

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN
OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Žiga ŠVIGELJ

**VPLIV TEHNIČNIH ELEMENTOV VERIGE
MOTORNE ŽAGE NA OBREMENTVE DELAVCA S
TRESENJEM**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2014

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN
OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Žiga ŠVIGELJ

**VPLIV TEHNIČNIH ELEMENTOV VERIGE MOTORNE ŽAGE NA
OBREMENITVE DELAVCA S
TRESENJEM**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

**IMPACT OF TECHNICAL ELEMENTS OF CHAINSAW CHAIN ON
EXPOSURE TO VIBRATION**

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2014

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega strokovnega študija gozdarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za gozdno tehniko in ekonomiko Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF UL je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Igorja Potočnika, za somentorja dr. Antona Pojeta.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Žiga ŠVIGELJ

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMATIKA

- ŠD Dv1
- DK GDK 302:362.7(043.2)=163.6
- KG tresenje/obremenitev s tresenjem/motorna žaga/brušenje verige/ergonomija
- AV ŠVIGELJ Žiga
- SA POTOČNIK, Igor (mentor) / POJE, Anton (somentor)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
- LI 2014
- IN VPLIV TEHNIČNIH ELEMENTOV VERIGE MOTORNE ŽAGE NA OBREMENITVE DELAVCA S TRESENJEM
- TD Diplomsko delo (Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja)
- OP VIII, 53 str., 28 pregl., 29 sl., 17 vir.
- IJ sl
- Jl sl/en
- Al Namen in cilj diplomske naloge je bil ugotoviti, kako različna priprava verige motorne žage, tip verige in drevesna vrsta vplivajo na obremenitve delavca s tresenjem, rok in dlani. Za ugotavljanje obremenitev delavca s tresenjem med prežagovanjem se je uporabilo prizmiran les jelke in bukve, ki se ga je predhodno prizmiralo s krožno tračno žago, na dimenzije 32 cm x 32 cm, napake lesa se je tekom poskusa izločilo. Za potrebo poskusa se je za prežagovanje uporabilo motorno žago Husqvarna 372 xp, na kateri je bila nameščena letev Stihl dolžine 45 cm, z 1,6 mm utorom ter verige proizvajalcev Stihl in Oregon, katere se je predhodno nabrusilo pod tremi različnimi koti ostrine rezilca in tremi različnimi globinami globinskih zob. Meritve se je opravljalo z merilnikom tresenja Pulse LAN Xi proizvajalca Brüel & Kjær, ki je bil povezan preko kabla z akcelerometrom, nameščenega na vodilnem ročaju motorne žage. Rezultati analize so pokazali, da je jakost tresenja ob neupoštevanju višine globinskih zob najmanjša pri kotih ostrine rezilca, kot jih priporoča proizvajalec verige. Ob upoštevanju višine globinskih zob pa jakost tresenja manjša pri nižjih globinskih zobih in manjših kotih ostrine rezilca, kot jih priporoča proizvajalec verige. Pri prežagovanju z verigami Oregon je jakost tresenja manjša kot z verigami Stihl ter manjša pri obdelavi jelke kot bukve. Ugotovitve raziskave so uporabne za zmanjšanje obremenitev rok in dlani profesionalnega gozdnega delavca in občasnega uporabnika motorne žage.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dv1

DC FDC 302:362.7(043.2)=163.6

CX vibration /exposure to vibration/chainsaw/sharpening/ergonomics

AU ŠVIGELJ Žiga

AA POTOČNIK, Igor (supervisor) / POJE, Anton (co-supervisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Forestry and
Renewable Forest Resources

PY 2014

TI IMPACT OF TECHNICAL ELEMENTS OF CHAINSAW CHAIN ON EXPOSURE
TO VIBRATION

DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)

NO VIII, 53 p., 28 tab., 29 fig., 17 ref.

LA sl

AL sl/en

AB The purpose and the aim of the thesis was done to determine how different preparations of a chain of the chainsaw, the type of the chain and the tree species affect on the worker who is exposed to vibration of his hands and palms. To determine the exposure to vibration during crosscutting prismatic wood of fir and beech has been used, which was previously shaped by circular band saw to the dimensions of 32 cm x 32 cm, errors of wood were eliminated during the experiment. For the experiment the chainsaw Husqvarna 372 XP was used for crosscutting, on which the rack Stihl of 45 cm length, with 1.6 mm groove and the chains of Stihl and Oregon was placed, which were previously sharpened under three different angles of sharpened blade and three different depths of deep teeth. Measurements were carried out with - Pulse LAN Xi manufactured by Brüel & Kjær, which was connected through the cable to the accelerometer which was installed at the forefront handle of the chainsaw. The results of the analysis showed that the intensity of vibration, not taking into account the height of the depth of teeth is the lowest at the corners of the sharpened blade as recommended by the chain manufacturer. Taking into account the height of deep teeth the intensity of shaking is weaker with lower depth of teeth and smaller corners of the focus of blade as recommended by the chain manufacturer. At crosscutting with Oregon chains the intensity of vibration is smaller than the Stihl chains and lower at processing of fir and beech. The research findings are useful for reducing the burden of the hands and palms of a professional forest worker and the occasional chainsaw user.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMATIKA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VI
KAZALO SLIK.....	VIII
1 UVOD.....	1
2 NAMEN IN HIPOTEZE DIPLOMSKE NALOGE.....	2
3 DOSEDANJE RAZISKAVE	3
4 METODE DELA	6
4.1 KRAJ IN PRIPRAVA DELA.....	6
4.2 SHEMA POSKUSA	7
4.3 OPIS DELOVNIH SREDSTEV	9
4.3.1 Opis motorne žage in upravljavca	9
4.3.2 Opis in priprava verig.....	10
4.4 PRIPRAVA IN POTEK MERITEV	16
4.5 MERILNE NAPRAVE	19
4.6 OBDELAVA PODATKOV	19
5 REZULTATI	22
5.1 Vpliv kota ostrine rezilca na obremenitev delavca s tresenjem.....	22
5.2 Vpliv višine globinskega zoba na obremenitev delavca s tresenjem.....	25
5.3 Vpliv tipa verige na obremenitev delavca s tresenjem	30
5.4 Vpliv drevesne vrste na obremenitev delavca s tresenjem.....	36
6 RAZPRAVA	46
7 SKLEPI.....	49
8 POVZETEK	50
9 VIRI.....	52
ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Shematski prikaz poskusa	8
Preglednica 2: Test značilnosti razlik v jakosti tresenja glede na kot ostrine rezilca	23
Preglednica 3: Test značilnosti razlik v jakosti tresenja glede na kot ostrine rezilca po smereh X, Y, Z	24
Preglednica 4: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na znižan globinski zob.....	25
Preglednica 5: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na znižan globinski zob po smereh X, Y, Z	27
Preglednica 6: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,45 mm	29
Preglednica 7: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,65 mm	29
Preglednica 8: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,85 mm	29
Preglednica 9: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na proizvajalca - tip verige, po smereh X, Y, Z in skupaj	31
Preglednica 10: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,45 mm ter verigami Stihl.....	33
Preglednica 11: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,65 mm ter verigami Stihl.....	33
Preglednica 12: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,85 mm ter verigami Stihl.....	33
Preglednica 13: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,45 mm ter verigami Oregon	34
Preglednica 14: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,65 mm ter verigami Oregon	35
Preglednica 15: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,85 mm ter verigami Oregon	35
Preglednica 16: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na drevesno vrsto, po smereh X, Y, Z in skupaj ...	37
Preglednica 17: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,45 mm, verigami Stihl in bukviyo	39
Preglednica 18: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,65 mm, verigami Stihl in bukviyo	39
Preglednica 19: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,85 mm, verigami Stihl in bukviyo	39
Preglednica 20: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,45 mm, verigami Stihl in jelko	40
Preglednica 21: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,65 mm, verigami Stihl in jelko	41
Preglednica 22: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,85 mm, verigami Stihl in jelko	41
Preglednica 23: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,45 mm, verigami Oregon in bukviyo	42
Preglednica 24: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,65 mm, verigami Oregon in bukviyo	43
Preglednica 25: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,85 mm, verigami Oregon in bukviyo	43
Preglednica 26: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,45 mm, verigami Oregon in jelko.....	44

Preglednica 27: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,65 mm, verigami Oregon in jelko.....	45
Preglednica 28: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,85 mm, verigami Oregon in jelko.....	45

KAZALO SLIK

Slika 1: Postavitev prizem jelke in bukve na stojala in prikaz načina vpetja prizem (Foto: M. Dužnik).....	6
Slika 2: Motorna žaga Husqvarna 372XP (Foto: Ž. Švigelj)	9
Slika 3: Skale za nastavitev posameznih kotov na stroju za brušenje Stihl (Navodila za uporabo stroja Stihl USG, str. 13)	12
Slika 4: Distanca za brušenje rezilca verige (Navodila za uporabo stroja Stihl USG, str. 13)	12
Slika 5: Kontrola dolžine rezilca s kljunastim merilom (Navodila za uporabo stroja Stihl USG, str. 12)	13
Slika 6: Stroj za brušenje verig Stihl USG (Foto: Ž. Švigelj)	13
Slika 7: Koti ostrine rezilcev verig Oregon 15°, 25°, 35° (Foto: Ž. Švigelj)	14
Slika 8: Koti ostrine rezilcev verig Stihl 20°, 30°, 40° (Foto: Ž. Švigelj).....	14
Slika 9: Globinski zob znižan za 0,45 mm (Foto: Ž. Švigelj)	15
Slika 10: Globinski zob znižan za 0,65 mm (Foto: Ž. Švigelj)	15
Slika 11: Globinski zob znižan za 0,85 mm (Foto: Ž. Švigelj)	15
Slika 12: Preverjanje napetosti verige s pomočjo uteži in šablone (Foto: Ž. Švigelj).....	17
Slika 13: Položaj nahrbtnika, v katerem je merilna naprava med meritvijo (Foto: M. Dužnik).....	18
Slika 14: Položaj akcelometra na vodilnem ročaju za potrebe meritev (Foto: A. Poje).....	19
Slika 15: Določevanje trajanja prereza.....	20
Slika 16: Težko določanje trajanja prereza	20
Slika 17: Jakost tresenja glede na kot ostrine rezilca	22
Slika 18: Jakost tresenja glede na kot ostrine rezilca po smereh X, Y, Z.....	24
Slika 19: Jakost tresenja glede na znižan globinski zob.....	25
Slika 20: Jakost tresenja glede na znižan globinski zob po smereh X, Y, Z	26
Slika 21: Jakost tresenja glede na razmerje med koti ostrine rezilca in globinskimi zobi.....	28
Slika 22: Jakost tresenja glede na tip verige, po smereh X, Y, Z in skupaj.....	30
Slika 23: Jakost tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskimi zobi ter verigami Stihl	32
Slika 24: Jakost tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskimi zobi ter verigami Oregon.....	34
Slika 25: Jakost tresenja glede na drevesno vrsto po smereh X, Y, Z in skupaj	36
Slika 26: Jakost tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskimi zobi, verigami Stihl in bukvijo	38
Slika 27: Jakost tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskimi zobi, verigami Stihl in jelko.....	40
Slika 28: Jakost tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskimi zobi, verigami Oregon in bukvijo	42
Slika 29: Jakost tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskimi zobi, verigami Oregon in jelko	44

1 UVOD

Uporaba motorne žage namesto ročnega orodja, kot sta sekira in ročna žaga, je pozitivno vplivala na produktivnost profesionalnega gozdarskega sekača, žal pa je prispevala tudi k povečani škodljivosti dela na njegovo zdravje in posledično tudi na pojav poklicnih bolezni. Tako so se povečale predvsem obremenitve s hrupom, tresenjem in izpušnimi plini. Kljub stalnemu kakovostnemu in uspešnemu tehničnemu razvoju motornih žag težavnost dela in obremenitve v večini primerov še vedno presegajo zakonsko določene ali dogovorjene dopustne meje. Tako na primer pri redni uporabi motorne žage prihaja do prevelikih obremenitev rok in dlani, kar pa posledično pripomore k poklicni bolezni sekača, k tako imenovani bolezni » beli prsti oz. belina prstov rok « (Žandar, 2004). Zato je pomembno, da sta za varno in zdravo delo motorna žaga in veriga pravilno vzdrževani in veriga pravilno nabrušena (Bajc, 2005).

Ustrezno vzdrževana motorna žaga in pravilno nabrušena veriga zagotavljata hitro in učinkovito rezanje. Nepravilno ali slabo nabrušena veriga uporabniku otežuje delo, saj se zaradi slabega učinka rezanja poveča trajanje rezanja, poveča se možnost izrabe in poškodb verige in meča, zmanjša se produktivnost dela, poveča se poraba goriva in pa poveča se tudi možnost poškodb uporabnika motorne žage. Zato je pomembno, da je veriga pravilno ali dobro nabrušena, saj nam pri rezanju motorne žage ni potrebno močno potiskati v rez, ampak reže pod svojo lastno težo.

Zato želimo z diplomsko nalogo ugotoviti, kako pri prežagovanju na obremenitve delavca s tresenjem motorne žage vplivajo koti ostrine rezilcev, višine globinskih zob, tip verig dveh vodilnih in konkurenčnih proizvajalcev verig in dve najbolj pogosti drevesni vrsti v Sloveniji. S tem želimo dodati delček k skupnemu znanju o vplivih in ukrepih za učinkovito zmanjševanje obremenitev rok in dlani profesionalnega gozdarskega delavca.

2 NAMEN IN HIPOTEZE DIPLOMSKE NALOGE

Namen diplomske naloge je ugotoviti, kako različna priprava verige motorne žage, tip verige in drevesna vrsta vplivajo na obremenitve delavca s tresenjem rok in dlani.

Glede na namen raziskave smo postavili dve hipotezi:

1. obremenitve delavca s tresenjem se povečujejo z višinsko razliko med rezilcem in globinskim zobom verige motorne žage,
2. obremenitve delavca s tresenjem so manjše pri večjih kotih rezilca verige motorne žage.

add (1) Hipoteza temelji na predpostavki, da motorna žaga pri nižjih globinskih zobih vedno težje reže les ter posledično poskakuje v rezu.

add (2) Hipoteza temelji na predpostavki, da pri večjem kotu ostrine rezilca rezilec postopno odreže les ter s tem zmanjša tresenje motorne žage.

3 DOSEDANJE RAZISKAVE

Na področju obremenitev gozdnega delavca s tresenjem rok in dlani je bilo v preteklih letih v Sloveniji (Lipoglavšek, 1994, 1995, Žandar, 2004, Šilc, 2011,) in v tujini (Evropska agencija za varnost in zdravje pri delu, 2008, Dukić, 2010, Pitts, 2004) narejenih kar nekaj raziskav, vendar le nekaj takšnih, ki bi obravnavale vpliv priprave verige na obremenitev delavca s tresenjem.

V raziskavi iz leta 2010 so ugotavljali odvisnost med koti brušenja verige in jakostjo tresenja motorne žage (Stemski, Jabłoński in Wegner, 2010). Za raziskavo so uporabili pet verig Oregon 21BP, ki so jih nabrusili pod različnimi koti 20°, 25°, 30°, 35° in 40°. Uporabili so motorno žago Husqvarna 254, na kateri je bila nameščena letev Oregon dolžine 15". Meritve tresenja so izvajali med žaganjem borovih hlodov brez lubja premera od 24 cm do 26 cm in za vse meritve izvedli v skladu s standardom PN-91/N-01352 iz leta 1991. Pri raziskavi so za vsak posamezen kot izvedli 36 meritev (18 meritev na nosilnem ročaju in 18 na vodilnem ročaju motorne žage).

Ugotovili so statistično značilen vpliv kotov brušenja na jakost tresenja na nosilnem in vodilnem ročaju. Vrednosti pospeškov tresenja so se na nosilnem ročaju gibale med 1,9 in 4,8 m/s⁻¹, medtem ko so bile vrednosti na vodilnem ročaju nekoliko večje in so se gibale med 2,8 in 6 m/s⁻¹. Ugotovitve in raziskave so pokazale tudi, da je največja variabilnost vrednosti pospeškov tresenja na nosilnem ročaju bila izmerjena za kote 25°, 35° in 40° pri osi x, za os y pri kotu 30°, ter za os z pri kotu 20°, kjer pa je koeficient variabilnosti presegel 40%. Na vodilnem ročaju pa so zabeležili najvišje vrednosti pospeškov tresenja za smer osi x pri kotu 25°, osi y pri kotu 30° in pri osi z pri kotu 35°.

Iz raziskave so ugotovili:

1. da so razlike statistične med jakostjo tresenja in koti brušenja, med mestom merjenja in med smermi tresenja,
2. da so jakosti tresenja, ki so bile izmerjene na nosilnem ročaju v smeri osi x in z in na vodilnem ročaju v smeri osi x in y močno povezane s koti brušenja,

3. da so obremenitve s tresenjem rok in dlani med samim poskusom presegale dovoljeno mejo osemurnega dela,
4. da je kot brušenja pomembno vplival na jakost tresenja in ga je potrebno upoštevati,
5. da je možno uporabiti tudi druge kote brušenja in ne le samo tistega, ki ga navaja proizvajalec.

Poleg te raziskave je bila narejena raziskava na temo pomembni parametri, ki vplivajo na jakost tresenja motornih žag (Goglia, 1996). Namen raziskave je bil ugotoviti, kateri parameter odločilno vpliva na jakost tresenja. Izbrali so naslednje parametre: upravljavec motorne žage, napetost verige, dolžina meča, količina goriva in maziva v rezervoarju in način držanja motorne žage. Za izvedbo so uporabljali delno motorno žago Stihl 044 AVEQ, na kateri so ugotavljali vpliv upravljavca žage, natezne sile in dolžine letve na jakost tresenja. Meritve so izvajali na nosilnem in vodilnem ročaju, ko je bila motorna žaga v prostem teku in ob največjem številu vrtljajev. Drugi del meritev, kako vpliv količine goriva in maziva in vpliv načina držanja žage vpliva na jakost tresenja, pa so izvajali na motorni žagi Stihl 034 AVEQ. Meritve so beležili samo na vodilnem ročaju ter pri delovanju žage v prostem teku pri največji moči motorja in pri največjem številu vrtljajev. Za vsak način so izvedli osem ponovitev.

Analiza je pokazala, da je bila jakost tresenja v prostem teku večja ($4,39 \text{ m/s}^2$) kot pri največji obremenitvi motorne žage ($2,71 \text{ m/s}^2$). Prav tako so ugotovitve pokazale, da tudi dolžina meča zelo pomembno vpliva na jakost tresenja. Tako je bila jakost tresenja žage v prostem teku na nosilnem in vodilnem ročaju pri dolžini letve 52 cm večja kot pri dolžini letve 40 cm. Ko pa je žaga delovala pri največjih obratih, je bila jakost tresenja pri daljši dolžini letve manjša. Vpliv količine goriv in maziva v rezervoarju in način držanja motorne žage prav tako vplivata na jakost tresenja. Pri prislonjeni žagi se jakost tresenja poveča, pri odmaknjeni pa zmanjša. Pri polnem rezervoarju goriva in maziva je jakost tresenja manjša, pri praznem rezervoarju goriva in maziva pa se jakost tresenja značilno poveča. Pri analizi vpliva napetosti verige pa so ugotovitve pokazale na neznčilne razlike v jakosti tresenja rok in dlani.

Namen zadnje najdene raziskave je bil ugotoviti, kako so parametri nabrušenosti verige povezani z jakostjo tresenja, ki se prenašajo na roke upravljavca (C. Dessureault, Laperriere in Vincent, 1988). Za meritve so uporabili motorno žago Husqvarna 266 SE, na katero so imeli nameščeno letev Oregon 16" in na njem verigo Model Super 70-72LP. Za potrebe meritev so uporabili 11 verig, vsako verigo pa so le enkrat nabrusili pod določenimi pogoji brušenja, da ne bi prišlo do prevelike obrabe. Za parametre nabrušenosti pa so uporabljali standarde ISO/TC 23/SC 17. Meritve so izvajali na kvadratnem kosu lesa kanadske smreke v izmeri 33cm x 33cm in z motorno žago je upravljala samo ena oseba. Umirjanje žage je potekalo v skladu z navodili proizvajalca. Pred vsakim začetkom preizkusa so napolnili rezervoar goriva in maziva in žago ogreli na delovno temperaturo.

Pri analizi podatkov so ugotovili, da je pri enaki vrsti lesa in pri uporabi iste motorne žage in upravljavca, najmanjša jakost tresenja ($6,52 \text{ m/s}^2$) pri kotu ostrine rezilca (30°) in znižanem globinskem zobu 0,38 mm, največja ($11,90 \text{ m/s}^2$) pa pri istem kotu ostrine in najnižjem globinskem zobu 0,78 mm. Ugotovili so, da na jakost tresenja višina globinskega zoba vpliva bolj kot kot ostrine rezilca in kot grebenski kot.

4 METODE DELA

4.1 KRAJ IN PRIPRAVA DELA

Celotna priprava dela in meritve so potekale na žagarskem obratu LOMAR s. p. v Begunjah pri Cerknici. Za potrebe poizkusa je bilo potrebno izbrati najbolj kakovostna sortimenta iglavcev in listavcev s čim manj napak in grč. Izbrali in uporabili smo les navadne jelke (*Abies alba*) in bukve (*Fagus sylvatica*), katerega smo prizmirali na dimenzije 32 x 32 cm. Prizmiranje se je izvajalo s krožno tračno žago. Prizmi smo skladiščili približno 3 mesece na suhem pod pokrito lopo.

Pred meritvami smo prizme jelke in bukve, ki so bile dolge 6 m in 7,5 m, prerezali na tri enako dolge kose. Vseh šest kosov prizem smo postavili na stojala in jih trdno vpeli s pritrdilnimi pasovi. Na eno stojalo smo pritrdili tri kose prizem jelke in na drugega kose bukve. Prizme so bile zaradi lažje izvedbe meritev postavljene na višino 1 m nad tlemi (slika 1).



Slika 1: Postavitev prizem jelke in bukve na stojala in prikaz načina vpetja prizem (Foto: M. Dužnik)

4.2 SHEMA POSKUSA

Shema poskusa je enaka shemi, ki jo je v svoji diplomski nalogi opisal Dužnik (2013), saj smo sočasno izvajali meritve za obe nalogi. Dužnik je v svoji diplomski nalogi ugotavljal, kako priprava verige vpliva na učinkovitost prežagovanja. Poskus smo oblikovali kot popolni štirifaktorski poskus s petimi ponovitvami (preglednica 1). Tako nam je prvi dejavnik predstavljala drevesna vrsta na dveh nivojih: jelka in bukev, drugi faktor tip verige dveh proizvajalcev, prav tako na dveh nivojih: Oregon in Stihl, tretji faktor kot ostrine rezilcev na treh nivojih oz. pri treh različnih kotih ostrine ter četrti faktor višina globinskega zoba pri treh različnih višinah. Skupno smo tako oblikovali ($2 \times 2 \times 3 \times 3$) 36 različnih kombinacij vplivnih faktorjev. Za namen statističnih obdelav smo vsako kombinacijo petkrat ponovili, kar pomeni, da smo pri vsaki drevesni vrsti opravili pet rezov z isto verigo. Za namen raziskave smo tako skupno izvedli 180 prežagovanj.

Preglednica 1: Shematski prikaz poskusa

DR. VRSTA	VERIGA	KOT OSTRINE REZILCA (°)	GLOBINSKI ZOB (mm)	OZNAKA
IGLAVCI	OREGON 75 LPX	15	0,45	45-O-J
			0,65	65-O-J
			0,85	85-O-J
		25	0,45	45-O-J
			0,65	65-O-J
			0,85	85-O-J
		35	0,45	45-O-J
			0,65	65-O-J
			0,85	85-O-J
	STIHL 36 RSC	20	0,45	45-S-J
			0,65	65-S-J
			0,85	85-S-J
		30	0,45	45-S-J
			0,65	65-S-J
			0,85	85-S-J
		40	0,45	45-S-J
			0,65	65-S-J
			0,85	85-S-J
LISTAVCI	OREGON 75 LPX	15	0,45	45-O-B
			0,65	65-O-B
			0,85	85-O-B
		25	0,45	45-O-B
			0,65	65-O-B
			0,85	85-O-B
		35	0,45	45-O-B
			0,65	65-O-B
			0,85	85-O-B
	STIHL 36 RSC	20	0,45	45-S-B
			0,65	65-S-B
			0,85	85-S-B
		30	0,45	45-S-B
			0,65	65-S-B
			0,85	85-S-B
		40	0,45	45-S-B
			0,65	65-S-B
			0,85	85-S-B

4.3 OPIS DELOVNIH SREDSTEV

4.3.1 Opis motorne žage in upravljavca

Celotno pripravo dela in prežagovanje prizem pri samem poskusu je opravil avtor te naloge. Po izobrazbi je gozdarski tehnik. Visok je 180 centimetrov, težiak 89 kilogramov in ni kadilec. V času meritev je uporabljal osebno varovalno opremo, tako kot jo uporabljajo profesionalni poklicni sekači. Opremljen je bil z varovalnimi hlačami s protivrežno mrežico, zaščitnimi gozdarskimi čevlji s kapico iz umetne mase, zaščitno gozdarsko jakno, rokavicami in zaščitno čelado z glušniki in zaščitno mrežico.



Slika 2: Motorna žaga Husqvarna 372XP (Foto: Ž. Švigelj)

Upravljavec je na meritvah uporabljal lastno motorno žago znamke Husqvarna tip 372XP. Motorna žaga je imela v času meritev nameščeno 45-centimetrovsko letev Stihl ter različne tipe verig. Motorna žaga je bila stara pol leta in je imela opravljenih zelo malo obratovalnih ur.

Tehnični podatki motorne žage Husqvarna 372 XP (Totum d.o.o., 2013):

- moč: 3,9 kW,
- prostornina valja: 70,3 cm³,
- max. priporočena hitrost: 13 500 obr.,

- prostornina rezervoarja goriva: 0,77 l,
- prostornina rezervoarja olja: 0,40 l,
- pogonski korak: 3/8"
- primerljiv nivo tresljajev (nosilni/vodilni ročaj): $3,1 \text{ m/s}^2$ / $4,6 \text{ m/s}^2$,
- pritisk hrupa na uporabnikova ušesa 103 dB(A),
- zajamčena moč zvoka, LWA: 115 dB(A),
- teža žage brez rezalnega pribora (meč, veriga): 6,1 kg.

4.3.2 Opis in priprava verig

Za potrebe diplomske naloge smo uporabili nove verige, 9 verig proizvajalca Stihl tipa Oliomatic RSC 3 - Rapid Super Comfort 3 in 9 verig proizvajalca Oregon tipa 75 LPX.

Tehnični podatki verig:

Stihl 36 RSC3 (Stihl katalog 2012, Unicommerce, 2013):

- standardna 3/8 rezalna veriga za profesionalno uporabo,
- izdelana po osnovi zmogljive verige Rapid Super,
- zmogljiva veriga s spremenjenim pogonskim členom,
- zagotavlja manjši povratni udarec,
- izjemno dobri rezalni in vbodni učinki za mehek rez,
- zagotavlja do 30 % nižjo stopnjo tresljajev,
- debelina pile: 5,2 mm,
- kot ostrine rezilca: 30° ,
- višina globinskega zoba: 0,65 mm.

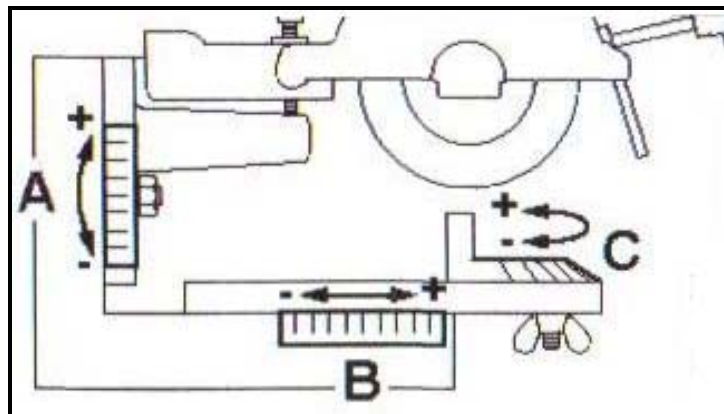
Oregon 75 LPX (Katalog proizvodov OREGON, 2012):

- standardna 3/8 rezalna veriga za profesionalno uporabo,
- zelo zmogljiva rezila s kvadratnimi rezalnimi robovi na rezilcu,
- blažilni členi zmanjšajo povratni sunek,
- vibe-Ban™ oblika pete rezilca zmanjšuje vibracije na ročajih za 25 % ali več,
- verižni členi Lubrilink™ pomagajo zadrževati olje na verigi tam, kjer je najbolj potrebno,

- oznaka vrhnje plošče rezila Witness mark olajša ostrenje,
- debelina pile: 5,5 mm,
- kot ostrine rezilca: 25°,
- višina globinskega zoba: 0,65 mm.

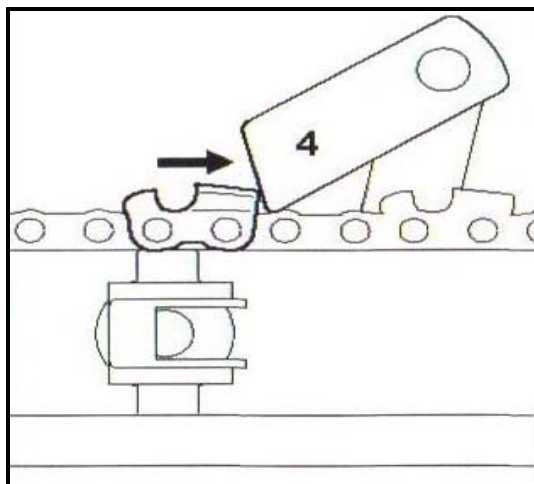
Pravilno vzdrževana in nabrušena veriga motorne žage je zelo pomemben element, saj zelo zmanjšuje verjetnost, da bi prišlo do povečanja tresenja in posledično poškodb sekača oziroma delavca z motorno žago. Kot vemo, pri ročnem brušenju verig z okroglo pilo, nikoli ne nabrusimo vsak rezilec popolnoma enako, kaj šele, da bi nabrusili vsako verigo enako in kakovostno. Zato smo za potrebe diplomske naloge vse verige nabrusili strojno z ročnim strojem za brušenje verig proizvajalca Stihl modela USG. Le tako smo lahko verige nabrusili enako kakovostno, enakomerno in pod pravimi želenimi koti.

Brušenje je potekalo tako, da smo najprej v strojček vpeli verigo Oregon, nato smo brusilni stroj nastavili na zelene kote, ki jih priporoča proizvajalec stroja za brušenje verig. Namen vsake posamezne skale prikazane na sliki 3 je drugačen. Tako je skala A namenjena za spreminjanje bočnega kota rezilca in smo jo nastavili na kot + 40°. Skalo B smo premikali glede na stran rezilcev. Tako smo kot pri brušenju levih rezilcev nastavili na +10°, pri brušenju desnih pa na -10°. S skalo C spreminjamo kot ostrine rezilcev. Za verigo pod kotom brušenja 15° je bilo za leve rezilce potrebno nastaviti na +15°, za desne rezilce pa na -15°. Najmanjši kot, ki smo ga brusili, je znašal 15° in največji 40°. Po nastavitvi skale A smo nastavili pri vsaki verigi še skalo B in C, ki smo ju premikali glede na stran rezilcev in na kot ostrine rezanja.



Slika 3: Skale za nastavitve posameznih kotov na stroju za brušenje Stihl (Navodila za uporabo stroja Stihl USG, str. 13)

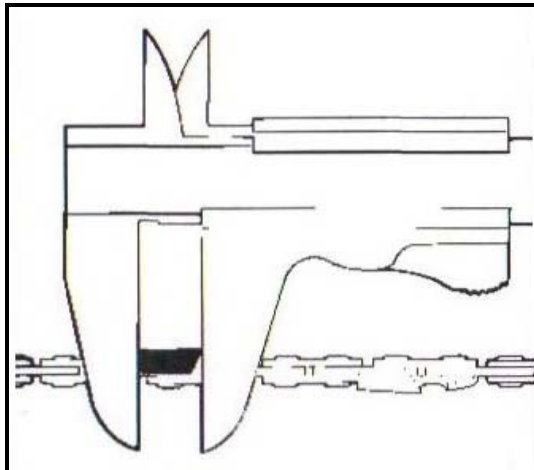
Po nastavitvah skal A, B in C je bilo potrebno nastaviti še distanco, da je stroj minimalno odbrusil rezilce. Z distanco smo zagotovili, da se je rezilec minimalno odbrusilo stran in s tem smo zagotovili tudi enako dolžino vseh rezilcev na verigi.



Slika 4: Distanca za brušenje rezilca verige (Navodila za uporabo stroja Stihl USG, str. 13)

Po nastavitvi vseh kotov in dolžin se je pričelo brušenje levih rezilcev na verigi. Kot prvo smo začeli brusiti verigo na kot ostrine rezanja 15° . Po koncu brušenja levih rezilcev smo na stroju premaknili kot na skali C (slika 3) na drugo stran na kot 15° in začeli še z brušenjem desnih rezilcev na verigi. Ko smo končali z brušenjem, smo s pomočjo digitalnega kljunastega merila preverili dolžino rezilcev. Dolžino smo preverjali na vrhu rezilca pri konici. Pri verigah Oregon smo vse rezilce nabrusili na dolžino 6,5 mm, pri

verigah Stihl pa na 8,5 mm. Za zagotovitev enake dolžine rezilcev ter možnosti za želenih višin globinskih zob smo vse rezilce najprej nabrusili na najmanjše kote ostrin.

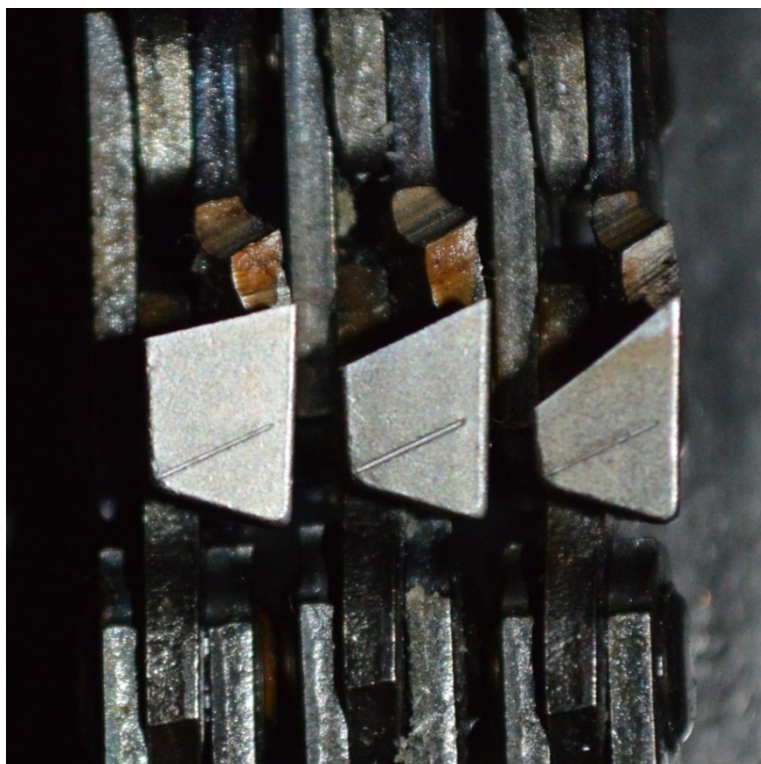


Slika 5: Kontrola dolžine rezilca s kljunastim merilom (Navodila za uporabo stroja Stihl USG, str. 12)

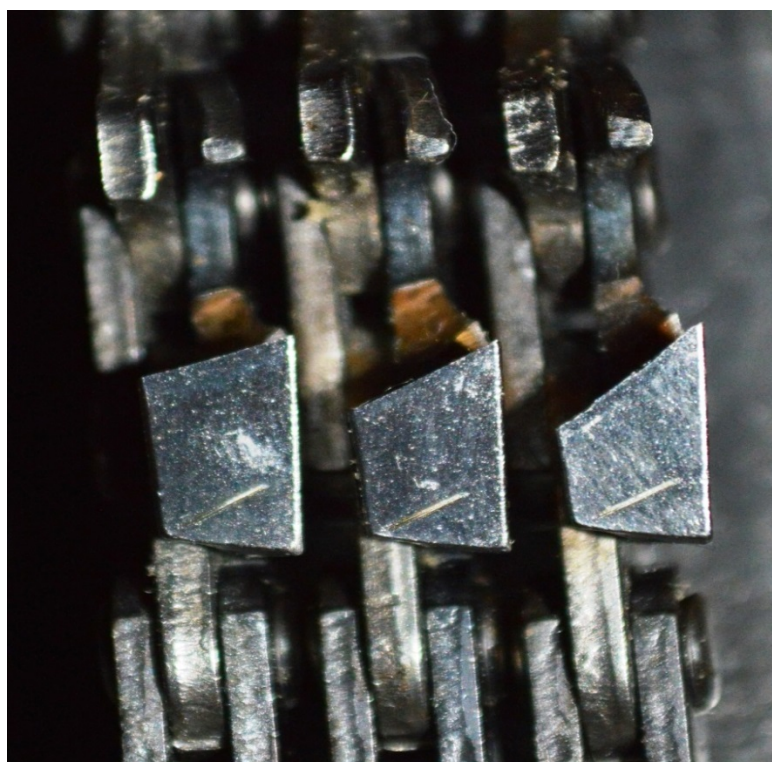
Za vse verige je brušenje potekalo po enakem postopku, razlikovali so se samo koti ostrine rezanja. Verige Oregon smo brusili na kote ostrine rezilca 15°, 25° in 35°, verige Stihl pa 20°, 30° in 40°. Po končanem strojnem brušenju verig je bilo potrebno vsem verigam potrebno primerno znižati globinske zobe.



Slika 6: Stroj za brušenje verig Stihl USG (Foto: Ž. Švigelj)

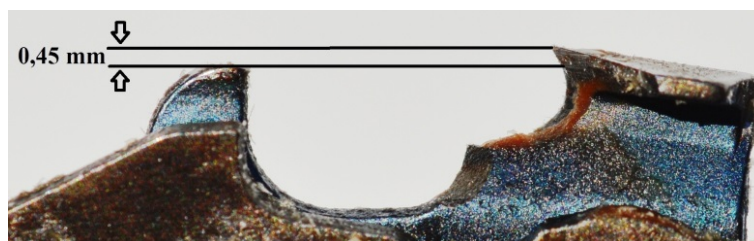


Slika 7: Koti ostrine rezilcev verig Oregon 15°, 25°, 35° (Foto: Ž. Švigelj)

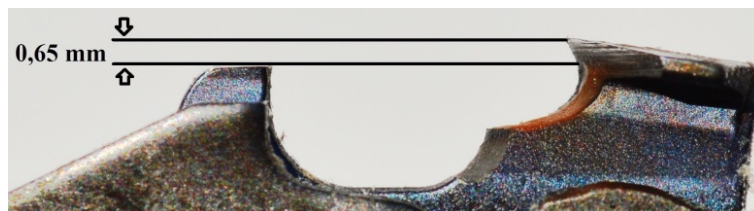


Slika 8: Koti ostrine rezilcev verig Stihl 20°, 30°, 40° (Foto: Ž. Švigelj)

Pred brušenjem globinskih zob smo si pripravili šablone. Tako smo pri pripravi šablone za znižanje zob na 0,45 mm novi šablone dodali dve plasti lepilnega traku in tako dobili želeno razliko do rezilca. Za zniževanje globinskih zob smo uporabili novo šablono, medtem ko smo za zniževanje globinskih zob na 0,85 mm razlike do višine rezilca novo šablono pobrusili za 0,20 mm. Brušenje globinskih zob je potekalo tako, da smo najprej na vsaki verigi ročno s ploščato pilo znižali vse leve globinske zobe in še nato desne na zelene mere (slika 9, 10, 11). Na koncu smo z digitalnim kljunastim merilom preverili višino globinskih zob.



Slika 9: Globinski zob znižan za 0,45 mm (Foto: Ž. Švigelj)



Slika 10: Globinski zob znižan za 0,65 mm (Foto: Ž. Švigelj)



Slika 11: Globinski zob znižan za 0,85 mm (Foto: Ž. Švigelj)

4.4 PRIPRAVA IN POTEK MERITEV

Za potrebe diplomske naloge smo meritve na terenu opravljali samo en dan. Na dan meritev je bilo potrebno pred začetkom meritev postaviti šest kosov prizem na dve stojali vseh in jih pritrditi s pritrdilnimi pasovi. Nato smo vsako čelo prizme označili po vrstnem redu od 1 do 10, na čelih številka 11 in 12 pa smo odvzemali žagovino za diplomsko nalogo, priprava verige in njen vpliv na učinkovitost prežagovanja (Dužnik, 2013). Prizme smo označili izmenično glede na drevesno vrsto. Izmenično glede na proizvajalca ter nato glede na kot ostrine in višino globinskega zoba smo po vrstnem redu označili tudi vse verige. Za odstranjevanje igle, ki lahko nastane pri brušenju rezilcev, smo pred začetkom izvedbe prežagovanja pripravili 4 m dolgo prizmo velikosti 5 x 5 cm. Po končanih pripravah orodja in prizem je bilo potrebno še opremiti upravljavca motorne žage z meritvenimi napravami. Ko smo pripravili vse potrebno, smo pričeli z izvedbo poskusa.

Potek izvedbe poskusa z eno verigo:

1. Namestitev verige na motorno žago.
2. Napenjanje verige s pomočjo uteži in šablone.
3. Napolnitev rezervoarja za gorivo in olje.
4. 2x prerez prizme 5 cm x 5 cm.
5. Prežagovanje prvih 5 prizem.
6. Ponovno napenjanje verige s pomočjo uteži in šablone.
7. Prežagovanje prizem od 5. prizme pa do zadnje 10. prizme.

Poskus smo začeli z namestitvijo verige in napenjanjem verige. Za zagotovitev enake napetosti verige med poskusom smo verigo napeli s pomočjo naključno izbrane uteži teže 1135 gramov. Le-to smo obesili na sredini označenega dela letve za verigo ter verigo napeli tako, da smo med verigo in letev lahko vstavili šablono debeline 5 mm. Letev smo pri tem držali navzgor. Nato smo napolnili rezervoar za gorivo in olje, prižgali motorno žago in dvakrat prerezali prizmo za odstranjevanje igle, ki nastane med brušenjem.



Slika 12: Preverjanje napetosti verige s pomočjo uteži in šablone (Foto: Ž. Švigelj)

Nato smo začeli izvajati meritve tresenja. Prežagovanje smo začeli na prizmi številka ena. Upravljavec je postavil motorno žago na vrh prizme, dodal plin in počakal na znak merilca tresenja. Ob znaku merilca meritev je upravljavec motorno žago pod polnim plinom prislonil na prizmo in prvih nekaj centimetrov prežagovanja držal motorno žago z obema rokama, z levo za nosilni ročaj in z desno roko za vodilni ročaj. Ko je bila letev že dovolj globoko v rezu, je upravljavec motorno žago izpustil na nosilnem ročaju in jo držal samo za vodilni ročaj tako, da je motorna žaga prežagovala pod svojo lastno težo. Upravljavec je z desno roko držal samo vodilni ročaj, imel plin na žagi do konca in nadzoroval, da ne bi žaga preveč zahajala levo ali desno med prežagovanjem (slika 13).



Slika 13: Položaj nahrbtnika, v katerem je merilna naprava med meritvijo (Foto: M. Dužnik)

Nekaj centimetrov pred koncem prereza je upravljavec z levo roko na rahlo prijel za nosilni ročaj, da ne bi po koncu prereza letev in veriga udarila ob tla in se bi tako veriga poškodovala. Po končanem prerezu se je upravljavec premaknil do prizme številka dve in tako ponovno začel s prežagovanjem po istem postopku kot pri prizmi številka ena. Ko smo končali s prežagovanjem prizme številka pet, smo motorno žago ugasnili in zaradi raztezanja verigo ponovno pravilno napeli s pomočjo uteži in šablone in izvedli isti postopek napenjanja, kot smo ga izvedli na začetku, ko smo verigo namestili na motorno žago. Nato smo ponovno vžgali motorno žago in izvedli prereze še za zadnjih pet prizem, prereze smo vse izvajali po istem postopku. Po zaključku dela smo zamenjali verigo in ponovili postopke, ki smo jih opravili pri prežagovanju s prvo verigo. Celoten potek meritev tresenja smo za namen kontrole posneli z video kamero, čase prežagovanja pa s štoparico.

4.5 MERILNE NAPRAVE

Za meritve tresenja rok in dlani smo uporabili merilnik tresenja Pulse LAN Xi proizvajalca Brüel & Kjær. Merilnik, ki je bil nameščen v nahrbtniku, je bil preko kabla povezan z akcelometrom, preko brezžičnega usmerjevalnika pa z mobilnim telefonom. Postavljen sistem je omogočil daljinsko upravljanje merilnika tresljajev brez odvečnih zastojev dela.

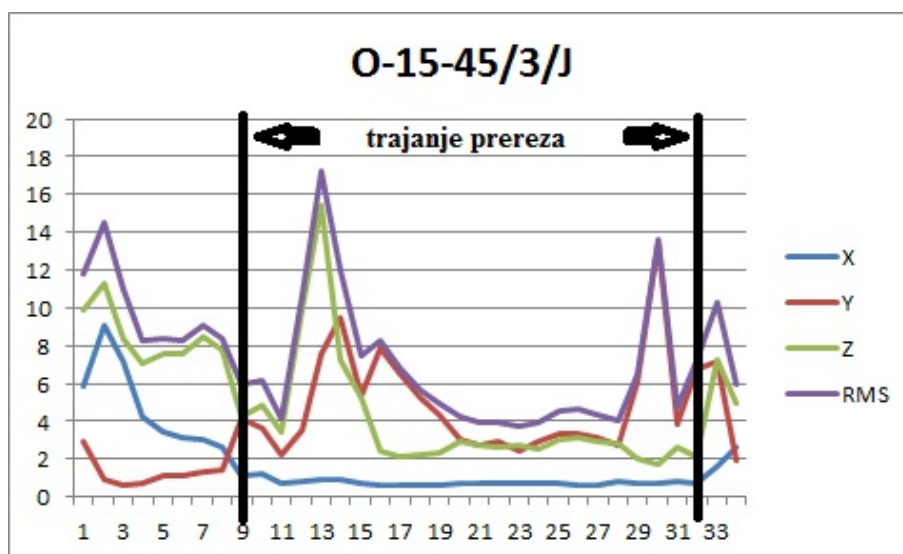
Senzor tresljajev oz. akcelometer 4524-B-001 proizvajalca Brüel & Kjær smo namestili na vrh vodilnega ročaja (slika 14) motorne žage tik nad upravljavčevo desno roko, s katero je držal vodilni ročaj.



Slika 14: Položaj akcelometra na vodilnem ročaju za potrebe meritev (Foto: A. Poje)

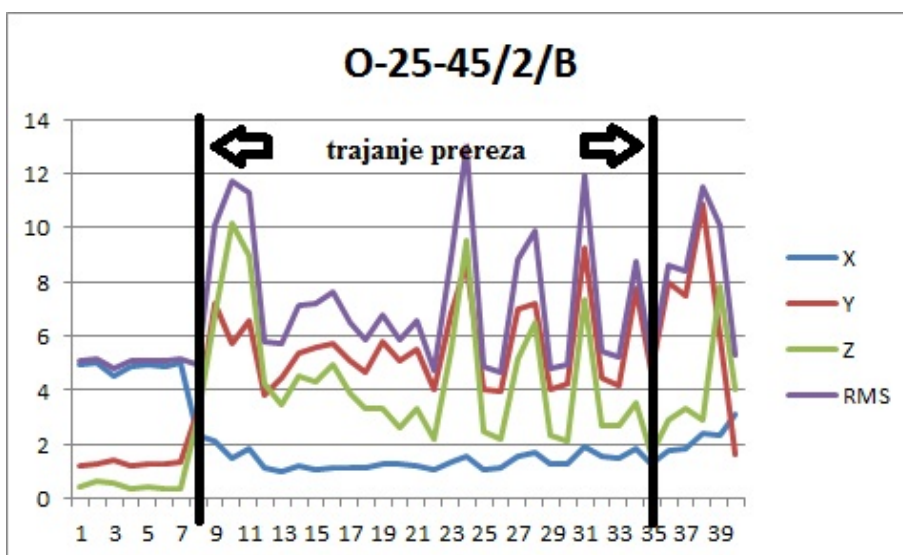
4.6 OBDELAVA PODATKOV

Osnovni podatki iz merilnika tresenja so se s pomočjo programa Pulse Reflex proizvajalca Brüel & Kjær obdelali tako, da smo pridobili tehtane jakosti tresenja po vseh treh smereh (RMS X, RMS Y, RMS Z) in skupno (RMS VTV) za vsako sekundo snemanja tresenja. V programu Microsoft Excel smo za vsak prerez izdelali grafikon, s pomočjo katerega smo določili začetek in konec prereza.



Slika 15: Določevanje trajanja prereza

Začetek prereza se je začel takrat, ko so se vrednosti tresenja v X smeri zmanjšale na najnižjo raven tresenja in se končal takrat, ko so se vrednosti v isti smeri občutno povečale (slika 15).



Slika 16: Težko določanje trajanja prereza

V nekaj primerih smo imeli težave pri določevanju začetka in konca prežagovanja, saj je bil potek jakosti tresenja v X smeri neznačilen. V teh primerih smo si pomagali z

zabeležkami o trajanju prežagovanja in video posnetki. Primer težjega določevanja trajanja časa pa je razviden na (sliki 16).

Za vsak prerez smo izračunali povprečno vrednost jakosti tresenja po vseh treh smereh in skupno (= vektorska velikost) po spodnji enačbi.

$$RMS[m/s^2]_{prerez} = \frac{\sum RMS_i}{N}$$

RMS povprečna jakost tresenja enega prereza

RMS_i i-ta jakost tresenja v sekundnem intervalu v času prereza

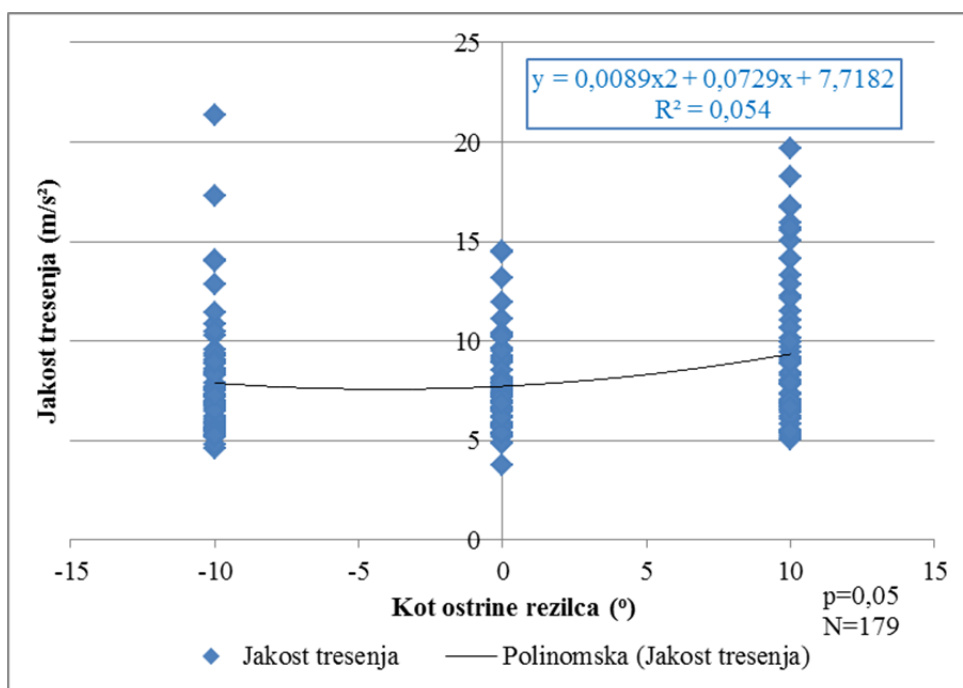
N število i-sekundnih intervalov v času prereza

Pri statističnih obdelavah smo uporabili deskriptivne metode za opis podatkov, t'-test za preverjanje značilnosti razlik med srednjimi vrednostmi in Bonferroni korekcijo, ki je zmanjšala značilnost tveganja pri 5% tveganju zavrnitve hipoteze na 1,7% pri primerjanju treh kotov ostrine rezilca (= razlike med dvema sredinama so bile značilne, če je bilo tveganje pod 1,7%).

5 REZULTATI

Rezultate vpliva tehničnih elementov verige motorne žage na obremenitev delavca s tresenjem smo razčlenili na način, da so glavni vplivi: kot ostrine rezilca, višina globinskega zoba, tipa verige in drevesne vrste, prikazani v posameznih poglavjih, vmes pa so prikazani še rezultati interakcij oz. medsebojnih povezav (ostrina-globina, ostrina-globina-tip verige in ostrina-globina-tip verige-drevesna vrsta). Glavne učinke smo analizirali po vseh treh smereh in skupno, interakcije pa zaradi preglednosti le skupno.

5.1 Vpliv kota ostrine rezilca na obremenitev delavca s tresenjem



LEGENDA: p – statistično tveganje, N – število meritev.

Slika 17: Jakost tresenja glede na kot ostrine rezilca

Iz grafa je razvidno (slika 17), da je najmanjša jakost tresenja pri kotu ostrine rezilca, katerega priporoča proizvajalec (0°) in pri kotu ostrine, katerega smo znižali za 10°. Jakost tresenja pri kotu ostrine rezilca povečanem za 10° od navedenega od proizvajalca je

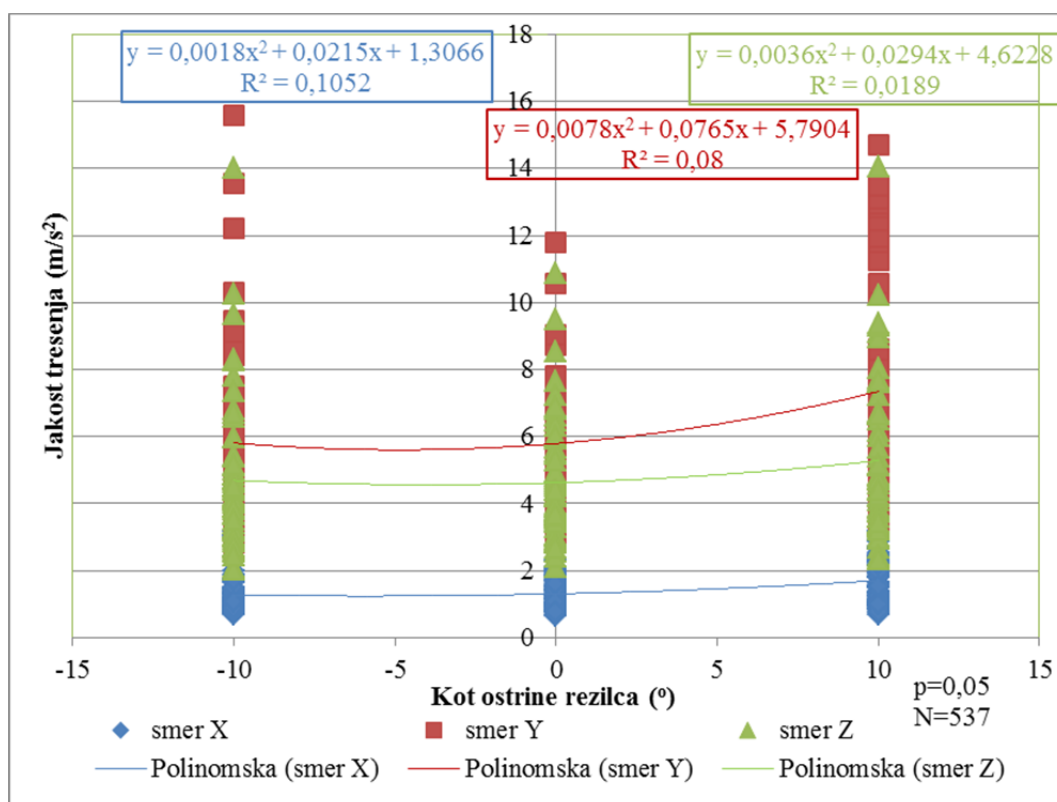
povprečno za $1,46 \text{ m/s}^2$ oz. $1,62 \text{ m/s}^2$ večja kot pri ostalih dveh kotih ostrine (preglednica 2).

Preglednica 2: Test značilnosti razlik v jakosti tresenja glede na kot ostrine rezilca

	N	A	VAR	-10°	0°	10°
-10°	60	7,88	9,23	$t = 1,659$ $p = 0,740$		
0°	59	7,72	5,12			
10°	60	9,34	14,02	$t = 1,658$ $p = 0,021$	$t = 1,661$ $p = 0,005$	

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Analiza podatkov je pokazala, da je jakost tresenja znatno manjša pri kotih ostrine rezilca 0° in -10° kot pri kotu ostrine rezanja za 10° večjega od priporočenega s strani proizvajalca. Jakost tresenja pri priporočenem kotu se je izkazala za značilno različna od najvišjega kota, medtem ko med ekstremnima kotoma ter priporočenim in najmanjšim kotom ni značilnih razlik (preglednica 2).



LEGENDA: p – statistično tveganje, N – število meritev.

Slika 18: Jakost tresenja glede na kot ostrine rezilca po smereh X, Y, Z

Iz slike 18 in preglednice 3 lahko ugotovimo, da je v smeri X jakost tresenja najmanjša pri najmanjšem kotu ostrine rezilca ($1,27 \text{ m/s}^2$) in narašča z večanjem kota ostrine rezilca, medtem ko je pri ostalih dveh smereh najmanjša pri priporočenih kotih ostrinah rezilca ($5,79 \text{ m/s}^2$ v Y in $4,62 \text{ m/s}^2$ v Z smeri).

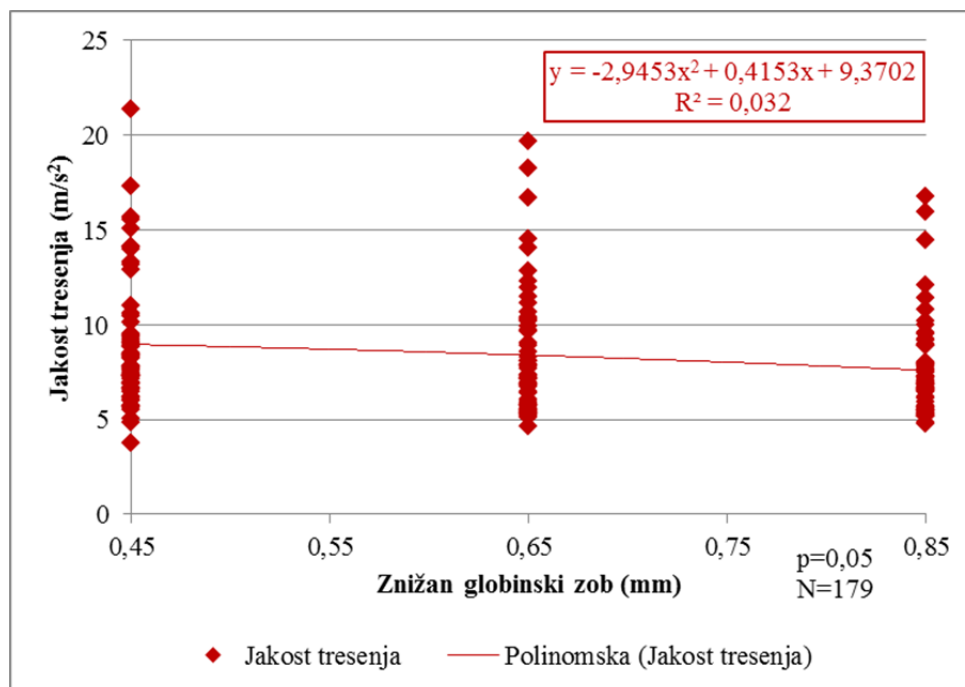
Preglednica 3: Test značilnosti razlik v jakosti tresenja glede na kot ostrine rezilca po smereh X, Y, Z

S	K	N	A	VAR	-10°	0°	10°
X	-10°	60	1,27	0,29			
	0°	59	1,31	0,19	t = 1,659 p = 0,707		
	10°	60	1,69	0,47	t = 1,659 p = 0,0003	t = 1,660 p = 0,0004	
Y	-10°	60	5,81	6,34			
	0°	59	5,79	2,62	t = 1,660 p = 0,960		
	10°	60	7,22	8,53	t = 1,658 p = 0,960	t = 1,662 p = 0,001	
Z	-10°	60	4,69	4,67			
	0°	59	4,62	3,11	t = 1,658 p = 0,848		
	10°	60	5,22	5,7	t = 1,658 p = 0,207	t = 1,659 p = 0,123	

LEGENDA: S – smeri, K – odstopanje kota ostrine rezilca od priporočenega kota proizvajalca, N – število meritev, A – povprečna jakosti tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Primerjava statističnih sredin je pokazala, da se značilno razlikujejo jakost tresenja v smeri X med obema skrajnima kotoma in med priporočenim kotom in največjim kotom ostrine rezilca. Statistično značilne razlike so tudi v smeri Y med priporočenim in največjim kotom ostrine rezilca. V vseh ostalih primerih pa so se izkazale za neznačilne (preglednica 3).

5.2 Vpliv višine globinskega zoba na obremenitev delavca s tresenjem



LEGENDA: p – statistično tveganje, N – število meritev.

Slika 19: Jakost tresenja glede na znižan globinski zob

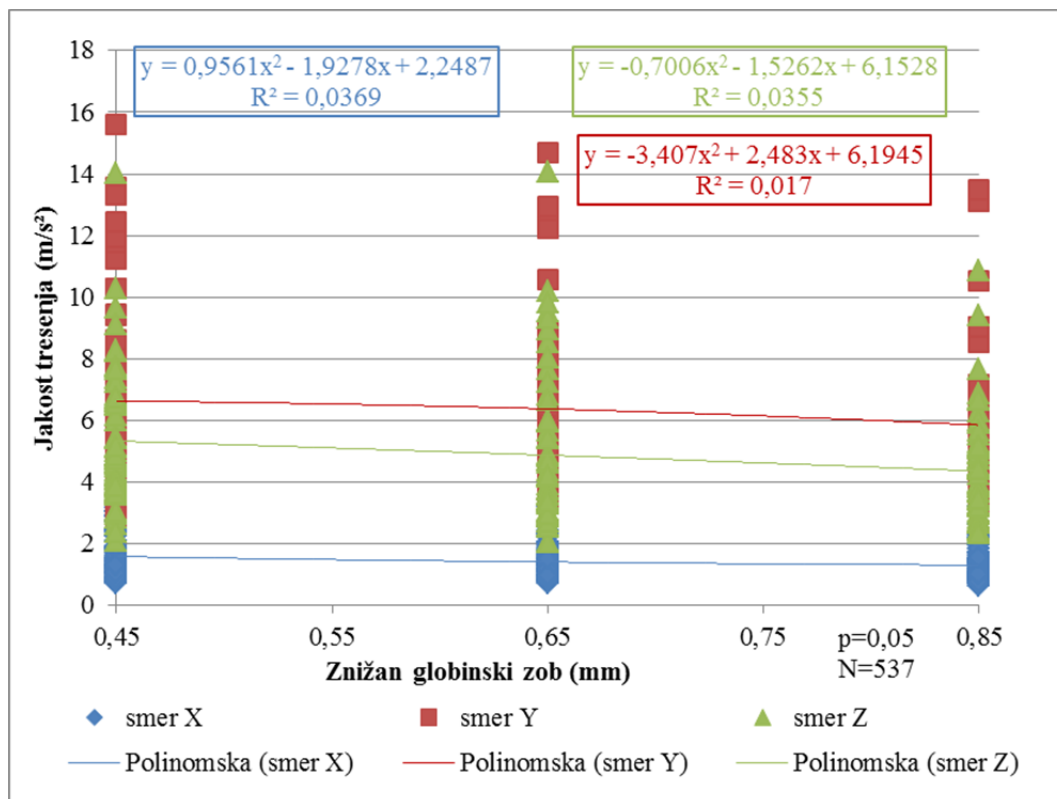
Jakost tresenja se znižuje z nižanjem globinskega zoba (slika 19) in je bila najnižja ($7,60 \text{ m/s}^2$) pri najnižjem globinskem zobu. Najmanjša jakost tresenja je bila izmerjena pri najnižjem globinskem zobu, v poprečju. Vrednosti jakosti tresenja pri ostalih dveh višinah globinskih zob so za $0,80$ oz. $1,36 \text{ m/s}^2$ višje kot pri najmanjšem zobu.

Preglednica 4: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na znižan globinski zob

	N	A	VAR	0,45	0,65	0,85
0,45	60	8,96	11,73			
0,65	59	8,40	11	$t = 1,658$ $p = 0,362$		
0,85	60	7,60	6,40	$t = 1,659$ $p = 0,015$	$t = 1,659$ $p = 0,142$	

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakosti tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Statistična analiza je pokazala, da se značilno razlikujeta le jakosti tresenja med skrajnima višinama globinskih zob, medtem ko so razlike pri ostalih višinah neznačilne.



LEGENDA: p – statistično tveganje, N – število meritev.

Slika 20: Jakost tresenja glede na znižan globinski zob po smereh X, Y, Z

Analiza jakosti po smereh je pokazala (slika 20), da se jakost tresenja tudi po vseh treh smereh zmanjšuje z zniževanjem globinskega zoba.

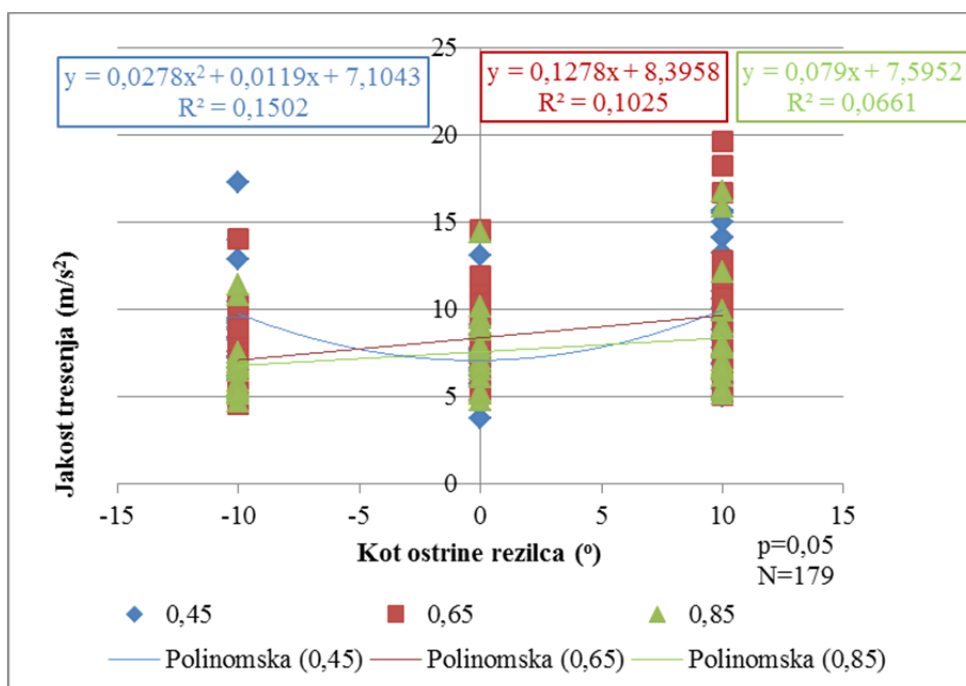
Preglednica 5: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na znižan globinski zob po smereh X, Y, Z

S	G	N	A	VAR	0,45	0,65	0,85
X	0,45	60	1,57	0,46	t = 1,658 p = 0,122	t = 1,658 p = 0,315	
	0,65	59	1,40	0,30			
	0,85	60	1,30	0,27			
Y	0,45	60	6,62	8,92	t = 1,659 p = 0,611	t = 1,659 p = 0,195	
	0,65	59	6,37	5,74			
	0,85	60	5,84	3,93			
Z	0,45	60	5,32	4,68	t = 1,658 p = 0,277	t = 1,660 p = 0,178	
	0,65	59	4,86	5,83			
	0,85	60	4,35	2,75			

LEGENDA: S – smeri, G – višina globinskega zoba, N – število meritev, A – povprečna jakosti tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Jakosti tresenja so značilno različne le v smeri X in Z in to le med najvišjim in najnižjim globinskim zobom. Razlike v jakosti tresenja med ostalimi globinami globinskih zob so neznailne (preglednica 5).

V nadaljevanju smo želeli z analizo podatkov ugotoviti, kako se jakost tresenja spreminja glede na kot ostrine in višino globinskega zoba.



LEGENDA: p – statistično tveganje, N – število meritev.

Slika 21: Jakost tresenja glede na razmerje med koti ostrine rezilca in globinskimi zobi

Ugotovili smo (slika 21), da jakost tresenja narašča s kotom ostrine rezilca pri najmanjših dveh globinskih zobih, pri največjem zobu pa je jakost tresenja najmanjša pri priporočenem kotu proizvajalca (0°). Absolutno najmanjša jakost tresenja je bila izmerjena pri najmanjšem globinskem zobu in najmanjšem kotu ostrine rezilca, ki je znašala $6,66 \text{ m/s}^2$.

Preglednica 6: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,45 mm

	N	A	VAR	0,45/-10	0,45/0°	0,45/10°
0,45/-10°	20	9,77	15,08	$t = 1,701$ $p = 0,010$		
0,45/0°	20	7,10	3,57			
0,45/10°	20	10,01	12,30			
				$t = 1,686$ $p = 0,840$	$t = 1,699$ $p = 0,003$	

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Preglednica 7: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,65 mm

	N	A	VAR	0,65/-10	0,65/0°	0,65/10°
0,65/-10°	20	7,21	4,74	$t = 1,690$ $p = 0,215$		
0,65/0°	19	8,20	7,03			
0,65/10°	20	9,77	18,67			
				$t = 1,701$ $p = 0,025$	$t = 1,693$ $p = 0,178$	

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

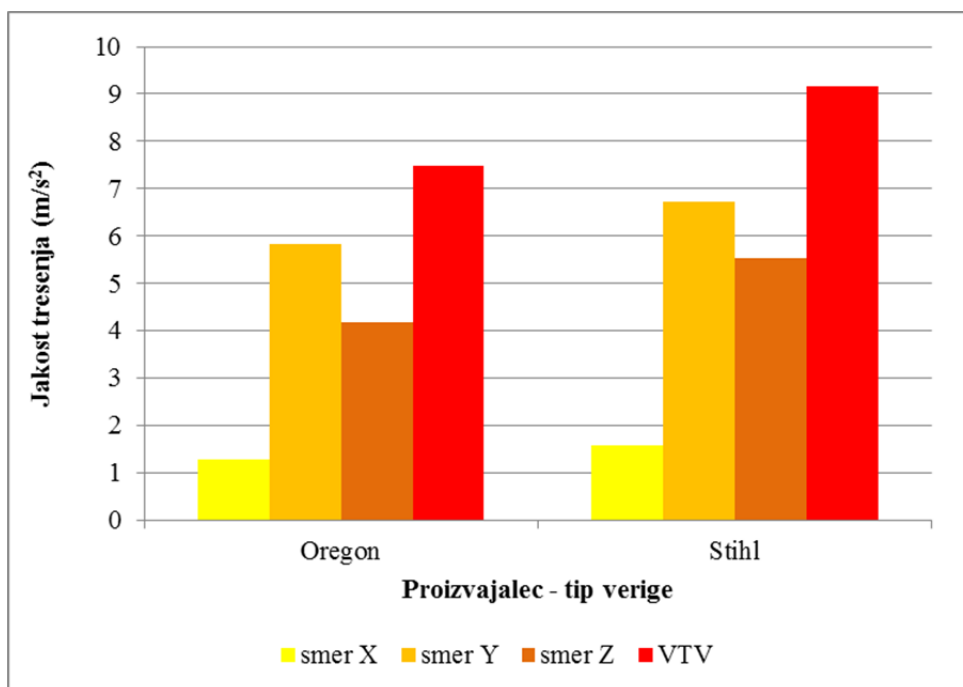
Preglednica 8: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,85 mm

	N	A	VAR	0,85/-10	0,85/0°	0,85/10°
0,85/-10°	20	6,66	3,05	$t = 1,688$ $p = 0,059$		
0,85/0°	20	7,88	4,74			
0,85/10°	20	8,24	10,52			
				$t = 1,699$ $p = 0,066$	$t = 1,692$ $p = 0,680$	

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Statistična analiza je pokazala, da so značilne razlike jakosti tresenja le pri najvišjem globinskem zobu, in sicer med priporočenim kotom ostrine in med obema skrajnima kotoma ostrine rezilca.

5.3 Vpliv tipa verige na obremenitev delavca s tresenjem



Slika 22: Jakost tresenja glede na tip verige, po smereh X, Y, Z in skupaj

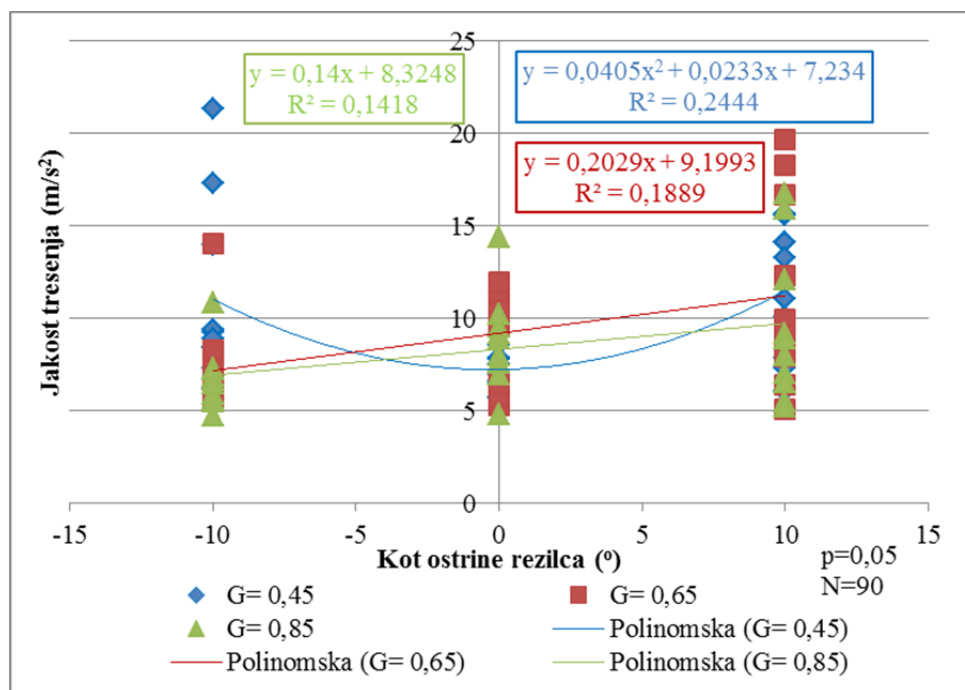
Slika 22 prikazuje jakost tresenja po smereh X, Y, Z in skupaj glede na tip verige. Rezultati kažejo, da so jakosti tresenja pri prežagovanju z verigo Oregon po vseh smereh in skupno značilno nižje (preglednica 9) kot z verigo Stihl. Če primerjamo samo vektorske velikosti tresenja (VTV), so vrednosti pri prežagovanju z verigo Oregon v povprečju za $1,68 \text{ m/s}^2$ oz. 18 % manjše kot pa z verigo Stihl.

Preglednica 9: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na proizvajalca - tip verige, po smereh X, Y, Z in skupaj

S	T	N	A	VAR	STIHL	OREGON
X	STIHL	90	1,57	0,42	$t = 1,654$ $p = 0,001$	
	OREGON	89	1,28	0,25		
Y	STIHL	90	6,73	8,89	$t = 1,655$ $p = 0,014$	
	OREGON	89	5,82	3,20		
Z	STIHL	90	5,52	5,92	$t = 1,655$ $p = 0,00001$	
	OREGON	89	4,16	2,22		
VTV	STIHL	90	9,15	13,5	$t = 1,655$ $p = 0,0003$	
	OREGON	89	7,47	4,95		

LEGENDA: S – smeri, T – tip verige, N – število meritev, A – povprečna jakosti tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje.

V nadaljevanju poglavja smo želeli ugotoviti, ali vsa dosedanja spoznanja veljajo tudi z upoštevanjem vpliva tipa verige na obremenitev delavca s tresenjem.



LEGENDA: p – statistično tveganje, N – število meritev.

Slika 23: Jakost tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskimi zobi ter verigami Stihl

Zgornja slika 23 je v precejšnji meri podobna sliki 21, kar pove, da je jakost tresenja z verigo Stihl pri najvišjem globinskem zobu največja pri najmanjšem in največjem kotu ostrine rezilca. Pri ostalih dveh manjših globinah zoba pa narašča s kotom ostrine rezilca (slika 23). Najmanjša jakost tresenja je bila izmerjena pri najnižjem globinskem zobu in najmanjšem kotu ostrine rezilca (6,72 m/s²). Razlike so v jakosti tresenja statistično značilne le pri najvišjem globinskem zobu, in sicer med priporočenim kotom in najvišjim kotom ostrine.

Preglednica 10: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,45 mm ter verigami Stihl

	N	A	VAR	0,45/-10°	0,45/0°	0,45/10°
0,45/-10°	10	11,05	23,99	$t = 1,812$ $p = 0,037$		
0,45/0°	10	7,23	1,27			
0,45/10°	10	11,51	12,61	$t = 1,746$ $p = 0,0810$	$t = 1,796$ $p = 0,004$	

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Preglednica 11: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,65 mm ter verigami Stihl

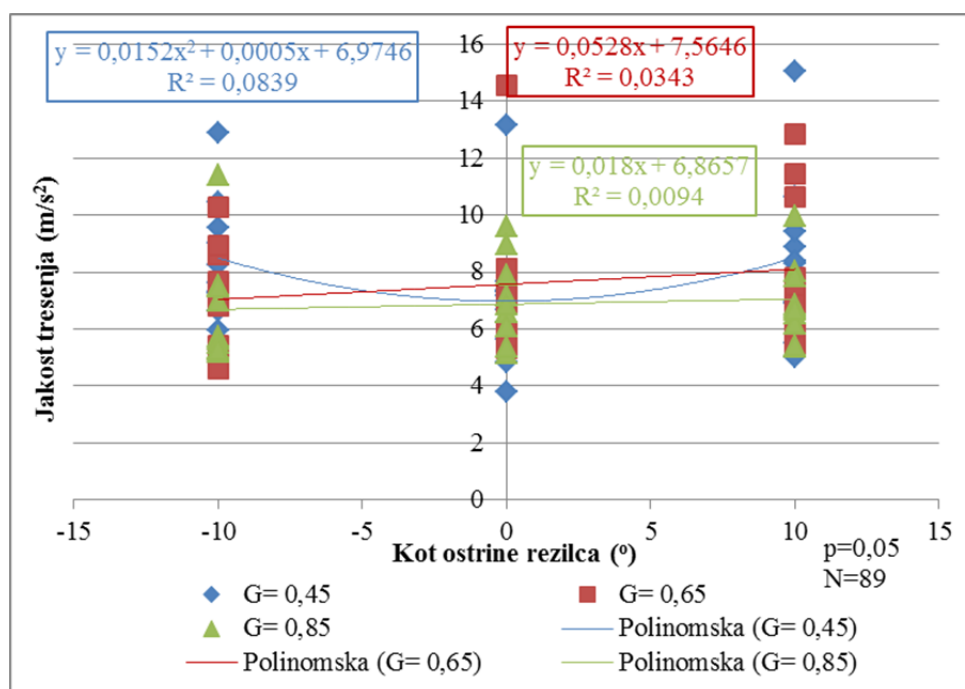
	N	A	VAR	0,65/-10°	0,65/0°	0,65/10°
0,65/-10°	10	7,44	6,32	$t = 1,740$ $p = 0,467$		
0,65/0°	10	8,29	6,13			
0,65/10°	10	11,50	25,67	$t = 1,771$ $p = 0,041$	$t = 1,771$ $p = 0,098$	

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Preglednica 12: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,85 mm ter verigami Stihl

	N	A	VAR	0,85/-10	0,85/0°	0,85/10°
0,85/-10°	10	6,72	2,75	$t = 1,746$ $p = 0,051$		
0,85/0°	10	8,73	6,31			
0,85/10°	10	9,52	17,01	$t = 1,782$ $p = 0,070$	$t = 1,753$ $p = 0,610$	

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).



LEGENDA: p – statistično tveganje, N – število meritev.

Slika 24: Jakost tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskimi zobi ter verigami Oregon

Jakost tresenja pri verigah Oregon nam kaže na enake rezultate kot pri Stihlovih verigah, če primerjamo razmerja med jakostjo tresenja glede na kote ostrine rezilcev in višino globinskih zob. Parne primerjave absolutnih vrednosti po kombinacijah pa nam pokažejo, da so jakosti tresenja pri Oregonovih verigah vedno nižje kot pri Stihlovih verigah. Najmanjša jakost tresenja je bila 6,60 m/s². Pri Oregonovih verigah kot ostrine rezilca neznačilno vpliva na jakost tresenja ne glede na višino globinskega zoba.

Preglednica 13: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,45 mm ter verigami Oregon

	N	A	VAR	0,45/-10°	0,45/0°	0,45/10°
0,45/-10°	10	8,49	4,22	$t = 1,740$ $p = 0,156$		
0,45/0°	10	6,97	6,23			
0,45/10°	10	8,50	8,30		$t = 1,734$ $p = 0,221$	

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s², VAR – varianca v m/s², t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Preglednica 14: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,65 mm ter verigami Oregon

	N	A	VAR	0,65/-10°	0,65/0°	0,65/10°
0,65/-10°	10	6,98	3,57	$t = 1,761$ $p = 0,533$		
0,65/0°	9	7,68	7,63			
0,65/10°	10	8,04	7,09	$t = 1,746$ $p = 0,321$	$t = 1,740$ $p = 0,780$	

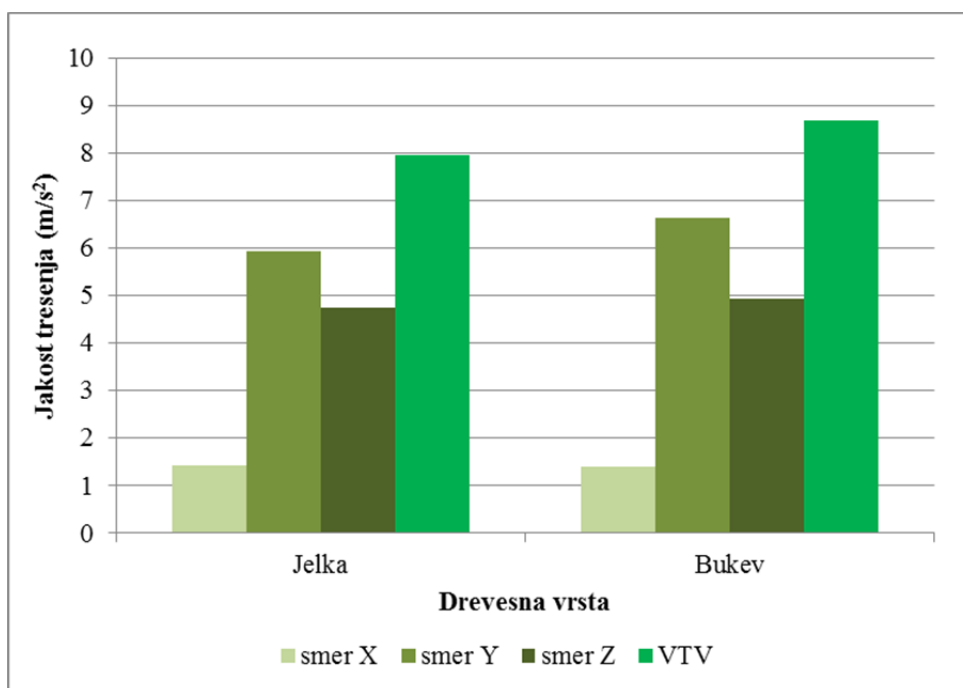
LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Preglednica 15: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine in globinskim zobom 0,85 mm ter verigami Oregon

	N	A	VAR	0,85/-10	0,85/0°	0,85/10°
0,85/-10°	10	6,60	3,69	$t = 1,740$ $p = 0,583$		
0,85/0°	10	7,03	2,09			
0,85/10°	10	6,96	1,85	$t = 1,746$ $p = 0,634$	$t = 1,734$ $p = 0,920$	

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

5.4 Vpliv drevesne vrste na obremenitev delavca s tresenjem



Slika 25: Jakost tresenja glede na drevesno vrsto po smereh X, Y, Z in skupaj

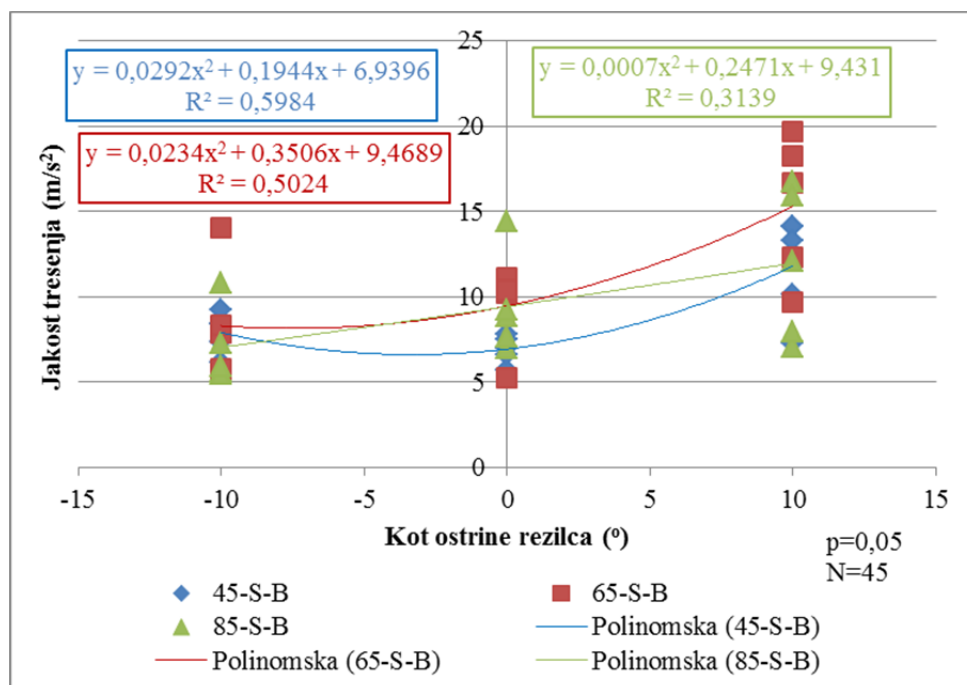
Rezultati primerjave jakosti tresenja delavca s tresenjem glede na drevesno vrsto so pokazali, da so jakosti tresenja po smereh in skupno manjše pri jelki kot pri bukvi. Skupna jakost tresenja (VTV) pri prežagovanju jelke je za $0,73 \text{ m/s}^2$ oz. 8 % manjša kot pri bukvi. Vse razlike v jakosti tresenja so se izkazale za statistično neznačilne (preglednica 16).

Preglednica 16: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na drevesno vrsto, po smereh X, Y, Z in skupaj

S	D	N	A	VAR	BUKEV	JELKA
X	BUKEV	89	1,41	0,36	t = 1,654 p = 0,763	
	JELKA	90	1,44	0,35		
Y	BUKEV	89	6,63	7,16	t = 1,654 p = 0,061	
	JELKA	90	5,93	5,14		
Z	BUKEV	89	4,94	4,49	t = 1,654 p = 0,566	
	JELKA	90	4,75	4,59		
VTV	BUKEV	89	8,68	10,78	t = 1,654 p = 0,122	
	JELKA	90	7,95	8,89		

LEGENDA: S – smeri, D – drevesna vrsta, N – število meritev, A – povprečna jakosti tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje.

V nadaljevanju smo želeli ugotoviti, ali dosedanja spoznanja veljajo tudi z upoštevanjem drevesne vrste.



LEGENDA: p – statistično tveganje, N – število meritev.

Slika 26: Jakost tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskimi zobi, verigami Stihl in bukvi

Rezultat iz slike 26 podaja ugotovitve, da je jakost tresenja z verigami Stihl pri bukvi večja pri večjih kotih ostrine rezilca. Pri najmanjših dveh višinah globinskega zoba, medtem ko je pri najvišjem globinskem zobu zopet najmanjša jakost tresenja pri priporočenem kotu ostrine rezilca. Najmanjša vrednost jakosti tresenja ($6,94 \text{ m/s}^2$) je bila v nasprotju z dosedanjimi ugotovitvami izmerjena pri najvišjem globinskem zobu in priporočenem kotu ostrine rezilca. Pri Stihlovih verigah pri prežagovanju bukve vpliv ostrine rezilca neznatno vpliva na jakost tresenja ne glede na višino globinskega zoba.

Preglednica 17: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,45 mm, verigami Stihl in bukvijo

	N	A	VAR	0,45/-10°	0,45/0°	0,45/10°
0,45/-10°	5	7,91	1,39	t = 1,895 p = 0,173	t = 2,015 p = 0,043	t = 2,015 p = 0,018
0,45/0°	5	6,94	0,67			
0,45/10°	5	11,80	9,04			

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Preglednica 18: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,65 mm, verigami Stihl in bukvijo

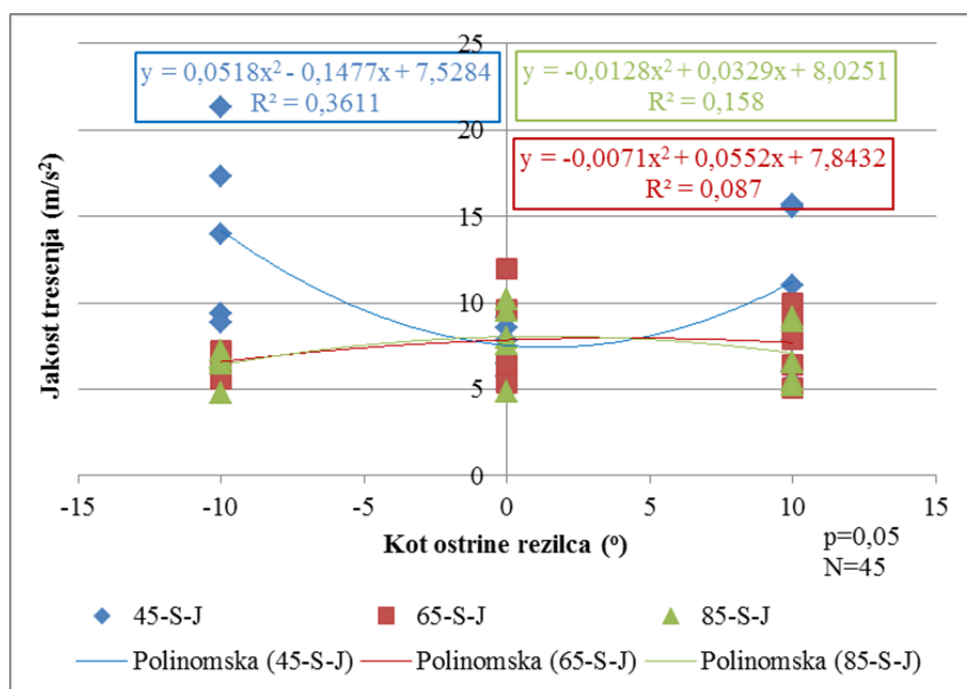
	N	A	VAR	0,65/-10°	0,65/0°	0,65/10°
0,65/-10°	5	8,30	11,83	t = 1,895 p = 0,552	t = 1,943 p = 0,034	
0,65/0°	5	9,47	5,59			
0,65/10°	5	15,31	17,53			

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Preglednica 19: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,85 mm, verigami Stihl in bukvijo

	N	A	VAR	0,85/-10	0,85/0°	0,85/10°
0,85/-10°	5	7,04	5,01	t = 1,895 p = 0,190	t = 1,895 p = 0,321	
0,85/0°	5	9,43	8,64			
0,85/10°	5	11,98	19,72			

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).



LEGENDA: p – statistično tveganje, N – število meritev.

Slika 27: Jakost tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskimi zobi, verigami Stihl in jelko

Ugotovitve pri prežagovanju jelke s Stihlovimi verigami so (slika 27) popolnoma drugačne kot pri bukvi (slika 26). Kot lahko razberemo iz slike 27, je jakost tresenja pri najvišjem globinskem zobu pri priporočenem kotu najmanjša, medtem ko je pri ostalih dveh višinah globinskih zob jakost tresenja pri priporočenem kotu največja. Razlike v jakostih tresenja med različnimi koti ostrine rezilcev po višinah globinskih zob so bile neznatne. Najmanjša jakost tresenja je znašala $6,41 \text{ m/s}^2$ pri najnižjem globinskem zobu pri najmanjšem kotu ostrine rezilca.

Preglednica 20: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,45 mm, verigami Stihl in jelko

	N	A	VAR	0,45/-10°	0,45/0°	0,45/10°
0,45/-10°	5	14,18	28,03	t = 2,015 p = 0,042		
0,45/0°	5	7,53	1,97		t = 2,015 p = 0,132	
0,45/10°	5	11,23	19,14	t = 1,860 p = 0,364		

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Preglednica 21: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,65 mm, verigami Stihl in jelko

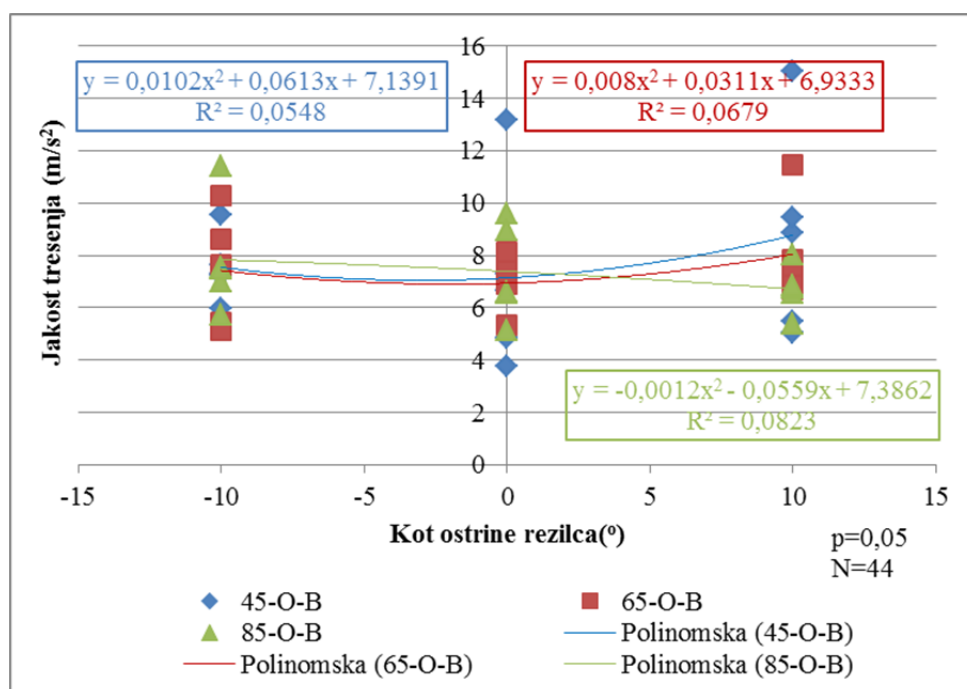
	N	A	VAR	0,65/-10°	0,65/0°	0,65/10°
0,65/-10°	5	6,58	0,54	$t = 2,015$ $p = 0,379$		
0,65/0°	5	7,84	8,02			
0,65/10°	5	7,68	3,84	$t = 2,015$ $p = 0,291$	$t = 1,895$ $p = 0,921$	

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Preglednica 22: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,85 mm, verigami Stihl in jelko

	N	A	VAR	0,85/-10	0,85/0°	0,85/10°
0,85/-10°	5	6,41	0,93	$t = 1,943$ $p = 0,167$		
0,85/0°	5	8,03	4,34			
0,85/10°	5	7,07	3,50	$t = 1,943$ $p = 0,511$	$t = 1,860$ $p = 0,467$	

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).



LEGENDA: p – statistično tveganje, N – število meritev.

Slika 28: Jakost tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskimi zobi, verigami Oregon in bukvijo

Jakost tresenja z verigami Oregon pri prežagovanju bukve je pri najvišjih dveh globinskih zobeh najmanjša pri priporočenem kotu ostrine rezilca, pri najnižjem globinskem zobu pa pri najvišjem kotu ostrine rezilca. Enako kot v predhodni analizi razlike v jakosti tresenja med koti ostrine rezilcev niso bile značilne ne glede na višino globinskega zoba. Najmanjša jakost tresenja je bila $6,93 \text{ m/s}^2$ pri srednje znižanem globinskem zobu pri priporočenem kotu ostrine.

Preglednica 23: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,45 mm, verigami Oregon in bukvijo

	N	A	VAR	0,45/-10°	0,45/0°	0,45/10°
0,45/-10°	5	7,54	1,65	t = 2,015 p = 0,824		
0,45/0°	5	7,14	13,25		t = 1,860 p = 0,520	
0,45/10°	5	8,77	16,19			

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Preglednica 24: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,65 mm, verigami Oregon in bukvijo

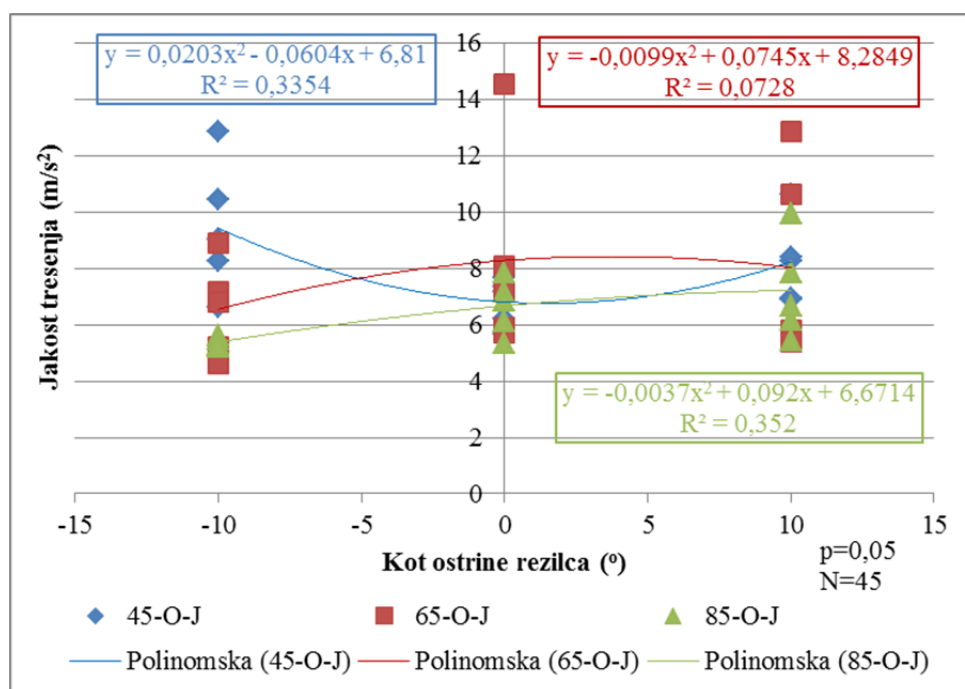
	N	A	VAR	0,65/-10°	0,65/0°	0,65/10°
0,65/-10°	5	7,42	4,66	$t = 1,943$ $p = 0,682$		
0,65/0°	4	6,93	1,39			
0,65/10°	5	8,04	3,84	$t = 1,860$ $p = 0,646$	$t = 1,895$ $p = 0,329$	

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Preglednica 25: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,85 mm, verigami Oregon in bukvijo

	N	A	VAR	0,85/-10	0,85/0°	0,85/10°
0,85/-10°	5	7,83	4,53	$t = 1,860$ $p = 0,737$		
0,85/0°	5	7,39	3,43			
0,85/10°	5	6,71	0,87	$t = 2,015$ $p = 0,332$	$t = 1,943$ $p = 0,492$	

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).



LEGENDA: p – statistično tveganje, N – število meritev.

Slika 29: Jakost tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskimi zobi, verigami Oregon in jelko

Pri jelki (slika 29) je nekoliko drugače kot pri bukvi (slika 28), jakost tresenja pri najnižjih dveh globinskih zobeh je najmanjša pri najmanjšem kotu ostrine rezilca, pri najvišjem globinskem zobu pa pri priporočenem kotu ostrine rezilca. Najmanjša jakost tresenja je pri najnižjem globinskem zobu in najmanjšem kotu ostrine rezilca ($5,38 \text{ m/s}^2$). Pri prežagovanju jelke z verigami Oregon vpliv ostrine rezilca neznatno vpliva na jakost tresenja ne glede na višino globinskega zoba.

Preglednica 26: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,45 mm, verigami Oregon in jelko

	N	A	VAR	0,45/-10°	0,45/0°	0,45/10°
0,45/-10°	5	9,44	5,58			
0,45/0°	5	6,81	0,71			
0,45/10°	5	8,23	2,30			

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Preglednica 27: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,65 mm, verigami Oregon in jelko

	N	A	VAR	0,65/-10°	0,65/0°	0,65/10°
0,65/-10°	5	6,55	2,89	$t = 1,943$ $p = 0,370$		
0,65/0°	5	8,28	13,20			
0,65/10°	5	8,04	12,11	$t = 1,943$ $p = 0,423$	$t = 1,860$ $p = 0,915$	

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

Preglednica 28: Test značilnosti razlik jakosti tresenja glede na razmerje med koti ostrine, globinskim zobom 0,85 mm, verigami Oregon in jelko

	N	A	VAR	0,85/-10	0,85/0°	0,85/10°
0,85/-10°	5	5,38	0,03	$t = 2,132$ $p = 0,044$		
0,85/0°	5	6,67	0,95			
0,85/10°	5	7,22	3,11	$t = 2,132$ $p = 0,081$	$t = 1,943$ $p = 0,565$	

LEGENDA: N – število meritev, A – povprečna jakost tresenja v m/s^2 , VAR – varianca v m/s^2 , t – vrednost znaka t, p – statistično tveganje. Bonferroni korekcija ($p(0,05)=0,017$).

6 RAZPRAVA

Prevelika obremenitev delavca s tresenjem po večurnem delu lahko po več letih dela z motorno žago pripomore do poklicne bolezni profesionalnega sekača. Zato je pomembno, da je cilj vsakega delavca in delodajalca učinkovito zmanjšanje škodljivih vplivov na zdravje (Šilc, 2011).

Veliko profesionalnih gozdnih delavcev za svoje delo uporablja različne načine brušenja verig, v večini uporabljajo priporočen kot ostrine rezilca, globinske zobe pa znižujejo glede na vrsto lesa, ki ga bodo obdelovali. Tako pogosto za trši les globinske zobe znižajo na 0,65 mm in za mehkejši les na 0,85 mm glede na višino rezilca (Bajc, 2005). Pri neprofesionalnih gozdnih delavcih in delavcih drugih strok je znanje o brušenju verige motorne žage pogosto nezadostno, saj ne poznajo funkcije posameznih zob ter posledično ne znajo več prirostiti ali ponovno nabrusiti obrabljene verige. Tako najpogosteje pozabijo ravno na nižanje globinskega zoba.

Z našo raziskavo smo ugotovili, da se z nižanjem globinskega zoba obremenitev delavca s tresenjem manjša, saj smo izmerili najmanjšo jakost tresenja pri globinskem zobu 0,85 mm. Jakost tresenja je pri najnižjem globinskem zobu za 9,5 % manjša kot pri globinskem zobu 0,65 mm. Če ne upoštevamo višine globinskih zob, je najbolj optimalen kot ostrine rezilca enak priporočenemu kotu proizvajalca. Če pa upoštevamo še višino globinskega zoba, je optimalen najnižji globinski zob in najmanjši kot ostrine rezilca, ki pa velja tako za verige proizvajalca Oregon kot tudi Stihl.

Dužnik (2013) je v svoji nalogi raziskoval, kako priprava verige vpliva na učinkovitost prežagovanja in ugotovil, če pri analizi ne upoštevamo višine globinskih zob, je najbolj optimalen kot ostrine rezilca enak priporočenemu kotu proizvajalca. Če pa upoštevamo višino globinskega zoba, je najbolj optimalen najnižji globinski zob ter priporočen kot ostrine rezilca. Pri verigah Stihl so ugotovili ob upoštevanju kota ostrine rezilca in višine globinskega zoba, da je najbolj optimalen pri najmanjšem kotu ostrine rezilca in najnižjem

globinskem zobu, pri verigah Oregon pa priporočenem kotu proizvajalca in globinskem zobu znižanem na 0,65 mm.

Glede na ugotovitve raziskav o vplivih tehničnih elementov verige motorne žage na obremenitev delavca s tresenjem in vpliv na učinkovitost prežagovanja (Dužnik, 2013) lahko podamo skupne ugotovitve, da pri neupoštevanju višine globinskih zob je najbolj optimalen priporočen kot ostrine rezilca, če pa upoštevamo višino globinskih zob, je najbolj optimalen najnižji globinski zob in najmanjši kot ostrine rezilca.

Iz analize podatkov lahko podamo ugotovitve, da so najmanjše obremenitve delavca ali upravljavca pri delu z motorno žago, če rezilce verige Stihl nabrusimo pod najmanjšim kotom ostrine rezilca (20°), globinske zobe znižamo na obe najnižji globini na 0,65 mm in 0,85 mm. Rezilce verige Oregon pa nabrusimo pod najmanjšim kotom ostrine rezilca (15°), globinske zobe pa znižamo na 0,65 mm in na 0,85 mm. Tako lahko za dobre rezultate oz. majhno jakost tresenja priporočamo, da se verigo Oregon in Stihl nabrusi pod najmanjšim kotom ostrine (Oregon 15° , Stihl 20°) in globinski zob zniža na 0,85 mm.

Glede na vpliv tipa verige na obremenitev delavca s tresenjem so ugotovitve pokazale, da je jakost tresenja pri verigah Oregon v povprečju za $1,68 \text{ m/s}^2$ oz. 18 % manjše, kot pa pri verigah Stihl. Pri učinkovitosti (Dužnik, 2013) pa so ugotovili prav tako, da ima veriga Oregon za 16 % boljše učinke od verig Stihl. Iz tega priporočamo, da je za delo bolje uporabljati verige Oregon.

Pri analizi glede na drevesno vrsto smo ugotovili, da je pri prežagovanju jelke jakost tresenja za $0,73 \text{ m/s}^2$ oz. 8 % manjše kot pri bukvi. Pri prežagovanju bukve z verigo Stihl so bile najmanjše jakosti tresenja pri najvišjem globinskem zobu (znižanem za 0,45 mm) in priporočenem kotu ostrine rezilca (30°), pri prežagovanju jelke pa najmanjšem kotu ostrine rezilca (20°) in najnižjem globinskem zobu (znižanem za 0,85 mm).

Dužnik (2013) je v svoji raziskavi ugotovil, da je pri obdelavi bukve z verigo Stihl najboljše verigo nabrusiti pod priporočen kot 20° ter globinski zob znižati na 0,85 mm. Pri obdelavi iglavcev z verigami Stihl pa rezilce nabrusiti pod kotom ostrine 30° in globinske zob znižati na 0,85 mm. Na podlagi rezultatov priporočamo, da profesionalni uporabniki pri

uporabi verige Stihl upoštevajo izsledke naše raziskave, neprofesionalni in občasni pa izsledke Dužnika (2013).

Pri prežagovanju bukve z verigami Oregon so bile najmanjše jakosti tresenja pri priporočenem kotu ostrine rezilca (25°) in globinskem zobu znižanem na 0,65 mm, med obdelavo jelke pa pri najmanjšem kotu ostrine (15°) in globinskem zobu znižanem za 0,85 mm.

Pri obdelavi bukve in jelke z verigo Oregon so ugotovili (Dužnik, 2013) optimalne učinke pri priporočenem kotu ostrine rezilca (25°) in globinskem zobu znižanem na 0,65 mm. Iz skupnih ugotovitev pa priporočamo za obdelavo bukve oz. listavcev nabrusiti verigo Oregon na priporočen kot ostrine rezilca (25°) ter globinski zob znižati na 0,65 mm. Za obdelavo jelke oz. iglavcev pa na priporočen kot ostrine rezilca (25°) in globinski zob znižati na 0,85 mm.

Primerjave jakosti tresenja po vseh treh smereh so pokazale, da je bila jakost tresenja v smeri Y vedno največja, manjša v smeri Z in najmanjša v smeri X. Rezultati po smereh kažejo razen redkih izjem na enake zakonitosti, kot smo ugotovili pri skupnih (vektorskih) jakostih tresenja. Če rezultate primerjamo z delovanjem motorne žage, ugotovimo, da so bile največje jakosti tresenja ugotovljene v smeri letve motorne žage oz. vrtenja verige motorne žage.

Dessureault, Laperriere in Vincent (1988) so v svoji raziskavi ugotovili, da na jakost tresenja najbolj vpliva višina globinskega zoba, bolj kot kot ostrine rezilca in grebenski kot. Najmanjšo jakost tresenja so izmerili pri najvišjem globinskem zobu. Ker ti rezultati v skladu z našimi le v primeru prežagovanja bukve z verigo Stihl, predvidevamo, da je neskladje posledica razlik v poskusu uporabljenih drevesnih vrst in tipov verig.

Če povzamemo ugotovitve, lahko zaključimo, da smo z nalogo ugotovili, da priprava verige motorne žage in tip verige značilno vplivata na jakost tresenja in posledično na obremenitev rok in dlani delavca s tresenjem. Poleg naštetega je potrebno motorno žago redno pregledovati in vzdrževati (Bajc, 2005), da bo delo z njo varno in učinkovito.

7 SKLEPI

V začetku diplomskega dela smo postavili dve hipotezi:

- v prvi hipotezi smo trdili, da se bodo obremenitve delavca s tresenjem povečale z višinsko razliko med rezilcem in globinskim zobom verige motorne žage. To hipotezo pa lahko zavrnemo, saj smo iz raziskave ugotovili, da z večanjem višinske razlike med rezilcem in globinskim zobom jakost tresenja pada. Najmanjšo jakost tresenja smo zabeležili pri najnižjem globinskem zobu (0,85 mm),
- v drugi pa smo trdili, da so obremenitve delavca s tresenjem manjše pri ekstremnih kotih ostrine rezilca. Prav tako lahko tudi to hipotezo zavrnemo. Glede na kot ostrine rezilca smo najmanjšo jakost tresenja zabeležili pri najmanjših kotih in priporočenih kotih ostrine rezilca.

8 POVZETEK

Namen je bil dodati delček k skupnemu znanju o vplivih in ukrepih za učinkovito zmanjševanje obremenitev rok in dlani profesionalnega gozdarskega delavca. Zato smo želeli ugotoviti, kako priprava verige, predvsem kot ostrine rezilca in višina globinskega zoba, ter tip verige in drevesna vrsta, vplivajo na jakost tresenja.

Za potrebe meritev smo izbrali najbolj kakovostna sortimenta jelke in bukve, ki smo ju predhodno prizmirali s krožno tračno žago na dimenzije 32 x 32 cm. Osemnajst novih verig, devet verig Stihl RSC3 in devet verig Oregon 75 LPX smo nabrusili na stroj za brušenje verig Stihl USG. Verige obeh proizvajalcev smo nabrusili pod osnovnim kotom ostrine, pod kotom za -10° manjšim in pod kotom za 10° večjim od osnovnega oz. priporočenega od proizvajalca verige. Tako smo verige Stihl nabrusili pod koti 20° , 30° in 40° , verige Oregon pa pod koti 15° , 25° in 35° . Tako nabrušenim verigam smo s ploščato pilo znižali globinski zob na 0,45 mm, 0,65 mm in 0,85 mm razlike do višine rezilca. Po končanem postopku smo tako dobili 18 različno nabrušenih verig. Z vsako od verig smo izmenično opravili prežagovanja na bukvi in jelki s petimi ponovitvami na vsaki drevesni vrsti. Tako smo skupno izvedli 180 prežagovanj. Za izvedbo meritev smo uporabili motorno žago Husqvarna 372 xp, na kateri je bila nameščena letev proizvajalca Stihl dolžine 45 cm in širine utora 1,6 mm.

Za meritve tresenja rok in dlani smo uporabili merilnik tresenja Pulse LAN Xi proizvajalca Brüel & Kjær, ki je bil nameščen v nahrbtniku, bil preko kabla povezan z akcelerometrom, kateri je bil nameščen na vodilnem ročaju motorne žage in preko brezžičnega usmerjevalnika z mobilnim telefonom. Za trajanje dolžine prereza pa smo vsak prerez snemali s kamero.

Iz rezultatov smo ugotovili, da je jakost tresenja glede na kot ostrine rezilca najmanjša pri priporočenem kotu. Z zniževanjem globinskega zoba se jakost tresenja manjša. Ob upoštevanju kotov ostrine rezilca in višine globinskih zob je jakost tresenja najnižja pri najnižjih globinskih zobeh in najmanjših kotih ostrine rezilca. Glede na tip verige je jakost

tresenja pri prežagovanju z verigo Oregon v poprečju za $1,68 \text{ m/s}^2$ manjša kot z verigo Stihl. Glede na drevesno vrsto pa je jakost tresenja pri prežagovanju jelke za $0,73 \text{ m/s}^2$ manjša kot pri bukvi. Največje jakosti tresenja so bile izmerjene v smeri letve motorne žage oz. vrtenja verige motorne žage.

Za zaključek lahko povzamemo, da smo z nalogo ugotovili, da priprava verige motorne žage in tip verige značilno vplivata na jakost tresenja in posledično na obremenitev rok in dlani delavca s tresenjem. Zato priporočamo, da pri brušenju uporabljate manjše in priporočene kote ostrine rezilcev proizvajalca. Vedno kontrolirate višino globinskih zob in če je potrebno, jih tudi nižajte.

9 VIRI

- Bajc S. 2005. Ročno orodje in vzdrževanje motorne žage: (Učbenik za pouk pridobivanja gozdnih proizvodov za program gozdarski tehnik v 1. letniku nižjega in srednjega poklicnega in strokovnega izobraževanja). Ljubljana, Državna založba Slovenije: 48 str.
- Bajc S. 2005. Tehnika dela z motorno žago: (Učbenik za pouk pridobivanja gozdnih proizvodov za program gozdarski tehnik v 2. letniku nižjega in srednjega poklicnega in strokovnega izobraževanja). Ljubljana, Državna založba Slovenije: 53 str.
- Dessureault P.-C., Laperriere A., Vincent J.-Y. 1988. The control of chain-saw vibration Sound and Vibration. Universite du Quebec a Trois-Rivieres. Canada: 32-34 str.
- Dukić I. 2010. Utjecaj antivibracijskih rukavica na smanjenje vibracije koje se prenose na ruke operatera motornih pila lančanica. Zagreb, Šumarski fakultet: 125 str.
- Dužnik M. 2013. Priprava verige in njen vpliv na učinkovitost prežagovanja: diplomsko delo, visokošolski strokovni študij. Ljubljana: 60 str.
- Goglia V. 1996. Parameters influencinh the vibration level of a portable chainsaw. Šumarski list, 120, 3/4: 187-194
- Katalog proizvodov OREGON, 2012: 233 str
<http://sl.oregonproducts.eu/sl/products/catalogue-forestry-odcp.html?id=436&L=13> (13. 12. 2013)
- Lipoglavšek M. 1995. Vpliv na obremenitev sekača s tresenjem. Gozdarski vestnik, 53: 286–306 str.
- Pitts P. 2004. Hand-arm vibration emission of chainsaws – comparison with vibration exposure. Buxton: 60 str.

Stempski W., Jablonski K., Wegner J. 2010. Relations between top-plate filing angle values of cutting chains and chain saw vibration levels. *Acta Scientiarum Polonorum – Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria*, 9, 2: 31-39 str.

Stihl katalog 2012: 235 str

http://unicommerce.si/media/uploads/public/document/5-7_katalog_2012_slo_low_sl_sl.pdf (13. 12. 2013)

Stihl USG – instruction manual, owner's manual, assembling, safety precautions, operating instructions, maintenance. 2013.

http://www.stihlusa.com/WebContent/CMSFileLibrary/instructionmanuals/USG_Manual.pdf (27. 3. 2013)

Šilc M. 2011. Vpliv tehnike dela na obremenitev sekača s tresenjem: diplomsko delo, visokošolski strokovni študij. Ljubljana: 36 str.

Totum trgovina in storitve d.o.o. *372XP Husqvarna*. 2013.

<http://www.totum.si/372xp-husqvarna> (28. 2. 2013)

Unicommerce d.o.o. *Stihl RSC3*. 2013.

http://unicommerce.si/produkti/produkti/produkti_stihl/motorne_zage/rezalne_garniture/trpezne_verige/575/veriga_rapid_super_comfort_3_rsc3/ (13. 12. 2013)

Workpalace exposure to vibration in Europe: an expert review. 2008. European agency for safety and health at work. Luxembourg: 124str.

Žandar S. 2004. Merjenje, vrednotenje in zmanjševanje vibracij: seminarska naloga. Maribor: 11 str.

ZAHVALA

Iskrena zahvala mentorju doc. dr. Igorju Potočniku, somentorju dr. Antonu Pojetu za vso pomoč pri obdelavi, podporo, vse strokovne napotke pri izdelavi diplomske naloge in sodelovanju pri meritvah.

Zahvaljujem se doc. dr. Juriju Marenčetu za pomoč pri sodelovanju in izvedbi terenskih meritev.

Zahvaljujem se mag. Maji Božič za tehnični pregled in urejanje diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi podjetju IMS MERILNI SISTEMI d.o.o. za sodelovanje pri meritvah in strokovno pomoč.

Zahvaljujem se tudi podjetju SORTLES d.o.o. za prispevanje sortimenta bukve.

Zahvaljujem se podjetju LOMAR s.p. za pomoč pri prizmiranju prizem, za pripomočke in uporabo prostora.

Zahvaljujem se tudi trgovini Česnik d.o.o. iz Postojne za pomoč pri brušenju verig, strokovnih nasvetih in uporabi prostora.

Še posebej pa se zahvaljujem svojim staršem in dekletu, ki so me podpirali v času študija in pri izdelavi diplomske naloge.