

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

Primož MEZNARČIČ

**OBREMENITEV STROJNIKA STROJA ZA SEČNJO Z
ROPOTOM IN TRESENJEM V RAZMERAH
VISOKEGA KRASA**

MAGISTRSKO DELO

Magistrski študij – 2. stopnja

Ljubljana, 2015

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

Primož MEZNARČIČ

**OBREMENITEV STROJNIKA STROJA ZA SEČNJO Z ROPOTOM IN
TRESENJEM V RAZMERAH VISOKEGA KRASA**

MAGISTRSKO DELO
(Magistrski študij - 2. stopnja)

**EXPOSURE OF HARVESTER OPERATOR TO WHOLE-BODY
VIBRATION AND NOISE UNDER CONDITIONS OF HIGH KARST**

M. Sc. Thesis
(Master Study Programmes)

Ljubljana, 2015

Magistrsko delo je zaključek magistrskega študija Gozdarstva in upravljanja gozdnih ekosistemov. Opravljeno je bilo na Katedri za gozdno tehniko in ekonomiko, Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani, v sodelovanju s podjetjem Gozdarstvo Grča Kočevje in Gozdnim Gospodarstvom Postojna. Obremenitev gozdarskih delavcev, strojnikov strojev za sečnjo, z ropotom in s tresenjem je bila izvedena na gozdnogospodarskem območju Kočevje in Postojna, v juniju 2014.

Študijska komisija Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire je dne 18. 2. 2014 sprejela temo in za mentorja magistrskega dela imenovala prof. dr. Igorja Potočnika, za somentorja asist. dr. Antona Pojeta ter za recenzenta izr. prof. dr. Janeza Krča.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Primož Meznarčič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)

ŠD Du2

DK GDK 302:36(043.2)=163.6

KG stroj za sečnjo/obremenitve z ropotom/obremenitve s tresenjem celega telesa/
visoki kras

AV MEZNARČIČ, Primož

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 2015

IN OBREMENITEV STROJNIKA STROJA ZA SEČNJO Z ROPOTOM IN
TRESENJEM V RAZMERAH VISOKEGA KRASA

TD Magistrsko delo (magistrski študij – 2. stopnja)

OP X, 111 str., 22 pregl., 30 sl., 69 vir.

IJ sl

JI sl/en

AI Namen magistrskega dela je bil ugotoviti stopnjo obremenitev strojnika stroja za sečnjo z ropotom in tresenjem celega telesa pri delu na območju Visokega krasa. Tridnevna raziskava je bila izvedena na petih različnih strojih (John Deere 1470D in 1470E, Caterpillar 580 in 580C ter Valmet 941.1), petih lokacijah in na šestih strojnikih. Rezultati so pokazali, da je bila obremenitev strojnika z ropotom ($L_{Aeq.kor.}$) v delovnem času med 70,8 in 74,5 dB(A) oz. med 98,1 in 132,5 dB(C) glede na konično jakost ropota (L_{Cpeak}). Nobena od obremenitev z ropotom ne presega spodnje opozorilne vrednosti dnevne izpostavljenosti. Obremenitve s tresenjem so bile najvišje v aksialni (Y) smeri in glede na kazalnik RMS med 0,33 in 0,46 m/s^2 oz. med 8,21 in 11,89 $m/s^{1,75}$ glede na kazalnik VDV. Obremenitve s tresenjem na dveh deloviščih presegajo opozorilne vrednosti določene z zakonodajo. V obremenitvah z ropotom med operacijami delovnega časa ni značilnih razlik, medtem ko so obremenitve s tresenjem značilno večje pri premikih stroja kot ostalih delovnih operacijah.

KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD)

ND Du2

DC FDC 302:36(043.2)=163.6

CX harvester/noise loads/whole-body vibration/high kras

AU MEZNARČIČ, Primož

SA POTOČNIK, Igor (supervisor) /POJE, Anton (co-advisor)

KZ SI – 1000 Ljubljana, Večna pot 83

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

LI 2015

IN EXPOSURE OF HARVESTER OPERATOR TO WHOLE-BODY VIBRATION
AND NOISE UNDER CONDITIONS OF HIGH KARST

TD M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)

OP X, 111 p., 22 tab. 30 fig., 69 ref.

IJ sl

JI sl/en

AI The purpose of the master thesis was to determine the noise loads and loads of whole-body vibrations on the machine operator of the harvester at work in the area of High karst. The three-day survey was conducted on five different machines (John Deere 1470D and 1470E, Caterpillar 580 and 580C and the Valmet 941.1), on five locations and six operators. The results showed that the noise loads on the operator ($L_{Aeq.kor.}$) during their working time was between 70,8 and 74,5 dB (A), or between 98,1 and 132,5 dB (C) relative to the peak intensity noise (L_{Cpeak}). None of the noise loads exceeded the lower daily exposure action value. Loads of whole-body vibrations were the highest in the axial (Y) direction and according to the RMS indicator between 0.33 and 0,46 m/s^2 or between 8,21 and 11,89 $m/s^{1,75}$ according to the VDV indicator. Loads of whole-body vibrations at two worksites exceeded the action values laid down by legislation. Noise loads between different operations of work had no significant differences while the loads of whole-body vibrations were significantly greater when the machine was moving compared to other working operations.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)	III
KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD).....	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	IX
1 UVOD	1
2 DOSEDANJE RAZISKAVE	3
2.1 SPLOŠNO O ZVOKU IN TRESENJU	4
2.2 OBREMENITEV STROJNIKA Z ROPOTOM	7
2.2.1 Učinki ropota na zdravje strojnika, izvor ropota	7
2.2.2 Primerjava obremenitev strojnikov gozdarskih strojev z ropotom.....	8
2.2.3 Ukrepi za zmanjšanje obremenitev z ropotom	10
2.3 OBREMENITEV STROJNIKA S TRESENJEM	10
2.3.1 Odziv strojnika na tresenje, izvor tresenja	10
2.3.2 Primerjava obremenitev strojnikov gozdarskih strojev s tresenjem.....	12
2.3.3 Ukrepi za zmanjšanje obremenitev s tresenjem	13
3 RAZISKOVALNE HIPOTEZE.....	16
4 OBJEKTI IN METODE RAZISKOVANJA	17
4.1 OBJEKTI RAZISKOVANJA, LASTNOSTI STROJEV, PODATKI O STROJNIKI	17
4.1.1 Delovišče John Deere 1470D.....	17
4.1.2 Delovišče John Deere 1470E	19
4.1.3 Delovišče Caterpillar 580	20
4.1.4 Delovišče Caterpillar 580C	22
4.1.5 Delovišče Valmet 941.1	23
4.2 METODE RAZISKOVANJA IN OBDELAVA PODATKOV	25
4.2.1 Časovna študija.....	25
4.2.2 Razčlenitev delovnega časa na delovne operacije.....	25
4.2.3 Merilne naprave in potek meritev.....	27
4.2.4 Obdelava podatkov in statistične metode.....	29

4.2.5	Izračun modelne vrednosti obremenitev v neproduktivnem času	30
4.2.6	Izračun frekvence ropota na deloviščih.....	31
4.2.7	Primerjava udobnosti strojev glede na standard ISO 2631.....	31
4.3	KAZALNIKI OBREMENITEV Z ROPOTOM IN TRESENJEM TER DOPUSTNE MEJE.....	32
4.3.1	Zakonske opredelitve	32
4.3.2	Kazalniki obremenitev z ropotom in dopustne meje.....	33
4.3.3	Kazalniki obremenitev s tresenjem in dopustne meje.....	35
5	REZULTATI	38
5.1	STRUKTURA IN ČAS IZPOSTAVLJENOSTI DEJAVNIKOM DELOVNEGA OKOLJA.....	38
5.2	OBREMENITEV STROJNIKA Z ROPOTOM	41
5.2.1	Jakost ropota v kabini po deloviščih.....	41
5.2.2	Obremenitev delavcev z ropotom po deloviščih in delovnih operacijah	47
5.2.3	Frekvenčna analiza ropota po deloviščih	53
5.2.4	Statistična analiza obremenitev z ropotom med delovišči	57
5.2.5	Statistična analiza obremenitev z ropotom med delovnimi operacijami	58
5.3	OBREMENITEV STROJNIKA S TRESENJEM	60
5.3.1	Jakost tresenja v kabini po deloviščih	60
5.3.2	Obremenitev delavcev s tresenjem po deloviščih in delovnih operacijah	66
5.3.3	Statistična analiza obremenitev s tresenjem med delovišči	74
5.3.4	Statistična analiza obremenitev s tresenjem med delovnimi operacijami	80
6	RAZPRAVA.....	88
6.1	ČAS IZPOSTAVLJENOSTI	88
6.2	OBREMENITEV STROJNIKA Z ROPOTOM	88
6.3	OBREMENITEV STROJNIKA S TRESENJEM	92
7	SKLEPI	96
8	POVZETEK.....	101
9	VIRI	104
ZAHVALA		

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Strnjeni rezultati meritev jakosti ropota v strojih za sečnjo (Seixas in sod., 1999: 8-13)	9
Preglednica 2: Opis delovišča, delovnih razmer, stroja in strojnika na delovišču John Deere 1470D	18
Preglednica 3: Opis delovišča, delovnih razmer, stroja in strojnika na delovišču John Deere 1470E.....	19
Preglednica 4: Opis delovišča, delovnih razmer, stroja in strojnika na delovišču Caterpillar 580	21
Preglednica 5: Opis delovišča, delovnih razmer, stroja in strojnika na delovišču Caterpillar 580C	22
Preglednica 6: Opis delovišča, delovnih razmer, stroja in strojnika na delovišču Valmet 941.1	24
Preglednica 7: Obremenitve z ropotom v kabini po delovnih operacijah na delovišču John Deere 1470D.....	47
Preglednica 8: Obremenitev z ropotom v kabini po delovnih operacijah na delovišču John Deere 1470E	48
Preglednica 9: Obremenitve z ropotom v kabini po delovnih operacijah na delovišču Caterpillar 580	49
Preglednica 10: Obremenitve z ropotom v kabini po delovnih operacijah na delovišču Valmet 941.1	50
Preglednica 11: Rezultati posteriorne analize obremenitev z ropotom med delovišči (U-test, Bonferroni korekcija značilnosti, $p < 0,008$)	58
Preglednica 12: Rezultati posteriorne analize med delovnimi operacijami (U-test, Bonferroni korekcija značilnost $p < 0,005$)	59
Preglednica 13: Obremenitev s tresenjem v kabini po delovnih operacijah na delovišču John Deere 1470D	66
Preglednica 14: Obremenitev s tresenjem v kabini po delovnih operacijah na delovišču John Deere 1470E.....	67
Preglednica 15: Obremenitev s tresenjem v kabini po delovnih operacijah na delovišču Caterpillar 580	68

Preglednica 16: Obremenitev s tresenjem v kabini po delovnih operacijah na delovišču Caterpillar 580C	69
Preglednica 17: Obremenitev s tresenjem v kabini po delovnih operacijah na delovišču Valmet 941.1	70
Preglednica 18: Pregled največjih vrednosti RMS VDV in VDV VTV ter največjih vrednosti RMS in VDV za posamezne smeri po deloviščih in primerjava z dopustnimi mejami iz Pravilnika (2005)	73
Preglednica 19: : Posteriorna analiza RMS vrednosti tresenja med delovišči za produktivni čas (U-test, Bonferroni korekcija značilnost $p < 0,005$).....	76
Preglednica 20: Posteriorna analiza VDV vrednosti tresenja med delovišči za produktivni čas (U-test, Bonferroni korekcija značilnost $p < 0,005$).....	79
Preglednica 21: Posteriorna analiza RMS vrednosti tresenja med delovnimi operacijami za produktivni čas (U-test, Bonferroni korekcija značilnost $p < 0,005$)	83
Preglednica 22: Posteriorna analiza skupnih doz tresenja med delovnimi operacijami za produktivni čas (U-test, Bonferroni korekcija značilnost $p < 0,005$)	86

KAZALO SLIK

Slika 1: Vpliv ropota (levo) in tresenja (desno) na ljudi (Čudina, 2014:4).....	5
Slika 2: Frekvenčno območje spektra slišnega zvoka (Čudina, 2014:5).....	6
Slika 3: Primer linearnega (črtkano) in C ter A – vrednotenega spektra ropota (Čudina, 2001:40).....	6
Slika 4: Stroj za sečnjo John Deere 1470 D Eco III med iztegovanjem roke, Mozelj (foto: Jure Pokorn).....	18
Slika 5: Izklopljen stroj za sečnjo John Deere 1470 E Eco III v času izmene delavcev, Grintovec (foto:Primož Meznarčič).....	20
Slika 6: Stroj za sečnjo Caterpillar EcoLog 580 med procesiranjem, Željne-Laze (foto: Primož Meznarčič)	21
Slika 7: Stroj za sečnjo Caterpillar EcoLog 580C med premikom po sečnospravični poti, Mozelj (foto: Primož Meznarčič)	23
Slika 8: Stroj za sečnjo med izdelovanjem sortimenta in sekač, ki izvaja predsečnjo, Snežnik (Foto: Primož Meznarčič).....	24
Slika 9: Naprava Brüel&Kjær 2250 za merjenje ropota nameščena na steklu v kabini stroja za sečnjo (foto: Primož Meznarčič).....	28
Slika 10: Adapter Brüel&Kjær 4515 nameščen na sedežu in merilna naprava v torbi za sedežem (foto: Primož Meznarčič).....	29
Slika 11: Struktura posnetega časa po delovnih operacijah	38
Slika 12: Struktura delovnega časa po delovnih operacijah in deloviščih	39
Slika 13: Struktura produktivnega delovnega časa po delovnih operacijah in deloviščih ..	40
Slika 14: Potek obremenitev z ropotom preko delovnega časa po delovnih operacijah na delovišču John Deere 1470D.....	43
Slika 15: Potek obremenitev z ropotom preko delovnega časa po delovnih operacijah na delovišču John Deere 1470E	44
Slika 16: Potek obremenitev z ropotom preko delovnega časa po delovnih operacijah na delovišču Caterpillar 580.....	45
Slika 17: Potek obremenitev z ropotom preko delovnega časa po delovnih operacijah na delovišču Valmet 941.1	46
Slika 18: Primerjava frekvenčnih pasov po posameznih deloviščih v produktivnem času.	54

Slika 19: Primerjava frekvenčnih spektrov po delovnih operacijah.....	56
Slika 20: Primerjava ekvivalentne jakosti ropota med delovišči za produktivni čas	57
Slika 21: Primerjava obremenitev z ropotom med delovnimi operacijami v produktivnem času	59
Slika 22: Potek obremenitev s tresenjem preko dneva po delovnih operacijah na delovišču John Deere 1470D	61
Slika 23: Potek obremenitev s tresenjem preko dneva po delovnih operacijah na delovišču John Deere 1470E.....	62
Slika 24: Potek obremenitev s tresenjem preko dneva po delovnih operacijah na delovišču Caterpillar 580	63
Slika 25: Potek obremenitev s tresenjem preko dneva po delovnih operacijah na delovišču Caterpillar 580C	64
Slika 26: Potek obremenitev s tresenjem preko dneva po delovnih operacijah na delovišču Valmet 941.1	65
Slika 27: Primerjava RMS obremenitev s tresenjem med delovišči po posameznih smereh in skupno za produktivni čas	74
Slika 28: Primerjava VDV obremenitev s tresenjem med delovišči po posameznih smereh in skupno za produktivni čas	77
Slika 29: Primerjava RMS obremenitev s tresenjem med delovnimi operacijami po posameznih smereh in skupno za produktivni čas.....	80
Slika 30: Primerjava VDV obremenitev s tresenjem med delovnimi operacijami po posameznih smereh in skupno za produktivni čas.....	84

1 UVOD

Področje varnosti in zdravja pri delu obsega pravice in obveznosti delodajalcev in delavcev. Slednji upravičeno pričakujejo, da jim bo zagotovljeno zdravju neškodljivo delovno okolje, na drugi strani pa si delodajalci želijo visoko produktivne in zdrave delavce, s katerimi bi imeli čim manj direktnih in indirektnih stroškov zaradi njihove zmanjšane delovne zmožnosti (Varnost in zdravje pri delu v gozdu, 2003). Pravice in dolžnosti so torej razdeljene med delodajalce, delojemalce in državo.

Delavec delo opravlja pod vplivom dejavnikov iz okolja. Ti vplivajo nanj, na njegovo delovno zmogljivost in pripravljenost za delo. Zunanje vplive, kamor prištevamo ropot, tresenje, izpušne pline ter biotske dejavnike imenujemo delovno okolje (Lipoglavšek in Kumer, 1998). Vpliv dejavnikov je lahko posamičen ali skupen.

Objektivna merjenja obremenjenosti gozdarskih delavcev med delom v gozdu so pokazala, da gre za težko dinamično delo. Slednje zahteva visok odstotek maksimalne aerobne kapacitete. Visoka storilnost pomeni tudi povečano porabo energije. Med telesnimi obremenitvami prevladujejo nefiziološke drže pri delu, najpogostejše asimetrično obremenjene. Telesni segmenti so nemalokrat v neergonomskih sklepnihi kotih (Gazvoda, 2007).

Vsakodnevno in dolgotrajno delo v gozdarstvu se je izkazalo kot nevarno, pretežavno in preobremenjujoče za mnoge delavce, zlasti to velja za sekače. Raziskave kažejo preobremenitve gozdnih delavcev z ropotom, tresenjem, prahom in plinom (Gazvoda, 2007). Gozdarska dejavnost se kaže kot ena najnevarnejših po pogostnosti nezgod (Nezgode pri delu ..., 2007), zanemarljiva pa ni niti pogostnost pojavljanja naglušnosti in vibracijskih bolezni, kar kaže, da tehnološki razvoj delovnih sredstev, zlasti motornih žag, ni zadovoljivo zmanjšal obremenitev iz delovnega okolja (Gazvoda, 2007; Miyakita in Ueda, 1997).

Postopno uvajanje mehanizirane sečnje in spravila lesa v slovensko gozdarstvo kaže na pozitiven vpliv takšnega načina dela na varnost pri delu oziroma na manjše tveganje za

nezgodo (Trebec, 2015). Mehanizirano sečnjo in spravilo lesa uvrščamo med lažja dela, saj je vrednost povprečnega delovnega pulza 17,1 oziroma 16,4 u/min (Stampfer, 1997). Močno pa so obremenjene senzo-motorične funkcije strojnika. Tako Gellerstedt (2002) navaja, da mora strojnik stroja za sečnjo izvesti do 4000 ukazov na uro. Posledica neprimerno oblikovanega dela je »sindrom preobremenitve« (ang., repetitive strain injury - RSI), ki ga označujejo težave in poškodbe vratu, rok ter hrbtenice in se pojavljajo pri 50 % strojnikov (Axelsson in Pontén, 1990).

Zaradi specifičnih delovnih razmer na področju visokega krasa in zelo redkih ergonomskih raziskav strojne sečnje v slovenskem prostoru je namen pričujočega magistrskega dela ugotoviti obremenitve strojnika stroja za sečnjo z ropotom in s tresenjem celega telesa po posameznih delovnih operacijah ter na podlagi meritev oceniti njegovo dnevno izpostavljenost.

2 DOSEDANJE RAZISKAVE

Človek je najpomembnejši element vsakega delovnega procesa, četudi so njegove aktivnosti povsem ročne, bodisi informacijsko podprte ali v celoti avtomatizirane. Humanizacija dela je vsestransko stremljenje k človeku prijaznemu delu in je tudi način razmišljanja kako slednjega organizirati. Pri organizaciji dela v gozdarstvu so pomembni štirje elementi, in sicer, človek, gozd, tehnika in ekonomika. Sodobnejša veda je ergonomija, ki pa se več ne ukvarja s celotno organizacijo dela, ampak le s človekom oziroma s prilagoditvijo dela človekovim lastnostim in sposobnostim. Vključuje tehnična, fiziološka, psihološka, medicinska, sociološka in druga znanja ter išče kompromise med prijaznostjo (prilagojenostjo človeku) in učinkovitostjo dela. Spoznanja uveljavlja v praktični organizaciji dela zaradi poslovnih in socialnih interesov varstva pri delu (Lipoglavšek in Kumer, 1998).

Število poklicnih obolenj v gozdarstvu je veliko, zato gre tehnološki razvoj v smeri zmanjševanja negativnih vplivov strojev na zdravje človeka (Zupančič, 2008). Ob pregledu literature ugotavljamo, da se večji del raziskav ukvarja z merjenji in preučevanji učinkov dela, medtem ko se nemalokrat pozablja na ergonomsko primernost delovnih mest (Jack in Oliver, 2008; Žunič, 2010). Uvajanju najsodobnejših tehnologij na področju gozdarstva je sledila tudi Slovenija. Nastale so prve raziskave s tega področja, prav tako v veliki meri osredotočene na preučevanje stroškov in učinkovitosti pri sečnji in spravilu lesa (Vranešič, 2008; Zupančič, 2008; Žunič 2010). Izsledki so predvsem koristni iz vidika delodajalca pri spremljanju produktivnosti, ne povedo pa veliko o prilagojenosti delovnih mest in dolgoročnem preprečevanju ter spremljanju poklicnih bolezni.

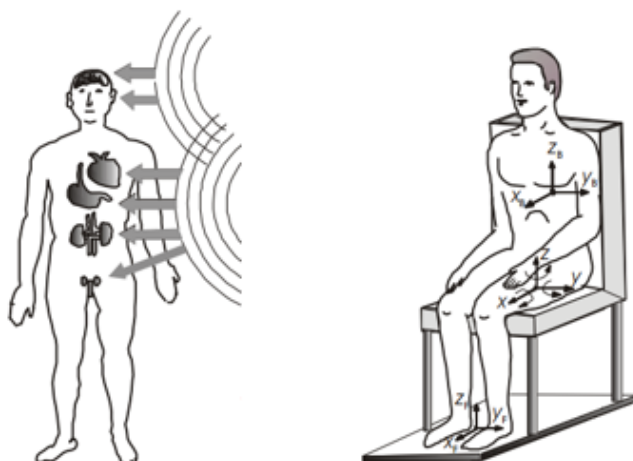
Pri nas se je s problematiko nezgod in obremenitvami delavcev pri delu v gozdarstvu največ ukvarjal prof. Lipoglavšek (1981, 1982, 1992), v zadnjih letih pa njegovo raziskovalno delo nadaljujeta prof. dr. Potočnik in asist. dr. Poje (2007, 2008, 2011). Pod njunim mentorstvom so nastale tudi diplomske naloge in magistrska dela, ki ugotavljajo ergonomsko primernost gozdarskih delovnih sredstev (Obranovič, 2010, 2013; Odar, 2012; Šenica, 2012, 2015; Šilc, 2011, 2015; Šterbenk, 2013; Žunič, 2010, 2014).

2.1 SPLOŠNO O ZVOKU IN TRESENJU

Zvok oziroma zvočno valovanje je pojav, ki nastane pri mehanskem nihanju materialnih delcev v nekem mediju, ki ima svojo maso in elastičnost v slišnem področju frekvenc. Zvok se prenaša v plinu, tekočini ali togem telesu. Nihanja v zraku povzročajo zvočni ali aerodinamični zvok, v tekočinah hidrodinamični zvok in v togih telesih oziroma strukturi strukturalni zvok. Nihanja v slednjih imenujemo tresljaji ali vibracije. Tresenje strukture lahko povzroči tudi zvočno valovanje, ki prihaja na strukturo, če je ta toliko elastična, da jo majhna energija zvoka spravi v gibanje. Tresenje struktur povzroča, da se nihanja prenašajo na okoliški zrak, kar človeško uho zazna kot zvok (Čudina, 2014).

Čudina v svoji knjigi piše, da je ropot ena od oblik zvočnega valovanja. Gre za nerazumljivo, nekoristno ali motečo informacijo zvočnega valovanja, ki je kot taka nezaželena. Ni pa odvisna od jakosti zvoka ali njegove frekvence, temveč od poslušalca, njegovega razpoloženja, utrujenosti, zdravstvenega stanja, starosti, spola, socialnega, kulturnega in ekonomskega položaja ter od časa in kraja. Ropot je torej subjektivna kategorija, ki negativno vpliva na zdravje in počutje človeka (slika 1, levo). Njegov učinek je odvisen od njegove ravni.

Avtor navaja, da so tresenja nihanja mehanskih sistemov ali posameznih delov strukture. Zaradi tega nastane strukturalni ropot. Ločimo lastno oziroma naravno in vsiljeno tresenje. Prosto tresenje nastane brez delovanja zunanjih sil. Pravimo, da sistem prosto niha. Medtem ko pri vsiljenem tresenju na sistem deluje sila iz okolja. Nihanje sistema je odvisno od te sile. Poznamo periodično, neperiodično in naključno vsiljeno tresenje. Pri prvem se nihanja pojavljajo v pravilnih časovnih intervalih, pri ostalih dveh takšnih časovnih ponovitev ni. Seveda se med nihanji sistemov del energije izgublja, kar povzroča dušeno gibanje. To je tudi razlog, da se gibanje sistema enkrat ustavi, sistem se izniha. Če tresenja zaradi vsiljenih nihanj pridejo v resonanco z lastnim nihanjem sistema, lahko pride do porušitve sistema.

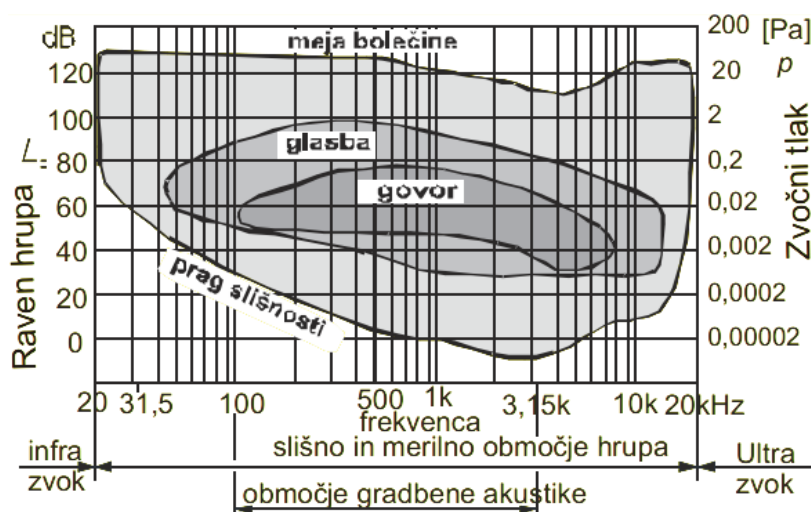


Slika 1: Vpliv ropota (levo) in tresenja (desno) na ljudi (Čudina, 2014:4)

Druga delitev tresenja je delitev glede na število prostorskih stopenj gibanja. To ustreza številu neodvisnih koordinat/smeri, ki so potrebne za popis kompletnega gibanja.

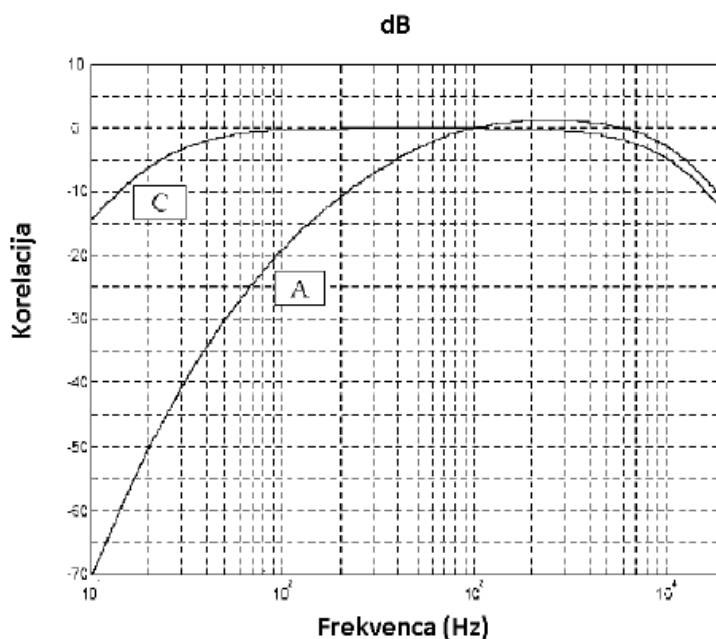
Frekvenca nihanja tresenja je v spodnjem frekvenčnem področju do približno 1000 Hz. Pod močno tresenje prištevamo tresenje v področju infra zvoka, pod 20 Hz. Takega tresenja ne slišimo, temveč ga čutimo kot tresljaje ali v obliki dražljajev. Tresenje lahko deluje na človeški organizem prek nog, zadnjice in hrbta ter rok (slika 1, desno). Imajo lahko različno smer delovanja, zato jih merimo in analiziramo v vseh treh smereh koordinatnega sistema, v X, Y in Z. Človeški organizem je občutljiv na nizko tresenje, do približno 80 Hz. Posledice tresenj so največje ob velikih amplitudah. Tresenju se praktično ne moremo izogniti (Čudina, 2014).

Človeško uho zazna različne tone, zvone, šume in njihove lastnosti, vendar samo v določenem obsegu frekvenc in višini zvočnega tlaka. Mlad zdrav človek sliši v frekvenčnem območju med 20 in 20000 Hz (slika 2). Pod in nad mejama je polje neslišnega, infra in ultra, zvoka. Slišnost ušesa omejuje tudi jakost. Slišimo le zvok z zvočnim tlakom od 2×10^{-5} Pa (prag slišnosti) do 20 Pa (meja bolečine), izraženo z ravno zvočnega tlaka od 0 do 120 dB. Vrednosti veljajo le pri 1000 Hz. Najnižji prag slišnosti je pri približno 3000 Hz, zato uho najboljše sliši v frekvenčnem območju med 1000 in 4000 Hz. Pod 1000 Hz slišnost ušesa zelo hitro upada (slika 2).



Slika 2: Frekvenčno območje spektra slišnega zvoka (Čudina, 2014:5)

Odstopanje slišnosti ušesa od izmerjene vrednosti z mikrofonom korigiramo s pomočjo krivulje A – vrednoteno, ki dejansko prilagodi frekvenčni spekter mikrofona frekvenčni karakteristiki človeškega ušesa. Krivulja A – vrednoteno raven zvoka ustrezno oslabi pri nizkih in visokih frekvencah, v območju največje slišnosti, med 1000 in 4000 Hz pa ojača. Pri 1000 Hz ni korekcije (slika 3). A - vrednotenje na primer uporabljamo pri vrednotenju učinka ropota na ljudi v naravnem in življenjskem okolju, pri ugotavljanju poškodb sluha in zdravja na delovnem mestu (Čudina 2014).



Slika 3: Primer linearnega (črtkano) in C ter A – vrednotenega spektra ropota (Čudina, 2001:40)

2.2 OBREMENITEV STROJNIKA Z ROPOTOM

2.2.1 Učinki ropota na zdravje strojnika, izvor ropota

Škodljive učinke ropota lahko razdelimo na ekstraauralne in auralne. Prvi se pojavljajo pri ropotu do 70 dB(A), drugi pri bolj občutljivih že med 71 in 90 dB(A), nad 90 dB(A) pa so zelo verjetni pri vseh ljudeh. Mnenja strokovnjakov so, da je varna meja 75 dB(A). To pomeni, da se pri 8 urni izpostavljenosti temu ropotu v 40 letni delovni dobi ne bi zmanjšala občutljivost za dojemanje zvoka (Bilban, 1999). Avtor poudarja, da je prag občutljivosti na ropot pri posameznikih lahko različen.

Ropot novjših strojev je zdravju redko škodljiv. Kljub temu je lahko nadležen in utrujajoč, kar lahko privede do manjše produktivnosti. Raziskave potrjujejo, da so lahko tudi nizke jakosti ropota moteče pri delu, kjer je potrebna koncentracija in zbranost (Frumerie, 1999). To velja tudi za delo na stroju za sečnjo. Težave pri nizkih jakostih se kažejo v utrujenosti, razdražljivosti, občutku nelagodnosti in slabšem spancu (Bilban, 2005). V najhujših primerih, ko so jakosti ropota visoke, se sluh lahko poškoduje ali celo izgubi. Ločimo začasno (slušna utrujenost) ali trajno (naglušnost) izgubo. Najbolj vplivna dejavnika na premik praga slišnosti sta raven ropota in čas izpostavljenosti ropotu. Prisotnost impulzivnega ropota v obliki poka ta vpliv še bistveno poveča. To navaja tudi Čudina v knjigi Tehnična akustika (2014).

Ropot gozdarskih strojev je v največji meri generiran s strani motorja, izpušnega sistema, klimatske naprave in njenih ventilatorjev, transmisije, hidravlike ali zaradi delovanja samega. Ropot transmisije, hidravličnih črpalk in hidravličnih ventilov se prenaša do kabine po prenašalnih strukturah. To pomeni, da je najmanjši, kadar sta kabina in motor čim bolj ločena oziroma sta na različnih delih stroja. Tako se v veliki meri izognemo večini ropota šasije, tresenju in tudi resonanci. Na drugi strani pa se ropot izpušnega sistema, ventilatorjev in delovnega procesa prenaša po zraku, zato bi morala biti kabina zvočno izolirana, da bi preprečila vdor takšnega ropota (Frumerie, 1999).

Tudi ropot, ki ga povzročajo traktorji, je tolikšen, da prihaja do zdravju škodljivih obremenitev delavca z ropotom (Lipoglavšek in Kumer, 1998). To je tudi razlog, da se stremi k čim večji zvočni izoliranosti kabine. Avtorja navajata, da je jakost ropota odvisna od vrste stroja, njegove moči, od dušenja ropota, na primer s kabino, in od števila obratov motorja med posameznimi delovnimi operacijami. Upoštevati je potrebno tudi načine oziroma tehnologije dela in delovne razmere, oboje namreč vpliva na trajanje izpostavljenosti ropotu.

Sodobne tehnologije pridobivanja lesa naj bi bile z vidika ropota delavcu prijaznejše. Razvoj le-teh gre torej v smeri zmanjševanja obremenjenosti delavca z ropotom znotraj kabine. To velja tako za sodobne traktorje, kot seveda v prvi vrsti za stroje za sečnjo in zgibne polprikoličarje.

Preteklih raziskav, ki se ukvarjajo z ropotom pri strojni sečnji je relativno malo, tako v domači kot v tuji literaturi. V nadaljevanju je prikazanih nekaj primerov raziskav meritev ropota na strojih za sečnjo, hkrati pa so za primerjavo prikazane tudi raziskave na drugih gozdarskih strojih.

2.2.2 Primerjava obremenitev strojnikov gozdarskih strojev z ropotom

Za lažje predstavo in določanje obremenjenosti delavca v stroju za sečnjo z ropotom kot rečeno za primerjavo navajamo obremenitve delavcev z ropotom v 8 urnem delovniku (ne po posameznih delovnih operacijah), ugotovljene pri drugih oblikah dela v gozdarstvu. Pri sečnji z motorno žago je sekač obremenjen z jakostjo ropota od 96 dB(A) do 100 dB(A) (Obranovič, 2010). Starejši prilagojeni kmetijski traktorji in zgibniki povzročajo ropot od 89 dB(A) do 97 dB(A) (Lipoglavšek in Kumer, 1998). Delo s sodobnejšimi prilagojenimi traktorji povzroča ropot med 73 dB(A) in 77 dB(A) (Žunič, 2010). Enaka obremenjenost je bila ugotovljena pri bageristih med izdelavo vlake (Šterbenk, 2013). Messingerová in sod. (2007) navajajo, da je bila povprečna obremenitev pri mehanizirani strojni sečnji, v kabini stroja, 70 dB(A), pri izvozu lesa, v zgibnem polprikoličarju, pa 74 dB(A).

Raziskava v Braziliji (Seixas in sod., 1999) je analizirala obremenitve z ropotom med delom v evkaliptusovih nasadih, v kabinah 16 strojev. Med njimi so bili trije stroji za sečnjo. Rezultati kažejo, da je bila vrednost ropota pri vseh vrstah strojev pod 85 dB(A), kar je v Braziliji določeno kot mejna vrednost. Pri strojih za sečnjo so ugotovili, da je imel Valmet 601 pri odprti kabini in prostem teku jakost ropota 68,1 dB(A), Valmet 601 pri zaprti kabini in prostem teku 63,6 dB(A), Caterpillar 320 pa 65,4 dB(A) ter dodatnih 3,7 dB(A) zaradi delovanja klimatske naprave in dodatnih 6,6 dB(A) ob vklopljenem radiu. Podatki so prikazani v preglednici 1.

Preglednica 1: Strnjeni rezultati meritev jakosti ropota v strojih za sečnjo (Seixas in sod., 1999: 8-13)

Operacije	Valmet 601 – odprta kabina [dB(A)]	Valmet 601 – zaprta kabina [dB(A)]	Struktura časa [%]	Caterpillar 320 [(dB(A)]	Struktura časa [%]
Podžaganje	83,4	74,4	21,5	75,3	18,4
Kleščenje (procesiranje)	84	75	34	75	22,2
Premik roke (glave)	83,6	77	17,1	75,3	9,9
Premik stroja	83,4	75	24,4	74,5	46
Zastoj zaradi delovnih sredstev	76,5	70,6	3	73,7	3,6
Povprečje	83,4	75,1	/	74,8	/

V raziskavi na Slovaškem (Messingerova in sod., 2005) so meritve opravili v odraslem gozdu na stroju za sečnjo FMG 990 Lokomo. Rezultati kažejo, da je bila največja jakost ropota izmerjena med premikanjem stroja. To gre pripisati velikemu številu obratov motorja med to delovno operacijo. Vključena klimatska naprava je botrovala povečanju skupne ekvivalentne jakosti ropota. Ta je pri izključeni klimi znašala 69 dB(A), pri vključeni pa 72,7 dB(A). Povprečna konična jakost ropota, LCpeak, je znašala 116,3 dB(C), impulzivna jakost ropota, LAIeq, 73,8 dB(A), največja ekvivalentna jakost ropota, LAeq.max, 86,1 dB(A) in najmanjša 47,9 dB(A). Izmerjena ekvivalentna jakost ropota za osemurni delovni čas je bila 69,9 dB(A).

Izsledki raziskav kažejo, da so obremenitve z ropotom pri mehanizirani sečnji in spravilu lesa na ravni najsodobnejših kmetijskih traktorjev. Povprečna vrednost ropota, izmerjena med delom v kabini stroja za sečnjo je bila 70 dB(A), med delom zgibnega polprikoličarja pa 74 dB(A) (Messingerová in sod., 2007).

2.2.3 Ukrepi za zmanjšanje obremenitev z ropotom

Ropot ni zaželen, zato ga skušamo zmanjšati na najnižjo možno raven. Bilban (1999) in Čudina (2001) navajata praktične ukrepe za zmanjševanje ropota. Delita jih na pravne in tehnične. Pri prvih omenjata predpisano mejno vrednost obremenitev, periodičen nadzor delovnega okolja in zdravstveni nadzor delavcev. Pri tehničnih ukrepih poudarjata vzdrževanje stroja (tudi mazanje) in uporabo zvočno izolirane kabine. V primeru preseganja obremenitev preko dopustnih mej (primer odprtega okna) bi moral delodajalec od strojnika na stroju za sečnjo zahtevati, da uporablja sredstva za osebno varnost (ušesne čepke ali slušalke). Bilban (1999), Čudina (2001) ter Seixas in sod. (1999) pozivajo k rednemu vzdrževanju in servisiranju klimatskih naprav stroja in sicer zaradi dveh razlogov. Kot prvega navajajo znižanje ropota, saj klima učinkovito dela pri nižjih vrtiljajih motorja in ventilatorja ter kot drugo zaradi zmanjšanja možnosti okvare in s tem možnosti, da bi delavec zaradi pokvarjene klimatske naprave delo nadaljeval z odprto kabino, kar bi povzročilo večje vrednosti ropota v kabini in s tem večjo obremenitev delavca. Sachs in sod. (1994) navajajo, da je vir ropota tudi izpušni sistem. Predlagajo dvostenske izpušne cevi. Poleg tega predlagajo kakovostne ležaje in zobnike v motorju ter črpalke in ventile, ki povzročajo manj ropota. Predlagajo tudi izpopolnitev izoliranosti kabine.

Žunič (2010) navaja kot ukrep za zmanjšanje obremenitev tudi dosledno ugašanje stroja, ko je strojnik stroja za sečnjo izven kabine. Messingerová in sodelavci (2007) so mnenja, da je potrebno spremljati tudi nevropsihološke obremenitve in tresenje. Ti dejavniki namreč bistveno vplivajo na trajanje dela in dolžino počitkov. Pomembno je ohranjanje delovne discipline.

2.3 OBREMENITEV STROJNIKA S TRESENJEM

2.3.1 Odziv strojnika na tresenje, izvor tresenja

Odziv ljudi na tresenje je različen, zato ga je težko meriti in vrednotiti (Kjellberg, 1990; Bilban, 1999; Ljungberg in Neely, 2007; Čudina, 2014). Odvisen je od amplitude in frekvence tresenja, od človeka in njegovega zdravstvenega stanja, od smeri delovanja

tresenja na človeka, od časa izpostavljenosti in od tega, ali je je tresenje stalno, impulzivno ali prekinjajoče. Tresenje, ki se prenaša prek celotnega telesa predstavlja tveganje za varnost in zdravje delavca v katerem koli vozilu oziroma stroju. Pogoste so težave s križem in poškodbe hrbtenice, zlasti zaradi tresenj, ki jih delavec prejme preko zadnjice (Čudina 2014). Pri boleznih zaradi tresenja gre za niz motenj, ki se pojavljajo pri delavcih po dolgotrajnem stiku z lokalnim ali splošnim tresenjem. Pojavljajo se prizadetosti krvnih žil, mišičnih tkiv, živcev, kosti in sklepov. Delavci na transportnih sredstvih so izpostavljeni splošnemu tresenju (Bilban, 1999).

Frumerie (1999) navaja, da je občutljivost na tresenje celotnega telesa največja v frekvenčnem območju od 1 do 2 Hz v X in Y smeri in od 4 do 8 Hz v Z smeri. Glavni zdravstveni problem predstavlja obraba sklepov, čeprav so lahko poškodovani tudi drugi deli telesa, kot na primer prebavni trakt in mišice. Škodljiv učinek tresenja se še poveča zaradi zvite, poševne ali neprave drže telesa in ob dolgih obdobjih sedenja brez premora. Vrat in ramena so prizadeta takrat, ko je strojnik izpostavljen tresenju pri upravljanju kontrol in krmilnih ročic stroja. To je predvsem zato, ker delavec instinktivno napne mišice v ramenu, da lahko kljubuje gibanju, ki ga povzroča tresenje (Frumerie, 1999).

Reakcije delavca na tresenje so lahko zavestne (s spremembo telesnega položaja) in refleksne (s povečanjem mišičnega tonusa, ki naj bi preprečil nihanje notranjih organov). Refleksna reakcija poveča obremenjenost zaradi statičnega mišičnega dela, kar je za človeka fiziološko utrudljivo (Bilban, 1999).

Tresenja prenesena na strojnika stroja preko krmilnih palic in ostalih kontrol v kabini so višjih frekvenc, kot tiste posredovane preko sedeža. Stopnja slednjih je nizka v večini strojev in ne povzroča resnih zdravstvenih težav. Povzroča pa to tresenje občutek neugodja skupaj s težavami pri upravljanju stroja, kar lahko vodi do zmanjšane produktivnosti dela. Vendar pa lahko visoka jakost tresenja povzroča motnje krvnega obtoka, poškodbe živčevja ter poškodbe sklepov in kosti v rokah in dlaneh (Frumerie, 1999).

Tresenja gozdarskih strojev so neprijetna in naporna za delavca. Poleg tega precizno in natančno delo postane oteženo in delavec ima lahko težave pri opazovanju drevesa ali česa

drugega ob delu. Dolgoletna izpostavljenost tresenju na stroju ima lahko škodljiv vpliv na zdravje delavca. Še posebej je k poškodbam nagnjen spodnji del hrbta, največkrat zaradi mehanskih sunkov. Na stopnjo tresenja v stroju vpliva hitrost vožnje, terenske razmere, dimenzija pnevmatik, vzmeti v šasiji, kabini in sedežu ter navsezadnje delovna tehnika strojnika. Ko se stroj ne premika, tresenje povzročajo premiki znotraj delovne operacije, na primer sila ob kleščanju pri obdelovanju neravnega drevesa. Na izpostavljenost strojnika vpliva tudi položaj kabine (Frumerie, 1999).

Da bi ocenili vpliv tresenja na delavca moramo meriti intenziteto (pospešek v m/s^2) in frekvenco (v Hz), smer ter čas izpostavljenosti. Še vedno pa ni splošno sprejete metode za merjenje učinka tresenja na strojnika (Frumerie, 1999).

Lipoglavšek in Kumer (1998) navajata, da so bile v preteklosti pri traktoristih v gozdarstvu na periodičnih pregledih relativno pogosto ugotovljene bolezni kosti in gibal. Po pogostnosti so bila ta obolenja na drugem mestu, takoj za naglušnostjo. Čeprav ni bilo mogoče dokazati neposredne zveze med obolenji in poklicnim delom pa avtorja domnevata, da tresenje traktorjev tudi pospešuje ta obolenja. Meritve lastnosti tresenja na sedežu kažejo, da je traktorist obremenjen s tresenjem, ki ovira delo oziroma zmanjšuje njegovo zmogljivost.

Nedvomno gre za pomemben dejavnik delovnega okolja pri delu v gozdu, ki neugodno vpliva na delavca. Govorimo o mehaničnih nihanjih, ki se po različnih materialih, sestavnih delih strojev (tla, sedež, pedala, ročice) prenašajo na človeka, ki slednje upravlja ali jih uporablja. Neugoden vpliv tresenja je odvisen od jakosti, frekvence, smeri, trajanja in mesta, kjer se tresenje prenaša na človeško telo (Lipoglavšek in Kumer, 1998).

2.3.2 Primerjava obremenitev strojnikov gozdarskih strojev s tresenjem

Enako kot pri obremenjenosti delavca z ropotom za primerjavo navajamo nekaj raziskav obremenjenosti delavca s tresenjem pri različnih delih v gozdu. Tresenje povzročeno pri sečnji in delu z motorno žago v človeško telo vstopa izključno preko rok, oziroma dlani, kjer se njegov vpliv tudi meri. Ugotovljene so bile vrednosti med $4,8 \text{ m/s}^2$ in $7,7 \text{ m/s}^2$ (Šilc,

2011). Pri delu s traktorji, zgibniki, polprikoličarji in sečnimi stroji pa prihaja do tresenja celotnega telesa. Pri sodobnejših prilagojenih kmetijskih traktorjih se vrednosti gibljejo od $1,24 \text{ m/s}^2$ do $1,97 \text{ m/s}^2$. Zgibniki, starejši kmetijski traktorji in goseničarji povzročajo večje tresenje, od $2,46 \text{ m/s}^2$ do $3,85 \text{ m/s}^2$. Največja vrednost $3,85 \text{ m/s}^2$ je bila ugotovljena za starejši traktor goseničar (Žunič, 2010; Šenica, 2012). Sodobne tehnologije so delavcu ergonomsko bolj prilagojene. Obremenitve v stroju za sečnjo se gibljejo od $0,17 \text{ m/s}^2$ do $0,3 \text{ m/s}^2$. Največje vrednosti so izmerili pri premikih, sledi sečnja in nato procesiranje (Sherwin in sod., 2004a). Pri zgibnem polprikoličarju so obremenitve v intervalu od $0,41 \text{ m/s}^2$ do $1,69 \text{ m/s}^2$. Najmanjše vrednosti so bile izmerjene pri razkladanju, sledi nakladanje, polna in prazna vožnja. V X smeri se največje jakosti tresenja pojavljajo v frekvenčnem območju med 0,5 in 5 Hz, v smeri Y v območju od 1 do 2 Hz in v smeri Z v območju med 2 do 8 Hz (Rehn in sod., 2005). V izsledkih Evropske komisije (Nezavezujoč priročnik..., 2007) se obremenitve strojnika stroja za sečnjo s tresenjem celega telesa gibljejo od 0,46 do $0,81 \text{ m/s}^2$, obremenitve strojnika zgibnega polprikoličarja pa od 0,42 do $0,61 \text{ m/s}^2$.

Messingerová in sod. (2007) ter Sherwin in sod. (2004a) ugotavljajo večje obremenitve pri spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem v primerjavi s strojno sečnjo. Večje vrednosti pripisujejo višjim hitrostim in višjim vrtljajem s katerimi dela zgibni polprikoličar. Obratno Frumerie (1999) navaja, da je jakost tresenja po navadi večja v strojih za sečnjo in zgibnikih kot v zgibnih polprikoličarjih. Enake rezultate vidimo glede na podatke Evropske komisije (Nezavezujoč priročnik..., 2007).

Raziskava obremenitev strojnika stroja za sečnjo s tresenjem kaže, da med sečnjo in procesiranjem lastnosti dreves kot so, višina drevesa, prsni premer in gostota vej ne vplivajo na obremenitve delavca s tresenjem (Sherwin in sod., 2004a).

2.3.3 Ukrepi za zmanjšanje obremenitev s tresenjem

Tresenje je energijsko močnejše kot ropot (Čudina, 2001), zmanjšamo pa ga lahko na podoben način kot slednjega (vplivamo na nastanek ali ga zmanjšujemo na poti širjenja). Na mestu nastanka ga zmanjšujemo s spremembo zgradbe stroja (konstruiranje), obratovalnih razmer (obremenitve – vrtilne frekvence) ter rednim in pravilnim

vzdrževanjem. Na poti širjenja pa skušamo preprečiti prenos na sosednje vezne dele stroja z vzmetmi, dušilkami ter elastomernimi izolatorji.

Tuji avtorji (Frumerie, 1999; Tiemessen in sod., 2007; Jack in Oliver, 2008) omenjajo naslednja priporočila za zmanjšanje vpliva tresenja na gozdarskih strojih: izboljšanje drže strojnika, zmanjševanje ponavljajočih se gibov, zmanjševanje izpostavljenosti tresenju celega telesa.

Vzmetene in nivelirane kabine, z visoko točko montaže, poznane tudi kot PendoTM kabine, imajo teoretične slabosti, vendar pa so ravno pri njih ugotovili nižjo stopnjo visoko frekventnega tresenja. So avtomatsko vrtljive in imajo vrtljive sedeže (Bottoms in Barber, 1978; Frumerie, 1999; Gellerstedt, 1998). Konstruirane so tako, da strojnik za uporabo komandnih sistemov in pregleda nad okolico stroja ne potrebuje prisiljene drže. Pomembna je tudi izbira sedeža. Večina sedežev najbolje duši tresenje v vertikalni smeri (Donati, 2002), slabše pa v horizontalnih smereh. Izbiro prilagodimo stroju in razmeram dela (Boileau in Rakheja, 1990).

Ponavljajoče gibe zmanjšamo z naslonjali za roke in z razporeditvijo komand (Hansson, 1990). Pomembno je izobraževanje strojnikov. Izkušenejši namreč uporabljajo manj nepotrebnih gibov (Gellerstedt, 2002).

Primeri ostalih rešitev, ki dokazano zmanjšujejo tresenje so še pnevmatike širših dimenzij, kontroliran tlak v pnevmatikah (strojnik ga sam prilagaja), aktivno dušenje roke in kabine, posebno oblikovana oscilirajoča os ter uporaba kovinskih gosenic (Frumerie, 1999; Bottoms in Barber, 1978; Gellerstedt, 1998). Povečan tlak v pnevmatikah povečuje obremenitve celega telesa s tresenjem v X in Z smeri, obratno jih manjši zmanjšuje (Sherwin in sod., 2004).

Tiemessen in sodelavci (2007) za prihodnje predlagajo zmanjševanje vpliva na telo in ne minimiziranje odziva sedeža ter uporabo organizacijskih ukrepov (kratki odmori in spremembe v razporeditvi dela) za zmanjšanje izpostavljenosti ter uvajanje dragih inovacij.

Raziskava Synwoldt in Gellerstedt (2003) navaja, da so zaradi visoke stopnje mišično-kostnih obolenj med strojniki na Švedskem želeli zakonsko omejiti čas dela v stroju. Predlagali so tudi menjavo med delovnimi mesti. Avtorja navajata, da se mora menjava dela pri mehanizirani sečnji in spravilu lesa dopolnjevati z delom zunaj kabine.

3 RAZISKOVALNE HIPOTEZE

Glede na ugotovitve in rezultate dosedanjih raziskav, opredelitve problema in namena naloge smo postavili naslednji hipotezi:

1. Obremenjenost delavca z ropotom na stroju za sečnjo ne presega osemurnih dopustnih mej.
2. Obremenjenost delavca s tresenjem na stroju za sečnjo ne presega osemurnih dopustnih mej.

4 OBJEKTI IN METODE RAZISKOVANJA

V poglavju so predstavljeni objekti raziskovanja oziroma delovišča ter metode pridobivanja in obdelave podatkov. Raziskovalni objekti so bili na območju visokega krasa, v GGO Kočevje in GGO Postojna. Opravljene so bile meritve obremenjenosti strojnika stroja za sečnjo z ropotom in tresenjem znotraj posameznih delovnih operacij. Vzporedno se je spremljala produktivnost dela.

4.1 OBJEKTI RAZISKOVANJA, LASTNOSTI STROJEV, PODATKI O STROJNIKI

Snemanja obremenitev strojnika so potekale na petih strojih za sečnjo, pri šestih različnih delavcih (menjava ob izmeni na delovišču John Deere 1470E), na petih lokacijah. Na delovišču 4 so bile meritve ropota neuspešne, naprava namreč ni zabeležila ničesar. Meritve smo opravili med 16. in 18. junijem, 2014.

Pri prvih štirih deloviščih je šlo za kombinacijo sanacij žarišč lubadarja ter žledoloma v drugotnih smrekovjih, naravna fitocenološka združba pripada gradnovim bukovjem na izpranih tleh na apnencu (*Hedero-Fagetum*). Na zadnjem delovišču je potekala sanacija žledoloma v naravni združbi dinarsko jelovega bukovja s primesjo smreke (*Omphalodo-Fagetum festucetosum*) in termofilnega gozda črnega gabra in bukve (*Ostryo-Fagetum*). Količina listavcev je bila tu precej večja kot na deloviščih na kočevskem.

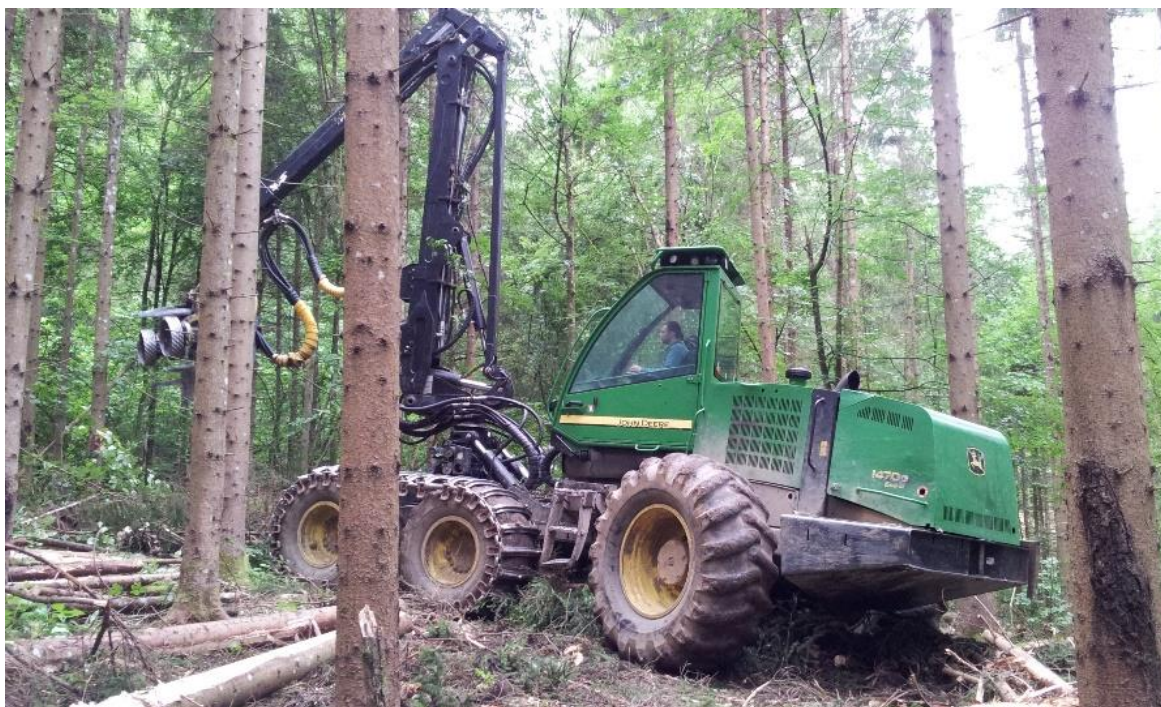
4.1.1 Delovišče John Deere 1470D

Na prvem delovišču smo spremljali stroj za sečnjo znamke John Deere (slika 4), ki je v lasti Gozdarstva Grča d.d. Snemanje je potekalo v GGO Kočevje, GGE Mozelj, oddelek 53 A in 53 B, krajevno ime Mozelske Staje. Združba je gradново bukovje na izpranih tleh, na apnencu (*Hedero-Fagetum*), preobražena v drugotna smrekovja (*Piceetum*). Opravljena je bila sanitarna sečnja (sanacija žledoloma) v mlajšem drogovnjaku. Drogovnjak sestoji iz 97 % iglavcev in 3 % listavcev. Delež skalovitosti je pod 10%. Meritve smo opravili 16. junija, v dopoldanskih urah. V času merjenja je rahlo rosilo, jutranje temperature so bile

okoli 12°C. Snemanje je trajalo 1 uro 35 minut in 35 sekund. Strojnik je izdelal 20 m³ sortimentov, oziroma 93 kosov. Izdeloval je 4 metre dolge sortimente.

Preglednica 2: Opis delovišča, delovnih razmer, stroja in strojnika na delovišču John Deere 1470D

DELOVIŠČE	GGO	Kočevje
	GGE	Mozelj
	ODD	53A in 53B
	Fitocenološka združba	<i>Hedero – Fagetum</i>
	Drevesna sestava	97 % iglavci in 3 % listavci
DELOVNE RAZMERE	Skalovitost	Pod 10%
	Podlaga	Rahlo razmočena
STROJ	Tip	John Deere 1470D Eco III
	Starost	7 let
	Število obratovalnih ur	11.000
	Vzdrževanje (datum)	Maj 2014
	Verige/gosenice	Gosenice
	Sečna glava	H480
	Količina lesa pred začetkom meritev	170 m ³ / 1012 (število debel)
	Količina lesa na koncu meritev	190 m ³ / 1105 (število debel)
	Kabina	Nevrtljiva
	Lastništvo	Gozdarstvo Grča d.d. in GG Novo mesto d.d.
STROJNIK	Starost	25 let
	Delovni staž	8 let
	Izkušenosť	4 leta
	Dolžina delovnika	8 (izjemoma tudi 12 do 13 ur)



Slika 4: Stroj za sečnjo John Deere 1470 D Eco III med iztegovanjem roke, Mozelj (foto: Jure Pokorn)

4.1.2 Delovišče John Deere 1470E

Popoldne, istega dne, smo na drugem delovišču spremljali stroj za sečnjo znamke John Deere (slika 5), ki je prav tako v lasti Gozdarstva Grča d.d. Snemanje je potekalo v GGO Kočevje, GGE Grintovec, oddelek 131A in 131B. Združba je gradnovo bukovje na izpranih tleh, na apnencu (*Hedero-Fagetum*), preobražena v drugotna smrekovja (*Piceetum*). Ravno tako je šlo za drogovnjak (iglavci) in izvajanje sanitarne sečnje. Skupna količina lesa na delovišču znaša 450 m³, skalovitost je okoli 20%. Temperature v popoldanskih urah so bile okrog 15°C, proti večeru še kakšna stopinja manj. Padavine, sicer šibke, so ponehale. Snemanje je trajalo 4 ure 17 minut in 38 sekund. Na tem stroju smo spremljali delo dveh delavcev, saj so meritve potekale v času izmene. Strojnika sta skupaj posekala 31 m³ lesa oziroma 215 dreves. Izdelovala sta 4 metre dolge sortimente.

Preglednica 3: Opis delovišča, delovnih razmer, stroja in strojnika na delovišču John Deere 1470E

DELOVIŠČE	GGO	Kočevje	
	GGE	Grintovec	
	ODD	131A in 131B	
	Fitocenološka združba	<i>Hedero – Fagetum</i>	
	Drevesna sestava	97 % iglavci in 3 % listavci	
DELOVNE RAZMERE	Skalovitost	Okoli 10%	
	Podlaga	Rahlo razmočena	
STROJ	Tip	John Deere 1410E Eco III	
	Starost	1,5 leta	
	Število obratovalnih ur	2800	
	Vzdrževanje (datum)	Pri 2500 obratovalnih urah	
	Verige/gosenice	Oboje	
	Sečna glava	H 480C	
	STROJNIK	STROJNIK 1	STROJNIK 2
	Količina lesa pred začetkom meritev	234 m ³ / 1572 (število debel)	265 m ³ / 1784 (število debel)
	Količina lesa na koncu meritev	243 m ³ / 1644 (število debel)	287 m ³ / 1927 (število debel)
	Kabina	Vrtljiva	
	Lastništvo	Gozdarstvo Grča d.d. in GG Novo mesto d.d.	
STROJNIK 1	Starost	34	
	Delovni staž	11	
	Izkušnost	7	
	Dolžina delovnika	8	
STROJNIK 2	Starost	32	
	Delovni staž	7	
	Izkušnost	3	
	Dolžina delovnika	8	



Slika 5: Izklopljen stroj za sečnjo John Deere 1470 E Eco III v času izmene delavcev, Grintovec (foto:Primož Meznarčič)

4.1.3 Delovišče Caterpillar 580

Drugi snemalni dan, v torek 17.6.2014, smo prvo posneli stroj za sečnjo proizvajalca Caterpillar (slika 6), ki je v lasti podjetja Andrej Čresnar s.p. Ponovno smo snemali v GGO Kočevje, tokrat v GGE Željne-Laze, oddelek 57A in 57B. Krajevno poimenovanje za območje je Pri treh lipah ter Rudniški lager. Združba je podgorsko gradново bukovje na izpranih tleh na apnencu (*Hedero-Fagetum*) preobražena v drugotna smrekovja (*Piceetum*). Sanitarna sečnja (žarišče lubadarja in žledolom) je potekala v močnejšem drogovnjaku (85 % iglavcev, 15 % listavcev) oziroma tanjšem debeljaku. Skalovitost je okoli 10%. Temperature zjutraj so bile okoli 13°C. Snemanje je trajalo 4 ure 7 minut in 47 sekund. Učinke dela smo tukaj ocenili okularno, saj delavec ni imel vpogleda do podatkov o številu izdelanih sortimentov in kubičnih metrov. Višino sestoja smo ocenili na 18 metrov, iz vsakega drevesa pa je delavec povprečno izdelal 4 sortimente. Tako je na koncu izdelal cca. 95 m³ sortimentov oziroma cca. 220 kosov.

Preglednica 4: Opis delovišča, delovnih razmer, stroja in strojnika na delovišču Caterpillar 580

DELOVIŠČE	GGO	Kočevje
	GGE	Željne-Laze
	ODD	57A in 57B
	Fitocenološka združba	<i>Hedero – Fagetum</i>
	Drevesna sestava	85 % iglavci in 15 % listavci
DELOVNE RAZMERE	Skalovitost	Okoli 10%
	Podlaga	Rahlo razmočena
STROJ	Tip	Caterpillar EcoLog 580
	Starost	13
	Število obratovalnih ur	12.000 do 13.000
	Vzdrževanje (datum)	Sproti
	Verige/gosenice	Oboje
	Sečna glava	Ni podatka
	Količina lesa pred začetkom meritev	0 stoječih, 0 ležečih
	Količina lesa na koncu meritev	165 stoječih, 16 ležečih
	Kabina	Nevrtljiva
	Lastništvo	Andrej Črešnar s.p.; Šmartno na Pohorju
STROJNIK	Starost	30
	Delovni staž	15
	Izkušenosť	8 (tudi na drugih strojih)
	Dolžina delovnika	10



Slika 6: Stroj za sečnjo Caterpillar EcoLog 580 med procesiranjem, Željne-Laze (foto: Primož Meznarčič)

4.1.4 Delovišče Caterpillar 580C

Zadnji objekt v GGO Kočevje se je nahajal v GGE Mozelj, krajevno ime Trije Križi in Rakova Breza, v oddelkih 30A, 30B, 33A, 37A, 37B, 38A. Združba je podgorsko gradnovo bukovje (*Hedero-Fagetum*), preobražena v drugotna smrekovja (*Picetum*). Sestoji so v fazi drogovnjaka, šlo pa je za sanitarno sečnjo (sanacija žledoloma). Skalovitost majhna, 10 do 20%, vlake so bile razmočene, ugrez do matične podlage (cca. 40 cm). Tu smo snemali stroj za sečnjo proizvajalca Caterpillar (slika 7), ki je v lasti avstrijskega podjetja Broman Holz. Strojnik je bil zelo izkušen, kljub temu, da je na tem stroju delal šele eno leto in je bil predhodno na zgibnem polprikoličarju. Le pri njem je delo potekalo zgolj v kabini in brez kakršnihkoli zastojev. Meritve so potekale v poznih popoldanskih urah, temperatura je padla na okrog 13°C. Snemali smo 2 uri 15 minut in 34 sekund. Delavec je izdelal 19,6 m³ sortimentov, oziroma 101 kos. Prav tako je izdeloval 4 metrske sortimente.

Preglednica 5: Opis delovišča, delovnih razmer, stroja in strojnika na delovišču Caterpillar 580C

DELOVIŠČE	GGO	Kočevje
	GGE	Mozelj
	ODD	30A, 30B, 33A, 37A, 37B, 38A
	Fitocenološka združba	<i>Hedero – Fagetum</i>
	Drevesna sestava	97 % iglavci in 3 % listavci
DELOVNE RAZMERE	Skalovitost	10 do 20%
	Podlaga	Razmočena
STROJ	Tip	Caterpillar EcoLog 580C
	Starost	8
	Število obratovalnih ur	16.400
	Vzdrževanje (datum)	Ni podatka
	Verige gosenice	Oboje
	Sečna glava	Ni podatka
	Količina lesa pred začetkom meritev	0 m ³ / 0 (število debel)
	Količina lesa na koncu meritev	19,6 m ³ / 101 (število debel)
	Kabina	Nevrtljiva
	Lastništvo	Broman Holz OEG (Erwin Broman), Loibach, Gutensteinerstrasse 1, 9150 Bleiburg (Pliberk), Koroška, Avstrija.
STROJNIK	Starost	31
	Delovni staž	9
	Izkušenosť	1
	Dolžina delovnika	10



Slika 7: Stroj za sečnjo Caterpillar EcoLog 580C med premikom po sečnospravljeni poti, Mozelj (foto: Primož Meznarčič)

4.1.5 Delovišče Valmet 941.1

Zadnje snemanje smo opravili v sredo, 18.6., na postojnskem gozdnogospodarskem območju. Meritve so potekale v GGE Snežnik, krajevno ime Vrtača, oddelek 1E. Prevladuje dinarsko jelovo bukovje (*Omphalodo-Fagetum festucetosum*), mestoma smrekovja (*Picetum*), nekaj je tudi zaplat termofilnega gozda črnega gabra ter bukve (*Ostrya-Fagetum*). Sestoji so mešani – drogovnjaki (84 % listavcev., 16 % iglavcev) in debeljaki (93 % listavcev, 7% iglavcev). Skupna količina lesa na delovišču znaša 40.000 m³ (za GGE). Šlo je za sanitarno sečnjo – sanacija žledoloma (predsečnja z motorno žago, zaradi velikih premerov, veliko drevja je bilo že na tleh). Procesiranje je bilo tu zaradi velikih premerov oteženo, prav tako gozdni red, kjer je imel strojnik veliko dela s panji, goščo in letvenjakom. Skalovitost je velika (50%), podlaga suha, visoki kras, plitva tla. Meritve so potekale na stroju za sečnjo znamke Valmet (slika 8), ki je v lasti zasebnega podjetja Holzschlägerung Unterrainer. Temperatura v času meritev je bila okoli 16°C. Meritve so trajale 3 ure 23 minut in 27 sekund. Izdelanih je bilo 154 m³ sortimentov oziroma 117 kosov. Pri temu stroju, oziroma strojniku, smo pri obravnavi obremenitev z ropotom upoštevali moteč dejavnik in sicer radio, saj ga je imel vklopljenega približno polovico snemanja.

Preglednica 6: Opis delovišča, delovnih razmer, stroja in strojnika na delovišču Valmet 941.1

DELOVIŠČE	GGO	Postojna
	GGE	Snežnik
	ODD	1E
	Fitocenološka združba	<i>Omphalodo-Fagetum festucetosum, Ostryo-Fagetum</i>
	Drevesna sestava	84 % listavci in 16 % iglavci (drogovnjaki), 93 % listavci in 7 % iglavci (debeljaki)
DELOVNE RAZMERE	Skalovitost	Okoli 50%
	Podlaga	Suha
STROJ	Tip	Valmet 941.1
	Starost	Cca. 4 leta
	Število obratovalnih ur	Ni podatka
	Vzdrževanje (datum)	Veliki servis vsakih 400 ur, mali vsak dan po 0,5 ure
	Verige/gosenice	Oboje
	Sečna glava	370 Valmet
	Količina lesa pred začetkom meritev	2315 m ³ / 6857 (število debel)
	Količina lesa na koncu meritev	2469 m ³ / 6974 (število debel)
	Kabina	Nevrtljiva
	Lastništvo	Holzschlägerung Unterrainer Gerhard, Herbstheim 59; 5251 Höhnhart, Salzburška, Avstrija.
STROJNIK	Starost	34
	Delovni staž	4 leta Valmet, 6 let John Deere
	Izkušenosť	2 meseca
	Dolžina delovnika	10-13



Slika 8: Stroj za sečnjo med izdelovanjem sortimenta in sekač, ki izvaja predsečnjo, Snežnik (Foto: Primož Meznarčič)

4.2 METODE RAZISKOVANJA IN OBDELAVA PODATKOV

4.2.1 Časovna študija

Časovna študija predstavlja merjenje, klasifikacijo ter sistematično in kritično analizo porabe delovnega časa s ciljem povečati delovno učinkovitost (Björheden in Thompson, 2000). Preučevanje časa je uporaba določenih metod z namenom, da določimo časovne dimenzije nekega dela in da izračunamo normative časa. Namen preučevanja časa ter metod dela je prispevati k najracionalnejši izrabi človeških in materialnih sil pri vsaki konkretni aktivnosti (Winkler, 1997).

Na terenu smo naredili časovno študijo, medtem ko so se učinki računalniško merili v stroju za sečnjo (štetje izdelanih kosov in m³ izdelanih sortimentov). Uporabili smo kontinuirano metodo. Načelo slednje je, da merimo čas nepretrgoma od začetka do konca delovnega procesa in beležimo le časovne meje med posameznimi elementi časa ter jih zapisujemo na snemalni list. Kasneje lahko iz razlik med mejami izračunamo trajanja posameznih elementov časa (Košir, 1996).

S pomočjo časovne študije, razdeljene na delovne operacije smo kasneje pri obdelavi podatkov primerjali obremenjenosti med različnimi delovnimi operacijami in obremenjenosti skozi celotni delovni čas.

4.2.2 Razčlenitev delovnega časa na delovne operacije

Za potrebe ocenitve obremenitev strojnika stroja za sečnjo s tresenjem in ropotom po posameznih delih delovnega časa smo le-tega razčlenili na produktivni in neproduktivni čas ter nadaljnje na delovne operacije.

Produktivni čas:

- **Premik med drevesi:** Delovna operacija, v kateri se stroj za sečnjo premika z namenom, da pride do položaja v katerem bo z roko, oziroma sečno glavo, ki je na njenem koncu, lahko dosegel drevo za nadaljnje podiranje.

- **Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh:** Delovna operacija v kateri stroj za sečnjo opravlja premike večjih dolžin. Stroj se premika iz enega kraka (sečne poti) do drugega. Stroj se znotraj te delovne operacije lahko premika tudi po vlakih ali celo kamionskih cestah.
- **Premik roke, podžaganje in procesiranje:** V to operacijo prištevamo čas, ko se stroj za sečnjo preneha premikati (s kolesi in gosenicami) in iztegne roko s sečno glavo, nadaljuje s podžaganjem in na koncu s kleščanjem in prežaganjem. Delovna operacija traja dokler se ne začne prelaganje sortimentov oziroma izvajati gozdni red.
- **Prelaganje sortimentov:** Znotraj delovne operacije strojnik stroja za sečnjo prelaga ali zlaga sortimente s procesorsko glavo, da jih nato za njim strojnik na zgibnem polprikoličarju lažje pobira. Nekajkrat se je pojavila tudi »sečnja na zalogo«. Strojnik je namreč posekal več dreves naenkrat, nato jih je prenesel, potegnil do stroja, kjer jih je dodatno obdelal. To smo šteli kot prelaganje dreves.
- **Gozdni red:** Strojnik stroja za sečnjo s procesorsko glavo razžaga in razprostre sečne ostanke (veje) v »preprogo« po kateri se stroj premika.

Neproductivni čas:

- **Zastoj:** Pod to delovno operacijo smo združili zastoj zaradi organizacije dela, zastoj zaradi delovnih sredstev in zastoj zaradi osebnih potreb. Zastoje smo združili zaradi sočasnega dogajanja oziroma nedoločljiv vzrokov ali mej med njimi. Tudi intervali so bili ponekod prekratki, da bi jih bilo smiselno upoštevati samostojno. Pod zastoj zaradi organizacije dela smo prištevali čas, ko je strojnik čakal sekača pri predsečnji ali pa ko je strojnik zapustil stroj in z motorno žago napravil prvi sortiment, ker so bili premeri podrtega drevja preveliki (delovišče Valmet 941.1) oziroma, ko je delavec izstopil iz stroja in si označil, kje bo nadaljeval sečno pot, ker iz stroja ni dobro videl sestojnih razmer (delovišče John Deere 1470D). Tudi čas med izmeno delavcev smo prištevali k tej operaciji (delovišče John Deere 1470E). Zastoji zaradi delovnih sredstev so nastajali v večini zaradi menjave verige in lista na sečni glavi oziroma čiščenja le-te v primeru, ko so vanjo prišle veje ali kamni, tudi zaradi pregrevanja vodne črpalke (delovišče John Deere 1470D) ali menjave cevi za olje

(delovišče Caterpillar 580). V to operacijo smo upoštevali tudi čas pogovora po telefonu ali čas med osebno potrebo.

- **Zastoj zaradi meritev:** Zastoji nastali izključno zaradi potreb meritev.

4.2.3 Merilne naprave in potek meritev

Meritve ropota in tresenja smo na vseh strojih opravili z istimi merilnimi napravami. Meritve so potekale vzporedno. Na delovišču Caterpillar 580C meritve ropota niso uspele, medtem ko smo tresenje uspešno posneli povsod.

Snemanje ropota smo opravili v zaprtih kabinah stroja za sečnjo. Za meritve smo uporabili merilno napravo Brüel&Kjær 2250 z mikrofonom Brüel&Kjær 4189, ki smo ga namestili približno 20 do 30 cm od ušesa. Merilna naprava je shranjevala jakosti posnetega zvoka po različnih frekvencah, filtriranega z zvočnima filtroma A in C, in nastavitivjo Fast. Beležila je štiri kazalnike: konično jakost ropota (LCpeak), ekvivalentno jakost ropota (LAeq), impulzivni ropot (LA1eq) in frekvenco ropota (LZeq).

Merilno napravo smo s pomočjo vakuuma pritrdili na steklo v kabini (slika 9). Z mikrofonom jo je povezoval kabel, ki strojnika ni oviral pri delu, saj smo ga na steklo pričvrstili z lepilnim trakom. Ropot se je beležil vsako sekundo snemanja in celoten čas snemanja. Vir ropota ni bil vedno le stroj, ampak so lahko viri tudi drugi (radio, telefon,...). Slednje upoštevamo kot moteče dejavnike. Zaradi tega smo delavce opozorili, naj imajo ves čas zaprto kabino, izklopljeno klimo in radio ter naj ne uporabljajo prenosnega telefona, če je to le mogoče. Zaradi osebnih potreb in organizacije dela prošnja v celoti ni bila upoštevana. Pri obdelavi podatkov s snežniškega območja smo tako morali radio upoštevati kot moteč dejavnik, medtem ko smo uporabo telefona zanemarili, saj smo ocenili, da je bila za naše potrebe nemoteča.



Slika 9: Naprava Brüel&Kjær 2250 za merjenje ropota nameščena na steklu v kabini stroja za sečnjo (foto: Primož Meznarčič)

Jakosti tresenja smo merili z merilno napravo Brüel&Kjær 4447 in z akcelerator Brül&Kjær 4524. Za snemanje obremenitev celotnega telesa s tresenjem smo uporabili adapter Brüel&Kjær 4515-B-002. Z lepilnim trakom smo ga pritrdili na sedež stroja (slika 10, levo). Naprava beleži jakosti tresenja v vseh treh smereh (RMS X,Y,Z (m/s^2)), utežene s pripadajočimi filtri za celo telo (W_d , W_k), in vektorsko jakost tresenja (RMS VTV (m/s^2)). Poleg kazalnika RMS naprava enako beleži vrednosti za kazalnik VDV. Adapter smo namestili tako, da je bila X smer akceleratorja usmerjena v smeri vožnje, Y smer pravokotno v horizontalni smeri ter Z smer pravokotno v vertikalni smeri na njo. Merilno napravo smo namestili v zaščitno torbo, ki smo jo obesili na naslonjalo sedeža (slika 10, desno). S kablom smo jo povezali z akceleratorjem. Pri nastavitvah smo upoštevali vrsto obremenitve (celo telo), uporabljen akcelerator (10 mV/ms^{-2}), trimerne meritve ter sekundno shranjevanje vseh vrednosti merjenih parametrov. Kabelska povezava med merilnikom in gumijastim adapterjem je bila nameščena tako, da strojnika ni ovirala pri delu. Pri meritvah smo spremljali kdaj delavec sedi na sedežu, saj le tedaj tresenje vstopa v telo delavca.



Slika 10: Adapter Brüel&Kjær 4515 nameščen na sedežu in merilna naprava v torbi za sedežem (foto: Primož Meznarčič)

4.2.4 Obdelava podatkov in statistične metode

Pridobljene podatke, ki jih je merilna naprava posnela na terenu smo prenesli v okolje Microsoft Excel 2013, ravno tako ročno vnesene zapiske s snemalnih listov. Združene podatke smo nato v Excelu tudi obdelovali.

Podrobna statistična obdelava podatkov je potekala v programu IBM SPSS Statistics 21. Izvedli smo statistično primerjavo obremenitev z ropotom in s tresenjem med posameznimi delovišči in med delovnimi operacijami produktivnega časa. Uporabili smo kazalnike LAeq, RMS VTV ter VDV VTV (podrobneje so predstavljeni v poglavjih 4.3.2 in 4.3.3).

Pri statistični primerjavi obremenitev z ropotom po deloviščih smo za vsako delovišče naredili vzorec s po 25 intervali ($5 \text{ delovnih operacij} \times 5 \text{ ponovitev}$). Na delovišču s strojem Caterpillar 580 so bile meritve neuspešne, na delovišču s strojem Valmet 941.1 pa smo meritve razdelili na dva dela, in sicer, ko je bil radio vklopljen in ko je bil izklopljen.

Dolžino posameznega intervala smo dobili kot 1/5 celotnega trajanja posamezne operacije na določenem delovišču. Podobno smo naredili za delovne operacije.

Tudi pri analizi razlik obremenitev s tresenjem smo vzorce izdelali na enak način kot pri ropotu. Tu radio nima vpliva, meritve pa so bile uspešne na vseh deloviščih. Tako smo ponovno imeli 25 vzorcev oziroma 125 intervalov.

Pri nadaljnji posteriorni analizi smo preizkušali razlike med neodvisnimi vzorci. Uporabili smo neparametrične metode in sicer Kruskal-Wallis H-test, za parne primerjave pa Mann-Whitney U-test. Zaradi multiplih parnih primerjav smo 5% stopnjo značilnosti pri U-testu korigirali z Bonferroni korekcijo; $\alpha/n - \alpha$ je stopnja značilnosti, n je število hipotez. Pri primerjavi srednjih vrednosti med petimi skupinami imamo 10 hipotez. Stopnja značilnosti je torej $\alpha = 0,005$ ($0,05 / 10$). Med štirimi skupinami je število hipotez 6, stopnja značilnosti pa $0,008$ ($0,05 / 6$). Polja s statistično značilnimi razlikami so v preglednicah poglavji s statističnimi analizami obarvana zeleno.

4.2.5 Izračun modelne vrednosti obremenitev v neproduktivnem času

V raziskavi smo predpostavili, da strojnik poleg 30 minutnega glavnega odmora za ostale zastoje izven kabine porabi še dodatne pol ure delovnega časa. Ob dodatni predpostavki, da so pri vseh zastojih obremenitve kvečjemu enake, oziroma manjše od izmerjenih, so vrednosti izračunane v delovnem času primerljive z $L_{ex,8h}$. V preglednicah od 7 do 10 tako v oklepajih prikazujemo modelno vrednost $LA_{eq,kor}$, za obremenitve med neproduktivnim časom, ko je delavec izven kabine, da bi bila presežena spodnja opozorilna meja dnevne izpostavljenosti 80 dB(A). Tu smo predpostavili, da je obremenitev med glavnim odmorom 60 dB(A). Poleg tega smo uporabili faktor neproduktivnega časa 1,39 iz normativa gozdnih del (Uredba o koncesiji za izkoriščanje gozdov v lasti RS, 2010). Modelno vrednost smo izračunali po naslednji enačbi:

$$80 \text{ dB(A)} = 10 \times \log \left(\frac{1}{8} \left((10^{0,1 \times LA_{eq,kor}}) \times T_p + (10^{0,1 \times 60 \text{ dB(A)}}) \times T_{go} + (10^{0,1 \times X}) \times T_n \right) \right) \dots (1)$$

Laq.kor - izmerjena koregirana ekvivalentna jakost ropota v produktivnem času

TP - produktivni čas (4,88h)

Tn - neproduktivni čas (2,62h)

Tgo - čas glavnega odmora (0,5h)

Glede na dobljene vrednosti lahko naredimo oceno ali je takšen ropot v neproduktivnem času sploh mogoč in iz tega izpeljemo zaključke hipotez. Predvidevamo namreč, da je npr. vprašljiva uporaba motorne žage med neproduktivnim časom.

Pri tresenju so vrednosti v 8 urnem delovniku lahko le manjše od dobljenih, saj je na vseh deloviščih delež neproduktivnega časa manjši od 39%. Zato lahko naredimo zaključke na podlagi obremenitev v posnetem času oziroma produktivnem času.

4.2.6 Izračun frekvence ropota na deloviščih

Stroji na vseh deloviščih imajo 6 valjni dizelski motor. Slednji ima največji navor in moč, pri približno 2000 obratih motorja na minuto. V vsakem štiritaktnem motorju pride do eksplozij v vseh valjih v dveh obratih motorne gredi. To na primer pomeni, da imamo pri 50 Hz, 50 eksplozij na sekundo. Preneseno na minuto, torej 3000 eksplozij. Vsaka 2 obrata pride do 6 eksplozij. Frekvenco ropota lahko tako izračunamo po enačbi 2.

$$f = 0,5 \times N \times \frac{n}{60} \quad \dots(2)$$

f – frekvenca ropota v Hz

N – število valjev štiri-taktnega motorja

n – število obratov motorja v obratih na minuto

4.2.7 Primerjava udobnosti strojev glede na standard ISO 2631

Mednarodni ISO standard 2631 v razdelku 8.2 govori o sprejemljivih vrednostih glede na udobje oziroma neudobje pri uporabi strojev. Navedene vrednosti dajejo približne učinke različnih jakosti tresenja na udobje v transportnih sredstvih.

Standard navaja, da so reakcije na različne jakosti odvisne od pričakovanj potnika, uporabnika, upoštevati je potrebno trajanje in vrsto dejavnosti ter številne druge dejavnike (med njimi je na primer omenjen ropot, tudi temperatura itn.).

Lestvica udobja iz standarda:

- Manj kot $0,315 \text{ m/s}^2$ ni neudobno
- Od $0,315 \text{ m/s}^2$ do $0,63 \text{ m/s}^2$ malo neudobno
- Od $0,5 \text{ m/s}^2$ do 1 m/s^2 dokaj neudobno
- Od $0,8 \text{ m/s}^2$ do $1,6 \text{ m/s}^2$ neudobno
- Od $1,25 \text{ m/s}^2$ do $2,5 \text{ m/s}^2$ zelo neudobno
- Več kot 2 m/s^2 skrajno neudobno

Lestvica je podana v m/s^2 , kar pomeni, da iz naše raziskave lahko primerjamo dobljene rezultate po kazalniku RMS VTV.

4.3 KAZALNIKI OBREMENITEV Z ROPOTOM IN TRESENJEM TER DOPUSTNE MEJE

4.3.1 Zakonske opredelitve

Pri nas je področje, ki zagotavlja zdravo in varno delovno okolje za delavce, urejeno z Zakonom o varnosti in zdravju pri delu, Ur. l. RS, št. 43/2011 (ZVZD-1). Zakon v svojih splošnih določbah pravi, da se s tem zakonom določajo pravice in dolžnosti delodajalcev in delavcev v zvezi z varnim in zdravim delom ter ukrepi za zagotavljanje varnosti in zdravja pri delu. Ta zakon določa tudi organe, pristojne za varnost in zdravje pri delu. V skladu s tem zakonom, drugimi predpisi in smernicami delodajalec zagotavlja varnost in zdravje pri delu (Zakon o varnosti..., 2011).

V temeljnih načelih ZVZD piše, da mora delodajalec zagotoviti varnost in zdravje pri delu. V ta namen mora izvajati ukrepe, potrebne za zagotovitev varnosti in zdravja delavcev ter drugih oseb, ki so navzoče v delovnem procesu, vključno s preprečevanjem, odpravljanjem

in obvladovanjem nevarnosti pri delu, obveščanjem in usposabljanjem delavcev, z ustrezno organiziranostjo in potrebnimi materialnimi sredstvi (Zakon o varnosti..., 2011).

Poleg krovnega zakona so pomembni posamezni podzakonski predpisi. Za ergonomsko presojo delovnega sredstva uporabljamo:

- Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu, 2006. Ur. l. RS, št. 17/06
- Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu, Ur. l. RS, št. 94/2005
- Pravilnik o osebni varovalni opremi, ki jo delavci uporabljajo pri delu, Ur. l. RS, št. 89/1999

4.3.2 Kazalniki obremenitev z ropotom in dopustne meje

Za izračune obremenitev strojnika stroja za sečnjo z ropotom v delovnem času smo uporabili mednarodni standard SIST EN ISO 9612 (2009). Pri izračunavanju smo spremljali kazalnike: konično jakost ropota (L_{Cpeak}), ekvivalentno jakost ropota (L_{Aeq}), impulzivno jakost ropota (L_{AIeq}) ter ekvivalentno jakost ropota merjeno brez utežnostnega filtra (L_{Zeq}). Slednje smo uporabili za prikaz frekvenčnih spektrov ropota med 20 do 20000 Hz.

Jakosti ropota smo vzeli iz Pravilnika o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu (2006) (v nadaljevanju Pravilnik ... (2006)) ter Evropske direktive 2003/10/EC (v nadaljevanju: Evropska direktiva (2003)). Določene so naslednje meje izpostavljenosti:

- a) mejni vrednosti izpostavljenosti**, ločeno za $L(EX,8h) = 87 \text{ dB(A)}$ in $L(Cpeak) = 200 \text{ Pa}$ (140 dB(C)),
- b) zgornji opozorilni vrednosti izpostavljenosti**, ločeno za $L(EX,8h) = 85 \text{ dB(A)}$ in $L(Cpeak) = 140 \text{ Pa}$ (137 dB(C)),
- c) spodnji opozorilni vrednosti izpostavljenosti**, ločeno za $L(EX,8h) = 80 \text{ dB(A)}$ in $L(Cpeak) = 112 \text{ Pa}$ (135 dB(C)).

Za mejni vrednosti velja, da mora delodajalec pri določanju dejanske izpostavljenosti delavcev upoštevati zmanjšanje ropota zaradi osebne varovalne opreme za varovanje sluha, ki jo nosi delavec, medtem ko za opozorilne vrednosti izpostavljenosti velja, da tega učinka ne sme upoštevati Pravilnik ... (2006).

V 8. členu Pravilnika...(2006) je določeno, da mora delodajalec pri izdelavi ocene tveganja zaradi izpostavljenosti delavcev ropotu upoštevati tudi impulzni značaj ropota.

Konična jakost ropota (LC_{peak}):

Konično jakost ropota v nekem elementu dela smo izračunali kot največjo vrednost vseh izmerjenih vrednosti konične jakosti ropota v času trajanja izbranega elementa dela.

$$LC_{peak} = \max LC_{peak\ i} \quad \dots(3)$$

LC_{peak} - konična vrednost ropota v dB(C)

$LC_{peak\ i}$ - konična vrednost ropota i-tega interval v dB(C)

Ekvivalentna jakost ropota, merjena s filtrom A (LA_{eq}):

Srednjo vrednost jakosti ropota, ki ustreza fiziološkemu učinku nihajočega ropota imenujemo ekvivalentna jakost ropota. Ta visoke jakosti ropota, za katere je človek bolj občutljiv, mnogo bolj upošteva kot nizke, enakega trajanja. Izračunamo jo ali iz trajanja ali iz pogostosti ropota različnih jakosti po enačbi (Lipoglavšek, 1998: 76) :

$$LA_{eq} = 10 \times \log \left(\frac{1}{T} \sum (t_i \times 10^{0,1 \times L_i}) \right) \quad \dots(4)$$

L_{ekv} - ekvivalentna jakost ropota, merjena s filtrom A

L_i - ekvivalentna jakost ropota, merjena s filtrom A, i-ta delovna operacija

t_i - trajanje i-tega intervala

T - celoten čas ropota

Izračun obremenitve z ropotom za delovišče (delovni čas stroja):

$$L_{ekv} = 10 \times \log \times \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (10^{0,1L_i}) \right) \quad \dots(5)$$

L_{ekv} - ekvivalentna jakost ropota, merjena s filtrom A

L - ekvivalentna jakost ropota, merjena s filtrom A, i -ti cikel

N - število ciklov

Impulzivni ropot (LA_{Ieq}):

Sočasno z LA_{eq} in LC_{peak} smo merili tudi impulzivni ropot, ki smo ga za posamezno delovno operacijo izračunali po enačbi 3.

Korigirana ekvivalentna jakost ropota (LA_{eq.kor}):

Pravilnik... 2006 v 8. členu določa, da moramo pri izdelavi ocene tveganja zaradi izpostavljenosti delavcev ropotu upoštevati tudi impulzni značaj ropota (LA_{Ieq}). Z uporabo kazalnika LA_{Ieq} se izračuna korigirana vrednost ekvivalentne jakosti ropota (LA_{eq.kor}), ki se uporabi za primerjavo z mejnimi in opozorilnimi vrednostmi. V primeru da impulzivnega nihanja zvoka ni, sta si kazalnika LA_{eq} in LA_{Ieq} enaka. Večje kot je impulzivno nihanje, večja je razlika med vrednostma. LA_{eq.kor} kazalnik izračunamo tako, da se izmerjeni LA_{eq} prištejemo razliko med LA_{eq} in LA_{Ieq}. Razlika se prišteje le tedaj, če je večja kot 2 dB(A). Če pa je razlika večja od 6 dB(A), se ekvivalentni ravni ropota prišteje 6 dB(A).

4.3.3 Kazalniki obremenitev s tresenjem in dopustne meje

Namen naloge je bil ugotoviti obremenitve celega telesa strojnika stroja za sečnjo s tresenjem. Izhodišče nam predstavljata Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu (2005) ter Vodila dobrega ravnanja (VDR, 2008) za vrednotenje obremenitev s tresenjem, ki so nastala na podlagi evropske zakonodaje (Direktiva 2002/ 44/ EC) in mednarodnega standarda ISO 2631/1.

Pri vrednotenju tresenja celega telesa sta pomembna dva kazalnika, ki smo jih obdelali tudi v naši raziskavi. Pri prvem gre za povprečne jakosti tresenja (RMS – kvadratična sredina,

ang.: root mean square) po vseh treh smereh (X, Y, Z) in njihova vektorska velikost (VTV – vector total value). Kot dodaten ukrep so v Vodila dobrega ravnanja (2008) v primerih tresenja z nenadnimi sunki vpeljali še spremljanje vrednosti VDV po vseh treh smereh ter njihovo skupno vrednost VDV (vibration dose value). Ta je nasprotno od RMS vrednosti, kumulativna vrednost tresenja. Vrednost torej narašča s časom merjenja, zato je ključnega pomena, da poznamo dolžino časa v katerem smo izmerili določeno vrednost. Za vrednotenje obremenitev celega telesa s tresenjem bolje kot skupne obremenitve (RMS VTV in VDV VTV) dejansko stanje reprezentirajo tresenja glede na horizontalno (X), aksialno (Y) in vertikalno (Z) smer tresenja. Glede na standard ISO 2631/1 pri vrednotenju upoštevamo največjo vrednost za delovni čas glede na smer X, Y ali Z.

Upoštevali smo opozorilne in mejne vrednosti izpostavljenosti za tresenje celega telesa iz Pravilnika o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu (2005):

- **Mejna vrednost dnevne izpostavljenosti**, normalizirana na referenčno obdobje osmih ur: $\text{RMS VTV} = 1,15 \text{ m/s}^2$, pri skupni vrednosti $\text{VDV} = 21 \text{ m/s}^{1,75}$,
- **Opozorilna vrednost dnevne izpostavljenosti**, normalizirana na referenčno obdobje osmih ur: $\text{RMS VTV} = 0,5 \text{ m/s}^2$, pri skupni vrednosti $\text{VDV} = 9,1 \text{ m/s}^{1,75}$.

Obremenitve s tresenjem celega telesa (RMS) po delovnih operacijah in skupno smo izračunali po enačbi:

$$\text{RMS Y} = \sqrt{\frac{\sum \text{RMS } Y_i^2 \times t_i}{\sum t_i}} \quad \dots(6)$$

RMS Y - kazalniki tresenja RMS po smereh (X, Y, Z, VTV) za celo telo (WB) v m/s^2

RMS Y_i - I – te vrednosti kazalnikov tresenja RMS po smereh (X, Y, Z, VTV) za celo telo v m/s^2

t_i - trajanje i-tega intervala (posamezna delovna operacija)

Skupno (7,5 ure zaradi pol urne pavze za malico) obremenitev strojnika s skupno dozo tresenja (VDV) po delovnih operacijah in skupno smo izračunali po enačbi:

$$VDV \left[\frac{m}{s^{1,75}} \right] = \sqrt[4]{\frac{\sum VDV_i^4 \times t_i}{\sum t_i} \times \frac{\sum t_i}{\sum t_{ij}}} \times 27000 \quad \dots (7)$$

VDV - skupna doza tresenja v $m/s^{1,75}$

VDV_i - i – te vrednosti kazalnikov tresenja *VDV* po smereh (*X*, *Y*, *Z*, *VTV*) v $m/s^{1,75}$

t_i - trajanje *i*-tega intervala (posamezna delovna operacija)

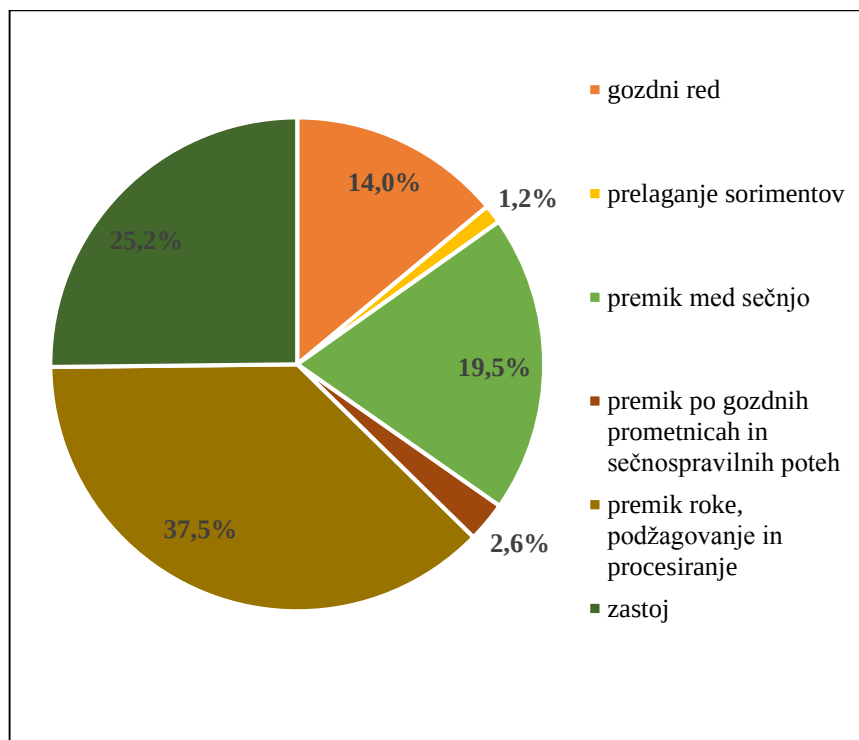
t_{ij} - trajanje *i*-tega intervala ter *j* delovnih operacij (delovni čas)

5 REZULTATI

5.1 STRUKTURA IN ČAS IZPOSTAVLJENOSTI DEJAVNIKOM DELOVNEGA OKOLJA

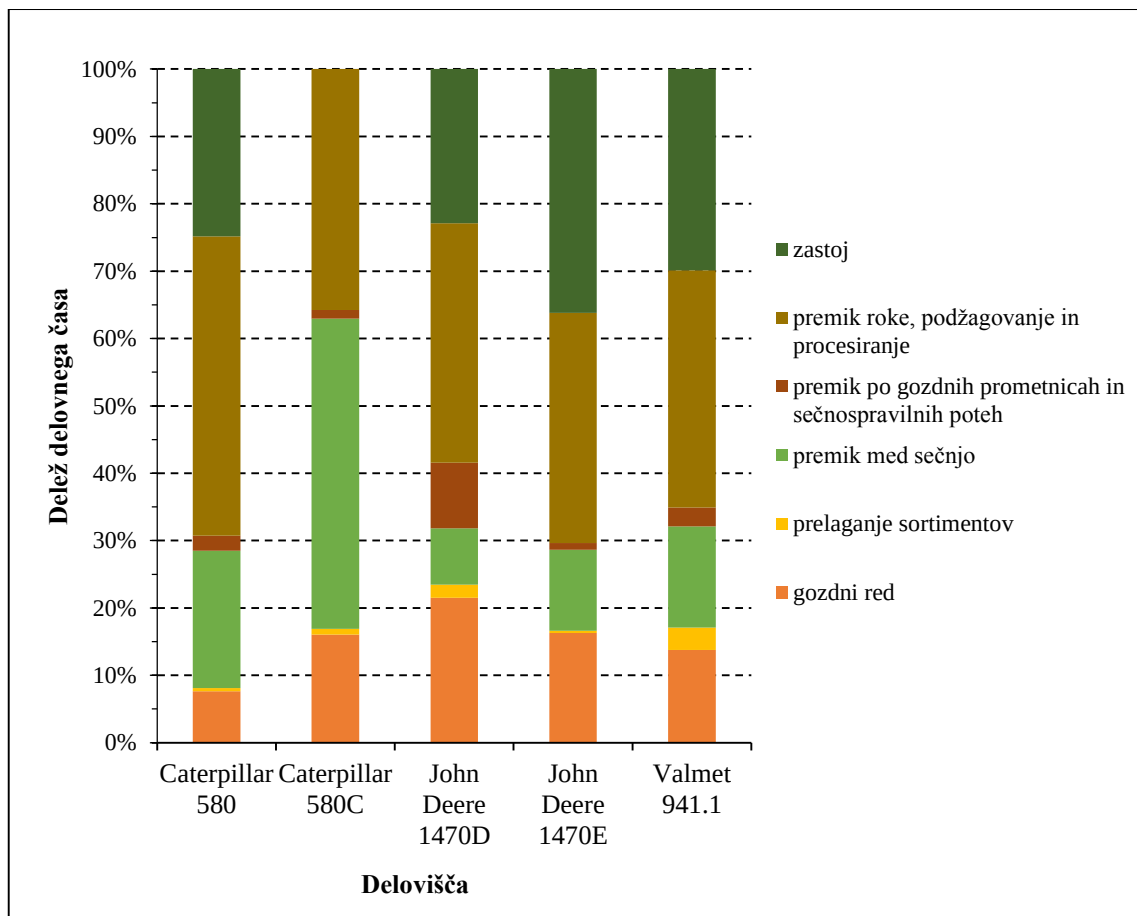
Obremenitve z ropotom in tresenjem niso odvisne samo od jakosti ropota in tresenja celotnega telesa, temveč tudi od časa izpostavljenosti. Razen zastojev nastalih izključno zaradi meritev, smo pri analizi časa izpostavljenosti upoštevali vse delovne operacije in zastoje.

Struktura delovnega časa nam prikazuje deleže delovnih operacij glede na celotni delovni čas (slika 11). Strojniki so največ časa in sicer 37,5% porabili za premik roke, podžagovanje in procesiranje, sledi zastoj s 25,2%, nato premik med sečnjo z 19,5% in gozdni red s 14%. Premika po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh je bilo malo (2,6%), še manj pa prelaganja sortimentov (1,2%).



Slika 11: Struktura posnetega časa po delovnih operacijah

Ker na trajanje delovnih operacij vplivajo številni dejavniki, kot so vrsta oziroma tip stroja, starost (število obratovalnih ur) in vzdrževanje stroja, izkušnost in motiviranost strojnika, delovne razmere (terenske, sestojne razmere, neto drevo, koncentracija sečnje, vidljivost), vremenske razmere itn., prikazujemo strukturo posnetega časa tudi po posameznih deloviščih (slika 12).

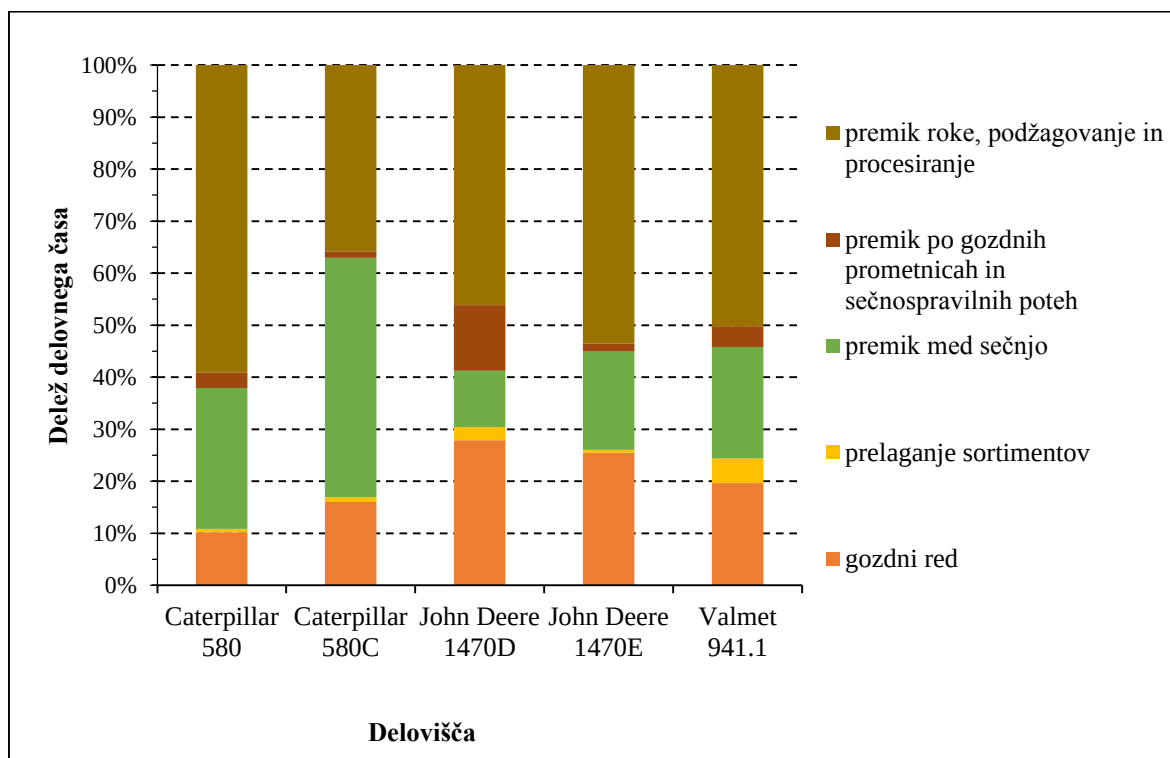


Slika 12: Struktura delovnega časa po delovnih operacija in deloviščih

Glede na delež zastojev izstopa delovišče Caterpillar 580C, avstrijskega izvajalca del, ki je delo opravil brez zastoja. Na ostalih deloviščih se deleži zastojev gibljejo od 22,9% pri John Deere 1470D, 24,8% pri Caterpillar 580, 29,9% pri Valmet 941.1 in do največ 36,2% pri John Deere 1470E. Na delež neproduktivnega časa, ki ga je strojnik preživel izven kabine vplivajo tudi delovne razmere. Najugodnejše razmere so bile na delovišču Caterpillar 580C, višji delež zastojev na ostalih deloviščih gre pripisati večji kamnitosti in

skalovitosti, ki je bila vzrok za okvare, predvsem rezalnega dela sečne glave. Pri tem je prevladovala menjava verige ali lista na sečnji glavi.

Deleže neproduktivnega časa oziroma zastojev, lahko z izjemo delovišča Valmet 941.1 enačimo z deleži, ko je bil delavec izven stroju. Na zadnjem delovišču (Valmet 941.1) pa je poleg zastoja izven kabine nastal tudi zastoj, ko je strojnik medtem ko je bil stroj vklopljen, čakal na sekača pri predsečnji. Skupno je ta vrsta zastoja predstavljala 3,1% delovnega časa.



Slika 13: Struktura produktivnega delovnega časa po delovnih operacijah in deloviščih

Iz strukture produktivnega časa (slika 13) je razvidno, da je premika roke, podžagovanja in procesiranja od 35,8 do 59,1 %. Premik med sečnjo je v intervalu od 10,8 do 46,1 %, gozdni red pa od 10,2 do 27,9%. Premika po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh je malo, od 1,2 do 12,6 %, še manj pa prelaganja sortimentov, od 0,5 do 4,7%. Delež delovne operacije premik roke, podžagovanje in procesiranje je na vseh deloviščih visok, kar je pričakovano, saj gre za osnovno delovno operacijo stroja za sečnjo. Pri delovni operaciji premik med sečnjo beležimo precejšnje odstopanje na delovišču Caterpillar

580C. Pripisati ga gre velikosti delovišča, saj je bilo kar na štirih oddelkih, medtem ko so bila ostala na enem. Velik delež premika po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh na delovišču John Deere 1470D je posledica majhnosti vzorca, saj je relativno kmalu po začetku meritev prišlo do okvare vodne črpalke. Prelaganja sortimentov je bilo na vseh deloviščih malo, pod 2,5%, razen na delovišču Valmet 941.1, kjer je bil delež skoraj 5%. Delo strojnika je bilo na tem delovišču zaradi velikih premerov in posledic žledoloma otežkočeno, zato je večji delež pričakovan.

5.2 OBREMENITEV STROJNIKA Z ROPOTOM

V tem poglavju predstavljamo rezultate meritev obremenitev z ropotom. V prvem podpoglavju je obravnavana jakost ropota v kabini po deloviščih, v naslednjem pa so predstavljene obremenitve z vsemi kazalniki, ki smo jih spremljali. Za vsako delovišče je po posameznih delovnih operacijah izdelana preglednica. Sledi pregled frekvenčne analize za produktivni čas ter na koncu statistične analize delovišč in delovnih operacij.

5.2.1 Jakost ropota v kabini po deloviščih

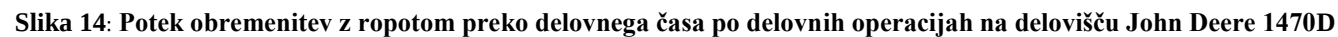
Spodnje slike 14, 15, 16 in 17 prikazujejo jakost ropota izmerjen v kabini po posameznih deloviščih. Prikazane so LCpeak in LAeq jakosti ropota v dB(C) oziroma dB(A).

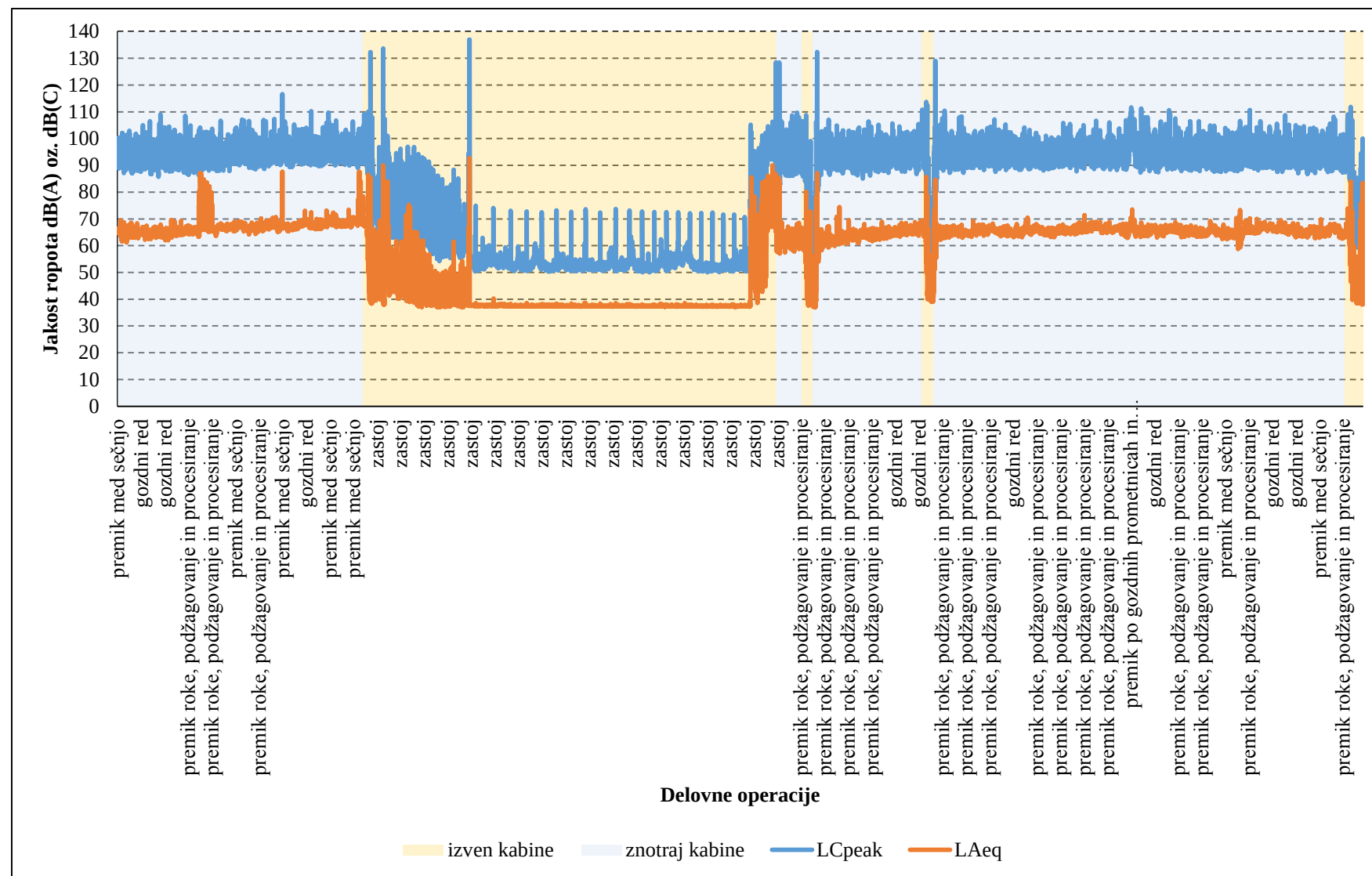
Iz rezultatov je razvidno, da so v splošnem jakosti nekoliko majše med zastoji, in sicer med 36,9 in 57,2 dB(A) oziroma 50,1 in 85,6 dB(C), ter večje v produktivnem času, med 46,2 in 58,9 dB(A) oziroma 74,4 in 87,8 dB(C),

Običajno do največjih posameznih vrednosti prihaja med zastoji in tudi med premiki stroja. Ker se med zastoji največje vrednosti pojavljajo na začetku in koncu operacije, predvidevamo, da so vir ropota vrata stroja. Največje vrednosti konične jakosti ropota v neproduktivnem času dosežejo 137 dB(C) ter 92,7 dB(A) ekvivalentne jakosti ropota. V produktivnem času so največje vrednosti 132,5 dB(C) ter 95,3 dB(A).

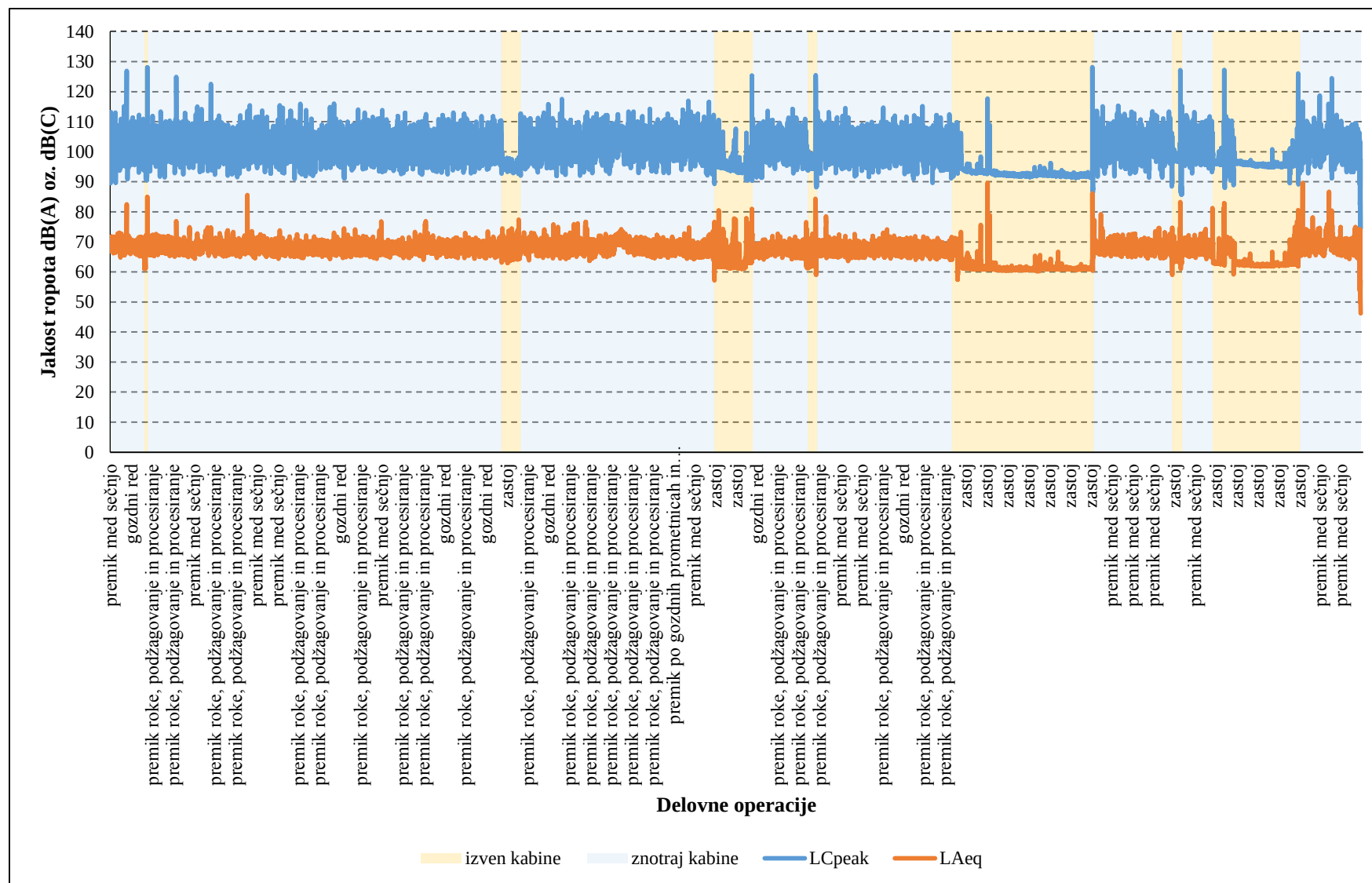
Na sliki 17 iz delovišča Valmet 941.1 sta po največjem zastoju, ko je bil delavec izven kabine, vidna zastoja, ki sta izjemoma nastala, ko je bil delavec v kabini. Vrednosti obremenitev med tema zastojema so v splošnem manjše kot v preostalem času, ko je bil strojnik v kabini.

Kot zanimivost se na sliki 15 preko zastoja vidi sistematično pojavljanje večjih LCpeak vrednosti jakosti ropota, najverjetneje kot posledica delovanja sistema stroja (v smisli procesiranja podatkov znotraj programske opreme).





Slika 15: Potek obremenitev z ropotom preko delovnega časa po delovnih operacijah na delovišču John Deere 1470E



Slika 16: Potek obremenitev z ropotom preko delovnega časa po delovnih operacijah na delovišču Caterpillar 580



5.2.2 Obremenitev delavcev z ropotom po deloviščih in delovnih operacijah

V nadaljevanju so prikazane obremenitve delavcev z ropotom po posameznih deloviščih in delovnih operacijah v času, ko je strojnik opravljal delo v kabini stroja. Primerjava z dopustnimi mejami, določenimi v Pravilniku (2006), je mogoča le pod pogojem, da dejanski delovni pogoji ustrezajo izmerjenim. Dodatno v oklepajih podajamo modelne vrednosti jakosti ropota v neproduktivnem času, da bi 8-urna izpostavljenost ($L_{ex.8h}$) presegla spodnjo opozorilno mejo (80 dB(A)). Na zadnjem delovišču, Valmet 941.1 ločimo obremenitve, ko je bil radio v kabini vklopljen od obremenitev, ko je bil radio izklopljen.

Preglednica 7: Obremenitve z ropotom v kabini po delovnih operacijah na delovišču John Deere 1470D

Delovna operacija	Čas snemanja [min]	Delež delovnega časa [%]	LCpeak [dB(C)]	LAeq [dB(A)]	LAeq [dB(a)]	LAeq.kor [dB(A)]
Gozdni red	19,6	27,9	111,1	68,7	71,1	70,4
Prelaganje sortimentov	1,8	2,5	107,8	71,9	75,3	73,3
Premik med sečnjo	7,6	10,8	118,5	68,9	70,5	69,8
Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh	8,9	12,6	124,7	70,1	74,9	73,2
Premik roke, podžaganje in procesiranje	32,4	46,1	109,9	68,6	70,6	70,0
Produktivni čas	70,3	100,0	124,7	69,0	71,7	70,8
Delovni čas	70,3	100,0	124,7	69,0	71,7	70,8 (84,5)

V preglednici 7 prikazujemo rezultate obremenitev z ropotom pri sečnji lesa na delovišču John Deere 1470D. Konične jakosti ropota se gibljejo med 107,8 in 124,7 dB(C). Največje vrednosti se pojavijo pri premikih po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh ter premikih med sečnjo. Ko stroj miruje, so LCpeak vrednosti ropota manjše. Dosežena največja konična jakost zvočnega tlaka je pod spodnjo opozorilno vrednostjo določeno s Pravilnikom (2006).

Korigirana ekvivalentna jakost ropota je bila največja pri prelaganju sortimentov (73,3 dB(A)) in pri premiku po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh (73,2 dB(A)). Vrednost pri ostalih delovnih operacijah se gibljejo okoli 70 dB(A). Med vrednostma

LAeq in LAIeq opazimo največjo razliko pri premiku po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh in sicer 4,8 dB(A). To pomeni, da se med omenjeno operacijo pojavlja največ ropota z impulzivnim značajem. Korigirana ekvivalentna jakost ropota v delovnem času je dosegla vrednost 70,8 dB(A) in glede na Pravilnik (2006) ne presega spodnje opozorilne meje dnevne izpostavljenosti.

Preglednica 8: Obremenitev z ropotom v kabini po delovnih operacijah na delovišču John Deere 1470E

Delovna operacija	Čas snemanja [min]	Delež delovnega časa [%]	LCpeak [dB(C)]	LAeq [dB(A)]	LAIeq [dB(a)]	LAeq.kor [dB(A)]
Gozdni red	40,5	25,5	132,4	67,4	72,2	72,5
Prelaganje sortimentov	0,8	0,5	98,1	65,2	66,4	69,4
Premik med sečnjo	30,0	18,9	116,6	66,6	71,9	71,3
Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh	2,4	1,5	111,6	67,3	69,9	70,8
Premik roke, podžaganje in procesiranje	84,9	53,6	110,1	66,6	69,8	71,4
Produktivni čas	158,6	100,0	132,4	66,8	70,9	71,7
Delovni čas	158,6	100,0	132,4	66,8	70,9	71,7 (88,8)

Pri sečnji lesa na drugem delovišču, John Deere 1470E (preglednica 8), se konične jakosti ropota gibljejo od 98,1 dB(C) do 132,4 dB(C). Največje vrednosti s pojavljajo med delovno operacijo gozdni red ter najmanjše pri prelaganju sortimentov. Konična jakost zvočnega tlaka v delovnem času ne presega spodnje opozorilne vrednosti iz Pravilnika (2006).

Korigirana ekvivalentna jakost ropota je največja pri gozdnem redu, 72,5 dB(A). Najmanjše vrednosti smo izmerili pri prelaganju sortimentov, 69,4 dB(A). Razlika med LAeq in LAIeq je največja pri premiku med sečnjo in sicer 5,3 dB(A). Korigirana ekvivalentna jakost ropota v delovnem času je dosegla vrednost 71,7 dB(A). Če jo primerjamo s Pravilnikom (2006) ne presega spodnje opozorilne meje.

Preglednica 9: Obremenitve z ropotom v kabini po delovnih operacijah na delovišču Caterpillar 580

Delovna operacija	Čas snemanja [min]	Delež delovnega časa [%]	LCpeak [dB(C)]	LAeq [dB(A)]	LAeq [dB(a)]	LAeq.kor [dB(A)]
Gozdni red	18,1	10,2	126,9	68,3	70,9	70,2
Prelaganje sortimentov	1,2	0,7	111,5	68,4	72,2	70,3
Premik med sečnjo	48,2	27,1	124,9	69,1	74,5	71,6
Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	5,4	3,0	115,8	70,1	72,0	71,2
Premik roke, podžaganje in procesiranje	105,2	59,1	122,6	68,6	71,1	70,3
Produktivni čas	178,1	100,0	126,9	68,7	72,3	70,7
Delovni čas	178,1	100,0	126,9	68,7	72,3	70,7 (88,8)

V preglednici 9 prikazujemo rezultate meritev na delovišču Caterpillar 580. Vrednosti LCpeak so najmanjše pri prelaganju sortimentov (111,5 dB(C)), največje pa pri gozdnem redu (126,9 dB(C)). Konična jakost za delovni čas znaša 126,9 dB(C) in ne presega dopustnih mej določenih s Pravilnikom (2006).

Največja izmerjena LAeq.kor vrednost ropota je bila izmerjena pri premiku med sečnjo (71,6 dB(A)) in premiku po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh (71,2 dB(A)). Obremenitve z ropotom so bile najmanjše med gozdnim redom. Razlika med LAeq in LAeq je največja pri premiku med sečnjo, 2,5 dB(A). Korigirana ekvivalentna jakost ropota v delovnem času je dosegla vrednost 70,7 dB(A) in ne presega spodnje opozorilne meje iz Pravilnika (2006).

Preglednica 10: Obremenitve z ropotom v kabini po delovnih operacijah na delovišču Valmet 941.1

Radio	Delovna operacija	Čas snemanja [min]	Delež delovnega časa [%]	LCpeak [dB(C)]	LAeq [dB(A)]	LAeq [dB(a)]	LAeq.kor [dB(A)]
RADIO IZKLOPLJEN	Gozdni red	20,2	15,1	112,4	68,8	72,8	71,2
	Prelaganje sortimentov	0,6	0,4	105,4	68,6	73,3	72,2
	Premik med sečnjo	13,3	9,9	116,3	69,6	74,7	73,1
	Premik roke, podžagovanje in procesiranje	35,2	26,3	123,7	70,3	77,9	74,0
	Produktivni čas	69,2	51,8	123,7	69,7	76,3	73,2
	Zastoj	3,8	2,8	131,4	72,2	77,2	76,4
	Neproduktivni čas	3,8	2,8	131,4	72,2	77,2	76,4
	Delovni čas	73,0	54,7	131,4	69,9	76,4	73,4 (83,0)
RADIO VKLOPLJEN	Gozdni red	5,3	3,9	115,2	70,2	74,3	73,2
	Prelaganje sortimentov	5,5	4,1	113,3	72,0	74,6	73,6
	Premik med sečnjo	14,4	10,8	132,5	71,1	76,3	74,6
	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	5,2	3,9	128,5	69,9	76,2	74,8
	Premik roke, podžagovanje in procesiranje	29,8	22,3	132,2	71,6	75,8	74,6
	Produktivni čas	60,2	45,1	132,5	71,3	75,7	74,4
	Zastoj	0,3	0,2	114,7	72,9	81,5	77,4
	Neproduktivni čas	0,3	0,2	114,7	72,9	81,5	77,4
	Delovni čas	60,6	45,3	132,5	71,3	75,8	74,5 (88,9)
	Skupni delovni čas	133,6	100,0	132,5	70,6	76,1	73,9

Rezultate na zadnjem delovišču, Valmet 941.1, prikazujemo ločeno za čas, ko je bil v stroju za sečnjo radio vklopljen in čas, ko je bil radio izklopljen (preglednica 10). Poleg tega se je samo na tem delovišču pojavil zastoj, ko je bil delavec med zastojem znotraj kabine. Omenjen zastoj je nastajal zaradi čakanja sekača pri predsečnji. V zadnji vrsti preglednice 10 so obremenitve za skupni delovni čas.

V času, ko je bil radio izklopljen, so se največje LCpeak vrednosti ropota pojavile med zastojem (131,4 dB(C)) ter najmanjše med prelaganjem sortimentov (105,4 dB(C)). V času, ko je bil radio vklopljen, so bile obremenitve največje med premikom med sečnjo (132,49 dB(C)) ter premikom roke, podžagovanjem in procesiranjem (132,15 dB(C)). Najmanjše obremenitve so bile izmerjene pri prelaganju sortimentov 113,26 dB(C).

LCpeak vrednost ropota za skupni delovni čas je s 132,5 dB(C) nekoliko pod dopustnimi mejami, določenimi s Pravilnikom (2006).

Korigirana ekvivalentna jakost ropota je bila pri izklopljenem in vklopljenem radiu največja med neproduktivnim časom (76,4 dB(A) oziroma 77,4 dB(A)). V produktivnem času, je bila pri izklopljenem radiju obremenitev največja pri premiku roke, podžagovanju in procesiranju (74,0 dB(A)) ter najmanjša pri gozdnem redu. Razlike med kazalcema LAeq in LAIeq se gibljejo od 2,4 dB(A) pri gozdnem redu do 4,2 dB(A) pri premiku roke, podžagovanju in procesiranju. Ko je bil radio vklopljen se LAeq.kor jakosti ropota v produktivnem času gibljejo med 73,2 dB(A) pri gozdnem redu in 74,8 dB(A) pri premiku po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh. Razlike med LAeq in LAIeq se gibljejo med 1,6 dB(A) pri gozdnem redu in 4,9 dB(A) pri premiku po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh. LAeq.kor jakost ropota za delovni čas znaša 73,9 dB(A) in v primerjavi s Pravilnikom (2006) ne presega spodnje opozorilne meje dnevne izpostavljenosti.

Poglavje končujemo s splošnim pregledom obremenitev delavcev z ropotom po posameznih deloviščih in znotraj delovnih operacij.

Na vseh deloviščih ugotavljamo, da se najmanjše vrednosti konične jakosti ropota (LCpeak) pojavljajo pri prelaganju sortimentov. Po drugi strani beležimo največje vrednosti tako rekoč pri vseh ostalih delovnih operacijah, tudi med zastoji. Interval vrednosti je od 98,1 dB(C) do 132,5 dB(C) upoštevajoč obremenitve z vklopljenim radiom. Na nobenem delovišču vrednosti ne presegajo dopustnih mej dnevne izpostavljenosti določenih s Pravilnikom (2006).

Drugi kazalnik, ki smo ga spremljali je korigirana ekvivalentna jakost ropota (LAeq.kor.). Tako največje kot najmanjše vrednosti se pojavljajo praktično pri vseh delovnih operacijah. Razpon vrednosti znotraj produktivnega časa je od 69,4 dB(A) do 74,8 dB(A). V neproduktivnem času so vrednosti še nekoliko večje in sicer od 76,4 dB(A) do 77,4 dB(A). Večje vrednosti gre pripisati pogovoru strojnika po mobilnem telefonu in pogovoru s sekačem ob odprti kabini. Dodaten ropot je povzročala motorna žaga v prostem teku (delovišče Valmet 941.1). Vrednosti so večje tudi zaradi popravila vodne črpalke (delovišče John Deere 1470D), menjave verige ali lista na sečni glavi. Kljub temu nobena od vrednosti ne presega opozorilnih mej dnevne izpostavljenosti v primerjavi s Pravilnikom (2006).

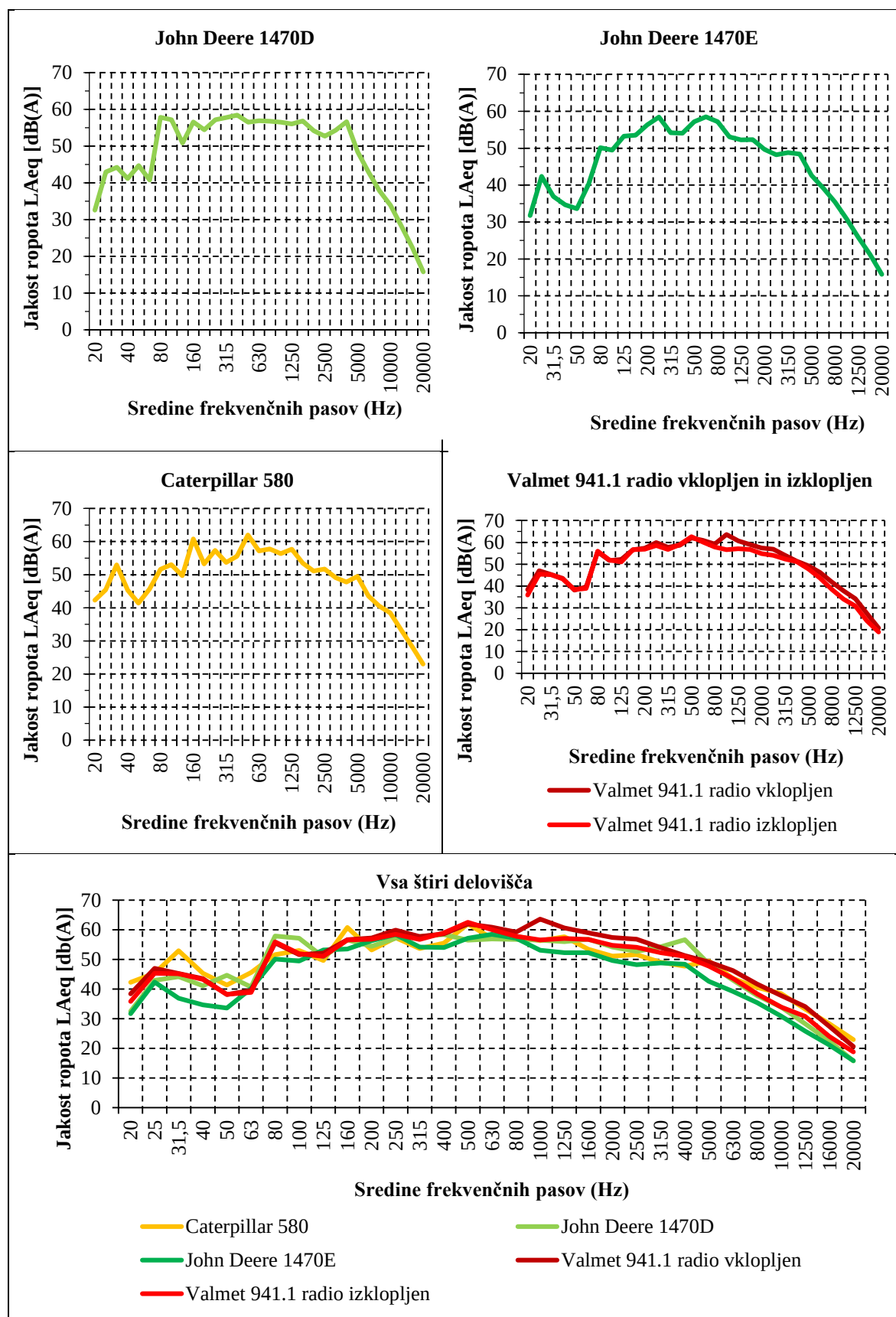
Pri pregledu razlik med LAeq in LAIeq vrednostma, največjo razliko dobimo na delovišču Valmet 941.1 radio izklopljen. Pojavi se pri premiku roke, podžagovanju in procesiranju. Sledi razlika pri Valmet 941.1 radio vklopljen pri premiku po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh, nato Caterpillar 580 pri premiku med sečnjo, John Deere 1470E pri isti operaciji, najmanjšo razliko pa smo dobili pri John Deere 1470D med delovno operacijo premik po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh. Razen na delovišču Valmet 941.1 radio vklopljen se tako v splošnem največje razlike pojavljajo pri enem izmed premikov stroja, kar pripisujemo delovanju motorja ter premikanju stroja po zahtevnih terenih (udarci ob kamne, skale, veje itn.).

Obremenitev z ropotom z vklopljenim radiom je bila povprečno za 1,4 dB(A) (LAeq) oziroma za 1,1 dB(A) (LAeq.kor) večja kot pri delu z izklopljenim radiom. Ta razlika je slišna, je pa to odvisna od strojnika oziroma od nastavitve glasnosti radia. Glasnost radia namreč vpliva na zmožnost spremljave delovnega procesa in ne sme biti previsoka, če želi strojnik slušno spremljati delovanje stroja.

V preglednicah od 7 do 10 podajamo modelne vrednosti obremenitev izven kabine v neproduktivnem času. Vrednosti se gibljejo od 83,0 dB(A) na delovišču Valmet 941.1 radio izklopljen do 88,9 dB(A) na delovišču Valmet 941.1 radio vklopljen.

5.2.3 Frekvenčna analiza ropota po deloviščih

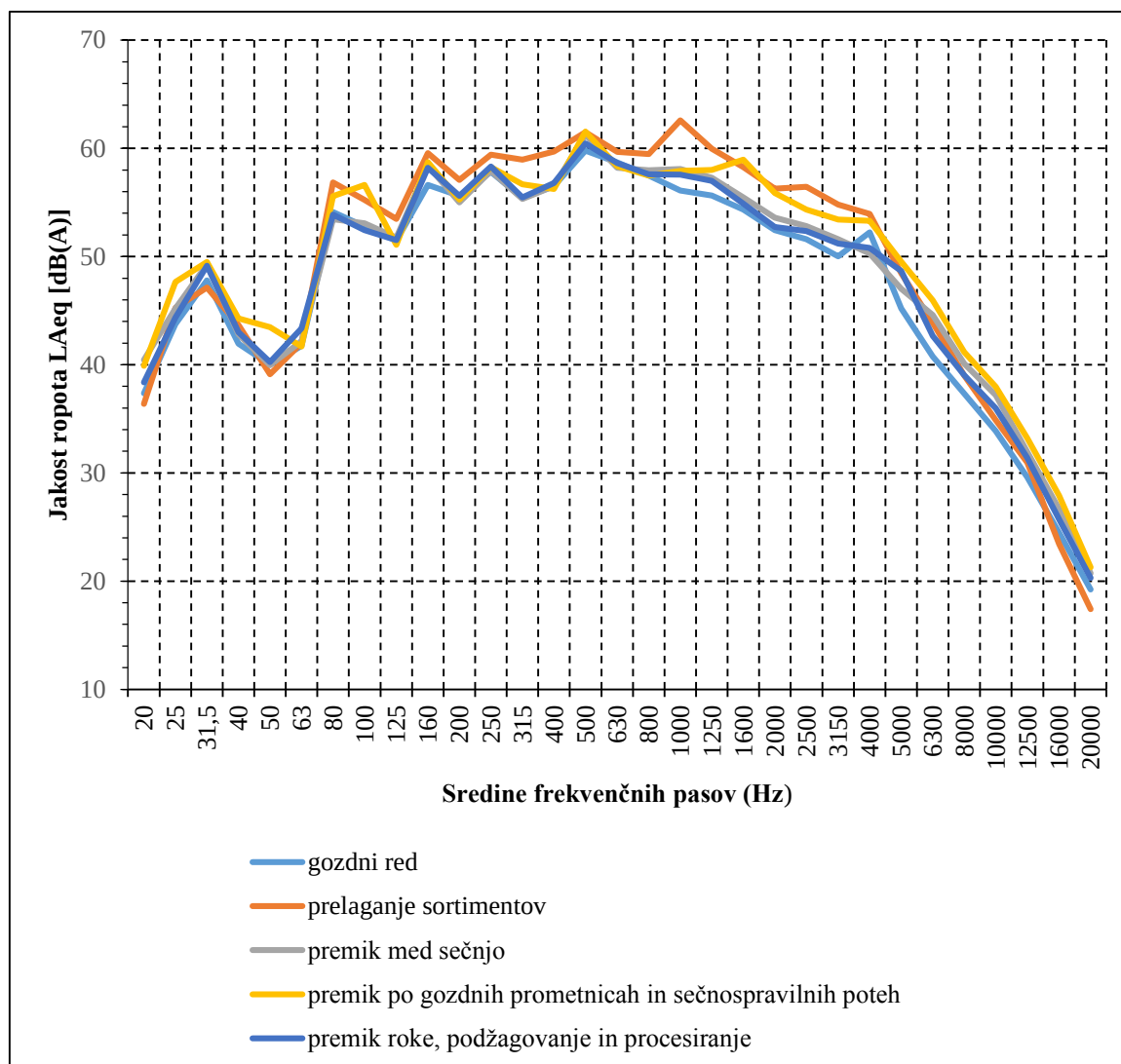
Namen frekvenčne analize je ugotoviti pri katerih frekvencah je jakost ropota najbolj obremenjujoča za delavca. Dodatno je namen ugotoviti vire ropota.



Slika 18: Primerjava frekvenčnih pasov po posameznih deloviščih v produktivnem času

V tem poglavju predstavljamo analizo frekvenčnega spektra ropota za produktivni čas v območju od 20 Hz do 20.000 Hz za vsak stroj posebej (slika 18). Obremenitve z ropotom v splošnem presegajo mejo 40 dB(A) v frekvenčnem območju od 20 Hz do 8000 Hz. Pri stroju Caterpillarj 580C je meja presežena že pri 20 Hz, medtem ko pri ostalih pri 25 Hz. Obremenitev pade pod 40 dB(A) pri John Deere 1470E pri 5000 Hz, pri John Deere 1470D in Valmetu 941.1 radio vklopljen pri 6300 Hz ter pri Caterpillarju 580 in Valmetu 941.1 radio izklopljen pri 8000 Hz. Obremenitev 50 dB(A) je pri vseh strojih presežena pri 80 Hz in pade pod to mejo v območju med 2000 Hz (John Deere 1470E) do 5000 Hz (John Deere 1470D in Valmet 941.1 radio vklopljen). Vrednost ropota 60 dB(A) je presežena le pri dveh strojih in sicer pri Caterpillarju pri 160 Hz in pri Valmet 941.1 radio izklopljen in vklopljen pri 500 Hz.

Jakosti ropota pri nižjih frekvencah (slika 18) se pojavijo kot posledica delovanja motorja. Vidimo, da so si krivulje med sabo precej različne. Temu botruje obratovanje motorja stroja pod različnimi obrati. Tako so bile v splošnem z 2000 obrati motorja največje obremenitve stroja na delovišču Caterpillar 580 ter z 1600 obrati manjše na ostalih deloviščih. Izračunane vrednosti ustrezajo jakostim ropota pri 100 oziroma 80 Hz ropota. Jakosti ropota z 31,5 Hz pripadajo delovanju motorja v prostem teku (cca. 630 obratov motorja na minuto). Jakosti pri višjih frekvencah se razlikujejo zaradi različne opremljenosti strojev (verige, gosenice) ter različnih delovnih razmer (zlasti talna podlaga). Vpliv ima tudi ohranjenost in vzdrževanje stroja ter navsezadnje izkušnostjo strojnika.

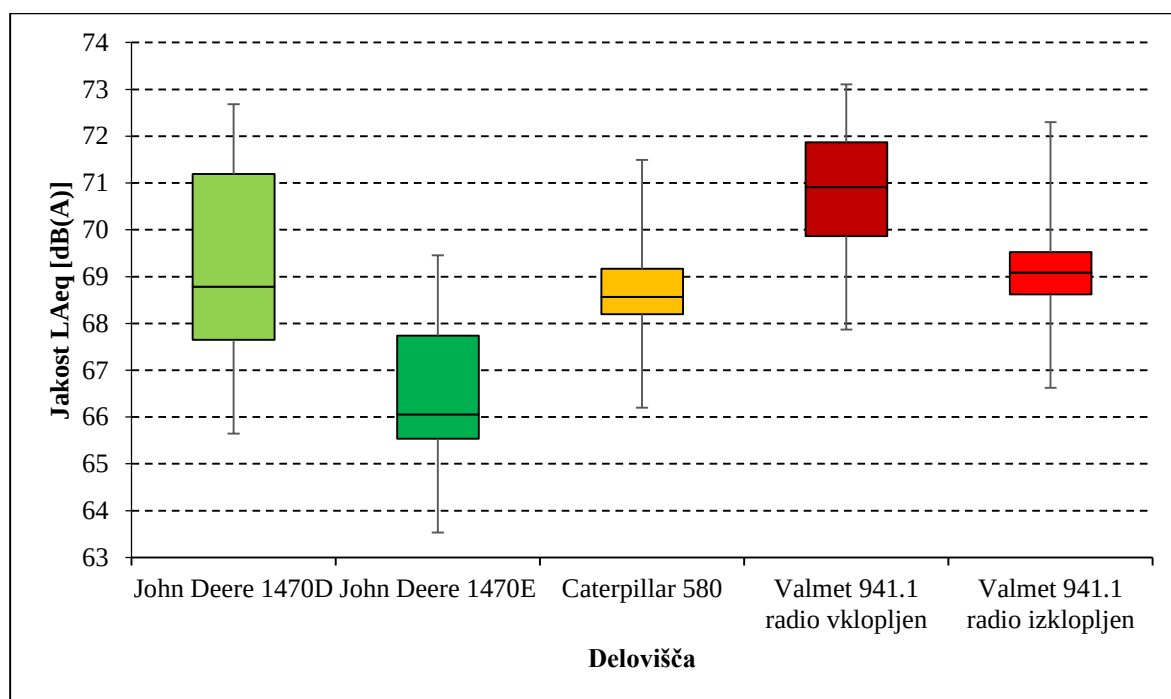


Slika 19: Primerjava frekvenčnih spektrov po delovnih operacijah

Spektri ropota med posameznimi delovnimi operacijami so si bolj podobni kot med delovišči, zato jih prikazujemo skupaj na sliki 19. Če pogledamo sliko 11 vidimo, da so spektri ropota pri delovnih operacijah premik roke, podžagovanje in procesiranje, premik med sečnjo in gozdni red in predstavljajo 70% dela stroja, zelo podobni. To pomeni, da so stroji med temi tremi operacijami delali s podobnimi obrati motorja. Spektra ropota prelaganja sortimentov ter premika po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh sta različna od ostalih. Pri prelaganju sortimentov beležimo največje obremenitve pri 1000 Hz, medtem ko pri premikih po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh beležimo obratovanje motorja pri višjih obratih.

5.2.4 Statistična analiza obremenitev z ropotom med delovišči

Ker so posamezna delovišča poleg uporabljenjega stroja za sečnjo različna tudi glede na ostale delovne razmere smo razlike med obremenitvami z ropotom med delovišči v produktivnem času statistično analizirali.



Slika 20: Primerjava ekvivalentne jakosti ropota med delovišči za produktivni čas

Iz rezultatov, ki jih prikazujemo v obliki kvantilnega diagrama (slika 20) oziroma okvirja z ročaji (box plot), lahko vidimo, kako si sledijo obremenitve z ropotom znotraj produktivnega časa za posamezna delovišča. V splošnem tako najmanjše obremenitve beležimo na delovišču John Deere 1470E, sledi Caterpillar 580, nato Valmet 941.1 radio izklopljen, John Deere 1470D ter Valmet 941.1 radio vklopljen.

Glede na variabilnost individualnih vrednosti okoli mediane lahko sklepamo ali so bile delovne razmere homogene, kakšen je bil način dela, vrsta stroja. Manjše variabilnosti beležimo pri Valmet 941.1 radio izklopljen in Caterpillar 580, medtem ko so variabilnosti pri obeh strojih John Deere nekoliko večje. Na delovišču John Deere 1470D je lahko ključno vlogo imel relativno majhen vzorec, medtem ko bi pri John Deere 1470E na večjo

variabilnost lahko vplivalo, da sta stroj uporabljala dva različna strojnika, ki nista bila enako spretna.

Primerjavo obremenitev med delovišči ropota smo omejili le na produktivni čas ter na delovišča brez dodatnih virov ropota kot je npr. radio.

Preglednica 11: Rezultati posteriorne analize obremenitev z ropotom med delovišči (U-test, Bonferroni korekcija značilnosti, $p < 0,008$)

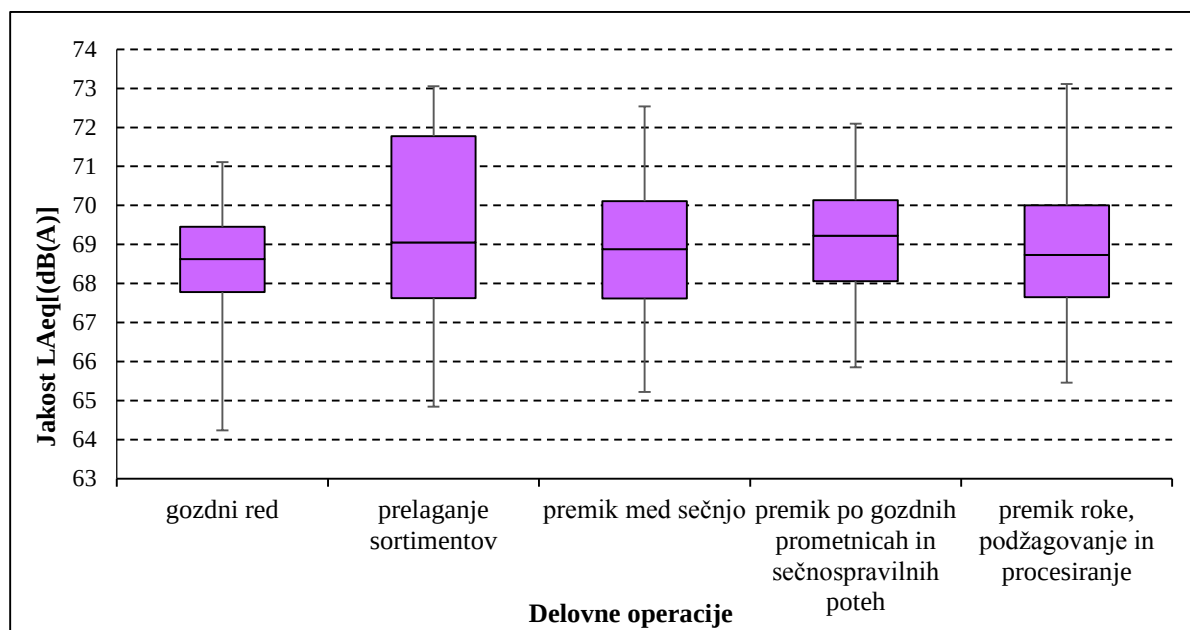
Statistična značilnost (p)	John Deere 1470D	John Deere 1470E	Caterpillar 580	Valmet 941.1 radio izklopljen
John Deere 1470D		0,000	0,749	0,767
John Deere 1470E	0,000		0,000	0,000
Caterpillar 580	0,749	0,000		0,079
Valmet 941.1 radio izklopljen	0,767	0,000	0,079	

Statistični test razlik med sredinami kaže na značilne razlike med obremenitvami po deloviščih (Kruskal Wallis, $\chi^2 = 35,672$; $df = 3$, $p < 0,000$). Z nadaljnjo posteriorno analizo parnih primerjav nismo potrdili statistično značilnih razlik ($p > 0,008$) med delovišči John Deere 1470D in Caterpillar 580, John Deere 1470D in Valmet 941.1 radio izklopljen ter Caterpillar 580 in Valmet 941.1 radio izklopljen (preglednica 11).

Glede na rezultate lahko delovišča razdelimo v dve skupini: prvo, kjer je delavec bolj obremenjen z ropotom, tvorijo delovišča John Deere 1470D, Caterpillar 580 in Valmet 941.1 radio izklopljen, drugo skupino pa delovišče John Deere 1470E.

5.2.5 Statistična analiza obremenitev z ropotom med delovnimi operacijami

Delo strojnika na stroju za sečnjo smo razdelili na pet delovnih operacij. Znotraj posamezne smo upoštevali izmerjene obremenitve iz vseh delovišč oziroma iz vseh strojev. Obremenitve z ropotom, ko je bil radio vklopljen, smo izvzeli iz analize.



Slika 21: Primerjava obremenitev z ropotom med delovnimi operacijami v produktivnem času

Iz kvantilnega diagrama (slika 21) vidimo, da so obremenitve med posameznimi operacijami zelo podobne. Kljub temu smo največje vrednosti izmerili pri delovni operaciji premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh. Sledijo obremenitve med prelaganjem sortimentov, premikom med sečnjo, gozdnim redom in na koncu obremenitve pri delovni operaciji premik roke, podžaganje in procesiranje.

Preglednica 12: Rezultati posteriorne analize med delovnimi operacijami (U-test, Bonferroni korekcija značilnost $p < 0,005$)

Statistična značilnost (p)	Gozdni red	Prelaganje sortimentov	Premik med sečnjo	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	Premik roke, podžaganje in procesiranje
Gozdni red		0,892	0,626	0,424	0,935
Prelaganje sortimentov	0,892		0,978	0,617	0,935
Premik med sečnjo	0,626	0,978		0,527	0,766
Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	0,424	0,617	0,527		0,594
Premik roke, podžaganje in procesiranje	0,935	0,935	0,766	0,594	

Tudi tu smo opravili statistični test razlik med sredinami, ki ne kaže značilnih razlik med obremenitvami po delovnih operacijah (Kruskal Wallis, $\chi^2 = 0,677$; $df = 4$, $p < 0,954$). S posteriorno analizo parnih primerjav (preglednica 12) torej nikjer nismo potrdili statistično značilnih razlik ($p > 0,005$).

Vse delovne operacije lahko glede na obremenitve z ropotom združimo v eno skupino..

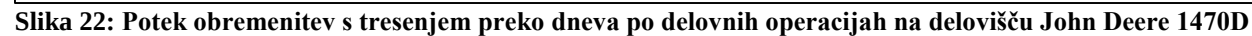
5.3 OBREMENITEV STROJNIKA S TRESENJEM

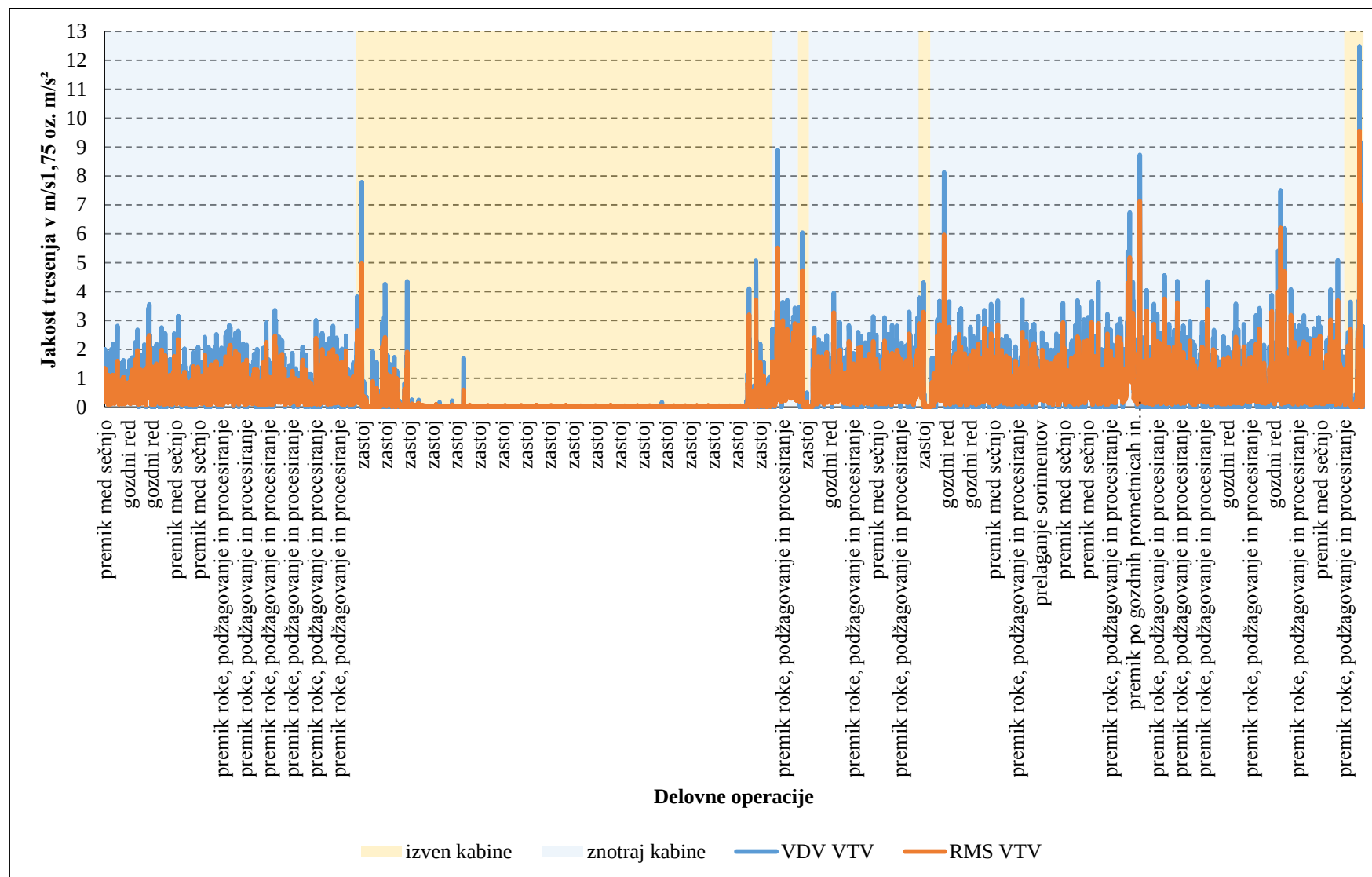
Rezultati obremenitev strojnika s tresenjem so strukturirani na enak način kot v poglavju 5.2., pri ugotavljanju obremenitev z ropotom.

5.3.1 Jakost tresenja v kabini po deloviščih

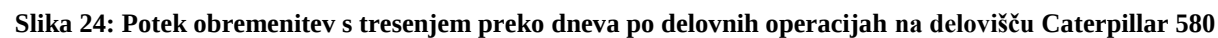
Podobno kot v poglavju 5.2.1 na slikah od 22 do 26 prikazujemo jakost tresenja, posnetega po sekundnih intervalih, v kabini stroja za sečnjo v času snemanja. Jakost tresenja prikazujemo z uporabo dveh kazalnikov in sicer RMS VTV v m/s^2 in VDV VTV v $m/s^{1,75}$.

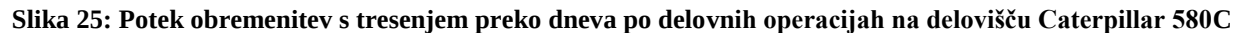
Iz rezultatov je razvidno, da do posameznih največjih vrednosti prihaja običajno med zastoji in premiki, redko tudi med delovno operacijo premik roke, podžagovanje in procesiranje. Največje sekundne vrednosti jakosti tresenja so bile dosežene med neproduktivnim časom, navadno med menjavanjem verige, in dosegaajo vrednosti od 9,56 m/s^2 do 12,48 $m/s^{1,75}$. Na splošno pa so obremenitve med zastoji precej manjše kot v produktivnem času kar velja za oba kazalnika obremenitev s tresenjem.





Slika 23: Potek obremenitev s tresenjem preko dneva po delovnih operacijah na delovišču John Deere 1470E







5.3.2 Obremenitev delavcev s tresenjem po deloviščih in delovnih operacijah

Enako kot pri analizi obremenitev strojnika z ropotom, smo tudi pri izračunu obremenitev s tresenjem v času meritev upoštevali le obremenitve v času, ko je bil strojnik v kabini.

Preglednica 13: Obremenitev s tresenjem v kabini po delovnih operacijah na delovišču John Deere 1470D

Delovna operacija	Čas [min]	Delež delovne ga časa [%]	RMS [m/s ²]				VDV [m/s ^{1,75}]			
			X	Y	Z	VTV	X	Y	Z	VTV
Gozdni red	19,6	21,5	0,33	0,25	0,20	0,62	6,76	5,33	4,30	15,21
Prelaganje sortimentov	1,8	2,0	0,32	0,24	0,20	0,60	6,62	5,21	4,61	14,29
Premik med sečnjo	7,6	8,4	0,34	0,39	0,21	0,75	6,77	8,12	4,49	17,78
Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh	8,9	9,7	0,36	0,62	0,37	1,07	7,64	12,86	7,39	27,01
Premik roke, podžagovanje in procesiranje	32,4	35,6	0,32	0,23	0,20	0,59	6,76	5,32	4,04	15,37
Produktivni čas	70,3	77,1	0,33	0,33	0,23	0,69	6,89	8,21	5,05	18,60
Delovni čas	70,3	77,1	0,33	0,33	0,23	0,69	6,89	8,21	5,05	18,60

Na delovišču John Deere 1470D (preglednica 13) je bil strojnik med produktivnim časom glede na RMS VTV jakost tresenja najbolj obremenjen med premikanjem stroja. Sledijo ostale operacije s približno enakimi vrednostmi obremenitev; gozdni red (0,62 m/s²), prelaganje sortimentov (0,60 m/s²) ter premik roke, podžagovanje in procesiranje (0,59 m/s²). Glede na smeri so bile največje obremenitve pri delovnih operacijah gozdni red, prelaganje sortimentov ter premik roke, podžagovanje in procesiranje v horizontalni smeri (X), pri obeh premikih pa v aksialni smeri (Y). Najmanjše obremenitve so bile pri vseh operacijah v vertikalni smeri (Z), razen pri premiku po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh, kjer so obremenitve v X in Z smeri skoraj enake.

Pri drugem kazalniku, skupni dozi tresenja VDV VTV, so obremenitve prav tako največje pri obeh premikih, drugače je pri ostalih operacijah. Najmanjše vrednosti beležimo pri prelaganju sortimentov. Po smereh se največje obremenitve pojavljajo pri istih operacijah kot pri prejšnjem kazalniku, medtem ko so najmanjše pri vseh operacijah bile izmerjene v vertikalni (Z) smeri.

Na prvem delovišču je v delovnem času obremenitev celotnega telesa s tresenjem po kazalnikih RMS VTV in VDV VTV znašala $0,69 \text{ m/s}^2$ oziroma $18,60 \text{ m/s}^{1,7}$. Obe vrednosti presegata opozorilni vrednosti dnevne izpostavljenosti določene v Pravilniku (2005). Glede obremenjenosti po posameznih smereh opozorilna meja tako v horizontalni in aksialni ($0,33 \text{ m/s}^2$) smeri pri kazalniku RMS, kot v vertikalni ($8,34 \text{ m/s}^{1,75}$) smeri pri kazalniku VDV, kjer beležimo največje obremenitve, ni presežena.

Preglednica 14: Obremenitev s tresenjem v kabini po delovnih operacijah na delovišču John Deere 1470E

Delovna operacija	Čas [min]	Delež delovne ga časa [%]	RMS [m/s^2]				VDV [$\text{m/s}^{1,75}$]			
			X	Y	Z	VTV	X	Y	Z	VTV
Gozdni red	40,5	16,3	0,36	0,35	0,20	0,73	7,38	8,31	4,63	16,96
Prelaganje sortimentov	0,8	0,3	0,34	0,30	0,17	0,66	6,05	5,66	3,30	12,93
Premik med sečnjo	30,0	12,1	0,45	0,64	0,23	1,12	9,01	15,36	4,66	26,45
Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	2,4	1,0	0,58	1,07	0,38	1,75	10,79	21,01	8,04	35,17
Premik roke, podžagovanje in procesiranje	84,9	34,2	0,33	0,31	0,18	0,66	7,58	9,96	4,40	18,54
Produktivni čas	158,6	63,8	0,37	0,42	0,20	0,81	7,94	11,89	4,66	21,16
Delovni čas	158,6	63,8	0,37	0,42	0,20	0,81	7,94	11,89	4,66	21,16

Na delovišču John Deere 1470E (preglednica 14) so bile obremenitve na delavca po kazalniku RMS VTV zelo podobne tistim na delovišču John Deere 1470D. Vrstni red je pravzaprav identičen, različne so le vrednosti, ki so nekoliko večje. Enako to velja za obremenitve po posameznih smereh.

Pri kazalniku VDV VTV so obremenitve v istem vrstnem redu kot na prejšnjem delovišču, vrednosti pa tudi nekoliko večje. Po posameznih smereh je bil delavec pri vseh delovnih operacijah najbolj obremenjen v aksialni (Y) smeri, razen pri prelaganju sortimentov, kjer je naprava največjo vrednost izmerila v X smeri. Najmanjše vrednosti opazimo v vertikalni (Z) smeri.

Gledano celotni delovni čas so izračunane obremenitve za oba kazalnika $0,81 \text{ m/s}^2$ za RMS VTV oziroma $21,16 \text{ m/s}^{1,75}$ za VDV VTV. Prva vrednost presega opozorilno, medtem ko druga celo mejno vrednost dnevne izpostavljenosti predpisane v Pravilniku (2005). Če jakost tresenja vrednotimo po posameznih smereh, le-te presegajo opozorilno mejo po kazalniku VDV ne pa tudi po kazalniku RMS. Vrednosti iz Pravilnika (2005) so namreč $0,50 \text{ m/s}^2$ oziroma $9,10 \text{ m/s}^{1,75}$, na preučevanem delovišču pa $0,42 \text{ m/s}^2$ oziroma $11,89 \text{ m/s}^{1,75}$, obakrat v aksialni smeri.

Preglednica 15: Obremenitev s tresenjem v kabini po delovnih operacijah na delovišču Caterpillar 580

Delovna operacija	Čas [min]	Delež delovne ga časa [%]	RMS [m/s^2]				VDV [$\text{m/s}^{1,75}$]			
			X	Y	Z	VTV	X	Y	Z	VTV
Gozdni red	18,1	7,6	0,35	0,35	0,26	0,73	6,93	7,50	5,20	17,72
Prelaganje sortimentov	1,2	0,5	0,44	0,37	0,28	0,85	8,10	7,54	5,50	19,75
Premik med sečnjo	48,2	20,4	0,50	0,68	0,35	1,24	10,03	13,78	12,88	28,58
Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	5,4	2,3	0,50	0,75	0,39	1,32	8,99	13,92	7,16	26,20
Premik roke, podžagovanje in procesiranje	105,2	44,4	0,27	0,30	0,22	0,61	5,84	7,58	4,90	15,83
Produktivni čas	178,1	75,2	0,36	0,46	0,27	0,86	7,90	10,72	9,44	22,20
Delovni čas	178,1	75,2	0,36	0,46	0,27	0,86	7,90	10,72	9,44	22,20

Enako kot na predhodnjih dveh deloviščih so tudi tu največje obremenitve po kazalniku RMS VTV med premikanjem stroja (preglednica 15). Sledijo ostale delovne operacije. Glede na posamezne smeri zopet beležimo največje obremenitve v aksialni (Y) smeri pri obeh premikih, na tem delovišču pa tudi pri premiku roke, podžagovanju in procesiranju ter gozdnem redu. Pri slednji delovni operaciji so obremenitve v X in Y smeri enake. Največje obremenitve v horizontalni smeri se pojavljajo tudi pri prelaganju sortimentov.

Obremenitve po kazalniku VDV so ravnotako največje pri premikih stroja, pri ostalih delovnih operacijah je vrstni red enak kot pri RMS jakosti tresenja. Razen pri premiku med sečnjo, najmanjše obremenitve beležimo v Z smeri. Vrstni red največjih obremenitev po posameznih smereh je enak kot pri kazalniku RMS.

Obremenitve celega telesa s tresenjem za delovišče Caterpillar 580 je po kazalniku RMS VTV in VDV VTV v delovnem času znašala $0,86 \text{ m/s}^2$ oziroma $22,20 \text{ m/s}^{1,75}$. Prva vrednost presega opozorilno, medtem ko druga obe meji iz Pravilnika (2005). Po posameznih smereh opozorilna meja za RMS kazalnik ni presežena, saj je obremenitev s tresenjem v Y smeri $0,40 \text{ m/s}^2$. Je pa opozorilna meja presežena glede na VDV kazalnik, saj prav tako v aksialni smeri ugotavljamo vrednost $12,94 \text{ m/s}^{1,75}$.

Preglednica 16: Obremenitev s tresenjem v kabini po delovnih operacijah na delovišču Caterpillar 580C

Delovna operacija	Čas [min]	Delež delovnega časa [%]	RMS [m/s^2]				VDV [$\text{m/s}^{1,75}$]			
			X	Y	Z	VTV	X	Y	Z	VTV
Gozdni red	21,2	16,0	0,35	0,33	0,19	0,70	6,94	8,12	3,66	16,32
Prelaganje sortimentov	1,2	0,9	0,30	0,45	0,20	0,78	5,37	9,12	3,53	16,10
Premik med sečnjo	60,9	46,1	0,40	0,51	0,26	0,94	7,71	9,84	5,87	19,02
Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	1,7	1,2	0,42	0,54	0,28	1,00	8,13	12,37	4,77	25,24
Premik roke, podžagovanje in procesiranje	47,3	35,8	0,32	0,27	0,17	0,61	6,90	5,54	3,65	14,14
Produktivni čas	132,1	100,0	0,36	0,41	0,22	0,80	7,32	8,69	5,05	17,40
Delovni čas	132,1	100,0	0,36	0,41	0,22	0,80	7,32	8,69	5,05	17,40

Na delovišču Caterpillar 580C (preglednica 16) je bil strojnik enako kot na predhodnih deloviščih najbolj obremenjen s tresenjem med premiki stroja, manj med ostalimi operacijami. To velja glede na RMS in VDV jakost tresenja. Po posameznih smereh so po obeh kazalnikih največje obremenitve v aksialni (Y) smeri pri obeh vrstah premikov, sledijo obremenitve pri prelaganju sortimentov, ravno tako v Y smeri. Po RMS kazalniku so v horizontalni smeri obremenitve največje pri gozdnem redu ter premiku roke, podžagovanju in procesiranju. Slednje je enako tudi za obremenitve vrednotene po VDV kazalniku, le pri gozdnem redu so obremenitve največje v Y smeri. V vertikalni (Z) smeri so obremenitve najmanjše pri vseh delovnih operacijah.

Obremenitev celega telesa s tresenjem za obravnavano delovišče Caterpillar 580C po kazalnikih RMS VTV in VDV VTV v delovnem času znaša $0,80 \text{ m/s}^2$ oziroma $17,40 \text{ m/s}^{1,75}$. Obe vrednosti presegata opozorilni meji iz Pravilnika (2005). Glede na jakosti

obremenitev po posameznih smereh pa nobena od vrednosti ($0,41 \text{ m/s}^2$, $8,69 \text{ m/s}^{1,75}$) ne presega mej določenih v Pravilniku (2005).

Preglednica 17: Obremenitev s tresenjem v kabini po delovnih operacijah na delovišču Valmet 941.1

Delovna operacija	Čas [min]	Delež delovne ga časa [%]	RMS [m/s^2]				VDV [$\text{m/s}^{1,75}$]			
			X	Y	Z	VTV	X	Y	Z	VTV
Gozdni red	25,5	19,1	0,30	0,36	0,23	0,70	6,53	7,11	4,48	16,77
Prelaganje sortimentov	6,1	4,6	0,33	0,32	0,23	0,69	6,49	6,32	4,52	15,92
Premik med sečnjo	27,7	20,8	0,41	0,56	0,28	1,02	8,06	11,00	8,62	23,75
Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravnih poteh	5,2	3,9	0,41	0,75	0,33	1,25	7,72	13,75	5,58	31,21
Premik roke, podžagovanje in procesiranje	65,0	48,7	0,31	0,36	0,25	0,71	6,74	7,46	12,75	19,24
Produktivni čas	129,5	96,9	0,34	0,43	0,26	0,81	7,09	9,05	10,99	20,97
Delovni čas	129,5	96,9	0,34	0,43	0,26	0,81	7,09	9,05	10,99	20,97

Na zadnjem delovišču, Valmet 941.1, smo znotraj delovnega časa v kabini posneli tudi neproduktivni čas (preglednica 17), ki nastal zaradi predsečnje sekača. Strojnik je v tem času ostal v kabini, na sedežu, stroj za sečnjo pa je bil medtem prižgan.

Izmerjene obremenitve na zadnjem delovišču so za oba kazalnika, tako kot na ostalih deloviščih, največje ko se stroj v celoti premika. Sledijo obremenitve pri premiku roke, podžagovanju in procesiranju, nato gozdni red, najmanjše pa so vrednosti pri prelaganju sortimentov. Opisano velja za oba kazalnika. Po posameznih smereh so pri kazalniku RMS obremenitve največje v aksialni smeri, razen pri prelaganju sortimentov, kjer največje vrednosti beležimo v horizontalni smeri. Po VDV kazalniku so največje obremenitve v aksialni smeri pri delovnih operacijah gozdni red, in obeh premikih, medtem ko so pri prelaganju sortimentov v horizontalni ter pri premiku roke, podžagovanju in procesiranju v vertikalni smeri. Obremenitve med zastojem, ko je bil stroj v prostem teku, so največje v aksialni smeri. Najmanjše obremenitve pri RMS so tudi na tem delovišču v vertikalni smeri, pri VDV je izjema delovna operacija premik roke, podžagovanje in procesiranje, kjer so obremenitve najmanjše v horizontalni smeri.

Obremenitev celega telesa s tresenjem v delovnem času za delovišče Valmet 941.1 po kazalnikih RMS VTV in VDV VTV znašajo $0,80 \text{ m/s}^2$ oziroma $20,81 \text{ m/s}^{1,75}$. Obe vrednosti presegata opozorilni meji iz Pravilnika (2005), druga je celo tik pod mejno vrednostjo. Po posameznih smereh je bila po kazalniku RMS največja vrednost izmerjena v aksialni smeri, $0,43 \text{ m/s}^2$, in ne presega opozorilne meje. Medtem ko dobljena VDV obremenitev s tresenjem največja v vertikalni smeri in presega spodnjo opozorilno vrednost.

V zaključku poglavja podajamo splošen pregled med delovišči oziroma splošno primerjavo posameznih delovišč glede obremenitev s tresenjem.

Na vseh deloviščih je bil strojnik v stroju za sečnjo glede na prvi kazalnik RMS VTV najbolj obremenjen, ko se je stroj premikal, torej med delovnimi operacijama premik po gozdnih prometnicah in sečnospravnih poteh ter premik med sečnjo. Največje obremenitve pri premikih gre pripisati velikim obremenitvam motorja stroja med premikanjem in večjim hitrostim, ki jih stroj dosega med tema operacijama. Vrednosti obremenitev obsegajo interval med $0,75 \text{ m/s}^2$ do $1,75 \text{ m/s}^2$. Pri ostalih delovnih operacijah se vrednosti gibljejo med $0,59 \text{ m/s}^2$ in $0,85 \text{ m/s}^2$.

Tudi pri kazalniku VDV VTV so obremenitve največje pri obeh premikih, le na delovišču Caterpillar 580 so vrednosti pri premiku med sečnjo obratno večje kot pri premiku po gozdnih prometnicah in sečnospravnih poteh, kot je to na drugih deloviščih. Vrednosti se gibljejo od $17,78 \text{ m/s}^{1,75}$ do $35,17 \text{ m/s}^{1,75}$. Pri ostalih delovnih operacijah so vrednosti znotraj intervala od $12,93 \text{ m/s}^{1,75}$ do $19,24 \text{ m/s}^{1,75}$.

Jakosti obremenitev po posameznih smereh so skoraj povsod najmanjše v vertikalni (Z) smeri. To velja za kazalnik RMS in VDV. Rezultati kažejo, da sedež tresenje najbolj blaži ravno v Z smeri. Izjeme so le premik med sečnjo na delovišču Caterpillar 580 in Valmet 941.1 ter premik roke, podžagovanje in procesiranje na delovišču Valmet 941.1, kjer je najmanjša obremenitev v horizontalni (X) smeri. Po drugi strani največje obremenitve na vseh deloviščih beležimo pri premikih in sicer v aksialni (Y) smeri. Izjema je le obremenitev na delovišču Valmet 941.1, kjer je največja VDV obremenitev v Z smeri, predvidoma zaradi vožnje preko podrtega drevja poškodovanega po žledu.

Glede na dobljene rezultate obremenitev s tresenjem po deloviščih (preglednica 18) predvidevamo, da na obremenitve strojnika stroja za sečnjo s tresenjem najbolj vplivajo terenske razmere na delovišču. To še posebej velja za delovne operacije, kjer se stroj premika po razgibanem, skalovitem in kamnitem površju. Nasprotno imajo na obremenitve strojnika manjši vpliv starost stroja oz. število obratovalnih ur, vzdrževanost in vrsta stroja in izkušnost strojnika.

Preglednica 18: Pregled največjih vrednosti RMS VDV in VDV VTV ter največjih vrednosti RMS in VDV za posamezne smeri po deloviščih in primerjava z dopustnimi mejami iz Pravilnika (2005)

Delovišče	RMS VTV [m/s ²]	Opozorilna vrednost	Mejna vrednost	VDV VTV [m/s ^{1,75}]	Opozorilna vrednost	Mejna vrednost
John Deere 1470D	0,69	presega	ne presega	18,60	presega	ne presega
John Deere 1470E	0,81	presega	ne presega	21,16	presega	presega
Caterpillar 580	0,86	presega	ne presega	22,20	presega	presega
Caterpillar 580C	0,80	presega	ne presega	17,40	presega	ne presega
Valmet 941.1	0,80	presega	ne presega	20,81	presega	ne presega
Delovišče	RMS [m/s ²] max po smereh	Opozorilna vrednost	Mejna vrednost	VDV [m/s ^{1,75}] max po smereh	Opozorilna vrednost	Mejna vrednost
John Deere 1470D	Y = 0,33	ne presega	ne presega	Y = 8,21	ne presega	ne presega
John Deere 1470E	Y = 0,42	ne presega	ne presega	Y = 11,89	presega	ne presega
Caterpillar 580	Y = 0,46	ne presega	ne presega	Y = 10,72	presega	ne presega
Caterpillar 580C	Y = 0,41	ne presega	ne presega	Y = 8,69	ne presega	ne presega
Valmet 941.1	Y = 0,43	ne presega	ne presega	Z = 10,90	presega	ne presega

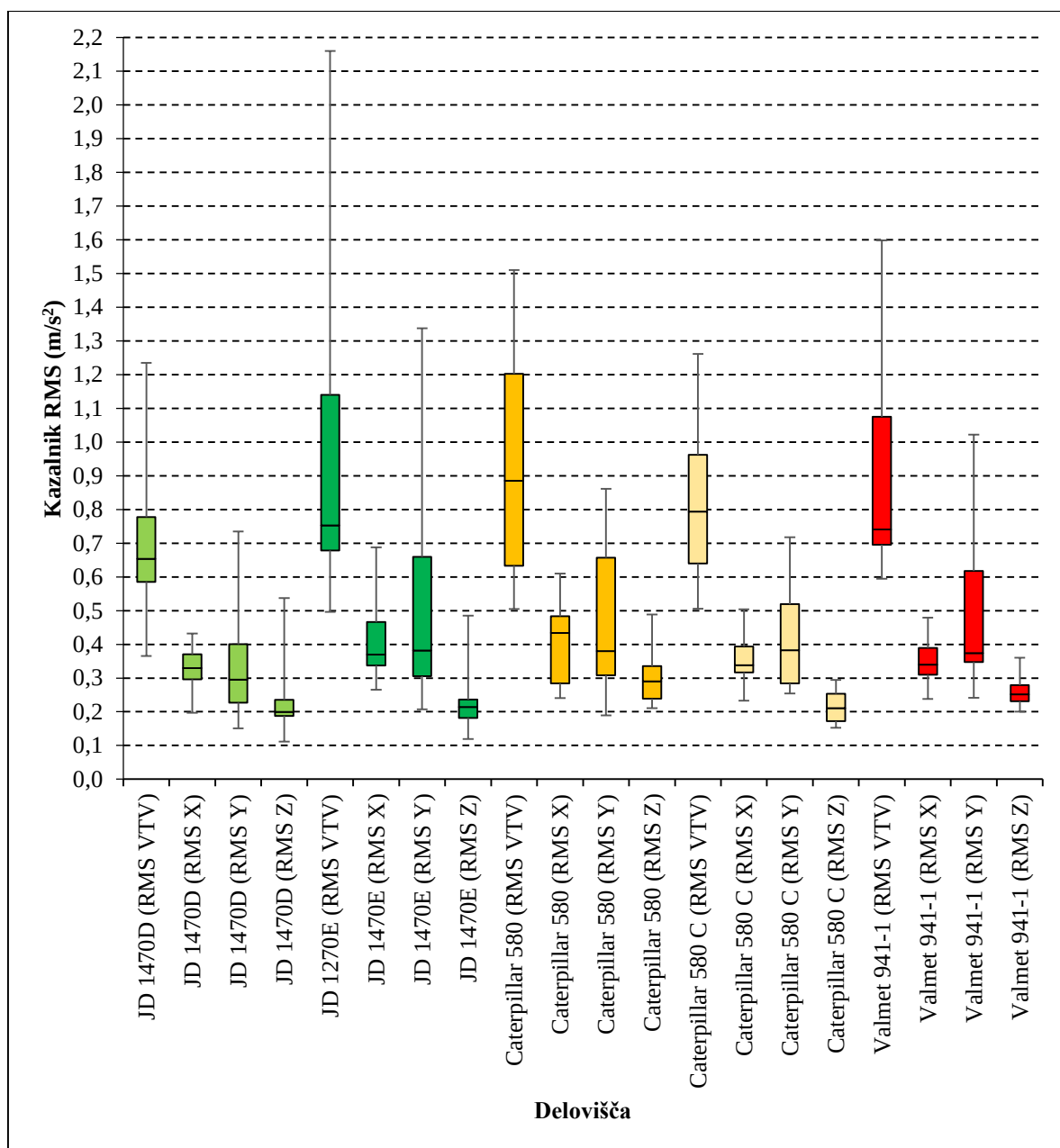
Primerjava obremenitev delavcev s tresenjem in Pravilnikom (2005) kaže, da je opozorilna vrednost presežena na vseh deloviščih, mejna pa na delovišču John Deere 1470E in Caterpillar 580, če za primerjavo upoštevamo rezultanto vseh treh smeri tresenja (VTV). Če pa upoštevamo le največjo obremenitev v posamezni smeri, potem lahko zaključimo, da je opozorilna vrednost presežena le na delovišču John Deere 1470E in Caterpillar 580 in to le v primeru vrednotenja po VDV kazalniku. Razlika med vrednotenjem po RMS in VDV kazalniku, kaže na prisotnost nenadnih visokih obremenitev s tresenjem na obeh deloviščih.

Rezultate RMS VTV smo primerjali tudi s ISO 2631 standardom in sicer glede na udobje dela. Ugotovimo smo, da so bile RMS VTV obremenitve v delovnem času med 0,62 m/s² in 0,80 m/s². Delo s strojem za sečnjo John Deere 1470D je torej na meji med malo udobnim in dokaj neudobnim, stroja John Deere 1470E in Caterpillar 580 sta dokaj neudobna, medtem ko je delo s strojema Caterpillar 580C in Valmet 941.1 na meji med dokaj neudobnim in neudobnim.

Glede na delovne operacije, ki jih strojnik opravlja, se stroj pričakovano pokaže kot neudoben pri obeh premikih. Tu so vrednosti večinoma nad 1 m/s², izjemoma tudi malo pod. Obremenitve pri ostalih operacijah so od 0,59 m/s² do 0,73 m/s².

5.3.3 Statistična analiza obremenitev s tresenjem med delovišči

V poglavju so prikazane primerjave med obremenitvami s tresenjem v produktivnem času med delovišči. Rezultati prikazujejo vektorske velikosti (VTV) ter obremenitve po posameznih koordinatnih smereh, X, Y in Z. Rezultati so prikazani v obliki kvantilnega diagrama, sledi statistična analiza srednjih vrednosti obremenitev med delovišči.



Slika 27: Primerjava RMS obremenitev s tresenjem med delovišči po posameznih smereh in skupno za produktivni čas

Vrstni red obremenitev s tresenjem celega telesa v produktivnem času glede na kazalnik RMS VTV po deloviščih je naslednji: John Deere 1470D, Caterpillar 580 C, Valmet 941.1, John Deere 1470E in Caterpillar 580. Obremenitve si sledijo od najmanjše do največje (slika 27). Podobnosti v vrstnem redu pri primerjavi obremenitev z ropotom in s tresenjem ni.

Zaporedju skupne vektorske vrednosti tresenja so enaka tudi zaporedja po posameznih smereh. Največje jakosti obremenitev se na vseh deloviščih pojavljajo v aksialni (Y) smeri, prav tako na vseh deloviščih sledijo obremenitve v horizontalni (X) ter nato v vertikalni (Z) smeri. Največje obremenitve v aksialni na vseh deloviščih smeri gre pripisati delovnim operacijama ko se stroj premika. To sklepamo v povezavi s sliko 29 v naslednjem poglavju.

S slike 27 vidimo, da je raztros vrednosti pri tresenju večji kot pri ropotu. Variabilnost je največja na delovišču John Deere 1470E, sledita Caterpillar 580 in Valmet 941.1, nato John Deere 1470D ter Caterpillar 580C. Ugotovljeno pri analizi ropota lahko prenesemo tudi na obremenitve pri tresenju. Torej, večje zgostitve nakazujejo na homogenejše terenske razmere in obratno.

Statistični testi in njihovi rezultati pri prvem obravnavanem kazalniku RMS so naslednji:

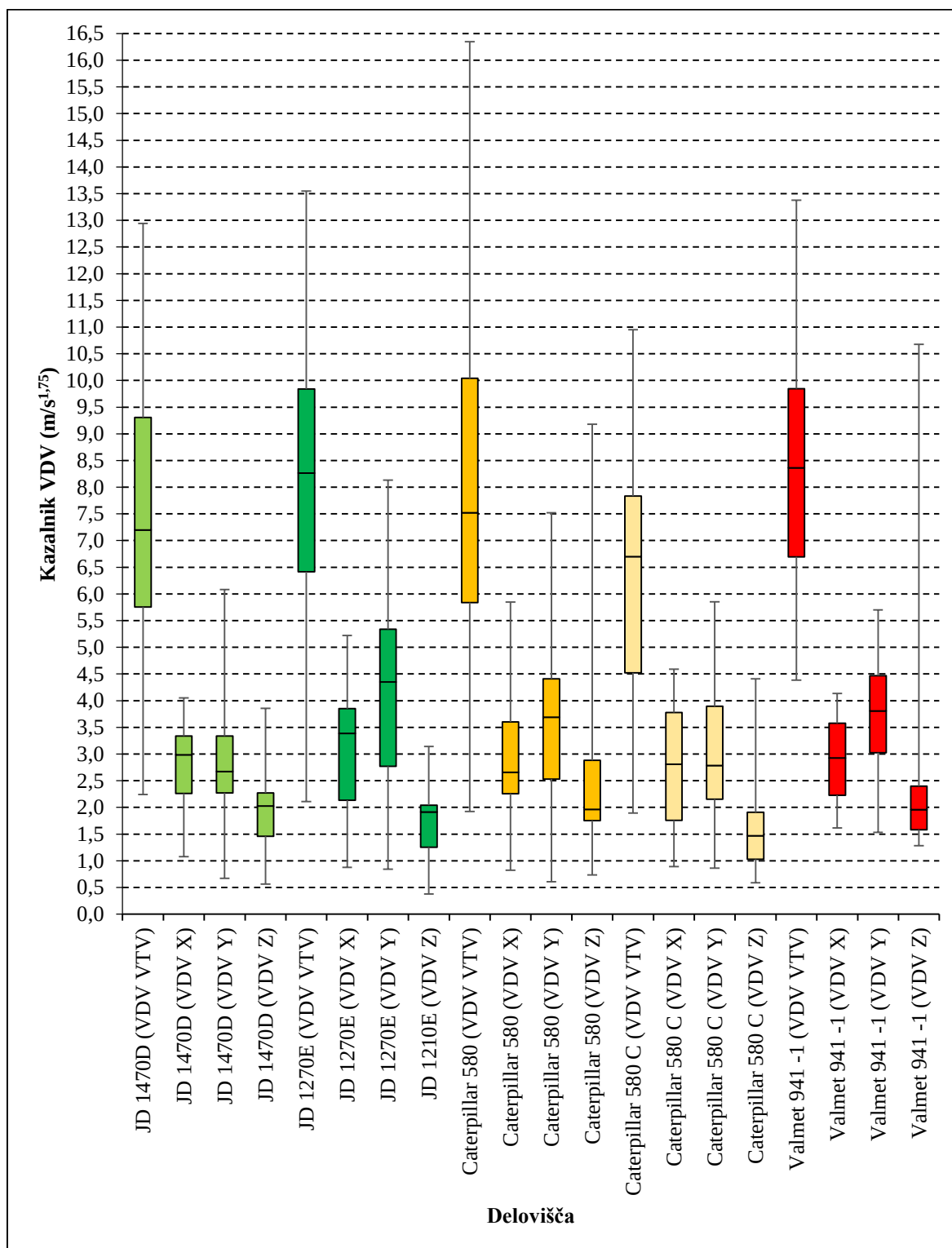
- RMS VTV (Kruskal Wallis; $\chi^2 = 10,007$; $df = 4$; $p < 0,040$),
- horizontalne smeri (X) (Kruskal Wallis; $\chi^2 = 8,907$; $df = 4$; $p < 0,063$),
- aksialne smeri (Y) (Kruskal Wallis; $\chi^2 = 12,314$; $df = 4$; $p < 0,015$),
- vertikalne smeri (Z) (Kruskal Wallis; $\chi^2 = 29,803$; $df = 4$; $p < 0,000$).

Rezultati kažejo na značilne razlike med obremenitvami po deloviščih glede na RMS VTV kazalnik ter v vertikalni in aksialni smeri, pri čemer smo za statistično značilno razliko upoštevali 5% tveganje.

Analiza parnih primerjav RMS obremenitev s tresenjem v produktivnem času kaže, da so razlike statistično značilne le v vertikalni smeri (preglednica 19), in sicer so obremenitve na deloviščih Caterpillar 580C in Valmet 941.1 značilno višje kot na ostalih deloviščih.

Preglednica 19: : Posteriorna analiza RMS vrednosti tresenja med delovišči za produktivni čas (U-test, Bonferroni korekcija značilnost $p < 0,005$)

RMS VTV ²	Statistična značilnost (p)	John Deere 1470D	John Deere 1470E	Caterpillar 580	Caterpillar 580 C	Valmet 941.1
	John Deere 1470D		0,016	0,013	0,101	0,011
	John Deere 1470E	0,016		0,915	0,455	0,705
	Caterpillar 580	0,013	0,915		0,138	0,648
	Caterpillar 580C	0,101	0,455	0,138		0,421
	Valmet 941.1	0,011	0,705	0,648	0,421	
RMS X ²	Statistična značilnost (p)	John Deere 1470D	John Deere 1470E	Caterpillar 580	Caterpillar 580 C	Valmet 941.1
	John Deere 1470D		0,017	0,031	0,165	0,327
	John Deere 1470E	0,017		0,946	0,225	0,143
	Caterpillar 580	0,031	0,946		0,109	0,097
	Caterpillar 580C	0,165	0,225	0,109		0,749
	Valmet 941.1	0,327	0,143	0,097	0,749	
RMS Y ²	Statistična značilnost (p)	John Deere 1470D	John Deere 1470E	Caterpillar 580	Caterpillar 580 C	Valmet 941.1
	John Deere 1470D		0,009	0,008	0,029	0,003
	John Deere 1470E	0,009		0,808	0,467	0,930
	Caterpillar 580	0,008	0,808		0,248	0,749
	Caterpillar 580C	0,029	0,467	0,248		0,290
	Valmet 941.1	0,003	0,930	0,749	0,290	
RMS Z ²	Statistična značilnost (p)	John Deere 1470D	John Deere 1470E	Caterpillar 580	Caterpillar 580 C	Valmet 941.1
	John Deere 1470D		0,823	0,000	0,764	0,001
	John Deere 1470E	0,823		0,000	0,977	0,001
	Caterpillar 580	0,000	0,000		0,000	0,225
	Caterpillar 580C	0,764	0,977	0,000		0,003
	Valmet 941.1	0,001	0,001	0,225	0,003	



Slika 28: Primerjava VDV obremenitev s tresenjem med delovišči po posameznih smereh in skupno za produktivni čas

Vrstni red obremenitev s tresenjem pri primerjavah po kazalniku VDV (slika 28) je malenkost drugačen kot pri kazalniku RMS. Največje skupne doze tresenja se tu pojavljajo na delovišču Caterpillar 580, sledi John Deere 1470E, Valmet 941.1, John Deere 1470D ter Caterpillar 580C. Razlika je torej le pri deloviščih z najmanjšimi obremenitvami. Tu se zamenjata delovišči John Deere 1470D in Caterpillar 580C. Ravno tako se tudi tu pojavljajo največje obremenitve v aksialni (Y) smeri. So pa na delovišču John Deere 1470D in Caterpillar 580C te obremenitve (v gostitvah) praktično enake kot v horizontalni (X) smeri. Variabilnost še vedno ostaja precej večja pri Y smeri. Tudi pri kazalniku VDV glede obremenitev po posameznih smereh na splošno sledi horizontalna (X) smer ter nato vertikalna (Z) smer.

Pri statističnih testih razlik med sredinami VDV dobimo podobne rezultate kot pri kazalniku RMS:

- VDV VTV (Kruskal Wallis, $\chi^2 = 8,692$; df = 4; $p < 0,069$),
- horizontalne smeri (X) (Kruskal Wallis, $\chi^2 = 6,745$; df = 4; $p < 0,150$),
- aksialne smeri (Y) (Kruskal Wallis; $\chi^2 = 13,732$; df = 4; $p < 0,008$),
- vertikalne smeri (Z) (Kruskal Wallis; $\chi^2 = 34,316$; df = 4; $p < 0,000$).

Iz rezultatov primerjav med sredinami ugotavljamo značilne razlike med obremenitvami le v vertikalni smeri in aksialni smeri.

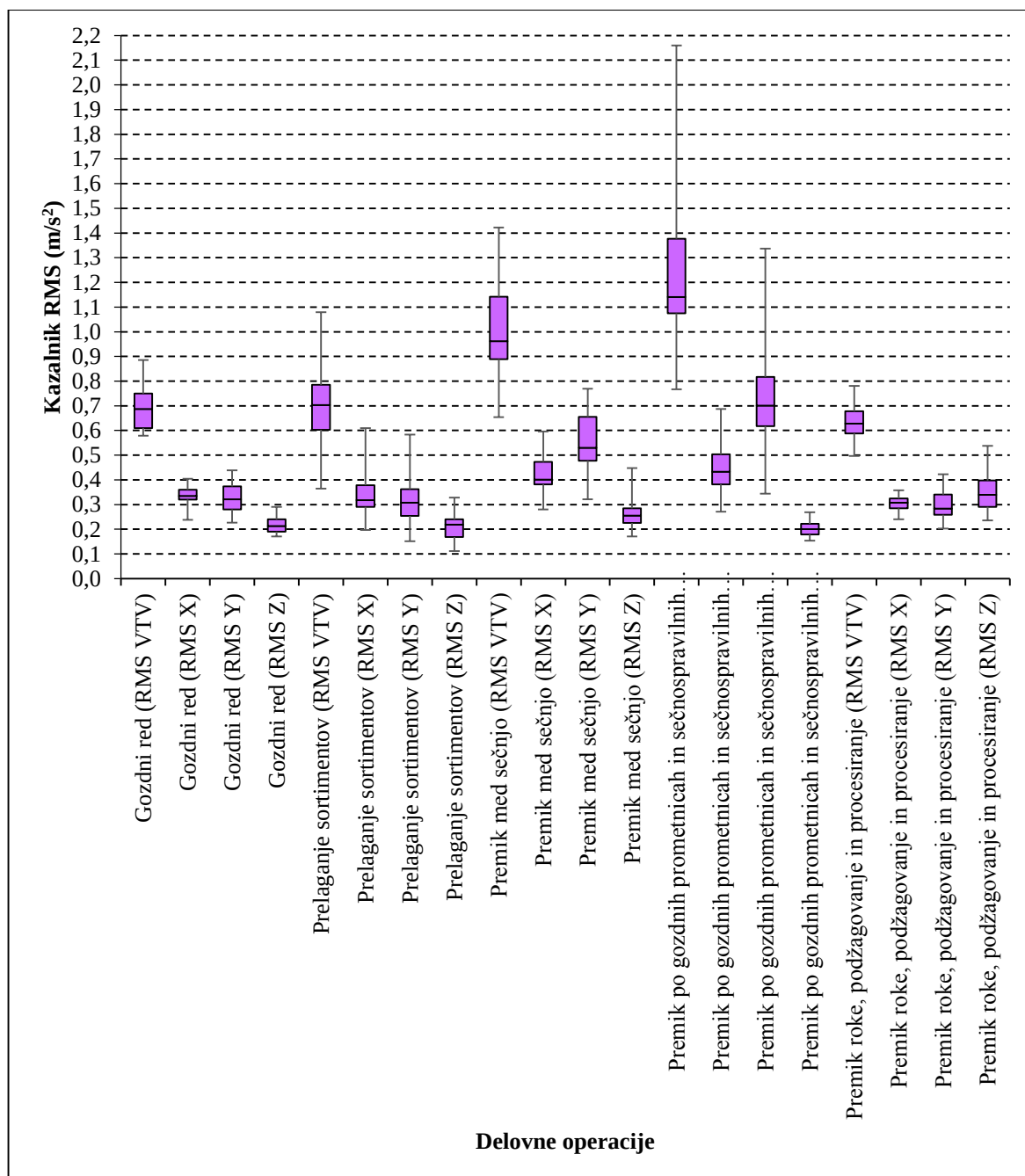
Posteriorna analiza parnih primerjav za kazalnik VDV med delovišči, za produktivni čas kaže na statistično značilne razlike v aksialni (Y) in vertikalni (Z) smeri (preglednica 20).

Preglednica 20: Posteriorna analiza VDV vrednosti tresenja med delovišči za produktivni čas (U-test, Bonferroni korekcija značilnost $p < 0,005$)

VDV VT ²	Statistična značilnost (p)	John Deere 1470D	John Deere 1470E	Caterpillar 580	Caterpillar 580 C	Valmet 941.1
	John Deere 1470D		0,171	0,025	0,793	0,029
	John Deere 1470E	0,171		0,677	0,184	0,705
	Caterpillar 580	0,025	0,677		0,045	0,884
	Caterpillar 580C	0,793	0,184	0,045		0,054
	Valmet 941.1	0,029	0,705	0,884	0,054	
VDV X ²	Statistična značilnost (p)	John Deere 1470D	John Deere 1470E	Caterpillar 580	Caterpillar 580 C	Valmet 941.1
	John Deere 1470D		0,037	0,067	0,594	0,621
	John Deere 1470E	0,037		0,749	0,090	0,133
	Caterpillar 580	0,067	0,749		0,177	0,240
	Caterpillar 580C	0,594	0,090	0,177		0,961
	Valmet 941.1	0,621	0,133	0,240	0,961	
VDV Y ²	Statistična značilnost (p)	John Deere 1470D	John Deere 1470E	Caterpillar 580	Caterpillar 580 C	Valmet 941.1
	John Deere 1470D		0,004	0,003	0,070	0,006
	John Deere 1470E	0,004		0,662	0,128	0,337
	Caterpillar 580	0,003	0,662		0,128	0,455
	Caterpillar 580C	0,070	0,128	0,128		0,554
	Valmet 941.1	0,006	0,337	0,455	0,554	
VDV Z ²	Statistična značilnost (p)	John Deere 1470D	John Deere 1470E	Caterpillar 580	Caterpillar 580 C	Valmet 941.1
	John Deere 1470D		0,884	0,000	0,327	0,010
	John Deere 1470E	0,884		0,000	0,491	0,015
	Caterpillar 580	0,000	0,000		0,000	0,009
	Caterpillar 580C	0,327	0,491	0,000		0,000
	Valmet 941.1	0,010	0,015	0,009	0,000	

5.3.4 Statistična analiza obremenitev s tresenjem med delovnimi operacijami

Podobno kot v prejšnjem poglavju smo v tem poglavju naredili primerjavo obremenitev med delovnimi operacijami. Delovišča tu niso bila pomembna, saj smo vse vzorčne enote iste delovne operacije združili.



Slika 29: Primerjava RMS obremenitev s tresenjem med delovnimi operacijami po posameznih smereh in skupno za produktivni čas

Najmanjše obremenitve s tresenjem po delovnih operacijah, za kazalnik RMS, za produktivni čas, beležimo pri premiku roke, podžagovanju in procesiranju, sledi gozdni red, prelaganje sortimentov in na koncu oba premika z največjimi obremenitvami, torej premik med sečnjo ter premik po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh (slika 29).

Tudi raztros podatkov oziroma variabilnost posameznih vrednosti si sledi v enakem vrstnem redu. Največja odstopanja individualnih vrednosti beležimo pri delovnih operacijah kjer se stroj premika, medtem ko najmanjša pri premiku roke, podžagovanju in procesiranju. Če rezultate obremenitev s tresenjem primerjamo z obremenitvami pri ropotu (slika 21), tu vidimo precej večje razlike med posameznimi operacijami. Sklepamo lahko, da podlaga izrazitejše vpliva na tresenje kot na ropot. Zlasti to velja, ko se stroj premika.

Glede na zgoraj opisano je statistični test razlik med sredinami za vse kategorije kazalnika RMS, za produktivni čas, seveda pokazal statistično značilne razlike med obremenitvami po delovnih operacijah:

- RMS VTV (Kruskal Wallis; $\chi^2 = 79,080$; $df = 4$; $p < 0,000$),
- horizontalne smeri (X) (Kruskal Wallis; $\chi^2 = 50,650$; $df = 4$; $p < 0,000$),
- aksialne smeri (Y) (Kruskal Wallis; $\chi^2 = 79,525$; $df = 4$; $p < 0,000$),
- vertikalne smeri (Z) (Kruskal Wallis; $\chi^2 = 58,979$; $df = 4$; $p < 0,000$).

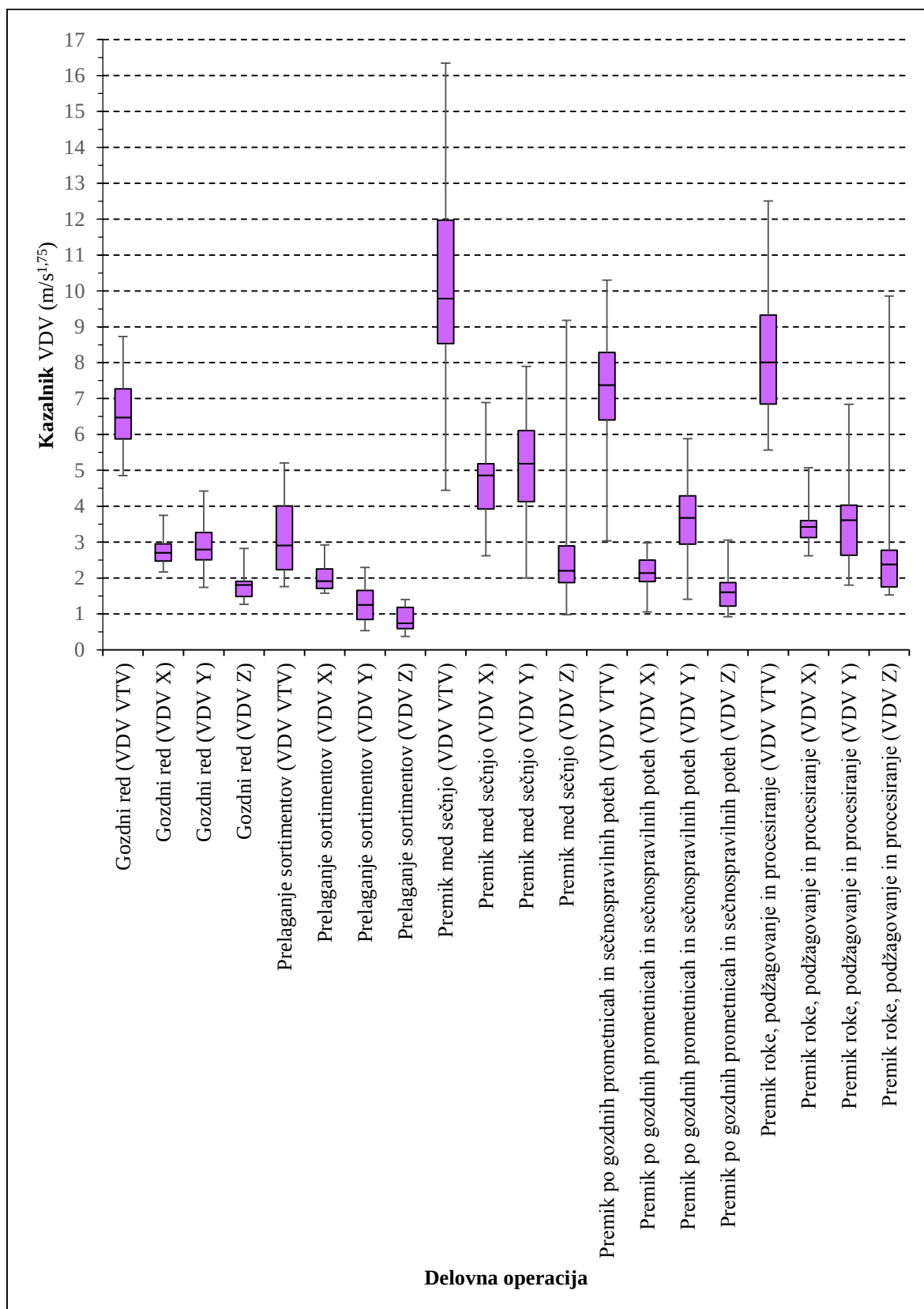
Tudi pri nadaljnji posteriorni analizi parnih primerjav smo dobili precej več statistično značilnih razlik kot pri obremenitvah z ropotom. Pri kazalniku RMS ugotavljamo statistično značilne razlike v horizontalni (X), aksialni (Y) in vertikalni (Z) smeri (preglednica 21). Pri RMS VTV vidimo statistično značilne razlike med obema premikoma v razmerju do ostalih delovnih operacij. Pri parnih primerjavah med operacijami, ko se stroj ne premika, oziroma je premikov malo, statistično značilnih razlik analiza ni pokazala.

Glede na posamezne smeri tresenja beležimo pri delovnih operacijah gozdni red ter premik po gozdnih prometnicah in sečno-spravičnih poteh največje obremenitve v aksialni smeri.

Pri prelaganju sortimentov so največje obremenitve v horizontalni, pri premiku roke, podžagovanju in procesiranju pa v vertikalni smeri.

Preglednica 21: Posteriorna analiza RMS vrednosti tresenja med delovnimi operacijami za produktivni čas (U-test, Bonferroni korekcija značilnost $p < 0,005$)

RMS VTV	Statistična značilnost (p)	Gozdni red	Prelaganje sortimentov	Premik med sečnjo	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	Premik roke, podžaganje in procesiranje
	Gozdni red		0,977	0,000	0,000	0,017
	Prelaganje sortimentov	0,977		0,000	0,000	0,070
	Premik med sečnjo	0,000	0,000		0,008	0,000
	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	0,000	0,000	0,008		0,000
	Premik roke, podžaganje in procesiranje	0,017	0,070	0,000	0,000	
	Statistična značilnost (p)	Gozdni red	Prelaganje sortimentov	Premik med sečnjo	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	Premik roke, podžaganje in procesiranje
RMS X	Gozdni red		0,621	0,000	0,000	0,006
	Prelaganje sortimentov	0,621		0,000	0,000	0,211
	Premik med sečnjo	0,000	0,000		0,399	0,000
	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	0,000	0,000	0,399		0,000
	Premik roke, podžaganje in procesiranje	0,006	0,211	0,000	0,000	
	Statistična značilnost (p)	Gozdni red	Prelaganje sortimentov	Premik med sečnjo	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	Premik roke, podžaganje in procesiranje
	Gozdni red		0,479	0,000	0,000	0,051
RMS Y	Prelaganje sortimentov	0,479		0,000	0,000	0,367
	Premik med sečnjo	0,000	0,000		0,003	0,000
	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	0,000	0,000	0,003		0,000
	Premik roke, podžaganje in procesiranje	0,051	0,367	0,000	0,000	
	Statistična značilnost (p)	Gozdni red	Prelaganje sortimentov	Premik med sečnjo	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	Premik roke, podžaganje in procesiranje
	Gozdni red		0,764	0,000	0,000	0,211
	Prelaganje sortimentov	0,764		0,001	0,000	0,594
RMS Z	Premik med sečnjo	0,000	0,001		0,000	0,000
	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	0,000	0,000	0,000		0,000
	Premik roke, podžaganje in procesiranje	0,211	0,594	0,000	0,000	



Slika 30: Primerjava VDV obremenitev s tresenjem med delovnimi operacijami po posameznih smereh in skupno za produktivni čas

Jakosti obremenitev s tresenjem za kazalnik VDV si sledijo od najmanjših do največjih v naslednjem zaporedju: prelaganje sortimentov, gozdni red, premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh, premik roke, podžagovanje in procesiranje ter premik med sečnjo (slika 30). Enak vrstni red vidimo pri variabilnosti podatkov.

Drugače kot pri RMS kazalniku rezultati kažejo na velike obremenitve tudi pri operaciji premik roke, podžagovanje in procesiranje. Posamezni sunki tresenja so pri VDV namreč pomembnejši kot pri RMS. Rezultat torej nakazuje, da pri tej delovni operaciji prihaja do nenadnih sunkov, ki jih kazalnik RMS ne zazna. Obremenitve so celo večje od tistih pri premiku po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh. Največje obremenitve beležimo pri premiku med sečnjo. Po posameznih smereh tresenja so pri vseh delovnih operacijah razen pri prelaganju sortimentov, največje obremenitve v aksialni (Y) smeri. Pri prelaganju sortimentov je največja obremenitev s tresenjem v horizontalni (X) smeri.

Statistični test razlik med sredinami, za vse kategorije kazalnika VDV, za produktivni čas, je pokazal statistično značilne razlike med vsemi obremenitvami po delovnih operacijah, in sicer:

- VDV VTV (Kruskal Wallis, $\chi^2 = 68,592$; $df = 4$; $p < 0,000$),
- horizontalne smeri (X) (Kruskal Wallis, $\chi^2 = 43,151$; $df = 4$; $p < 0,000$),
- aksialne smeri (Y) (Kruskal Wallis; $\chi^2 = 70,551$; $df = 4$; $p < 0,000$),
- vertikalne smeri (Z) (Kruskal Wallis; $\chi^2 = 35,438$; $df = 4$; $p < 0,000$).

Pri posteriorni analizi parnih primerjav smo dobili statistično značilne razlike v vseh treh smereh in za kazalnik VDV VTV (preglednica 22).

Preglednica 22: Posteriorna analiza skupnih doz tresenja med delovnimi operacijami za produktivni čas (U-test, Bonferroni korekcija značilnost $p < 0,005$)

VDV VTV	Statistična značilnost (p)	Gozdni red	Prelaganje sortimentov	Premik med sečnjo	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	Premik roke, podžagovanje in procesiranje
	Gozdni red		0,054	0,000	0,000	0,662
	Prelaganje sortimentov	0,054		0,000	0,000	0,148
	Premik med sečnjo	0,000	0,000		0,003	0,000
	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	0,000	0,000	0,003		0,000
	Premik roke, podžagovanje in procesiranje	0,662	0,148	0,000	0,000	
VDV X	Statistična značilnost (p)	Gozdni red	Prelaganje sortimentov	Premik med sečnjo	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	Premik roke, podžagovanje in procesiranje
	Gozdni red		0,012	0,000	0,000	0,607
	Prelaganje sortimentov	0,012		0,000	0,000	0,056
	Premik med sečnjo	0,000	0,000		0,720	0,000
	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	0,000	0,000	0,720		0,000
	Premik roke, podžagovanje in procesiranje	0,607	0,056	0,000	0,000	
VDV Y	Statistična značilnost (p)	Gozdni red	Prelaganje sortimentov	Premik med sečnjo	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	Premik roke, podžagovanje in procesiranje
	Gozdni red		0,041	0,000	0,000	0,256
	Prelaganje sortimentov	0,041		0,000	0,000	0,211
	Premik med sečnjo	0,000	0,000		0,019	0,000
	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	0,000	0,000	0,019		0,000
	Premik roke, podžagovanje in procesiranje	0,256	0,211	0,000	0,000	
VDV Z	Statistična značilnost (p)	Gozdni red	Prelaganje sortimentov	Premik med sečnjo	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	Premik roke, podžagovanje in procesiranje
	Gozdni red		0,054	0,000	0,000	0,662
	Prelaganje sortimentov	0,054		0,000	0,000	0,148
	Premik med sečnjo	0,000	0,000		0,003	0,000
	Premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh	0,000	0,000	0,003		0,000
	Premik roke, podžagovanje in procesiranje	0,662	0,148	0,000	0,000	

Iz rezultatov so razvidne očitne razlike v obremenitvah s tresenjem, če stroj za sečnjo stoji oziroma se premika. Tako lahko delovne operacije razvrstimo v dve skupini. Gozdni red, prelaganje sortimentov ter premik roke, podžagovanje in procesiranje spadajo v prvo, oba premika pa v drugo. Pri obeh premikih gredo večje vrednosti na račun premikanja stroja oziroma višjih hitrosti ter delovanju motorja pri višjih vrtljajih. Obremenitve so še nekoliko večje pri premiku po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh kot pri premiku med sečnjo.

6 RAZPRAVA

6.1 ČAS IZPOSTAVLJENOSTI

Pri spremljanju obremenitev delavca z ropotom in s tresenjem je poleg jakosti pomembna časovna izpostavljenost dejavnikom delovnega okolja. Zato smo tudi izdelali časovno študijo delovnega časa.

V naši raziskavi smo imeli glede na celotni delovni čas 25,1% zastojev, torej neproduktivnega časa. Znotraj produktivnega časa pa največji delež odpade na premik roke, podžagovanje in procesiranje, 37,5%, sledi premik med sečnjo z 19,5% in gozdni red s 14%. Premika po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh je bilo malo (2,6%), še manj pa prelaganja sortimentov (1,2%). Razčlenitev delovnega časa na delovne operacije je bila v naši raziskavi nekoliko drugačna, kot v ostalih.

Seixas in sod. (1999) so imeli v primerjavi z našo raziskavo izjemno malo zastojev, od 3% do 3,6%. Če združimo naši delovni operaciji premik roke, podžagovanje in procesiranje ter gozdni red je delež 50,5% enak deležu združenih operacij kleščenje (procesiranje), podžagovanje ter premik roke (glave) pri Caterpillar 320 v raziskavi Seixas in sod. (1999). So pa precej večji delež dobili pri Valmet 601 in sicer 72,6%. Premikov je pri Valmet 601 24,4%, kar je podobno kot v naši raziskavi, glede na vse stroje. Delež pri Caterpillar 320 je precej večji (46%) in tako skoraj enak našemu ekstremu Caterpillar 580C (46,1%). Razlike med našimi rezultati in raziskave v Braziliji so lahko nastale tudi zaradi različnih sestojnih razmer. Medtem ko je naša raziskava potekala v naravnih sestojih, je v Braziliji potekala v nasadu.

6.2 OBREMENITEV STROJNIKA Z ROPOTOM

V primerjavi delovišč smo najmanjše obremenitve LAeq za celotni delovni čas izmerili na delovišču John Deere 1470E (66,8 dB(A)), sledi John Deere 1470D, nato Caterpillar 580, največje vrednosti pa so bile izmerjene na Valmet 941.1 (71,3 dB(A)). Obremenitve pri zadnjem stroju so večje ob vklopljenem radiu. Znotraj intervala rezultatov naše raziskave

je tudi povprečna vrednost (70 dB(A)) izmerjena med delom v kabini stroja za sečnjo, ki jo navajajo Messingerová in sod. (2007). Seixas in sod. (1999) v raziskavi navajajo, da je jakost ropota pri strojih za sečnjo znašala 75 dB(A), medtem ko je znašala jakost ropota za zgibne polprikoličarje 77 dB(A). Šenica (2015) za delo z zgibnim polprikoličarjem navaja vrednosti v intervalu med 65,8 dB(A) in 84,6 dB(A). Messingerová in sod. (2007) so izračunali povprečno obremenitev za delo z zgibnim polprikoličarjem 74 dB(A). Žunič (2014) ob upoštevanju vseh virov ropota, tudi radia in odprte kabine, navaja LAeq obremenjenost strojnika v zgibnem polprikoličarju z jakostjo 81,6 dB(A). Ob izločenem vplivu radia in odprte kabine so bili strojniki obremenjeni z jakostjo 74,9 dB(A). Napram raziskavam na starejših prilagojenih kmetijskih traktorjih in zgibnikih (Lipoglavšek in Kumer, 1998) so stroji za sečnjo v naši raziskavi dosegali precej manjše obremenitve. Obremenitve so manjše tudi od sodobnih prilagojenih traktorjev, ki jih ugotavlja Žunič (2010).

V naši raziskavi obremenitev nismo izračunavali za celoten čas snemanja, ampak le za čas, ko je bil strojnik stroja za sečnjo v kabini. Dobljene vrednosti obremenitev so tako lahko manjše od dejanskih, saj so nekateri avtorji dokazali večje obremenitve z ropotom zunaj stroja (Žunič, 2014). Zato v preglednicah od 7 do 10 prikazujemo modelne vrednosti obremenitev izven kabine v neproduktivnem času. V naši raziskavi je interval teh vrednosti od 83,0 dB(A) do 88,9 dB(A). To pomeni, da bi bili strojniki, ki so bili vključeni v našo raziskavo, lahko preobremenjeni z ropotom v primeru upoštevanja neproduktivnega časa. Interval modelnih vrednosti namreč zajema vrednost 85,4 dB(A), ki jo pri zastoju, kjer je delavec stal neposredno ob delujočem motorju zgibnega polprikoličarja, navaja Žunič (2014). Zlasti je vprašljiva vzporedna uporaba motorne žage ob strojni sečnji. V naši raziskavi se je uporaba slednje pojavila zaradi predsečnje. Sekač se je nekajkrat pogovarjal s strojnikom ob prižgani motorni žagi in odprtem oknu. Motorno žago je nekajkrat uporabil tudi strojnik sam. Zaradi prevelikih premerov dreves je moral namreč zapustiti kabino in z njo narediti prvi sortiment,. Ob upoštevanju dodatnih virov ropota med zastoji, bi tako po veliki verjetnosti obremenitve presegale opozorilno vrednost, ob neuporabi glušnikov pa tudi mejno vrednost dnevne izpostavljenosti določeno s Pravilnikom (2006). Glede na opisano oceno dnevne izpostavljenosti in slovensko zakonodajo mora delodajalec strojniku v primeru, da obremenitve presegajo mejno vrednost, zagotoviti osebno varovalno opremo

(npr. ušesne čepke ali glušnike), strojnik pa jih uporablja glede na lastno presojo. Glušniki ropot zmanjšajo za cca 25 dB(A).

Ker v rezultatih ugotavljamo, da so obremenitve z ropotom med 70,7 in 74,5 dB(A) oziroma 98,1 do 132,5 dB(C) zaključujemo, da obremenjenost strojnikov z ropotom na stroju za sečnjo ne presegajo spodnje opozorilne vrednosti dnevne izpostavljenosti in da je hipoteza potrjena. Vendar pa je hipoteza potrjena le pri predpostavki, da strojnik pri delu izven kabine ni izpostavljen dodatnim virom ropota, ki ga lahko predstavljajo ali delujoč stroj za sečnjo, bližina drugih strojev npr. zgibni polprikoličar ali pa uporaba dodatnih strojev kot je motorna žaga.

Glede na rezultate statistične analize lahko delovišča razdelimo v dve skupini: prvo, ki bolj obremenjuje strojnika z LAeq jakostjo ropota, in jo tvorijo delovišča s stroji za sečnjo John Deere 1470D, Caterpillar 580 in Valmet 941.1, medtem ko drugo skupino predstavlja delovišče s strojem John Deere 1470E.

Ugotavljamo, da se na vseh deloviščih največje razlike med ekvivalentno vrednostjo (LAeq) in impulzivno ekvivalentno vrednostjo (LAImp) jakosti ropota običajno pojavljajo pri enem izmed premikov. Vzrok za to je lahko motor, ki je pri premikanju stroja bolj obremenjen. Razliko lahko dodatno povečajo razni udarci (ob kamne, skale, veje itn.) med premikanjem po zahtevnih terenih.

Pri primerjavi LAeq obremenitev med delovnimi operacijami nekoliko večje obremenitve napram ostalim operacijam beležimo pri premiku po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh ter nekoliko manjše pri delovni operaciji premik roke, podžaganje in procesiranje. Kljub temu s statistično analizo nismo potrdili statistično značilnih razlik med delovnimi operacijami. Vse delovne operacije lahko glede na obremenitev z ropotom združimo v eno skupino.

Korigirana ekvivalentna jakost ropota (LAeq.kor.) v produktivnem času zavzema vrednosti med 69,4 dB(A) in 74,8 dB(A). V neproduktivnem času so vrednosti še nekoliko večje in sicer od 76,4 dB(A) do 77,4 dB(A). Pripisujemo jih pogovoru strojnika po mobilnem

telefonu, vključenem radiu in pogovoru s sekačem ob odprti kabini. Dodaten ropot je povzročala še motorna žaga sekača in okvarjena vodna črpalka. V delovnem času korigirana ekvivalentna jakost ropota doseže vrednost 71,3 dB(A) in ne presega opozorilnih mej dnevne izpostavljenosti v primerjavi s Pravilnikom (2006).

Ugotavljamo, da z vplivom radia in odprte kabine jakost ropota naraste, vendar pa bi pri nas z razliko od ugotovitev, ki jih navaja Žunič (2014), obremenitve težko presegle spodnjo opozorilno mejo. V splošnem radio naj ne bi vplival na konične jakosti ropota, bolj na ekvivalentno jakost. V naši raziskavi je bil v celotnem delovnem času povprečno LAeq ropot za 1,4 dB(A) oziroma LAeq.kor za 1,1 dB(A) večji pri delu z vklopljenim radiom. Razlika je slišna, je pa odvisna od strojnika. Jakost radia vpliva na zmožnost spremljave delovnega procesa in ne sme biti previsoka. Seixas in sod. (1999) pri strojni sečnji navajajo precej večje zvišanje jakosti ropota ob uporabi radia in sicer za 6,6 dB(A). Žunič (2014) navaja, da je povprečen ropot radia obremenitev z ropotom dvignil za 3,6 dB(A).

Pri obremenitvah delavca med posameznimi delovnimi operacijami na vseh deloviščih ugotavljamo najmanjše vrednosti konične jakosti ropota (LCpeak) pri prelaganju sortimentov. Nasprotno smo največje vrednosti dobili tako rekoč pri vseh ostalih delovnih operacijah, tudi med zastoji. Interval vrednosti je od 98,1 dB(C) do 132,5 dB(C). Vrednosti iz nobenega delovišča ne presegajo dopustnih mej dnevne izpostavljenosti določene s Pravilnikom (2006). Messingerova in sod. (2005) navajajo povprečno konično jakost ropota 116,3 dB(C), ki je znotraj našega intervala. Za primerjavo, Šenica (2015) pri spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem navaja konično jakost ropota v delovnem času od 101,3 dB(A) do 130,2 dB(A).

Primerjava frekvenčnih spektrov kaže razliko med posameznimi delovišči. Pri nizkih frekvencah ropota nastane ta zaradi obratovanja stroja pod različnimi obrati. Jakosti pri višjih frekvencah se razlikujejo zaradi različne opremljenosti strojev (verige, gosenice) ter različnih delovnih razmer (zlasti talna podlaga). Vpliv ima tudi ohranjenost in vzdrževanje stroja, navsezadnje tudi izkušnostjo strojnika, kar navajajo tudi Lipoglavšek in Kumer (1998) ter Donati (2002). Jakost ropota motorja je povezano z močjo, prostornino in obrati

motorja ter številom valjev. Stroji na vseh deloviščih so imeli 6 valjni dizelski motor, kar pomeni, da frekvenčni spekter ropota do 100 Hz pripada motorju, pri 200 Hz in 300Hz so zaznavni harmoniki osnovne frekvence motorja, ostalo pa je ropot šasije itd. Glede na to ugotavljamo, da je le strojnik na delovišču Caterpillar 580 v polni meri izkoriščal razpoložljiv navor in moč motorja, ostali trije pa ne. Iz frekvenčnega spektra je moč razbrati, da je stroj za sečnjo med bistvenimi delovnimi operacijami, torej: premik roke, podžagovanje in procesiranje, premik med sečnjo in gozdni red, obratuje z enako hitrostjo motorja.

V naši raziskavi obremenitve z ropotom glede na predpisano zakonodajo sicer niso presežene, kljub temu pa kot ukrep za zmanjševanje obremenitev predlagamo izobraževanje zlasti o načinu dela. Dodatno je potrebna tudi osveščenost strojnika o vplivih ropota na njegovo zdravje, počutje in učinkovitost. Menimo, da je pomembno ohranjanje delovne discipline, kar navaja tudi Messingerová in sod. (2007). Zlasti tu mislimo na dosledno ugašanje stroja, ko delavec zapusti kabino. To je predlagal tudi Žunič v raziskavi obremenitev z ropotom pri delu z zgibnimi polprikoličarji (2014). Strojnik tudi ne bi smel odpirati vrat med delovanjem stroja (Šenica, 2015). S tem povezano je nujno redno vzdrževanje klimatske naprave, kar navajajo tudi Bilban (1999), Čudina (2001) ter Seixas in sod. (1999). Enako kot navajajo Synwoldt in Gellerstedt (2003), menimo, da menjava dela zaradi podobnih obremenitev z ropotom v stroju za sečnjo napram zgibnem polprikoličarju ne bi prinesla pozitivnih rezultatov. Kvečjemu bi menjava imela pozitiven vpliv na zadovoljstvo z delom ter posredno pozitiven vpliv na zmanjšanje pogostosti pojava mišično-kostnih težav, kar navajata tudi Hanse in Winkel (2008). Menjava dela bi se morda morala pri popolnoma mehanizirani sečnji dopolnjevati z delom zunaj kabine, kar sta predlagala že Synwoldt in Gellerstedt (2003).

6.3 OBREMENITEV STROJNIKA S TRESENJEM

Obremenitve strojnika stroja za sečnjo s tresenjem celega telesa so bile največje med premikanjem stroja, torej med delovnima operacijama premik po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh ter premik med sečnjo. Vektorske vrednosti RMS VTV obremenitev so bile na vseh deloviščih med $0,75 \text{ m/s}^2$ in $1,75 \text{ m/s}^2$. Pri ostalih delovnih operacijah se

vrednosti gibljejo med $0,59 \text{ m/s}^2$ in $0,85 \text{ m/s}^2$. Obremenitev v posnetem delovnem času je bila najmanjša na delovišču s strojem za sečnjo John Deere 1470D ($0,69 \text{ m/s}^2$) in največja na delovišču s strojem Caterpillar 580 ($0,86 \text{ m/s}^2$). Vse vrednosti v delovnem času presegajo opozorilno vrednost dnevne izpostavljenosti določene v Pravilniku (2005). So pa kljub temu veliko manjše od tistih, ki jih navajata Žunič (2010) in Šenica (2012) pri sodobnejših prilagojenih kmetijskih traktorjih in goseničarjih. Sherwin in sod. (2004a) pri delu s strojem za sečnjo, napram našim rezultatom, navajajo precej manjše obremenitve s tresenjem in sicer $0,3 \text{ m/s}^2$ pri premikih, $0,22 \text{ m/s}^2$ pri sečnji ter $0,17 \text{ m/s}^2$ pri procesiranju. Obremenitve iz naše raziskave so večje tudi glede na podatke Evropske komisije (Nezavezujoč priročnik..., 2007), kjer se obremenitve strojnika stroja za sečnjo s tresenjem celega telesa gibljejo med $0,46$ in $0,81 \text{ m/s}^2$. V istem priročniku navajajo tudi obremenitve strojnika zgibnega polprikoličarja. Te obsegajo interval med $0,42$ in $0,61 \text{ m/s}^2$. Šenica (2015) za zgibni polprikoličar navaja vrednosti med $0,60 \text{ m/s}^2$ in $1,17 \text{ m/s}^2$.

Pri skupni dozi tresenja, kazalnik VDV VTV, so obremenitve prav tako največje pri obeh premikih. Enako so vrednosti večje pri premiku po gozdnih prometnicah in sečnospravih poteh. Izjema je delovišče Caterpillar 580, kjer so vrednosti pri obeh premikih obrnjene. Vrednosti se gibljejo od $17,78 \text{ m/s}^{1,75}$ do $35,17 \text{ m/s}^{1,75}$. Pri ostalih delovnih operacijah se obremenitve s tresenjem gibljejo med $12,93 \text{ m/s}^{1,75}$ in $19,24 \text{ m/s}^{1,75}$. Obremenitev v delovnem času je bila najmanjša na delovišču s strojem Caterpillar 580C ($17,40 \text{ m/s}^{1,75}$) in največja na delovišču s strojem Caterpillar 580 ($22,20 \text{ m/s}^{1,75}$). Vse obremenitve presegajo opozorilno vrednost iz Pravilnika (2005), obremenitvi na deloviščih s strojem John Deere 1470E in Caterpillar 580 pa celo presegata mejno vrednost. Šenica (2015) za spravilo lesa z zgibnim polprikoličarjem navaja podobne vrednosti obremenitev s tresenjem in sicer interval med $16,78 \text{ m/s}^{1,75}$ in $25,80 \text{ m/s}^{1,75}$.

Največje obremenitve pri premikih pripisujemo večjim hitrostim s katerimi se stroj premika ter velikim obratom pod katerimi se vrti motor stroja med tema delovnima operacijama, kar ugotavlja tudi Messingerová in sod. (2007). Predvidevamo, da imajo dodaten vpliv terenske razmere, tudi tlak v pnevmatikah, vzdrževanje, starost in opremljenost (verige, gosenice) stroja ter izkušnje oziroma tehnika delavca.

Jakosti obremenitev po posameznih smereh so pri obeh kazalnikih v splošnem najmanjše v vertikalni (Z) smeri. Izjeme so le pri premiku med sečnjo na delovišču s strojem za sečnjo Caterpillar 580 in Valmet 941.1 ter pri premiku roke, podžagovanje in procesiranje na delovišču Valmet 941.1, kjer so bile najmanjše obremenitve v aksialni (X) smeri. Po drugi strani največje obremenitve na vseh deloviščih beležimo pri premikih in sicer v aksialni (Y) smeri. Izjema je delovišče s strojem Valmet 941.1, kjer je največja VDV obremenitev v Z smeri. V delovnem času VDV vrednosti v Y smeri na delovišču s strojem John Deere 1470E in strojem Caterpillar 580 presegajo opozorilno vrednost iz Pravilnika (2005).

Rezultati statističnih analiz kažejo na značilne razlike med obremenitvami po deloviščih v vertikalni in aksialni smeri, ne pa tudi v horizontalni. To velja tako za kazalnik RMS kot VDV.

Pri primerjavi obremenitev s tresenjem med delovnimi operacijami najmanjše vrednosti, za kazalnik RMS, beležimo pri premiku roke, podžagovanju in procesiranju, sledi gozdni red, prelaganje sortimentov in na koncu premik med sečnjo ter premik po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh. Drugače kot pri kazalniku RMS pa so po kazalniku VDV opazne večje VDV obremenitve pri delovnih operacijah, ko se stroj ne premika, pri operaciji premik roke, podžagovanje in procesiranje. Rezultat kaže, da pri tej delovni operaciji prihaja do nenadnih sunkov, ki jih kazalnik RMS ne zazna.

Delovne operacije lahko glede obremenitev razvrstimo v dve skupini. Prvo predstavljata premik med sečnjo ter premik po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh. Obremenitve med premikoma so največje zaradi velikih hitrosti, ki jih stroj dosega med tema delovnim operacijama. V drugo skupino spadajo delovne operacije gozdni red, prelaganje sortimentov ter premik roke, podžagovanje in procesiranje.

Rezultati naše raziskave kažejo, da sedež najboljše blaži tresenje v vertikalni smeri, kar navajata tudi Potočnik, (2009) in Donati (2002). Šilc (2015) navaja, da sedež pri zgibniku zmanjšuje obremenitve v mirovanju, zmanjšuje jih tudi pri višjih hitrostih pri prazni ter predvsem pri polni vožnji po vlaki. Nasprotno pa ugotavlja, da sedež povečuje obremenitve pri vožnji po cesti oziroma podlagi z nizko neravnostjo ter nizkih hitrostih pri

prazni vožnji. Lipoglavšek in Kumer (1998) navajata, da sedeži pogosto celo povečujejo jakosti tresenja ohišja v nizkofrekvenčnem, za človeka občutljivem območju. Enako ugotavljajo Cation in sod. (2008). Tudi Poje (2011) v doktorski disertaciji navaja, da rezultati nakazujejo na vprašljivo sposobnost sedeža za dušenje tresenja v vertikalni smeri.

Interval obremenitev RMS VTV za celotni delovni čas je torej med $0,69 \text{ m/s}^2$ in $0,86 \text{ m/s}^2$. Upoštevajoč razmere na deloviščih, delo s stroji za sečnjo iz naše raziskave, glede na mednarodni standard ISO 2631, uvrščamo v naslednje kategorije:

- John Deere 1470D na meji med malo udobnim in dokaj neudobnim
- John Deere 1470E in Caterpillar 580 dokaj neudobna
- Caterpillar 580C in Valmet 941.1 na meji med dokaj neudobnim in neudobnim.

Stroji se pričakovano pokažejo kot neudobni pri obeh premikih. Tu so vrednosti obremenitev večinoma nad 1 m/s^2 , izjemoma tudi malo pod. Obremenitve pri ostalih operacijah so od $0,59 \text{ m/s}^2$ do $0,85 \text{ m/s}^2$.

Kot ukrep za zmanjševanje obremenitev s tresenjem celega telesa predlagamo izobraževanje zlasti o načinu dela. Potrebna je tudi osveščenost strojnika o vplivih tresenja na njegovo zdravje in počutje. Podobno kot navajata Synwoldt in Gellerstedt (2003), menimo, da menjava med delom na stroju za sečnjo in zgibnem polprikoličarju ni rešitev za pojav obolenj, saj so obremenitve v obeh strojih podobne. Smiselno bi kvečjemu bilo dopolnjevanje z delom zunaj kabine, kar tudi navajata Synwoldt in Gellerstedt (2003).

7 SKLEPI

Glavni namen naloge je bil ugotoviti obremenitve strojnika stroja za sečnjo z ropotom in tresenjem celega telesa po delovnih operacijah ter sočasno oceniti dnevno izpostavljenost strojnika obremenitvam. Med seboj smo primerjali pet različnih strojev, treh različnih proizvajalcev, pri delu na deloviščih visokega krasa. Dobljene vrednosti obremenitev smo primerjali z zakonsko določenimi dopustnimi mejami iz slovenske in evropske zakonodaje. Jakosti ropota smo primerjali z vrednostmi iz Pravilnika o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu (2006), ki izhaja iz Evropske direktive 2003/10/EC oziroma mednarodnega standarda SIST EN ISO 9612. Izhodišče mejnih vrednosti pri tresenju sta nam predstavljala Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu (2005) ter Vodila dobrega ravnanja (VDR, 2008) za vrednotenje obremenitev s tresenjem, ki so nastala na podlagi evropske zakonodaje (Direktiva 2002/ 44/ EC) in mednarodnega standarda ISO 2631/ 1. Dobljene obremenitve s tresenjem smo primerjali tudi glede na udobnost pri delu in sicer po mednarodnem standardu ISO 2631.

V sklepih najprej podajamo odgovore na zastavljene hipoteze, poglavje pa zaključujemo z najpomembnejšimi dodatnimi ugotovitvami raziskave.

1. Obremenjenost delavca z ropotom na stroju za sečnjo ne presega osemurnih dopustnih mej.

V naši raziskavi smo obremenitve z ropotom merili le takrat, ko je bil strojnik stroja za sečnjo v zaprti kabini in je imel izklopljeno klimo in radio. V splošnem z raziskavo nismo zajeli obremenitev v neproduktivnem času, ki se večinoma pojavljajo izven kabine stroja.

Če predstavimo, da bi moral delavec stroj za sečnjo v neproduktivnem času zaradi varnosti pri delu ugašati, predpostavljamo, da so obremenitve z ropotom v tem času manjše oziroma kvečjemu podobne kot v kabini v produktivnem času. V tem primeru dobljene vrednosti v delovnem času lahko primerjamo z dopustnimi mejami določenimi v zakonodaji in standardih.

Ker v rezultatih ugotavljamo, da so obremenitve z ropotom med 70,7 in 74,5 dB(A) oziroma 98,1 do 132,5 dB(C) zaključujemo, da obremenitve strojnikov z ropotom na stroju za sečnjo ne presegajo spodnje opozorilne vrednosti dnevne izpostavljenosti in da je hipoteza potrjena. Vendar pa je hipoteza potrjena le pri predpostavki, da strojnik pri delu izven kabine ni izpostavljen dodatnim virom ropota, ki ga lahko predstavljajo ali delujoč stroj za sečnjo, bližina drugih strojev npr. zgibni polprikoličar ali pa uporaba dodatnih strojev kot je motorna žaga.

2. Obremenjenost delavca s tresenjem na stroju za sečnjo ne presega osemurnih dopustnih mej.

Pri obremenitvah strojnika stroja za sečnjo s tresenjem smo upoštevali samo čas, ko je bil delavec v zaprti kabini. V splošnem z raziskavo nismo zajeli obremenitev v neproduktivnem času, ki se večinoma pojavljajo izven kabine stroja. Ugotavljamo, da je glede na najvišje obremenitve s tresenjem po posameznih smereh opozorilna meja presežena na dveh deloviščih, delovišču John Deere 1470E in Caterpillar 580, ni pa presežena mejna vrednost določena v slovenski in evropske zakonodaji. Največje obremenitve se pojavljajo v aksialni (Y) in najmanjše v vertikalni smeri (Z). Zastavljeno hipotezo torej zavrnemo, saj obremenjenost strojnika stroja za sečnjo lahko presega zakonsko določene osemurne dopustne meje iz slovenske in evropske zakonodaje.

Splošne ugotovitve za obremenitve strojnikov strojev za sečnjo z ropotom

1. Izbira stroja in vpliv delovnih razmer lahko značilno vpliva na obremenitve strojnika stroja za sečnjo z ropotom. Glede na rezultate statističnih testov tako lahko delovišča v naši raziskavi razdelimo v dve skupini: prvo, kjer so bile obremenitve večje, tvorijo delovišča John Deere 1470D, Caterpillar 580 in Valmet 941.1 radio izklopljen. Drugo, z manjšimi obremenitvami, predstavlja delovišče John Deere 1470E.
2. V delovnem času je bil povprečno LAeq ropot za 1,4 dB(A) oziroma LAeq.kor za 1,1 večji pri delu z vklopljenim radiom. Ta razlika je slišna, je pa to odvisno od strojnika. Jakost radia vpliva na zmožnost spremljave delovnega procesa in ne sme biti previsoka.
3. Statistične analize ne potrjujejo statistično značilnih razlik med obremenitvami strojnika stroja za sečnjo z ropotom med delovnimi operacijami produktivnega časa.

Splošne ugotovitve za obremenitve strojnikov strojev za sečnjo s tresenjem

1. Skupek delovnih razmer, lastnosti stroja in delavca lahko vplivajo na obremenitve strojnika s tresenjem. Analiza parnih primerjav RMS obremenitev s tresenjem v produktivnem času je namreč pokazala, da so razlike v obremenitvah statistično značilne v vertikalni smeri, in sicer so obremenitve na deloviščih Caterpillar 580C in Valmet 941.1 značilno višje kot na ostalih deloviščih.
2. Statistična analiza je pokazala očitne razlike obremenitev med delovnimi operacijami v primeru da stroj za sečnjo stoji oziroma se premika. Obremenitve so precej večje med obema vrstama premikov, torej premiku po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh ter premiku med sečnjo. Velike vrednosti pripisujemo visokim obratom motorja med premikanjem in večjim hitrostim, ki jih stroj dosega med tema operacijama.
3. Jakosti obremenitev s tresenjem po posameznih smereh so večinoma najmanjše v vertikalni (Z) smeri. To velja za oba RMS in VDV kazalnik. Največje obremenitve beležimo pri premikih in sicer v aksialni (Y) smeri. Izjema je delovišče Valmet 941.1, kjer so najmanjše vrednosti pri VDV v Z smeri, predvidoma zaradi vožnje preko debelejših sečnih ostankov.
4. Do posameznih sunkov tresenja lahko poleg premikov prihaja tudi pri drugih delovnih operacijah. Tako opazamo višje obremenitve po kazalniku VDV tudi pri delovni operaciji premik roke, podžaganje in procesiranje. Obremenitve so lahko celo večje od tistih pri premiku po gozdnih prometnicah in sečnospravičnih poteh, vendar pa manjše kot pri premiku med sečnjo.

8 POVZETEK

Na obremenitve strojnika stroja za sečnjo z ropotom in tresenjem lahko poleg stroja vpliva tudi skupek delovnih razmer na delovišču. To še posebej velja za razgibano, skalovito in kamnito površje visokega krasa. Pričujoče magistrsko delo je osredotočeno na preučevanje obremenitev strojnika stroja za sečnjo z ropotom in tresenjem pri delu z različnimi stroji in na različnih deloviščih.

Meritve smo izvedli v treh dneh, na petih različnih deloviščih in šestih strojnikih. Med seboj smo primerjali pet različnih strojev, treh različnih proizvajalcev. Meritve so potekale v GGO Kočevje in GGO Postojna, na visokem krasu. Merilne naprave so vrednosti shranjevale v sekundnih intervalih vzporedno je bila narejena časovna študija. Glavni namen naloge je bil ugotoviti obremenitev strojnikov strojev za sečnjo z ropotom in tresenjem celega telesa po delovnih operacijah ter sočasno oceniti dnevno izpostavljenost obremenitvam. Rezultate smo primerjali s predpisanimi dopustnimi mejami v slovenski in evropski zakonodaji. Izhodišče sta predstavljala mednarodna standarda SIST EN ISO 9612: 2009 ter ISO 2631/1: 1997 ter Evropski direktivi 2003/10/EC in 2002/44/EC oziroma iz njih izhajajoča slovenska zakonodaja – Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu (2006) ter Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu (2005).

Pri obremenitvah z ropotom med produktivnim časom po posameznih deloviščih ugotavljamo korigirano ekvivalentno jakost ropota ($L_{Aeq.kor.}$) med 69,4 dB(A) in 74,8 dB(A). Interval vrednosti konične jakosti ropota (L_{Cpeak}) je od 98,1 dB(C) do 132,5 dB(C). Če izvzamemo čas meritev, ko je bil na delovišču Valmet 941.1 radio vklopljen, največje obremenitve za $L_{Aeq.kor.}$ beležimo na delovišču Valmet 941.1, najmanjše pa na delovišču Caterpillar 580. Statistični testi razlik med sredinami kažejo na značilne razlike med obremenitvami po deloviščih. Glede na rezultate lahko slednje razdelimo v dve skupini: prvo, kjer je delavec bolj obremenjen z ropotom, tvorijo delovišča John Deere 1470D, Caterpillar 580 in Valmet 941.1 radio izklopljen, drugo pa delovišče John Deere 1470E. Statistični testi med sredinami ne kažejo značilnih razlik med obremenitvami po delovnih operacijah.

Obremenitve strojnika stroja za sečnjo s tresenjem celega telesa so bile največje med premikanjem stroja, torej med delovnimi operacijama premik po gozdnih prometnicah in sečnospravnih poteh ter premik med sečnjo. Vektorske vrednosti obremenitev, kazalnik RMS VTV, so bile na vseh deloviščih med $0,75 \text{ m/s}^2$ in $1,75 \text{ m/s}^2$. Pri ostalih delovnih operacijah se vrednosti gibljejo med $0,59 \text{ m/s}^2$ in $0,85 \text{ m/s}^2$. Obremenitev v posnetem delovnem času je bila najmanjša na delovišču s strojem za sečnjo John Deere 1470D ($0,69 \text{ m/s}^2$) in največja na delovišču s strojem Caterpillar 580 ($0,86 \text{ m/s}^2$). Pri skupni dozi tresenja, kazalnik VDV VTV, so obremenitve prav tako največje pri obeh premikih. Vrednosti se gibljejo od $17,78 \text{ m/s}^{1,75}$ do $35,17 \text{ m/s}^{1,75}$. Pri ostalih delovnih operacijah se obremenitve s tresenjem gibljejo med $12,93 \text{ m/s}^{1,75}$ in $19,24 \text{ m/s}^{1,75}$. Obremenitev v delovnem času je bila najmanjša na delovišču s strojem Caterpillar 580C ($17,40 \text{ m/s}^{1,75}$) in največja na delovišču s strojem Caterpillar 580 ($22,20 \text{ m/s}^{1,75}$).

Jakosti obremenitev glede na posamezne smeri so pri obeh kazalnikih, na vseh deloviščih, v splošnem najmanjše v vertikalni (Z) smeri in največje v aksialni (Y) smeri, pri premikih. V delovnem času VDV vrednosti v Y smeri na delovišču s strojem John Deere 1470E in strojem Caterpillar 580 presegajo opozorilno vrednost iz Pravilnika (2005).

Primerjava dobljenih vrednosti v času meritev z ropotom s slovensko in evropsko zakonodajo kaže, da vrednosti niso presegle spodnje opozorilne vrednosti. Nasprotno obremenitve s tresenjem celega telesa za oba kazalnika, RMS VDV in VDV VTV, na vseh deloviščih presegajo spodnjo opozorilno mejo. Pri kazalniku VDV je na deloviščih John Deere 1470E in Caterpillar 580 presežena celo mejna vrednost. Na omenjenih deloviščih so pri kazalniku VDV presežene opozorilne vrednosti tudi glede na posamezne smeri. To velja za aksialno (Y) smer.

Glede na rezultate, da so obremenitve z ropotom med $70,7$ in $74,5 \text{ dB(A)}$ oziroma $98,1$ do $132,5 \text{ dB(C)}$ zaključujemo, da obremenitve strojnikov z ropotom na stroju za sečnjo ne presegajo spodnje opozorilne vrednosti dnevne izpostavljenosti in da je hipoteza potrjena. Vendar le pri predpostavki, da strojnik pri delu izven kabine ni izpostavljen dodatnim virom ropota, ki ga lahko predstavljajo ali delujoč stroj za sečnjo, bližina drugih strojev npr. zgibni polprikoličar ali pa uporaba dodatnih strojev kot je motorna žaga.

Druga zastavljeno hipotezo pa zavrnemo, saj obremenjenost strojnika stroja za sečnjo lahko presega zakonsko določene osemurne dopustne meje iz slovenske in evropske zakonodaje. Ugotavljamo, da je glede na najvišje obremenitve s tresenjem po posameznih smereh opozorilna meja presežena na dveh deloviščih, delovišču John Deere 1470E in Caterpillar 580, ni pa presežena mejna vrednost določena v slovenski in evropske zakonodaji. Največje obremenitve se pojavljajo v aksialni (Y) in najmanjše v vertikalni smeri (Z).

9 VIRI

- Axelsson S.-Å., Pontén B. 1990. New ergonomic problems in mechanized logging operations. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 5, 3: 267-273
- Bilban, M. 1999. *Medicina dela*. Ljubljana, Zavod za varstvo pri delu: 535 str.
- Bilban M. 2005. Vplivi hrupa na človeka.
www.osha.europa.eu/fop/slovenia/sl/et2005/.../drBilban_Vplivi_na_cloveka.pdf (19. 7. 2015)
- Björheden R., Thompson M. A. 2000. An International Nomenclature for Forest Work Study. V: *Proceedings of IUFRO 1995 S3.04 Subject Area: 20th IUFRO World Congress*. Field D. B. (ur.). Orono, Maine, University of Maine: 190-215.
- Boileau P. E., Rakheja S. 1990. Vibration attenuation performance of suspension seats for off-road forestry vehicles. *International journal of industrial ergonomics*. 5: 275-291.
- Bottoms D. J., Barber T.S. 1978. A swiveling seat to improve tractor drivers posture. *Applied ergonomics*, 9, 2: 77-84.
- Cation S., Jack R. J., Oliver M., Dickey J. P., Lee-Shee N. K. 2008. Six-degree-offreedom whole-body vibration exposure levels during routine skidder operations. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38: 696–715
- Čudina M. 2001. *Tehnična akustika: merjenje, vrednotenje in zmanjševanje hrupa in vibracij*. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo.
- Čudina M. 2014. *Tehnična akustika: merjenje, vrednotenje in zmanjševanje hrupa in vibracij*. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo

Direktiva 2002/44/ES o minimalnih zdravstvenih in varnostnih zahtevah glede izpostavljenosti delavcev tveganjem iz fizikalnih dejavnikov (vibracij). 2002.

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:177:0013:0019:EN:PDF> (29.1.2015)

Direktiva 2003/10/ES Evropskega parlamenta in Evropskega sveta z dne 6. februarja 2003 o minimalnih zahtevah za varnost in zdravje v zvezi z izpostavljenostjo delavcev fizikalnim dejavnikom (hrup). 2003.

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32003L0010> (29.1.2015)

Donati P. 2002. Survey of technical preventative measures to reduce whole-body vibration effects when designing mobile machinery. Journal of sound and vibration. 253, 1: 169-183.

Frumerie G. (ur.). 1999. Ergonomic Guidelines for Forest Machines. Uppsala, Sweden, SkogForsk – The Forestry Research Institute of Sweden: 85 str.

Gazvoda T. M. 2007. Spremljanje gozdarskih delavcev z vidika medicine dela. Gozdarski vestnik, 65, 2: 105-111

Gellerstedt S. 1998. A self-leveling and swiveling forestry machine cab. Journal of forest engineering, 9, 1: 7-16.47.

Gellerstedt S. 2002. Operation of the single-grip harvester: Motor-sensory and cognitive work. International Journal of Forest Engineering, 13, 2: 35-47

Hanse J. J., Winkel J. 2008. Work organisation constructs and ergonomic outcomes among European forest machine operators. Ergonomics, 51, 7: 968 – 981

Hansson J. E. 1990. Ergonomic design of large forestry machines. International Journal of Industrial Ergonomics, 5, 3: 255-266

ISO 2631-1. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements. 1997

Jack R. J., Oliver M. 2008. A review of Factors Influencing Whole –Body Vibration Injuries in Forestry Mobile Machine Operators. International Journal of Forest Engineering, 19, 1: 51-65.

Hansson J.E. 1990. Ergonomic design of large forestry machines. International journal of industrial ergonomics. 5: 255-266.

Kjellberg A. 1990. Psychological aspects of occupational vibration. Scand Journal of Work, Environment and Health, 16, 1: 39-43.

Košir B. 1996. Organizacija gozdarskih del. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 223 str.

Lewark S. in sod. 2005. Scientific Reviews of Ergonomic Situation in Mechanized Forest Operations. Institutionen for skogens produkter och marknader. Poročilo za evropski projekt ErgoWood. 185 str.

Lipoglavšek M. 1981. Obremenitev delavcev z ropotom pri spravilu lesa. Gozdarski vestnik, 39, 10: 425-433

Lipoglavšek M., Koren I. 1982. Ergonomske značilnosti traktorja IMT 560 za spravilo lesa. Gozdarski vestnik, 40, 6: 241-253

Lipoglavšek M. 1992. Težavnost dela sekačev. (Strokovna in znanstvena dela). Ljubljana, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo, BF, UL: 124 str.

Lipoglavšek M., Kumer P. 1998. Humanizacija dela v gozdarstvu: učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire.

Ljungberg J. K., Neely G. 2007. Stress, subjective experience and cognitive performance during exposure to noise and vibration. *Journal of Environmental Psychology*, 27: 44-54.

Messingerova V., Martinusova L., Slančik M. 2005. Ergonomic parameters of the work of integrated technologies at timber harvesting. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 26: 79-84.

Messingerová V., Tullová M., Ferenčík M. 2007. Comparison of workers physical load during the wood harvesting. V: XII Konferencja Ergonomiczna: Ergonomia i ochrona pracy w lesnictwie, drzewnictwie i produkcji rolnej. Giefing D. F. (ur.). Puszczykowo, Poland, Wydawnictwo Poznan'skiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk: 137-145

Miyakita T., Ueda A. 1997. Estimates of workers with noise-induced hearing loss and population at risk. *Journal of Sound and Vibration*, 205, 4: 441-449

Nezavezujoč priročnik o dobri praksi z vidika izvajanja Direktive 2002/44/ES o minimalnih zdravstvenih in varnostnih zahtevah glede izpostavljenosti delavcev tveganjem iz fizikalnih dejavnikov (vibracij). 2007.

www.ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=3614&langId=sl (20.7.2015)

Nezgode pri delu v obdobju 2007-2011 s poudarkom na leto 2011. 2007. Ljubljana, Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve, Inšpektorat Republike Slovenije za delo: 8 str.

http://www.id.gov.si/fileadmin/id.gov.si/pageuploads/Varnost_in_zdravje_pri_delu/Statistika_nezgode/2011/NEZGODE_PRI_DELU_2011.pdf

Obranovič A. 2010. Vpliv tehnike dela na obremenitev sekača z ropotom: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 30 str.

- Obranovič A. 2013. Obremenitev delavca z dejavniki delovnega okolja pri spravilu lesa z zgibnim traktorjem Ecotrac 120V: magistrsko delo. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 120 str.
- Odar L. 2011. Težavnost dela pri sečnji in spravilu lesa: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 36 str.
- Poje A., Potočnik I. 2007. Influence of working conditions on overlapping of cutting and ground skidding in group work. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 28, 2: 157-167
- Poje A., Potočnik I. 2008. Vrednotenje toplotnih obremenitev pri gozdnem delu. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 87, 89-99
- Poje A. 2011. Vplivi delovnega okolja na obremenitev in težavnost dela sekača pri različnih organizacijskih oblikah: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire,). Ljubljana, samozaložba: 240 str.
- Potočnik I. 2009. Ergonomija: študijsko gradivo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Ljubljana, samozaložba.
- Pravilnik o osebni varovalni opremi, ki jo delavci uporabljajo pri delu. 1999. Ur. l. RS, št. 89/1999.
- Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu, Ur. l. RS, št. 94/2005.
- Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu. 2006. Ur. l. RS., št. 17/2006

- Rehn B., Lundström R., Nilsson L., Liljelind I., Järvholm B. 2005a. Variation in exposure to whole-body vibration for operators of forwarder vehicles – aspects on measurement strategies and prevention. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35: 831-842.
- Rehn B., Nilsson T., Olofsson B., Lundström R. 2005b. Whole-body vibration exposure and non-neutral neck postures during occupational use of all-terrain vehicles. *Annals of Occupational Hygiene*, 49, 3: 267-275.
- Sachs, S., Teichert, H.-J., & Rentzsch, M. 1994. *Ergonomische Gestaltung mobiler Maschinen.* – ecomed: Landsberg/Lech.
- Seixas F., Barbosa R., Rummer R., 1999. Noise level determination in forestry machines. *Landwards*, 54: 3, 8-13.
- Sherwin L. M., Owende P. M. O., Kanali C. L., Lyons J., Ward S. M. 2004a. Influence of forest machine function on operator exposure to whole-body vibration in a cut-to-length timber harvester. *Ergonomics*, 47, 11: 1145-1159
- Sherwin L. M., Owende P. M. O., Kanali C. L., Lyons J., Ward S. M. 2004b. Influence of tyre inflation pressure on whole-body vibrations transmitted to the operator in a cut-to-length timber harvester. *Applied Ergonomics*, 35, 3: 253-261
- SIST EN ISO 9612:2009. *Acoustics – Determination of Occupational Noise Exposure – Engineering Method.* 2009: 56 str.
- Stampfer K. 1997. Stress and strain effects of forest work in steep terrain V: Forest operations in Himalayan forests with special consideration of ergonomic and socio-economic problems. Heinimann H. R. in sod. (ur.). Thimphu, Buthan, 113-119
- Synwoldt U., Gellerstedt S. 2003. Ergonomic initiatives for machine operators by the Swedish logging industry. *Applied Ergonomics*, 34, 2: 149-156

Šenica R. 2012. Obremenitev delavcev z ropotom pri sečnji in spravilu lesa. Dipl. delo. Ljubljana, univ. v Ljubljani, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 2011. Ljubljana, samozaložba: 68 str.

Šenica R. 2015. Obremenitev strojnika zgibnega polprikoličarja z ropotom in tresenjem: magistrsko delo. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 85 str.

Šilc M. 2011. Vpliv tehnike dela na obremenitev sekača s tresenjem: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 25 str.

Šilc M. 2015. Vpliv lastnosti vlak na obremenitev traktorista s tresenjem: magistrsko delo (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 70 str.

Šterbenk L. 2013. Obremenitev delavca z ropotom in s tresenjem pri gradnji gozdnih vlak z gradbenimi stroji: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 38 str.

Tiemessen I. J., Hulshof C. T. J., Frings-Dresen M. H. W. 2007. An overview of strategies to reduce whole-body vibration exposure on drivers: A systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37: 245–256.

Trebec M. 2015. Analiza nezgod v koncesionarskih gozdarskih podjetjih v obdobju 2006 – 2013: magistrsko delo. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 99 str.

Uredba o koncesiji za izkoriščanje gozdov v lasti Republike Slovenije. Ur. L., RS, št. 98/2010_

Vranešič U. 2008. Primerjava stroškov in učinkov dveh tehnologij pridobivanja lesa v listnatih sestojih: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 90 str.

Vodila dobrega ravnanja pri vrednotenju tresenja celega telesa (2008)

http://resource.isvr.soton.ac.uk/HRV/VIBGUIDE/2008_11_08%20WBV_Good_practice_Guide%20v6.7h%20English.pdf (6.3.2015)

Varnost in zdravje pri delu v gozdu. 2003. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije (ZGS): 149 str.

Winkler I. 1997. Organizacija gozdarskih del. Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, pri Biotehniški fakulteti: 265 str.

Zakon o varnosti in zdravju pri delu. 2011. Ur. l. RS, št. 43/2011

Zupančič M. 2008. Časovna študija spravila lesa s traktorjem John Deere 6220: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 77 str.

Žunič G. 2010. Obremenitev traktorista pri spravilu lesa: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 62 str.

Žunič G. 2014. Vpliv delovnih razmer na obremenitve strojnika zgibnega polprikoličarja z ropotom: magistrska delo. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 101 str.

ZAHVALE

Zahvaljujem se somentorju asist. dr. Antonu Pojetu za idejo, hitro odzivnost in dostopnost pri izdelavi magistrskega dela. Zahvaljujem se mu za pomoč na terenu ter za nasvete pri obdelavi podatkov in ostalo pomoč med izdelovanjem magistrskega dela.

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Igorju Potočniku za končni pregled ter izr. prof. dr. Janezu Krču za recenzijo magistrskega dela.

Zahvaljujem se tehničnemu sodelavcu na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Juretu Pokornu, za pomoč pri meritvah in za posnetke fotografij na terenu.

Za sodelovanje pri izvedbi meritev se zahvaljujem koncesionarjema Gozdarstvo Grča, d.d., Kočevje in GGP, Gozdo Gospodarstvo Postojna d.o.o. ter podizvajalcem ČG gozdarstvo, Andrej Črešnar s.p., Broman Holz OEG in Holzschlägerung UNTERRAINER Gerhard.

Zahvaljujem se mag. Maji Peteh iz Gozdarske knjižnice Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire za tehnični pregled magistrskega dela.

Zahvaljujem se Skladu Pahernikove ustanove za štipendiranje v času magistrskega študija.

Zahvaljujem se sošolcema Roku Šenici in Simonu Klaužerju za nasvete pri obdelavi podatkov in ostala mnenja pri izdelavi magistrskega dela. Za potrpežljivost in brezpogojno pomoč pri neštetih angleških prevodih se zahvaljujem kolegoma Matiji Buzarju in Juretu Golobu. Za nasvete iz področja strojništva se zahvaljujem kolegi Dinotu Florjančiču.

Za vsevrstne pomoči ter popestritve študijskega in obštudijskega obdobja se zahvaljujem sošolcem, sošolkam, prijateljem in prijateljicam. Kljub nepoimenovanju sem se spomnil na vse, in vem, da se bodo našli znotraj te alineje.

Za spodbudne besede, podporo in nasvete tekom študija se zahvaljujem družini, čeprav cela te zahvale žal ne more prebrati.