

**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**  
**ŠUMARSKI ODSJEK**  
**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ ŠUMARSTVA**  
**SMJER: TEHNIKE, TEHNOLOGIJE I MENADŽMENT U ŠUMARSTVU**

**JOSIP GALOVIĆ**

**VIBRACIJSKE ZNAČAJKE MOTORNIH PILA I  
MORFOLOŠKA RAŠČLAMBA MOTORNIH PILA**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, 2013.**

**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**

**ŠUMARSKI ODSJEK**

**VIBRACIJSKE ZNAČAJKE MOTORNIH PILA I MORFOLOŠKA  
RAŠČLAMBA MOTORNIH PILA**

**DIPLOMSKI RAD**

Diplomski studij: Šumarstvo, smjer Tehnike, tehnologije i menadžment u šumarstvu

Predmet: Mehanizacija pridobivanja drva

Ispitno povjerenstvo:

1. prof. dr. sc. Dubravko Horvat
2. izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar
3. dr. sc. Zdravko Pandur

Student: Josip Galović

JMBAG: 0068024396

Broj indeksa: 285/2011

Datum odobrenja teme: 27.05.2013

Datum predaje rada: 10.12.2013

Datum obrane rada: 17.12.2013

**Zagreb, prosinac, 2013.**

## Ključna dokumentacijska kartica

Naslov	Vibracijske značajke motornih pila i morfološka raščlamba motornih pila
Title	Vibration features of chainsaws and morphological analysis of chainsaws
Autor	Josip Galović
Adresa autora	Sikirevci 35224
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	prof. dr. sc. Dubravko Horvat
Izradu rada pomogao	Marko Zorić, mag. ing. silv.
Godina objave	2013.
Obujam	I-V, 1-28, 17 slika, 1 tablica, 47 navoda literature
Ključne riječi	motorna pila, vibracije, morfološka raščlamba
Key words	chainsaw, vibration, morphological analysis
Sažetak	<p>Cilj ovoga diplomskoga rada je uvidjeti na razlike u vibracijama kod određenih tipova motornih pila, koje su sličnih karakteristika s obzirom na snagu te težinu motorne pile.</p> <p>Svrha ovoga istraživanja je ustanoviti objektivne kriterije, koji bi omogućili uspoređivanje sličnih tipova motornih pila, tj. vidjeti njihove sličnosti i razlike. Treba izvršiti morfološku analizu različitih tipova motornih pila, te na osnovi rezultata ukazati na posebnosti određenih tipova motornih pila.</p> <p>Morfološkom analizom utvrđuje se trenutačno stanje, svojstva i zakonitosti, ali i povijesni te mogući tijek razvoja motornih pila kao oruđa za sječu i izradbu drva. Rezultati provedenih istraživanja mogu poslužiti kao pomoć šumarskim stručnjacima pri odabiru novih motornih pila.</p> <p>Vibracije motornih pila u prošlosti su uzrokovale brojna profesionalna oboljenja sjekača. Razvoj amortiziranih upravljačkih ručki te smanjenje mase motornih pila smanjili su razinu vibracija prve generacije pila na približno jednu desetinu.</p> <p>Posljedice pretjerane izloženosti vibracijama ne samo da nisu male, već su po svojoj učestalosti u svekupnim profesionalnim oboljenjima zabrinjavajuće.</p> <p>Sa starosti motornih pila ne dolazi do pogoršanja vibracija motornih pila. Utjecaj na razinu vibracija najviše ima redovito održavanje motornih pila.</p> <p>Morfološkom analizom su utvrđene promijene s obzirom na analizi provedenu 2007. godine. Promjene su rezultat velikih ulaganja kako u razvoj tehničkih karakteristika, tako i u razvoj i poboljšanje ergonomske karakteristika.</p>

## Kazalo sadržaja

Ključna dokumentacijska kartica .....	I
Kazalo sadržaja .....	II
Popis slika .....	III
Popis tablica .....	IV
Predgovor .....	V
1. Uvod .....	1
1.1 Vibracije .....	1
2. Cilj istraživanja .....	7
3. Metode istraživanja .....	8
3.1 Mjerenje vibracija .....	8
3.2. Morfološka analiza .....	12
4. Rezultati i rasprava .....	16
5. Zaključak .....	24
6. Literatura .....	25

## Popis slika

Slika 1. Motorne pile spremne za mjernje vibracija

Slika 2. Ruka zahvaćena bolešću bijeli prstiju

Slika 3. Antivibracijske rukavice

Slika 4. Koordinatni sustav za mjerenje vibracija koje se prenose na sustav šaka-ruke prema normi HRN EN ISO 5349-2001

Slika 5. Pričvršćenje troosnog akcelerometra na nosač

Slika 6. Prihvat troosnog akcelerometra tijekom mjerenja bez rukavica

Slika 7. Položaj rukovatelja motornom pilom tijekom mjerenja

Slika 8. Promjena vrijednosti vibracija s obzirom na godine upotrebe

Slika 9. Promjena vrijednosti vibracija kod motornih pila snage od 3,7 KS

Slika 10. Promjena vrijednosti vibracija kod motornih pila snage od 5,4 KS

Slika 11. Promjena vrijednosti vibracija kod motornih pila snage od 7 KS

Slika 12. Ovisnost snage i zapremine cilindra motora o masi motornih pila

Slika 13. Ovisnost zapremine spremnika za gorivo i zapremine spremnika za ulje o masi motornih pila

Slika 14. Ovisnost najmanje i najveće duljine vodilice o masi motornih pila

Slika 15. Ovisnost jakosti i snage buke o masi motornih pila

Slika 16. Ovisnost vibracija na prednjoj i stražnjoj ručci o masi motornih pila

Slika 17. Ovisnost cijene motorne pile o njenoj masi

## Popis tablica

Tablica 1. Usporedba vibracija kod tri različita proizvođača motornih pila

## Predgovor

*Ovaj rad je izrađen na Zavodu za šumarske tehnike i tehnologije Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.*

*Zahvaljujem mentoru izv. prof. dr. sc. Dubravku Horvatu, te Marku Zoriću, mag. ing. silv. na ukazanoj pomoći i savjetima pri izradi ovoga rada.*

*Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima što su mi omogućili studiranje i bili uz mene cijeli studij.*

*Velike zahvale dugujem braći , sestri , djevojci i ostatku obitelji zbog podrške i pomoći tijekom studija.*

Josip Galović

## **1. UVOD**

U ne tako dalekoj prošlosti, sječu samo jednog stabla obavljao je veći broj radnika uz pomoć ručnih pila, sjekira, te ostalih ručnih alata. Bio je to naporan i dugotrajan posao koji je iziskivao znanje, izdržljivost i fizičku snagu. Razvoj civilizacije, povećanje brojnosti stanovništva, samim time i povećanje potreba za drvom kao sirovinom te potrebe za humanizacijom rada, doprinose razvoju alata i strojeva za sječu i izradu drva. Bilo je potrebno mnogo vremena, ideja, prihvaćenih i odbačenih izuma i inovacija da bi se napravio uređaj koji će povećati proizvodnost i sigurnost rada na sječi i izradi, smanjiti količinu ljudskog rada te potrebno vrijeme za obavljanje istog. Radi se o motornoj pili lančanicu, čija je primjena danas raširena u cijelome svijetu. Prve pile lančanice bile su teško prenosive, zbog velikih dimenzija i mase, ili su bile ovisne o vanjskom izvoru energije, primjerice generatoru, kompresoru ili vanjskom motoru s unutarnjim izgaranjem. Bile su namijenjene za dvojicu rukovatelja (Musić 2007).

Zahtjevi za povećanjem proizvodnosti vodili su proizvođače u smjeru sve manjih, laganijih i kompaktnijih pila, koje se mogu lako prenositi do mjesta rada i kojima bi mogao rukovati jedan čovjek. Osim u tehničkom smislu, razvoj se kretao i u smislu povećanja sigurnosti i udobnosti rukovatelja motornom pilom. Iako je već smanjenje mase i dimenzija, te proizvodnja pile za jednog rukovatelja značilo i povećanje sigurnosti, bilo je tu inovacija koje su tome još više pridonijele. Od kako su se počele primjenjivati motorne pile kao glavni stroj za sječu i izradu, primijećen je njihov štetan utjecaj. Pojava profesionalnih bolesti posebice od vibracija i buke ukazuje na potrebu daljnjeg usavršavanja motornih pila lančanica, kao i zaštitnih sredstava, što je zadaća proizvođača.

U hrvatsko šumarstvo su motorne pile prvi puta uvedene nakon završetka Drugog svjetskog rata. Uvođenjem motornih pila lančanica, sječa i izrada drva se djelomično mehanizira što dovodi do povećanja proizvodnosti i smanjenja troškova proizvodnje (Kranjec 2011).

### **1.1.VIBRACIJE**

Vibracije na radnom mjestu se praktički pojavljuju u svakoj industrijskoj djelatnosti, transportu, sport, radu u šumi, poljoprivredi i građevinarstvu. S obzirom na njihovu štetnost, vibracije koje se prenose na rukovatelje mehaniziranim sredstvima rada s prihvatnih ručki ili s volana putem dlana i prstiju, poznate kao vibracije šaka-ruka, nastoje se ograničiti. U nizu kontinuiranih nastojanja da se to postigne, posebice valja istaći "Directive 2002/44/EC". U



tom se dokumentu na jasan način opisuje postupak utvrđivanja razine izloženosti vibracijama bilo sustava šaka-ruka, bilo čitavoga tijela. Opisani su postupci prilagođeni zahtjevima jasno definiranim međunarodnim normama ISO 5349-1 i 2 te ISO2631-1, 2 i 3. Izloženosti vibracijama sustava šaka-ruka kod šumarskih radnika valja posvetiti posebnu pozornost, imajući na umu učestalost profesionalnih oboljenja koje one izazivaju. U nastojanju da se mjere zaštite na radu prilagode europskim standardima, donesen je i nacionalni "Pravilnik o zaštiti radnika od rizika zbog izloženosti vibracijama na radu" (NN 55/2008).

Pri izradi motornih pila u današnje vrijeme puno se pazi na udobnost samoga radnika, jedan od najvećih problema za radnika pri radu sa motornom pilom su svakako vibracije prednje i stražnje ručke motorne pile.

Vibracije motornih pila u prošlosti su uzrokovale brojna profesionalna oboljenja sjekača. Razvoj amortiziranih upravljačkih ručki te smanjenje mase motornih pila smanjili su razinu vibracija prve generacije pila na približno jednu desetinu.

Šumarstvo se kao industrijska grana prema statističkim podacima svrstava u jednu od najrizičnijih djelatnosti, kako po povredama na radu, tako i po profesionalnim oboljenjima. Profesionalna oboljenja izazvana utjecajem vibracija u šumarstvu su posebice izražene. Najveća opterećenja radnika sjekača su kod obaranja, kresanja grana i prerezivanja stabala. Posljedice pretjerane izloženosti vibracijama ne samo da nisu male, već su po svojoj učestalosti u sveukupnim profesionalnim oboljenjima zabrinjavajuće.

Prema istom izvoru 14% problematičnih radnih uvjeta povezuje se sa vibrirajućim alatima, što odgovara i oštećenjima izazvanim vibracijama koja su u Republici Hrvatskoj zastupljena sa 13% u sveukupnim profesionalnim oboljenjima (Kacijan 1999). Iz tih se izvora može razabrati da su profesionalna oboljenja izazvana utjecajem vibracija u šumarstvu posebice izražena (Slika 1).



Slika 1. Motorne pile spremne za mjerenje vibracija

Zaštitne mjere od štetnog djelovanja vibracija su:

- antivibracijske rukavice
- zagrijavanje ručke motorne pile za hladnoga vremena
- uporaba lakših motornih pila kod kojih je na obje ručke izmjerena prihvatljiva razina vibracija;
- redovito održavanje pile (zamjena AV prigušivača najkasnije nakon 300 sati rada pile);
- pravilno oštrenje lanca
- obveza neprekidne uporabe antivibracijskih rukavica
- poduka o pravilnoj tehnici rada sa motornom pilom.

Pri istraživanju vibracija motornih pila nastoji se pronaći odgovor na tri pitanja

- Kakva je razina vibracija na ručkama na pilama pri različitim režimima rada?
- Kako odrediti dnevnu izloženost radnika vibracijama?
- Kako odrediti granice dopuštenoga izlaganja?

Za ocjenu opasnosti izlaganja vibracijama značajna su 3 parametra:

1. frekvencijska karakteristika vibracija
2. razina vibracija ili intenzitet
3. vrijeme izlaganja vibracijama.

Prilikom rada sa motornom pilom najštetniji je utjecaj vibracija kada ona radi u praznom hodu (od 2500 do 3000 min<sup>-1</sup>) kada se postiže rezonantna frekvencija šake (30 – 50 Hz). Dugotrajno izlaganje takvim vibracijama kod radnika dolazi do pojave profesionalne

bolesti tzv. *bolesti bijelih prstiju* kod koje dolazi do pucanja kapilara u vršcima prstiju, zbog nedovoljne prokrvljenosti i odumiranja živaca.

Ovaj poremećaj nastaje zbog posljedica nedovoljne cirkulacije krvi, naziva se još *Raynaudov fenomen* (prema francuskom fizičaru Maurice Raynoutu koji ga je 1862 prvi opisao) Bjelilo se može pojaviti na jednom ili više prstiju i širi se od vrha prsta prema dnu. Napadi bijelih prstiju, popraćeni bolovima, trncima te gubitkom stiska i osjeta, u početku se češće pojavljuju tijekom zimskih mjeseci i traju od nekoliko minuta pa do nekoliko sati. Prestaju obično kada se zagrije čitavo tijelo (Slika 2). Valja istaći činjenicu da se intenzitet pojave bolesti bijelih prstiju u šumarstvu statistički kontinuirano smanjuje od 1970-tih, nakon uvođenja anti-vibracijskih motornih pila lančanica te uvođenjem organizacijskih mjera kojima se smanjilo vrijeme izlaganja, (Griffin 1997)



Slika 2. Ruka zahvaćena bolešću bijeli prstiju

Ostale posljedice:

Neurološki poremećaji: izloženost ruku vibracijama može kod radnika izazvati trnce te ukočenost prstiju ili čitave ruke. Ako se izlaganje vibracijama nastavi simptomi se pogoršavaju te mogu imati utjecaj na radnu sposobnost, kao i na svakodnevne aktivnosti. Prema dosadašnjim istraživanjima moguće je zaključiti da se senzorneuralni poremećaji razvijaju neovisno od ostalih poremećaja izazvanih vibracijama.

Muskuloskeletni poremećaji: radiološkim istraživanjima ustanovljeno je da kod radnika izloženim vibracijama pojavljuju nepovratne promjene u kostima ruku, kao i u zglobovima zapešća. Radnici sa dugotrajnim izlaganjima vibracijama obično se žale na slabost mišića,

bolove u šakama i rukama. Vibracije isto tako utječu na smanjenje stiska šake. Smatra se da je to izravna posljedica mehaničkog oštećenja perifernih živaca.

Ostali poremećaji: neka su istraživanja pokazala da izlaganje vibracijama pospješuje proces oštećivanja sluha pri izloženosti većoj razini buke. Ustanovljeno je da gubitak sluha brže nastupa kod radnika koji su istovremeno izloženi i buci i vibracijama, nego li kod radnika koji su izloženi samo istoj razini buke. To se objašnjava smanjenjem protoka krvi prema srednjem uhu usljed utjecaja vibracija na krvne žile. Neki japanski i ruski istraživači ustanovili su i endokrina oštećenja, kao i oštećenja središnjeg nervnog sustava. Klinička slika, koja se naziva “*vibraciona bolest*“, uključuje simptome vezane sa disfunkcijama središnjeg nervnog sustava, kao što su trajni umor, glavobolja, poremećaji spavanja, razdražljivost, impotencija i elektroencefalografske promjene. (Griffin, 1990)

### **Antivibracijske rukavice**

Izlaganje vibracijama većeg intenziteta kroz duže razdoblje često vodi trajnim oštećenjima dijelova organizma te trajnoj nesposobnosti za rad. Taj je problem prisutan i kod mnogih poslova u šumarstvu. Mnoge se aktivnosti provode s ciljem da se izbjegnu posljedice izlaganja vibracijama. Jedna od mjera zaštite od pretjeranog izlaganja vibracijama koje se prenose na ruke je i korištenje antivibracijskih zaštitnih rukavica (Goglia, 2008). Ocjena učinkovitosti zaštite uporabom antivibracijskih rukavica je složena procedura i često ne daje očekivane rezultate. Na tržištu je široka ponuda antivibracijskih rukavica različitih proizvođača te je izbor onih koje će najbolje štititi radnika odgovoran i složen zadatak. Ocjenu kvalitete rukavica moguće je donijeti primjenom postupka ispitivanja istih po proceduri koja je propisana međunarodnim normama ISO 10819-1996 i EN ISO 10819-1996 te nacionalnom normom HRN ISO 10819- 2000



Slika 3. Antivibracijske rukavice

U normi se posebno naglašava da na razinu vibracija koje se prenose preko rukavice na ruku može utjecati velik broj utjecajnih parametara, pa se stoga rezultati dobiveni propisanom metodom ispitivanja ne mogu koristiti za ocjenu rizika po zdravlje rukovatelja uslijed izloženosti vibracijama ( Slika 3).

Ispitivanje prigušnih svojstava antivibracijskih rukavica po proceduri koju propisuju međunarodne norme ISO 10819-1996 i EN ISO 10819-1996 te nacionalna norma HRN ISO 10819-2000 ne daju rezultate koji s pouzdanošću mogu koristiti za ocjenu kvalitete pojedinih tipova antivibracijskih rukavica. (Goglia, 2008).

## 2. Cilj istraživanja

Kako je poznato, na razinu vibracija motornih pila lančanica djeluje veliki broj utjecajnih parametara. Da bi se osigurala ponovljivost mjerenja, a time i usporedivost rezultata mjerenja, nastoji se međunarodnim normama jasno odrediti mjerni postupak. On omogućava ocjenu ergonomske karakteristike motornih pila, te izbor pila koje najbolje zadovoljavaju postavljene kriterije. Nažalost, postoje i značajne razlike mjernih rezultata razine vibracije na istoj motornoj pili u različitim mjernim laboratorijima. To upućuje da nisu ispunjeni svi bitni utjecajni parametri, a to su:

- rukovoditelj
- zategnutost lanca
- duljina vodilice
- količina goriva u rezervoaru
- način samoga držanja pile

Cilj ovoga diplomskoga je uvidjeti na razlike u vibracijama kod određenih tipova motornih pila, koje su sličnih karakteristika s obzirom na snagu te težinu motorne pile.

Svrha ovoga istraživanja je ustanoviti objektivne kriterije, koji bi omogućili uspoređivanje sličnih tipova motornih pila, tj. vidjeti njihove sličnosti i razlike. Treba izvršiti morfološku analizu različitih tipova motornih pila, te na osnovi rezultata ukazati na posebnosti određenih tipova motornih pila.

Čimbenici koji određuju dnevnu izloženost vibracijama pojedine osobe, jesu intenzitet vibracija s obzirom na frekvenciju (razinu vibracije) te trajanje takvoga izlaganja. Što je intenzitet takvoga izlaganja veći, odnosno izloženost dulja, to je individualna izloženost vibracijama kojom je osoba izložena veća.

Nadalje, cilj ovog diplomskog rada je i napraviti morfološku analizu modernih motornih pila lančanica, kako bi se utvrdile osnovne morfološke značajke motornih pila, te kako bi se mogle usporediti s starim motornim pilama.

### 3. Metode istraživanja

Mjerenja vibracija su obavljena kako na prednjim tako i na stražnjim ručkama pri dvije razine režima rada i to:

- a) u praznome hodu i
- b) pri najvećem broju okretaja motora

Analizirane su motorne pile:

- Stihl
- Husqvarna
- Jonsered

Istraživanje i izrada morfološke analize je provedena na osnovu prikupljenih podataka o pojedinim tipovima motornih pila lančanica. Većina podataka je preuzeta sa internetskih stranica i kataloga, proizvođača i uvoznika motornih pila.

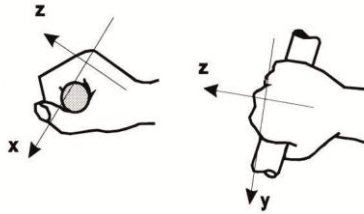
#### 3.1 Mjerenje vibracija

Obavljena su mjerenja vibracija koje se prenose na sustav šaka-ruka pri radu s motornim pilama s ciljem utvrđivanja trenutnih vrijednosti vibracija, a u skladu s zahtjevima koje postavlja Zakon o zaštiti na radu (NN 59/96, 94/96, 114/03, 86/08, 75/09, 143/12) po pitanju sredstava rada s posebnim opasnostima.

Mjerenja vibracija koje se prenose na sustav šaka-ruka rukovatelja obavljena su na motornim pilama navedenima u daljnjem tekstu izvješća. Motorne pile su prije mjerenja bile odgovarajuće pripremljene (zagrijane, lanac zategnut prema uputama proizvođača ...)

Mjerenja su obavljena u skladu s preporukama norme HRN EN ISO 5349-2001: *Mechanical vibration – measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration* i ISO 7505-1986 (E): *Forestry machinery – Chain saws – Measurement of hand-transmitted vibration* te kako je već ranije navedeno sukladno preporukama međunarodne norme ISO 7505, a sve s ciljem udovoljavanja zahtjevima koje postavlja Zakon o zaštiti na radu po pitanju sredstava rada s posebnim opasnostima, Pravilnik o zaštiti od rizika izloženosti vibracijama na radu. Ministarstvo gospodarstva rada i poduzetništva Republike Hrvatske (NN 155/2008) te Directive 2002/44/EC *Of the European Parliament and of the Council: The minimum health requirement regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration)*. *Official Journal of the European Communities*, 177. 13-19

Mjerenja su istovremeno vršena u sve tri osi prema koordinatnom sustavu definiranom normom HRN EN ISO 5349-2001, troosnim akcelometrom postavljenim na ručke alata, a sukladno (Slika 4).



Slika 4. Koordinatni sustav za mjerenje vibracija koje se prenose na sustav šaka-ruke prema normi HRN EN ISO 5349-2001

Pri mjerenju je korišten troosni akcelometar mehanički pričvršćen na aluminijski nosač koji služi za prihvatanje akcelometra pomoću ruke u stvarnim uvjetima rada, a ujedno djeluje i kao mehanički filter (slika 5 i 6).



Slika 5. Pričvršćenje troosnog akcelometra na nosač





Slika 6. Prihvat troosnog akcelerometra tijekom mjerenja bez rukavica

Prema preporukama norme ISO 7505-1986 (E) mjerenja su obavljena za dva mjerna mjesta u dva karakteristična režima rada, u praznom hodu (PH) i pri punom gasu (PG). Za svaki režim rada su uzeta po tri uzorka vibracija. Položaj rukovatelja pri mjerenjima je bio u skladu s preporukama spomenutih normi (slika 7).



Slika 7. Položaj rukovatelja motornom pilom tijekom mjerenja

Za potrebe mjerenja troosni akcelerometar je montiran na tanki aluminijski nosač Bruel&Kjaer Type UA3015, a nosač s akcelerometrom se pritiskom ruke oslanjao na prihvatne ručke pila kako bi se na minimum smanjio utjecaj mjerne nesigurnosti uslijed promjene položaja akcelerometra i kako bi se osigurala jednaka pritisna sila na mjernom mjestu.

Akcelerometar je tako pričvršćen da se osi akcelerometra što bolje podudaraju sa smjerom osi danim u preporuci norme HRN EN ISO 5349-2001, odnosno smjer osi Z je duž ruke, smjer osi Y bočno na ruku, a smjer osi X je okomit na ravninu ruke.

Za mjerenja je korišten mjerni lanac koji se sastojao od troosnog akcelerometra proizvođača Bruel&Kjaer te troosnog vibrometra istog proizvođača Type 4447, Ser. No.:610435.

Prije mjerenja izvršena je kalibracija čitavog mjernog lanca pomoću kalibratora proizvođača B&K, Calibrator Exciter Type 4294, Ser. No.: 2659181.

Za podatke dobivene mjerenjima u oba režima rada, na sve mjerne točke, troosni je vibrometar izračunavao vrednovane vrijednosti vibracija za vremenske zapise u smjeru svih triju koordinatnih osi, sukladno preporukama norme HRN EN ISO 5349-2001. Tako su dobivene vrednovane razine ubrzanja u sve tri osi ( $a_{hwx}$ ,  $a_{hwy}$  i  $a_{hwz}$ ). Iz vrednovanih razina ubrzanja u sve tri osi određena je ukupna razina ubrzanja ( $a_{hv}$ ) za oba režima rada prema relaciji (Goglia, i dr. 2012).

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2}$$

- gdje su  $a_{hwi}$  – vrednovane efektivne razine ubrzanja u pojedinim osima ( $m/s^2$ ).

Tablica 1. Usporedba vibracija kod tri različita proizvođača motornih pila

Proizvođač	Tip	Godina proizvodnje	Prednja ručka		Stražnja ručka		Prosjek
			Prazni hod	Puni gas	Prazni hod	Puni gas	
STIHL	MS026	2002	4,55	2,57	4,93	2,19	3,56
STIHL	MS026	2009	4,41	1,93	4,85	1,23	3,105
STIHL	MS026	2005	5,38	2,62	3,63	1,47	3,275
JONSORED	CS2152	2010	3,57	2,4	3,56	3,16	3,1725
STIHL	MS440	2011	7,16	4,03	7,03	4,16	5,595
STIHL	MS440	2010	5,35	2,77	5,09	2,11	3,83
STIHL	MS440	2008	5,88	2,78	6,98	3,49	4,7825
JONSORED	CS2159	2009	3,39	2,91	3,72	3,61	3,4075
STIHL	MS660	2012	8,71	9,29	9,15	3,8	7,7375
STIHL	MS660	2008	7,51	7,9	6,47	4,74	6,655
STIHL	MS660	2009	9,24	5,93	10,4	3,85	7,355
HUSQARNA	375XPG	2010	5,96	3,45	6,88	3,46	4,9375

Podaci su tablično razvrstani i obrađeni u računalnom programu Microsoft Excel, pomoću kojega su određene srednje vrijednosti vibracija određenih tipova motornih pila.

Analizirano je sveukupno 12 motornih pila od 3 različita proizvođača.

### 3.2 Morfološka analiza

Morfološkom analizom utvrđuje se trenutačno stanje, svojstva i zakonitosti, ali i povijesni te mogući tijek razvoja strojeva u šumarstvu. Na temelju izabranih geometrijskih, masenih i drugih veličina izražavaju se ovisnosti i donosi sud o valjanosti izbora stroja. Rezultati provedenih analiza služe:

- ⇒ šumarskim stručnjacima pri odabiru novih strojeva,
- ⇒ najpovoljnijoj uporabi strojeva u raznim radnim uvjetima,
- ⇒ određivanju parametara pri konstrukciji novih strojeva unutar poznatih obitelji.

Istraživanje je provedeno na osnovu prikupljenih podataka o motornim pilama lančanicama. Podaci su preuzeti sa web – stranica i kataloga, proizvođača i uvoznika motornih pila. Odabrano je dvanaest osnovnih morfoloških značajka za 24 tipova motornih pila, to su: masa, snaga motora, zapremina cilindra motora, najmanja i najveća duljina vodilice, vibracije na prednjoj i stražnjoj ručki, razina buke (L<sub>pa</sub>), snaga buke (L<sub>wa</sub>), zapremina spremnika za

gorivo, zapremina spremnika za ulje, te cijena proizvoda. Od toga 10 motrnih pila STIHL, 8 motornih pila HUSQARNA te 6 motornih pila marke JONSORED. Podaci su tablično razvrstani i obrađeni u računalnom programu Microsoft Excel pomoću kojega su određene postojeće ovisnosti i dobivene regresijske jednadžbe, koje predstavljaju rezultate istraživanja. Čvrstoću odabranih regresijskih modela program prikazuje pomoću parametra  $R^2$  – kvadrat indeksa korelacije. Analizama su obuhvaćene sljedeće skupine morfoloških značajki motornih pila, i to: **tehničke značajke** (masa motorne pile, snaga motora, zapremina cilindra, zapremina spremnika za gorivo i ulje), **tehnološke značajke** (najmanja i najveća duljina vodilice), **ergonomske značajke** (buka i vibracije), **ekonomske značajke** (nabavna cijena). Istraživanjem je pojedinih ovisnosti utvrđeno da je masa najčvršći parametar koji određuje motorne pile. Stoga su ovisnosti tehničkih, tehnoloških, ergonomskih i ekonomskih morfoloških značajki iskazane u odnosu na masu motornih pila.

Bekker (1956) provodi jednu od prvih morfoloških analiza vozila za kretanje izvan putova, iznoseći mišljenje kako će objekt koji se kreće u nekom mediju poprimiti oblik koji pruža najmanji otpor kretanju. S tog se stajališta, morfološka analiza može učiniti ne samo za iskaz dostignute razine dimenzijskog razvoja vozila ili za traženje položaja nekoga vozila u skupu sličnih, već i za procjenu budućeg razvoja. On navodi kako odnos geometrijskih pokazatelja vozila, a posebice tzv. faktora noseće ploštine vozila, određuje kretnost vozila na mekim tlima.

Sever (1980) morfološkom analizom uspoređuje šumske zglobne traktore s vitlom s adaptiranim poljoprivrednim traktorima, nedvojbeno utvrdivši kako se, iako razvijeni iz poljoprivrednih traktora, skideri mogu svrstati u poseban skup/obitelj vozila koja ima svojstvene morfološke značajke. Ovu analizu proširuje (1986) i na ostala šumarska vozila pa tako i na forvardere, utvrdivši kako i obitelj forvardera također ima svojstvene morfološke značajke. Sever i Horvat (1985) pri izradi studije skidera, a za stvaranje projektnog zadatka za srednji skider, upotrebljavaju rezultate morfološke analize. Takvu analizu za proračun onih dimenzija skidera (ako nisu poznate) koje trebaju za proračun dinamičke preraspodjele opterećenja upotrebljava i Horvat (1989).

Sever i Knežević (1991) traže, između ostalog, razliku u morfološkim značajkama forvardera raznih formula pogona (4x6, 6x6 i 8x8). U ovoj analizi, kao i u ostalima gdje se slikovno iskazuju značajke obitelji vozila, najčešće se kao osnovni pokazatelj upotrebljava tzv. indeks oblika.

Sever i Horvat (1992A) prikazuju bazu podataka geometrijskih i drugih značajki skidera i forvardera. Isti autori (1992B) analiziraju temeljne morfološke značajke raznih šumskih vozila. Iznose mišljenje kako se ovakvim podacima mogu služiti konstruktori pri konstrukciji vozila i šumarski stručnjaci pri njihovu izboru. Njihovu bazu podataka forvardera proširuje Poršinsky (1996), tražeći položaj jednog tipa forvardera u cijeloj obitelji i Pentek (2008) koji radi morfološku analizu obitelji forvardera.

Istražujući i uspoređujući značajke srednjih skidera i APT-a, Horvat i Sever (1995, 1996), Horvat (1996), Sever i Horvat (1997) te Horvat i dr. (2002) upotrebljavaju morfološku analizu.

Horvat i Kristić (1999) iznose prvu morfološku analizu prorednih traktorskih skupova (traktor s poluprikolicom i hidrauličkom dizalicom) kao polazište u traženju optimalnoga rješenja za nizinske šume.

Na Šumarskom fakultetu u Zagrebu morfološka je analiza upotrebljavana i za istraživanje drugih šumskih strojeva, pa je tako Koščak i dr. (1995) rabe za šumske sitnilice, Šušnjar (1998) za šumske iverače, isti autor 2007. koristi morfološku analizu za šumske hidraulične dizalice, te 2008. za raščlambu farmerskih vitala.

Horvat (2001) morfološkom analizom utvrđuje razlike između adaptiranih poljoprivrednih traktora s ugrađenim različitim izvedbama šumskih vitala.

Horvat i Šušnjar (2001A i 2001B) prikazuju razvoj morfoloških značajki poljoprivrednih traktora, zaključujući da dostignuta raznovrsnost njihove konstrukcije omogućava izbor pogodne inačice traktora za prilagodbu za šumske radove. Isti autori (2003) rabe morfološku raščlambu u dijelu analize pogodnosti opremanja uzgojnog traktora tzv. farmi izvedbama vitla.

Granić (2013) prikazuje razvoj i morfološke karakteristike harvestera, Križanić (2013) prikazuje morfološke karakteristike harvesterskih glava, a Pandur (2013) prikazuje morfološku raščlambu forvardera.

Musić (2007) i Poršinsky i dr. (2008) pomoću morfološke analize prikazuju razvoj i utvrđuju razlike između različitih modela motornih pila lančanica.

Iz ovoga se kratkoga pregleda nekih dosadašnjih radova lako se da zapaziti kako je morfološka analiza značajna metoda u analizi pogodnosti šumskih vozila i drugih strojeva općenito.

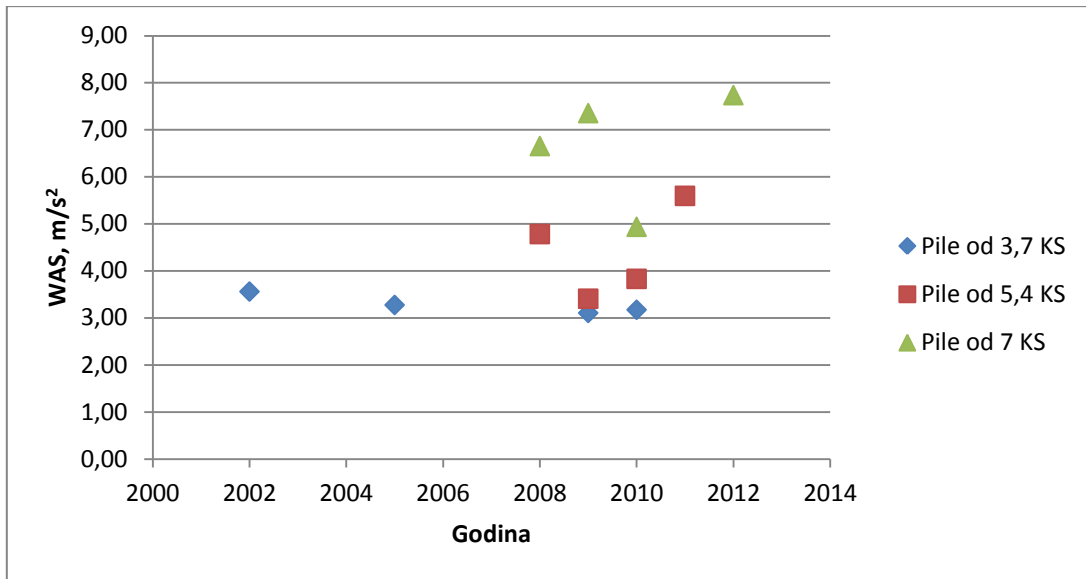
## 4 . REZULTATI I RASPRAVA

Masa je osnovna značajka svakoga radnoga stroja, koji se rabi u bilo kojoj gospodarskoj djelatnosti. Stoga su ovisnosti odabranih skupina morfoloških značajki motorne pile istražene s obzirom na njihovu masu. Morfološka raščlamba motornih pila lančanica istražena je kroz ovisnosti sljedećih skupina morfoloških značajki motornih pila, i to:

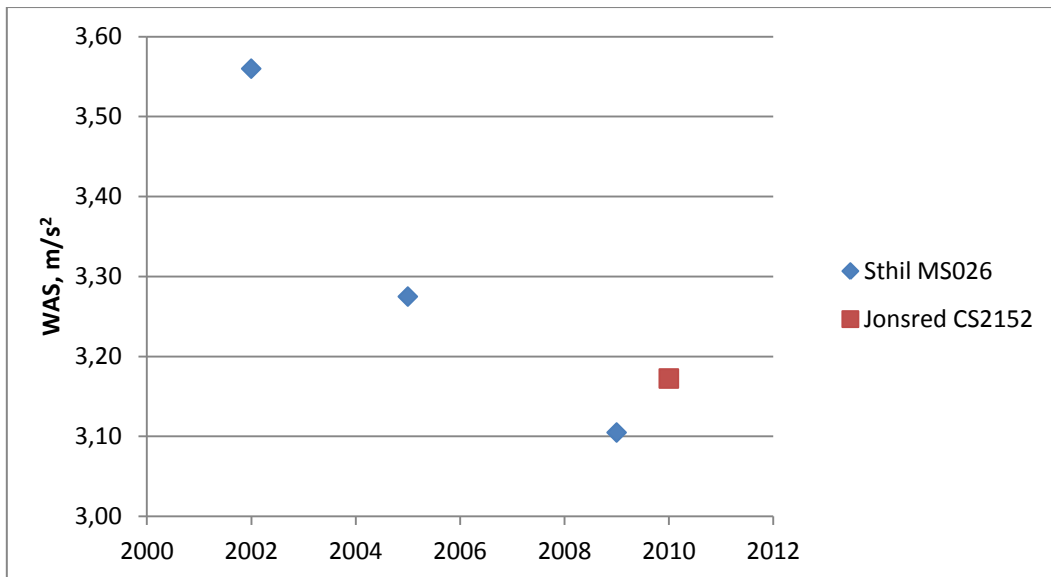
- ⇒ tehničke značajke (snaga, zapremina cilindra, zapremina spremnika za gorivo i ulje)
- ⇒ tehnološke značajke (najmanja i najveća duljina vodilice)
- ⇒ ergonomske značajke (buka i vibracije)
- ⇒ ekonomske značajke (nabavna cijena)

Na slikama od 8 do 11 je prikazana promjena vrijednosti vibracija motornih pila s obzirom na godine u upotrebi. Slika 8 prikazuje kako kod svih motornih pila ne dolazi do značajnih pogoršanja i da se ne vidi jasna razlika u vibracijama u pojedinim snagama motornih pila. Slika 9 prikazuje 2 tipa motornih pila, snage motora 3,2 KS, kod kojih ne dolazi do značajnoga pogoršanja tokom uporabe motorne pile. Slika 10 prikazuje 2 tipa motornih pila, snage motora 5,4 KS, te se mogu vidjeti razlike u vibracijama, slika nam govori kako motorne pile nešto starije mogu imati čak i manje vibracije od onih novijega godišta. Slika 11 nam također pokazuje 2 tipa motornih pila, snage motora 7 KS, kod kojih vidi se mala razlika između motornih pila unutar proizvođača, ali ne dolazi do značajnih pogoršanja u vibracijama.

Može se reci kako godina proizvodnje motornih pila, odnosno godine u upotrebi motornih pila nemaju utjecaj na vibracije, prije svega pravilno održavanje motorne pile utječe na smanjenje vibracija.

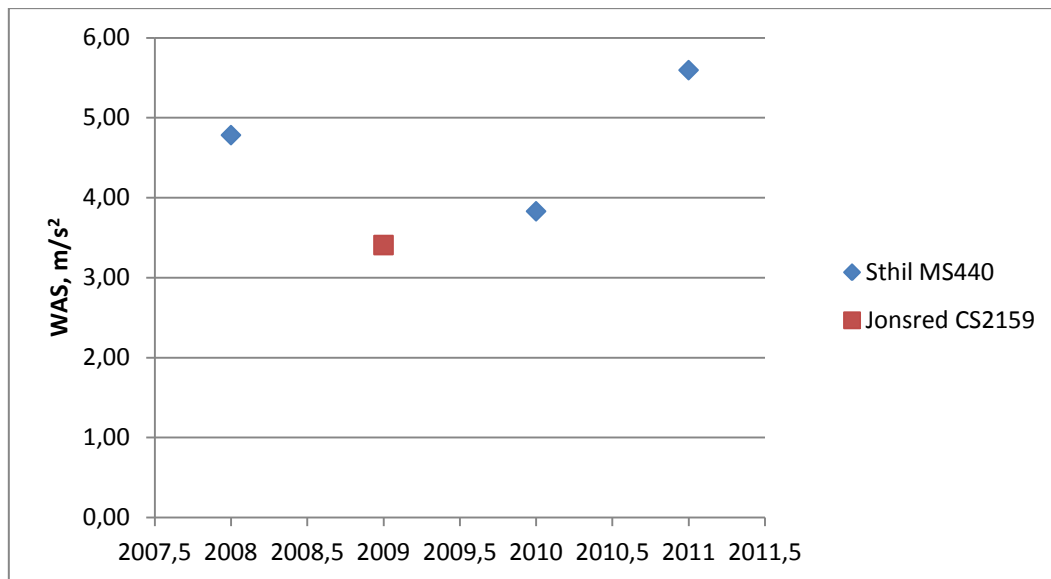


Slika 8. Promjena vrijednosti vibracija s obzirom na godine upotrebe

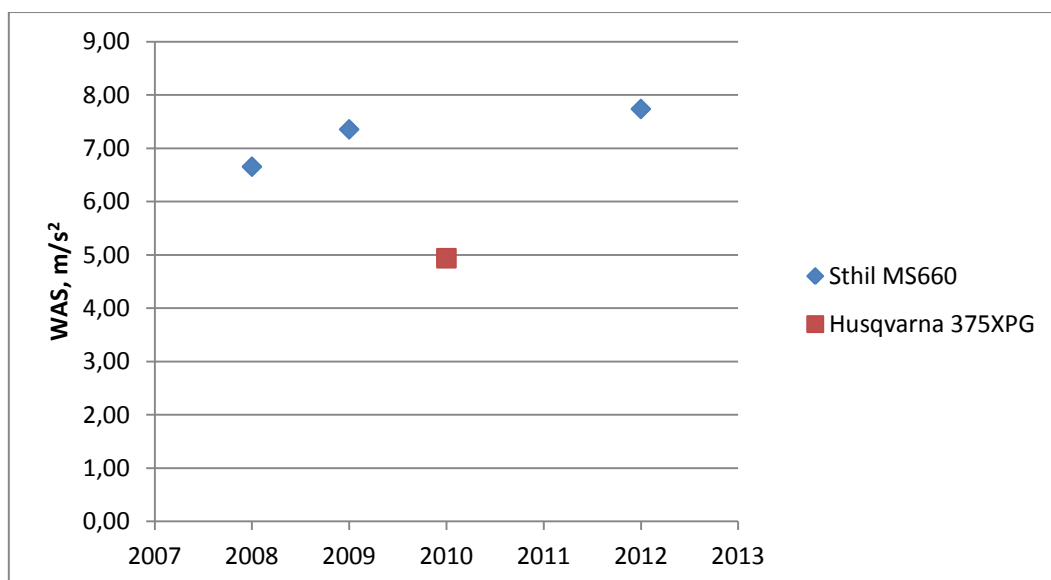


Slika 9. Promjena vrijednosti vibracija kod motornih pila snage od 3,7 KS





Slika 10. Promjena vrijednosti vibracija kod motornih pila snage od 5,4 KS

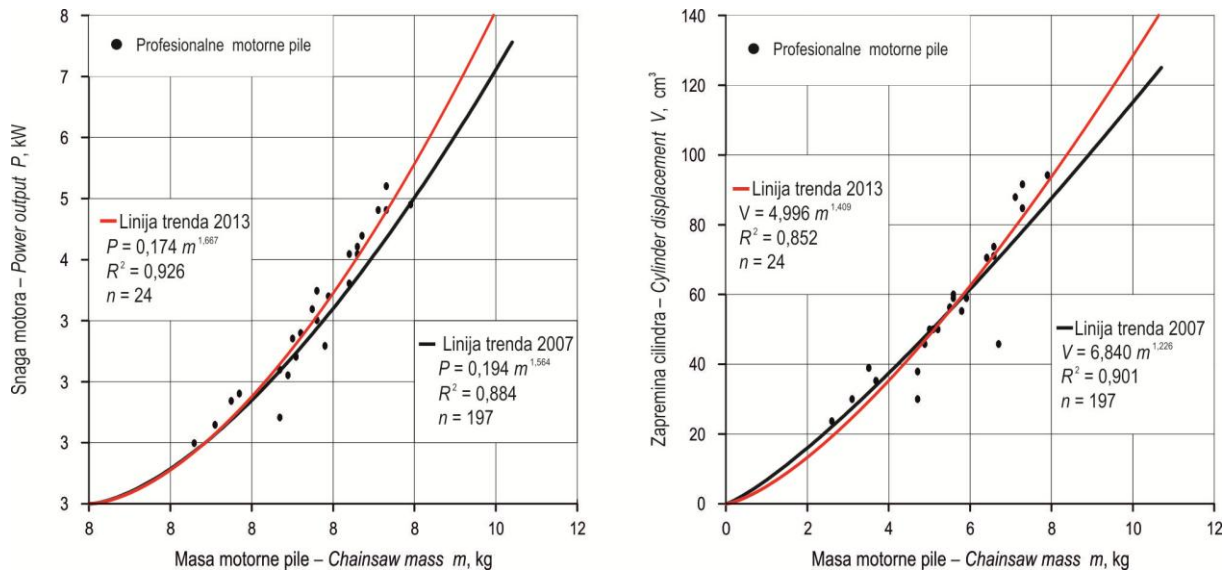


Slika 11. Promjena vrijednosti vibracija kod motornih pila snage od 7 KS

### Ovisnosti tehničkih značajki o masi motornih pila

Ovisnost snage o masi motornih pila te ovisnost zapremine cilindra motora motorne pile prikazana je na (slika 12). Ovisnost snage o masi motorne pile je izjednačena ne linearnom krivuljom jednadžbe  $P=0,174 \times m^{1,667}$ , uz potpunu čvrstoću veze izjednačenih varijabli ( $R^2 = 0,926$ ). Porastom mase motornih pila raste i snaga motora. Ovisnost zapremine cilindra motora motorne pile o masi pile također je izjednačena s krivuljom jednadžbe  $V=4,996 \times m^{1,409}$ , s indeksom korelacije  $R^2 = 0,852$ . Porastom mase motorne pile raste i zapremina cilindra motora motorne pile.

Na slici 12 također su prikazani rezultati morfološke analize provedene 2007. godine. Ako se pogleda usporedba snage i mase motornih pila, vidljivo je od 2007. do 2013. došlo do smanjenja mase motornih pila iste ste snage pogonskog motora pila koje su bile obuhvaćene analizom 2007. godine. Isto se može iščitati iz slike 12 za zapreminu cilindra motora motorne pile.

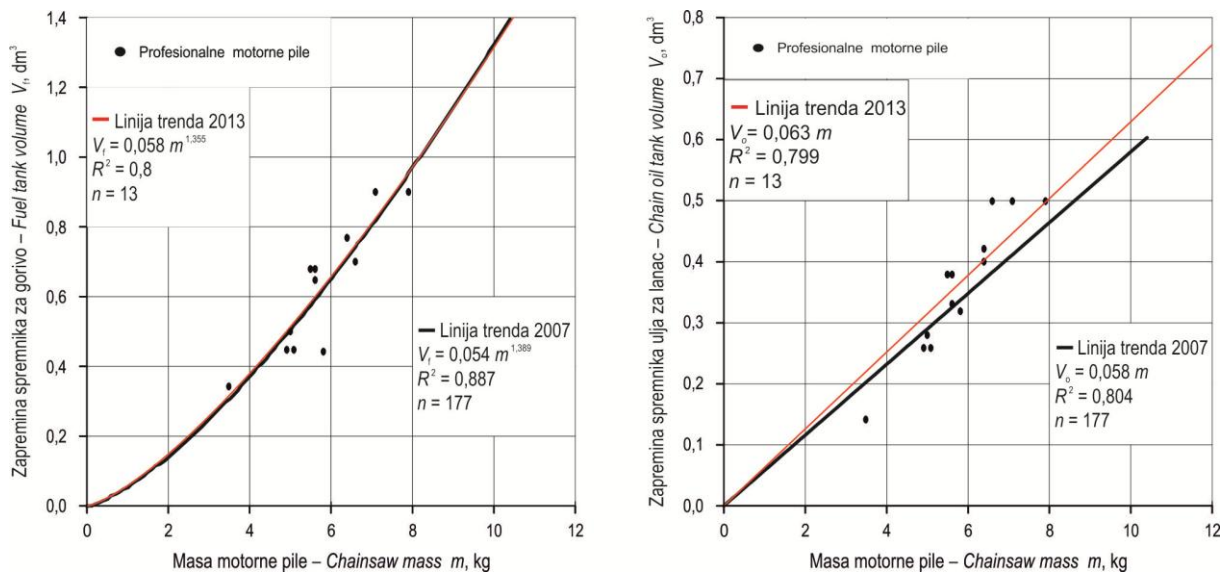


Slika 12. Ovisnost snage o masi motornih pila i zapremine cilindra motorne pile o masi

Pored glavnih tehničkih značajka, snage i zapremine cilindra motora, istražene su i zapremine spremnika za gorivo i ulje u ovisnosti s masom motorne pile (slika 13).

Ovisnost zapremine spremnika za gorivo i ulje o masi motorne pile prikazane su na slici 13, a izjednačena jednadžbom  $V_f = 0,058 \times m^{1,355}$ , uz potpunu čvrstoću veze ( $R^2 = 0,8$ ). Porastom vrijednosti mase raste i zapremina spremnika za gorivo. Usporedbom dobivenih rezultata s rezultatima morfološke analize provedene 2007. godine uočljivo je da nije došlo do promjena u odnosu zapremine spremnika za gorivo i mase motorne pile.

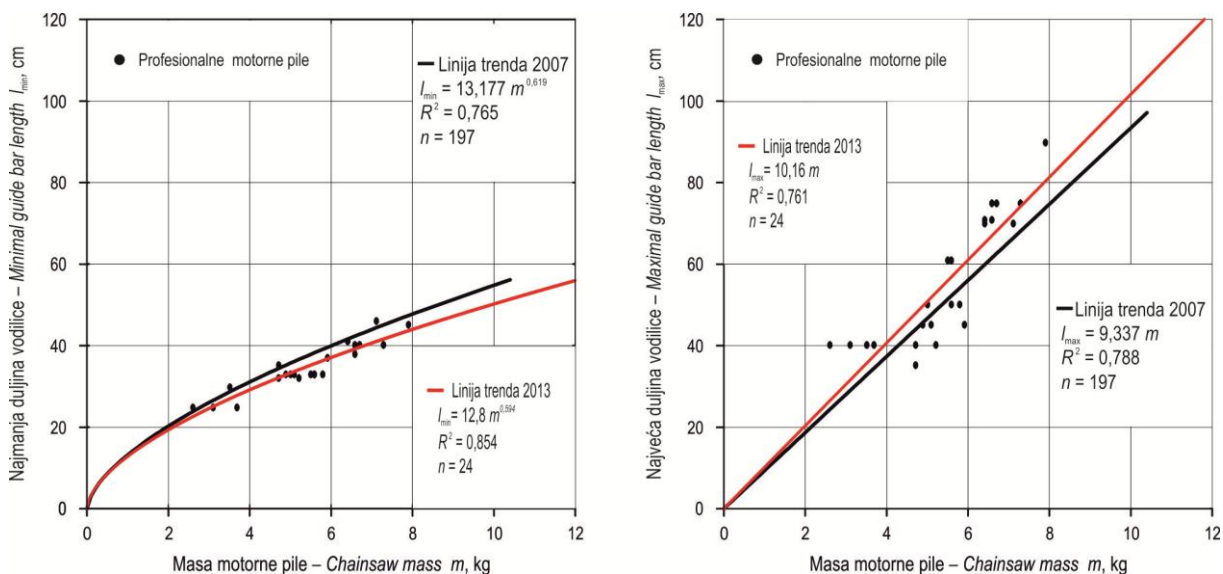
Ovisnost zapremine spremnika za ulje o masi motorne pile izjednačena je jednadžbom pravca  $V_o = 0,063 \times m$ . Porastom vrijednosti mase linearno raste i zapremina spremnika za ulje motorne pile. U usporedbi s rezultatima prethodne morfološke analize uočljivo je povećanje zapremine spremnika za ulje s obzirom na masu motorne pile. Takav trend se može objasniti na način da se povećanjem spremnika za ulje motorne pile htjelo postići poboljšano podmazivanje lanca motorne pile kako bi se u određenoj mjeri smanjile vibracije. S ergonomskog aspekta takav trend ima pozitivan utjecaj, ali s ekološkog aspekta, ako se pri rad s motornim pilama ne koristi biorazgradivo ulje, takav trend može imati negativne posljedice zbog većeg rasipanja ulja u okoliš



Slika 13. Ovisnost zapremine spremnika za gorivo i ulje o masi motornih pila

## Ovisnosti tehnoloških značajki o masi motornih pila

Duljina je vodilice, tehničko–tehnološki parametar motorne pile, koji određuje namjenu odnosno područje rada (prorede, oplodne sječe) motornih pila, a samim time postaje i bitan čimbenik pri donošenju suda o izboru prilikom nabavke opreme. S obzirom da proizvođači motornih pila iskazuju duljinu vodilice za pojedini tip pile u preporučenom rasponu (najmanja i najveća duljina) istražene su obadvije ovisnosti. Ovisnost najmanje i najveće duljine vodilice o masi motorne pile prikazane su na slici 14.



Slika 14. Ovisnost najmanje i najveće duljine vodilice o masi motornih pila

Ovisnost najmanje duljine vodilice o masi motorne pile eksponencijalnom jednadžbom  $l_{min}=12,8 \times m^{0,594}$ , uz vrlo jaku čvrstoću veze izjednačenih varijabli ( $R^2 = 0,854$ ). Porastom mase motorne pile raste i najmanja duljina vodilice, u cijelom rasponu podataka. Ovisnost najveće duljine vodilice o masi motorne pile izjednačena je jednadžbom pravca  $l_{max}=9,337 \times m$ , s indeksom korelacije  $R^2 = 0,788$ . Porastom mase motorne pile linearno raste i najveća duljina vodilice. Usporedbom s rezultatima prethodne morfološke analize može se uočiti da je da nije došlo do značajne promjene duljine vodilice s obzirom na masu motorne pile.

## **Ovisnosti ergonomske značajke o masi motornih pila**

Ergonomske su značajke motornih pila, prvenstveno buka i vibracije koje se javljaju pri njihovom radu čimbenici koji utječu na radnika. Iako se u današnje vrijeme jako puno pažnje kod razvoja motornih pila posvećuje upravo smanjenju negativnog utjecaja na ljudsko zdravlje i dalje je potrebno obratiti pažnju na ove čimbenike pri nabavci motornih pila, poradi zaštite šumskih djelatnika.

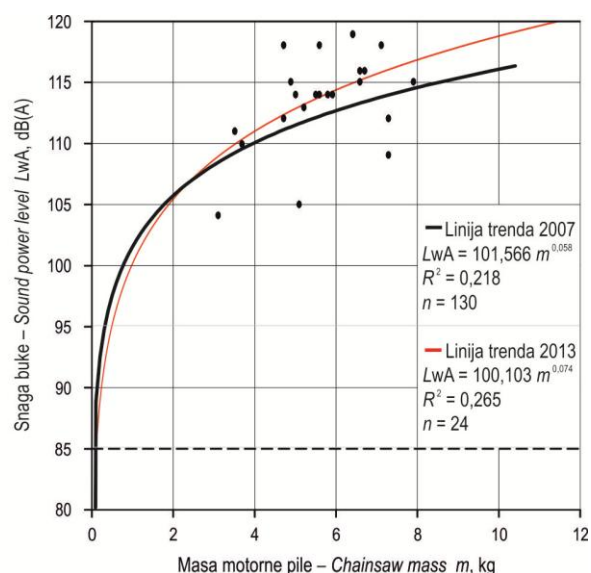
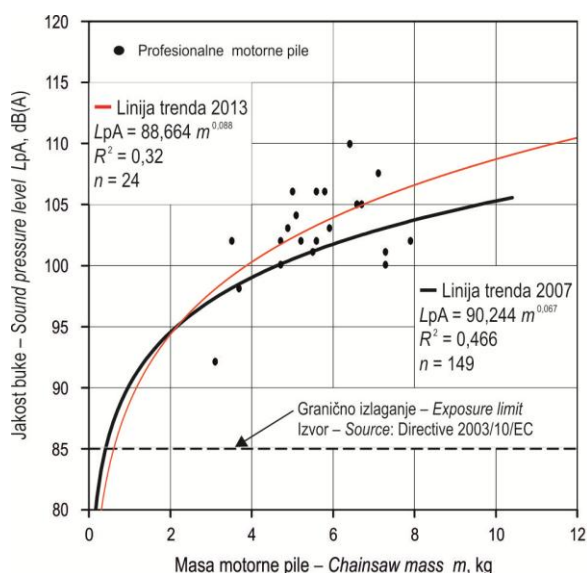
S obzirom da proizvođači motornih pila navode jakost (intenzitet) buke kao pritisak zračnog vala koji djeluje na bubnjić uha (za početnu razinu – 0 dB uzeta je granica čujnosti od 20 mPa), te kapacitet buke (zvučna snaga) koji predstavlja ukupni kapacitet izvora zvuka koji djeluje na neku površinu, koje se javljaju pri radu s motornim pilama, istražene su obje ovisnosti. Ovisnosti razine buke ( $L_{pa}$ ) i snage buke ( $L_{wa}$ ) prikazane su na slici 15.

Pored spomenutih iskaza buke, istražene su i vrijednosti vibracija koje se javljaju na prednjoj i stražnjoj ručici, a koje su prikazane na slici 16.

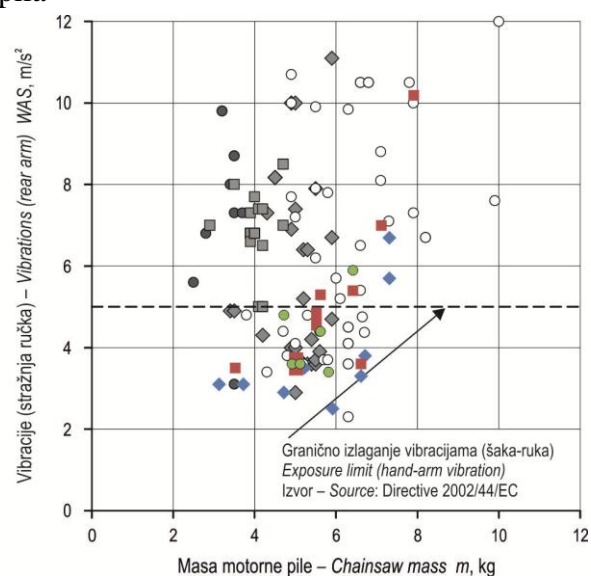
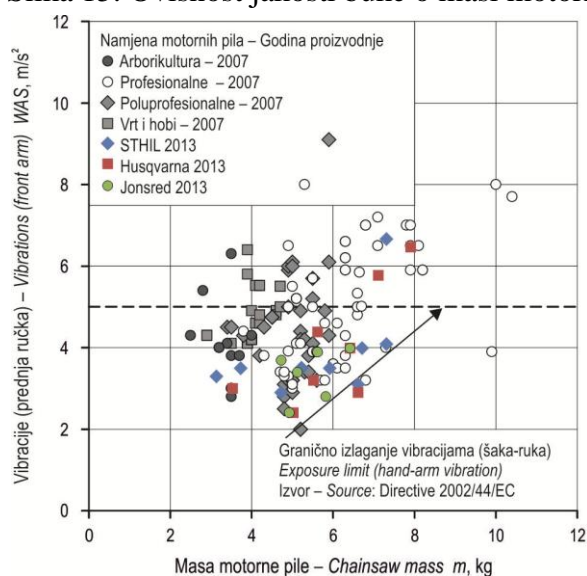
Ovisnost jakosti buke o masi motorne pile prikazana na slici 15 izjednačena je eksponencijalnom jednadžbom  $L_{pa}=88,664 \times m^{0,088}$ , uz  $R^2=0,32$ , što na kazuje da jakost buke motornih pila ne ovisi o masi motornih pila.

Na slici 15 prikazana je i ovisnost snage buke o masi motorne pile, izjednačavanje je također napravljeno pomoću eksponencijalne jednadžbe  $L_{wa}=100,103 \times m^{0,074}$  s pripadajućim  $R^2=0,265$ , iz čega se iščitava da snaga buke, kao i jakost buke motornih pila ne ovisi o masi motornih pila.

Posebno valja istaći da jakost buke i zvučna snaga u cijelom rasponu mase motornih pila prelazi dopuštenu razinu buke od 90 dB, po zakonima Republike Hrvatske i dopuštenu razinu buke od 85 dB, po Directive 2003/10 EC *On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise)*.



Slika 15. Ovisnost jakosti buke o masi motornih pila



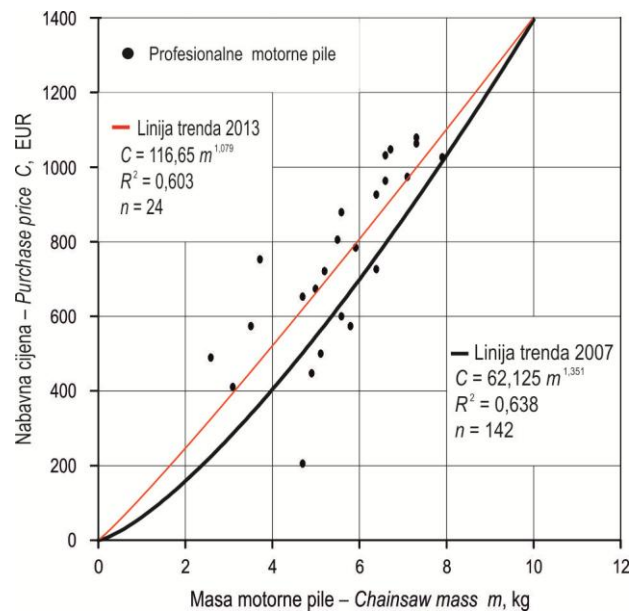
Slika 16. Ovisnost vibracija na prednjoj ručki o masi motornih pila

Ovisnost vibracija na prednjoj ručki i stražnjoj ručki motorne pile prikazana je na slici 16. Zbog velikog rasipanja podataka nije korišten ni jedan model izjednačenja te se iz slike 16 iščitava da vrijednost vibracija ne ovisi o masi motorne pile, kako na prednjoj tako i na stražnjoj ručki, što potvrđuje zaključke Musića (2007).

Usporedbom s rezultatima prethodne morfološke raščlambe moguće je uočiti smanjenje vibracija kako na prednjoj tako i na stražnjoj ručki motorne pile, što je rezultat velikih ulaganja u razvoj motornih pila, ponajprije u unaprjeđenje ergonomskih karakteristika motornih pila.

## Ovisnosti ekonomskih značajki o masi motornih pila

Cijena proizvoda je bitan ekonomski čimbenik koji zasigurno pri nabavci opreme najviše utječe na donošenje odluke koji od ponuđenih proizvoda odabrati. Proizvođači motornih pila i/ili njihovi uvoznici navode preporučene maloprodajne cijene s uračunatim porezom na dodanu vrijednost. Cijene motornih pila će se istražene su s obzirom na pripadajuće skupine u ovisnosti s masom. Ovisnost cijena o masi motornih pila prikazana je na slici 17.



Slika 17. Ovisnost cijene motorne pile o njenoj masi

Ovisnost cijena o masi motornih pila izjednačena eksponencijalnom jednadžbom  $C=0,603 \times m^{1,079}$ , uz zadovoljavajuću čvrstoću veze izjednačenih varijabli ( $R^2 = 0,603$ ). Porastom mase motornih pila raste i cijena motornih pila. U usporedbi s rezultatima koje je predstavio Musić (2007) vidljiv je porast cijene motornih pila iste mase.

## 5. Zaključci

Mjerenjem vibracija ustanovljeno je da uslijed starenja motornih pila ne dolazi ni do pogoršanja, a ni do poboljšanja vibracija motornih pila bez obzira na proizvođača.

Povećanjem mase motorne pile raste i snaga pogonskog motora motorne pile. Daljnjim razvojem motornih pila smanjuje se njihova masa dok snaga pogonskog motora ostaje ne promijenjena. Uz povećanje snage porastom mase motorne pile, povećava se i zapremina cilindra pogonskog motora motorne pile.

Porastom mase motorne pile povećava se i zapremina spremnika za gorivo i ulje motorne pile. Razvojem motornih pila zapremina spremnika za gorivo motornih pila nije se mijenjala u odnosu na masu, dok se zapremina spremnika za ulje povećala.

Duljina vodilice koje se mogu montirati na motornu pilu povećava se s porastom mase. Razvojem motornih pila nije došlo do značajne promjene duljine vodilice s obzirom na masu motornih pila.

Povećanje mase motornih pila nema utjecaj na povećanje jakosti i snage buke motorne pile, te isto tako povećanje mase motorne pile nema utjecaja na rast vibracija, kako na prednjoj tako i na stražnjoj ručci.

Cijena motornih pila raste s povećanjem mase motorne pile. Promjena odnosa cijene i mase motorne pile s obzirom na prethodno istraživanje je posljedica kretanja ukupnih cijena na svjetskom tržištu.

Kod većine motornih pila vibracije, jakost buke i snaga buke nadilaze dopuštene referentne vrijednosti.

Za očekivati je da će proizvođači motornih pila u budućnosti nastojati konstruirati pile s još boljim odnosom snage i mase. Fokus daljnjeg razvoja motornih pila bit će usmjeren na zadovoljavanje strogih ergonomskih normi, te da će se očitovati njihova briga za okoliš kroz uporabu biološki razgradivih tekućina (bioulja i biogoriva).

## 6. Literatura

1. Bekker, M., G., 1956.: Theory of Land Locomotion, Univ. of Michigan Press, 1-499
2. Goglia, V. ,2008: Učinkovitost antivibracijskih rukavica, Šumarski lista, (3-4): 115-119.
3. Goglia, V. ,2008: Učinkovitost antivibracijskih rukavica, Šumarski list, (5-6): 239-244.
4. Goglia, V., Suhomel, J., Đukić, I., Žgela, J., 2012: Izloženost vibracijama šumskoga radnika na svijetlu, Šumarski fakultet, 136(5-6): 283-289.
5. Goglia, V., Horvat, D., Zorić, M., 2012: Izvješće o ispitivanju razine vibracija na motornim pilama lančanicama u upravi šuma zagreb.
6. Granić, L., 2013: Morfološka raščlamba harvester. Diplomski rad, Šumarski fakultet u Zagrebu, (1-27).
7. Griffin, M. J., 1997: Izloženost vibracijama šumskoga radnika na svijetlu.
8. Griffin, M. J., 1990: Ocjena težine oboljenja bijelih prstiju prema Stockholm Workshop Scale.
9. Horvat, D., 1989: Prediction of Tractive Performance for a four-wheel Drive Skidder. International seminar "Forestry transporting machinery and terrain interaction", College of forestry Garpenberg, Sweden, str. 1-12.
10. Horvat, D., 2001: Morfološke značajke adaptiranih poljoprivrednih traktora s ugradnjom različitih vitala (Morphological characteristics of adapted farming tractors equipped with different winches), Znanstvena knjiga "Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama", str. 525 – 533
11. Horvat, D., Sever, S., 1995: Some Properties of the Skidders used in Mountain Forest Stand Thinning, dobrovoljni referat na XX. IUFRO kongresu, Tampere, Finska, str 211-216
12. Horvat, D., Sever, S., 1996: Neke tehničke značajke traktora za privlačenje drva u prorjedama sastojina brdsko-planinskog područja, Šumarski list, 120(3-4): 157-162.
13. Horvat, D., 1996: Tractive parameters of four skidders used for wood transportation in mountain forest thinning, ECE/FAO/ILO & IUFRO Seminar on environmentally sound forestry roads and wood transportation, Sinaia, Rumunjska, str 377-381
14. Horvat, D., Kristić, A., 1999: Research of some morphological features of thinning tractor assemblies with semi-trailer [Istraživanje nekih morfoloških značajki prorjednih traktorskih skupova s poluprikolicom], Zbornik sažetaka na IUFRO



- savjetovanju "Emerging Harvesting Issues in Technology Transition at the End of Century", Opatija, 99 – 100.
15. Horvat, D., Šušnjar, M., 2001: Morphological analysis of farming tractors used in forest works, 35. Internationales wissenschaftliches symposium - FORMEC 2001, Mendel University of Agriculture and Forestry Brno, p. 27 – 38.
  16. Horvat, D., Šušnjar, M., 2001: Neke značajke poljoprivrednih traktora prilagođenih šumskim radovima (Some characteristics of farming tractors used in forest works), Znanstvena knjiga "Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama", str. 535 – 544.
  17. Horvat, D., Goglia, V., Šušnjar, M., 2002: Some technical and ergonomic characteristics of thinning skidder Ecotrac, International conference "Logistic of wood technical production in the carpathian mountains", Zvolen, Slovakia, str. 80-93
  18. Horvat, D., Šušnjar M., 2003: Comparison between some technical characteristics of STEYR farming tractor equipped with 3 variants of tajfun farmi winches and with fixed TIGAR winch, Proceedings of Joint FAO/ECE/ILO & IUFRO Workshop on operation improvements in farm forests, Logarska dolina (Slovenija), pp. 83-95.
  19. Kacijan, N., 1999: Forestry workers exposure to vibration in the context of directive 2002/44/EC
  20. Koščak, B., Horvat D., Sever, S., 1995: Morfološka rasčlamba tehničkih značajki rotositnilica (Morphological Analysis of Malching Flail Mower Technical Characteristics), Mehanizacija šumarstva, Vol. 20, No. 3, str. 137-144
  21. Kranjec, J., 2011: Povijest motornih pila. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu,(1-36).
  22. Križanić, I., 2013: Morfološka raščlamba harvesterških glava. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu,(1-37).
  23. Musić, I., 2007: morfoloska raščlamba motornih pila. Diplomski rad, Šumarski fakultet u Zagrebu,(1-29).
  24. Pandur, Z., 2013: Primjena komercijalnog sustava za praćenje rada strojeva u istraživanju izvoženja drva forvarderom. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 232-240.
  25. Pentek, M., 2008: Morfološka raščlamba obitelji forvardera. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1-28.
  26. Poršinsky, T., 1996: Forwarder application to wood transportation in Croatia. Proceedings "Progresses in Forest Operations", Ljubljana, Slovenija, 133 – 141

27. Poršinsky, T., Stankić, I., Bosner, A., Pentek, T., 2008: Morphological Analysis of Chainsaws. Proceedings of the 3rd International Scientific Conference FORTECHNEVI 2008. Editors: Skoupy, A., Machal, P., Marecek, L., Brno, Mendel University of Agriculture and Forestry, 2008. 380-380.
28. Sever, S., 1980: Istraživanje nekih eksploatacijskih parametara traktora kod privlačenja drva. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1 – 301.
29. Sever, S., 1986: Morphological characteristics of logging machines (Morfološke karakteristike strojeva eksploatacije šuma). Zbornik radova 18th IUFRO World Congress, Division 3, Forest operations and Techniques, Ljubljana s. 9-20.
30. Sever, S., Horvat, D., 1985: "Šumski zglobni traktor snage oko 60 kW", Studija, Zagreb, ZIŠ, str. 1-187.
31. Sever, S., Horvat, D., 1992: Skidders and forwarders data base as source and help in determining morphological relationships. Proceedings of IUFRO workshop „Computer supported planning of roads and harvesting“, Feldafing, Germany, 196 – 200.
32. Sever, S., Horvat, D., 1992: Logging wheeld tractor data bank for assistance in machine family evaluation. Proceedings of IUFRO – IUFRO workshop „Computer supported planning of roads and harvesting“, Feldafing, Germany, 281-288.
33. Sever, S., Horvat, D., 1997: Choosing and Application of Forest Soft Machines, 7th European ISTVS Conference, 7-10. October, 1997, Ferrara, Italy, 549-556.
34. Šušnjar, M., 1998: Istraživanje ovisnosti nekih tehničkih značajki iverača morfološkom raščlambom. Mehanizacija šumarstva. 23 (3-4), 139-150.
35. Sever, S., Knežević, I., 1991: Form index as a possible criterion for classification off-road vehicles. 5th European Conference ISTVS, Budapest, Volume II, 468 – 476.
36. Šušnjar, M., Horvat, D., Grahovac, I., 2007: Morfološka raščlamba šumskih hidrauličnih dizalica. Nova mehanizacija šumarstva 28: 15 – 26.
37. Šušnjar, M., Borić, D., 2008: Morfološka raščlamba farmerskih vitala. Nova mehanizacija šumarstva 29: 29 – 35.
38. ISO 10819-1996: Ispitivanje prigušnih svojstava antivibracioni rukavica.
39. "Pravilnik o zaštiti radnika od rizika zbog izloženosti vibracijama na radu" (NN 55/2008).
40. Zakon o zaštiti na radu (NN 59/96, 94/96, 114/03, 86/08, 75/09, 143/12).
41. <http://www.eurovrt.hr/default/proizvodi/lancane-pile/profesionalna-upotreba.html?p=2>
42. [http://www.agro-honor.hr/kategorija/10-Motorne\\_pile\\_svestrane](http://www.agro-honor.hr/kategorija/10-Motorne_pile_svestrane)

43. <http://www.hajster-servis.hr/modeli/motorne-pile/motorne-pile/7.html>
44. [www.getsaws.com](http://www.getsaws.com)
45. Stihl, 2013: Katalog.
46. Husqarna, 2013: Katalog.
47. Jonsered, 2013: Katalog.