

Vlado Goglia, Ružica Beljo-Lučić
Šumarski fakultet - Zagreb

Utjecaj odnosa vlastite frekvencije i frekvencije pobude na buku kružnih pila

The influence of circular saw natural frequency and excited frequency on the noise emission

Izvorni znanstveni rad

Prispjelo: 8. 5. 1996 • Prihvaćeno: 13. 01. 1997. • UDK 634*822

SAŽETAK • U radu se istražuje razina buke koju kružna pila pri praznome hodu odašilje u okolinu. U laboratorijskim uvjetima ispitano je sedam različitih kružnih pila. Ispitivana su prigušna svojstva pila kao i razina buke koju odašilju u okolinu. Razina buke mjerena je pri promjenjivom broju okretaja radnog vratila u rasponu od 25 do 65 s^{-1} . U rezultatima mjerjenja iskazana je ukupna razina buke u dB(A) kao i frekvencijska analiza buke. Ispitivanja su pokazala visoki stupanj ovisnosti ukupne maksimalne razine emitirane buke i prigušnih svojstava pojedinih pila.

Ključne riječi: kružne pile, vlastita frekvencija, buka, prigušna svojstva.

SUMMARY • The paper deals with noise level emitted by circular saw blade at idling. Seven various circular saw blades were tested in laboratory conditions. Damping characteristics of circular saws were tested as well as emitted sound pressure level. Sound pressure level was measured at changing rotational frequencies of driving shaft in the range between 25 and 65 Hz. In measurement results the total sound level is shown in dB(A). Frequency analysis of measured sound pressure was made, too. Tests have shown high dependence between maximum sound pressure level of emitted noise and circular saw damping characteristics.

Key words: circular saw, natural frequency, noise emission, damping characteristics.

1. UVOD

1. Introduction

Rad kružnih pila za rezanje drva redovito je praćen i emisijom buke manjega ili većeg intenziteta. Razina buke i njena frekvencijska karakteristika same po sebi predstavljaju problem kako za poslužitelje

takvih strojeva, tako i za šиру radnu okolinu. Buka je najizraženiji, ali ne i jedini problem. Pri radu kružnom pilom nastanak se buke može svesti na tri izvora:

1. turbulentno gibanje zraka izazvano kretanjem zubi obodnim brzinama od 30 do 100 m/s,

2. mjesto ulaska zubi u zahvat i
3. vibracije lista pile.

Vibracije su lista kružne pile u lateralnom smjeru također veliki problem. Viša razina vibracija u konačnosti znači i veću širinu propiljka, nižu kvalitetu (veću hrapavost) bočnih ravnina rezanja te razmjerno veći utrošak energije. Sve su to razlozi koji su potakli brojne istraživače da se pozabave ovim problemima. Istraživanja kojih se rezultati iznose, prilog su izučavanju toga problema.

2. PROBLEMATIKA

2. Problem definition

Kako je već u uvodu navedeno, problem smanjenja razine buke koju odašilju kružne pile pri radu, predmet je mnogih istraživanja. Velik je broj istraživača usmjerio svoju pažnju na pronalaženje uzroka nastajanja zvuka (1, 2 i 3) i vrednovanju utjecaja pojedinih parametara. Vlastita frekvencija lista pile i utjecaj pojedinih parametara na nju te pojava rezonancije, u gotovo svim istraživanjima bili su u središtu pažnje. Istražen je veliki broj utjecajnih parametara, npr. utjecaj veličine i oblika utora, utjecaj valjanja odnosno napinjanja lista, utjecaj zagrijavanja lista, utjecaj veličine prirubnice i drugo. Istražujući razinu zvuka što ga odašilje lista kružne pile, Mote i Leu (4) smatraju da je moguće smanjiti razinu buke odgovarajućom izvedbom lista i ozubljenja. Pritom se ne smije narušiti radna sposobnost kružne pile. Značajan doprinos određivanju ovisnosti rezonantne frekvencije i frekvencije vrtnje lista pile dali su Pahlitzsch i Rowinski

(5). Mote i Leu su smatrali da je nedovoljna pažnja posvećena odnosu zvuka čiji su izvor vibracije lista pile i aerodinamičkoga zvuka. Salje et al. (6) smatraju da se smanjenje intenziteta buke može postići prigušenjem vibracija lista. Utjecaj provrta i utora na razinu vibracija kružnih pila istražuje i Dougdale (7). Značajan doprinos poznавању vibracija liste kružne pile izazvanih aerodinamičkim pojavama te emisiji buke kao posljedice vibracija, dali su Cho i Mote (8). Proizvođači su pila uspjeli znatno reducirati razinu buke primjenom mnogih tehničkih inovacija te kombiniranjem različitih materijala u proizvodnji pila. Neka takva rješenja istražuju Rhernrev i Cano (9) te Miklaszewski i Grobelny (10).

3. CILJ ISTRAŽIVANJA

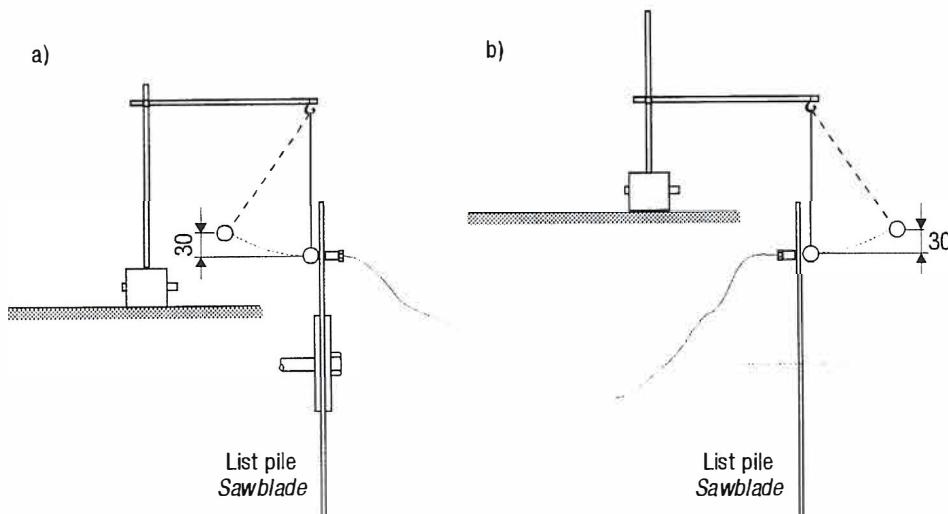
3. Aim of research

U posljednjih desetak godina sve veći broj proizvođača kružnih pila nudi i posebne izvedbe pila sa značajno drugačijim prigušnim svojstvima nego što su pile konvencionalnih izvedbi. Isto tako, u posljednje se vrijeme postavljaju sve stroži zahtjevi glede zaštite radne okoline od buke. Oni nameću primjenu samo onih pila koje u radu emitiraju dopuštenu ili nižu razinu buke. Pile istih dimenzija primjenjuju se s različitim frekvencijama vrtnje. Mnoga su istraživanja jasno ukazala da razina buke odašiljane u okolinu značajno ovisi o frekvenciji vrtnje lista pile. Nadalje, pri svakom zahvatu zuba na list se prenose udarna opterećenja koja izazivaju prisilne vibracije lista. Ranija su istraživanja

Tablica 1.

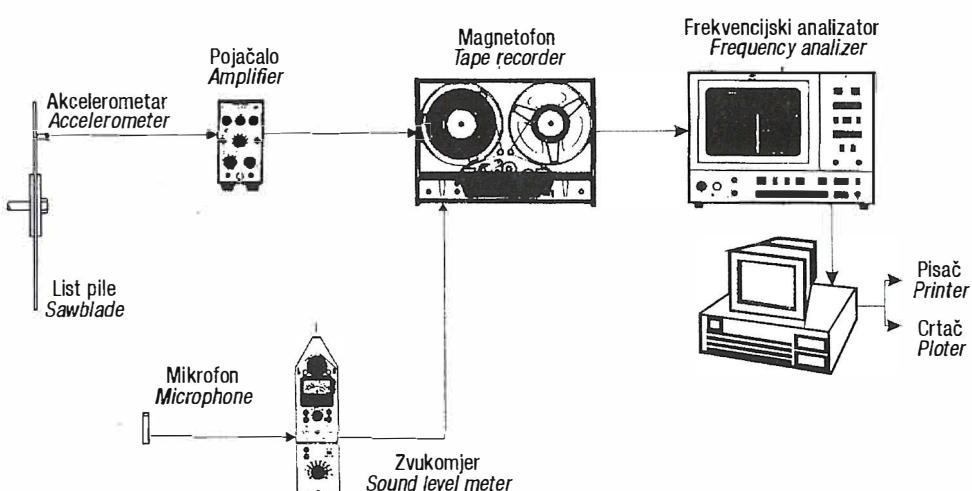
Osnovni tehnički podaci ispitivanih pila •
Basic technical data of tested circular saws

Značajka Items	uzorak 1 sample 1	uzorak 2 sample 2	uzorak 3 sample 3	uzorak 4 sample 4	uzorak 5 sample 5	uzorak 6 sample 6	uzorak 7 sample 7
Oznaka uzorka Sample mark	uz 1	uz 2	uz 3	uz 4	uz 5	uz 6	uz 7
Broj zubi Tooth number	80	96	96	96	60	60	60
Korak zuba, mm Pitch, mm	11,98	9,82	9,82	9,82	11,93- 19,47 promjenjiv	15,71	15,71
Visina zuba, mm Tooth height, mm	7	8	9	8	9	12	13
Geometrija ozubljenja Tooth geometry	$\alpha=36^\circ$ $\beta=46^\circ$ $\gamma=8^\circ$	$\alpha=13^\circ$ $\beta=65^\circ$ $\gamma=12^\circ$	$\alpha=16^\circ$ $\beta=66^\circ$ $\gamma=8^\circ$	$\alpha=22^\circ$ $\beta=61^\circ$ $\gamma=7^\circ$	$\alpha=19^\circ$ $\beta=58^\circ$ $\gamma=13^\circ$	$\alpha=21^\circ$ $\beta=54^\circ$ $\gamma=15^\circ$	$\alpha=16^\circ$ $\beta=59^\circ$ $\gamma=15^\circ$
Promjer lista, mm Blade diameter, mm	305	300	300	300	300	300	300
Promjer provrta, mm Shaft diameter, mm	30	30	30	30	30	30	30
Debljina lista, mm Blade thickness, mm	2,2	2,2	2,2	2,5	3,0	2,8	3,0
Širina propiljka, mm Sawkerf width, mm	2,8	3,2	3,2	3,5	4,4	4,4	4,4



Slika 1.

*Mehanizam za
pobudu lista pile a) list
pritegnut prirubnicom,
b) list slobodno ovješen
• Circular saw blade
exciting mechanism a)
blade clamped with
flange, b) free blade*



Slika 2.

Mjerni lanac za mjerjenje razine vibracija i razine buke • Sound and vibration measuring chain

ukazala i na to da je ukupna razina emitirane buke dobrim dijelom posljedica vibracija lista. Stoga se pretpostavilo da bi sposobnost lista pile da priguši udarni rad trebala biti i dobar pokazatelj njenih ukupnih prigušnih svojstava, a time i dijela ukupne razine buke koju će list pile odašiliati u okolini.

Provedena istraživanja sedam listova pila s primijenjenim različitim principima prigušenja trebala su pokazati točnost gornjih pretpostavki te pokazati njihovu primjenjivost u rasponu frekvencija vrtnje s kojima rade u eksploataciji. Osnovni su tehnički podaci ispitivanih pila dani u tablici 1.

4. MJERNA METODA I MJERNI PRIBOR

4. Measurement method and equipment

Da bi se odredile vlastite frekvencije listova ispitivanih pila rabljen je jednostavan mehanizam za pobudu prikazan na slici 1. Vlastite frekvencije listova ispitivane su na:

- a) listovima pritegnutim na radnome vratilu prirubnicama promjera $d_p = 72$ mm (sl. 1a) i
 b) slobodno ovješenim listovima (sl. 1b)

Za pobudu vibracija ispitivanih listova uporabljena je drvena kuglica mase 3,66 g slobodno ovješena na magnetnom stalku s pomoću pamučne niti zanemarive mase. Da bi se osigurala energija pobude, kuglica se odmicala iz ravnotežnoga položaja, tako da joj je težište podignuto za $\Delta h=30$ mm, čime je osigurana kinetička energija kuglice u trenutku sudara s listom pile od približno 1 mJ. Brzina kuglice kojom je odskočila od lista pile odnosno dio kinetičke energije kuglice prenesen na list pile nije obuhvaćen mjerjenjem. Da bi se ustavila razina vibracija lista pile nastala udarnim radom kuglice, na list je pile pričvršćen piezoakcelerometar mase 0,5 g. Akcelerometar je na svim listovima pile pričvršćen na isto mjesto i na jednak način. Pritom je prepostavljeno da je masa akcelerometra zanemariva u odnosu na masu lista pile te da ne utječe na njene vibracije. Razina je vibracija registrirana i analizirana mjernim lancem prikazanim na slici 2.

Isti je pobudni sustav i mjerni postupak upotrebljen i za određivanje sposobnosti pojedinih listova da priguše vanjske

pobude. Prigušne sposobnosti listova određivane su s vremenom potrebnim da se maksimalna razina vibracija izazvana udarnim radom kuglice u bilo kojem frekvencijskom pojasu širine 1/3 oktave spusti ispod 20 mm/s^2 . Sigurno je da bi ovakav način određivanja prigušnih sposobnosti zaslužio mnoge rasprave te ga treba prihvati uz ograničenja. Sama metoda mjerena zaslužuje pažnju i zasigurno će biti predmetom budućih rasprava.

Svi su listovi ispitivanih pila pričvršćeni na jednaki način na radno vratilo te potom pogonjeni promjenjivim brojem okretaja u rasponu od 25 do 65 s^{-1} . Za regulaciju frekvencije vrtnje radnoga vratila rabljen je frekvencijski pretvarač. Frekvencijski se pretvarač programski može prilagoditi da s pomoću monofazne struje na ulazu, napona 220 V i frekvencije 50 Hz, daje na izlazu trofaznu struju frekvencije od 0,5 do 180 Hz s inkrementom 0,01 Hz. Izlazni napon za ova razmatranja nije značajan. Frekvencija je vrtnje radnoga vratila stupnjevana u koracima od 5 Hz. Pri svakoj frekvenciji vrtnje mjerena je ukupna razina buke koju emitira list pile iskazan dB(A). Isto je tako mjerena frekvencijska karakteristika emi-

tirane buke. Mjerenja su obavljena mjernim lancem prikazanim na slici 2.

5. MJERNI REZULTATI

5. Measurement results

Vlastite su frekvencije ispitivanih listova, sa i bez prirubnica, nakon pobude mjerene u frekventnim pojasima širine 1/3 oktave. Vlastite frekvencije nakon pobude u frekvencijskom rasponu od 250 do 5000 Hz, koji se za analizu učinio najprikladnijim, za slobodno ovješenu pilu prikazane su na slici 3a, a za pilu pritegnutu prirubnicama na slici 3b.

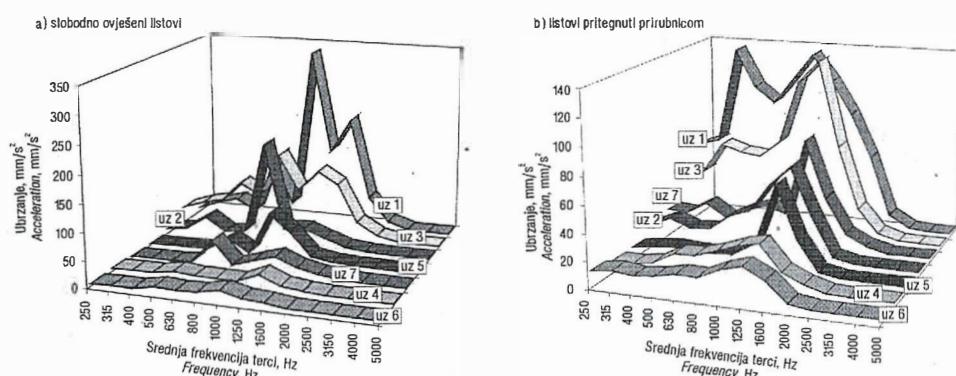
Vremena potrebna za prigušenje udarnoga rada mjerena su na ranije opisani način. Rezultati su mjerena prikazani na slici 4.

Efektivne vrijednosti zvučnoga tlaka za različite frekvencije vrtnje po srednjim vrijednostima frekvencije terci u frekvencijskom rasponu od 20 Hz do 16 kHz za sve ispitivane pile prikazane su na slikama 5 a) do 5 g).

Ovisnost ukupne razine buke u dB(A) o frekvenciji vrtnje radnoga vratila prikazuje slika 6 za svih sedam ispitivanih pila.

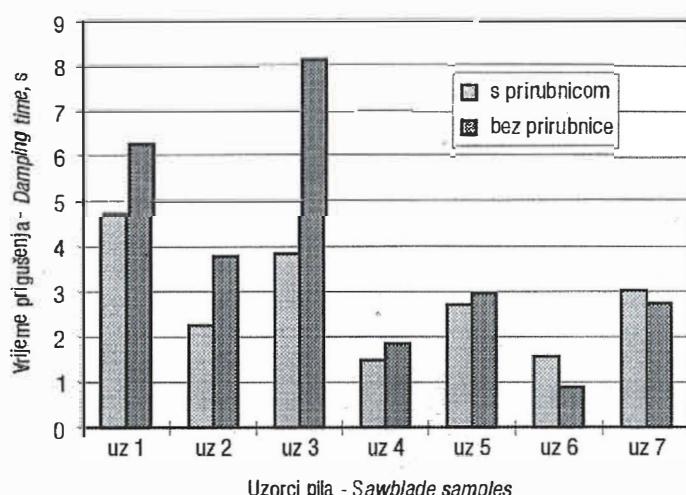
Slika 3.

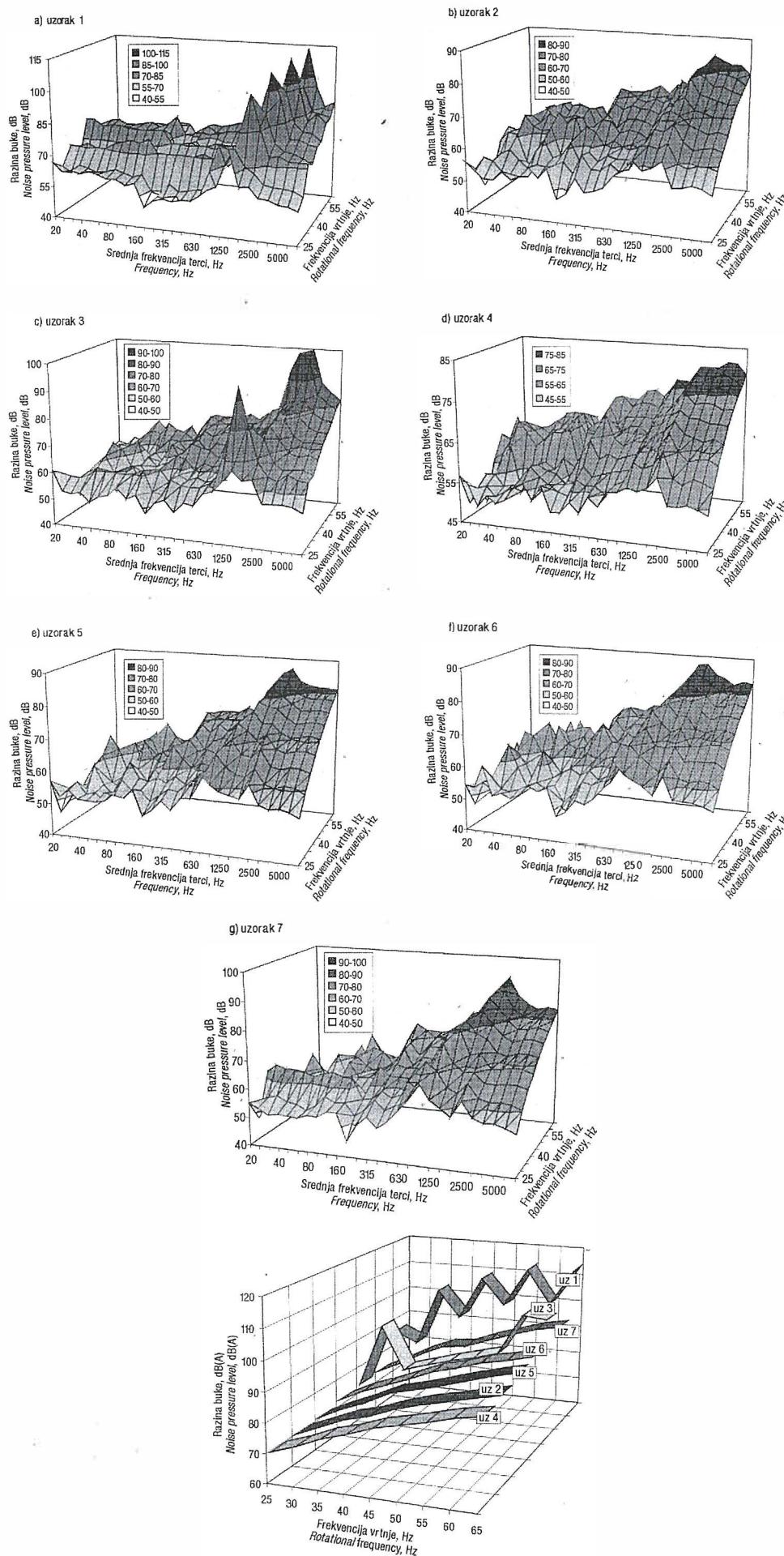
Vlastite frekvencije ispitivanih listova oila
a) list pritegnut prirubnicom b) list slobodno ovješen
Cilcural saw blade exciting mechanism a)
blade clamped with flange, b) free blade



Slika 4.

Rezultati mjerena vremena prigušenja ispitivanih listova pila •
Damping characteristics of tested saws





Slika 5.

Efektivne vrijednosti razine zvučnoga tlaka za ispitivane pile pri različitim frekvencijama vrtnje a) uzorak 1, b) uzorak 2, c) uzorak 3, d) uzorak 4, e) uzorak 5, f) uzorak 6, g) uzorak 7 • Sound pressure level for tested circular saws at various rotational frequencies, dB a) sample 1, b) sample 2, c) sample 3, d) sample 4, e) sample 5, f) sample 6, g) sample 7

Slika 6.

Ukupna razina buke pri različitim frekvencijama vrtnje • Sound level at various rotational frequencies, dB(A)

6. DISKUSIJA

6. Discussion

Ispitivanjem vlastitih frekvencija listova pila uzrokovanih vanjskom pobudom ustavljeno je da postoje značajne razlike u veličinama ubrzanja vibracija pojedinih pila nakon pobude istoga intenziteta. Razlike su uočene kako kod slobodno ovješenih listova tako i kod pritegnutih pila. Odnos maksimalnih amplituda ubrzanja kod slobodnog ovješenih pila iznosio je 1:16 ($21 \text{ mm/s}^2 : 334 \text{ mm/s}^2$), a kod pila s prirubnicom 1:5,8 ($23,4 \text{ mm/s}^2 : 135 \text{ mm/s}^2$). Maksimalne amplitude ubrzanja vibracija kod slobodno ovješenih listova su između 800 Hz i 1 kHz, dok su kod pritegnutih

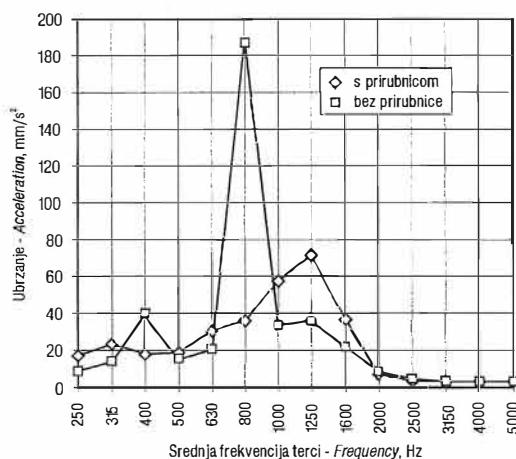
listova izmjerene u višem frekvencijskom rasponu od 1 kHz do 1,25 kHz, što je u skladu s prethodnim istraživanjima. Pri slobodno ovješenim listovima izmjerene su za većinu pila izrazitije maksimalne amplitude vibracija, kako to pokazuje slika 7.

Za neke ispitivane pile to nije bio slučaj te se kod njih ne može govoriti o značajnim razlikama u amplitudama ubrzanja vibracija. Primjer takve pile prikazan je na slici 8.

Za ove pile treba istaći da su pokazale značajno bolje osobine u radu sa stanovišta razine odašiljane buke. Te su pile pokazale i značajno bolja prigušna svojstva, iskazana vremenom prigušenja mjerjenim na prije

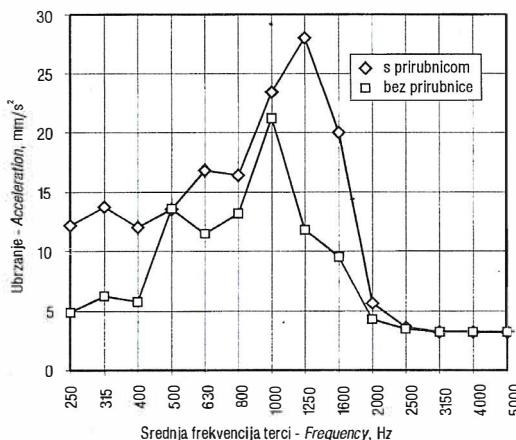
Slika 7.

Ubrzanja vibracija po srednjim frekvencijama terci pile UZ2, pritegnute i slobodno ovješene • Acceleration in 1/3 octave band frequencies for UZ2 tested saw, clamped with flange and free, mm/s^2



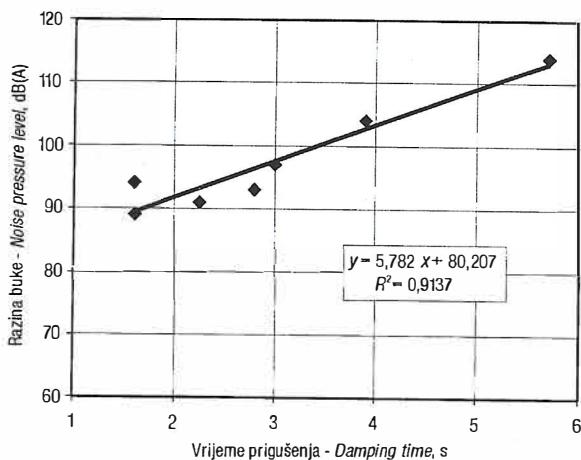
Slika 8.

Ubrzanje vibracija po srednjim frekvencijama terci pile UZ6, pritegnute i slobodno ovješene • Acceleration in 1/3 octave band frequencies for UZ6 tested saw, clamped with flange and free, mm/s^2



Slika 9.

Ovisnost maksimalne razine buke ispitivanih pila i vremena prigušenja • Relation between maximum sound level emitted by tested circular saws and damping period



opisan način. Stavi li se u odnos vrijeme prigušenja pritegnute pile i maksimalno izmjerene razine buke u ispitivanom rasponu brzina vrtanje radnoga vratila dobiva se veoma visok stupanj ovisnosti. Rezultati su iskazani na slici 9.

7. ZAKLJUČAK

7. Conclusion

Ispitivanja razine buke koju listovi kružnih pila odašilju u okolinu u praznomet hodu ukazala su na veoma zanimljive činjenice:

- razina ubrzanja vibracija nakon pobude istoga intenziteta značajno je viša kod pila kod kojih nije primijenjen ni jedan način prigušenja buke;

- vrijeme prigušenja vibracija odriosi se na jednaki način;

- od tri ispitane mogućnosti prigušenja buke (prigušna folija, laserom urezani ornament posebnoga oblika i bakreni čepovi), najbolje su rezultate pokazale prigušne folije, a najslabije bakreni čepovi;

- ispitivane su pile u razini emitirane buke neusporedive;

- regresijska analiza odnosa vremena prigušenja vanjske pobude i maksimalne rázine buke u ispitivanome rasponu frekven-cija vrtnje pokazala je visoku, gotovo funk-cijsku ovisnost ove dvije veličine;

- način mjerjenja predane energije udara, odnosno pobude, u narednim bi radovima trebalo raspraviti i unaprijediti.

LITERATURA

References

1. Dugdale, D. S. (1977): Circular saw noise related to vibration model patterns, Fifth Wood Machining Seminar, Richmond, s. 246- 254.
 2. Dugdale, D. S. (1977): Practical analysis of saw noise, Fifth Wood Machining Seminar, Richmond, s. 198-206.
 3. Reiter, W. F., Keltie, R. F. (1976): On the nature of idling noise of circular saw blades, Journal Sound and Vibration, Vol. 44, s. 531-543.
 4. Leu, M. C., Mote, C. D. (1979): Noise generation by circular saws, Sixth Wood Machining Seminar, Richmond, s. 169-188.
 5. Pahlitzsch, G., Friebel, E. (1966): Vibration behaviour of circular saw blades, Holz als Roh- und Werkstoff 24(8), s. 341- 346.
 6. Salje, E., Bartsch, U., Polster, J. (1979): Noise reduction with compound circular saws, Sixth Wood Machining Seminar, Richmond, s. 189-193.
 7. Dugdale, D. S. (1979): Effect of holes and slots on vibration of circular saws, Sixth Wood Machining Seminar, Richmond, s. 194- 208.
 8. Cho, H. S., Mote, C. D. (1977): Aerodynamically induced vibration and noise in circular saws, Fifth Wood Machining Seminar, Richmond, s. 207-245.
 9. Rhemrev, J., Cano, T. (1989): Noise studies of various damped circular crosscut saws, Forest Product Journal, Vol. 39, s. 65- 69.
 10. Miklaszewski, S., Grobelny, T. (1995): Sound power determination of two circular saws with different constructions of the blades, I. medzinárodná konferencia "Stroj-nastroj- obrobok", Zvolen, s. 83-88.