosti. Prigušena ploča emitira nižu razinu zvuka. Vlastita titranja pospješuju stvaranje zvuka. Ona se mogu smanjiti prigušenjem, a često je dovoljno prigušiti samo dio titrajuće površine (Beljo-Lučić, 1997).

3. KRUŽNE PILE I EMISIJA BUKE

Kao što je već napomenuto, kružna pila je jedan od najčešće korištenih alata u drvnoj industriji. Može se definirati kao kružna ploča (disk) nazubljena po obodu. Alat kružnih pila ima velik broj različitih svojstava po kojima se međusobno razlikuju. Kako bi se alat postavio i pritegnuo na radno vratilo nužno je izraditi u središtu diska provrt. Zubi se izrađuju različitih profila i geometrije oštrice. Geometrija oštrice ovisi o više različitih parametara kao što su: oblik ozubljenja, vrsta drva, stanju vlažnosti, smjeru rezanja itd. (Goglia, 1994).



Slika 3.1. Prikaz lista kružne pile

Bez obzira na oblik provrta u sredini lista, pila se na radno vratilo uvijek priteže prirubnicom. Prema Mikolašiku (1981) preporučun promjer prirubnice D_0 u odnosu na promjer lista D bude:

$$D_0 = (0,25 \text{ do } 0,30) \cdot D$$

Primjena kružne pile ograničena je visinom piljenja te se za propiljivanje trupaca, prizmi i okrajaka rijetko koristi. Goglia (1994) navodi dva razloga tomu. Maksimalna visina reza h_{\max} kružnih pila ograničena na:

$$h_{\max} \cong (0,35 \text{ do } 0,4) \cdot D$$

Kako bi se omogućilo piljenje potrebne visine treba rabiti listove većeg promjera, ali oni moraju imati veću debljinu radi bočne stabilnosti. Posljedica toga je povećana širina propiljka koja je kod kružnih pila trupčara znatno veća nego kod pila jarmača i tračnih pila, a to nam uvelike smanjuje koeficijent iskorištenja sirovine i povećava utrošak energije.

U primjeni kružnih pila treba težiti što manjem promjeru alata, a Goglia (1994) navodi sljedeće razloge:

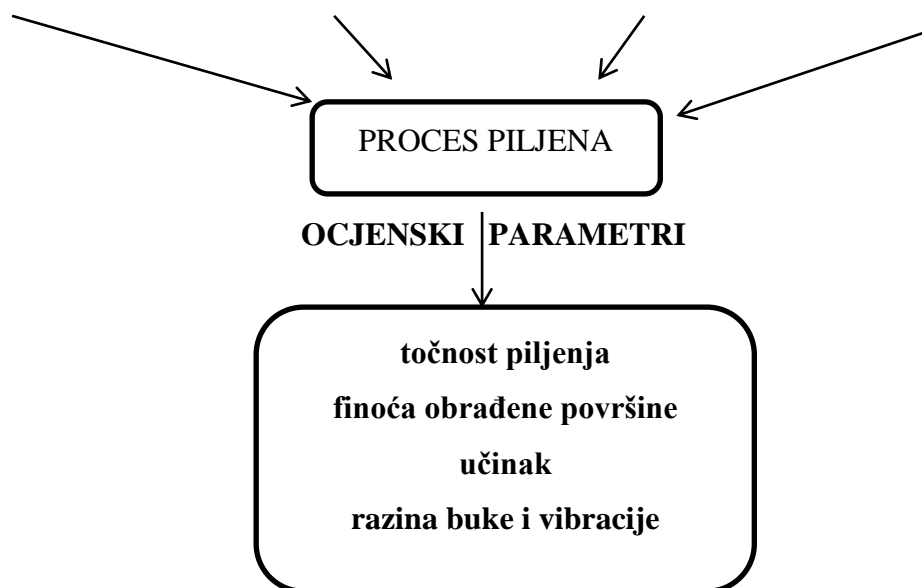
- smanjuje se debljina odvojene čestice pa se postiže bolja kvaliteta bočnih piljenih ploha;
- smanjuje se potrebna debljina lista i veličina razvrzake odnosno stlačenja;
- pile manjeg promjera imaju veću bočnu stabilnost;
- snižava se razina buke;
- listovi manjeg promjera imaju više vlastite frekvencije i kritični broj okretaja;
- troškovi održavanja su niži.

Beljo-Lučić (1997) navodi da rezultati brojnih istraživanja imaju sljedeće preporuke za učinkovitu uporabu kružnih pila:

- bolje je upotrebljavati pribornice većeg promjera, veće debljine i što ravnije;
- pribornice trebaju biti statički uravnotežene;
- list pile treba imati što manji promjer provrta u središtu za pričvršćenje na osovinu;
- list treba biti izrađen od dobrog materijala;
- nepohodna je velika brzina rezanja.

UTJECAJNI ČIMBENICI

STROJ	ALAT	RADNI UVJETI	OBRADAK
<ul style="list-style-type: none"> • čvrstoća • frekvencija vrtnje • snaga 	<ul style="list-style-type: none"> • geometrija • vlastita frekvencija • vibracije 	<ul style="list-style-type: none"> • brzina rezanja • posmična brzina • frekvencija ulaska zubi u zahvat 	<ul style="list-style-type: none"> • dimenzije • jedinični otpor



Slika 3.2. Utjecajni čimbenici procesa piljenja (Münz, 1985a)

Mote i Syzmani (1977) te Mote i dr. (1979) smatraju da je mehanizam nestabilnosti lista najvažnije pitanje u istraživanju vibracija kružne pile.

U zadnje vrijeme buka kružnih pila postaje sve aktualniji problem, te je sve češći predmet brojnih istraživanja. Ona je važna za zdravstvenu sigurnost radnika, ali i za učinkovitost procesa piljenja. Obodne brzine s kojima rade kružne pile za obradu drva najčešće su u rasponu od 50 do 85 m/s. Srazmjerno s porastom brzine vrtnje raste i razina buke. Kod gornjih graničnih brzina ona postaje vrlo neugodna i štetna za ljudsko zdravlje (Dugdale, 1977b). Buka ne uzrokuje samo oštećenje sluha već i fizička i psihička opterećenja radnika (Ingemansson i Elvhammar, 1995).

Oštećenje sluha je akumulativni problem, što znači da je ovisan prvenstveno o vremenu izlaganja, te o intenzitetu buke i osjetljivosti osobe koja je izložena buci.

Kružne pile najviše buke odašilju u prostor tijekom praznoga hoda, a nešto manje pri piljenju (Cho i Mote, 1977). Znanstvenici su podjeljeni kada je u pitanju razina buke i često se ne slažu. Njihova tumačenja uzorka rezonantnoga stanja pile se razlikuju, a suprotnosti u literaturi o dizajnu pila ponekad su izuzetno velike.

Mote i Szymani (1977) u svojim istraživanjima zaključuju da je smanjenje vibracija i njihova kontrola nepohodna za poboljšanje kakvoće obrade i točnosti piljenja, za smanjene gubitaka materijala uslijed velike širine propiljka, te produljenje postojanosti alata, ali i za smanjenje buke.

Mnogobrojni autori (Mote, 1979; Leu i Mote, 1979; Rhemrov i Cano, 1989; Cheng i dr. 1995; Miklaszewski i Grobelny, 1995) se slažu da je smanjenje vibracija najbolji način smanjenja razine buke koju kružne pile odašilju u okolicu obzirom da je buka kružnih pila velikim dijelom posljedica vibracija lista u lateralnom smjeru. Stoga se stabilnost lista kružne pile pri radu može prosuđivati, sistmatizirati i analizirati mjerenjem razine buke koju list kružne pile emitira u okolicu.

3.1. Nastanak buke kod kružnih pila

Buka koju proizvode kružne pile dijeli se na buku u praznome hodu i buku pri piljenju. Buka praznoga hoda posljedica je aerodinamičkog zvuka i zvuka nastalog zbog vibracija lista. Aerodinamički zvuk proizvodi nestalna struja zraka koja se stvara oko rotirajućeg lista odnosno u pazuhu zuba, a buka vibracija posljedica je bočnih oscilacija lista (Leu i Mote, 1979; Cheng i dr. 1995). Prema Beslinu (1996) uzrok buci u praznome hodu je aeroakustički zvuk, a buka emitirana prilikom piljenja posljedica vibracija lista.

Miklaszewski i Grobelny (1995) navode tri izvora buke:

1. Kontakt zuba s obratkom.
2. Vibracije tijela lista pile i vibracije obratka.
3. Aerodinamički fenomen povezan s velikom brzinom rezanja.

Huber (1985b) dijeli emisiju buke u dva dijela:

1. Dio koji dolazi neposredno od zuba (iz aerodinamičkih izvora tijekom praznoga hoda i od udaraca zubi u obradak tijekom piljenja).
2. Dio emitiran posredno zbog vibracija tijela pile.

Prema njemu obradak kao izvor buke nema praktičnu važnost.

Neki autori (Yanagimoto, K., Mote, C.D. Jr., Ichimiya, R., 1995) navode da nastanak aerodinamičkog zvuka u prostoru iza zuba uvelike ovisi o geometriji ozubljenja.

Plester (1985b) smatra da je buka pri piljenju kružnom pilom uglavnom posljedica periodičnoga udaranja zubi u obradak, čime se potiču vibracije lista koje se emitiraju u okolinu kao buka.

Mote (1979) govori da je vjerovatno isti uzrok buci vibracija lista pile i aerodinamičke buke proizvedene vrtložnim strujanjem zraka.

Dugdale (1977a, 1977b) provodi opsežna istraživanja i proučava vibracije lista pile koje su povezane s emisijom buke i pokušava pronaći mod titranja koji 'proizvodi buku'.

3.2. Rezonatna buka tijekom praznoga hoda pile

Pila koja tijekom praznoga hoda rotira rezonantnom brzinom vrtnje odašilje u okolinu prodornu buku intezivnih diskretnih tonova poznatu pod nazivom *vrišteća* ili *zvižduća buka*. Ova pojava potječe uglavnom od međudnosa lista pile i zračne struje oko njega te je prisutna uglavnom kod standardiziranih kružnih pila koje imaju mali faktor prigušenja (Leu i Mote, 1979).

Buka u praznome hodu u velikoj je mjeri uvjetova geometrijom ozubljenja, prigušnim svojstvima tijela lista pile i obodnom brzinom lista. Kad je list pile u rezonanciji, tijekom praznoga hoda emitira se razina buke koja je često puno viša od razine buke pri piljenju. *Zviždući zvuk* tijekom rezonancije može se eliminirati prigušenjem lista.

3.3. Utjecajni parametri na emisiju buke

Nastanak buke je u velikoj ovisnosti o geometriji ozubljenja. Dosta je proturiječnih mišljenja i tumačenja rezultata istraživanja u svezi s utjecajem pojedinih geometrijskih značajki lista na razinu emitirane buke. Vjerovatno je uzrok tome to što se pri proučavanju jednoga utjecajnog čimbenika nedovoljno izolira mogući utjecaj drugih čimbenika (Beljo-Lučić, 1997).

Huber (1985b) je istraživao utjecaj geometrije ozubljenja na emisiju buke pri praznome hodu i pri piljenju. Istraživani su sljedeći utjecajni parametri:

- visina zuba - s porastom visine zuba raste i razina emitirane buke;
- prednji (prsni) kut oštrice – pri praznome hodu pile povećanjem prsnoga kuta smanjuje se razina buke, dok se pri rezanju povećanjem prsnoga kuta povećava i razina buke;
- leđni kut oštrice – pri praznome hodu pile smanjenjem leđnoga kuta smanjuje se razina buke, dok se pri rezanju razina buke smanjuje s povećanjem leđnoga kuta;
- broj zubi – s porastom broja zubi raste i razina emitirane buke;
- visina alata iznad obratka – manja visina, manja buka;

- geometrija zuba – KV oblik zuba sa *slomljenim leđima* proizvodi manju buku od NV oblika zuba s *ravnim leđima*.

Cho i Mote (1977) tvrde da se razina zvučne snage povećava s povećanjem visine zuba, broj zubi i stražnjega kuta zuba.

Kada pila nije u rezonantnom stanju emisija buke je viša pri piljenju negoli pri praznome hodu. Tijekom piljenja postoji linearna veza između razine buke, brzine rezanja i posmične brzine (Syzmani i Mote, 1977a). Intezitet buke raste s porastom frekvencije vrtnje, promjera lista, debljine lista i broja zubi.

Huber (1985a) navodi da je emisija buka nenapetih listova pila puno veća nego kod napetih listova pila.

Pokazalo se da promjer prirubnice ima utjecaja na amplitudu vibracija nižih frekvencija ali vrlo malo utječe na vibracije viših frekvencija. Rezultati eksperimeta su pokazali (Leu i Mote, 1979) da uporaba prirubnica velikih promjera nije djelotvoran način otklanjanja prodornog zvuka u praznome hodu.

Goglia i Beljo (1996a, 1996b) istražuju utjecaj odnosa vlastite frekvencije i frekvencije pobude na buku kružnih pila. Pravi izbor radnih uvjeta i određene mjere u izradi lista pile smanjit će vibracije a time i emisiju buke.

3.4. Mjere smanjenja razine buke

Cheng i dr. (1995) govori da tanki listovi kružnih pila proizvode manje vibracije, a samim time i manju buku tijekom praznoga hoda.

Kako bi se omogućilo temperaturno rastrećenje i toplinska dilatacija izrađuju se utori i provrti. Radijalni utori po obodu lista te provrti raznih veličina po tijelu pile rezultiraju manjim bočnim vibracijama i bukom kružnih pila (Nishio i Marui, 1995).

Najčešće problem buke rješava se proizvodnjom pila s ugrađenom mogućnošću prigušenja energija vibracije. Na tržištu je prisutan velik broj ovakvih pila s različitim načinima prigušenja vibracija, a time i smanjenje razine emitirane buke (Beljo-Lučić, 1997).

S obzirom na izvore buke dva su osnovna načina smanjenja njene razine:

- I. Optimalna geometrija lista pile i ozubljenja;
- II. Poboljšanje prigušnih karakteristika lista pile.

3.4.1. Optimalna geometrija ozubljenja

Huber (1995) nakon istraživanja utjecaja geometrije ozubljenja na emisiju buke daje preporuke:

- broj zubi $n_z = 50$
- visina zuba $h_z \leq 9 \text{ mm}$
- predni kut oštrice $\gamma \approx 18^\circ$
- stražnji kut oštrice $\alpha \approx 26^\circ$
- što je moguća manja visina alata iznad obratka
- KV oblik zuba je poželjniji nego NV oblik.

Szymani i Mote (1977) navode da je promjenjivi korak zuba i skošenje s obje strane oštrice zuba (obostrani bočni kut) mjera snižavanja razine buke.

Kružna pila s tanjim rubnim dijelom, a debljim unutrašnjim dijelom lista (konusni list), ima manje vibracije i nižu buku tijekom praznoga hoda (Cheng i dr., 1995).

3.4.2. Poboljšanje prigušnih karakteristika lista pile

Prigušenjem vibracija lista pile smanjuje se razina buke. Dokazana je povezanost prigušenja vibracija i emitirane buke.

Salje i dr. (1979) u istraživanjima navodi da prigušene pile odašilju u okolni prostor za 10 dB manju razinu buke od neprigušenih listova.

Postoje razni broj vrsta listova pila s različitim načinom prigušenja:

- **Izrada utora i provrta** (izrezani ili izrađeni laserom) koji „kidaju“ rezonantne modove. Provrta se zapunjuju materijalima koji imaju bolja prigušuna svojstva od čelika te osim što lome rezonantne modove, prigušuju i energiju vibracija.
- **Viskoelastični materijal** na čeličnoj jezgri. Lijepljenem tankoga viskoelastičnoga prigušnoga materijala na jednu stranu pile, koja inače pri praznom hodu emitira prodorni zvuk, mogu potpuno eliminirati rezonantne vibracije a time i rezonantnu - *zviždeću buku*.
- **Slojeviti (lamelirani) listovi** s unutrašnjim prigušenjem pomoću slojeva posebnog materijala umetnutog između čeličnih ploča. Miklaszewski i Grobelny (1995) navode da primjena lameliranih listova pila s unutrašnjim slojem bakra smanjuju razinu zvučne snage za 0,5 do 19 dB u odnosu na obične pile ovisno o brzini vrtnje. Ovakve pile su se pokazale kao rješenje za *vrišteći zvuk* tijekom praznoga hoda.

Münz (1985b) zaključuje da se emisija buke može smanjiti prigušenjem vibracija, prednjapinjanjem lista i konstrukcijom lista s ugrađenim slojem dobrih prigušnih svojstava. Velike amplitude vibracija prigušuje i veća visina piljenja budući da propiljak djeluje kao vodilica lista (Hansen, 1985).

Hattori i dr. (1993) razvili su leguru (sastava 13Cr-3Al-2Ni-Fe) pod nazivom CSK, dovoljno dobrih mehaničkih svojstava i dobrih prigušna svojstva.

Beslin i Nicolas (1996) predlažu smanjenje razine buke blagim smanjenjem debljine lista kako bi se izbjegla emisija zvuka nižih frekvencija i prigušenjem zvuka viših frekvencija pomoću elastičnog sloja zalijepljenog za površinu lista.

Yanagimoto i dr. (1995) smanjuju razinu buke kružnih pila posebnim oblikovanjem zuba.

Ovakva vrsta istraživanja pokazuju da je pravilnim oblikovanjem i proizvodnjom listova kružnih pila, moguće smanjiti odašiljanje buke u okolicu i smanjenje buke u pogonu mehaničke obrade drva.

4. CILJEVI RADA

Poznato je da vrlo visoka razina buke u drvnim pogonima opterećuje radnu okolinu. Velik broj istraživanja usmjeren je tome da u konačnom cilju pronađe optimalni kompromis između proturiječnih parametara procesa piljenja: debljina lista, stabilnosti lista, iskorištenje sirovine, točnosti piljenja, emisije buke i dr.

Ne postoje transparentna i jasna tumačenja pojava koje uzrokuju emisiju visoke razine buke kako u praznome hodu tako i pri piljenu.

Prema postojećim državnim propisima (u Njemačkoj DIN norme, VDI preporuke; u nas još uvijek važeći *Pravilnik o općim mjerama i normativima zaštite na radu od buke u radnim prostorijama* – SL 29/71, te *Zakon o zaštiti na radu* – NN 19/83, 47/89, 46/92, 26/93) proizvođač mora deklarirati razinu buke koju emitira njegovo radno sredstvo. Srž svih propisa sadržana je u obvezi poslodavca da primjeni tehničke mjere za sniženje razine buke kako bi se smanjilo i ograničilo izlaganje buci u radnim prostorima.

Prema propisanoj maksimalnoj imisiji buke, ocjenska razina (energijska srednja vrijednost razine buke L_{eq} koja tijekom 8 sati djeluje na radnome mjestu) mora biti niža od 55; 70; 85; dB(A) ovisno o radnoj djelatnosti, no nikako ne smije prelaziti 85 dB(A).

Ingemansson i Elvhammar (1995) navode sljedeće razloge mjerenja buke:

- provjera ispunjenja graničnih uvjeta na pojedinom radnom mjestu;
- određivanje zvučne emisije strojeva i uređaja;
- kontrola graničnih uvjeta novoisporučenih strojeva i opreme;
- razrada mjera sprečavanja buke.

Kao cilj ovog rada postavlja se utvrđivanje utjecaja stroja na razinu emisije buke i frekvencijski spektar buke na različite izvedbe listova kružnih pila u praznome hodu. Rezultati istraživanja će doprinijeti poznavanju ovog problema te na taj način omogućiti da se razina emitirane buke smanji tehničkim mjerama, a ne isključivo zaštitnim sredstvima.

5. MATERIJAL I METODE

5.1. Opis ispitivanih strojeva i listova kružnih pila

Istraživanje se provelo na 2 različita stroja čija su tehnička obilježja navedena u tablici 5.1. i 5.2. koja kao alat koriste list kružne pile. Ispitano je sa 6 različitih uzoraka listova kružnih pila. Strojevi i uzorci su izabrani u skladu s trendom proizvođača da se raznim izvedbama prigušenja lista postigne veća stabilnost lista i smanjenja razina buke koju pile odašilju u radnu okolicu. Opis geometrijskih i ostalih značajki korištenih listova pila dan je u tablici 5.3., a slike listova kružnih pila nalaze se odmah ispod tablice.

Tablica 5.1. Tehnička obilježja prvog stroja na kojemu je obavljeno ispitivanje (*Stroj 1*)

Tehnička obilježja	Veličina
Proizvođač i godina proizvodnje	"Bratsvo", Tvornica stojeva Zagreb, 1994.
Tip stroja	SC-10
Veličina radnog stola	940 x 870 mm
Maksimalni promjer lista pile	300 mm
Promjer radnog vretena	30 mm
Maksimalna visina reza s pilom D = 300 mm (90°)	95 mm
Maksimalna visina reza s pilom D = 300 mm (45°)	68 mm
Maksimalna širina reza s vodilicom	1270 mm
Gabaritne dimenzije	1020 x 1970 x 850 mm
Težina stroja	320 kg
Glavni prigon - trofazni elektromotor	P = 3kW, n = 2870 min ⁻¹ , cosφ = 0,84



Slika 5.1. *Stroj 1* „Bratstvo SC-10“ koji kao alat koristi kružnu pilu

Tablica 5.2. Tehnička obilježja drugog stroja na kojemu je obavljeno ispitivanje (*Stroj 2*)

Tehnička obilježja	Veličina
Proizvođač	Sicar
Tip stroja	C 2400
Veličina radnog stola	400 x 2000 mm
Maksimalni promjer lista pile	300 mm
Promjer radnog vretena	30 mm
Gabaritne dimenzije	2220 x 1580 x 1020 mm
Težina stroja	1050 kg
Glavni prigon - trofazni elektromotor	$P = 3\text{kW}$, $n = 4500\text{ min}^{-1}$, $\cos\phi = 0,84$

Slika 5.2. Kombinirani *stroj 2* „Sicar C 2400“ koji kao alat koristi kružnu pilu

Tablica 5.3. Opis ispitivanih uzoraka listova kružnih pila

Značajka	1	2	3	4	5	6
Oznaka uzorka	Pila 1	Pila 2	Pila 3	Pila 4	Pila 5	Pila 6
Proizvođač	Kordun	Leitz	FLA1	Leitz	Leitz	Leitz bez ozubljenja
Broj zubi	56	60	24	96	60	
Tip zubi	NV	WZ	WZ	WZ	FZ/TR	
Korak zuba, mm	11,98	11,93- 19,47	39	9,82	15,81	
Visina zuba, mm	7	9	10	9	12	
Geometrija ozubljenja	$\alpha=18^\circ$	$\alpha=19^\circ$	$\alpha=18^\circ$	$\alpha=16^\circ$	$\alpha=21^\circ$	
	$\beta=60^\circ$	$\beta=58^\circ$	$\beta=62^\circ$	$\beta=66^\circ$	$\beta=54^\circ$	
	$\gamma=12^\circ$	$\gamma=13^\circ$	$\gamma=10^\circ$	$\gamma=8^\circ$	$\gamma=15^\circ$	
Promjer lista, mm	300	300	300	300	303	300
Promjer provrta, mm	30	30	30	30	30	30
Debljina lista, mm	2	3	2,2	2,2	2,5	2,2
Širina propiljka, mm	2,2	4,4	3,2	3,2	3,5	



Slika 5.3. Pila 1 proizvođača Kordun s 56 zubi KV oblika promjera 300mm



Slika 5.4. *Pila 2* proizvođača Leitz s 60 zubi WZ oblika i promjera 300mm



Slika 5.5. *Pila 3* proizvođača FLA1 s 24 zubi WZ oblika i promjera 300mm



Slika 5.6. **Pila 4** proizvođača Leitz s 96 zubi WZ oblika i promjera 300mm



Slika 5.7. **Pila 5** proizvođača Leitz s 60 zubi FZ/TR oblika i promjera 303mm



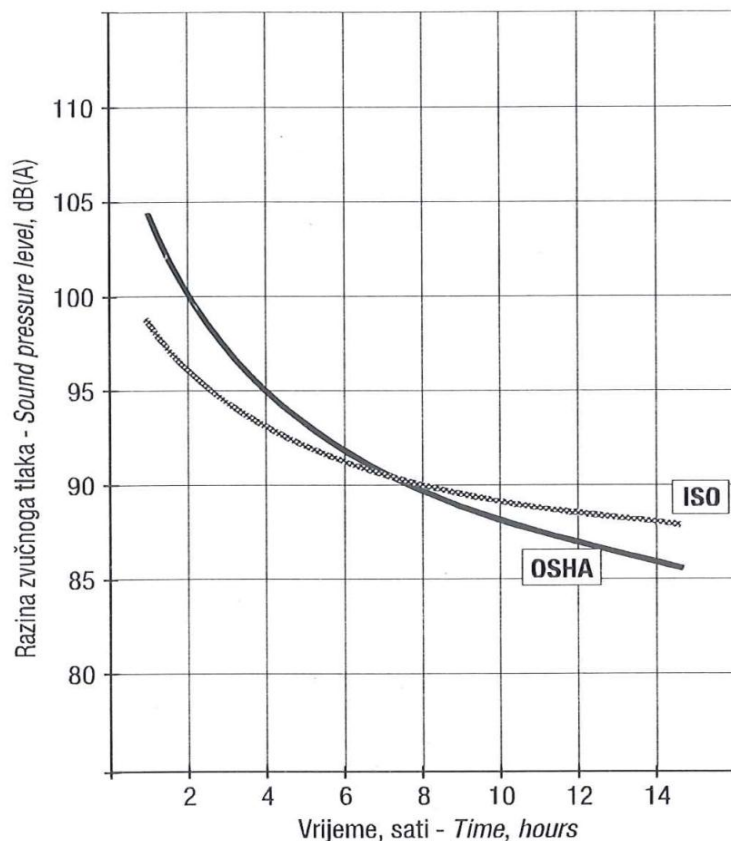
Slika 5.8. *Pila 6* proizvođača Leitz s 60 bez ozubljenja i promjera 300mm

5.2. Mjerne metode, pribor i postupak

Kod istraživanja razine buke koju kružne pile odašilju u okolinu većina autora koristi precizni zvukomjer s FFT analizatorom (Leu i Mote, 1979; Rhemrev i Cano, 1989; Huber, 1985; Hattori i dr., 1993; Cheng i dr. 1995; Miklaszewski i Grobelny, 1995). Provedena se istraživanja, uz mjerne uzorke, razlikuju po mjestu postavljanja mikrofona i prostora u kojemu su provedena pa mjerni rezultati nisu međusobno usporedivi. Leu i Mote (1979) mjere u prostoriji s površinama obrađenim tako da apsorbiraju zvuk, a mikrofoni postavljaju na udaljenosti 184 mm od lista pile. Huber (1985) postavlja mikrofoni na udaljenosti od 1 m od lista na zamišljenoj osi koja prolazi kroz radno vratilo i na visini 1,5 m od poda, Hattori i dr. (1995) mjeri također s mikrofonom 1 m udaljenim od lista i 0,75 m od poda, a Cheng i dr. (1995) postavljaju mikrofoni 210 mm od pile. Miklaszewski i Grobelny (1995) rabe mjernu metodu opisanu u ISO 9614. Stroj je okružen mjernom površinom podijeljenom u 105 jednakih elemenata. Mjereno je u središtu svakog elementa i izračunata je aritmetička sredina.

Prilikom mjerenja buke treba razlikovati područja emisije i imisije buke. *Emisija buke* označava zvučnu emisiju jednog određenog stroja. Uzima se samo buka jednog stroja, a pogon je određen normama. *Imisija buke* predstavlja utjecaj zvuka na određeno radno mjesto, odnosnu osobu i uzima u obzir ukupnu buku i realne pogonske uvjete. Uzima se srednja vrijednost tijekom 8 sati.

Osim razine buke i njenoga frekventnog spektra, velik utjecaj na sluh ima i vrijeme izlaganja buci. Slika 5.9. prikazuje dopuštenu razinu zvučnoga tlaka ovisno o vremenu izlaganja kako je propisuje *International Standard Organization (ISO)* 1999 i *Occupational Safety and Health Administration (OSHA)* u SAD-u. Zajednički im je kriterij, kako se vidi iz slike, da je za izlaganje buci tijekom jedne smjene (8 sati) dopuštena razina zvučnoga tlaka 90 dB(A). Norma ISO 1999 je stroža i za povećanje razine za 3 dB(A) smanjuje vrijeme izlaganja na pola dok norma OSHA to čini pri povećanju razine za 5 dB(A).



Slika 5.9. Dopuštena razina buke ovisno o vremenu izlaganja

Mjerenje razine zvučnoga tlaka obavljena su mikrofonom proizvođača BSWA TECH tip MPA215, serijski broj 450082, osjetljivosti 37,6 mV/Pa. Mikrofon udovoljava zahtjevima iz IEC publikacije 651 i IEC publikacije 12 za instrumente tipa 2. Udaljenost mikrofona u odnosu na list pile kod prvog i drugog stroja je 1 m. Na taj se način osigurava usporedivost mjernih rezultata.



Slika 5.10. Položaj mikrofona u odnosu na list kružne pile

Korišten je sustav za predobradu signala s AD konverterom proizvođača National Instruments tip NI USB 9233. Softver koji se koristio je National Instruments LabVIEW i Sound8k Vibration Toolkit. Razina zvučnoga tlaka mjerena je ne vrednovano linearno i vrednovano preko „A“ filtra (najbliža načinu reagiranja ljudskog uha). Konstanta usrednjavanja koja je korištena je „S“ (*slow – sporo*) vrijednosti 1 sekunde. Podaci su rezultati frekvencijskog uzorkovanja od 50 000 uzoraka u sekundi. Za svaku pilu obavljena su tri mjerenja, tako da se može odrediti srednja vrijednost po tercama. Mjerenja su obavljena mjernim lancem prikazanim na slici 5.11.



Slika 5.11. Mjerni lanac za mjerenje razine buke

Prije mjerenja mjerni lanac je iskalibriran pomoću prenosivog akustičnog kalibratora kako bi se dobio precizan i točan rezultat. Kalibrator je proizvođača Brüel & Kjaer, tip 4220, serijskog broja 578049. Kalibracijski sinusni signal je razine 124 dB. Postupak kalibracije je prikazan na slici 5.12.



Slika 5.12. Postupak kalibracije mjernog lanca pomoću kalibratora

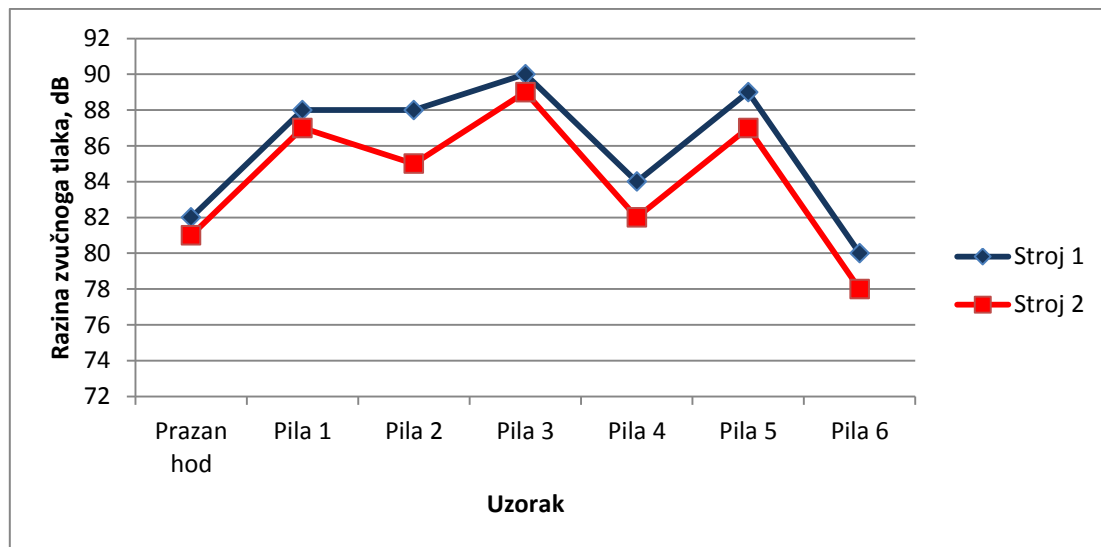
Za svaku pilu je izračunata vrijednost frekvencije prolaska zubi kroz zrak, prema jednadžbi:

$$Z_s = n_v \cdot n_z, \quad \text{min}^{-1}$$

gdje je: Z_s – frekvencija prolaska zubi kroz zrak, n_v – broj okretaja kružne pile, tj. radnog vratila, n_z – broj zubi kružne pile

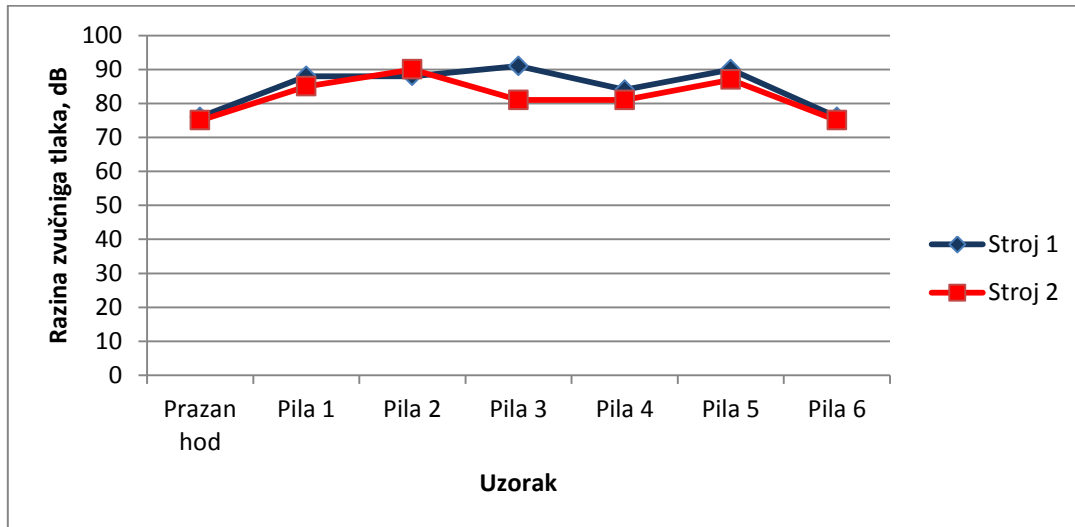
6. REZULTATI S RASPRAVOM

Poželjno je da list kružne pile ima što širi spektar bez istaknutih vrhova (budući je šum manje štetan od čistih tonova) te s prigušenim amplitudama za raspon frekvencija od 1000 Hz do 5000 Hz jer najviše štete ljudskom uhu. Mjerni su rezultati frekventne analize buke koju emitiraju ispitivani listovi kružnih pila u ovisnosti o vrsti stroja dani grafičkim prikazima te su prikazani sukladno redosljedu i planu istraživanja.



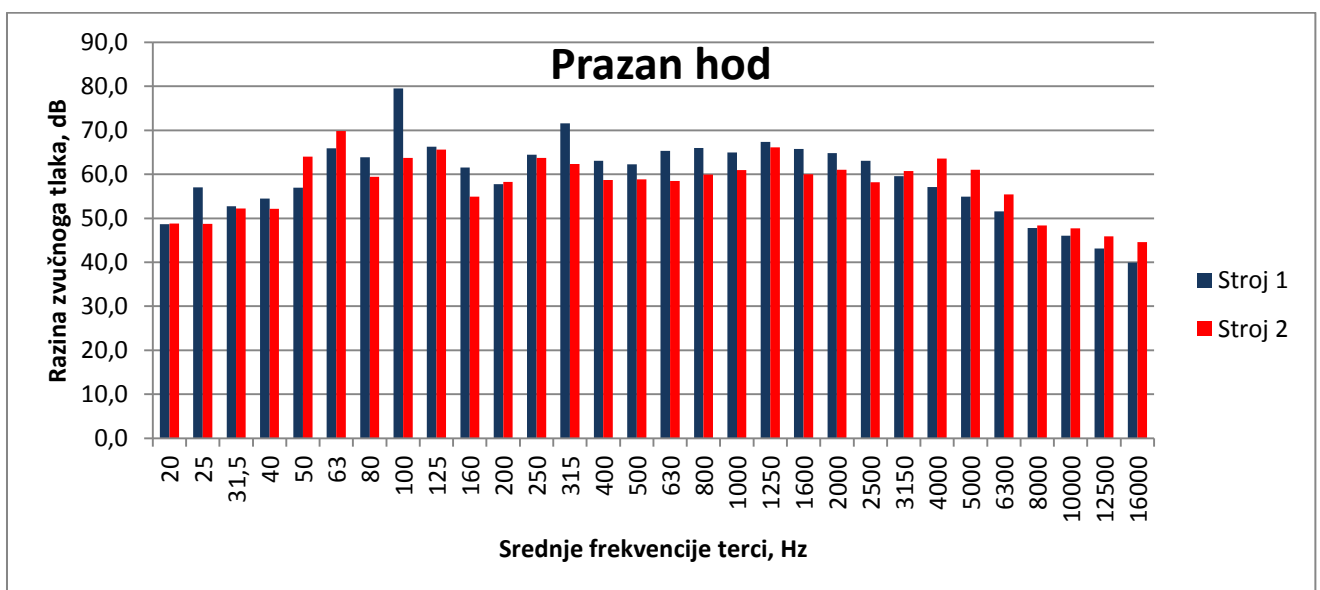
Slika 6.1. Linearne vrijednosti razine zvučnoga tlaka kod praznog hoda i svih šest pila kod oba stroja

Grafički prikaz izrađen je na temelju srednjih dobivenih linearnih vrijednosti za razinu emisije buke za sve mjerne slučajeve. Kao što se iz slike vidi različite vrste listova pila imaju različitu emisiju buke. Najveću razinu buke ima *pila 3*. Na slici se vidi da postoji razlika u razini emisije buke kod strojeva. *Stroj 1* ima nešto veću razinu buke u odnosu na *stroj 2*, u prosjeku 1,7 dB, maksimalna razlika je kod *pila 2* i iznosi 3 dB, dok je minimalna razlika kod *praznog hoda*, *pila 1* i *pila 3* i iznosi 1dB. Razlika je očito u nižim frekvencijama jer u vrednovanju buke po „A“ skali nema tolike razlike.



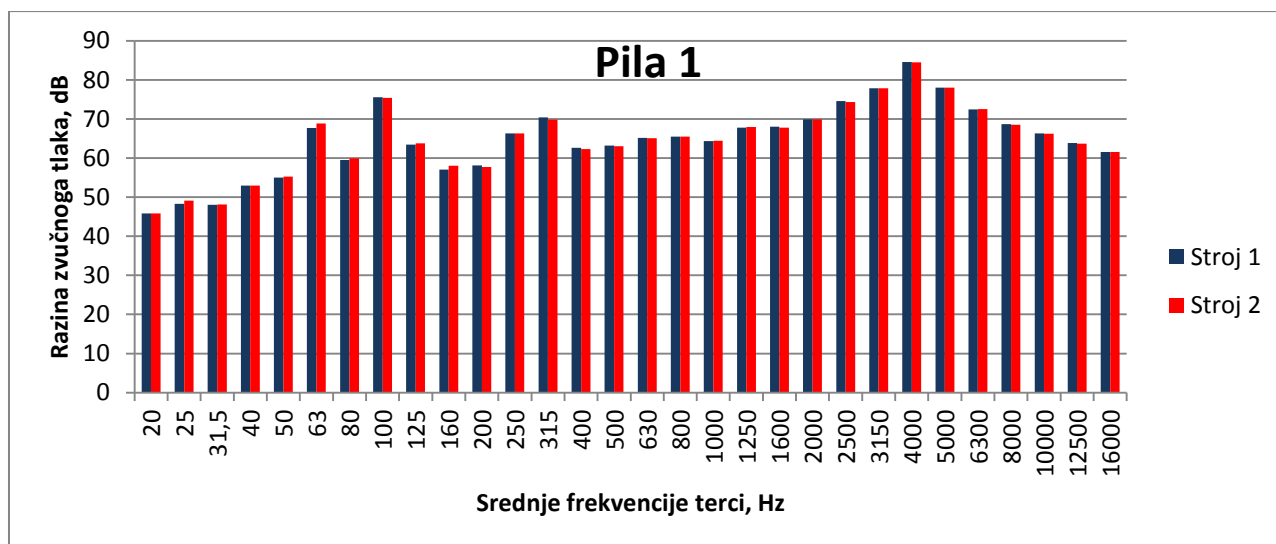
Slika 6.2. Vrijednosti razine zvučnoga tlaka kod praznog hoda i svih šest uzoraka na oba stroja preko „A“ filtra

Razina emisije buke mjerena preko „A“ filtra za sve uzorke na oba stroja je nešto veća u odnosu na linearno mjerenje. Prema slici i na ovaj način mjerenja *stroj 2* pokazuje nešto manju razinu buke u odnosu na *stroj 1*. Iako je prosječna razlika između strojeva u razini buke 2 dB(A), minimalna razlika je 1 dB(A) kod *praznog hoda*, *pile 2* i *pile 6*, a maksimalna razlika je 3 dB(A) kod *pile 1* i *pile 3*.



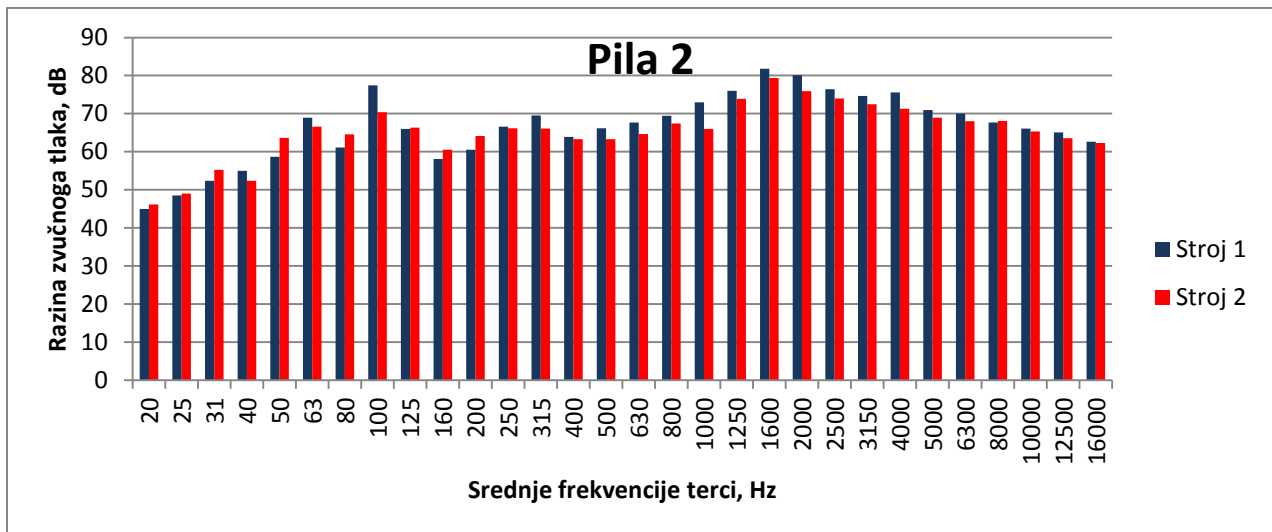
Slika 6.3. Frekventni spektar razine zvučnoga tlaka prilikom praznoga hoda stroja

Na slici 6.3. prikazana je razina zvučnoga tlaka po srednjim frekvencijama terci prilikom praznoga hoda. Iz slike se da očitati da u nižim (25 – 1000 Hz) i srednjim (1000 – 5000 Hz) frekvencijama *stroj 1* emitira višu razinu zvučnoga tlaka od *stroja 2*, dok u višim (5000 – 16 000 Hz) frekvencijama *stroj 2* ima veću razinu zvučnog tlaka. Najveća zabilježena razina je na frekvenciji od 100 Hz kod *stroja 1* i iznosi 79,5 dB, a najniža razina je na frekvenciji od 16 000 Hz kod *stroja 1* i iznosi 40 dB. Prosječna razina buke svih frekvencija na *stroju 1* iznosi 59,4 dB, a kod *stroja 2* 57,8 dB. Potrebno je napomenuti da postoji pik na frekvenciji od 100 Hz kod *stroja 1*.

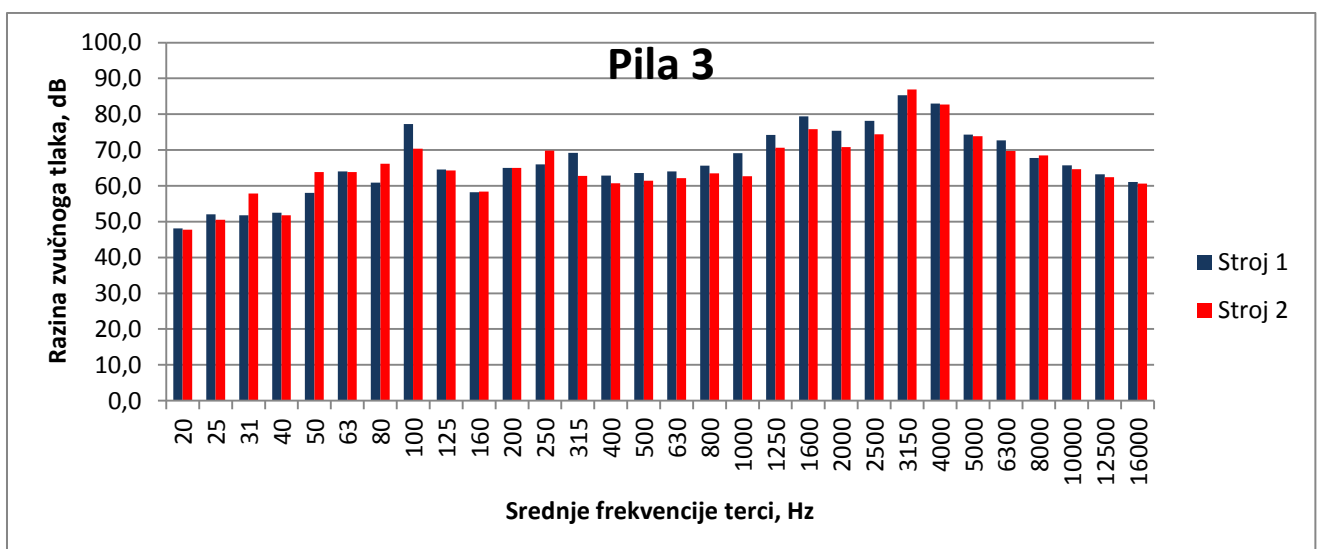


Slika 6.4. Frekventni spektar razine zvučnoga tlaka *pila 1*

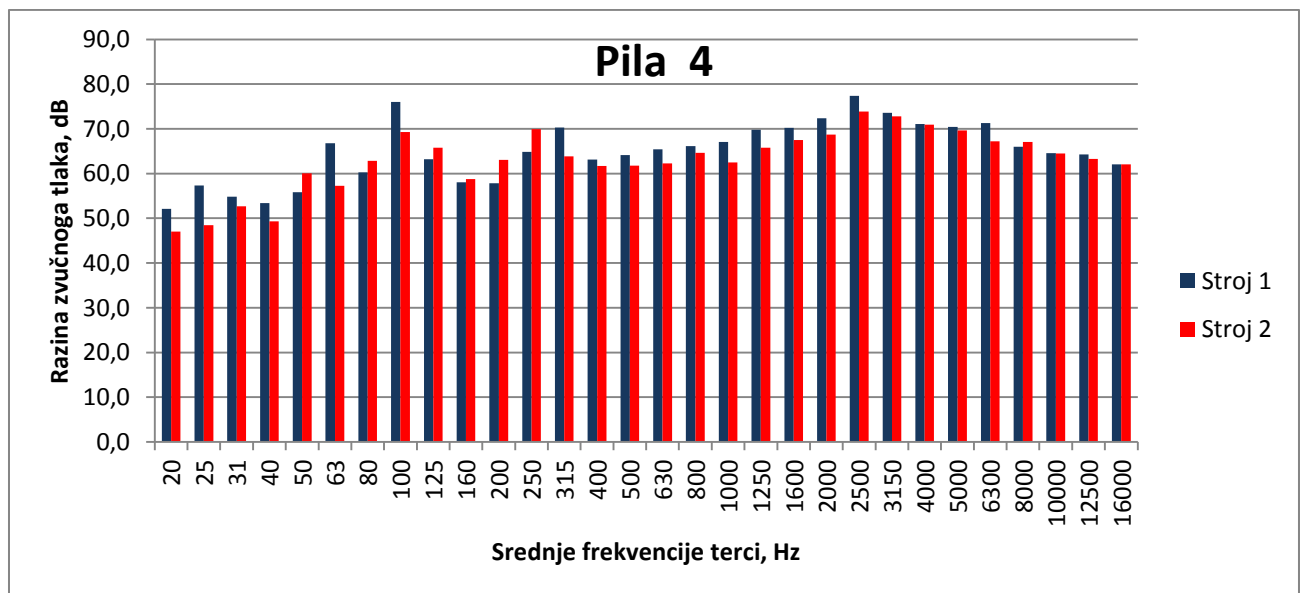
Na slici 6.4. prikazana je razina zvučnoga tlaka po srednjim frekvencijama terci kod *pila 1*. Iz slike je vidljivo da razina zvučnoga tlaka je skoro pa identična na oba stroja u svim frekvencijama. Najveća zabilježena razina je na frekvenciji od 4000 Hz i to kod oba stroja, a iznosi 84,5 dB. Upravo buka na ovoj frekvenciji je najneugodnija za ljudsko uho. Najniža razina zvučnoga tlaka ustanovljena je pri srednjoj frekvenciji od 20 Hz kod oba stroja i iznosi 45,8 dB. Prosječna razina buke svih frekvencija na oba stroja je ista i iznosi 64,7 dB. Kao i u praznome hodu, na frekvenciji od 100 Hz postoji pik na oba stroja. Frekvencija prolaska zubi kroz zrak kod *stroja 1* iznosi 2679 Hz, a kod *stroja 2* 4200 Hz i poklapa se s frekvencijom najveće razine buke.

Slika 6.5. Frekventni spektar razine zvučnoga tlaka *pila 2*

Na slici 6.5. prikazana je razina zvučnoga tlaka po srednjim frekvencijama terci kod *pila 2*. Iz slike se da očitati da skoro u svim frekvencijama, a pogotovo na nižim i srednjim *stroj 1* proizvodi veću razinu zvučnoga tlaka. Najveća zabilježena razina je na frekvenciji od 1600 Hz kod oba stroja. Kod *stroja 1* ona iznosi 81,8 dB. Najniža razina buke je na frekvenciji od 20 Hz kod oba stroja, a kod *stroja 1* i iznosi 45 dB. Prosječna razina buke svih frekvencija na *stroju 1* iznosi 65,5 dB, a kod *stroja 2* 65,3 dB. Kao i u prethodnim slučajevima na frekvenciji od 100 Hz kod oba stroja se javlja pik. Frekvencija prolaska zubi kroz zrak kod *stroja 1* iznosi 2870 Hz, a kod *stroja 2* 4500 Hz.

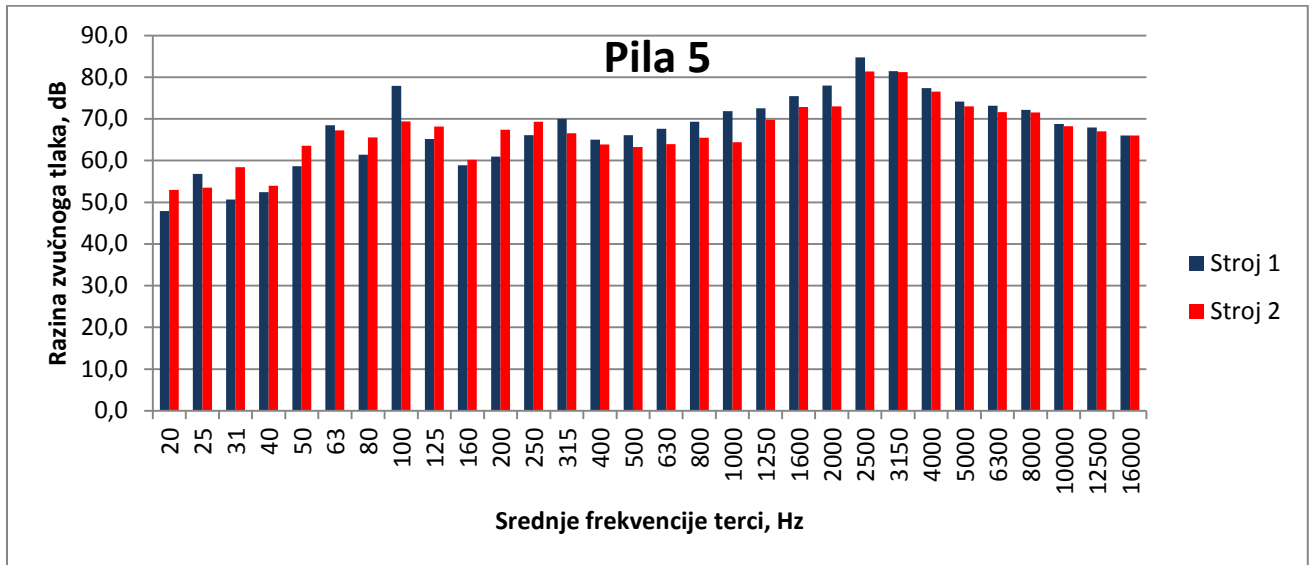
Slika 6.6. Frekventni spektar razine zvučnoga tlaka *pila 3*

Na slici 6.6. prikazana je razina zvučnoga tlaka po srednjim frekvencijama terci kod *pila 3*. Iz slike je vidljivo da nema pravila kod povećane razine zvučnoga tlaka između oba stroja. Najveća zabilježena razina je na frekvenciji od 3150 Hz kod oba stroja, a kod *stroja 2* iznosi 86,9 dB. Najniža razina buke je na frekvenciji od 20 Hz kod oba stroja, a kod *stroja 2* iznosi 47,8 dB. Prosječna razina buke svih frekvencija na *stroju 1* iznosi 66,4 dB, a kod *stroja 2* 65,5 dB. Kao i u prethodnim slučajevima na frekvenciji od 100 Hz kod oba stroja se javlja pik, a posebice kod *stroja 1*. Frekvencija prolaska zubi kroz zrak kod *stroja 1* iznosi 1148 Hz, a kod *stroja 2* 1800 Hz.

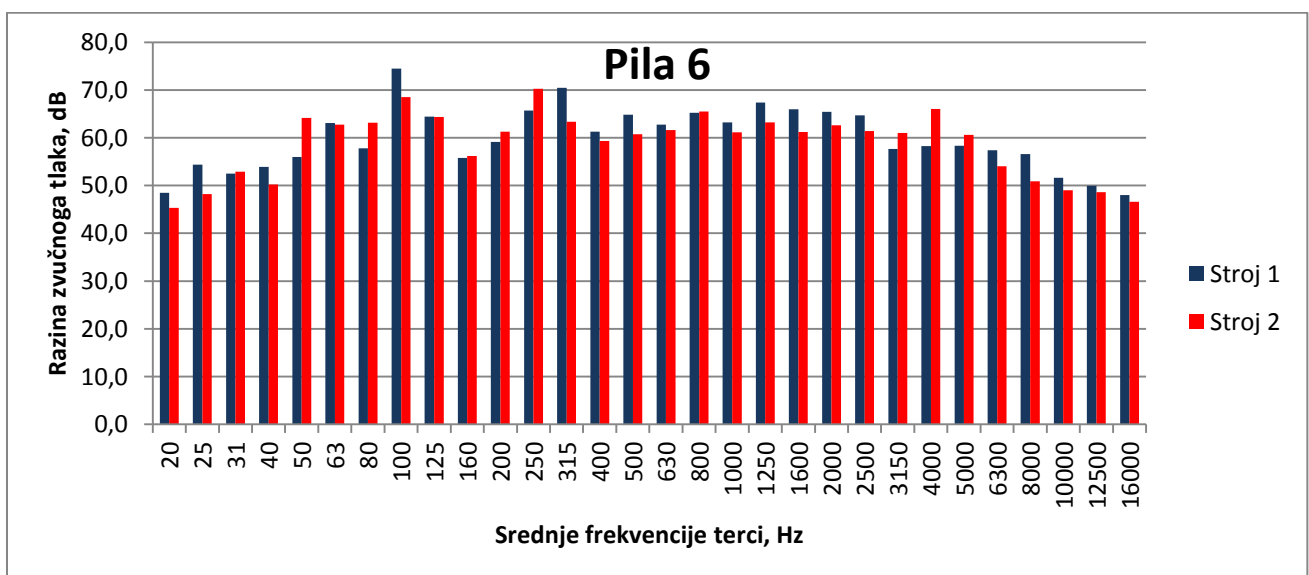


Slika 6.7. Frekventni spektar razine zvučnoga tlaka *pila 4*

Na slici 6.7. prikazana je razina zvučnoga tlaka po srednjim frekvencijama terci kod *pila 4*. Iz slike je vidljivo da se javlja povećana veća razina zvučnoga tlaka kod *stroja 1*, posebice u nižim frekvencijama. Najveća zabilježena razina je na frekvenciji od 2500 Hz kod oba stroja, a kod *stroja 1* iznosi 77,4 dB. Najniža razina buke je na frekvenciji od 20 Hz kod oba stroja, a kod *stroja 2* iznosi 47,0 dB. Prosječna razina buke svih frekvencija na *stroju 1* iznosi 65,0 dB, a kod *stroja 2* 63,1 dB. Kao i u prethodnim slučajevima na frekvenciji od 100 Hz kod oba stroja se javlja pik, a posebice kod *stroja 1*. Frekvencija prolaska zubi kroz zrak kod *stroja 1* iznosi 4592 Hz, a kod *stroja 2* 7200 Hz.

Slika 6.8. Frekventni spektar razine zvučnoga tlaka *pila 5*

Na slici 6.8. prikazana je razina zvučnoga tlaka po srednjim frekvencijama terci kod *pila 5*. Iz slike je vidljivo da se javlja povećana razina zvučnoga tlaka kod *stroja 1* u nižim i srednjim frekvencijama. Najveća zabilježena razina je na frekvenciji od 2500 Hz kod oba stroja, a kod *stroja 1* iznosi 84,7 dB. Najniža razina buke je na frekvenciji od 20 Hz kod *stroja 1* i iznosi 47,9 dB. Prosječna razina buke svih frekvencija na *stroju 1* iznosi 67,6 dB, a kod *stroja 2* 67,0 dB. Kao i u prethodnim slučajevima na frekvenciji od 100 Hz kod *stroja 1* se javlja pik. Frekvencija prolaska zubi kroz zrak kod *stroja 1* iznosi 2870 Hz, a kod *stroja 2* 4500 Hz.

Slika 6.9. Frekventni spektar razine zvučnoga tlaka *pila 6*

Na slici 6.9. prikazana je razina zvučnoga tlaka po srednjim frekvencijama terci kod *pile 6*. Iz slike je vidljivo da se javlja veća razina zvučnoga tlaka kod *stroja 1* u skoro svim frekvencijama. Najveća zabilježena razina je na frekvenciji od 100 Hz kod *stroja 1* i iznosi 74,4 dB, a najniža razina je na frekvenciji od 20 Hz kod *stroja 2* i iznosi 45,3 dB. Prosječna razina buke svih frekvencija na *stroju 1* iznosi 59,8 dB, a kod *stroja 2* 58,8 dB. Kao i u prethodnim slučajevima na frekvenciji od 100 Hz kod oba stroja se javlja pik.

7. ZAKLJUČCI

Sukladno postavljenim ciljevima, planu istraživanja i rezultatima dobivenima istraživanjem iznose se sljedeća zaključna razmišljanja.

- Na svim grafičkim prikazima vidljivo je da na frekvenciji od 100 Hz postoje *pikovi*, tj. istaknuti vrhovi. To se može se objasniti time da je upravo ta razina frekvencije prvi višekratnik frekvencije el. struje koja je tijekom ispitivanja iznosila 50 Hz. Povećanu razinu zvučnoga tlaka na ovoj frekvenciji uzrokuje elektromotor. Problem je moguće relativno jednostavno riješiti zvučnom izolacijom elektromotora. Pri tom valja voditi računa da se ne poremeti sustav hlađenja motora.
- Cjeloukupno gledajući *stroj 1* emitira veću razinu buke u odnosu na *stroj 2*. Prosječna je razlika razine emitirane buke iznosila 1,7 dB odnosno 2 dB(A). Frekvencijska analiza odašiljane buke je pokazala da su te razlike izrazitije u području nižih frekvencija.
- Razina zvučnoga tlaka kod *pile 3* je prelazila dopuštenu razinu od 85 dB(A) i iznosila je 86,9 dB(A) što upućuje na obaveznu uporabu osobnih zaštitnih sredstava u takvim uvjetima. Kod *pile 1* [84,5 dB(A)] i *pile 2* [81,8 dB(A)] izmjerene su razine buke na samoj granici dopuštenog izlaganja. Frekvencijska je analiza pokazala da se izrazitije razine zvučnoga tlaka kod ovih tipova pila nalaze u području srednjih frekvencija koje su ujedno i najneugodnije ljudskome uhu.
- Nadalje, može se konstatirati da su glavni uzrok ustanovljenoj razini buke same kružne pile. No, rezultati mjerenja su jasno pokazali i određeni utjecaj samoga stroja. To je jasno pokazano linearnim iskazivanjem vrijednosti zvučnoga tlaka kako je to prikazano na slici 6.1. Uzimajući u obzir ergnomska stajališta, tj. gledajući utjecaj stroja na emisiju buke vrednovanu preko „A“ krivulje (najbliža načinu reagiranja ljudskog uha na zvuk), može se zaključiti da ljudsko uho nije u stanju primijetiti razliku razina odašiljane buke.

Buka osim što oštećuje osjetilo sluha može biti uzrokom i drugih problema. Manjak koncentracije, kao posljedica dugotrajne intenzivne buke, ponekad biva uzrokom teških fizičkih ozljede tokom rada. Buka isto tako onemogućuje normalno komuniciranje u proizvodnom procesu što isto tako može polučiti niz negativnih posljedica.

Rezultati ovog istraživanja mogu poslužiti kao podloga za primjenu još jednog kriterija pri donošenju cjelovite ocjene pri izboru strojeva. Nadalje, provedeno istraživanje može potaknuti stručnjake drvnoindustrijske struke da problemu buke u pogonima mehaničke obrade drva posvete nužnu, a pozitivnim zakonskim propisima i obvezujuću pažnju. Nažalost, tom se problemu trenutno ne pridaje dovoljna pažnja. Samim saznanjem do kojeg smo istraživanjem došli da se kod korištenja nekih od ispitivanih alata obavezno moraju koristiti zaštitna sredstva već je dovoljno upozorenje.

8. ZAHVALE

Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr. sc. dr. h. c. Vladi Goglii na pruženoj prilici za suradnju i neizmjerne potpori mom stručnom i znanstvenom usavršavanju. Nadalje, zahvaljujem se doc. dr. sc. Igoru Đukiću na velikoj pomoći, na svim dragocjenim i konstruktivnim sugestijama kako tijekom mjerenja tako i pri pisanju ovog rada. Zahvaljujem se i cijelom Zavodu za procesne tehnike Šumarskog fakulteta u Zagrebu koji mi je omogućio provedbu ovih istraživanja.

Ovaj rad posvećujem svojoj obitelji, a posebno svom starijem bratu Anti Dubravcu koji uvelike podupire moje studiranje na razne načine.

Napomena:

Sažeti prikaz ovoga rada dat će se na međunarodnoj smotri studentskih radova na Tehničkom univerzitetu u Zvolenu, Republika Slovačka.

9. POPIS LITERATURE

- Beljo-Lučić, R. 1997: Prilog istraživanju utjecajnih parametara na bočnu stabilnost kružne pile.
- Beslin, O., Nicholas, J. 1996: Modal radiation from an un baffled rotating disk. J. Acoust. Soc. Am., 100(5):3192-3202.
- Birkeland, R. 1985: Thoughts on the merit and technology of the circular saw. Proceedings Circular Sawblade Tehnology, June 17-18, Oslo, 1-4.
- Cheng, W., Yokochi, H., Kimura, S. 1995: Vibration characteristics of circular sawblade with step thickness. The 12th International Wood Maching Seminar, Kyoto, Japan, October 2-4, 179-188.
- Cho, H.S., Mote, C.D., Jr. 1977: Aerodynamically induced vibration and noise in circular saws. Fifth Wood Machining Seminar, University of California, Forest Product Laboratory, Richmond, Marc 29-30, 207-245.
- Dugdale, D.S. 1977a: Practical analysis of saw noise. Proceedings of a conference held at the University of California, Forest Product Laboratory, Richmond, March 28-30, 198-206.
- Dugdale, D.S. 1977b: Circular saw noise related to vibration nodel patterns. Proceedings of a conference held at the University of California, Forest Product Laboratory, Richmond, March 28-30, 246-254.
- Goglia, V. 1994: Strojevi i alati za obradu drva, I dio, Šumarski fakultet Zagreb.
- Goglia, V., Beljo-Lučić, R., 1996a: Utjecaj odnosa vlastite frekvencije i frekvencije pobude na buku kružnih pila, Međunarodno savjetovanje povodom 150. Godišnjice HŠD „Uporaba drva“, str. 51-63, Zagreb.
- Goglia, V., Beljo-Lučić, R., 1996b: Utjecaj odnosa vlastite frekvencije i frekvencije pobude na buku kružnih pila, Drvna industrija 47, (1): 11-17.
- Hansen, J.M. 1985: Active magnetic/pneumtaic sawblade guides. Development – Testing – Prospects. Proceedings Circular Sawblade Technology, June 17-18, Oslo 87-95.
- Hattori, N., Ando, K., Kitayama, S., Nakashima, K. 1993: Suppression of the whistling noise in circular saws using a newly-developed high-damping alloy. Mokuzai Gakkaishi 39(8): 891-896.
- Huber, H. 1985a: Some methodes to measure tensions in circular saws. Proceedings Circular Sawblade Technology, June 17-18, Oslo, 22-37.

- Huber, H. 1985b: Noise emission o circular sawblades: Influenced by tooth shape. Proceedings Circular Sawblade Tehnology, June 17-18, Oslo, 166-177.
- Ingemansson, S., Elvhammar, H., 1995: Zaštita od buke – načela i primjena. ZIRS, Zagreb.
- Leu, M.C., Mote, C.D., Jr. 1979: Noise generation by circular saws. Wood machining seminar, University of California, Forest Product Labaratory, Richmond, October 15-17, 169-188.
- Milaszewski, S., Grobelny, T. 1995: Sounds power determination od two circular saws with different construction od blades. I. Međunarodna konferencija „Stroj-nastroj-obrobok“, 4-6. Oktober 1995, Nitra, Slovensko.
- Mikolašik, L.; 1981: Drevarske stroje a zoriodenia, 1. Zvozak, SNTL – Statni nakladatelstni tehnicke literatury, Praha, P 38.
- Mote, C.D., Jr. 1979: Overview of saw design and operations research: results and priorites. Sixth Wood Machining Seminar, University of California, Forest Product Labaratory, Richmond, October 15-17, 11-25.
- Mote, C.D., Jr., Schajer, G.S., Holoyen, S. 1979: Saw stability control by termal tensioning. Wood machining seminar, Proceedings of a conference held at the University of California, Forest Product Labaratory, Richmond, October 15-17, 239-256.
- Mote, C.D., Jr., Szymani, R. 1977: Principal developments in thin circular saw vibration and control research. Part 1: Vibration od Circular Saws. Holz als Roh – und Werkstoff 35:189-196.
- Münz, U.V. 1985a: Tensions and vibrations of circular saws with different constructed blades. Proceedings Circular Sawblade Tehnology, June 17-18, Oslo, 35-58.
- Münz, U.V. 1985b: Dampening of circular saws with different constructed blades. Proceedings Circular Sawblade Tehnology, June 17-18, Oslo, 109-129.
- Nishio, S., Marui E. 1995a: Effects of slots on the lateral vibration of a circular saw blade. The 12th International Wood Machining Seminar, Kyoto, Japan, October 2-4, 159-168.
- Nishio, S., Marui E. 1995b: Effects of slots on the lateral vibration of a circular saw blade during sawing, Mokuzai Gakkaishi, 41(8): 722-730.
- Plester, J. 1985b: Origin of noise reduction at circulae sawing. Proceedings Circular Sawblade Tehnology, June 17-18, Oslo, 178-188.
- Rhemrev, J., Cano, T. 1989: Noise studies of various damped circular crosscut saws. Forest Product Journal 39 (11/12): 69-69.

Salje , E., Bartsch, U. Polster, J. 1979: Noise reduction with compoud circular saws. Wood machinig seminar, University of California, Forest Product Labaratory, Richmond, October 15-17, 189-193.

Syzmanni, R., Mote, C.D., Jr. 1997a: Principal developments in thin circular saw vibration and control research. Part 2: Reduction and control of saw vibration. Holz als Roh – und Werkstoff 35:219-225.

Yanagimoto, K., Mote, C.D. Jr., Ichimiya, R. 1995: Reduction of vortex shedding noise in idiling circular saws using self-jets of air through saw teeth. Journal of Sound and Vibration, 188(5):745-752.

***** IEC Publication 651 – Sound level meters.

***** IEC Publication 12 – Recommendations for sound level meters.

10. SAŽETAK

Stipo Dubravac

UTJECAJ STROJA NA EMISIJU BUKE KOD RADA KRUŽNIH PILA PRI PRAZNOME HODU

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi postoji li utjecaj stroja na razinu emisije buke kod kružnih pila u praznome hodu. U svrhu toga, ispitivano je 6 različitih vrsta listova kružnih pila na 2 različita stroja. Za svaku pilu izvedena su 3 mjerenja kako bi se mogla odrediti razina zvučnoga tlaka ovisna o frekvencijskom spektru po tercama.

Pri istraživanju korištena je mjerna oprema koja je propisana normama.

Rezultati istraživanja pokazuju da na određenim frekvencijama postoje istaknuti vrhovi, a na srednjim frekvencijama, koje najviše štete ljudskome uhu, javljaju se najviše razine buke. Negdje one prelaze dopuštenu granicu. Cjelokupno gledajući, *stroj 1* je emitirao višu razinu buke u odnosu na *stroj 2*. Iz rezultata linearno dobivenih vrijednosti može se zaključiti da stroj ima određeni utjecaj na emisiju razine buke. No, gledajući s ergonomske strane, tj. gledajući utjecaj stroja na emisiju buke vrednovanu preko „A“ krivulje (najbliža načinu reagiranja ljudskog uha na zvuk) ljudsko uho nije u stanju primijetiti razliku emitiranih razina buke. Radi se o niskim frekvencijama koje ljudsko uho teško percipira.

Ključne riječi: kružna pila, stroj, emisija buke, frekventni spektar

11. SUMMARY

Stipo Dubravac

MACHINE INFLUENCE ON THE NOISE OF CIRCULAR SAW DURING IDLING

The aim of this study was to determine whether the influence of the machine on emission levels at the circular saw during idling. To that end, it is investigated 6 different types of circular saw blades on 2 different machines. For each saw 3 measurements were performed in order to determine the sound pressure level is dependent on the frequency spectrum by thirds. When researching used measuring equipment prescribed norms.

The research results show that on certain frequencies are prominent peaks, at mediums frequencies (the most damage to human ear) is the highest level of noise until sometime even exceeding the limit. Total speaking *machine 1* aired higher noise levels compared to the *machine 2*. From the results of the linear values obtained it can be concluded that the machine has a certain influence on the emission levels of noise. However, when looking from the ergonomic side, i.e. looking at the influence of machine noise emission validated through the "A" curve (closest to the way the human ear response to sound), the human ear is not able to notice the difference in the emission of noise because of the low frequencies that human ear hard to perceive.

Key words: saw blade, machine, emission of noise, frequency spectrum

12. ŽIVOTOPIS

Stipo Dubravac je rođen 26. prosinca 1991. godine u Brčkom (BiH). Zbog ratnih okolnosti i njihovih posljedica, često je bio prisiljen mijenjati mjesto boravka. Na kraju se smješta u prigradsko naselje Budrovci pokraj Đakova gdje je ujedno i završio osnovnu školu.

Završio je opću gimnaziju A. G. Matoša u Đakovu. Iste se godine upisuje na Šumarski fakultet u Zagrebu, Drvnotehnološki odsjek. Do sada je bio demonstrator iz 5 predmeta, predstavnik svoje godine te od sljedeće akademske godine i član Studentskog zbora.

Dobitnik je dekanove nagrade „Akademik Dušan Klepac“ 2012. godine zbog prosjeka ocjena, koji u zadnja tri semestra iznosi 5,0. Predstavnik studenata u Znanstveno-istraživačkom povjerenstvu Šumarskog fakulteta. Studentski predstavnik Šumarskog fakulteta preddiplomskog studija Drvne tehnologije u razgovoru s Povjerenstvom za vanjsku neovisnu periodičnu prosudbu sustava osiguravanja kvalitete na Sveučilištu u Zagrebu. Sudjelovao je u izradi tehničke dokumentacije unutar projekta obnove željezničke signalizacije Šibenske luke te radi kao promotor u Marketing Promotion Group, SouthEast Europe.

Po osnovi kriterija izvrsnosti, stipendist Grada Đakova. Član rukometnog tima Šumarskog fakulteta, kao i UFK-a „Novi Zagreb“. Animator mladih u Župi sv. Leopolda Mandića, Ljubljnica – Voltino.