

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

Luka MESEC

**PRIMERJAVA OBREMENITVE SEKAČA S
TRESENJEM PRI SEČNJI MLAJŠIH SESTOJEV
IGLAVCEV Z AKUMULATORSKO (MAKITA
DUC302Z) IN BENCINSKO MOTORNO ŽAGO
(MAKITA EA3200S35B)**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2016

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

Luka MESEC

**PRIMERJAVA OBREMENTIVE SEKAČA S TRESENJEM PRI
SEČNJI MLAJŠIH SESTOJEV IGLAVCEV Z AKUMULATORSKO
(MAKITA DUC302Z) IN BENCINSKO MOTORNO ŽAGO (MAKITA
EA3200S35B)**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij – 1. stopnja

**VIBRATION EXPOSURE DURING FELLING OF JUVENILE
CONIFEROUS STANDS WITH BATTERY (MAKITA DUC302Z) AND
PETROL POWERED CHAINSAW (MAKITA EA320035B)**

B.Sc. THESIS
Academic study Programmes

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija prve stopnje Gozdarstva in obnovljivih gozdnih virov. Opravljeno je bilo na Katedri za gozdno tehniko in ekonomiko Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Komisija za študijska in študentska vprašanja Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF je dne 6. 6. 2016 sprejela temo in za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Igorja Potočnika, za somentorja asist. dr. Antona Pojeta, za recenzenta pa doc. dr. Jurija Marenčeta.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Podpisani izjavljam, da je diplomsko delo rezultat lastnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Luka Mesec

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dul
DK	GDK 302:362.7(043.2)=163.6
KG	pridobivanje lesa/sečnja/obremenitev s tresenjem/bencinska motorna žaga/akumulatorska motorna žaga
AV	MESEC, Luka
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	2016
IN	PRIMERJAVA OBREMENITVE SEKAČA S TRESENJEM PRI SEČNJI MLAJŠIH SESTOJEV IGLAVCEV Z AKUMULATORSKO (MAKITA DUC302Z) IN BENCINSKO MOTORNO ŽAGO (MAKITA EA3200S35B)
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij – 1. stopnja)
OP	VI, 25 str., 3 pregl., 6 sl., 16 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	

V diplomski nalogi želimo odgovoriti na vprašanje, ali je obremenjenost sekača s tresenjem manjša pri delu z akumulatorsko kot z bencinsko motorno žago. Raziskava je potekala na območju Vrhnika-Logatec, v GGO Ljubljana, GGE Vrhnika. V raziskavo je bilo zajetih 10 suhih, po žledu in podlubnikih poškodovanih smrekovih dreves. Polovico izbranih dreves je bilo posekanih z akumulatorsko motorno žago (MAKITA DUC302Z) in polovica z bencinsko motorno žago (MAKITA EA3200S35B). Rezultati so pokazali, da je obremenitev sekača s tresenjem rok in dlani pri delu z bencinsko motorno žago večja, pri vseh delovnih operacijah, razen pri krojenju in prežagovanju, kjer je obremenitev manjša za $1,2 \text{ m/s}^2$. Obremenitve so tako pri pripravljalnih delih in zaseku večje za $1,3 \text{ m/s}^2$, pri podžagovanju za $1,5 \text{ m/s}^2$, pri obdelavi korenovca za $0,2 \text{ m/s}^2$ in pri kleščenju za $0,4 \text{ m/s}^2$. Kljub temu, da je ocenjena osemurna vrednost izpostavljenosti pri delu z bencinsko motorno žago ($3,69 \text{ m/s}^2$) nižja od izpostavljenosti pri delu z akumulatorsko motorno žago ($3,37 \text{ m/s}^2$), obe vrednosti presegata opozorilno vrednost dnevne izpostavljenosti. Za zmanjšanje obremenitev s tresenjem so tudi pri delu z

akumulatorsko motorno žago potrebni tehnični in organizacijski ukrepi.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Du1
DC	GDK 302:362.7(043.2)=163.6
CX	timber production/wood cutting/vibration exposure/electric powered chainsaw/petrol powered chainsaw
AU	MESEC, Luka
AA	POTOČNIK, Igor (supervisor)/POJE, Anton (co-advisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
PB	University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of forestry and renewable forest resources
PY	2016
TI	VIBRATION EXPOSURE DURING FELLING OF YOUNGER CONIFEROUS STANDS WITH BATTERY (MAKITA DUC302Z) AND PETROL POWERED CHAINSAW (MAKITA EA320035B)
DT	B.Sc. thesis (Academic study programmes)
NO	VI, 25 p., 3 tab., 6 fig., 16 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	

The purpose of graduation thesis was to answer the question whether the vibration exposure during felling is smaller when using battery or petrol powered chainsaw. The survey was conducted in the area of Vrhnika-Logatec in GGO Ljubljana, GGE Vrhnika. Survey covered 10 dry, ice storm and bark beetle damaged spruce trees. Half of selected trees were felled with battery chainsaw (MAKITA DUC302Z) and half with petrol chainsaw (MAKITA EA320035B). Results show that vibration exposure was greater when working with petrol chainsaw at every working operation except cross cutting, where vibration exposure was smaller for $1,2\text{m/s}^2$. The vibration exposure is bigger at preparation work and under cutting for $1,3\text{m/s}^2$, at backcutting for $1,5\text{m/s}^2$, at butt trimming for $0,2\text{m/s}^2$ and at debranching for $0,4\text{m/s}^2$. Although model values for 8 hour exposure time during work with battery chainsaw ($3,37\text{m/s}^2$) is lower than values for petrol chainsaw ($3,96\text{m/s}^2$), both values exceed warning law determined value. In order to reduce the vibration exposure during work with battery and petrol chainsaw, we must use appropriate technical and organizational sanctions.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	II
KEYWORDS DOCUMENTATION.....	III
KAZALO.....	IV
KAZALO PREGLEDNIC.....	V
KAZALO SLIK.....	VI

1 UVOD	1
2 NAMEN IN HIPOTEZE NALOGE	2
3 DOSEDANJE RAZISKAVE	3
4 METODE DELA	6
4.1 PODATKI O OBMOČJU RAZISKAVE	6
4.2 PODATKI O SEKAČU.....	6
4.3 DELOVNA SREDSTVA RAZISKAVE	7
4.4 POTEK TERENSKEGA DELA	10
4.5 METODE RAZISKOVANJA	11
4.6 MERITVE UČINKOV	13
5 REZULTATI.....	14
5.1 STRUKTURA ČASA	14
5.2 PRIMERJAVA OBREMENTVE SEKAČA S TRESENJEM PO DELOVNIH OPERACIJAH.....	16
5.3 DNEVNA IZPOSTAVLJENOST VIBRACIJAM.....	20
6 RAZPRAVA.....	21
7 SKLEP	23
8 VIRI	24
ZAHVALA	26

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Lastnosti posekanih dreves	13
Preglednica 2: Struktura časa	15
Preglednica 3: Jakosti tresenja za posamezne delovne operacije in obe motorni žagi.....	19

KAZALO SLIK

Slika 1: Položaj pospeškomera na vodilnem ročaju akumulatorske motorne žage Makita DUC302Z	7
Slika 2: Fotografija bencinske motorne žage (Foto: Makita Slovenija 2016a)	8
Slika 3: Fotografija akumulatorske motorne žage (Foto: Makita Slovenija 2016b)	9
Slika 4: Sekač pri delu	10
Slika 5: Obremenitev delavca s tresenjem skozi celoten poskus	17
Slika 6: Modelne vrednosti dnevne izpostavljenosti tresenju	20

1 UVOD

V komercialno rabo prihaja vedno več naprav in strojev z akumulatorskim pogonom kot alternativa motorjem z notranjim izgorevanjem. Električna motorna žaga je eno izmed tovrstnih delovnih sredstev. Pri uporabi strojev z električnim oz. akumulatorskim pogonom se, poleg negativnih vplivov izpustov na človeka in okolje, domnevno zmanjšajo tudi drugi fizikalni vplivi, ki prihajajo iz delovnega okolja.

Delo z električno motorno žago je bilo do sedaj vezano predvsem na vrtnarstvo in arboristiko. S progresivnim razvojem novih tipov in izboljševanjem tehničnih lastnosti pa postajajo električne motorne žage vedno bolj zanimive tudi za profesionalno rabo v gozdarstvu.

Tresenje rok in dlani pri delu z motorno žago nastane pri delovanju notranjih sil motorja in zunanjih sil (interakcija med motorno žago in drevesom). Tresenje se preko ročaja motorne žage prenaša na roke sekača (Potočnik, 2009). Kronična izpostavljenost tresenju vpliva na razvoj Raynaudsove bolezni oz. bolezni belih prstov (Deželak in Plesničar, 2014). Kljub temu, da se trend razvoja bencinskih motornih žag vedno bolj pomika k zagotavljanju čim bolj delu prijaznih tehničnih lastnosti, pa vrednosti nekaterih parametrov še vedno presegajo zakonsko določene dopustne meje (Švigelj, 2014).

Glavna razlika med električno motorno žago in žago na bencinski pogon je v motorju. Bencinske motorne žage imajo motor z notranjim izgorevanjem. Številne eksplozije v motorju povzročajo tresenje, ki naj bi bilo med delom večje kot pri akumulatorski motorni žagi. Proizvajalec med tehničnimi lastnostmi navaja, da so jakosti tresenja pri akumulatorski motorni žagi večje, kot pri bencinski motorni žagi. Poleg podanih vrednosti tresenja navaja še vrednost odstopanja, ki nam pove razliko med vrednostjo izmerjeno v laboratoriju in dejansko vrednostjo med delom (Makita, 2016b).

2 NAMEN IN HIPOTEZE NALOGE

Namen diplomske naloge je bil primerjati obremenjenost sekača s tresenjem pri sečnji z akumulatorsko in bencinsko motorno žago. Odgovoriti bomo skušali na vprašanje, ali bi uporaba električne motorne žage, kot alternativa bencinski motorni žagi, zmanjšala obremenitve sekača s tresenjem rok in dlani.

Kljub temu, da proizvajalec med tehničnimi lastnostmi navaja večje jakosti tresenja med delom z akumulatorsko motorno žago, smo želeli preveriti navedene podatke. V nalogi smo zastavili dve hipotezi, in sicer, da je:

- obremenjenost sekača z vibracijami večja pri delu z bencinsko motorno žago kot pri delu z akumulatorsko motorno žago,
- dnevna izpostavljenost vibracijam za 8-urni delovnik manjša pri delu z akumulatorsko motorno žago kot z bencinsko motorno žago.

3 DOSEDANJE RAZISKAVE

Obremenitev sekača s tresenjem pri sečnji z bencinsko motorno žago so obravnavale mnoge raziskave v Sloveniji in tujini. Nasprotno pa je bila o delu z akumulatorsko motorno žago do sedaj objavljena le ena raziskava (Colantoni in sod., 2016) in eno diplomsko delo (Erjavec, 2016).

Z vplivom tehnike dela na obremenitev sekača s tresenjem se je v svoji diplomski nalogi ukvarjal Šilc (2011). Ugotovil je, da je sekač pri uporabi nepravilne tehnike pri devetih delovnih operacijah bolj obremenjen s tresenjem, pri desetih pa manj, kot če bi uporabljal pravilno tehniko dela. Obremenjenost sekača s tresenjem je večja, če je prijem vodilnega ročaja ohlapen, kjer obremenitve pri podžagovanju dosežajo vrednosti tudi do $80,18 \text{ m/s}^2$.

Đukić (2010) je v svoji disertaciji ugotavljal dušilno sposobnost anti-vibracijskih rokavic pri delu z motorno žago. Meritve so bile izvedene skladno s HRN EN ISO5349-1:2001 (E) in ISO 7505-1986 (E) priporočili. Študija je pokazala, da so najbolj ustrezne rokavice z AntiVibTM dušilnim materialom. Kljub temu so izračuni pokazali, da nobene izmed rokavic, vključenih v raziskavo, ne nudijo primerne zaščite za 8-urno dnevno izpostavljenost vibracijam. Ugotovili so še, da je pri delu brez anti-vibracijskih rokavic višja frekvenca vibracij absorbirana preko prstov in dlani.

Švigelj (2014) je v svoji diplomski nalogi ugotavljal vpliv tehničnih elementov verige motorne žage na obremenitve delavca s tresenjem. Ugotovil je, da se z nižanjem globinskega zoba obremenitev delavca s tresenjem manjša. Najmanjšo jakost tresenja je bila izmerjena pri globinskem zobu, znižanemu na 0,85 mm. Pri uporabi verige Stihl so obremenitve delavca manjše, če so rezilca nabrušena pod kotom 20° , globinski zobje pa znižani za 0,65 mm ali 0,85 mm. Pri uporabi verige Oregon so obremenitve manjše, če so rezilca nabrušena pod kotom 15° . Ugotovili so, da so jakosti tresenja pri uporabi verig Oregon v povprečju za 18 % manjše kot pri verigah Stihl. Do razlik v obremenitvah s tresenjem pa prihaja tudi zaradi obdelave različnih drevesnih vrst. Tako Švigelj (2014)

navaja, da je jakost tresenja pri prežagovanju jelke za 8 % manjša kot pri prežagovanju bukve. Jakost tresenja je bila v vseh primerih največja v smeri Y, najmanjša pa v smeri X.

V Združenem kraljestvu so ugotavljali (Pitts, 2004) primerljivost vrednosti emisij tresenja, ki jih podaja proizvajalec delovnega sredstva in izmerjenimi vrednostmi. Razvili so poenostavljeno metodo za oceno izpostavljenosti z uporabo nominalnih časov. Uporaba te metode je koristna kot prva ocena izpostavljenosti tresenju. Avtor navaja, da naj se metode izogibamo v primeru, ko je predvidena vrednost izpostavljenosti blizu opozorilne oz. mejne vrednosti. Za vse delovne operacije, razen prežagovanje in kleščenje, je dnevna izpostavljenost presegala mejno vrednost $2,5 \text{ m/s}^2$. Pri eni od žag je dnevna izpostavljenost presegala tudi opozorilno vrednost 5 m/s^2 .

Rottensteiner, Tsioras in Stampfer (2012) so ugotavljali vpliv gostote lesa na obremenjenost tresenja rok in dlani. V študiji so uporabili tri različne modele motornih žag Husqvarna (364, 357 XP in 372 XP) na črnem topolu (*Populus nigra*), navadni smreki (*Picea abies*) in bukvi (*Fagus sylvatica*). Zaradi večje gostote pride pri bukvi do različnega frekvenčnega odziva. Med črnim topolom in smreko ni bila odkrita nobena statistično značilna razlika. Obremenitve s tresenjem, izmerjene na vodilnem ročaju, so za topol znašale od $4,06 \text{ m/s}^2$ do $4,92 \text{ m/s}^2$, za smreko od $4,38$ do $5,66 \text{ m/s}^2$ in od $5,85$ do $7,38 \text{ m/s}^2$ za bukev.

Poje (2011) ugotavlja, da do največjih obremenitev s tresenjem rok in dlani prihaja v smeri X. Predvidoma naj bi bile obremenitve največje v smeri X zaradi antivibracijskega sistema proizvajalca Stihl. Če so v izračunih upoštevali samo delovne operacije pri katerih prihaja do obremenitev s tresenjem delovnih sredstev in vseh 15 dni meritev, so obremenitve v dejanskem času znašale od $9,4$ do $10,9 \text{ m/s}^2$. Osemurne vrednosti obremenjenosti s tresenjem so v tem primeru za $3,4$ do $4,8 \text{ m/s}^2$ presegale zakonsko določeno mejno vrednost. Pri upoštevanju prvih petih dni meritev, so osemurne vrednosti znašale od $3,2$ do $4,8 \text{ m/s}^2$. Ugotovili so, da je obremenitev s tresenjem od prvega do desetega dne meritev narasla iz 5 na 31 m/s^2 . Razlog za povečanje obremenitev s tresenjem je zmanjševanje trdnosti oprijema zaradi bolečin v prstih in dlaneh sekača (uporaba T nosilca).

Pred kratkim je bila v Italiji izdelana raziskava, ki vključuje delo z akumulatorsko motorno žago (Colantoni in sod., 2016). V raziskavo so bile vključene 3 arboristične akumulatorske motorne žage, dve proizvajalca Pellenc (Selion C20, Selion C15) in ena proizvajalca Stihl (MSA 160C-BQ). Poleg treh arborističnih akumulatorskih motornih žag sta bili v raziskavo vključeni še dve arboristični bencinski motorni žagi proizvajalca Stihl (MS 192 in MS 200). Drevesne vrste vključene v raziskavo so bile hrast (*Quercus sp.*), bor (*Pinus sp.*), bukev (*Fagus sylvatica*), smreka (*Picea abies*) in kostanj (*Castanea sativa*). Ugotavljali so zmogljivost in varnost pri delu z akumulatorsko in bencinsko motorno žago. Pri prežagovanju drevesnih vrst z manjšo gostoto so se bolje izkazale akumulatorske kot bencinske motorne žage. Primerjali so maso žage in vrednosti vibracij, ki jih podaja proizvajalec. Ugotovili so, da masa pri akumulatorskih motornih žagah bistveno bolj vpliva na obremenjenost z vibracijami kakor pri bencinskih motornih žagah.

Raziskav glede obremenjenosti s tresenjem, ki bi vključevale akumulatorsko motorno žago, v Sloveniji nismo zasledili. Velja pa omeniti diplomsko nalogo, ki je bila izdelana vzporedno s to nalogo. V slednji je Erjavec (2016) ugotavljal obremenitve sekača z ropotom pri sečnji z bencinsko in akumulatorsko motorno žago.

4 METODE DELA

4.1 PODATKI O OBMOČJU RAZISKAVE

Delo je potekalo v odseku 83B28, Gozdnogospodarski enoti Vrhnika, Gozdnogospodarskem območju Ljubljana. Sestoj iglavcev, ki je v državni lasti, je v razvojni fazi mlajšega debeljaka. Februarja leta 2014 je sestoj prizadel žled, zato je večini dreves manjkal vrh. Naknadno so podlubniki v naslednjih dveh letih še dodatno prizadeli sestoj, kar je tudi razlog, da je bila večina dreves vključenih v poskus suhih oz. v fazi sušenja.

4.2 PODATKI O SEKAČU

Sekač je star 23 let, visok 169 cm in težak 74 kg. Po poklicu je vzgojitelj predšolskih otrok, študira matematiko na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani. Delo sekača opravlja kot vir dodatnega zaslužka. Sekač nima nobenih obolenj ali drugih bolezenskih stanj. V času meritev ni zaužil nobene hrane in pijače, razen vode. Pri delu je uporabljal pravilno tehniko dela in ustrezno zaščitno varovalno opremo.

4.3 DELOVNA SREDSTVA RAZISKAVE

Za meritve tresenja rok smo uporabili pospeškomer Brüel & Kjaer 4524-B, ki je bil nameščen na vodilnem ročaju motorne žage. Pospeškomer je bil žično povezan s sistemom Work Safe, ki ga je podjetje IMS MERILNI SISTEMI d.o.o. posebej razvilo za Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire (IMS, 2015). Tovrstni način merjenja nam je omogočil zanesljivo in relativno nemoteče pridobivanje podatkov. Vzporedno z merjenjem vibracij je potekalo tudi merjenje ropota s pomočjo merilnika Brüel & Kjaer 2250 in mikrofona Brüel & Kjaer 4189, ki je bil pritrjen na desni glušnik zaščitne čelade.



Slika 1: Položaj pospeškomera na vodilnem ročaju akumulatorske motorne žage Makita DUC302Z

Sekač je pri delu uporabljal dve motorni žagi in sicer, eno bencinsko (Makita EA3200S35B) in eno akumulatorsko (Makita DUC302Z). Obe motorni žagi smo dobili na izposajo iz podjetja Makita Slovenija (Makita d.o.o., Brnčičeva ulica 49, Ljubljana-Črnuče).

Tehnične lastnosti za bencinsko motorno žago Makita EA320035B (Makita, 2016a):

- dolžina reza: 350 mm,
- motor: 2 – taktni,
- moč motorja: 1,84 KM oz. 1,37 kW,
- delovna prostornina: 32cm³,
- hitrost verige: 1134 m/min,
- rezervoar za gorivo: 0,4 l,
- razdelitev verige: 3/8,
- vibracije – zadnji ročaj: 4,8 m/s²,
- vibracije – sprednji ročaj: 4,8 m/s²,
- vibracije – odstopanje: 2,0 m/s²,
- masa: 4,1 kg.



Slika 2: Fotografija bencinske motorne žage (Foto: Makita Slovenija 2016a)

Tehnične lastnosti za akumulatorsko motorno žago Makita DUC302Z (Makita, 2016b):

- napetost akumulatorja: 18 + 18 V,
- kapaciteta akumulatorja: 1,5 / 3,0 / 4,0 Ah,
- tip akumulatorja: Li-ion,
- dolžina reza: 300 mm,
- hitrost verige: 500 m/min,
- razdelitev verige: 3/8,
- vibracije – žaganje: $6,3 \text{ m/s}^2$,
- vibracije – odstopanje: $1,5 \text{ m/s}^2$,
- masa: 4,1kg.



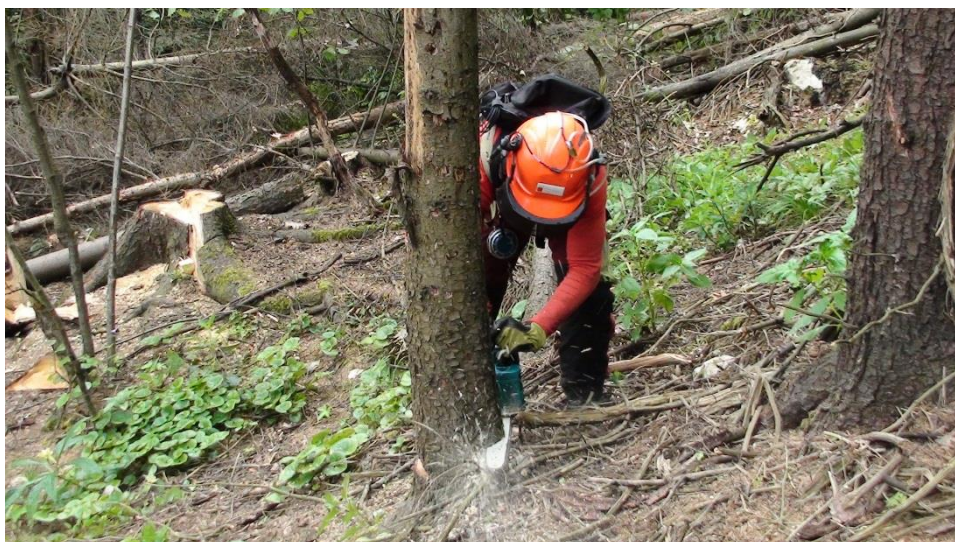
Slika 3: Fotografija akumulatorske motorne žage (Foto: Makita Slovenija 2016b)

4.4 POTEK TERENSKEGA DELA

Meritve smo opravili junija 2016, v popoldanskem času. Vremenske razmere so bile ugodne za delo sekača, temperatura je bila 23 °C. Med delom se je pojavila tudi rahla ploha, ki pa ni spremenila poteka dela.

Sekač je najprej pripravil obe motorni žagi za delo in nabrusil verige. Bencinsko motorno žago je napolnil z gorivom, na akumulatorsko motorno žago pa je pritrdil napolnjene baterije.

Sekač je skupno posekal 10 dreves, najprej 5 z akumulatorsko in nato 5 z bencinsko motorno žago. Drevesa za posek so bila po presoji sekača in asist. dr. Pojeta izbrana pred začetkom dela. Pri izvedbi poskusa smo imeli manjše težave. Tako je prvo drevo obviselo in smo ga dokončno obdelali šele na koncu poskusa. Pri petem drevesu je zmanjkalo električne energije pri akumulatorski motorni žagi, kar je pomenilo, da smo delo nadaljevali z bencinsko motorno žago, drevo pa dokončno obdelali kasneje.



Slika 4: Sekač pri delu

4.5 METODE RAZISKOVANJA

Delovno okolje smo izbrali tako, da smo zagotovili čim bolj homogene delovne razmere za obe motorni žagi. S pomočjo časovne študije smo primerjali obremenjenost z vibracijami med posameznimi delovnimi operacijami.

S pomočjo programske opreme Pulse Reflex - Brüel & Kjær smo pridobili tehtane jakosti tresenja v treh medstojno pravokotnih smereh, dveh horizontalnih oseh X in Y, ter v vertikalni Z smeri. V diplomski nalogi pa smo uporabili skupni vektor jakosti tresenja RMS VTV, ki je pomemben za primerjavo z dopustnimi mejami določenimi v zakonodaji.

V MS Excellu smo pripravili časovno študijo, ki smo jo beležili vzporedno z meritvami. Za večjo natančnost smo časovno študijo, posneto na terenu, uskladili z video posnetki dela. Časovno študijo smo uskladili z izmerjenimi jakostmi tresenja. Modelno vrednost obremenitve sekača v delovnem času osmih ur smo izračunali po naslednji enačbi:

$$RMS\ VTV = \sqrt{\frac{\sum(RMS_i * t_i)}{\sum t_i}} \quad \dots(1)$$

RMS VTV Povprečna vektorska jakost tresenja

RMS_i i-ta vektorska jakost tresenja

t_i trajanje i-tega intervala

S T-testom, ki ne predvideva homogenosti varianc smo v MS Excellu izračunali statistične razlike med povprečnimi vrednostmi.

V času raziskave smo obremenitve s tresenjem spremljali med sedmimi delovnimi operacijami produktivnega časa (pripravljalna dela, zasek, podžagovanje, kleščanje, obdelava korenovca, krojenje in prežagovanje, prehod). Poleg produktivnega časa smo beležili tudi zastoje (zastoj zaradi obvislega drevesa, zastoj zaradi delovnih sredstev, zastoj zaradi meritev).

Delovne operacije »naganjanje«, zaradi dimenzij in suhosti drevja, ni bilo potrebno izvajati. Padec drevesa je sekač sprožil preprosto s potiskom roke ob drevo.

Rezultatov ni mogoče primerjati s slovensko zakonodajo (Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu, 2005), saj meritev nismo izvajali celoten delovnik. Zato smo dnevno izpostavljenost vibracijam ocenili in pri tem uporabili faktor neproduktivnega časa 1,52 (Poje, 2011). Za primerjavo rezultatov s slovensko zakonodajo smo upoštevali mejne in opozorilne vrednosti za vibracije dlan-roka, ki so podane v zgoraj omenjenem pravilniku.

- Mejna vrednost dnevne izpostavljenosti, normalizirana na referenčno obdobje osmih ur, je 5 m/s^2 .
- Opozorilna vrednost dnevne izpostavljenosti, normalizirana na referenčno obdobje osmih ur, je $2,5 \text{ m/s}^2$.

4.6 MERITVE UČINKOV

Učinke smo merili s prostornino posameznih posekanih dreves. Izračunali smo jih z uporabo srednjega premera in dolžin dreves oz. sortimentov.

V preglednici (Preglednica 1) so prikazani izračunani učinki po skupini in tipu motorne žage. Povprečni volumen posekanega drevesa z bencinsko motorno žago je znašal 0,27 m³, z akumulatorsko motorno žago pa 0,38 m³.

Preglednica 1: Lastnosti posekanih dreves

Št. drevesa/tip žage	Srednji premer (cm)	Dolžina (m)	Volumen (m ³)
1 - AŽ	27	14,2	0,81
2 - AŽ	22	12,1	0,46
3 - AŽ	17	10,7	0,24
4 - AŽ	19	13	0,37
5 - AŽ	11	6,4	0,06
1 - BŽ	14	12,5	0,19
2 - BŽ	16	10	0,20
3 - BŽ	20	15	0,47
4 - BŽ	13	7	0,09
5 - BŽ	17	17	0,39
Skupaj BŽ			1,34
Skupaj AŽ			1,94

Legenda: AŽ – akumulatorska motorna žaga, BŽ – bencinska motorna žaga

5 REZULTATI

5.1 STRUKTURA ČASA

Celotni delovni čas, v katerem smo izvajali meritve, je trajal 119,9 min. Produktivni čas je znašal 103,7 min, neproduktivni čas (zastoji) pa 16,9 min. Zastoje smo zaradi majhnega obsega raziskave izločili iz nadaljnjih analiz.

Zaradi lažjega primerjanja delovnih operacij med žagama smo strukturo prečistili in tako izločili prehode. Pri primerjavi prečiščene strukture delovnega časa med žagama, ugotovimo, da med deleži ni bistvenih razlik. Najkrajše delovne faze pri obeh žagah so krojenje in prežagovanje, obdelava korenovca in zasek. Razloge za to lahko iščemo v tem, da zaradi dimenzij in suhosti pri nekaterih drevesih te operacije sploh niso bile potrebne. Do razlik prihaja pri pripravljalnih delih, saj je bilo pri delu z bencinsko motorno žago potrebno nekoliko več časa nameniti odstranjevanju srobot in nekaterih drugih grmovnic. Do največjih razlik v trajanju delovnih operacij pa pride pri kleščenju, ki je obenem tudi operacija, za katero je sekač porabil največ časa. To razliko lahko obrazložimo tako, da je bilo z akumulatorsko motorno žago posekanih in obdelanih $0,60 \text{ m}^3$ oz. 18 % več lesa kot z bencinsko motorno žago.

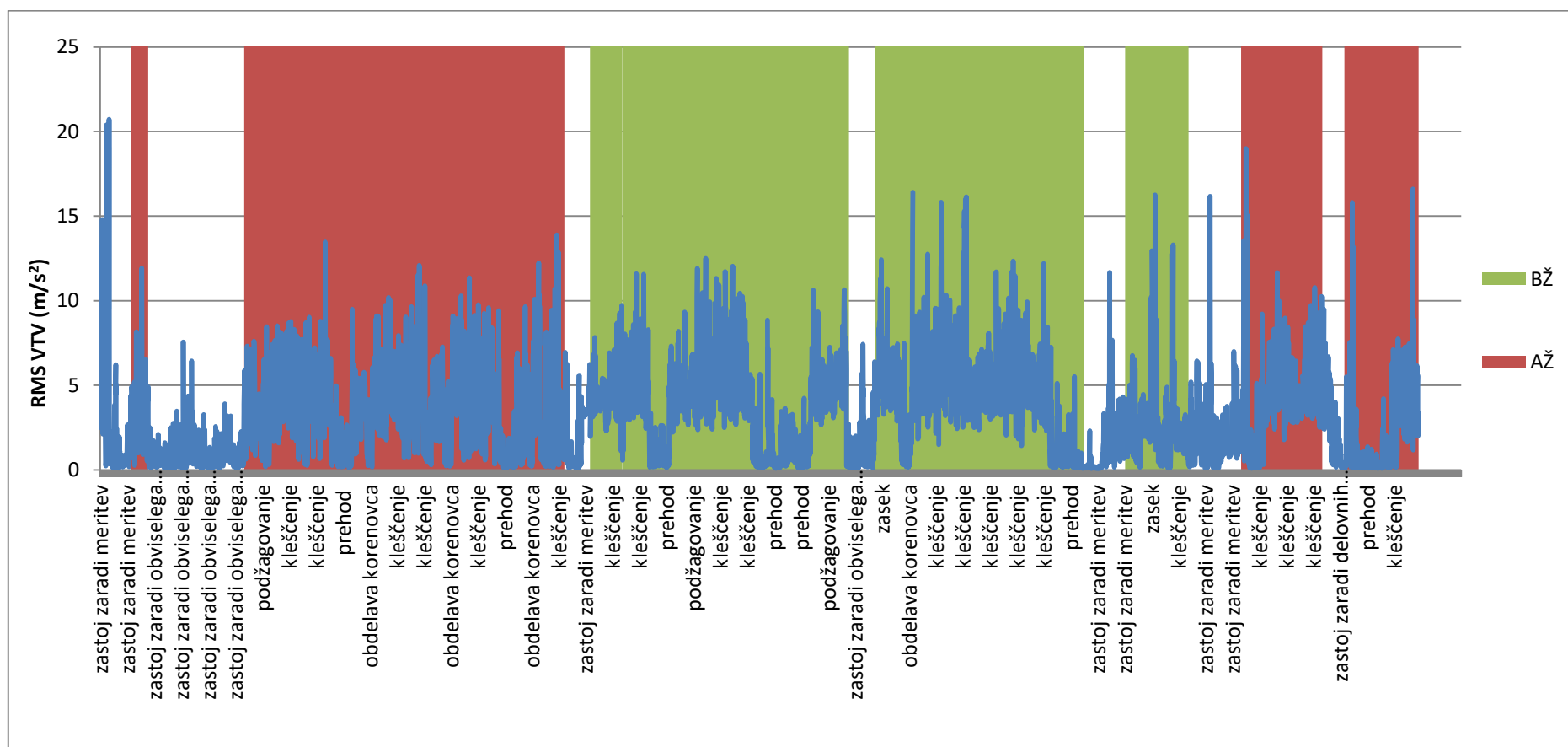
Pri upoštevanju celotnega delovnega časa ugotovimo, da je bilo z bencinsko motorno žago v eni uri posekanih $1,39 \text{ m}^3$ lesa, z akumulatorsko motorno žago pa $1,92 \text{ m}^3$ lesa. Če upoštevamo prečiščeno strukturo, ugotovimo, da je bilo z bencinsko motorno žago posekanih $1,80 \text{ m}^3$ lesa v eni uri, z akumulatorsko motorno žago pa $2,83 \text{ m}^3$ lesa. Pri primerjavi produktivnosti med obema žagama ugotovimo, da je delo z akumulatorsko žago produktivnejše. Razlog lahko iščemo v povprečnem volumnu drevesa posekanega z akumulatorsko ($0,38 \text{ m}^3$) in bencinsko motorno žago ($0,27 \text{ m}^3$). Zakon o kosovnem volumnu namreč pravi, da je z večanjem neto volumna drevesa potrebno manj časa za obdelavo količinske enote lesa (min/m^3).

Preglednica 2: Struktura časa

	Akumulatorska motorna žaga			Bencinska motorna žaga		
	Trajanje (min)	Izmerjena struktura (%)	Prečiščena struktura (%)	Trajanje (min)	Izmerjena struktura (%)	Prečiščena struktura (%)
Prehod	7,9	12,2		10,5	17,8	
Pripravljalna dela	2,2	3,3	5,2	6,3	10,6	14,1
Zasek	2,4	3,6	5,7	3,2	5,4	7,1
Podžagovanje	4,2	6,4	10,2	7,5	12,7	16,8
Obdelava korenovca	2,6	4	6,4	1,5	2,5	3,3
Krojenje in prežagovanje	1,2	1,8	2,9	2	3,3	4,4
Kleščanje	28,5	43,7	69,5	24	40,8	54,2
Zastoj zaradi delovnih sredstev	2,2	3,4		0	0	
Zastoj zaradi meritev	4,6	7		1,5	2,5	
Zastoj zaradi obviselga drevesa	9,5	14,5		2,6	4,4	
Skupaj	65,3	100	100	59,1	100	100

5.2 PRIMERJAVA OBREMENITVE SEKAČA S TRESENJEM PO DELOVNIH OPERACIJAH

Na sliki 5 je prikazan potek obremenitve s tresenjem skozi celoten poskus. V delu grafa, ki je označen z rdečo barvo in predstavlja delo z akumulatorsko motorno žago, dosega jakosti tresenja vrednosti do $13,8 \text{ m/s}^2$. Z zeleno barvo je označen del grafa, kjer je delo potekalo z bencinsko motorno žago, jakosti tresenja tukaj dosega vrednosti do $16,4 \text{ m/s}^2$. Deli grafa, ki niso označeni z nobeno barvo so zastoji, kjer vrednosti tresenja segajo do $16,17 \text{ m/s}^2$.



Slika 5: Obremenitev delavca s tresenjem skozi celoten poskus

Iz preglednice 3 je razvidno, da delo z bencinsko motorno žago povzroča večje obremenitve kakor delo z akumulatorsko motorno žago. Obremenitve s tresenjem pri delu z akumulatorsko motorno žago znašajo $3,6 \text{ m/s}^2$, pri delu z bencinsko motorno žago pa $4,1 \text{ m/s}^2$. Tako so obremenitve s tresenjem v povprečju za $0,5 \text{ m/s}^2$ višje pri delu z bencinsko motorno žago.

Jakosti tresenja so pri delu z akumulatorsko in bencinsko motorno žago višje od zakonsko določene opozorilne vrednosti dnevne izpostavljenosti pri pripravljalnih delih, zaseku, podžagovanju in obdelavi korenovca. Pri delu z bencinsko motorno žago so vrednosti tresenja pri zaseku in podžagovanju višje tudi od mejne vrednosti dnevne izpostavljenosti (preglednica 3).

Obremenitev s tresenjem je v vseh primerih večja pri delu z bencinsko motorno žago. Izjema pa je delovna operacija krojenje in prežagovanje. Razlike v obremenitvah tresenja se gibljejo od $0,1 \text{ m/s}^2$ do $1,5 \text{ m/s}^2$. Do največjih razlik pride pri podžagovanju. Razlog lahko iščemo v tem, da se med prežagovanjem, zaradi majhne moči motorja akumulatorske motorne žage, obrati motorja in posledično obrati verige zmanjšajo. Ker bencinska motorna žaga oddaja vibracije tudi v prostem teku, ko ne prežagujemo, bi morale do večjih razlik priti pri prehodu, vendar se to ne zgodi, saj je bila žaga pri prehodih ugasnjena (preglednica 3).

Za obremenitve tresenja smo naredili statistično analizo s pomočjo T-testa, ki predvideva neenakost varianc. Če primerjamo povprečne vrednosti za kleščenje, krojenje in prežagovanje, obdelavo korenovca, podžagovanje in zasek skupaj med obema žagama, razlike v jakosti tresenja niso statistično značilne ($\text{RMS VTV A}\check{\text{Z}} = 4,66 \text{ m/s}^2$; $\text{RMS VTV B}\check{\text{Z}} = 5,01 \text{ m/s}^2$; $t=-0,73$; $df=5$; $p=0,49$). Če test ponovimo in ne upoštevamo zadnjega drevesa (5 - BŽ), ugotovimo statistično značilno razliko ($\text{RMS VTV A}\check{\text{Z}} = 4,66 \text{ m/s}^2$; $\text{RMS VTV B}\check{\text{Z}} = 5,4 \text{ m/s}^2$; $t=-3,66$; $df=7$; $p=0,008$).

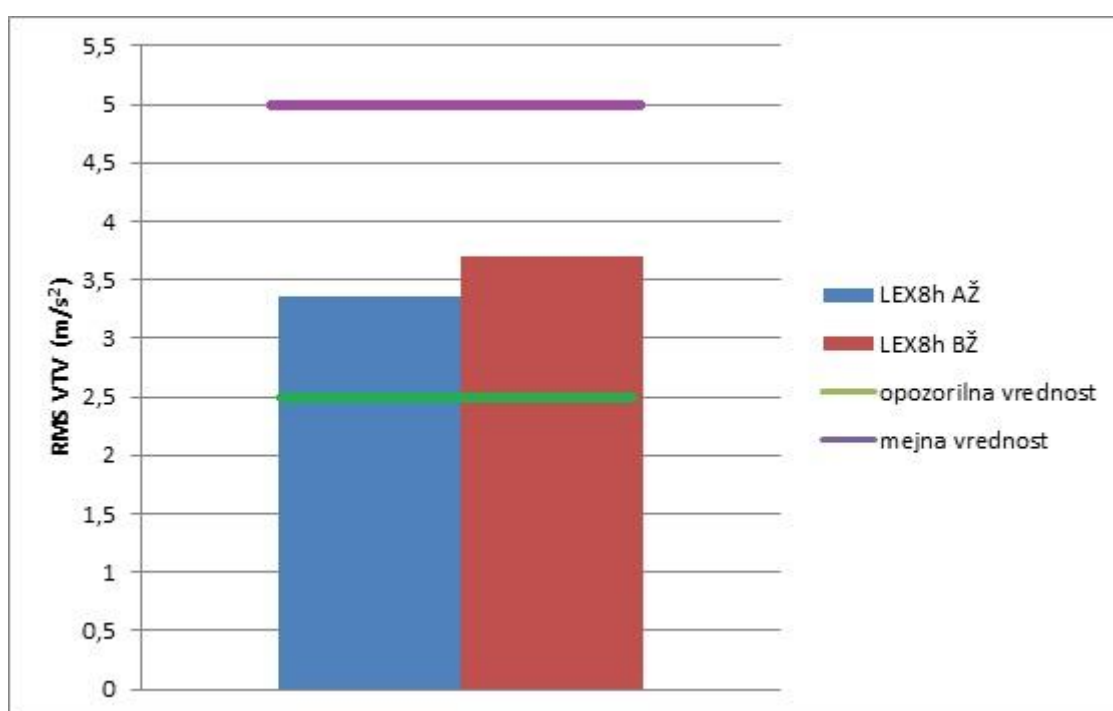
Če za isti kazalnik primerjamo samo posamezne operacije med žagama ugotovimo, da pri kleščanju in zaseku razlike v obremenitvah s tresenjem med delom z obema žagama niso statistično značilne (kleščanje: $t=-0,45$; $df=4$; $p=0,67$; zasek: $t=-2,24$; $df=6$; $p=0,067$). Pri podžagovanju je t-test med motornima žagama pokazal, da so obremenitve s tresenjem značilno večje pri delu z bencinsko motorno žago kot pri delu z akumulatorsko motorno žago (podžagovanje: $t=2,86$; $df=6$; $p=0,028$).

Preglednica 3: Jakosti tresenja za posamezne delovne operacije in obe motorni žagi

	Akumulatorska motorna žaga - RMS VTV (m/s^2)		Bencinska motorna žaga - RMS VTV(m/s^2)	
	Povprečna vrednost	Standardni odklon	Povprečna vrednost	Standardni odklon
Prehod	1,5	0,5	1,6	0,5
Pripravljalna dela	3,0	1,7	4,3	1,4
Zasek	4,0	0,5	5,3	1,1
Podžagovanje	3,8	0,5	5,3	1
Obdelava korenovca	3,3	2,6	3,5	2
Krojenje in prežagovanje	4,6	0,5	3,4	2
Kleščanje	4,8	0,7	5,2	1,5

5.3 DNEVNA IZPOSTAVLJENOST VIBRACIJAM

Izračun modelne osemurne dnevne izpostavljenosti tresenju je pokazal, da je izpostavljenost tresenju pri delu z bencinsko motorno žago ($3,69 \text{ m/s}^2$) nekoliko višja, kot pri delu z akumulatorsko motorno žago ($3,36 \text{ m/s}^2$). V obeh primerih izpostavljenost presega opozorilno vrednost dnevne izpostavljenosti, ki znaša $2,5 \text{ m/s}^2$ (Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu, 2005). Mejna vrednost dnevne izpostavljenosti 5 m/s^2 ni v nobenem primeru presežena.



Slika 6: Modelne vrednosti dnevne izpostavljenosti tresenju

6 RAZPRAVA

Povprečni volumen drevesa posekanega z akumulatorsko motorno žago je za $0,11 \text{ m}^3$ večji kot povprečni volumen drevesa posekanega z bencinsko motorno žago. Če upoštevamo zakon kosovnega volumna, ki pravi, da je z nižanjem neto volumna drevesa potrebno več časa za obdelavo količinske enote lesa (min/m^3), pridemo do zaključka, da so učinki dela z bencinsko in akumulatorsko žago primerljivi. Ugotovitve so skladne z italijansko študijo (Colantoni in sod., 2016), v kateri so ugotovili, da je zmogljivost akumulatorskih motornih žag med delom podobna, v nekaterih primerih celo večja od arborističnih bencinskih motornih žag.

Pri primerjavi obremenitev tresenja med delom z bencinsko motorno žago ugotovimo, da so v našem primeru obremenitve s tresenjem za $0,37$ do $7,21 \text{ m/s}^2$ nižje kot v dosedanjih študijah (Poje 2011, Šilc 2011, Rottensteiner in sod., 2012). Razlog lahko iščemo v tipu žag, saj so bile v dosedanjih raziskavah uporabljene profesionalne žage za delo v gozdu z močnejšimi motorji. Nasprotno pa smo v naši študiji uporabili arboristično žago s šibkejšim motorjem (Makita EA320035B).

Pri primerjavi obremenitev tresenja za posamezne delovne operacije med žagama smo ugotovili, da so skoraj v vseh primerih obremenitve s tresenjem višje pri bencinski motorni žagi. Delovna operacija, kjer je povprečje obremenitev tresenja večje za akumulatorsko žago, je krojenje in prežagovanje. Primerjava obremenitev po delovnih operacijah z dosedanjimi raziskavami je pokazala, da se najvišje obremenitve s tresenjem pojavljajo pri istih (Pitts, 2004) ali pri drugih (Šilc, 2011) delovnih operacijah. Razloga sta v tem, da v naši raziskavi nekaterih delovnih operacij nismo beležili (naganjanje) oz. smo le te združili v eno (krojenje in prežagovanje) ter uporabi motornih žag z različnimi zmogljivostmi motorja.

Rezultate lahko posredno primerjamo z diplomsko nalogo, ki jo je izdelal Erjavec (2016). Podobno kot mi v svoji raziskavi, je z raziskavo ugotavljal obremenjenost delavca z ropotom pri sečnji z akumulatorsko in bencinsko motorno žago v mlajših smrekovih sestojih. Ugotovil je, da so obremenitve z ropotom vedno večje pri delu z bencinsko motorno žago kot akumulatorsko žago. Če predpostavimo, da je glavni vir ropota in tresenja isti, in to je motor, potem so naši rezultati skladni z njegovimi ugotovitvami.

Zaključimo lahko s tem, da ima glede na ugotovljene obremenitve s tresenjem, akumulatorska motorna žaga prednost pred bencinsko motorno žago, kar pa je poleg nižjih obremenitev z ropotom (Erjavec, 2016), ena od pozitivnih lastnosti akumulatorske motorne žage. Akumulatorska motorna žaga pa ima tudi nekaj pomanjkljivosti, ki ji omejujejo rabo v gozdarstvu. Večina teh se nanaša neposredno na lastnosti baterij. Tako čas polnjenja, teža in kapaciteta baterij ključno vplivajo na omejeno rabo te vrste žag. Glede na trenutno stanje tehnološkega razvoja na področju kapacitete Li-ion baterij, bi te sekača obremenile za dodatnih 7,5 kg, kar otežuje njegovo delo (Erjavec, 2016, Husqvarna 2016). Poleg naštetega, je sekač, vključen v našo raziskavo izpostavil, da bi bilo delo med kleščenjem lažje, če bi se spremenila lokacija varnostnega gumba na vodilnem ročaju žage. S tem bi se izognili nepotrebnemu tiščanju ob dlan in potencialnemu pojavu žuljev (Celarc, 2016).

Za zmanjšanje še vedno previsokih obremenitev s tresenjem z obema žagama je potreben nadaljnji tehnični razvoj žag in njenih rezalnih delov. Poleg tega lahko izvajanje pravilne tehnike dela, rotacija delovnih mest in redno vzdrževanje delovnih sredstev bistveno pripomore k zmanjšanju obremenjenosti delavca s tresenjem (Poje, 2011, Šilc, 2011, Švigelj, 2014).

7 SKLEP

Na podlagi rezultatov smo ugotovili, da so povprečne vrednosti obremenitev s tresenjem manjše pri delu z akumulatorsko motorno žago. Kljub temu pa lahko zastavljeno hipotezo, da bo obremenjenost sekača s tresenjem manjša pri delu z akumulatorsko motorno žago kakor pri delu z bencinsko motorno žago, le delno potrdimo. Dejstvo namreč je, da so razlike kljub manjši izpostavljenosti tresenju pri delu z akumulatorsko motorno žago med delovnimi operacijami statistično neznačilne.

Modelna vrednost za osem urni delavnik je manjša pri delu z akumulatorsko motorno žago, zato lahko drugo zastavljeno hipotezo, potrdimo.

Če upoštevamo obremenitve s tresenjem, je delo z akumulatorsko motorno žago primerljivo oz. le nekoliko manjše kot delo z bencinsko motorno žago. Če pa upoštevamo tudi druge dejavnike, kot so teža, stroški nakupa, nedostopnost električnega omrežja in čas polnjenja dodatnih baterij, pa pridemo do zaključka, da akumulatorska motorna žaga še ni primerna za profesionalno rabo v gozdarstvu oz. je raba te vrste motornih žag precej omejena.

Akumulatorska motorna žaga tako zaradi zgoraj omenjenih pomanjkljivosti ostaja vezana na vrtnarstvo, arboristiko in druga vzdrževalna dela v urbanem okolju. Uporaba v gozdarstvu pa ni povsem izključena. Električna motorna žaga je lahko nepogrešljivo delovno sredstvo pri delu v zasebnih gozdovih, kjer je obseg dela majhen.

8 VIRI

Celarc U. 2016. Pozicija gumba na vodilnem ročaju akumulatorske motorne žage
Makita DUC302Z. Vrhnika, Tomc sp., (osebni vir, 20.jun.2016)

Colatoni A., Mazzocchi F., F.Cossio., Cecchini M., Bedini R. and Monarca D. 2016.
Comparisons between Battery Chainsaws and Internal Combustion Engine
Chainsaws, Contemporary Engineering Sciences, 9, 27: 1315-1337

Đukić I. 2010. Utjecaj antivibracijskih rukavica na smanjenje vibracije koje se prenose na
ruke operatera motornih pila lančanic. Zagreb, Šumarski fakultet: 125 str.

Deželak F., Plesničar B. 2014. Problematika vibracij rok na delovnih mestih sekačev. Delo
in varnost, 1, 59: 28-38

Erjavec T. 2016. Primerjava obremenitve sekača z ropotom pri sečnji mlajših sestojev
iglavcev z akumulatorsko (Makita DUC302Z) in bencinsko (Makita EA320035B):
diplomsko delo. (Univerza v Lj.,BF,Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne
vire). Ljubljana, samozaložba.

Husqvarna (USA). 2016. Dostopno na: <http://www.husqvarna.com/us/products/battery/>
(1.10.2016).

IMS 2015. Novice – Work Safe. [http://www.ims.si/index.php/aktualno/novice/315-work-
safe.html](http://www.ims.si/index.php/aktualno/novice/315-work-safe.html) (29.11.2016)

Makita Slovenija. 2016a. <http://www.makita.si/tool/22010/EA3200S35B.html> (4. 10.
2016)

Makita Slovenija. 2016b. <http://www.makita.si/tool/54129/DUC302Z.html> (4.10 2016)

Pitts P. 2004. Hand-arm vibration emission of chainsaws – comparison with vibration exposure. Buxton: 60 str.

Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu.
2005. Uradni list RS, št 16/99 in 64/01.

Potočnik I. 2009. Ergonomija: študijsko gradivo. Ljubljana, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Ljubljana, samozaložba.

Poje A. 2011. Vplivi delovnega okolja na obremenitev in težavnost dela sekača pri različnih organizacijskih oblikah: doktorska disertacija. (Univerza v Lj., BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba.

Rottensteiner, C., Tsioras, P.A., Stampfer, K., 2012. Wood density impact on hand-arm vibration. Croatian Journal of Forest Engineering, 33, 2: 303-312.

Šilc M. 2011. Vpliv tehnike dela na obremenitev sekača s tresenjem: diplomsko delo (Univerza v Lj., BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba.

Švigelj Ž. 2014. Vpliv tehničnih elementov verige motorne žage na obremenitve delavca s tresenjem: diplomsko delo visokošolski strokovni študij – 1. Stopnja. (Univerza v Lj., BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 52 str.

ZAHVALA

Somentorju asist. dr. Antonu Pojetu se iskreno zahvaljujem za svetovanje in pomoč pri izdelavi diplomske naloge. Mentorju prof. dr. Igorju Potočniku se zahvaljujem za odobritev naslova in pregled. Doc. dr. Juriju Marenčetu se zahvaljujem za recenzijo diplomske naloge.

Sekaču se zahvaljujem za sodelovanje, potrpežljivost in omogočen potek dela.

Dekletu se zahvaljujem za moralno podporo tekom zadnjega letnika študija.

Za konec se zahvaljujem še staršem za finančno pomoč in omogočena sredstva.