

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

Rok ŠENICA

**OBREMENITEV STROJNIKA ZGIBNEGA
POLPRIKOLIČARJA Z ROPOTOM IN TRESENJEM
V RAZMERAH VIŠKEGA KRASA**

MAGISTRSKO DELO

Magistrski študij – 2. stopnja

Ljubljana, 2015

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

Rok ŠENICA

**OBREMENITEV STROJNIKA ZGIBNEGA POLPRIKOLIČARJA Z
ROPOTOM IN TRESENJEM V RAZMERAH VISOKEGA KRASA**

MAGISTRSKO DELO
Magistrski študij – 2. stopnja

**EXPOSURE OF FORWARDER OPERATOR TO WHOLE-BODY
VIBRATION AND NOISE**

M. Sc. Thesis
Master Study Programmes

Ljubljana, 2015

Magistrsko delo je zaključek magistrskega študija gozdarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za gozdno tehniko in ekonomiko Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani in v sodelovanju s podjetjem Gozdarstvo Grča Kočevje. Meriteve obremenitev strojnikov zgibnih polprikoličarjev z ropotom in tresenjem so bile izvedene na gozdnogospodarskem območju Kočevje in Postojna.

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 doc. dr. Jurija Marenčeta.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Rok Šenica

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du2
DK	GDK 31:377:96(043.2)=163.6
KG	spravilo lesa/strojna sečnja in spravilo lesa/sanacijske in sanitarne sečnje/visoki dinarski kras/obremenitve s tresenjem/obremenitve z ropotom
AV	ŠENICA, Rok
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 ZGIBNEGA POLPRIKOLIČARJA Z ROPOTOM IN TRESENJEM V RAZMERAH VISOKEGA KRASA
TD	Magistrsko delo (Magistrski študij – 2. stopnja)
OP	VIII, 85 str., 23 pregl., 26 sl., 47 ref.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Obremenitve strojnikov gozdarskih strojev so pogojene z vrsto stroja, načinom uporabe in delovnimi razmerami. Z namenom ugotavljanja obremenitev strojnikov zgibnih polprikoličarjev s tresenjem celega telesa in ropotom je bila na območju visokega dinarskega krasa izvedena petdnevna raziskava. Meritve so bile opravljene na petih različnih zgibnih polprikoličarjih (John Deere 1410D, John Deere 1210E, Timberjack 810B, EcoLog 564B ter Valmet 840.3.), lokacijah in strojnikih. Obremenitev strojnikov v delovnem času je bila glede na ekvivalentno jakost ropota med 65,8 dB(A) in 73,6 dB(A), konična jakost ropota pa med 101,3 dB(C) in 130,2 dB(C). Najnižje obremenitve so bile v produktivnem času izmerjene na deloviščih, kjer je delo potekalo s strojem John Deere 1410D, najvišje pa na delovišču s strojem Timberjack 810B. Obremenitve s tresenjem celega telesa so bile med $0,60 \text{ m/s}^2$ in $1,17 \text{ m/s}^2$ (vrednosti RMS VTV) in med $16,78 \text{ m/s}^{1,75}$ in $25,80 \text{ m/s}^{1,75}$ (vrednosti VDV VTV). Najnižje obremenitve s tresenjem so bile v produktivnem času izmerjene na deloviščih, kjer je delo potekalo s strojem John Deere 1410D ($0,60 \text{ m/s}^2$ oz. $17,60 \text{ m/s}^{1,75}$), najvišje pa na delovišču s strojem Valmet 840.3 ($1,17 \text{ m/s}^2$ oz. $25,80 \text{ m/s}^{1,75}$). Glede na slovensko in evropsko zakonodajo v času meritev obremenitve z ropotom niso presegle spodnje opozorilne vrednosti, medtem ko so obremenitve s tresenjem celega telesa na vseh deloviščih presegle opozorilno vrednost, na delovišču s strojem Valmet 840.3 pa tudi mejno vrednost dnevne izpostavljenosti. Za strojnika zgibnega polprikoličarja je glede na obremenitve s tresenjem in ropotom najbolj obremenjujoča delovna operacija prazna vožnja, sledijo polna vožnja in premik ter nakladanje oz. razkladanje. Obremenitve z ropotom pri spravilu lesa z zgibnimi polprikoličarji so v primerjavi s pravilom lesa s prilagojenimi kmetijskimi traktorji in zgibniki nižje, obremenitve s tresenjem pa na primerljivem nivoju. Glede na rezultate se kot ukrep za zmanjšanje obremenitev predlaga rotacija delavcev na delovnih mestih, način dela, prilagojen delovnim razmeram, izobraževanje delavcev ter tehnične izboljšave vozila.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du2
DC FDC 31:377:96(043.2)=163.6
CX skidding/mechanized logging/sanitary felling/high Dinaric karst/whole-body vibration exposure/noise loads
AU ŠENICA, Rok
AA POTOČNIK, Igor (supervisor)/POJE, Anton (co-advisor)
PP SI – 1000 Ljubljana, Večna pot 83
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Forestry and Renewable Forest Resources
PY 2015
TI EXPOSURE OF FORWARDER OPERATOR TO WHOLE-BODY VIBRATION AND NOISE
TD M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)
NO VIII, 85 p., 23 tab., 26 fig., 47 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Exposure to whole-body vibration (WBV) and noise varies due to vehicle type, the way it is used and working conditions. The objective of this study was to measure and evaluate WBV and noise loads on the area of Slovenian high carst during five - day research. Measurements were made for five different locations, operators and forwarders (John Deere 1410D, John Deere 1210E, Timberjack 810B, Ecolog 564B and Valmet 840.3). Exposures for working time were between 65,8 dB(A) and 73,6 dB(A) for equivalent noise level, and between 101,3 dB (C) and 130,2 dB(C) for peak sound pressure. The lowest noise loads in productive time were measured by John Deere 1410D and the highest by Timberjack 810B. The exposure to the whole-body vibration varied from 0,60 m/ s² to 1,17 m/ s² (calculated as the RMS values), and from 16,78 m/ s^{1,75} to 25,80 m/ s^{1,75} (calculated as total vibration dose value – VDV). The lowest whole-body vibrations in productive time were measured on working site EcoLog 564B and the highest on working site Valmet 840.3. According to Slovenian national and European legislation noise loads did not exceed lower action value, while whole-body vibration exceeded action value, as well as the permissible value (Valmet 840.3) of daily exposure. The highest exposures to noise and whole-body vibration were achieved during travelling activities, especially during travel empty followed by travel loaded and machine move. The lowest exposures to noise and whole-body vibration occurred at loading and unloading cargo. Noise loads of forwarders at closed cabin compared to the tractors and skidders were lower. Operators were over loaded by whole-body vibrations, which was comparable to the tractors and skidders. According to the results exposure to noise and whole-body vibration could be reduced by job rotation, working method adapted to working conditions (the way the vehicle is driven) and technical improvements of the vehicle.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	II
KEY WORDS DOCUMENTATION	III
KAZALO VSEBINE	IV
KAZALO PREGLEDNIC	VI
KAZALO SLIK.....	VIII
1 UVOD.....	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 OBREMENITVE S TRESENJEM	2
2.1.1 Vpliv obremenitev s tresenjem na zdravje.....	2
2.1.2 Obremenitve s tresenjem pri delu z zgibnimi polprikoličarji in traktorji	3
2.1.3 Ukrepi za zmanjšanje obremenitve celega telesa s tresenjem	6
2.2 OBREMENITVE Z ROPOTOM	7
2.2.1 Vpliv obremenitev z ropotom na zdravje.....	7
2.2.2 Obremenitev z ropotom pri delu z zgibnimi polprikoličarji in traktorji.....	8
2.2.3 Ukrepi za zmanjšanje obremenitev z ropotom	9
3 NAMEN IN HIPOTEZE	10
4 OBJEKTI IN METODE RAZISKOVANJA	11
4.1 SPLOŠNO O OBMOČJU, OBJEKTU RAZISKOVANJA IN LASTNOSTIH DELAVCEV	11
4.1.1 Delovišče JD 1410D.....	12
4.1.2 Delovišče JD 1210E.....	14
4.1.3 Delovišče TIMB 810B	16
4.1.4 Delovišče CAT 564B.....	18
4.1.5 Delovišče VAL 840.3.....	20
4.2 METODE RAZISKOVANJA	21
4.2.1 Shema poskusa	21
4.2.2 Časovna študija in opredelitev delovnega časa.....	22
4.2.3 Inštrumenti in postopki merjenja.....	23
4.3 KAZALNIKI OBREMENITEV Z ROPOTOM IN TRESENJEM CELEGA TELESA, DOPUSTNE MEJE TER OBDELAVA PODATKOV	26
4.3.1 Obremenitve z ropotom.....	26
4.3.2 Obremenitve celega telesa s tresenjem.....	28
4.3.3 Statistične metode	29
5 REZULTATI.....	31
5.1 ČAS IZPOSTAVLJENOSTI DEJAVNIKOM DELOVNEGA OKOLJA	31
5.1.1 Struktura časa po deloviščih	32
5.2 OBREMENITEV DELAVCEV Z ROPOTOM PO DELOVIŠČIH TER PRIMERJAVA Z DOPUSTNIMI MEJAMI	36
5.2.1 Frekvenčna analiza ropota med stroji za produktivni čas	44

5.2.2	<i>Primerjava obremenitev z ropotom med delovišči</i>	47
5.2.3	<i>Primerjava obremenitev z ropotom med delovnimi operacijami</i>	49
5.3	OBREMENITEV DELAVCEV S TRESENJEM CELEGA TELES A TER PRIMERJAVA Z DOPUSTNIMI MEJAMI	51
5.3.1	<i>Primerjava obremenitev s tresenjem med delovišči</i>	57
5.3.2	<i>Analiza tresenja med delovnimi operacijami</i>	63
5.4	OBREMENITEV Z ROPOTOM IN TRESENJEM V ODVISNOSTI OD HITROSTI VOŽNJE	68
6	RAZPRAVA	69
6.1	ČAS IZPOSTAVLJENOSTI	69
6.2	OBREMENITVE STROJNIKOV Z ROPOTOM	70
6.3	OBREMENITEV CELEGA TELES A S TRESENJEM	73
7	SKLEPI	76
8	POVZETEK	79
8.1	POVZETEK	79
8.2	SUMMARY	81
9	VIRI	83
10	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

PREGLEDNICA 1: LASTNOSTI DELOVIŠČA, DELOVNIH RAZMER, STROJA IN STROJNIKA NA DELOVIŠČU JD 1410D.....	12
PREGLEDNICA 2: LASTNOSTI DELOVIŠČA, DELOVNIH RAZMER, STROJA IN STROJNIKA NA DELOVIŠČU JD 1210E.....	14
PREGLEDNICA 3: LASTNOSTI DELOVIŠČA, DELOVNIH RAZMER, STROJA IN STROJNIKA NA DELOVIŠČU TIMB 810B	16
PREGLEDNICA 4: LASTNOSTI DELOVIŠČA, DELOVNIH RAZMER, STROJA IN STROJNIKA NA DELOVIŠČU ECOLOG 564B.....	18
PREGLEDNICA 5: LASTNOSTI DELOVIŠČA, DELOVNIH RAZMER, STROJA IN STROJNIKA NA DELOVIŠČU VAL 840.3.....	20
PREGLEDNICA 6: LASTNOSTI POSAMEZNIH CIKLOV PO DELOVIŠČIH	25
PREGLEDNICA 7: OBREMENITEV Z ROPOTOM V KABINI PO DELOVNIH OPERACIJAH NA DELOVIŠČU JD 1410D.....	37
PREGLEDNICA 8: OBREMENITEV Z ROPOTOM V KABINI PO DELOVNIH OPERACIJAH NA DELOVIŠČU JD 1210E	38
PREGLEDNICA 9: OBREMENITEV Z ROPOTOM V KABINI PO DELOVNIH OPERACIJAH NA DELOVIŠČU TIMB 810B (ZAPRTO OKNO, CIKEL 3 IN 4).....	39
PREGLEDNICA 10: OBREMENITEV Z ROPOTOM V KABINI PO DELOVNIH OPERACIJAH NA DELOVIŠČU TIMB 810B (ODPRTO OKNO, CIKEL 1 IN 2).....	40
PREGLEDNICA 11: OBREMENITEV Z ROPOTOM V KABINI PO DELOVNIH OPERACIJAH NA DELOVIŠČU CAT 564B.....	41
PREGLEDNICA 12: OBREMENITEV Z ROPOTOM V KABINI PO DELOVNIH OPERACIJAH NA DELOVIŠČU VAL 840.3.....	42
PREGLEDNICA 13: REZULTATI POSTERIORNE ANALIZE MED POSAMEZNIMI DELOVIŠČI (U-TEST, BONFERRONI KOREKCIJA ZNAČILNOST $P < 0,005$)	48
PREGLEDNICA 14: REZULTATI POSTERIORNE ANALIZE MED DELOVNIMI OPERACIJAMI (U-TEST, BONFERRONI KOREKCIJA ZNAČILNOST $P < 0,005$)	50
PREGLEDNICA 15: OBREMENITEV S TRESENJEM V KABINI PO DELOVNIH OPERACIJAH NA DELOVIŠČU JD 1410D.....	51
PREGLEDNICA 16: OBREMENITEV S TRESENJEM V KABINI PO DELOVNIH OPERACIJAH NA DELOVIŠČU JD 1210E	52
PREGLEDNICA 17: OBREMENITEV S TRESENJEM V KABINI PO DELOVNIH OPERACIJAH NA DELOVIŠČU TIMB 810B.....	53
PREGLEDNICA 18: OBREMENITEV S TRESENJEM V KABINI PO DELOVNIH OPERACIJAH NA DELOVIŠČU CAT 564B.....	54
PREGLEDNICA 19: OBREMENITEV S TRESENJEM V KABINI PO DELOVNIH OPERACIJAH NA DELOVIŠČU VAL 840.3.....	55
PREGLEDNICA 20: REZULTATI POSTERIORNE ANALIZE RMS VREDNOSTI TRESENJA MED DELOVIŠČI ZA PRODUKTIVNI ČAS (U-TEST, BONFERRONI KOREKCIJA ZNAČILNOST $P < 0,005$)	59

PREGLEDNICA 21: REZULTATI POSTERIORNE ANALIZE VDV VREDNOSTI TRESENJA MED DELOVIŠČI ZA PRODUKTIVNI ČAS (U-TEST, BONFERRONI KOREKCIJA ZNAČILNOST $P < 0,005$)	61
PREGLEDNICA 22: REZULTATI POSTERIORNE ANALIZE RMS VREDNOSTI TRESENJA MED DELOVNIMI OPERACIJAMI ZA PRODUKTIVNI ČAS (U-TEST, BONFERRONI KOREKCIJA ZNAČILNOST $P < 0,005$)	65
PREGLEDNICA 23: REZULTATI POSTERIORNE ANALIZE SKUPNIH DOZ TRESENJA MED DELOVNIMI OPERACIJAMI ZA PRODUKTIVNI ČAS (U-TEST, BONFERRONI KOREKCIJA ZNAČILNOST $P < 0,005$)	67

KAZALO SLIK

SLIKA 1: POLOŽAJ DELOVIŠČ NA JUGU SLOVENIJE - KOČEVSKI IN SNEŽNIŠKI GOZDOVI (GOOGLE EARTH, 2015).....	11
SLIKA 2: JOHN DEERE 1410D PRI RAZKLADANJU LESA.....	13
SLIKA 3: STANJE VLAK NA DELOVIŠČU JD 1410D.....	13
SLIKA 4: JOHN DEERE 1210E, SMUKA	15
SLIKA 5: STANJE VLAK NA DELOVIŠČU JD 1210E	15
SLIKA 6: TIMBERJACK 810B PRI RAZKLADANJU BREMENA, ŽELJNE	17
SLIKA 7: STANJE VLAK NA DELOVIŠČU TIMB 810B.....	17
SLIKA 8: CATERPILLAR ECOLOG 564B, MOZELJ	19
SLIKA 9: STANJE VLAK NA DELOVIŠČU CAT 564B.....	19
SLIKA 10: VALMET 840.3 PRI NAKLADANJU BUKOVINE	21
SLIKA 11: STANJE VLAK NA DELOVIŠČU VAL 840.3	21
SLIKA 12: POLOŽAJ NAPRAVE BRÜEL&KJÆR 2250 ZA MERJENJE ROPOTA V KABINI ZGIBNEGA POLPRIKOLIČARJA	23
SLIKA 13: POLOŽAJ ADAPTERJA BRÜEL&KJÆR 4515 NA SEDEŽU	24
SLIKA 14: STRUKTURA POSNETEGA ČASA PO DELOVNIH OPERACIJAH	32
SLIKA 15: STRUKTURA DELOVNEGA ČASA PO DELOVNIH OPERACIJAH IN DELOVIŠČIH	33
SLIKA 16: DELEŽI DELOVNEGA ČASA V KABINI IN IZVEN KABINE PO DELOVIŠČIH	34
SLIKA 17: STRUKTURA DELOVNEGA ČASA V KABINI PO DELOVIŠČIH.....	35
SLIKA 18: FREKVENČNI SPEKTRI ROPOTA PO DELOVIŠČIH IN SKUPNO	45
SLIKA 19: PRIMERJAVA FREKVENČNIH SPEKTROV PO DELOVNIH OPERACIJAH ZA PRODUKTIVNI ČAS MED STROJEMA VALMET 840.3 IN TIMBERJACK 810B	46
SLIKA 20: PRIMERJAVA EKVIVALENTNE JAKOSTI ROPOTA MED DELOVIŠČI ZA PRODUKTIVNI ČAS.....	47
SLIKA 21: PRIMERJAVA EKVIVALENTNE JAKOSTI ROPOTA MED DELOVNIMI OPERACIJAMI ZA PRODUKTIVNI ČAS.....	49
SLIKA 22: PRIMERJAVA RMS OBREMENITEV S TRESENJEM MED DELOVIŠČI PO SMEREH TRESENJA IN SKUPNO ZA PRODUKTIVNI ČAS	57
SLIKA 23: PRIMERJAVA VDV OBREMENITEV S TRESENJEM MED DELOVIŠČI PO SMEREH TRESENJA IN SKUPNO ZA PRODUKTIVNI ČAS	60
SLIKA 24: PRIMERJAVA RMS OBREMENITEV S TRESENJEM MED OPERACIJAMI PO SMEREH TRESENJA IN SKUPNO ZA PRODUKTIVNI ČAS	63
SLIKA 25: PRIMERJAVA VDV OBREMENITEV S TRESENJEM MED OPERACIJAMI PO SMEREH TRESENJA IN SKUPNO ZA PRODUKTIVNI ČAS	66
SLIKA 26: ANALIZA ROPOTA IN TRESENJA V ODVISNOSTI OD HITROSTI POLNE IN PRAZNE VOŽNJE	68

1 UVOD

Skrb za varno in zdravo delo je temeljna človekova pravica. Zakon o varnosti in zdravju pri delu (2011) ščiti zdravje in življenje delavcev in v ta namen določa pravice in dolžnosti, tako delavcev kot delodajalcev. Delodajalec je dolžan zagotoviti varnost in zdravje delavcev v zvezi z delom ter v ta namen izvajati ukrepe, ki so potrebni za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev. Delavec ima pravico do delovnega okolja, ki mu zagotavlja varnost in zdravje pri delu. Tako morajo biti delovno okolje in posledično delovna sredstva varna in ne smejo ogrozati njegovega zdravja.

Človek na delovnem mestu opravlja delo ob skupku vplivov, ki od zunaj delujejo nanj, na njegovo delovno zmogljivost in pripravljenost na delo. Vse zunanje vplive, kot so ropot, tresenje, izpušni plini, podnebni in biotski dejavniki, imenujemo delovno okolje (Lipoglavšek in Kumer, 1998). Posamezni vplivi delujejo hkrati ali pa vsak zase. V tej nalogi bomo izmed dejavnikov delovnega okolja pozornost posvetili ropotu in tresenju.

Ropot je del zvočnega okolja, ki je neugoden in prihaja od delovnih sredstev in predmetov dela; je stohastično nihanje zraka, ki iz okolja prihaja v človeška ušesa. Tresenja so mehanična nihanja, ki se po različnih delih stroja prenašajo na človeka, ki s stroji upravlja (Potočnik, 2009).

Zgibni polprikoličar je stroj za spravilo gozdnih lesnih sortimentov, s katerim delavec naklada hlodovino in jo transportira do kamionske ceste. Delo z zgibnim polprikoličarjem poteka običajno sočasno s strojem za sečnjo. Izvoz lesa z zgibnim polprikoličarjem ima veliko prednosti pred klasičnim traktorskim spravilom. Vožnja sortimentov sočasno pomeni manjše poškodbe tal in sestoja, sortimenti pa so kakovostnejši. Kljub temu pa se postavlja vprašanje ergonomске primernosti, saj strojnik zgibnega polprikoličarja za razliko od traktorista, ki nekaj delovnih operacij opravi zunaj kabine, preživi ves delovni čas v kabini zgibnega prikoličarja.

Za obremenitve strojnika zgibnega polprikoličarja obstaja manj podatkov kot npr. za obremenitve na gozdarskih zgibnikih in prilagojenih kmetijskih traktorjih. Podatki, ki obstajajo, pa so pridobljeni z meritvami v tujih državah, kjer so lahko terenske razmere drugačne. Zato smo se odločili, da s to magistrsko nalogo zapolnimo vrzel med podatki o jakosti in vplivu ropota in predvsem tresenja na zgibnem polprikoličarju v slovenskih razmerah visokega krasa.

2 PREGLED OBJAV

Pri iskanju virov za pregled dosedanjih raziskav smo poleg člankov, ki so prosto dostopni na svetovnem spletu, virov, ki so dosegljivi v slovenščini, ter knjig preiskali podatkovno bazo digitalne knjižnice Univerze v Ljubljani (DIKUL). Od uporabljenih ključnih besed smo najpogosteje uporabili naslednje angleške izraze: forwarder, forestry, vibration, noise, WBV, wood, harvest, forest work. Pri pregledu dosedanjih raziskav smo se skušali seznaniti z ergonomskimi raziskavami, ki vsebinsko pokrivajo težavnost dela pri gozdnem delu in obremenitve delavca z dejavniki delovnega okolja pri delu z zgibnim polprikoličarjem. Posamezne vire smo po potrebi poiskali tudi na drugih področjih.

2.1 OBREMENITVE S TRESENJEM

2.1.1 Vpliv obremenitev s tresenjem na zdravje

Nekateri ljudje so lahko bolj dovzetni za nastanek bolezni, povezanih s tresenjem, drugi spet manj (Kjellberg, 1990; Bilban, 1999; Ljungberg in Neely, 2007). Občutljivost na tresenje je odvisna od: smeri nihanja glede na glavno os telesa, trajanja izpostavljenosti, od kakovosti sedeža, zdravstvenega stanja, pogostosti izpostavljenosti ter od organizacije dela. V splošnem bolezen tresenja imenujemo niz motenj, ki se pojavljajo pri delavcih po dolgotrajnem stiku z lokalnimi ali splošnimi tresenji. Obolenje se lahko kaže s prizadetostjo krvnih žil, mišičnih tkiv, živcev, kosti in sklepov. Delavci na transportnih sredstvih so izpostavljeni splošnemu tresenju (Bilban, 1999).

Delavec na tresenje reagira zavestno s spremembo telesnega položaja in refleksno s povečanjem mišičnega tonusa, ki naj bi preprečil nihanje notranjih organov. Refleksna reakcija na tresenje poveča obremenjenost zaradi statičnega mišičnega dela, kar je za človeka fiziološko utrudljivo (Bilban, 1999). Statično delo strojnika, ki sedi v kabini, privede do preobremenitve vratnih in ramenskih mišic, kar povzroča bolečine v vratnem predelu (Magnusson in Pope, 1998), in okvare vratnih živcev, ki vodijo v zgornje okončine (Bilban, 1999). Mišična togost telesa se poveča s prisiljeno držo naprej in s položajem nog (Jack in Oliver, 2008). Rehn in sod. (2005b) so ugotovili, da so za bolečine v spodnjem delu hrbta najbolj kritična tresenja v vertikalni osi ter da tresenje povzroča mišično-kostne bolezni v vratnem predelu. Opravljanje dela sede več kot 95 % delovnega časa predstavlja tveganje za bolečine v vratu (Ariëns in sod., 2001). Nekatere raziskave pa ne potrjujejo povezanosti med bolečinami v vratu in izpostavljenosti tresenjem celega telesa (WBV) (Rehn in sod., 2009), vendar so osebe z bolečinami v vratu sunke in tresljaje doživljale kot neprijetne. Pri splošnem tresenju pride poleg že naštetega lahko tudi do sprememb v aktivnosti možganov, blokade refleksov, spazme arterij v področju hrbtenice, degenerativnih sprememb, kot so okvare ledveno-križne hrbtenice ter cervikalne hrbtenice, ter porušanja biokemičnega ravnovesja (Bilban, 1999). Glede vpliva na možgane določene raziskave pokažejo, da ob kratkotrajni izpostavljenosti tresenju in ropotu zmožnost

opravljanja miselnih procesov ni zmanjšana (Ljungberg in Neely, 2007). Na drugi strani pa Abbate in sod. (2004) ugotavljajo, da so spremembe razpoloženja, kot so depresija, potrlost, napetost in tesnoba, neposredno povezane z večanjem časa izpostavljenosti tresenju.

Vplivi tresenja na organizem so odvisni od glavnih parametrov: frekvenca, amplituda oscilacije in od smeri ter časa izpostavljenosti. Pri različnih frekvencah so reakcije na organizem različne (Bilban, 1999). Tresenje pri nizkih frekvencah se širi dlje v telo, tresenje visokih frekvenc pa je bolj dušeno in deluje predvsem na stiku organa z virom tresenja (Bilban, 1999). Kjellberg (1990) ugotavlja, da je posameznikova subjektivna občutljivost na tresenje odvisna večinoma od frekvenca ter neodvisna od ravni pospeška, predvsem zaradi pojava resonance. Najpomembnejši interval je od 0,5 do 80 Hz, v katerem ležijo tudi lastne frekvence posameznih človeških organov. Posebej so nevarne nizke frekvence, med 4 in 8 Hz, ker večina notranjih organov v teh območjih pride v resonanco, zato bi se morali pri konstrukciji prevoznih sredstev izogibati predvsem teh frekvenc (Bilban, 1999). Nizke frekvence tresenj so odvisne od terena in so v razmaku od 0,5 do 8 Hz, večje pa so pri polni vožnji (Jack in Oliver, 2008). Lastna frekvenca glave je 20 Hz, trupa 3 Hz, zgornjih udov 8 do 30 Hz, hrbtenice 5 Hz. Oči delavca pridejo v resonanco pri frekvenci tresenja 12 do 40 Hz, ko pride do nihanja očesnih zrkel, posledica pa je slabša ostrina vida in težave pri ocenjevanju razdalje, kar vpliva na varnost dela (Kjellberg, 1990; Bilban, 1999). Tresenje s frekvenco nad 100 Hz se v zvezi z delovanjem na telo smatra kot manj pomembno, je pa pomembno pri vplivu na roke (Bilban, 1999).

Vse naštetu potrjuje tudi pregled prispevka (Jack in Oliver, 2008), v katerem ugotavljajo, da tresenje povzroča mišično-kostne bolezni, problematični so predvsem statični položaj in ponavljajoči se gibi ter daljšanje delavnika. Posebno pozornost pa moramo nameniti interakciji dveh ali več dejavnikov hkrati (npr. ponavljajoči se gibi, med katerimi se dogodi nenadni sunek, ali statično delo in trajanje dela), ki vplivajo na zdravje ter nenazadnje tudi na produktivnost.

2.1.2 Obremenitve s tresenjem pri delu z zgibnimi polprikoličarji in traktorji

Obremenitve celega telesa s tresenjem so pri strojni sečnji večje pri spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem kot pri sečnji s strojem za sečnjo, vrednosti obojega pa nižje kot pri spravilu lesa s traktorji in zgibniki (Poje, 2011). Avtor je v okviru svoje doktorske disertacije ugotavljal tudi jakosti tresenja celega telesa po kazalniku VDV VTV (rezultati so normalizirani na 4 ure), po katerem je za prazno vožnjo ugotovil $13,56 \text{ m/s}^{1,75}$ ter za polno vožnjo $9,43 \text{ m/s}^{1,75}$, za čas, ko je bil traktorist v zgibniku, pa je skupna doza tresenja znašala $17,8 \text{ m/s}^{1,75}$.

Pri spravilu lesa z zgibniki v slovenskih razmerah visokega krasa je Žunič (2010) ugotovil naslednje obremenitve s tresenjem v vektorski smeri tresenja (RMS VTV): polna vožnja $1,97 \text{ m/s}^2$, prazna vožnja $1,82 \text{ m/s}^2$, premik $1,24 \text{ m/s}^2$. Povprečna obremenitev s tresenjem je za delovni čas znašala $1,19 \text{ m/s}^2$. Glede na horizontalno smer so se pri 6 različnih traktorjih in zgibnikih vrednosti gibale od $0,63 \text{ m/s}^2$ do $0,78 \text{ m/s}^2$ v horizontalni smeri (X), od $0,7 \text{ m/s}^2$ do $1,31$ v aksialni (Y) smeri ter od $0,49 \text{ m/s}^2$ do $1,18 \text{ m/s}^2$ v vertikalni (Z) smeri. Pri zgibnikih so zabeležili večje vrednosti kot pri prilagojenih kmetijskih traktorjih. Vzmetenje sedeža duši tresenje le v vertikalni smeri, posledica pa so večje izmerjene obremenitve v aksialni in horizontalni smeri.

Pri zgibnem traktorju Ecotrac 120V Obranovič (2013) ugotavlja, da obremenitve celega telesa s tresenjem, izračunane kot RMS VTV ($0,89 \text{ m/s}^2$), presegajo opozorilno vrednost. Traktorist je bil med opravljanjem delovnih operacij prazna vožnja in rampanje preobremenjen s tresenjem ($1,53 \text{ m/s}^2$). Po jakosti tresenja sledijo delovne operacije polna vožnja ($1,51 \text{ m/s}^2$), premik po skladišču ($1,38 \text{ m/s}^2$) in premik med zbiranjem ($1,30 \text{ m/s}^2$). Najvišje vrednosti jakosti tresenja v horizontalni in vertikalni smeri so bile izmerjene pri prazni vožnji ($0,72 \text{ m/s}^2$ in $0,50 \text{ m/s}^2$), v aksialni pa med polno vožnjo ($0,84 \text{ m/s}^2$).

Jack in sod. (2010) so v Kanadi ugotavljali obremenitve osmih delavcev s tresenjem pri upravljanju zgibnih traktorjev. Poleg meritev jakosti tresenja v treh običajnih smereh v interakciji sedeža in delavca so raziskovalci merili tudi jakost tresenja v krožnih smereh. V splošnem so bile največje vrednosti tresenja celega telesa izmerjene pri prazni vožnji (med $0,99 \text{ m/s}^2$ in $2,39 \text{ m/s}^2$), pri polni vožnji pa so se vrednosti gibale med $0,96 \text{ m/s}^2$ in $2,46 \text{ m/s}^2$.

Za nakladalne traktorje sta obremenitev s tresenjem v vektorski smeri ugotavljala Melemez in Tunay (2010). Na traktorjih s serijsko vgrajeno nakladalno napravo so zabeležili povprečno velikost vektorskih tresenj $1,06 \text{ m/s}^2$, pri traktorjih, na katerih je bila nakladalna naprava vgrajena naknadno, pa $1,36 \text{ m/s}^2$.

V študiji tresenja na zgibnih polprikoličarjih na Švedskem (Rehn in sod., 2005a) so opravljali meritve na desetih različnih podlagah, sedmih strojih teže od 13 do 20 ton ter enajstih voznikih. Pri vsakem vozniku so opravili od štiri do petintrideset meritev. Ugotovili so, da so obremenitve s tresenjem največje pri premikanju ter manjše pri nakladanju in razkladanju. Pri strojih se povprečne vektorske vrednosti tresenja (RMS) gibljejo od $0,41 \text{ m/s}^2$ (od $0,26$ do $0,63 \text{ m/s}^2$) pri razkladanju in $0,55 \text{ m/s}^2$ (od $0,29$ do $0,89 \text{ m/s}^2$) pri nakladanju lesa in premiku, do $1,1 \text{ m/s}^2$ (od $0,52$ do $2,62 \text{ m/s}^2$) pri polni vožnji in $1,69 \text{ m/s}^2$ (od $0,46$ do $3,08 \text{ m/s}^2$) pri prazni vožnji. Povprečne vrednosti skupne doze tresenja (VDV) so se gibale od $2,66 \text{ m/s}^{1,75}$ pri razkladanju oz. $3,57 \text{ m/s}^{1,75}$ pri polni vožnji do $4,68 \text{ m/s}^{1,75}$ pri nakladanju oz. $6,18 \text{ m/s}^{1,75}$ pri prazni vožnji. V raziskavi ugotavljajo, da se razlike v izmerjenih obremenitvah pojavljajo zaradi različnih modelov strojev, načina

dela strojnikov ter vrste podlage. Ugotavljajo, da ni statistično značilne povezave med povprečno hitrostjo in med tresenjem celega telesa. Vzroki za to so lahko nenatančno izmerjena hitrost, majhne razlike med povprečnimi hitrostmi, premalo meritev, interakcija z vrsto podlage, razlike zaradi različnih operaterjev. Tresenje najučinkoviteje zmanjšamo s tehničnimi izboljšavami, načinom vožnje in izogibanju dela v najtežjih delovnih razmerah.

Študija tresenja na zgibnih polprikoličarjih na severu Švedske (Rehn in sod., 2005b) je pokazala, da se pri popolnih ciklih povprečne tehtane RMS vrednosti v smeri X gibljejo od $0,4 \text{ m/s}^2$ do $0,6 \text{ m/s}^2$, v smeri Y od $0,6 \text{ m/s}^2$ do $0,9 \text{ m/s}^2$ ter v smeri Z od $0,3 \text{ m/s}^2$ do $0,7 \text{ m/s}^2$. Povprečna skupna vrednost (vibration total value – VTV) je bila $1,5 \text{ m/s}^2$, pri posameznem stroju pa se je gibala od $0,8 \text{ m/s}^2$ do $1,3 \text{ m/s}^2$. Glede na kazalnik skupnih doz tresenja (VDV) so se glede na smer X vrednosti gibale od $2,8 \text{ m/s}^{1,75}$ do $4,9 \text{ m/s}^{1,75}$, glede na smer Y od $4,1 \text{ m/s}^{1,75}$ do $7,9 \text{ m/s}^{1,75}$ ter glede na smer Z od $2,8 \text{ m/s}^{1,75}$ do $5,0 \text{ m/s}^{1,75}$. Raziskovalci so za RMS vrednosti tresenja ugotovili statistično značilno večje jakosti tresenja v aksialni (Y) smeri v primerjavi s smerema X in Z. Enake zaključke podajajo tudi za skupne doze tresenja. Največje jakosti tresenja se v horizontalni smeri (X) pojavljajo v frekvenčnem območju med 0,5 in 5 Hz, v aksialni smeri (Y) v območju od 1 do 2 Hz ter v vertikalni smeri (Z) v območju med 2 do 8 Hz, kar je lahko nevarno za notranje organe.

Obremenjenost s tresenjem sta v ruski pokrajini Kareliji, ki meji na Finsko, ugotavljala Gerasimov in Sokolov (2014). Šlo je za končne poseke v borealnih gozdovih. Tla so bila ilovnata, glinasto-ilovnata ter peščeno-ilovnata. Spravilo se je odvijalo na ravnem terenu. V raziskavi (Gerasimov in Sokolov, 2009; Gerasimov in Sokolov, 2014) so vključno z ropotom in tresenjem preučevali tudi splošne ergonomске dejavnike na posameznih zgibnih polprikoličarjih in zgibnikih, kot so: nadzor, delovni prostor, monotonost, vidljivost, varnost, interakcija človek – stroj, popolnost izgradnje stroja, delovna intenzivnost, udobje. Večja kot je bila skupna ocena, bolj neudoben je bil stroj. Za vrednotenje končnih ocen so uporabili multikriterijalno odločanje po Hodge–Lemanovem pravilu. Kot najboljši so se izkazali stroji proizvajalca John Deere, kot najslabši pa starejši stroji ruske izdelave.

2.1.3 Ukrepi za zmanjšanje obremenitve celega telesa s tresenjem

V poglavju 2.1.1 smo opisali mogoče zdravstvene težave, ki lahko doletijo delavca, tu pa podajamo ukrepe, ki lahko zmanjšajo obremenitve s tresenjem.

Tresenje je energijsko precej močnejše kot ropot (Čudina, 2001), lahko pa ga zmanjšamo na podoben način kot ropot, in sicer tako, da vplivamo na njegov nastanek ali pa ga zmanjšujemo na poti širjenja. Na mestu nastanka tresenja lahko tresenje zmanjšujemo s spremembo konstrukcije stroja, s spremembo obremenitev motorja in s skrbnim vzdrževanjem. Na poti širjenja pa skušamo preprečiti prenos tresenja na sosednje vezne dele stroja z vzmetmi, dušilkami in elastomernimi izolatorji.

Različni avtorji (Frumerie, 1999; Tiemessen in sod., 2007; Jack in Oliver, 2008) podajajo naslednja priporočila za zmanjšanje vpliva tresenja na gozdarskih strojih: izboljšanje drže strojnika; zmanjševanje ponavljajočih se gibov ter zmanjševanje izpostavljenosti tresenju celega telesa, ki zajema primerno vzmetenje oz. dušenje treseljajev na sedežu; vzmetenje kabine in osovin; nižji tlak v pnevmatikah, uporaba kovinskih gosenic; učenje strojnika ter pravilna razporeditev odmorov. Najpomembnejši dejavniki, ki vplivajo na tresenje traktorjev, so: tip stroja, vrsta podlage tal, tlak v pnevmatikah in sedež (Melemez in Tunay, 2010).

Pri drži strojnika težimo k optimalnemu položaju, na to pa vpliva oblika kabine. Kabino konstruiramo tako, da strojnik za uporabo komandnih sistemov in pregled nad okolico stroja ne potrebuje prisiljene drže. Za izboljšanje drže strojnika se uporabljajo vrtljivi sedeži in avtomatsko vrtljive in nivelirane kabine (t. i. PendoTM kabine), ki se uporabljajo predvsem pri stroju za sečnjo (Bottoms in Barber, 1978; Gellerstedt, 1998). Ponavljajoče gibe lahko zmanjšamo s pomočjo naslonjal za roke in s primerno razporeditvijo elementov za upravljanje (Hansson, 1990). Pri zmanjševanju ponavljajočih se gibov je pomembno izobraževanje, saj izkušenejši strojniki uporabljajo manj nepotrebnih gibov (Gellerstedt, 2002).

Izpostavljenost tresenju celega telesa lahko zmanjšamo s primernim tlakom v pnevmatikah ter s primernim sedežem. Povečan tlak v pnevmatikah povečuje obremenitev celega telesa s tresenjem v obeh horizontalnih smereh (Sherwin in sod., 2004). Jakost tresenja se povečuje s hitrostjo vožnje in z vožnjo po neravnem terenu, zmanjšuje pa se s težo bremena (Cation in sod., 2008). Večina sedežev je narejenih tako, da najbolje dušijo tresenje v vertikalni osi (Donati, 2002) ter slabše v horizontalnih smereh. Izbiro sedeža je potrebno prilagoditi stroju, načinu dela in terenskim razmeram. V vozilo mora biti nameščen sedež, ki je prilagojen dinamičnim lastnostim vozila. Nevzmeten sedež povečuje vertikalna tresenja pri nizkih in visokih hitrostih vožnje. Mehanično vzmeten sedež duši tresenje samo pri nizki hitrosti (Boileau in Rakheja, 1990). Najbolj primerno je viskozno

dušenje oz. magnetno reološko blaženje z logičnim krmilnikom (Guglielmino in sod., 2005). Pri vzmetenju kabine namestijo nizkofrekvenčne blažilce med šasijo in kabino (poznano tudi pri PendoTM kabinah). Pri zgibnih polprikoličarjih je bil tehnološki napredek viden v zmanjšanju obremenitev v smereh Y in Z pri prazni vožnji ter v smereh X in Z pri polni vožnji (Gellerstedt, 1998).

Poleg tehničnih ukrepov so pomembni tudi organizacijski. Zahteve po večji produktivnosti in dolgi delovniki verjetno vplivajo na slabšo produktivnost in večajo obremenjenost (Gellerstedt, 2002). Pomembno je izobraževanje strojnika, saj obstajajo razlike med strojniki, ki so se usposabljali, in med tistimi, ki niso bili na usposabljanju (Kirk in sod., 1997). Pri strojnikih, ki so bili na usposabljanju, se namreč zmanjša čas opravljanja posamezne operacije, število napak, manj je ponavljajočih se gibov, kar na koncu vodi k višji produktivnosti. Pomembna je pravilna razporeditev odmorov, kjer je ključno razmerje med časom izpostavljenosti in vmesnimi odmori, najbolje pa je, da strojnik vzame odmor, ko se čuti utrujenega (Tucker, 2003). Velikost obremenitev s tresenjem je lahko tudi subjektivnega izvora – različne psihomotorične sposobnosti in motiviranost posameznika. Smiselno je opravljati periodičen nadzor delovnega okolja in zdravstveni nadzor zaposlenih (Bilban, 1999).

2.2 OBREMENITVE Z ROPOTOM

2.2.1 Vpliv obremenitev z ropotom na zdravje

Učinke ropota delimo na auralne učinke oz. tiste, ki prizadanejo sluh in se pojavljajo pri očitljivih ljudeh nad 70 dB(A), ter na ekstraauralne učinke. Strokovnjaki ocenjujejo, da je varna meja 75 dB(A), kar pomeni, da pri tem ropotu po 8 ur dnevno ni verjetnosti, da bi se izpostavljenemu v 40-letni delovni dobi zaradi ropota zmanjšala občutljivost za dojetanje zvoka. Ropot kot ekstraauralni dejavnik lahko vpliva na: prebavo, izločanje želodčnih sokov, izločanje hormonov, padec kožne temperature, razširitev zenic in privede do motenj v prekrvavitvi številnih notranjih organov (Bilban, 1999).

Pri delu z zgibnim polprikoličarjem je glede na slovensko zakonodajo (Pravilnik, 2006) obremenitev z ropotom običajno pod dopustnimi mejami (Seixas, 1999; Messingerova 2005), kljub temu pa so posledice ropota kot ekstraauralnega dejavnika lahko resne. Pri posameznikih prizadene sposobnost pomnjenja oz. povzroči utrujenost možganov – moti bioelektrični potencial možganov (raztresenost, razdražljivost, duševna labilnost, upad motivacije) ali pa delavec zaradi močnega trenutnega ropota ali tresenja ne sliši določenega signala ali pa ne izvede npr. nezaželenega premika stroja (Ljungberg in Neely, 2007; Bilban 1999). Zaradi sprememb v živčno hormonskem sistemu prihaja do pospešenega razvoja arterioskleroze ter tveganja za koronarne bolezni (Bilban, 1999). Obremenitev z ropotom sama ali v kombinaciji s tresenjem pri posameznikih, ki so bolj občutljivi za

tovrstne obremenitve, lahko povzroči (biološki) stres in povišano koncentracijo kortizola v krvi (Ljungberg in Neely, 2007). V pregledu literature in v svojih rezultatih avtorja ugotavljata, da so bili ob prisotnosti zvoka moteni miselni procesi, vendar pa pri relativno kratkoročni izpostavljenosti ropotu (30 minut) pri 78 dB(A) in tresenju $1,1 \text{ m/s}^2$ r.m.s. ni bilo zaznati prizadetosti izvajanja miselnih operacij. Človek je bolj občutljiv na ropot višjih frekvenc od 500 do 5000 Hz, pod in nad to mejo pa občutljivost na zaznavo ropota pada (Bilban, 1999). Avtor tudi poudarja, da je prag občutljivosti na ropot pri nekaterih posameznikih nižji, pri drugih pa višji.

2.2.2 Obremenitev z ropotom pri delu z zgibnimi polprikoličarji in traktorji

Poleg opravil z motorno žago se pri traktoristu največje vrednosti ekvivalentne jakosti ropota pojavljajo pri polni (94,03 dB(A)) in prazni vožnji (91,96 dB(A)) ter ostalih delovnih operacijah, ki jih traktorist opravlja s pomočjo traktorja (Žunič, 2010). Traktoristi, ki pri svojem delu uporabljajo tehnološko starejše stroje, so v splošnem bolj obremenjeni z ropotom kot tisti, ki uporabljajo sodobnejše traktorje (Žunič, 2010, Poje, 2011).

Raziskava na zgibnem traktorju Ecotrac 120V kaže, da je traktorist v delovnem času preobremenjen z ropotom, tako glede na konično (140,7 dB(C)) kakor tudi korigirano ekvivalentno jakostjo ropota (89,7 dB(A)). Pri prazni vožnji je izmerjena obremenitev z ropotom dosegla 83,9 dB(A), pri polni vožnji pa 84,8 dB(A) (Obranovič, 2013). Gerasimov in Sokolov (2014) sta za zgibnik Timberjack 460D pri polni vožnji zabeležila ekvivalentno jakost ropota od 81,5 dB(A) do 84 dB(A), pri prazni vožnji pa od 78 dB(A) do 82 dB(A).

Žunič (2014) je na podlagi analize ropota za pet različnih zgibnih polprikoličarjev prišel do zaključkov, da je bila največja jakost ropota zabeležena v času prazne in polne vožnje. Osemurna obremenitev (LA_{ex8h}) brez vpliva radia in odprte kabine je znašala 77,9 dB(A), z vplivom radia in odprte kabine pa 82,6 dB(A) in je presegla spodnjo opozorilno mejo Evropske direktive 2003/10/EC ter Pravilnika o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu (2006). Avtor tudi ugotavlja, da je obremenitev z ropotom višja pri daljši spravi in razdalji in pri večjem številu kosov v bremenu. Značilno povišan ropot je bil ugotovljen tudi pri poslušanju radia (3,6 dB(A)) oz. pri odprti kabini (11,9 dB(A)).

Na Slovaškem, na območju Zahorie, so opravili meritve na zgibnem polprikoličarju Timberjack 1110D (Messingerova in sod., 2005). Ekvivalentna jakost ropota je pri polni in prazni vožnji znašala 76,4 dB(A) oz. 77,1 dB(A), pri nakladanju in razkladanju pa 72,2 dB(A) oz. 71,9 dB(A). Avtorji so prišli do zaključka, da ima zgibni polprikoličar v

primerjavi s strojem za sečnjo za 4 dB(A) višjo ekvivalentno jakost ropota, kot vzrok pa navajajo, da stroj deluje z višjimi obrati motorja.

V Braziliji so opravljali meritve ropota na treh zgibnih polprikoličarjih Valmet 636 (Seixas in sod., 1999). V prostem teku je ekvivalentna jakost ropota znašala 69,9 dB(A), dodatnih 5,1 dB(A) je prispevala klima, še dodatnih 0,8 dB(A) pa radio. Ob pričetku snemanja obremenitev z ropotom so radio ugasnili in dobili naslednje vrednosti ekvivalentne jakosti ropota po delovnih operacijah: nakladanje 76 dB(A), prazna vožnja od 76 do 81 dB(A) ter razkladanje od 74 do 76 dB(A).

Gerasimov in Sokolov (2014) sta v Kareliji poleg obremenitev s tresenjem preučevala tudi obremenitve z ropotom strojnikov zgibnih polprikoličarjev in strojev za sečnjo. Meritve so bile opravljene na ravnini ter peščeno-ilovnatih tleh, torej v razmerah, ki so drugačne od tistih na kraških planotah. Vrednosti ekvivalentne jakosti ropota so se pri zgibnih polprikoličarjih gibale od 66 dB(A) do 79 dB(A) pri prazni vožnji, od 69 dB(A) do 77 dB(A) pri polni vožnji ter od 63 dB(A) do 68 dB(A) pri nakladanju. Vrednosti pri zgibnikih so višje, saj pri polni in prazni vožnji presegajo spodnjo opozorilno vrednost (80 dB(A)) glede na evropsko zakonodajo (Direktiva 2003/10/ES).

2.2.3 Ukrepi za zmanjšanje obremenitev z ropotom

Ropot ni zaželen, zato ga skušamo zmanjšati na najnižjo možno raven. Navajamo nekaj praktičnih ukrepov za zmanjševanje ropota (Bilban, 1999; Čudina, 2001):

1. Pravno upravni ukrepi:
 - Predpisana mejna vrednost za stroje in okolje.
 - Periodičen nadzor nad delovnim okoljem.
 - Zdravstveni nadzor zaposlenih.
2. Tehnični ukrepi:
 - Zmanjšanje sil, ki vzbujajo nihanje, z naslednjimi ukrepi: zmanjšanje sile trenja, pravilna montaža in mazanje (pri izvoru).
 - Dušenje širjenja s pomočjo pregrad in akustičnih oblog (na poti k sprejemnikom).
 - Sredstva za osebno varnost (pri sprejemniku). V primeru, da bi se ugotovila večja vrednost od dopustne (primer odprtega okna), bi moral delodajalec od strojnika zahtevati, da uporablja ušesne čepke ali pa glušnike za zaščito pred ropotom.

3 NAMEN IN HIPOTEZE

Namen magistrske naloge je ugotoviti obremenitve delavca z ropotom in tresenjem celega telesa ter primerjati ugotovitve s sprejetimi dopustnimi mejami. Glede na dosedanje objave bomo spravilo lesa z zgibnimi poprikoličarji primerjali z ostalimi obstoječimi tehnologijami, kot so npr. spravilo lesa s prilagojenimi kmetijskimi traktorji ali zgibniki.

V raziskavi smo postavili dve osnovni hipotezi, in sicer:

1. Obremenitve strojnika zgibnega polprikoličarja z ropotom so nižje od primerjanih s traktorji ter pod dopustnimi mejami glede na veljavne pravilnike v RS.

Ad 1.) Dosedanje raziskave kažejo, da je strojnik zgibnega polprikoličarja v primerjavi s traktoristom izpostavljen jakostim ropota, ki so manjše od mejnih vrednosti Evropske direktive 2003/10/EC ter Pravilnika o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu (2006), zato enako pričakujemo tudi za delovne razmere visokega krasa.

2. Obremenitve strojnika zgibnega polprikoličarja s tresenjem so nižje od primerjanih s traktorji ter pod dopustnimi mejami glede na veljavne pravilnike v RS.

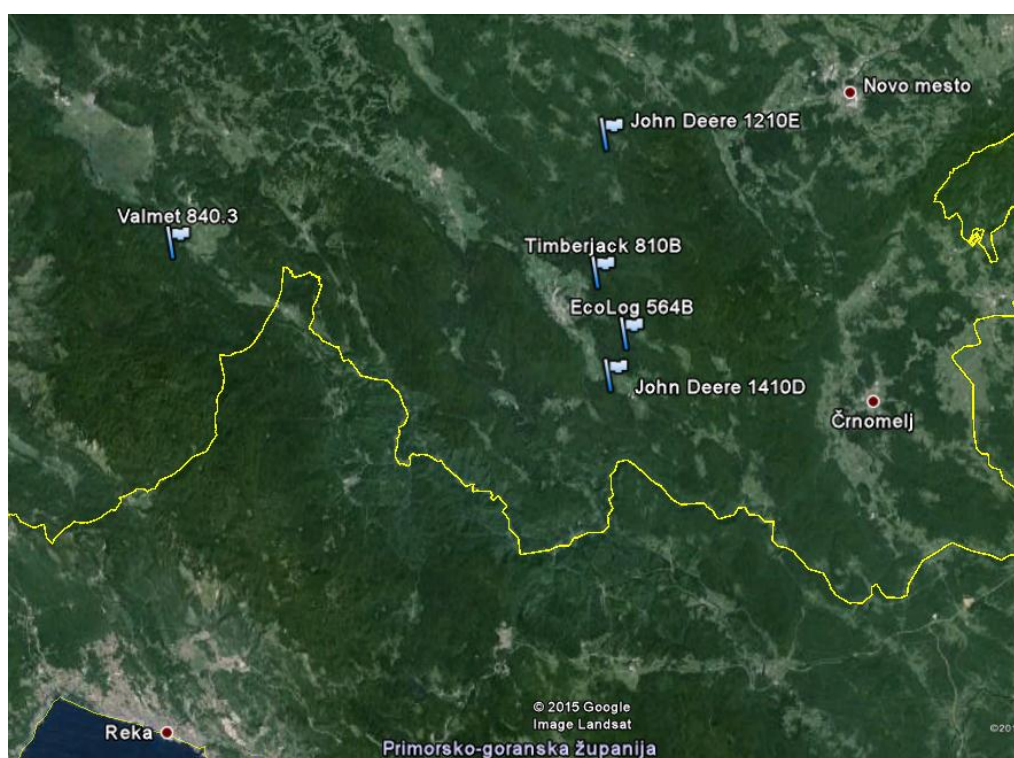
Ad 2.) Dosedanje raziskave kažejo, da je strojnik zgibnega polprikoličarja v primerjavi s traktoristom izpostavljen jakostim tresenja, ki so manjše od mejnih vrednosti Evropske direktive 2002/44/EC ter Pravilnika o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti tresenju pri delu (2005), zato enako pričakujemo tudi za delovne razmere visokega krasa.

4 OBJEKTI IN METODE RAZISKOVANJA

V tem poglavju podajamo podroben opis delovišč, strojev in strojnikov, postopek izdelave časovne študije, metode in inštrumente za snemanje obremenitev ter enačbe in postopek za izračun in primerjavo obremenitev z veljavno zakonodajo.

4.1 SPLOŠNO O OBMOČJU, OBJEKTU RAZISKOVANJA IN LASTNOSTIH DELAVCEV

Raziskovalni objekti so se nahajali na območju slovenskega visokega dinarskega krasa, na petih različnih lokacijah (slika 1). Na prvih štirih deloviščih, ki so se nahajala na gozdno-gospodarskem območju (GGO) Kočevje, je delo potekalo v sestojih, ki so bila drugotno spremenjena v smrekovja, njihova naravna fitocenološka združba pa pripada gradnovim bukovjem na izpranih tleh na apnencu (*Hedero-Fagetum*). Na vseh deloviščih je delo potekalo v drogovnjakih, kjer se je sočasno izvajala izredna sečnja zaradi sanacije žarišč lubadarja, predvsem pa zaradi žledoloma. Zadnje, peto delovišče, je ležalo na Snežniškem območju (GGO Postojna), kjer je potekala sanacija žledoloma v naravnih fitocenoloških združbah dinarsko jelovega bukovja s posamično primesjo smreke (*Omphalodo-Fagetum festucetosum*) in termofilnega gozda črnega gabra in bukve (*Ostryo-Fagetum*).



Slika 1: Položaj delovišč na jugu Slovenije - Kočevski in Snežniški gozdovi (Google Earth, 2015)

4.1.1 Delovišče JD 1410D

Z meritvami na delovišču smo pričeli na GGO Kočevje, gozdno-gospodarski enoti (GGE) Mozelj, v oddelekih 53A in 53B s krajevnim imenom Mozelske staje (preglednica 1). Meritve smo opravili na starejšem stroju proizvajalca John Deere z nosilnostjo 14 t (slika 2), ki ga je upravljal mlad delavec z dvoletnimi delovnimi izkušnjami. Spravilo izključno lesa iglavcev je potekalo navzgor. Vlake in sečne poti z manjšim deležem kamnitosti so omogočale dober oprijem koles, brez zdrsov (slika 3). Spravilna razdalja za vseh pet ciklov je v povprečju znašala okoli 250 m, povprečni kos pa je imel 0,11 m³.

Preglednica 1: Lastnosti delovišča, delovnih razmer, stroja in strojnika na delovišču JD 1410D

DELOVIŠČE	GGO	Kočevje
	GGE	Mozelj
	ODD	53A in 53B
	Fitoceloška združba	<i>Hedero – Fagetum</i>
	Drevesna sestava	97 % iglavcev in 3 % listavcev
DELOVNE RAZMERE	Delež iglavcev v bremenu	100 %
	Ocenjen povprečen kos v bremenu	0,11 m ³
	Smer spravila	Navzdol
	Stanje vlake	Vlažna zemljina, ugrez do 5 cm, zemljata, brez ovir
	Povprečna razdalja polne vožnje	255 m
	Kamnitost vlake	10 %
STROJ	Tip	John Deere 1410D Eco III
	Starost	7 let (letnik 2007)
	Št. obratovalnih ur	11500
	Vzdrževanje (datum)	8. 5. 2014; vsakih 500 ur
	Verige/gosenice	Na prikolici kovinske gosenice, na traktorju verige
	Nosilnost	14 t
	Kabina	Nevrtljiva
	Lastništvo	Gozdarstvo Grča d.d. in GG Novo mesto d.d.
TOVARNIŠKI PODATKI O STROJU	Motor	Tip: John Deere 6068H; 129 kW pri 2000 obratov/min (prostornina: 6,8 l; 6 valjev)
	Navor	780 Nm pri 1300-1400 obratih/min
	Teža	16500-17500 kg
	Vlečna sila	175 kN
	Dolžina roke	10 m
STROJNIK	Starost	28 let
	Delovni staž	9 let
	Izkušnost	2 leti na zgibnem polprikoličarju, opravi izobraževanje
	Dolžina delovnika	8 h



Slika 2: John Deere 1410D pri razkladanju lesa



Slika 3: Stanje vlak na delovišču JD 1410D

4.1.2 Delovišče JD 1210E

Drugo delovišče se je nahajalo v GGE Grintovec, v oddelkih 131A in 131B (preglednica 2). Meritve smo opravili na novjšem stroju proizvajalca John Deere z nosilnostjo 13 t (slika 4), ki sta ga upravljala dva strojnika. Na tem stroju je med časom snemanja prišlo do zamenjave delavcev zaradi druge izmene. Na obeh deloviščih John Deere je dela izvajala slovenska gozdarska družba. Delovišče je po terenskih in sestojnih razmerah podobno prvemu, po delovnih pa ne. Pri štirih ciklih je spravilo potekalo navzgor, v splošnem je bil teren bolj strm (slika 5). Povprečen kos je bil večji, število kosov pa manjše kot na prvem delovišču. Skupna količina lesa na delovišču je znašala 450 m³.

Preglednica 2: Lastnosti delovišča, delovnih razmer, stroja in strojnika na delovišču JD 1210E

DELOVIŠČE	GGO	Kočevje
	GGE	Grintovec
	ODD	131A in 131B
	Fitoceloška združba	<i>Hedero – Fagetum</i>
	Drevesna sestava	97 % iglavcev in 3 % listavcev
DELOVNE RAZMERE	Delež iglavcev v bremenu	100 %
	Ocenjen povprečen kos v bremenu	0,13 m ³
	Smer spravila	Navzgor in navzdol
	Stanje vlake	Vlažna zemljina, ugrez do 5 cm, zemljata s primesjo kamenja (25 %), brez ovir.
	Povprečna razdalja polne vožnje	272 m
	Kamnitost vlake	25 %
STROJ	Tip	John Deere 1210E Eco III
	Starost	1,5 leta
	Št. obratovalnih ur	3289
	Vzdrževanje (datum)	April 2014
	Verige/gosenice	Na prikolici kovinske gosenice, na traktorju verige.
	Nosilnost	13 t
	Kabina	Vrtljiva
	Lastništvo	Gozdarstvo Grča d.d. in GG Novo mesto d.d.
TOVARNIŠKI PODATKI O STROJU	Motor	Tip: John Deere PowerTech Plus 6068; Moč: 140 kW pri 1900 obratih/min, (prostornina: 6,8 l; 6 valjev).
	Navor	780 Nm pri 1400 obratih/min.
	Teža	18100 kg
	Vlečna sila	175 kN
	Dolžina roke	10 m
STROJNIK 1	Starost	28 let
	Delovni staž	9 let
	Izkušenosť	3,5 let na zgibnem polprikoličarju
	Dolžina delovnika	8h
STROJNIK 2	Starost	27 let
	Delovni staž	10,5 let
	Izkušenosť	2 leti na zgibnem polprikoličarju
	Dolžina delovnika	8 h



Slika 4: John Deere 1210E, Smuka



Slika 5: Stanje vlak na delovišču JD 1210E

4.1.3 Delovišče TIMB 810B

Tretje delovišče se je nahajalo v GGE Željne-Laze, v oddelkih 57A in 57B s krajevnim poimenovanjem Pri treh lipah oz. Rudniški lager (preglednica 3). Meritve smo opravili na starejšem stroju proizvajalca Timberjack z nosilnostjo 8,5 t (slika 6), ki je imel verige nameščene le na na dveh kolesih zgibnega polprikoličarja ter za prva dva cikla le eno kovinsko gosenico na polprikolici. Stroj je upravljal strojnik s komaj enim tednom delovnih izkušenj z delom na zgibnem polprikoličarju, dela pa je izvajalo zasebno slovensko podjetje. Sestojne razmere so podobne kot na prvih dveh deloviščih. Spravilo je potekalo večinoma ravno, po razmočenih vlakah, na katerih je tudi zaradi slabe dodatne opreme, kot so gosenice in verige, prihajalo do zdrsov koles (slika 7). Stroj je na posamezen cikel prepeljal največ sortimentov, povprečni sortiment pa je bil najmanjši. Tudi pravilna razdalja je v primerjavi z vsemi ostalimi delovišči najdaljša in znaša okoli 400 m.

Preglednica 3: Lastnosti delovišča, delovnih razmer, stroja in strojnika na delovišču TIMB 810B

DELOVIŠČE	GGO	Kočevje
	GGE	Željne-Laze
	ODD	57A in 57B
	Fitoceloška združba	<i>Hedero – Fagetum</i>
	Drevesna sestava	85 % iglavcev in 15 % listavcev
DELOVNE RAZMERE	Delež iglavcev v bremenu	100 %
	Ocenjen povprečen kos v bremenu	0,07 m ³
	Smer spravila	Ravno
	Stanje vlake	Razmočena zemljina, ugrez do 10 cm, zemljata s primesjo kamenja (10 %), brez ovir
	Povprečna razdalja polne vožnje	393 m
	Kamnitost vlake	10 %
STROJ	Tip	Timberjack 810B
	Starost	>15 let
	Št. obratovalnih ur	/
	Vzdrževanje (datum)	/
	Verige/gosenice	Verige na 2. boogie sistemu.
	Nosilnost	10 m ³
	Kabina	Nevrtljiva
	Lastništvo	Andrej Črešnar s.p.; Šmartno na Pohorju
TOVARNIŠKI PODATKI O STROJU	Motor	Tip: Perkins 1004-40T, Moč: 81 kW pri 2400 obratih/min. (4 valji)
	Navor	394 Nm pri 1400 obratih/min.
	Teža	10400 – 11200 kg
	Vlečna sila	110 kN
STROJNIK	Starost	30
	Delovni staž	8 let
	Izkušnost	1 teden, ni imel posebnega izobraževanja za stroj
	Dolžina delovnika	8–10 h



Slika 6: Timberjack 810B pri razkladanju bremena, Željne



Slika 7: Stanje vlak na delovišču TIMB 810B

4.1.4 Delovišče CAT 564B

Četrto delovišče se je nahajalo v GGE Mozelj, v oddelkih 30A, 30B, 33A, 37A, 37B, 38A s krajevnim poimenovanjem Trije križi (preglednica 4). Meritve smo opravili na stroju proizvajalca Caterpillar z nosilnostjo 12 t (slika 8), ki ga je upravljal izkušen strojnik. Prvič smo zasledili, da je strojnik sortimente nakladal kar med premikom. Avstrijsko zasebno podjetje je dela izvajalo v podobnih sestojnih razmerah, kot so opisane pri prejšnjih deloviščih. Prevladovalo je spravilo navzdol, teren ni bil strm. Na delovišču smo imeli primer menjave matične podlage, zato se razlikuje tudi stanje vlak. Pri prvih štirih ciklih so bile vlake precej razmočene, posledično pa je bil velik tudi ugrez, na nekaterih predelih celo do matične podlage (cca 40 cm), pri petem ciklu pa je bila vlaka suha (slika 9). Povprečna pravilna razdalja je znašala 300 m, število prepeljanih kosov pa je podobno prejšnjim deloviščem.

Preglednica 4: Lastnosti delovišča, delovnih razmer, stroja in strojnika na delovišču EcoLog 564B

DELOVIŠČE	GGO	Kočevje
	GGE	Mozelj
	ODD	30A, 30B, 33A, 37A, 37B, 38A
	Fitoceloška združba	<i>Hedero – Fagetum</i>
	Drevesna sestava	97 % iglavcev in 3 % listavcev
DELOVNE RAZMERE	Delež iglavcev v bremenu	100 %
	Ocenjen povprečen kos v bremenu	0,13 m ³
	Smer spravila	Navzgor in navzdol
	Stanje vlake	Štirje cikli razmočena zemljina, velik ugrez, brez ovir. Zadnji cikel vlažna zemljina, ugrez do 5 cm, zemljata s primesjo kamenja (10 %), brez ovir.
	Povprečna razdalja polne vožnje	305 m
	Kamnitost vlake	10 %
STROJ	Tip	(CAT) EcoLog 564B
	Starost	7 let (letnik 2007)
	Št. obratovalnih ur	7500
	Vzdrževanje (datum)	15. 6. 2014
	Verige/gosenice	Kovinske gosenice na traktorju in prikolici.
	Nosilnost	12 t
	Kabina	Nevrtljiva
	Lastništvo	Broman Holz OEG (Erwin Broman), Loibach, Gutensteinerstrasse 1, 9150 Bleiburg (Pliberk), Koroška, Avstrija.
TOVARNIŠKI PODATKI O STROJU	Motor	Tip: Caterpillar; Moč: 129,8 kW (prostornina: 6 l, 6 valjev)
	Navor	695 Nm
	Teža	16500 kg
STROJNIK	Starost	27 let
	Delovni staž	9 let
	Izkušnost	8 let na zgibnem polprikolničarju
	Dolžina delovnika	0–24 h



Slika 8: Caterpillar EcoLog 564B, Mozelj



Slika 9: Stanje vlak na delovišču CAT 564B

4.1.5 Delovišče VAL 840.3

Peto delovišče se je nahajalo na GGO Postojna v GGE Snežnik, v oddelku 1E s krajevnim poimenovanjem Vrtača (preglednica 5). Meritve smo opravili na stroju proizvajalca Komatsu z nosilnostjo 12 t (slika 10), ki ga je upravljal izkušen strojnik. Na tem delovišču so bile sestojne, terenske in delovne razmere precej drugačne kot na prejšnjih deloviščih. Dela v drogovnjakih in debeljaki v fitocenološki združbi *Omphalodo-Fagetum* je izvajalo zasebno avstrijsko podjetje. Smer spravila za vseh pet ciklov je bila navzdol, na vlakah je bilo več večjih skal, na njih pa je ležalo veliko debelejših vej. Vlake so bile suhe (slika 11) vendar najbolj strme. Posamezni sortimenti bukve so dosegali tudi večje volumne, prevladovalo pa je spravilo črnega gabra. Spravilna razdalja je bila najkrajša, okoli 200 m. Prepeljano je bilo najmanjše število kosov, povprečen kos pa je bil z $0,14 \text{ m}^3$ največji.

Preglednica 5: Lastnosti delovišča, delovnih razmer, stroja in strojnika na delovišču VAL 840.3

DELOVIŠČE	GGO	Postojna
	GGE	Snežnik
	ODD	1E
	Fitoceloška združba	<i>Omphalodo-Fagetum festucetosum, Ostryo-Fagetum</i>
	Drevesna sestava	84 % lst. in 16 % igl. (drogovnjaki), 93 % lst. in 7 % igl. (debeljaki)
DELOVNE RAZMERE	Delež iglavcev v bremenu	0 % - šlo je za spravilo listavcev
	Ocenjen povprečen kos v bremenu	$0,14 \text{ m}^3$
	Smer spravila	Navzdol
	Stanje vlake	Suha zemljina, ugrez do 5 cm, zemljata s primesjo kamenja (40 %), ovire – večje skale, veliko debelejših vej, razmetanih po vlaki.
	Povprečna razdalja polne vožnje	212 m
	Kamnitost vlake	40 %
STROJ	Tip	Valmet 840.3
	Starost	6 let
	Št. obratovalnih ur	10000
	Vzdrževanje (datum)	Mali servis vsakih 500 ur, 1000 ur veliki.
	Verige/gosenice	Kovinske gosenice na traktorju.
	Nosilnost	12 t
	Kabina	Nevrtljiva
	Lastništvo	Holzschlägerung Unterrainer Gerhard, Herbstheim 59; 5251 Höhnhart, Salzburška, Avstrija.
TOVARNIŠKI PODATKI O STROJU	Motor	Tip: SISU Diesel 66 435 CTA, Moč: 125 kW pri 2000 obratih/min. (prostornina: 6,6 l, 6 valjev)
	Navor	705 Nm pri 1500 obratih/min.
	Teža	17460 kg
STROJNIK	Starost	42
	Delovni staž	25
	Izkušnost	5 let na zgibnem polprikoličarju
	Dolžina delovnika	12–13 h



Slika 10: Valmet 840.3 pri nakladanju bukovine



Slika 11: Stanje vlak na delovišču VAL 840.3

4.2 METODE RAZISKOVANJA

4.2.1 Shema poskusa

Glede na namen raziskave smo želeli na vsakem delovišču posneti 5 ciklov spravila lesa, kar bi nam omogočalo statistično ovrednotenje razlik v obremenitvah strojnikov z ropotom in tresenjem med delovišči. To nam v celoti ni uspelo, saj je na delovišču TIMB 810B spravilo lesa potekalo zelo počasi in smo ga zaradi dogovora s strojnikom na naslednjem delovišču predčasno zaključili. Skupno smo tako uspeli posneti 24 ciklov spravila lesa z zgibnimi polprikoličarji.

4.2.2 Časovna študija in opredelitev delovnega časa

Preučevanje časa je uporaba določenih metod z namenom, da določimo časovne dimenzije nekega dela in izračunamo normative časa. Namen preučevanja časa ter metod dela je prispevati k racionalnejši izrabi človeških in materialnih sil pri vsaki konkretni aktivnosti (Winkler, 1997: 19). V našem primeru smo s časovno študijo ugotavljali predvsem strukturo delovnega časa oz. časa, ki ga je delavec porabil za posamezne delovne operacije. Časovna študija nam je tudi omogočila, da smo lahko za posamezne delovne operacije določili obremenitve z ropotom in tresenjem.

Za časovno študijo smo uporabili kontinuirano metodo snemanja, po kateri merimo čas nepretrgoma od začetka do konca delovnega procesa in beležimo le časovne meje med posameznimi elementi časa.

Delovni čas smo razdelili na produktivni čas in neproduktivni čas. Produktivni čas smo nadalje delili na naslednje delovne operacije:

- Prazna vožnja: Delovna operacija, v kateri se zgibni polprikoličar pelje v sestoj z namenom, da naloži novo breme. Začne se, ko strojnik vstopi v zgibni polprikoličar, konča pa v sestoji, ko strojnik prične z nalaganjem. Prazna vožnja je delovna operacija, s katero se začne nov cikel spravila lesa.
- Nakladanje: Delovna operacija, v kateri strojnik zgibnega polprikoličarja premakne nakladalno roko. Začne se s premikom roke, konča pa v trenutku, ko so sortimenti naloženi in strojnik prične s premikom stroja do naslednjega bremena.
- Premik: Delovni postopek, ki se prične, ko se zgibni polprikoličar začne premikati iz enega mesta zbiranja lesa na drugo ter konča, ko se zgibni polprikoličar ustavi z namenom, da bi dopolnil breme, ki ga vozi.
- Polna vožnja: Začne se s premikom zgibnega polprikoličarja v sestoji po končanem nalaganju, konča pa se z zaustavitvijo stroja na pomožnem skladišču in pričetkom razkladanja.
- Razkladanje: Čas, potreben za razložitev posameznih sortimentov. Prične se, ko strojnik zaustavi stroj na pomožnem skladišču in premakne nakladalno roko. Postopek se nadaljuje, dokler strojnik ne razloži vseh sortimentov. Vmes lahko pride tudi do premika med razkladanjem.

Neproduktivni čas je bil sestavljen iz naslednjih zastojev:

- Zastoji zaradi delovnih sredstev: v te zastoje smo uvrstili čas, ki je bil potreben za dolivanje goriva in demontažo gosenic.
- Zastoj zaradi organizacije dela: čas priprave ali iskanja tovora, pogovor s strojnikom stroja za sečnjo, zamenjava strojnikov na stroju.

- Zastoji zaradi osebnih potreb: čas, porabljen pri uživanju pijače, za telefoniranje, kajenje, opravljanje male potrebe.

Pri snemanju smo beležili tudi zastoj zaradi meritev, ki ga predstavlja čas za namestitev in kontrolo merilnih naprav ter pravilen potek meritev. Zastoja zaradi meritev nismo zajeli v obdelavo podatkov.

4.2.3 Inštrumenti in postopki merjenja

Za snemanje ropota in tresenja smo na vseh strojih uporabili iste inštrumente. Ropot smo snemali v zaprtih kabinah zgibnih polprikoličarjev ob delavčevem ušesu s pomočjo mikrofona Brüel&Kjaer 4189. Razmak od mikrofona do ušesa je bil od 20 do 30 cm. Jakost posnetega zvoka po različnih frekvencah, filtriranega z zvočnima filtroma A in C ter brez filtra (Z), se je vsako sekundo shranila v merilnik Brüel&Kjaer 2250. Merilnik smo s pomočjo vakuumskega nosilca pritrdili na šipo v kabini. Ropot smo neprekinjeno snemali preko celotnega časa meritev. Radio je bil v času meritev v vseh strojih ugasnjen. Pri spravi na delovišču Timberjack 810D je bilo v dveh ciklih priprto okno v bližini izpušne cevi.



Slika 12: Položaj naprave Brüel&Kjaer 2250 za merjenje ropota v kabini zgibnega polprikoličarja

Za merjenje jakosti tresenja smo uporabili merilnik Brüel&Kjaer 4447 in akcelerometer Brüel&Kjaer 4524. Snemanje obremenitev celotnega telesa s tresenjem smo izvedli z uporabo adapterja za sedež Brüel&Kjaer 4515-B-002. Naprava beleži jakosti tresenja v treh medsebojno pravokotnih smereh (X, Y, Z) in njihovo rezultanto oz. vektorsko velikost (VTV). Vse smeri so utežene s pripadajočimi filtri za celo telo (Wd, Wk). Adapter smo na sedež pritrdili z lepilnim trakom (slika 13), vedno tako, da je bila os X akcelerometra usmerjena v smer vožnje (naprej – nazaj), os Y prečno na njo (levo – desno) ter os Z pravokotno na obe osi v vertikalni smeri (gor – dol). Merilnik smo namestili v zaščitno torbo, le-to pa smo obesili na sedež zgibnega polprikoličarja. Merilnik smo s kablom

povezali z akcelerometrom, tako da strojnika ni ovirala pri delu. Pri nastavitvah instrumenta smo upoštevali vrsto obremenitve (celo telo), uporabljen accelerometer (10 mV/ms^{-2}), triosne meritve ter sekundno shranjevanje vseh vrednosti merjenih parametrov.



Slika 13: Položaj adapterja Brüel&Kjaer 4515 na sedežu

Razdalje pri spravilu lesa z zgibnimi polprikoličarji po deloviščih in ciklih smo dobili s pomočjo naprave GPS (Garmin 60 CSx, zanesljivost podatkov $\pm 5 \text{ m}$), ki je bila ves čas meritev nameščena v strojih in je beležila lokacije strojev na delovišču. Podatke o lokacijah smo pri obdelavah iz naprave GPS prenesli v program MapSource in nato izračunali posamezne razdalje.

Oceno volumna povprečnega kosa smo dobili na podlagi nosilnosti stroja ter ocene zapolnjenosti tovornega prostora in števila kosov v bremenu, ki smo ju beležili sočasno s časovno študijo. Pri izračunu smo tako najprej nosilnost stroja zmanjšali za oceno zapolnjenosti tovornega prostora, jo delili s številom kosov ter tako dobili težo povprečnega sortimenta. Težo povprečnega sortimenta smo delili z gostoto svežega lesa za iglavce v lubju (950 kg/m^3) oz. listavce (1100 kg/m^3) ter tako dobili volumen povprečnega sortimenta. Lastnosti posameznih ciklov glede na trajanje in delovne razmere podajamo v preglednici 6.

Preglednica 6: Lastnosti posameznih ciklov po deloviščih

	CIKEL	TRAJANJE (min)	TRAJANJE (min)		RAZDALJE (m)		SMER SPRAVILA	OKNO	ŠT. KOSOV	POVP. KOS (m ³)
			Polna vožnja	Prazna vožnja	Polna vožnja	Prazna vožnja				
JD 1410D	1	44,20	4,45	3,20	335	335	Gor	Zaprto	125	0,12
	2	43,55	5,85	3,58	400	335	Gor	Zaprto	120	0,12
	3	31,47	2,95	2,93	185	195	Gor	Zaprto	128	0,08
	4	23,93	3,13	3,53	180	250	Gor	Zaprto	63	0,14
	5	36,17	2,73	3,10	175	175	Gor	Zaprto	135	0,09
	Skupaj	179,32	3,82	3,27	255	258	Gor		114,2	0,11
JD 1210E	1	20,32	1,12	0,95	143	63	Gor	Zaprto	77	0,15
	2	30,73	6,03	1,40	423	70	Dol	Zaprto	125	0,08
	3	46,93	4,98	7,25	270	380	Gor	Zaprto	150	0,09
	4	34,70	5,00	5,52	277	342	Gor	Zaprto	65	0,19
	5	39,05	4,63	3,72	247	247	Gor	Zaprto	91	0,14
	Skupaj	171,70	4,35	3,77	272	220	Gor		102	0,13
TIMB 810B	1	58,12	5,30	5,13	340	340	Ravno	Odprto	130	0,07
	2	70,78	6,17	5,73	340	361	Ravno	Odprto	117	0,08
	3	77,03	8,18	4,72	455	290	Ravno	Zaprto	122	0,07
	4	61,25	5,90	6,82	437	437	Dol	Zaprto	121	0,07
	5	/					/	/		
	Skupaj	267,18	6,39	5,60	393	357	Ravno		123	0,07
CAT 564B	1	34,85	1,62	9,40	319	521	Dol	Zaprto	145	0,09
	2	37,02	2,35	3,93	301	100	Dol	Zaprto	260	0,05
	3	7,53	2,13	2,32	30	30	Dol	Zaprto	63	0,08
	4	13,53		2,27		200	Gor	Zaprto	25	0,25
	5	61,58	7,17	22,67	569	1220	Dol	Zaprto	62	0,20
	Skupaj	154,50	3,32	8,12	305	414	Dol		111	0,13
VAL 840.3	1	20,98	4,25	5,17	220	247	Dol	Zaprto	91	0,12
	2	27,12	4,98	6,62	293	351	Dol	Zaprto	66	0,17
	3	18,78	3,13	4,43	195	257	Dol	Zaprto	90	0,12
	4	15,52	3,33	3,42	182	197	Dol	Zaprto	68	0,16
	5	15,98	3,30	3,65	168	185	Dol	Zaprto	86	0,13
	Skupaj	98,40	3,80	4,66	212	247	Dol		80	0,14

4.3 KAZALNIKI OBREMENITEV Z ROPOTOM IN TRESENJEM CELEGA TELESA, DOPUSTNE MEJE TER OBDELAVA PODATKOV

Osnovno bazo podatkov za izračun obremenitev smo pripravili tako, da smo združili časovno študijo s podatki o izmerjenih obremenitvah. Na ta način smo dobili možnost za izračun obremenitev po delovnih fazah spravila lesa. Vsi podatki v osnovni bazi so bili zabeleženi na sekundnem intervalu. Pripravo podatkov in osnovne obdelave podatkov smo opravili s programskim orodjem MS Excel.

4.3.1 Obremenitve z ropotom

Za izračun obremenitve strojnika z ekvivalentno jakostjo ropota v delovnem času smo uporabili mednarodni standard SIST EN ISO 9612 (2009). Za izračun obremenitev z ropotom smo uporabili naslednje kazalnike: konično jakost ropota (LC_{peak}), impulzivno jakost ropota (LA_{Ieq}), ekvivalentno jakost ropota (LA_{eq}) ter ekvivalentno jakost ropota, merjeno brez utežnostnega filtra (LZ_{eq}) za frekvenčni spekter ropota med 20 do 20000 Hz.

Pri izračunavanju in vrednotenju rezultatov smo uporabili Pravilnik (2006), kjer sta predpisani mejni vrednosti izpostavljenosti in opozorilna vrednost izpostavljenosti v osemurnem delavniku s pripadajočimi koničnimi ravnmi zvočnih tlakov:

- **mejni vrednosti** izpostavljenosti: ločeno za $LEX(8h) = 87$ dB(A) in $LC_{peak} = 200$ Pa (140 dB(C)),
- **zgornji opozorilni vrednosti** izpostavljenosti: ločeno za $LEX(8h) = 85$ dB(A) in $LC_{peak} = 140$ Pa (137 dB(C)),
- **spodnji opozorilni vrednosti** izpostavljenosti: ločeno za $LEX(8h) = 80$ dB(A) in $LC_{peak} = 112$ 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.

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

ravni ropota merjeni istočasno. Impulzivni ropot v nekem elementu dela smo izračunali podobno kot LAeq.

Konično jakost ropota v delovni operaciji, delu časa ali za delovišče skupno smo izračunali kot maksimum vseh izmerjenih sekundnih vrednosti konične jakosti ropota v času računanega elementa dela s pomočjo enačbe 1.

$$LC_{peak} = \max LC_{peak\ i} \quad \dots(1)$$

$$\begin{aligned} LC_{peak} &= \text{konična vrednost ropota v dB(C)} \\ LC_{peak\ i} &= \text{konična vrednost ropota i-tega intervala v dB(C)} \end{aligned}$$

Srednjo vrednost jakosti ropota, ki ustreza fiziološkemu učinku nihajočega ropota, imenujemo ekvivalentna jakost ropota in visoke jakosti, za katere je človek bolj občutljiv, mnogo bolj upošteva kot nizke jakosti ropota enakega trajanja (Čudina, 2001). ISO standard (SIST EN ISO 9612:2009) opredeljuje postopke izračunavanja obremenitev z ropotom. Za izračun obremenjenosti z ropotom (LAeq) po delovnih operacijah in ciklih smo uporabili enačbo 2.

$$L_{ekv} = 10 * \log^* \left(\frac{1}{T} \sum (t_i * 10^{0,1L_i}) \right) \quad \dots (2)$$

$$\begin{aligned} L_{ekv} &= \text{ekvivalentna jakost ropota v dB(A)} \\ L_i &= \text{ekvivalentna jakost ropota i-tega intervala v dB(A)} \\ t_i &= \text{trajanje i-tega intervala} \\ T &= \text{celotno trajanje} \end{aligned}$$

Obremenitev strojnika po deloviščih je izračunana kot povprečna vrednost obremenitev po ciklih (enačba 3).

$$L_{ekv} = 10 * \log^* \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (10^{0,1L_i}) \right) \quad \dots (3)$$

$$\begin{aligned} L_{ekv} &= \text{ekvivalentna jakost ropota v dB(A)} \\ L_i &= \text{ekvivalentna jakost ropota i-tega cikla v dB(A)} \\ N &= \text{število ciklov} \end{aligned}$$

Za pripravo frekvenčnih porazdelitev ropota smo LZeq vrednosti korigirali z utežnostim fitrom A, ki prilagodi zvok občutljivosti človekovega ušesa.

4.3.2 Obremenitve celega telesa s tresenjem

Pri obdelavi podatkov smo se opirali na zbornik (Guide to good practice on Whole-body vibration, 2008) za vrednotenje obremenitev s tresenjem, ki je nastal na podlagi evropske zakonodaje (Direktiva 2002/ 44/ EC) in mednarodnega standarda ISO 2631/ 1.

Obremenitve s tresenjem se lahko ugotavljajo preko povprečnih jakosti tresenja (RMS – kvadratična sredina, ang.: root mean square) ali kot vsota jakosti tresenja (VDV – skupna doza tresenja, ang. vibration dose value) po vseh treh smereh (X, Y, Z) in njihovih vektorskih velikosti (VTV, ang. vector total value). V splošnem se pri vrednotenju obremenitev poroča vrednosti RMS, v primeru tresenja z nenadnimi sunki pa tudi vrednosti VDV. Poroča se vrednosti po vseh treh smereh ter njihovo skupno vrednost (Guide to good practice on Whole-body vibration, 2008). Ker je kazalnik VDV nasprotno od kazalnika RMS kumulativna vrednost, njegova vrednost narašča s časom merjenja. To pomeni, da je v primeru uporabe kazalnika VTV nujno poznavanje trajanja meritev. V nasprotju z vrednotenjem obremenitev s tresenjem rok in dlani pri vrednotenju obremenitev celega telesa s tresenjem škodljivost bolje kot skupne obremenitve (vrednosti VTV) prikazujejo obremenitve po posameznih smereh. Glede na standard ISO 2631/1 pri vrednotenju tako upoštevamo najvišjo vrednost za delovni čas glede na smer X, Y ali Z, VTV pa le v primeru enakih jakosti po smereh.

Poleg Vodil dobrega ravnanja (2008) smo pri obdelavi podatkov in vrednotenju obremenitev upoštevali tudi Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti tresenju pri delu (2005) in evropsko direktivo (2002/44/ES). Pravilnik (2005) predpisuje naslednje mejne ter opozorilne vrednosti izpostavljenosti za tresenje celotnega telesa:

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

Za izračun obremenitve s tresenjem celega telesa (RMS) po delovnih operacijah in skupno smo uporabili enačbo 4.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum RMS\ Y_i^2 \times t_i}{\sum t_i}} \quad \dots (4)$$

$RMS\ Y$ = kazalniki tresenja RMS po smereh (X, Y, Z, VTV) za celo telo 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)

Za izračun skupne doze tresenja (VDV) po delovnih operacijah in skupno smo uporabili enačbo 5. Izračunane vrednosti so normalizirane na trajanje 7,5 ur oz. 27000 sekund, posredno pa tudi na delovni čas 8 ur, če upoštevamo, da v času glavnega odmora strojnik ni v stroju.

$$VDV = \sqrt[4]{\frac{\sum VDV_i^4 \times t_i}{\sum t_i} \times \frac{\sum t_i}{\sum t_{ij}}} \times 27000 \quad \dots (5)$$

VDV	=	skupna doza tresenja v $m/s^{1,75}$
VDV_i	=	i -te vrednosti 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)

4.3.3 Statistične metode

Za ugotavljanje razlik med stroji glede na obremenitve z ropotom in tresenjem smo se poslužili statističnih metod. Podatke smo obdelali s programom IBM SPSS Statistics, verzija 21. Opravili smo statistično primerjavo obremenitev z ropotom in s tresenjem med delovišči in med delovnimi operacijami. Za ugotavljanje statistično značilnih razlik smo uporabili kazalnike LA_{eq} , RMS VTV ter VDV VTV.

Vzorec je bil pri analizi razlik med obremenitvami z ropotom med delovišči sestavljen iz 25 enot (5 ciklov $\times$ 5 delovišč), pri analizi razlik med delovnimi operacijami produktivnega časa pa iz 123 enot (5 ciklov $\times$ 5 operacij $\times$ 5 delovišč), pri čemer sta za CAT 564B izpadla enkrat delovna operacija premik, drugič pa polna vožnja. Na delovšču TIMB 810B smo pri analizi obremenitev z ropotom iz dveh ciklov, posnetih pri zaprtem oknu, ustvarili pet ciklov in to na takšen način, da smo sekundne vrednosti jakosti ropota po delovnih operacijah obeh ciklov razdelili na 5 delov ter jih nato združili v »modelne« cikle.

Pri analizi razlik med obremenitvami s tresenjem med delovišči je bil vzorec iz 24 enot, ker smo v analize vključili vse 4 posnete cikle na TIMB 810B, saj odprto okno ne vpliva na obremenitve s tresenjem.

Za preizkušanje razlik med več neodvisnimi vzorci smo uporabili neparametrične metode, Kruskal-Wallis H-test, ki je neparametrična inačica analize variance (ANOVA), za parne primerjave pa Mann-Whitney U-test. Zaradi multiplih parnih primerjav smo 5 % stopnjo značilnosti pri U-testu korigirali s korekcijo Bonferroni. Bonferroni popravek nam narekuje, da vsako hipotezo za posamezno parno primerjavo preizkusimo pri stopnji značilnosti α / n ; pri tem je α stopnja značilnosti, n pa je število hipotez. Pri preizkusu srednjih vrednosti med petimi različnimi skupami tako uporabimo 10 hipotez, za vsako

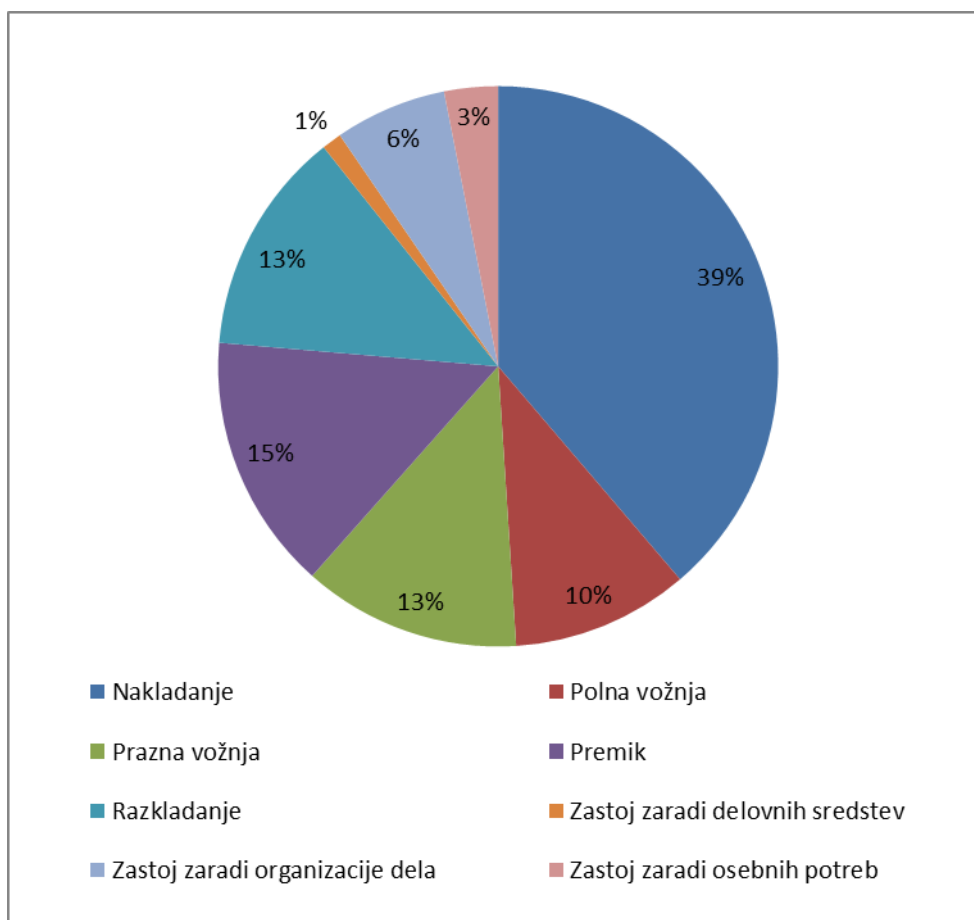
parno primerjavo po eno. Tako znaša stopnja značilnosti za pet grup po Bonferroni korekciji $\alpha = 0,005$ ($0,05 / 10$). Razlike med stroji smo ponazorili tudi na diagramu z ročaji (Box-plot). Ta vrsta diagrama prikazuje dva okvirja, spodnji prikazuje razdaljo med prvim kvartilom in mediano, zgornji pa razdaljo med mediano in tretjim kvartilom. Ročaji prikazujejo minimalno in maksimalno vrednost podatkov v analizi.

5 REZULTATI

5.1 ČAS IZPOSTAVLJENOSTI DEJAVNIKOM DELOVNEGA OKOLJA

Čas izpostavljenosti dejavnikom delovnega okolja je pomemben, saj obremenitve niso odvisne samo od jakosti ropota in tresenja celega telesa, ampak tudi od trajanja izpostavljenosti. V analizi časa izpostavljenosti nismo upoštevali zastojev, ki so nastali zaradi meritev. Vzorec petih delovišč je bil zelo nehomogen, saj smo imeli na deloviščih različne stroje, različne smeri spravila lesa in različna stanja vlak. Tako sta bila dva stroja iz slovenskega gozdarskega podjetja, ki na podlagi koncesije opravlja dela v državnih gozdovih, eden relativno nov, drugi pa z velikim številom opravljenih obratovalnih ur. Tretji, tehnološko najstarejši stroj, je bil v lasti zasebnika, strojnik pa je bil neizkušen. Četrti in peti stroj sta bila v lasti avstrijskih zasebnikov, na katerih so zelo izkušeni strojniki opravljali spravilo lesa tudi več kot 10 ur dnevno. Glede na smer spravila je na dveh deloviščih spravilo potekalo predvsem navzgor, na dveh navzdol ter na enem pretežno ravno. Stanje vlak je bilo v splošnem na vseh deloviščih dobro, razmočene vlake so bile le na delovišču TIMB 810B ter CAT 564B pri prvih treh ciklih. Na delovišču VAL 840.3 so bile vlake in sečne poti v primerjavi z vlakami na ostalih deloviščih bolj kamnite ter pokrite z debelimi vejami listavcev.

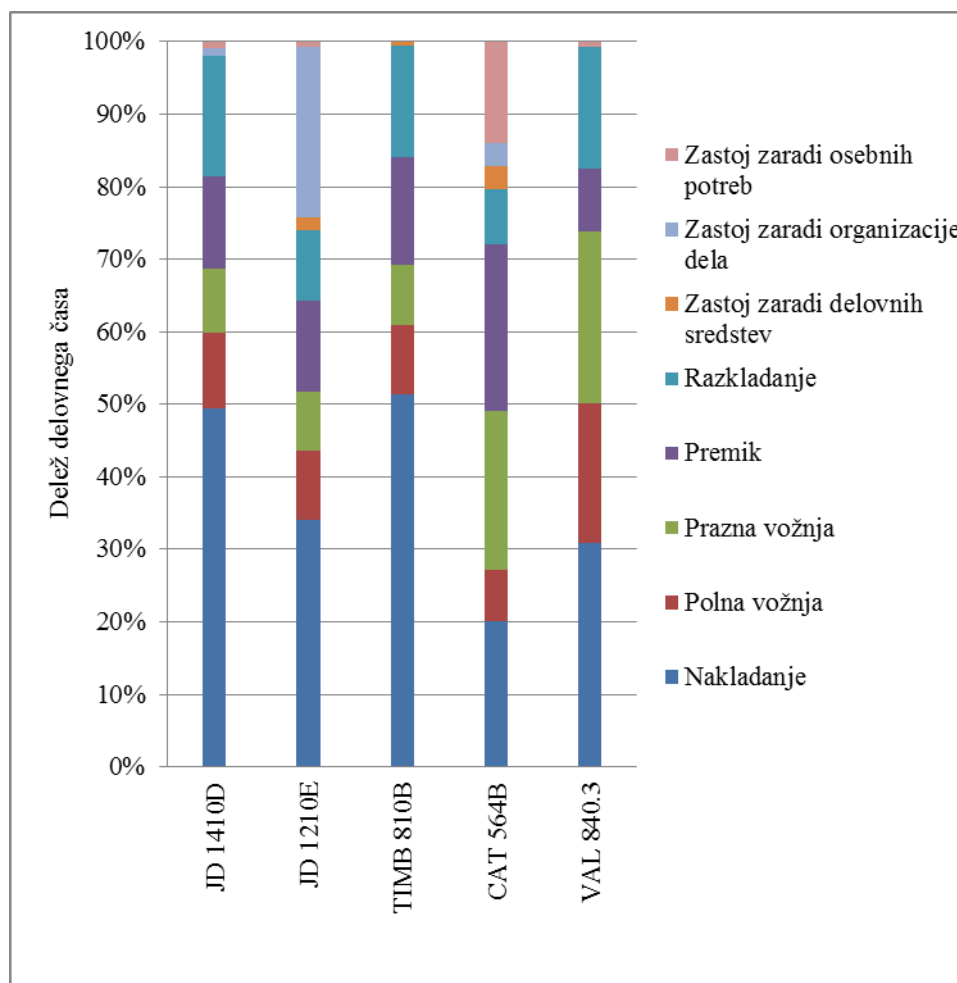
Skupna struktura časa nam prikazuje povprečno trajanje delovnih operacij pri spravilu lesa z zgibnimi polprikoličarji (slika 14). Strojniki so največ časa porabili za nakladanje (39 %), sledijo premik (15 %), razkladanje in prazna vožnja (13 %) ter polna vožnja (10 %). Neproduktivni čas je v povprečju znašal 10 % delovnega časa, od tega največ zaradi zastojev organizacije dela (6 %), manj zaradi zastojev zaradi osebnih potreb (3 %) ter najmanj zaradi zastojev zaradi delovnih sredstev (1 %).



Slika 14: Struktura posnetega časa po delovnih operacijah

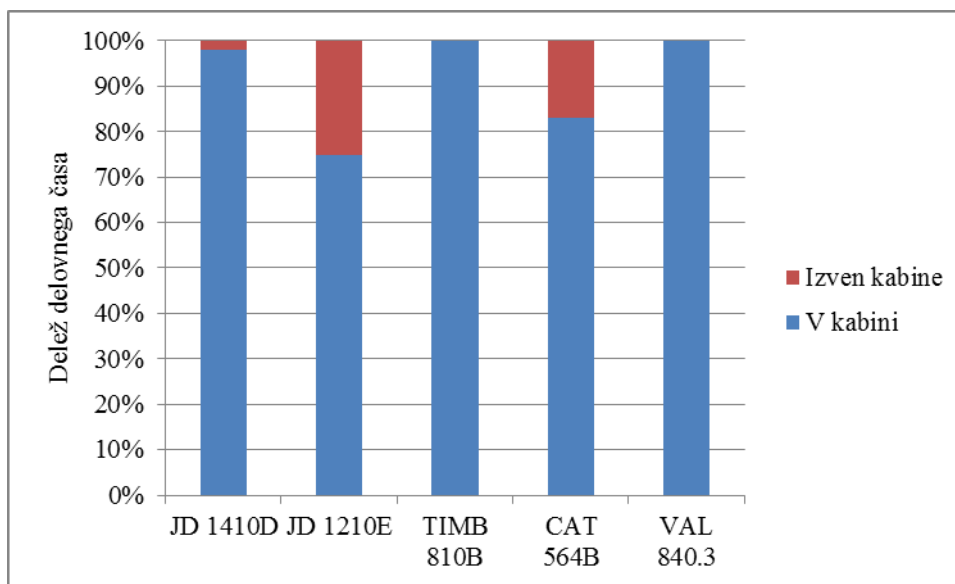
5.1.1 Struktura časa po deloviščih

Trajanje delovnih operacij je odvisno od stroja, izkušenosti in motiviranosti strojnika, koncentracije sečnje, terenskih razmer, neto drevesa, pravilne razdalje in smeri spravila. Razlike v trajanju posameznih delovnih operacij so vidne zlasti med cikli, zato v nadaljevanju podajamo strukturo posnetega časa za vsako delovišče posebej (slika 15).



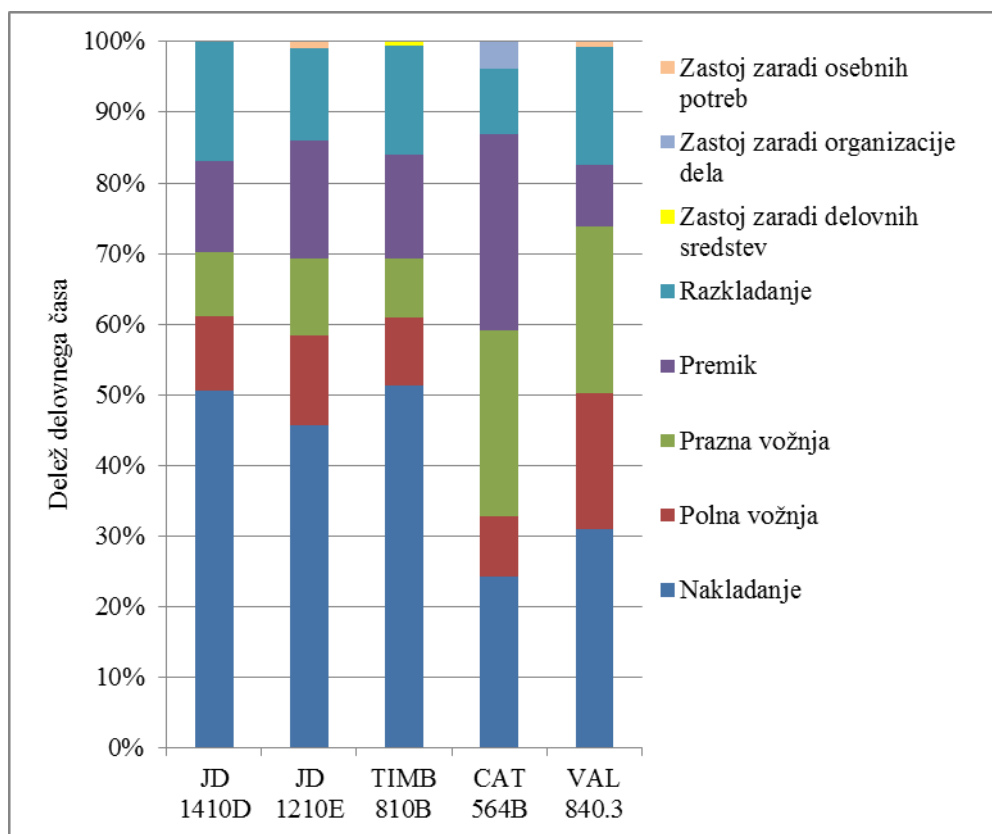
Slika 15: Struktura delovnega časa po delovnih operacijah in deloviščih

Po strukturi delovnega časa so si najbolj podobna delovišča JD 1410D, TIMB 810B in VAL 840.3, saj je bilo na vseh posnetih nad 98 % produktivnega časa, pri čemer največji del predstavljata nakladanje in razkladanje (od 31 % do 51 % oz. od 15 % do 17 %). Polna vožnja na teh deloviščih predstavlja od 10 % do 19 %, prazna pa od 8 % do 24 % delovnega časa. Na delovišču VAL 840.3 je struktura delovnega časa drugačna, saj je bila tam velika koncentracija lesa, posledično je bilo premikov med nakladanjem malo, istočasno pa smo imeli na tem delovišču najkrajše pravilne razdalje. Tako smo na delovišču VAL 840.3 zabeležili najmanjši delež polne vožnje (19 %) ter največji delež prazne vožnje (24 %). Podobne razmere smo imeli na delovišču CAT 564B, zlasti če ne upoštevamo petega cikla z najdaljšo pravilno razdaljo. Na ostalih dveh deloviščih je delež produktivnega časa nižji zaradi zastojev (74 % oz. 80 % delovnega časa), na delovišču JD 1210E predvsem zaradi zastoja zaradi organizacije, kjer je bil glavni vzrok izmena delavcev, na delovišču CAT 564B pa zaradi zastojev zaradi osebnih potreb, kjer si je strojnik privoščil odmor z malico. Na delovišču CAT 564B je strojnik nakladal les kar med premikom stroja, zato smo izmerili najmanjši delež nakladanja (20 %) ter največji delež premika stroja (23 %).



Slika 16: Deleži delovnega časa v kabini in izven kabine po deloviščih

Ker smo obremenitve strojnikov z ropotom in tresenjem ugotavljali le v času, ko so bili strojniki v kabinah, smo posebej analizirali tudi ta čas. Ugotovljeni deleži posnetega časa izven kabine po deloviščih so bili nizki in v intervalu med 2 % in 25 %, kar je posledica predvidenega načrta raziskave. Povprečni delež časa, ki ga je strojnik preživel izven kabine, je za ves posneti čas znašal 10 %.



Slika 17: Struktura delovnega časa v kabini po deloviščih

Po odstranitvi časa, ko je bil strojnik izven kabine (slika 17), je razvidno, da so si strukture časa zelo podobne med delovišči, kjer so delo opravljala slovenska podjetja ter med delovišči s tujimi izvajalci. Razlike med deloviščema, kjer sta delo izvajala tuja izvajalca, gre pripisati večjim koncentracijam lesa ter izkušeni strojnikov.

Na prvih treh deloviščih JD 1410D, JD 1210E ter TIMB 810B je tako najdlje trajala delovna operacija nakladanje (od 45 % do 51 % delovnega časa), sledita razkladanje in premik (oba od 13 % do 17 % delovnega časa). Najnižji delež delovnega časa je pripadel delovnim operacijama polna (od 10 % do 13 %) in prazna vožnja (od 8 % do 11 %). Čas izvajanja del znotraj kabine je na delovišču JD 1410D znašal 2,99 h, na delovišču JD 1210E 2,87 h in na delovišču TIMB 810B zaradi neizkušenosti strojnika kar 4,60 h.

Na zadnjih dveh deloviščih je bilo za pet ciklov spravila lesa (čas znotraj kabine) potrebnih 1,64 h (VAL 840.3) oz. 2,58 h (CAT 564B). Na delovišču CAT 564B (slika 17) je porazdelitev trajanja delovnih operacij bolj podobna delovišču VAL 840.3. Polna vožnja in razkladanje (obe po 9 %) sta glede na ostala delovišča zavzemala najmanjši delež delovnega časa. Pri treh ciklih je spravilo potekalo tako, da je strojnik sortimente večji del časa nalagal kar med premikom, premik je trajal kar 28 % delovnega časa oz. največ med vsemi, nasprotno pa na tem delovišču nakladanje v primerjavi z ostalimi delovišči zavzema

najmanjši delež (24 %). Podobno lahko ugotovimo tudi za delovišče VAL 840.3, kjer je prav tako zaradi velike koncentracije sečnje nakladanje zavzemalo relativno majhen delež delovnega časa (31 %). V primerjavi z ostalimi delovišči sta velik delež delovnega časa zavzemali delovni operaciji polna (19 %) in prazna vožnja (24 %), pri čemer je v vseh petih ciklih strojnik za izvoz uporabljal isto vlako, na kateri je bilo veliko skal in je bila zasuta z debelejšimi vejami listavcev, zato se je bil stroj primoran premikati počasneje.

Prikazana struktura delovnega časa se zaradi majhnega deleža neproduktivnega časa le malo razlikuje od strukture produktivnega časa, zato le-te ne prikazujemo posebej.

5.2 OBREMENITEV DELAVCEV Z ROPOTOM PO DELOVIŠČIH TER PRIMERJAVA Z DOPUSTNIMI MEJAMI

V nadaljevanju prikazujemo obremenitve strojnikov z ropotom v času meritev obremenitev, in to samo za čas, ko je bil strojnik v kabini. V rezultatih ne prikazujemo vrednosti obremenitev za 8-urno izpostavljenost ($L_{ex,8h}$), ker izpostavljenosti izven kabine nismo merili. Pri predpostavki, da strojnik za opravila izven kabine poleg 30-minutnega glavnega odmora porabi za ostale zastoje še 30 minut dodatnega časa, pri vseh zastojih pa je obremenitev enaka ali nižja od izmerjenih, so vrednosti, izračunane v delovnem času, primerljive $L_{ex,8h}$. Namesto $L_{ex,8h}$ pa v tabelah prikazujemo modelno vrednost $LA_{eq,kor}$ (vrednosti v oklepajih) za polurno obremenitev za opravila izven kabine, da bi bila presežena spodnja opozorilna meja dnevne izpostavljenosti (80 dB(A)). Pri tej vrednosti smo predpostavili, da je obremenitev med glavnim odmorom enaka 60 dB(A), dejanska pa je nekoliko višja (Obranovič, 2013: 67).

Preglednica 7: Obremenitev z ropotom v kabini po delovnih operacijah na delovišču JD 1410D

Delovna operacija	Snemalni čas (min)	LCpeak (dB(C))	LAeq (dB(A))	LA1eq (dB(A))	LAeq.kor (dB(A))
Nakladanje	90,6	111,3	62,2	65,4	64,2
Polna vožnja	19,1	110,6	70,0	74,3	72,2
Prazna vožnja	16,4	115,7	71,5	78,6	75,1
Premik	22,8	111,7	64,3	68,9	66,9
Razkladanje	30,5	106,4	62,5	64,4	63,3
Produktivni čas	179,3	115,7	65,8	70,9	68,4
Neproduktivni čas	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Delovni čas	179,3	115,7	65,8	70,9	68,4 (91,8)

Pri spravilu lesa na delovišču JD 1410D (preglednica 7) se vrednosti konične jakosti ropota gibljejo med 111,3 in 115,7 dB(C). Najvišje konične jakosti ropota smo beležili med delovnima operacijama prazna vožnja ter premik, nekoliko nižje pa pri nakladanju ter polni vožnji. V delovnem času je konična jakost zvočnega tlaka dosegla 115,7 dB(C) in ne presega dopustnih mej, določenih s pravilnikom (Pravilnik, 2006).

Korigirana ekvivalentna jakost ropota (preglednica 7) je bila največja med polno in prazno vožnjo in tako za vsaj 5,3 dB(A) višja kot pri ostalih delovnih operacijah. Razlika med LAeq in LA1eq vrednostjo je najvišja pri prazni vožnji (7,1 dB(A)), kar kaže na to, da se med prazno vožnjo pojavlja največ ropota z impulzivnim značajem. Korigirana ekvivalentna jakost ropota je v delovnem času dosegla vrednost 68,4 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 JD 1210E

Delovna operacija	Čas (min)	Delež delovnega časa (%)	LCpeak (dB(C))	LAeq (dB(A))	LAeq (dB(A))	LAeq.kor (dB(A))
Nakladanje	78,4	45,7	107,8	63,6	66,1	64,9
Polna vožnja	21,8	12,7	108,9	69,5	72,5	71,0
Prazna vožnja	18,8	11,0	109,8	69,1	94,4	72,1
Premik	28,6	16,7	113,0	66,9	70,8	69,0
Razkladanje	22,7	13,2	106,4	64,2	66,5	65,5
Zastoj zaradi osebnih potreb	1,5	0,9	102,1	71,4	79,5	75,8
Produktivni čas	170,3	99,1	113,0	66,2	83,6	68,1
Neproduktivni čas	1,5	0,9	102,1	71,4	79,5	75,8
Delovni čas	170,3	100,0	113,0	66,3	83,6	68,3 (91,8)

Na delovišču JD 1210E (preglednica 8) se konične jakosti ropota gibljejo med 102,1 dB(C) in 113 dB(C). Konične jakosti ropota z najvišjimi vrednostmi smo beležili med delovnimi operacijami premik, prazna vožnja in polna vožnja. Za delovni čas je konična jakost zvočnega tlaka dosegla 113,0 dB(C) in ne presega dopustnih mej, določenih s pravilnikom (Pravilnik, 2006).

Korigirana ekvivalentna jakost ropota (preglednica 8) je bila največja pri zastoju zaradi osebnih potreb, pri čemer je strojnik opravil pogovor prek mobilnega telefona ter se odžejal. Sledita prazna in polna vožnja, pri katerih je jakost ropota za vsaj 2 dB(A) višja kot pri ostalih delovnih operacijah. Razlika med LAeq in LAeq vrednostjo je najvišja pri prazni vožnji (25,3 dB(A)). Korigirana ekvivalentna jakost ropota je v delovnem času znašala 68,3 dB(A) in glede na Pravilnik (2006) ne presega spodnje opozorilne meje dnevne izpostavljenosti.

Preglednica 9: Obremenitev z ropotom v kabini po delovnih operacijah na delovišču TIMB 810B (zaprtο okno, cikel 3 in 4)

Delovna operacija	Čas (min)	Delež delovnega časa (%)	LCpeak (dB(C))	LAeq (dB(A))	LAeq (dB(A))	LAeq.kor (dB(A))
Nakladanje	72,3	52,3	131,0	72,2	80,8	75,3
Polna vožnja	14,1	10,2	113,9	75,0	76,2	75,5
Prazna vožnja	11,5	8,3	120,3	77,7	81,4	79,0
Premik	20,1	14,5	104,2	73,9	75,2	74,5
Razkladanje	19,1	13,8	126,1	71,5	75,5	73,0
Zastoj zaradi delovnih sredstev	1,1	0,8	105,2	71,3	72,8	72,1
Produktivni čas	137,2	99,2	131	73,6	79,9	75,6
Neproduktivni čas	1,1	0,8	105,2	71,3	72,8	72,1
Delovni čas	138,3	100,0	131,0	73,6	79,9	75,6 (90,4)

Pri spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem Timberjack 810B smo posneli le 4 cikle, od tega sta bila prva dva cikla opravljena s priprtim, druga dva pa z zaprtim oknom.

Pri spravilu lesa na delovišču TIMB 810B z zaprtim oknom (preglednica 9) se najvišje konične jakosti ropota gibljejo med 104,2 dB(C) in 131 dB(C). Najvišje konične jakosti ropota se pojavljajo pri delovnih operacijah nakladanje in razkladanje, verjetno kot posledica udarcev sortimentov. Sledijo prazna vožnja, polna vožnja, premik ter zastoji. Za delovni čas konična jakost ropota znaša 131 dB(C) in ne presega dopustnih mej, določenih s pravilnikom (Pravilnik, 2006).

Korigirana ekvivalentna jakost ropota (preglednica 9) je bila pri spravilu z zaprtim oknom največja med prazno in polno vožnjo. Največ ropota z impulzivnim značajem se pojavi med nakladanjem, verjetno kot posledica udarcev po nosilcih prostora za breme. Korigirana ekvivalentna jakost ropota je v delovnem času dosegla vrednost 75,6 dB(A) in glede na Pravilnik (2006) ne presega spodnje opozorilne meje dnevne izpostavljenosti.

Preglednica 10: Obremenitev z ropotom v kabini po delovnih operacijah na delovišču TIMB 810B (odprto okno, cikel 1 in 2)

Delovna operacija	Čas (min)	Delež delovnega časa (%)	LCpeak (dB(C))	LAeq (dB(A))	LAeq (dB(A))	LAeq.kor (dB(A))
Nakladanje	64,8	50,2	112,9	82,8	83,7	82,9
Polna vožnja	11,5	8,9	111,8	89,0	89,7	89,0
Prazna vožnja	10,9	8,4	111,1	87,2	88,1	87,3
Premik	19,4	15,1	121,8	85,0	85,8	85,1
Razkladanje	21,9	17,0	113,1	82,8	83,6	82,8
Zastoj zaradi delovnih sredstev	0,6	0,4	107,3	81,7	82,4	81,7
Produktivni čas	128,4	99,6	121,8	84,6	85,5	84,7
Neproduktivni čas	0,6	0,4	107,3	81,7	82,4	81,7
Delovni čas	128,9	100,0	121,8	84,6	85,5	84,7 (0)

Pri spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem Timberjack 810B s priprtim oknom (preglednica 10) se konične jakosti ropota gibljejo med 107,3 dB(C) ter 121,8 dB(C). Najvišja konična jakost se pojavi pri delovni operaciji premik, pri ostalih delovnih operacijah pa je razmeroma konstantna, od 111,1 dB(C) do 113,1 dB(C). Konična jakost ropota za delovni čas (121,8 dB(C)) ne presega dopustnih mej, določenih s pravilnikom (Pravilnik, 2006).

Korigirana ekvivalentna jakost ropota ob priprtem oknu (preglednica 10) je bila največja pri polni in prazni vožnji ter tako za vsaj 2,2 dB(A) višja kot pri ostalih delovnih operacijah. Ob priprtem oknu ugotovimo, da ni prihajalo do večjih odstopanj med kazalcema LAeq in LAIeq. Razlika med njima je pri vseh delovnih operacijah približno enaka, in sicer okoli 1 dB(A). Korigirana ekvivalentna jakost ropota za delovni čas znaša 84,7 dB(A) in v glede na Pravilnik (2006) presega spodnjo opozorilno mejo dnevne izpostavljenosti (80 dB(A)).

Ob pogledu na rezultate obremenjenosti z ropotom pri spravilu lesa na delovišču TIMB 810B ob odprtem oknu (preglednica 10) lahko ugotovimo, da so razen konične jakosti ropota vse ostale ekvivalentne vrednosti in impulzivna jakost ropota občutno višje kot pri spravilu lesa ob zaprtem oknu, razlika pa znaša približno 10 dB(A) (preglednica 11).

Glede na naše meritve lahko zaključimo, da jakost ropota v prostem teku stroja ob zaprti kabini znaša okoli 60 dB(A), ob odprti kabini pa okoli 70 dB(A), kar lahko potrdimo z že opisano razliko 10 dB(A). Tako pri strojih v prostem teku tudi ob odprtem oknu ne prihaja do prekoračitev dopustnih mej. Do prekoračitev dopustnih mej ob odprtem oknu pa pride ob izvajanju zahtevnih delovnih operacij (preglednica 10).

Preglednica 11: Obremenitev z ropotom v kabini po delovnih operacijah na delovišču CAT 564B

Delovna operacija	Čas (min)	Delež delovnega časa (%)	LCpeak (dB(C))	LAeq (dB(A))	LAeq (dB(A))	LAeq.kor (dB(A))
Nakladanje	37,4	24,2	102,7	67,1	67,8	67,1
Polna vožnja	13,3	8,6	104,6	70,2	72,1	71,0
Prazna vožnja	40,6	26,3	122,8	70,9	72,8	71,5
Premik	42,9	27,8	108,0	69,1	70,1	69,3
Razkladanje	14,4	9,3	101,3	67,2	67,9	67,2
Zastoj zaradi organizacije dela	6,0	3,9	128,7	70,6	80,4	75,8
Produktivni čas	148,5	96,1	122,8	69,1	70,5	69,5
Neproduktivni čas	6,0	3,9	128,7	70,6	80,4	75,8
Delovni čas	154,5	100,0	128,7	69,0	71,1	69,7 (91,7)

Na delovišču CAT 564B (preglednica 11) se največja konična jakost ropota pojavi pri zastoju zaradi organizacije dela, sledijo prazna vožnja, premik, polna vožnja, nakladanje ter razkladanje. Za delovni čas je konična jakost zvočnega tlaka dosegla raven 128,7 dB(C), ki pa ne presega dopustnih mej, določenih s Pravilnikom (2006).

Najvišjo korigirano ekvivalentno jakost ropota (preglednica 11) smo zabeležili pri zastoju zaradi organizacije (75,8 dB(A)), pri čemer je strojnik opravljal telefonski klic, ter pri prazni in polni vožnji. Razlika med LAeq in LAeq vrednostjo je prav tako najvišja pri zastoju zaradi organizacije dela (9,8 dB(A)). Korigirana ekvivalentna jakost ropota za delovni čas znaša 70,2 dB(A) in glede na Pravilnik (2006) ne presega spodnje opozorilne meje dnevne izpostavljenosti.

Preglednica 12: Obremenitev z ropotom v kabini po delovnih operacijah na delovišču VAL 840.3.

Delovna operacija	Čas (min)	Delež delovnega časa (%)	LCpeak (dB(C))	LAeq (dB(A))	LAeq (dB(A))	LAeq.kor (dB(A))
Nakladanje	30,4	30,9	108,3	68,5	72,5	70,6
Polna vožnja	19,0	19,3	109,5	72,7	77,7	76,0
Prazna vožnja	23,3	23,7	116,6	73,4	80,4	77,1
Premik	8,5	8,6	103,6	70,8	75,0	73,8
Razkladanje	16,5	16,7	111,2	69,0	72,8	71,0
Zastoj zaradi osebnih potreb	0,8	0,8	130,2	75,6	88,0	81,5
Produktivni čas	97,6	99,2	116,6	71,3	77,0	74,5
Neproduktivni čas	0,8	0,8	130,2	75,6	88,0	81,5
Delovni čas	98,4	100,0	130,2	71,4	77,2	74,6 (90,8)

Na delovišču VAL 840.3 (preglednica 12) so bile konične jakosti ropota v intervalu med 103,6 dB(C) in 130,2 dB(C). Najvišjo konično jakost ropota smo zabeležili pri zastoju zaradi osebnih potreb. V produktivnem času se najvišja konična jakost ropota pojavi med prazno vožnjo, sledijo delovne operacije razkladanje, polna vožnja, nakladanje ter premik. Za delovni čas konična jakost ropota znaša 130,6 dB(C) in ne presega dopustnih mej, določenih s Pravilnikom (2006).

Korigirana ekvivalentna jakost ropota (preglednica 12) je bila največja pri zastoju zaradi osebnih potreb (81,5 dB(A)), kjer si je strojnik potešil žejo, možno pa je tudi, da je strojnik za kratek čas odprl vrata kabine. Pri zastoju smo beležili najvišjo razliko med LAeq in LAIeq. Sledita prazna in polna vožnja. Korigirana ekvivalentna jakost ropota za delovni čas znaša 74,6 dB(A) in glede na Pravilnik (2006) ne presega spodnje opozorilne meje dnevne izpostavljenosti, se pa lahko primerja z deloviščem TIMB 810B ob zaprtem oknu ter hkrati z novejšimi traktorji.

Če povzamemo rezultate tega poglavja, lahko ugotovimo, da se konična jakost ropota med delovišči giblje od 101,3 dB(C) do 131 dB(C). Visoke konične jakosti se lahko pojavijo prav pri vseh delovnih operacijah. Lahko se pojavijo pri prazni vožnji (JD 1410D), premiku (JD 1210E in TIMB 810B priprto okno), nakladanju in razkladanju (TIMB 810B zaprto okno) ali pri zastojih (CAT 564B in VAL 840.3). Konična jakost ropota na nobenem delovišču ne presega spodnje opozorilne meje (135 dB(C)), določene s Pravilnikom (2006).

Najvišje korigirane ekvivalentne jakosti ropota se na deloviščih JD 1410D, JD 1210E ter TIMB 810B pojavijo pri polni in prazni vožnji, pri strojih CAT 564B in VAL 840.3 pa pri zastojih, kjer je prihajalo do dodatnega ropota v kabini, bodisi zaradi telefonskega pogovora ali pa zaradi ostalih osebnih potreb. Pri polni in prazni vožnji so višje obremenitve z ropotom posledica višjih obratov motorja in tresenja šasije stroja pri udarcih ob ovire. Najvišje vrednosti ropota so po delovnih operacijah na obeh deloviščih s stroji John Deere ter na delovišču CAT 564B znašale okoli 75 dB(A), na delovišču VAL 840.3 81,5 dB(A), na delovišču TIMB 810B pa od 79 dB(A) ob zaprtem ter do 89 dB(A) ob priprtem oknu.

Razlika med LAeq in LAIeq vrednostjo na obeh deloviščih s stroji John Deere je bila najvišja pri prazni vožnji, verjetno kot posledica ropota motorja, zagotovo pa tudi zaradi udarcev in tresenja neobremenjene šasije stroja. Na deloviščih CAT 564B in VAL 840.3 smo najvišje jakosti ropota beležili pri zastojih, ki so bili posledica telefonskih pogovorov, lahko bi prišlo tudi do kontakta z mikrofonom, ali pa je strojnik za kratek čas odprl vrata kabine. Na delovišču TIMB 810B ob zaprtem oknu stroja do največjih razlik med LAeq in LAIeq vrednostjo prihaja pri nakladanju, kar je posledica udarcev sortimentov v šasijo stroja.

Korigirana ekvivalentna jakost ropota se za delovni čas, ko je bil strojnik v kabini, okna pa so bila zaprta, po deloviščih giblje od 68,3 dB(A) do 75,5 dB(A). Te vrednosti glede na Pravilnik (2006) ne presegajo spodnje opozorilne meje dnevne izpostavljenosti (80 dB(A)).

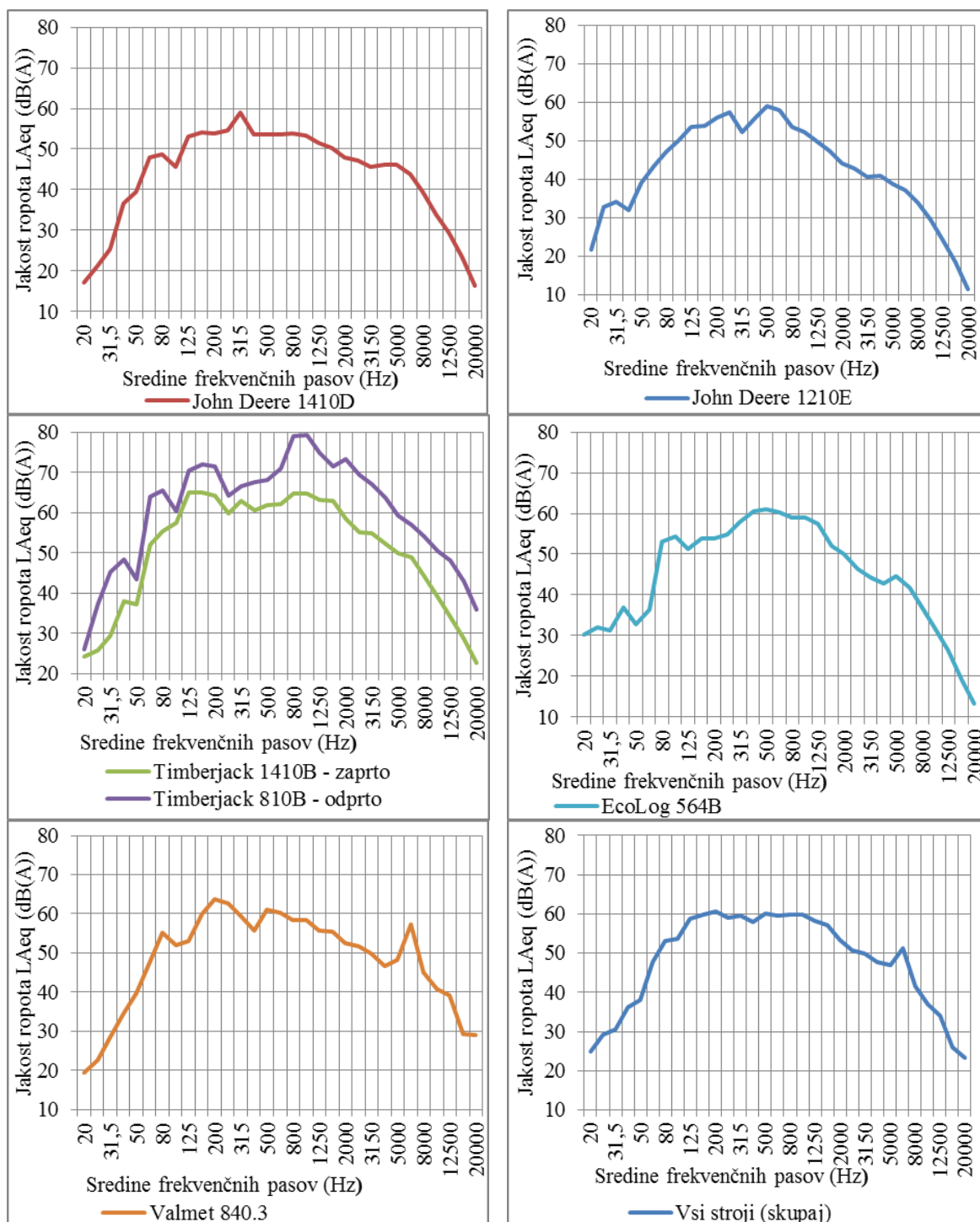
Ob priprtem oknu je za stroj Timberjack 810B korigirana ekvivalentna jakost ropota v primerjavi z zaprtim oknom za 9,1 dB(A) višja in znaša 84,7 dB(A). Ta vrednost glede na Pravilnik (2006) presega spodnjo opozorilno vrednost (80 dB(A)).

5.2.1 Frekvenčna analiza ropota med stroji za produktivni čas

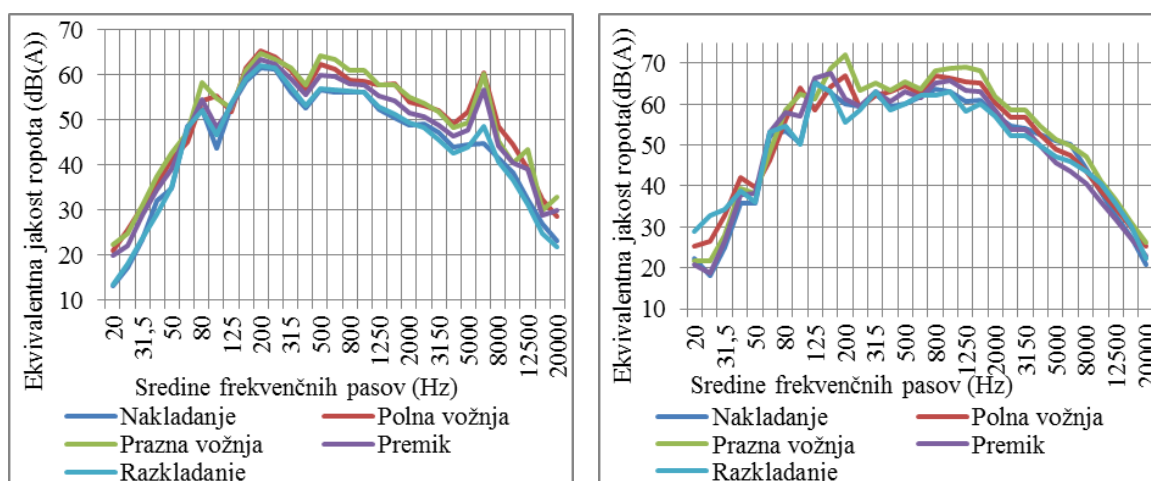
Poleg skupnih obremenitev smo za različne zgibne polprikoličarje analizirali tudi frekvenčni spekter ropota za produktivni čas v območju od 20 do 20.000 Hz (slika 18). Iz rezultatov lahko ugotovimo, da v splošnem obremenitve z ropotom v frekvenčnem območju med 50 Hz in 8000 Hz presežejo jakost ropota 40 dB(A), v območju med 63,5 Hz in 3150 Hz 50 dB(A) ter med 160 Hz in 1000 Hz 60 dB(A). Prvi lokalni maksimum (slika 18, spodaj desno) se pojavi pri 25 Hz in je posledica delovanja motorja v prostem teku, sledijo maksimumi pri 40 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 125 Hz. Ti maksimumi so posledica ropota motorja oz. obratov motorja ob različnih nivojih, lahko pa so tudi harmoniki osnovnih frekvenc motorja. Primerjava med stroji je pokazala, da se frekvenčni spektri posameznih strojev med seboj nekoliko razlikujejo. Pri nizkih frekvencah so razlike lahko posledica različnih prostornin in obratov motorja, ki jih mora zagotoviti stroj, da lahko uspešno opravlja delo v različnih delovnih razmerah. Jakosti pri visokih frekvencah so različne zaradi različne opremljenosti strojev (verige, gosenice) ter različnih talnih podlag.

Tako je bil na delovišču VAL 840.3 zgibni polprikoličar zaradi zahtevnih terenskih razmer opremljen s kovinskimi gosenicami. Na tem delovišču pri polni in prazni vožnji ter premiku opazimo izrazit lokalni maksimum pri 6300 Hz, ne pa tudi pri nakladanju lesa (slika 19). Iz tega lahko sklepamo, da ta maksimum pripada ropotu, ki ga proizvajajo gosenice pri vožnji po vlaki ali cesti. Nasprotno pa na delovišču TIMB 810B pri višjih frekvencah ne opazimo nobenega maksimuma, kar je posledica uporabe le ene gosenice na kolesih zgibne polprikolice (cikla 1 in 2) oz. ene verige (4 cikli) na kolesih ter razmočenega terena.

Stroji na deloviščih JD 1410D, CAT 564B in VAL 840.3 imajo 6-valjni motor z maksimalnim navorom pri 2000 obratih/min, kar ustreza frekvenci 100 Hz. Maksimum pri 100 Hz opazimo pri frekvenčnem spektru za stroj EcoLog 564B, pri ostalih dveh strojih pa sta maksimuma dosežena pri 80 Hz (slika 18), kar pomeni, da strojnika nista v popolnosti izkoriščala razpoložljivega navora motorja. Timberjack 810B ima 4-valjni motor z maksimalnim navorom pri 2400 obratih/min, kar ustreza osnovni frekvenci motorja pri 80 Hz, ki je tudi razviden iz frekvenčnega spektra. Od vseh ostalih frekvenčnih spektrov se najbolj razlikuje frekvenčni spekter ropota stroja na delovišču JD 1210E, ki je 6-valjni z maksimalnim navorom pri 1900 obratih/min, kar ustreza frekvenci 95 Hz, vendar to iz frekvenčnega spektra ni razvidno. To pomeni, da je stroj obratoval na zelo različnih obratih motorja, kar je lahko posledica načina dela, delovnih ali terenskih razmer. Na obliko frekvenčnega spektra namreč poleg motorja, stroja in opreme posredno vpliva tudi način dela ter delovne in terenske razmere.



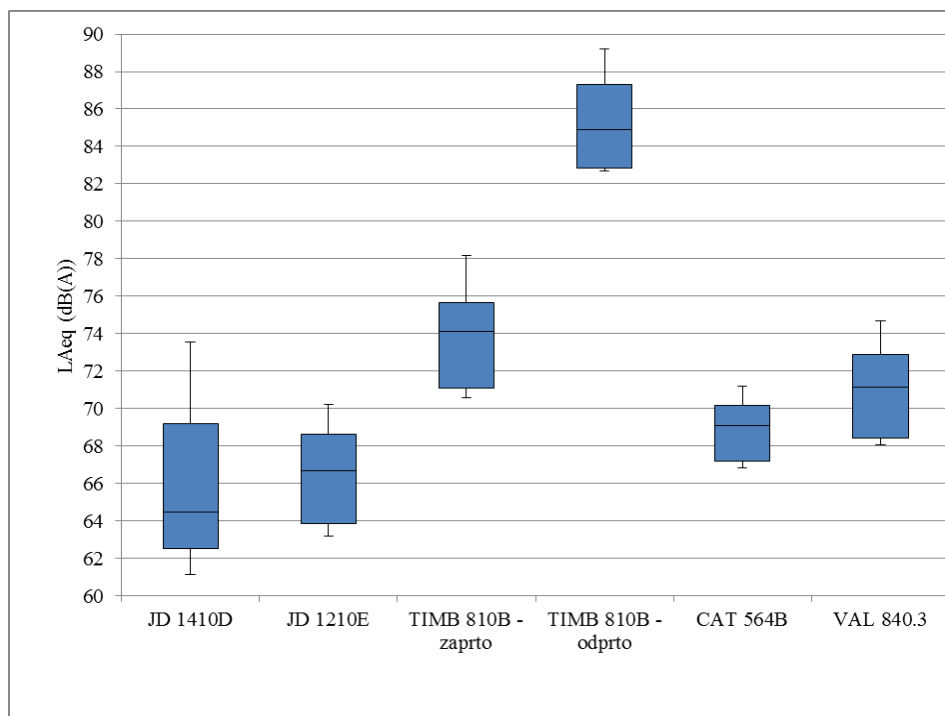
Slika 18: Frekvenčni spektri ropota po deloviščih in skupno



Slika 19: Primerjava frekvenčnih spektrov po delovnih operacijah za produktivni čas med strojema Valmet 840.3 in Timberjack 810B

5.2.2 Primerjava obremenitev z ropotom med delovišči

Statistično analizo ropota smo opravili na preučevanih deloviščih, ki so bila določena z različnimi stroji ter terenskimi in delovnimi razmerami. Pri proučevanju smo se omejili le na produktivni čas in kazalnik LA_{eq} , to je ekvivalentno jakost ropota. V analizo razlik med obremenitvami nismo vključili ciklov z delovišča TIMB 810B, kjer je spravilo potekalo ob priprtem oknu, kljub temu da jih prikazujemo na diagramu z ročaji (slika 20).



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

Mediana je vrednost, od katere ima polovica enot populacije manjše, polovica pa večje vrednosti, torej je v sredini med individualnimi vrednostmi. Mediana je mnogo manj odvisna od ekstremnih vrednosti kot aritmetična sredina, zato lahko bolje reprezentira dejansko stanje. S slike 20 lahko ugotovimo, da si obremenitve z ropotom v produktivnem času po deloviščih sledijo v naslednjem vrstnem redu od najmanjših do največjih: JD 1410D, JD 1210E, CAT 564B, VAL 840.3, TIMB 810B z zaprtim in TIMB 810B z priprtim oknom v času meritev. Vrstni red je enak vrstnemu redu, ki smo ga ugotovili pri izračunu obremenitev po kazalcu $LA_{eq,kor}$, ne pa tudi glede kazalca LC_{peak} , kjer smo najnižje vrednosti beležili za delovišče VAL 840.3, sledijo JD 1210E, JD 1410D, CAT 564B ter TIMB 810B.

Variabilnost individuanih vrednosti okoli mediane kaže na homogenost delovnih razmer, na način dela ter tudi uporabljen tip stroja. Tako je bila variabilnost ekvivalentnih jakosti ropota (slika 20) največja na delovišču JD 1410D, najmanjša pa na delovišču CAT 564B, kjer je stroj skrbno in pazljivo upravljal lastnikov sin. Razlike med obema deloviščema so lahko tudi posledica smeri spravila, ki je bila na delovišču JD 1410D navzgor, na delovišču CAT 564B pa navzdol.

Preglednica 13: Rezultati posteriorne analize med posameznimi delovišči (U-test, Bonferroni korekcija značilnost $p < 0,005$)

Statistična značilnost (p)	JD 1410D	JD 1210E	TIMB 810B	CAT 564B	VAL 840.3
JD 1410D		0,318	0,000	0,025	0,000
JD1210E	0,318		0,000	0,003	0,000
TIMB 810B	0,000	0,000		0,000	0,000
CAT 564B	0,025	0,003	0,000		0,002
VAL 840.3	0,000	0,000	0,000	0,002	

Statistični test razlik med sredinami je pokazal na značilne razlike med obremenitvami po deloviščih (K-W, $X^2 = 61,805$; $df = 4$, $p < 0,000$). S posteriorino analizo parnih primerjav (preglednica 13) nismo potrdili statistično značilnih razlik ($p > 0,005$) med delovišči JD 1410D in JD 1210E ter med JD 1410D in CAT 564B.

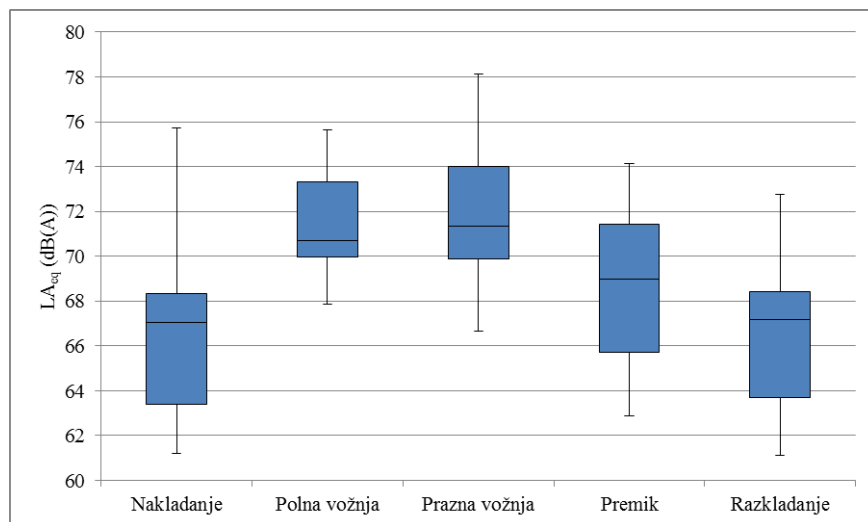
Glede na rezultate lahko delovišča v grobem razdelimo v tri skupine. Prvo tvorijo delovišča JD 1410D, JD 1210E in CAT 564B, kjer so bile obremenitve najnižje. V drugi skupini je delovišče VAL 840.3 in v zadnji, z največjimi obremenitvami, delovišče TIMB 810B. Razlogi za različne obremenitve z ropotom po skupinah so posledica značilnosti delovišč.

Razlike med delovišči med prvo in drugo skupino so lahko posledica hitrosti dela ter različne podlage. V prvi skupni so cikli v povprečju trajali med 0,52 in 0,60 ure, medtem ko so cikli v drugi skupni trajali skoraj pol manj oz. 0,33 h. Višjo hitrost dela so omogočale velike koncentracije sečnje, izkušnost strojnika ter dejstvo, da ni bilo potrebno sortirati lesa na skladišču. Posledično je nakladanje in razkladanje potekalo hitro, s polnimi prijemi klešč dvigala. Višje obremenitve nakladalne naprave so povečevale obremenitve motorja, le-te pa vplivale na višje jakosti ropota. Pretežno kamnite vlake in sečne poti, ki so bile prekrte z debelejšimi vejami listavcev, so zaradi uporabe gosenic povzročile višje obremenitve z ropotom med polno in prazno vožnjo.

V zadnji skupini, kjer so bile obremenitve z ropotom največje, so razlike najverjetneje posledica starosti in moči motorja uporabljenega stroja ter izkušenosti strojnika. V primerjavi s prvima dvema strojema je bil stroj iz te skupine tehnološko najstarejši in najmanj vzdrževan. Pri spravilu lesa so bile zaradi nižje moči motorja potrebne večje obremenitve motorja. Neizkušen delavec je pri nakladanju in razkladanju zadeval ob šasijo stroja. Vse to so razlogi, ki so domnevno prispevali k višjim obremenitvam z ropotom.

5.2.3 Primerjava obremenitev z ropotom med delovnimi operacijami

Podobno kot v prejšnjem poglavju smo analizirali tudi razlike v obremenitvah z ropotom med delovnimi operacijami, pri čemer so bila znotraj posamezne operacije zastopana vsa delovišča.



Slika 21: Primerjava ekvivalentne jakosti ropota med delovnimi operacijami za produktivni čas

Obremenitve z ropotom po delovnih operacijah si sledijo v naslednjem vrstnem redu od najmanjših do največjih (slika 21): nakladanje, razkladanje, premik, polna vožnja in prazna vožnja. Vrstni red je enak, kot smo ga ugotovili pri izračunu $LA_{eq,kor}$.

Variabilnost (slika 21) je relativno velika pri vseh delovnih operacijah. Najmanj variabilnosti je opaziti pri polni in prazni vožnji. To pomeni, da so med tema dvema operacijama dejavniki, ki vplivajo na obremenitve (npr. obremenitev motorja), najbolj konstantni. Pri premikih, razkladanju in predvsem nakladanju je prišlo do največjih odstopanj od individualnih vrednosti, kar lahko poleg različnim nivojem delovanja motorja pripišemo tudi udarcem sortimentov ob šasijo stroja.

Preglednica 14: Rezultati posteriorne analize med delovnimi operacijami (U-test, Bonferroni korekcija značilnost $p < 0,005$)

Statistična značilnost (p)	Nakladanje	Polna vožnja	Prazna vožnja	Premik	Razkladanje
Nakladanje		0,000	0,000	0,023	0,594
Polna vožnja	0,000		0,358	0,006	0,000
Prazna vožnja	0,000	0,358		0,003	0,000
Premik	0,023	0,006	0,003		0,029
Razkladanje	0,594	0,000	0,000	0,029	

Statistični test razlik med sredinami je pokazal na značilne razlike med obremenitvami po delovnih operacijah (K-W, $X^2 = 43,897$; $df = 4$, $p < 0,000$). S posteriorno analizo parnih primerjav (preglednica 14) nismo potrdili statističnih razlik med delovnima operacijama nakladanje in razkladanje ter med delovnima operacijama polna in prazna vožnja. Značilnih razlik ne moremo potrditi ob primerjavi delovne operacije premik z delovnimi operacijami nakladanje, razkladanje in polna vožnja.

Glede na rezultate lahko delovne operacije razvrstimo v dve skupini, pri prvi se stroj premika, pri drugi pa stoji. Nižje obremenitve imamo v prvi skupini, pri delovnih operacijah nakladanje in razkladanje. V drugi skupini pa imamo premik, polno in prazno vožnjo, kjer prihaja do večjih obremenitev, predvsem zaradi višjih obratov motorja.

5.3 OBREMENITEV DELAVCEV S TRESENJEM CELEGA TELESA TER PRIMERJAVA Z DOPUSTNIMI MEJAMI

Pri analizi obremenitev strojnika s tresenjem smo enako kot pri analizi obremenitev strojnika z ropotom upoštevali samo čas, ko se je strojnik nahajal v kabini.

Preglednica 15: Obremenitev s tresenjem v kabini po delovnih operacijah na delovišču JD 1410D

Delovna operacija	Čas (min)	RMS X (m/s^2)	RMS Y (m/s^2)	RMS Z (m/s^2)	RMS VTV (m/s^2)	VDV X ($\text{m/s}^{1,75}$)	VDV Y ($\text{m/s}^{1,75}$)	VDV Z ($\text{m/s}^{1,75}$)	VDV VTV ($\text{m/s}^{1,75}$)
Nakladanje	90,6	0,14	0,20	0,14	0,36	2,60	3,70	2,57	7,58
Polna vožnja	19,1	0,24	0,49	0,36	0,85	2,74	5,69	4,99	10,88
Prazna vožnja	16,4	0,44	0,71	0,61	1,32	4,71	8,08	8,05	16,57
Premik	22,8	0,20	0,29	0,22	0,54	2,37	3,61	2,85	7,20
Razkladanje	30,5	0,12	0,18	0,13	0,33	1,89	2,32	1,87	5,05
Produktivni čas	179,3	0,20	0,33	0,26	0,60	5,03	8,69	8,38	17,60
Delovni čas	179,3	0,20	0,33	0,26	0,60	5,03	8,69	8,38	17,60

Strojnik na delovišču JD 1410D je bil v produktivnem času glede na kazalnik RMS VTV najbolj obremenjen med opravljanjem delovnih operacij prazna vožnja, polna vožnja in premik (preglednica 15). Po jakosti tresenja sledita delovni operaciji nakladanje in razkladanje. Pri primerjavi jakosti tresenja po smereh smo ugotovili, da so pri vseh delovnih operacijah jakosti tresenja najvišje v aksialni smeri (Y), manjše v vertikalni (Z) in najmanjše v horizontalni smeri (X). Vse naštetu velja tudi za analizo obremenitev glede na skupno dozo tresenja (VDV).

Obremenitev celega telesa s tresenjem za delovišče JD 1410D (preglednica 15) je po kazalniku RMS VTV in VDV VTV v delovnem času znašala $0,60 \text{ m/s}^2$ oz. $17,60 \text{ m/s}^{1,75}$ in tako presega opozorilno vrednost dnevne izpostavljenosti, določeno v Pravilniku ... (2005). Če pa za vrednotenje uporabimo najvišjo jakost tresenja po smereh, opozorilna meja ni presežena, saj je najvišja vrednost po smereh, vrednost v aksialni smeri ($0,33 \text{ m/s}^2$ oz. $8,83 \text{ m/s}^{1,75}$), nižja od $0,50 \text{ m/s}^2$ oz. $9,10 \text{ m/s}^{1,75}$.

Preglednica 16: Obremenitev s tresenjem v kabini po delovnih operacijah na delovišču JD 1210E

Delovna operacija	Čas (min)	RMS X (m/s ²)	RMS Y (m/s ²)	RMS Z (m/s ²)	RMS VTV (m/s ²)	VDV X (m/s ^{1,75})	VDV Y (m/s ^{1,75})	VDV Z (m/s ^{1,75})	VDV VTV (m/s ^{1,75})
Nakladanje	78,4	0,18	0,16	0,18	0,38	3,18	2,85	2,83	7,55
Polna vožnja	21,8	0,26	0,51	0,43	0,91	2,95	6,21	6,13	11,60
Prazna vožnja	18,8	0,43	0,72	0,64	1,33	4,67	8,52	8,20	16,13
Premik	28,6	0,25	0,38	0,36	0,73	3,23	5,22	5,47	10,43
Razkladanje	22,7	0,15	0,15	0,17	0,34	1,98	2,00	2,14	4,88
Zastoj zaradi osebnih potreb	1,5	0,08	0,09	0,15	0,22	0,99	1,05	2,13	3,24
Produktivni čas	170,3	0,24	0,36	0,33	0,69	5,28	9,33	9,12	17,85
Neproduktivni čas	1,5	0,08	0,09	0,15	0,22	0,99	1,05	2,13	3,24
Delovni čas	170,3	0,24	0,36	0,33	0,68	5,29	9,33	9,12	17,85

Obremenitve s tresenjem na delovišču JD 1210E (preglednica 16) so zelo podobne delovišču JD 1410D, tako glede na absolutne vrednosti obremenitev in vrstni red operacij po obremenitvah, kot tudi glede na vrednotenje obremenitev. Pri primerjavi jakosti tresenja po smereh smo pri polni in prazni vožnji najvišje jakosti ugotovili v smeri Y, pri nakladanju v smeri X, pri premiku in razkladanju pa v smeri Z. Vse naštetu velja tudi za analizo obremenitev glede na skupno dozo tresenja (VDV).

Obremenitev celega telesa s tresenjem za delovišče JD 1210E (preglednica 16) je po kazalniku RMS VTV in VDV VTV v delovnem času znašala 0,68 m/s² oz. 17,85 m/s^{1,75} in presega opozorilno vrednost dnevne izpostavljenosti, določeno s Pravilnikom (2005). Najvišja jakost tresenja, vrednotena po smereh, presega opozorilno mejo glede na kazalnik VDV, ne pa tudi glede na kazalnik RMS, saj je najvišja vrednost po smereh, vrednost v aksialni smeri 9,33 m/s^{1,75}, višja od 9,10 m/s^{1,75}.

Preglednica 17: Obremenitev s tresenjem v kabini po delovnih operacijah na delovišču TIMB 810B

Delovna operacija	Čas (min)	RMS X (m/s ²)	RMS Y (m/s ²)	RMS Z (m/s ²)	RMS VTV (m/s ²)	VDV X (m/s ^{1,75})	VDV Y (m/s ^{1,75})	VDV Z (m/s ^{1,75})	VDV VTV (m/s ^{1,75})
Nakladanje	137,1	0,23	0,36	0,23	0,64	4,91	6,45	4,66	12,27
Polna vožnja	25,6	0,42	0,36	0,38	0,86	4,39	3,79	4,46	9,71
Prazna vožnja	22,4	0,41	0,71	0,45	1,23	4,02	7,04	4,80	12,43
Premik	39,5	0,39	0,46	0,29	0,89	4,80	5,82	4,39	11,51
Razkladanje	41,0	0,26	0,35	0,19	0,64	3,70	4,70	2,70	8,87
Zastoj zaradi delovnih sredstev	1,7	0,21	0,19	0,15	0,42	1,57	1,57	1,03	3,36
Produktivni čas	265,5	0,30	0,41	0,27	0,77	6,63	8,81	6,53	16,77
Neproduktivni čas	1,7	0,21	0,19	0,15	0,42	1,57	1,57	1,03	3,36
Delovni čas	267,2	0,30	0,41	0,27	0,77	6,63	8,82	6,54	16,78

Obremenitve s tresenjem na delovišču TIMB 810B (preglednica 17) so glede na vrednotenje obremenitev podobne prejšnjima deloviščema, glede vrstnega reda po delovnih operacijah pa obstaja razlika. Tako je najbolj obremenjujoča delovna operacija prazna vožnja, sledijo premik, polna vožnja ter nakladanje in razkladanje. Pri primerjavi jakosti tresenja po smereh smo ugotovili, da so pri vseh delovnih operacijah, razen pri polni vožnji, jakosti tresenja najvišje v aksialni smeri (Y) in najmanjše v horizontalni smeri (X). Vse naštetu velja tudi za analizo obremenitev glede na skupno dozo tresenja (VDV).

Obremenitev celega telesa s tresenjem za delovišče TIMB 810B (preglednica 17) je po kazalniku RMS VTV in VDV VTV v delovnem času znašala 0,77 m/s² oz. 16,78 m/s^{1,75} in tako glede na Pravilnik (2005) presega opozorilno vrednost dnevne izpostavljenosti. Glede na najvišjo jakost tresenja po smereh opozorilna meja ni presežena, saj je najvišja vrednost po smereh, podobno kot v predhodnih primerih, vrednost v aksialni smeri (0,41 m/s² oz. 8,82 m/s^{1,75}), nižja od 0,50 m/s² oz. 9,10 m/s^{1,75}.

Preglednica 18: Obremenitev s tresenjem v kabini po delovnih operacijah na delovišču CAT 564B

Delovna operacija	Čas (min)	RMS X (m/s ²)	RMS Y (m/s ²)	RMS Z (m/s ²)	RMS VTV (m/s ²)	VDV X (m/s ^{1,75})	VDV Y (m/s ^{1,75})	VDV Z (m/s ^{1,75})	VDV VTV (m/s ^{1,75})
Nakladanje	37,4	0,11	0,13	0,18	0,29	1,70	2,47	2,51	5,16
Polna vožnja	13,3	0,20	0,42	0,26	0,70	2,02	4,70	2,51	7,76
Prazna vožnja	40,6	0,26	0,56	0,31	0,91	3,87	10,13	7,83	17,16
Premik	42,9	0,18	0,31	0,21	0,54	2,76	4,55	3,97	8,73
Razkladanje	14,4	0,09	0,12	0,15	0,26	1,14	1,33	1,36	3,15
Zastoj zaradi organizacije dela	6,0	0,04	0,08	0,08	0,15	0,57	1,17	1,15	2,17
Produktivni čas	148,5	0,19	0,36	0,23	0,62	4,19	10,35	8,00	17,64
Neproduktivni čas	6,0	0,04	0,08	0,08	0,15	0,57	1,17	1,15	2,17
Delovni čas	154,5	0,18	0,36	0,23	0,61	4,19	10,35	8,00	17,64

Obremenitve s tresenjem celega telesa so na delovišču CAT 564B (preglednica 18) glede absolutnih vrednosti obremenitev glede na kazalnik RMS VTV podobne vsem prejšnjim deloviščem, glede vrstnega reda delovnih operacij pa deloviščema JD 1410D in JD 1210E. Pri delovnih operacijah nakladanje in razkladanje so najvišje obremenitve v vertikalni smeri. Vse naštetu velja tudi za analizo obremenitev glede na skupno dozo tresenja (VDV).

Obremenitev celega telesa s tresenjem za delovišče CAT 564B (preglednica 18) je po kazalniku RMS VTV in VDV VTV v delovnem času znašala 0,61 m/s² oz. 17,64 m/s^{1,75} in tako glede na Pravilnik (2005) presega opozorilno vrednost dnevne izpostavljenosti ter je skoraj identična delovišču JD 1410D. Glede na najvišjo jakost tresenja po smereh je opozorilna meja presežena le za kazalnik VDV, saj je najvišja vrednost po smereh, vrednost v aksialni smeri 10,35 m/s^{1,75}, višja od 9,10 m/s^{1,75}.

Preglednica 19: Obremenitev s tresenjem v kabini po delovnih operacijah na delovišču VAL 840.3.

Delovna operacija	Čas (min)	RMS X (m/s ²)	RMS Y (m/s ²)	RMS Z (m/s ²)	RMS VTV (m/s ²)	VDV X (m/s ^{1,75})	VDV Y (m/s ^{1,75})	VDV Z (m/s ^{1,75})	VDV VTV (m/s ^{1,75})
Nakladanje	30,4	0,20	0,31	0,24	0,57	3,01	4,67	4,16	8,87
Polna vožnja	19,0	0,55	0,90	0,48	1,55	6,80	11,32	6,91	20,08
Prazna vožnja	23,3	0,54	0,95	0,71	1,68	7,07	12,35	10,02	22,48
Premik	8,5	0,35	0,53	0,47	1,00	3,74	5,47	5,25	10,71
Razkladanje	16,5	0,19	0,32	0,22	0,56	2,80	4,75	3,57	8,55
Zastoj zaradi osebnih potreb	0,8	0,09	0,16	0,18	0,31	0,51	0,85	1,03	1,73
Produktivni čas	97,6	0,40	0,66	0,46	1,18	8,40	14,28	10,79	25,80
Neproduktivni čas	0,8	0,09	0,16	0,18	0,31	0,51	0,85	1,03	1,73
Delovni čas	98,4	0,39	0,66	0,45	1,17	8,40	14,28	10,79	25,80

Izmerjene obremenitve s tresenjem na delovišču VAL 840.3 (preglednica 19) so med polno in prazno vožnjo najvišje med vsemi delovišči, medtem ko je vrstni red delovnih operacij zelo podoben. Najvišje obremenitve so najverjetneje posledica zahtevnejših delovnih razmer. Pri vseh delovnih operacijah so jakosti tresenja najvišje v aksialni smeri (Y), manjše v vertikalni (Z) in najmanjše v horizontalni smeri (X). Vse naštetu velja tudi za analizo obremenitev glede na skupno dozo tresenja (VDV).

Obremenitve celega telesa s tresenjem za delovišče VAL 840.3 (preglednica 19) za razliko od ostalih strojev glede na vse kazalnike presegajo mejne oz. opozorilne vrednosti. Po kazalniku RMS VTV in VDV VTV je obremenitev v delovnem času znašala 1,17 m/s² oz. 25,8 m/s^{1,75} in tako presega mejno vrednost dnevne izpostavljenosti, oziraje na Pravilnik (2005). Če za vrednotenje uporabimo najvišjo jakost tresenja po smereh, je presežena opozorilna vrednost, saj je najvišja vrednost po smereh, vrednost v aksialni smeri (0,66 m/s² oz. 14,28 m/s^{1,75}), višja od 0,50 m/s² oz. 9,10 m/s^{1,75}.

V splošnem je bil strojnik v produktivnem času glede na kazalnik RMS VTV najbolj obremenjen med opravljanjem delovnih operacij prazna vožnja, polna vožnja in premik. Razen na delovišču CAT 564B so obremenitve s tresenjem pri prazni vožnji na vseh deloviščih presegle $1,15 \text{ m/s}^2$ oz. zgornjo opozorilno mejo dnevne izpostavljenosti. Po obremenitvi s tresenjem operacijam, kjer se stroj premika, sledita delovni operaciji nakladanje in razkladanje. Vrstni red je zamenjan le pri delovišču TIMB 810B, kjer prazni vožnji po jakosti tresenja sledi premik.

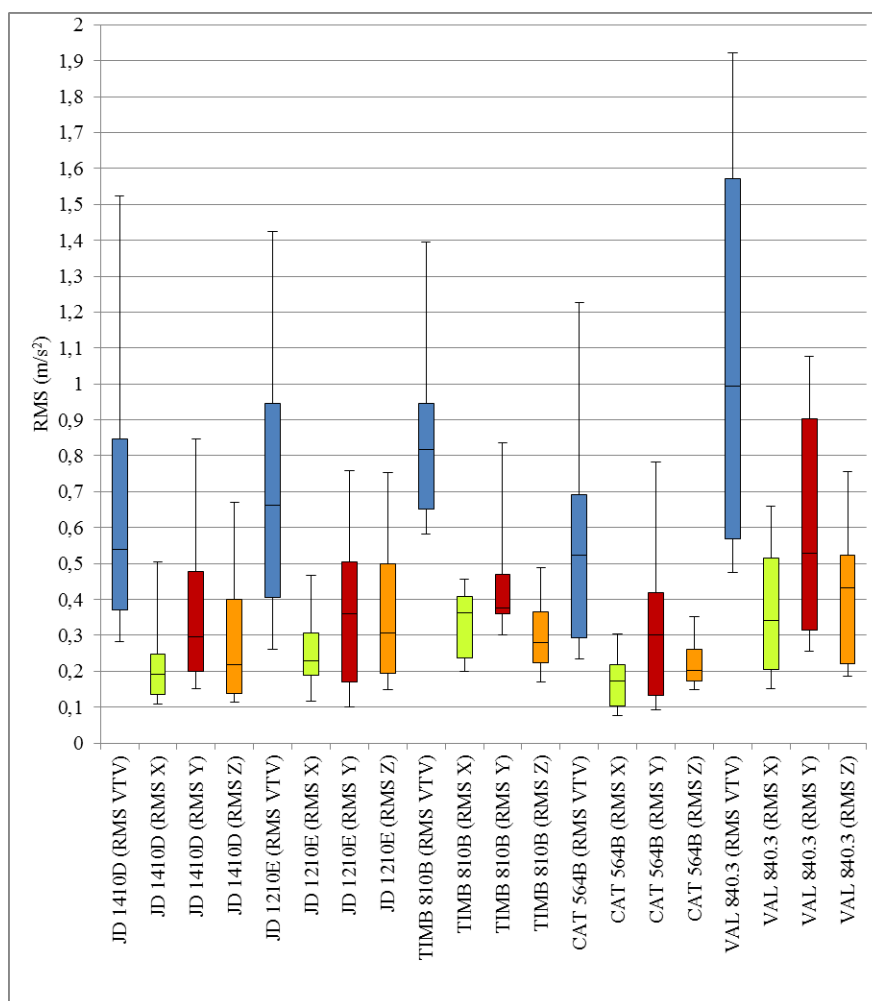
Pri primerjavi jakosti tresenja po smereh so na splošno pri vseh delovnih operacijah jakosti tresenja najvišje v aksialni smeri (Y), manjše v vertikalni (Z) in najmanjše v horizontalni smeri (X). Izjema so delovne operacije nakladanje in razkladanje, ki pri deloviščih JD 1210E ter CAT 564B dosegajo najvišje jakosti v vertikalni smeri (Z). To je verjetno posledica vertikalnih premikov kabine zaradi uporabe hidravličnega dvigala. Podobno lahko ugotovimo tudi za vrednosti VDV VTV. Pri spravi z zgibnim polprikoličarjem so tako obremenitve s tresenjem predvsem posledica vlak, pri katerih so problematični nagibi v prečni smeri. Tresenje v vertikalni smeri predvidoma dokaj dobro blaži vzmetenje sedeža.

Obremenitve celega telesa s tresenjem po različnih deloviščih in kazalniku RMS VTV znašajo od $0,60 \text{ m/s}^2$ do $0,77 \text{ m/s}^2$ ter presegajo opozorilno vrednost ($0,50 \text{ m/s}^2$), na delovišču VAL 840.3 pa obremenitev s $1,17 \text{ m/s}^2$ presega tudi mejno vrednost ($1,15 \text{ m/s}^2$) dnevne izpostavljenosti, določeno v Pravilniku (2005). Glede na kazalnik VDV VTV se obremenitve po deloviščih gibljejo od $16,78 \text{ m/s}^{1,75}$ do $17,85 \text{ m/s}^{1,75}$ ter presegajo opozorilno vrednost ($9,10 \text{ m/s}^{1,75}$), na delovišču VAL 840.3 pa obremenitev s $25,80 \text{ m/s}^{1,75}$ presega mejno vrednost ($21 \text{ m/s}^{1,75}$) dnevne izpostavljenosti, določeno v Pravilniku (2005).

Najvišja jakost tresenja za delovni čas se pri vseh strojih pojavi v aksialni smeri (Y) in glede na kazalnik RMS za delovišče VAL 840.3 doseže $0,66 \text{ m/s}^2$ ter tako presega spodnjo opozorilno mejo ($0,5 \text{ m/s}^2$), za ostala delovišča pa se vrednosti RMS v aksialni smeri za delovni čas gibljejo od $0,33 \text{ m/s}^2$ do $0,41 \text{ m/s}^2$ in ne presegajo dopustnih mej, določenih v Pravilniku ... (2005). Tudi glede na kazalnik VDV se najvišja jakost tresenja po smereh pri vseh strojih pojavi v aksialni smeri (Y). Te vrednosti se gibljejo od $8,38 \text{ m/s}^{1,75}$ do $14,28 \text{ m/s}^{1,75}$ ter na deloviščih JD 1210E ($9,33 \text{ m/s}^{1,75}$), CAT 564B ($10,35 \text{ m/s}^{1,75}$) in VAL 840.3 ($14,28 \text{ m/s}^{1,75}$) presegajo opozorilno mejo ($9,10 \text{ m/s}^{1,75}$), določeno v Pravilniku (2005).

5.3.1 Primerjava obremenitev s tresenjem med delovišči

V tem poglavju prikazujemo statistično analizo obremenitev s tresenjem v produktivnem času med delovišči. Poleg vektorske velikosti (VTV) smo v analize vključili tudi obremenitve po posameznih smereh, saj jih moramo glede na standard ISO 2631/1997 upoštevati pri vrednotenju obremenitev.



Slika 22: Primerjava RMS obremenitev s tresenjem med delovišči po smereh tresenja in skupno za produktivni čas

Obremenitve s tresenjem celega telesa v produktivnem času glede na kazalnik RMS VTV si po deloviščih od najmanjših do največjih sledijo v naslednjem vrstnem redu: CAT 564B, JD 1410D, JD 1210E, TIMB 810B, VAL 840.3 (slika 22). Vrstni red je drugačen, kot smo ga ugotovili pri analizi obremenitev z ropotom, saj smo tam najnižjo vrednost izmerili na delovišču JD 1410D. Kar nam kažejo skupne vektorske vrednosti tresenja, se odraža tudi po njihovih smereh. Vrstni red je enak kot pri kazalniku RMS VTV, najvišje jakosti pa se na vseh deloviščih pojavijo v aksialni smeri Y, v večini primerov jim sledijo vrednosti vertikalne smeri (Z), katere blaži sedež. Najnižje vrednosti se pojavijo v horizontalni smeri

(X). Tako je z ergonomskega vidika najbolj problematično tressenje aksialne smeri (Y), ki je posledica prečnih naklonov vlak.

Na sliki 22 opazimo, da je variabilnost tressenja tudi v primerjavi z ropotom večja. Variabilnost individualnih vrednosti okoli mediane je bila najmanjša na delovišču TIMB 810B ter CAT 564B, največja pa na delovišču VAL 840.3. Podobno kot pri ropotu lahko tudi tu sklepamo, da so večje gostitve posledica homogenih delovnih oz. terenskih razmer. Glede na različna delovišča lahko ugotovimo, da so razlike v vektorskih vrednostih tressenja posledica različnih podlag. Najvišje individualne vrednosti na vseh deloviščih pripadajo vožnji.

Vsi statistični testi razlik med sredinami po deloviščih glede na kazalnike RMS VTV ter njihove smeri so pokazali značilne razlike med obremenitvami po deloviščih. Rezultati statističnega testa razlik so glede na kazalnik RMS VTV (K-W, $X^2 = 22,733$, $df = 4$, $p < 0,000$), glede na horizontalne smeri (X) (K-W, $X^2 = 34,648$, $df = 4$, $p < 0,000$), glede na aksialne smeri (Y) (K-W; $X^2 = 18,840$, $df = 4$, $p < 0,001$) ter glede na vertikalne smeri (Z) (K-W; $X^2 = 17,139$, $df = 4$, $p < 0,002$). Glede na statistično značilnost (p) so si med seboj še najmanj različna RMS tressenja v vertikalnih smereh (Z), kar je pričakovano, saj imajo vsi stroji sedeže, ki predvidoma dobro dušijo tressenje v vertikalni smeri.

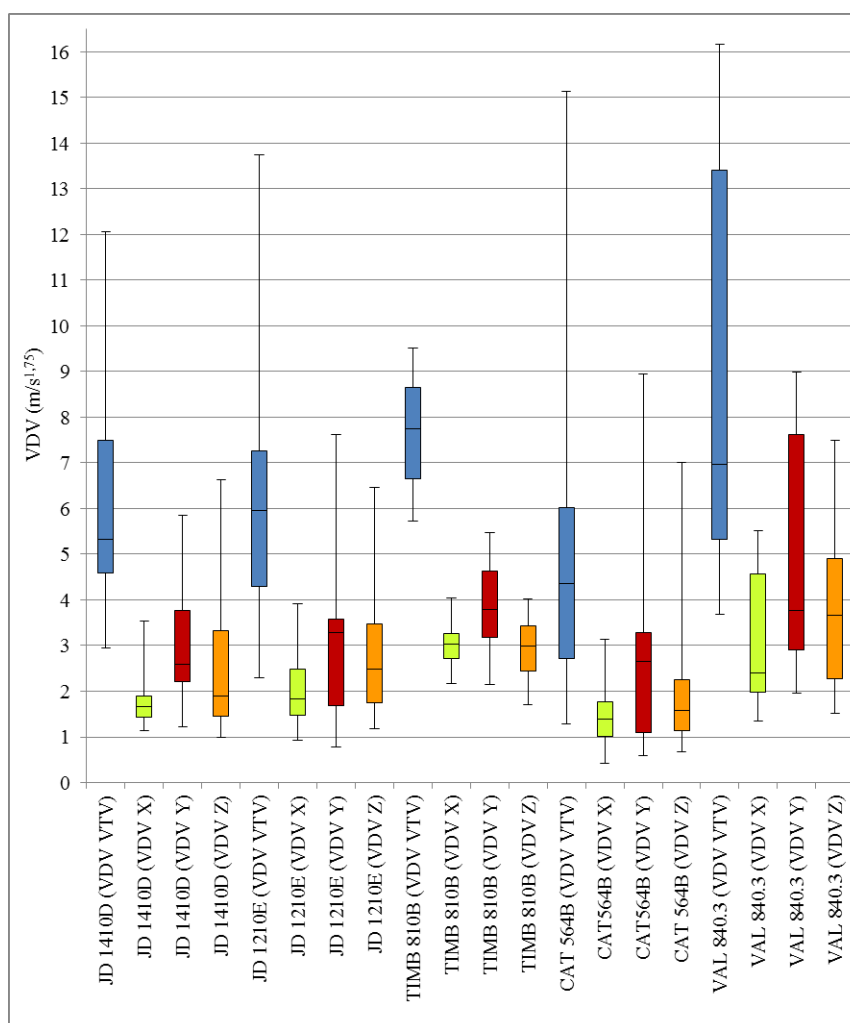
Preglednica 20: Rezultati posteriorne analize RMS vrednosti tresenja med delovišči za produktivni čas (U-test, Bonferroni korekcija značilnost $p < 0,005$)

RMS VTV	Statistična značilnost (p)	JD 1410D	JD 1210E	TIMB 810B	CAT 564B	VAL 840.3
	JD1410D		0,778	0,025	0,081	0,002
	JD1210E	0,778		0,157	0,046	0,009
	TIMB 810B	0,025	0,157		0,000	0,451
	CAT 564B	0,081	0,046	0,000		0,000
	VAL 840.3	0,002	0,009	0,451	0,000	
RMS X	Asymp. Sig.	JD 1410D	JD 1210E	TIMB 810B	CAT 564B	VAL 840.3
	JD1410D		0,218	0,001	0,042	0,002
	JD1210E	0,218		0,008	0,002	0,023
	TIMB 810B	0,001	0,008		0,000	0,891
	CAT 564B	0,042	0,002	0,000		0,000
	VAL 840.3	0,002	0,023	0,891	0,000	
RMS Y	Asymp. Sig.	JD 1410D	JD 1210E	TIMB 810B	CAT 564B	VAL 840.3
	JD1410D		0,930	0,064	0,114	0,002
	JD1210E	0,930		0,263	0,157	0,006
	TIMB 810B	0,064	0,263		0,009	0,293
	CAT 564B	0,114	0,157	0,009		0,001
	VAL 840.3	0,002	0,006	0,293	0,001	
RMS Z	Asymp. Sig.	JD 1410D	JD 1210E	TIMB 810B	CAT 564B	VAL 840.3
	JD1410D		0,105	0,193	0,992	0,009
	JD1210E	0,105		0,819	0,046	0,165
	TIMB 810B	0,193	0,819		0,005	0,071
	CAT 564B	0,992	0,046	0,005		0,000
	VAL 840.3	0,009	0,165	0,071	0,000	

Posteriorna analiza parnih primerjav (preglednica 20) med delovišči za produktivni čas glede na kazalnik RMS VTV je pokazala statistično značilne razlike med 3 parnimi primerjavami delovišč: VAL 840.3 in JD 1410D, VAL 840.3 in CAT 564B ter CAT 564B in TIMB 810B. Pri posteriornih analizah smo glede na horizontalno (X) smer tresenja potrdili največ statistično značilnih razlik med pari, in sicer pri petih od desetih parov, le dva para glede na aksialno smer (Y) in le en par glede na vertikalno smer.

Glede na rezultate lahko delovišča v grobem razdelimo le v dve skupini. Prvo skupino tako tvorijo delovišča JD 1410D, JD 1210E, TIMB 810B in CAT 564B, drugo skupino pa delovišče VAL 840.3.

Predvidevamo, da je glavni vzrok za razlike v obremenitvah med skupinama talna podlaga. Kamnitost in pokritost vlak in sečnih poti z debelejšimi vejami ter neprilagojena hitrost sta bila vzrok za velike obremenitve strojnika na delovišču VAL 840.3 s tresenjem med polno in prazno vožnjo ter posledično tudi za skupno obremenitev.



Slika 23: Primerjava VDV obremenitev s tresenjem med delovišči po smereh tresenja in skupno za produktivni čas

Najvišje skupne doze tresenja (VDV VTV; slika 21) se pojavljajo na istih deloviščih kot vrednosti RMS, torej vrstni red ostaja nespremenjen. Podobno kot pri vrednostih RMS glede na smer tresenja za produktivni čas izstopajo skupne doze v aksialni smeri (Y), sledijo skupne doze v vertikalni (Z) in horizontalni (X) smeri, vrstni red je zamenjan le na delovišču TIMB 810B, kjer vibracijam v aksialni smeri sledijo horizontalne in nato vertikalne smeri vibracij. Podobnosti rezultatov v primerjavi z obremenitvami, vrednotenimi po kazalniku RMS, kažejo na to, da v splošnem med operacijami ne prihaja do nenadnih sunkov, ki bi močno spremenili vrednosti VDV.

Preglednica 21: Rezultati posteriorne analize VDV vrednosti tresenja med delovišči za produktivni čas (U-test, Bonferroni korekcija značilnost $p < 0,005$)

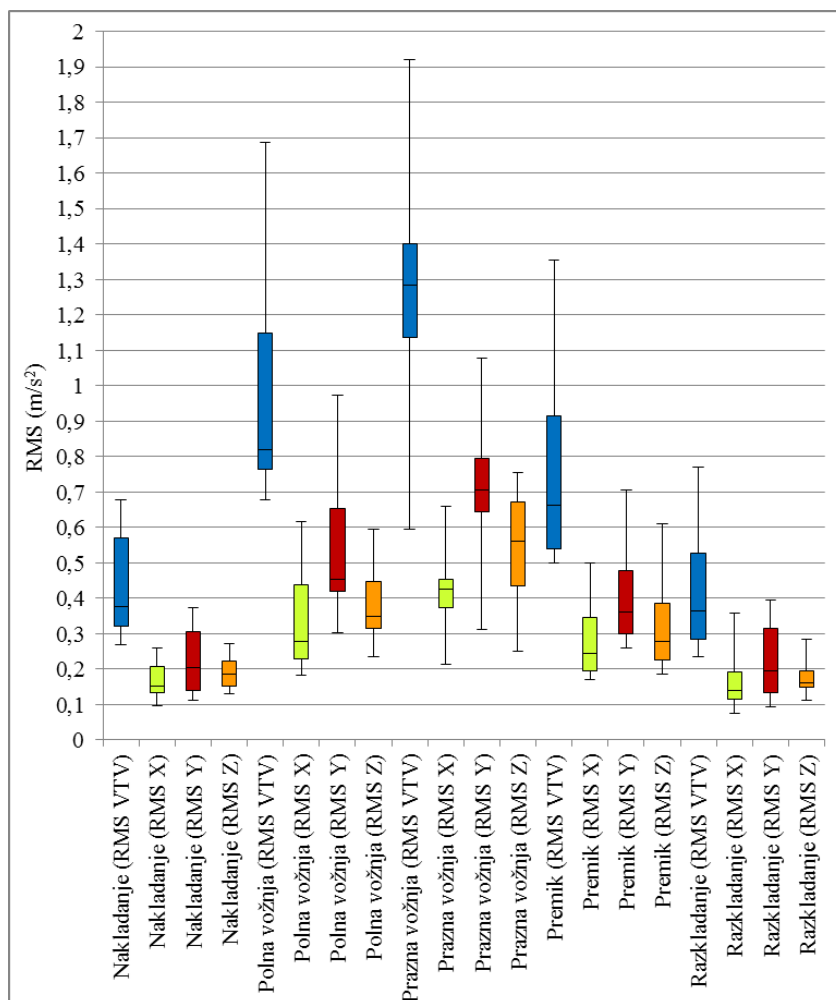
VDV VTV	Asymp. Sig.	JD 1410D	JD 1210E	TIMB 810B	CAT 564B	VAL 840.3
	JD1410D		0,778	0,009	0,114	0,007
	JD1210E	0,778		0,011	0,074	0,018
	TIMB 810B	0,009	0,011		0,000	0,873
	CAT 564B	0,114	0,074	0,000		0,001
	VAL 840.3	0,007	0,018	0,873	0,001	
VDV X	Asymp. Sig.	JD 1410D	JD 1210E	TIMB 810B	CAT 564B	VAL 840.3
	JD1410D		0,204	0,000	0,025	0,001
	JD1210E	0,204		0,000	0,005	0,010
	TIMB 810B	0,000	0,000		0,000	0,508
	CAT 564B	0,025	0,005	0,000		0,000
	VAL 840.3	0,001	0,010	0,508	0,000	
VDV Y	Asymp. Sig.	JD 1410D	JD 1210E	TIMB 810B	CAT 564B	VAL 840.3
	JD1410D		0,705	0,028	0,244	0,003
	JD1210E	0,705		0,025	0,279	0,006
	TIMB 810B	0,028	0,025		0,003	0,537
	CAT 564B	0,244	0,279	0,003		0,001
	VAL 840.3	0,003	0,006	0,537	0,001	
VDV Z	Asymp. Sig.	JD 1410D	JD 1210E	TIMB 810B	CAT 564B	VAL 840.3
	JD1410D		0,290	0,040	0,183	0,006
	JD1210E	0,290		0,283	0,024	0,056
	TIMB 810B	0,040	0,283		0,001	0,150
	CAT 564B	0,183	0,024	0,001		0,000
	VAL 840.3	0,006	0,056	0,150	0,000	

Podobno kot pri prejšnjih rezultatih je tudi statistični test razlik med sredinami VDV vrednosti pokazal na značilne razlike po deloviščih: (K-W, $X^2 = 22,713$, $df = 4$, $p < 0,000$). Razlike smo ugotovili tudi glede na vse smeri: horizontalne smeri (K-W, $X^2 = 43,607$, $df = 4$, $p < 0,000$), aksialne smeri (K-W, $X^2 = 19,451$, $df = 4$, $p < 0,001$) ter vertikalne smeri (K-W, $X^2 = 20,113$, $df = 4$, $p < 0,000$).

Posteriorna analiza parnih primerjav med delovnimi stroji za produktivni čas (preglednica 21) glede na kazalnik VDV VTV je pokazala statistično značilne razlike le med delovišči TIMB 810B in CAT 564B ter CAT 564B in VAL 840.3. Pri posteriornih analizah skupnih doz tresenja (VDV) glede na smeri smo podobno kot pri vrednostih RMS največ statistično značilnih razlik potrdili glede na horizontalno (X) smer tresenja, kjer se razlikuje enako 5 od 10 parnih primerjav, razlike pa so posledica istih delovišč kot pri prejšnjih rezultatih. Manj se stroji razlikujejo glede na aksialno (Y) smer tresenja (3 od 10 primerjav), najmanj razlik pa smo ugotovili glede na vertikalno smer tresenja (2 od 10 primerjav), v obeh primerih v primerjavi z RMS do razlik pride med delovišči TIMB 810B in CAT 564B. Glede na rezultate lahko delovišča uvrstimo v enake skupine, kot smo jih že za vrednosti RMS.

5.3.2 Analiza tresenja med delovnimi operacijami

Podobno kot smo opravili statistično analizo tresenja med petimi delovišči, smo opravili statistično analizo tudi med posameznimi delovnimi operacijami.



Slika 24: Primerjava RMS obremenitev s tresenjem med operacijami po smereh tresenja in skupno za produktivni čas

Obremenitve s tresenjem glede na kazalnik RMS za produktivni čas se po delovnih operacijah gibljejo v naslednjem vrstnem redu, od največje k najmanjši (slika 24): prazna vožnja, polna vožnja, premik, nakladanje in razkladanje.

Variabilnost podatkov je najmanjša pri delovnih operacijah, za katere smo izračunali nižje obremenitve s tresenjem in obratno. Največja odstopanja individualnih vrednosti smo zaznali povsod, kjer se je stroj premikal, torej pri polni in prazni vožnji. Manjša odstopanja smo zasledili pri razkladanju ter nakladanju. Rezultati so tako ravno nasprotni od tistih, ki smo jih ugotovili pri variabilnosti obremenitev z ropotom po delovnih operacijah, kar kaže

na to, da so razlike v podlagah veliko bolj pomembne pri vrednotenju obremenitev s tresenjem kot obremenitev z ropotom.

Statistični test razlik med sredinami glede na vse kazalnike RMS za produktivni čas je pokazal na značilne razlike med obremenitvami po delovnih operacijah: RMS VTV (K-W, $X^2 = 82,503$, $df = 4$, $p < 0,000$), horizontalne smeri (K-W, $X^2 = 67,455$, $df = 4$, $p < 0,000$), aksialne smeri (K-W, $X^2 = 81,076$, $df = 4$, $p < 0,001$) ter vertikalne smeri (K-W, $X^2 = 85,583$, $df = 4$, $p < 0,002$).

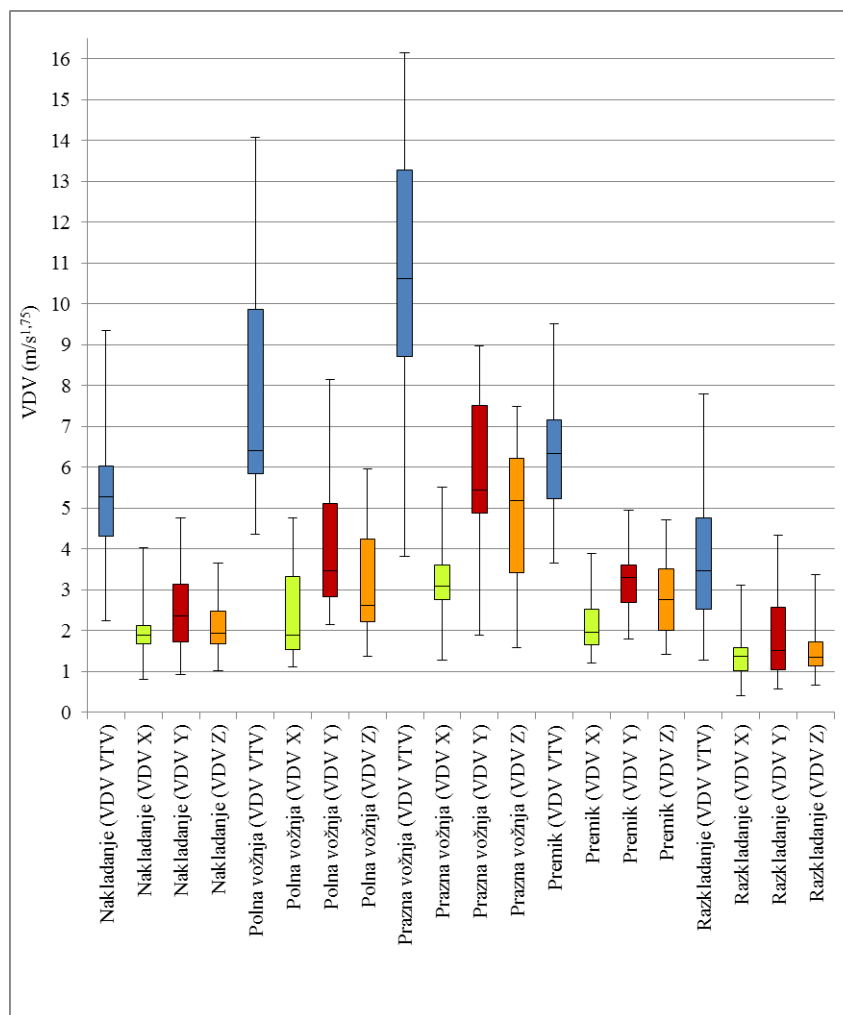
Posteriorna analiza parnih primerjav med delovnimi operacijami (preglednica 22) za produktivni čas, glede na kazalnik RMS VTV, je pokazala statistično značilne razlike ($p > 0,005$) za vse delovne operacije, razen med delovnimi operacijami nakladanje in razkladanje ter med polno vožnjo in premikom, med katerimi ni statistično značilnih razlik. Za horizontalne smeri (X) tresenja smo potrdili statistično značilne razlike za sedem parnih primerjav (nakladanje in razkladanje, polna vožnja in premik, polna vožnja in prazna vožnja). Statistično značilnih razlik v aksialnih (Y) in vertikalnih (Z) smereh nismo mogli potrditi le med nakladanjem in razkladanjem ter med polno vožnjo in premikom, in to po vseh smereh tresenja. Najmanj značilne so razlike vertikalnih smeri (Z).

Glede na smer tresenja smo podobno kot pri analizi strojev prav pri vseh delovnih operacijah najvišje RMS vrednosti zabeležili v aksialni smeri (Y), sledita vertikalna (Z) smer ter horizontalna smer (X).

Glede na rezultate lahko delovne operacije razvrstimo v dve skupini. Pri prvi skupini stroj stoji, pri ostalih pa se premika. Nižje obremenitve imamo v prvi skupini, pri delovnih operacijah nakladanje in razkladanje. V drugi skupini prihaja do večjih razlik med delovnimi operacijami ter do večjih obremenitev, torej podobno kot pri ropotu. Domnevamo, da so značilne razlike med operacijami, kjer se stroj premika, posledica predvsem hitrosti premikov in deloma naloženosti stroja. Tako so bile hitrosti vožnje največje pri prazni vožnji ter manjše pri polni vožnji in premikih. Zaradi praznega prostora za breme je skupna masa stroja manjša kot pri polni vožnji, kar lahko povzroči večje jakosti tresenja.

Preglednica 22: Rezultati posteriorne analize RMS vrednosti tresenja med delovnimi operacijami za produktivni čas (U-test, Bonferroni korekcija značilnost $p < 0,005$)

RMS VTV	Asymp. Sig	Nakladanje	Polna vožnja	Prazna vožnja	Premik	Razkladanje
	Nakladanje		0,000	0,000	0,000	0,303
	Polna vožnja	0,000		0,004	0,020	0,000
	Prazna vožnja	0,000	0,004		0,000	0,000
	Premik	0,000	0,020	0,000		0,000
	Razkladanje	0,303	0,000	0,000	0,000	
RMS X	Asymp. Sig	Nakladanje	Polna vožnja	Prazna vožnja	Premik	Razkladanje
	Nakladanje		0,000	0,000	0,000	0,284
	Polna vožnja	0,000		0,037	0,121	0,000
	Prazna vožnja	0,000	0,037		0,000	0,000
	Premik	0,000	0,121	0,000		0,000
	Razkladanje	0,284	0,000	0,000	0,000	
RMS Y	Asymp. Sig	Nakladanje	Polna vožnja	Prazna vožnja	Premik	Razkladanje
	Nakladanje		0,000	0,000	0,000	0,578
	Polna vožnja	0,000		0,003	0,010	0,000
	Prazna vožnja	0,000	0,003		0,000	0,000
	Premik	0,000	0,010	0,000		0,000
	Razkladanje	0,578	0,000	0,000	0,000	
RMS Z	Asymp. Sig	Nakladanje	Polna vožnja	Prazna vožnja	Premik	Razkladanje
	Nakladanje		0,000	0,000	0,000	0,076
	Polna vožnja	0,000		0,000	0,130	0,000
	Prazna vožnja	0,000	0,000		0,000	0,000
	Premik	0,000	0,130	0,000		0,000
	Razkladanje	0,076	0,000	0,000	0,000	



Slika 25: Primerjava VDV obremenitev s tresenjem med operacijami po smereh tresenja in skupno za produktivni čas

Vrstni red glede na obremenitve po delovnih operacijah glede na skupne doze tresenja (slika 25) je enak kot pri vrednostih RMS. Podobno velja za odstopanja od mediane ter največje obremenitve glede na smer tresenja.

Statistični test razlik med sredinami VDV je pokazal na značilne razlike med obremenitvami po delovnih operacijah, tako glede na skupno dozo kot po smereh. Rezultati statističnega testa so naslednji: za kazalnik VDV VTV (K-W, $X^2 = 59,074$, $df = 4$, $p < 0,000$), za horizontalne smeri (K-W; $X^2 = 37,127$, $df = 4$, $p < 0,000$), za aksialne smeri (K-W, $X^2 = 59,005$, $df = 4$, $p < 0,001$), ter za vertikalne smeri (K-W, $X^2 = 61,938$, $df = 4$, $p < 0,000$).

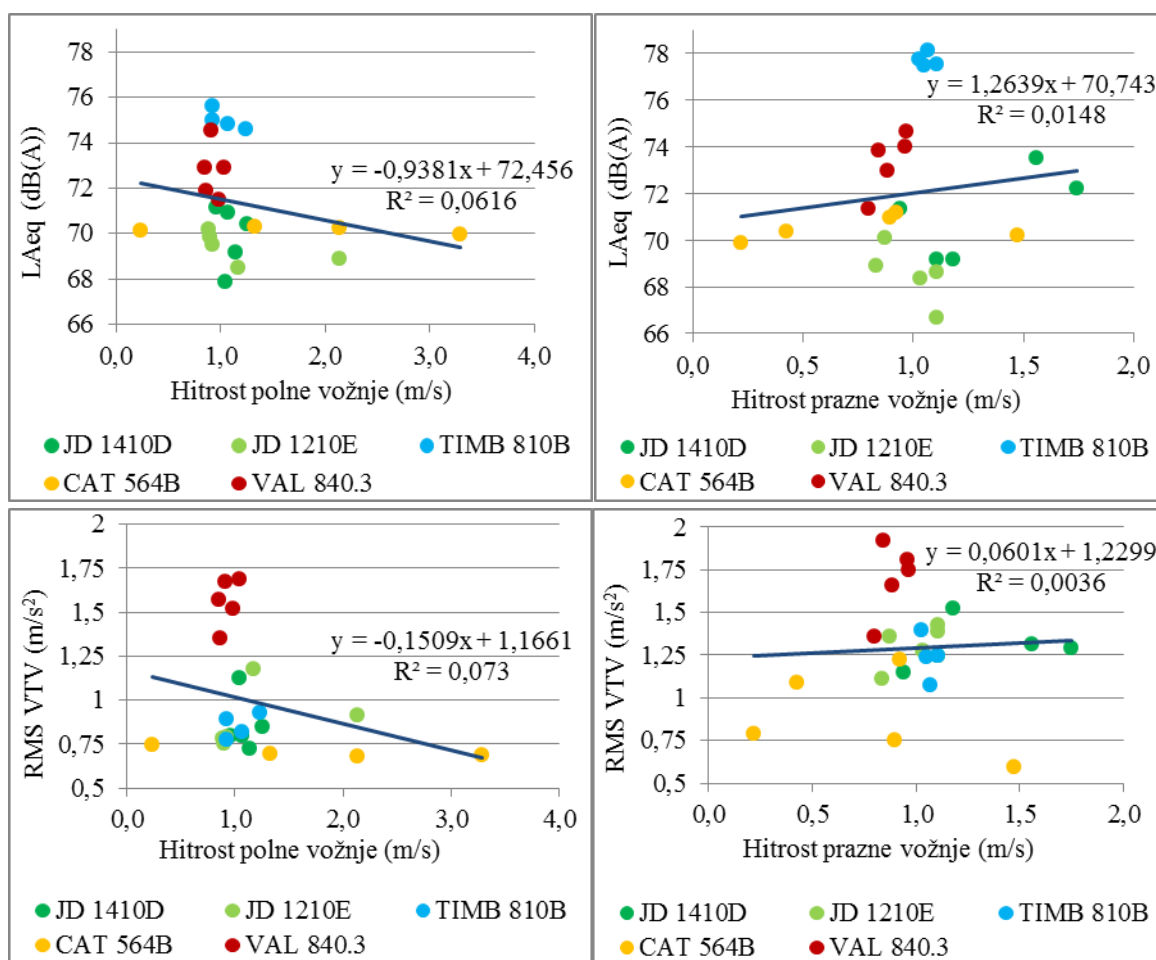
Preglednica 23: Rezultati posteriorne analize skupnih doz tresenja med delovnimi operacijami za produktivni čas (U-test, Bonferroni korekcija značilnost $p < 0,005$)

VDV VTV	Asymp. Sig	Nakladanje	Polna vožnja	Prazna vožnja	Premik	Razkladanje
	Nakladanje		0,001	0,000	0,045	0,004
	Polna vožnja	0,001		0,005	0,191	0,000
	Prazna vožnja	0,000	0,005		0,000	0,000
	Premik	0,045	0,191	0,000		0,000
	Razkladanje	0,004	0,000	0,000	0,000	
VDV X	Asymp. Sig	Nakladanje	Polna vožnja	Prazna vožnja	Premik	Razkladanje
	Nakladanje		0,407	0,000	0,431	0,007
	Polna vožnja	0,407		0,035	0,701	0,000
	Prazna vožnja	0,000	0,035		0,001	0,000
	Premik	0,431	0,701	0,001		0,000
	Razkladanje	0,007	0,000	0,000	0,000	
VDV Y	Asymp. Sig	Nakladanje	Polna vožnja	Prazna vožnja	Premik	Razkladanje
	Nakladanje		0,001	0,000	0,024	0,020
	Polna vožnja	0,001		0,003	0,170	0,000
	Prazna vožnja	0,000	0,003		0,000	0,000
	Premik	0,024	0,170	0,000		0,000
	Razkladanje	0,020	0,000	0,000	0,000	
VDV Z	Asymp. Sig	Nakladanje	Polna vožnja	Prazna vožnja	Premik	Razkladanje
	Nakladanje		0,005	0,000	0,018	0,000
	Polna vožnja	0,005		0,001	0,475	0,000
	Prazna vožnja	0,000	0,001		0,000	0,000
	Premik	0,018	0,475	0,000		0,000
	Razkladanje	0,000	0,000	0,000	0,000	

S posteriorno analizo skupnih doz tresenja (VDV) nam je uspelo dokazati manj statistično značilnih razlik med pari operacij kot pri povprečnih jakostih tresenja (RMS). Tako smo za kazalnik VDV VTV dokazali razlike pri sedmih parih operacij, za skupne doze v horizontalni smeri »le« med petimi pari, v aksialni in vertikalni smeri pa med sedmimi pari operacij. V splošnem značilnih razlik med pari delovnih operacij nismo uspeli potrditi pri isti parni primerjavi kot pri RMS vrednostih – med polno vožnjo in premikom. Za razliko od kazalnika RMS pa glede na kazalnik VDV nismo uspeli potrditi značilnih razlik med parom nakladanje in premik (preglednica 23).

5.4 OBREMENITEV Z ROPOTOM IN TRESENJEM V ODVISNOSTI OD HITROSTI VOŽNJE

Hitrost vožnje predstavlja enega od potencialnih dejavnikov, ki bi lahko vplivali na obremenitve strojnikov z ropotom in tresenjem. V analizo smo vključili obremenitve, izmerjene v produktivnem času in vrednotene po kazalniku LAeq oz. RMS VTV. Hitrost vožnje smo dobili kot razmerje med razdaljo prazne oz. polne vožnje, ki smo ju posneli z GPS napravo, ter med trajanjem delovne operacije za posamezen cikel za vsako delovišče.



Slika 26: Analiza ropota in tresenja v odvisnosti od hitrosti polne in prazne vožnje

Iz rezultatov (slika 26) lahko ugotovimo, da obremenitve pri polni vožnji padajo, pri prazni vožnji pa naraščajo s hitrostjo vožnje, vendar pa je pojasnjenost variabilnosti obremenitev s hitrostjo vožnje zelo nizka. Izračunana povprečna hitrost prazne vožnje je bila s 4,3 km/h večja kot pri polni vožnji s 3,6 km/h.

6 RAZPRAVA

6.1 ČAS IZPOSTAVLJENOSTI

Čas izpostavljenosti dejavnikom delovnega okolja je pomemben, saj so obremenitve z ropotom ali tresenjem interakcija časovne izpostavljenosti in jakosti obremenitve (Poje 2011), zato nas zanima tudi študija posnetega časa.

Trajanje delovnih operacij, ki jih uvrščamo med produktivni čas, se v naši raziskavi giblje od 25 do 52 % pri nakladanju, od 9 do 29 % pri premiku, od 8 do 27 % pri prazni vožnji, od 9 do 19 % pri polni vožnji ter od 10 do 17 % pri razkladanju. Če premik prištejemo k nakladanju ali pa polni vožnji, smo prišli do podobnih rezultatov kot Seixas in sod. (1999), Messingerová in sod. (2005) ter Rehn in sod. (2005a). Trajanje prazne in polne vožnje se daljša z razdaljo prazne in polne vožnje (Rehn in sod., 2005a; Žunič, 2014), trajanje nakladanja in razkladanja se daljša s številom kosov in krajša s povprečnim kosom, trajanje premika med nakladanjem pa se krajša s povprečnim kosom (Žunič, 2014). Trajanje posamezne delovne operacije je zagotovo povezano tudi z izkušnjami strojnika in načinom dela. Tako je v naši raziskavi strojnik z zgibnim polprikoličarjem Timberjack 810B upravljal komaj en teden, posledično so cikli na tem delovišču trajali občutno dlje kot na ostalih deloviščih in to kljub izkušnjam, ki jih je imel delavec z upravljanjem kamionskega dvigala. Nasprotno pa je strojnik, ki je upravljal zgibni polprikoličar EcoLog, nakladanje opravljal kar med premiki stroja

Z ergonomskega zornega kota je dejstvo, da delovni operaciji nakladanje (39 %) in razkladanje (13 %) zavzemata okoli polovico produktivnega časa, zelo ugodno, saj so obremenitve z ropotom in tresenjem med tema dvema operacijama najnižje.

6.2 OBREMENITVE STROJNIKOV Z ROPOTOM

V celotnem snemalnem času (ob zaprtem oknu) so bile korigirane ekvivalentne jakosti ($L_{Aeq.kor}$) v intervalu med 68,3 dB(A) in 75,6 dB(A). Najvišja raven ropota je bila izmerjena na delovišču, kjer smo les spravljali s strojem Timberjack 810B, najnižje vrednosti pa smo zabeležili na deloviščih, kjer se je uporabljalo stroja John Deere. Najnižje vrednosti sta v sicer povsem drugačnih delovnih razmerah pri strojih John Deere izmerila tudi Gerasimov in Sokolov (2014). Izmerjene obremenitve z ropotom so na vseh deloviščih pod dopustnimi mejami glede na slovensko zakonodajo (Pravilnik ... s hrupom pri delu, 2006), saj ne presegajo spodnje opozorilne vrednosti 80 dB(A). Izjema je bilo le delo z zgibnim polprikoličarjem Timberjack 810B, kjer so obremenitve z vrednostjo 84,7 dB(A) zaradi priprtega okna na isti strani, kjer se nahaja izpušna cev, presegle spodnjo opozorilno mejo dnevne izpostavljenosti. Do enakih ugotovitev je prišel tudi Žunič (2014), ki ugotavlja, da z vplivom radia in odprte kabine jakost ropota lahko preseže spodnjo opozorilno mejo.

V splošnem so obremenitve z ropotom v primeru zaprtega okna pod dopustnimi mejami. V primeru odprtega okna – zaradi uravnavanja temperature, osebnih potreb ali preprečevanja rosenja šip, pa se lahko obremenitve dvignejo nad dopustne meje, kar ugotavljajo tudi drugi avtorji (Žunič, 2014; Seixas in sod., 1999). Prav tako obremenitev povečuje prižgan radio ali klima. Ker obremenitev nismo izračunavali za celoten čas snemanja, ampak le za čas, ko je bil strojnik v kabini, smo lahko dobili tudi nižje obremenitve od dejanskih, saj so posamezni avtorji dokazali, da so obremenitve z ropotom zunaj stroja višje kot v stroju (Žunič, 2014). Kljub temu dejstvu pa lahko z veliko gotovostjo trdimo, da strojniki zgibnih polprikoličarjev, upravljenih v naši razikavi, tudi v primeru upoštevanja neproduktivnega časa ne bi bili preobremenjeni z ropotom. To smo pokazali z modelnim izračunom jakosti ropota, potrebnega, da bi bila presežena spodnja opozorilna meja. Te vrednosti so bile v intervalu med 90,4 dB(A) in 91,8 dB(A), kar je občutno višja vrednost, kot jo je dobil Žunič (2014) pri zastoju, kjer je delavec stal neposredno ob delujočem motorju stroja (85,4 dB(A)).

Ropot ima impulzivni značaj predvsem med prazno in polno vožnjo, kar pa ne velja za vsa delovišča. Tako smo na primer na delovišču s strojem Timberjack 810B izmerili najvišje impulzivne vrednosti ropota pri nakladanju in razkladanju, kar je posledica udarcev sortimentov in klešč ob šasijo stroja, ne pa delovanja motorja, kot na primer pri polni in prazni vožnji. Najnižje impulzivne jakosti ropota smo zaznali pri nakladanju in razkladanju.

Konična jakost ropota se je v delovnem času po različnih strojih gibala od 101,3 dB(A) pa vse do 130,2 dB(A), kar je pod spodnjo opozorilno mejo (135 dB(C)) glede na Pravilnik ... (2006).

Pri primerjavi dobljenih rezultatov z drugimi pravilnimi sredstvi so pomembne predvsem neposredno primerljive delovne operacije, kot sta polna in prazna vožnja ter obremenitve v osemurnem delavniku. Če primerjamo naše rezultate z obremenitvami z ropotom, ki so jih ugotovili pri spravi z zgibniki in prilagojenimi kmetijskimi traktorji (Žunič, 2010; Poje, 2011; Obranovič, 2013; Gerasimov in Sokolov, 2014), ugotovimo, da so obremenitve pri spravi z zgibnimi polprikoličarji občutno nižje pri polni in prazni vožnji ter tudi v celotnem delovnem dnevu. So pa naši rezultati primerljivi z nekaterimi modernimi traktorji, ki (znotraj kabine) prav tako ne presegajo spodnje opozorilne meje dnevne izpostavljenosti.

Prilagojeni kmetijski traktorji in gozdarski zgibniki imajo višje obremenitve z ropotom pri polni vožnji kot pa pri prazni vožnji (Žunič, 2010; Poje, 2011; Obranovič, 2013; Gerasimov in Sokolov, 2014). Nasprotno pa smo pri spravi z zgibnimi polprikoličarji ugotovili, da so obremenitve višje pri prazni vožnji, kar bi lahko bila posledica večje hitrosti vožnje.

Primerjava frekvenčnih spektrov ropota med delovišči je pokazala, da se frekvenčni spektri virov ropota med seboj nekoliko razlikujejo, kar je pri nizkih frekvencah lahko posledica različnih prostornin in obratov motorja, pri nekoliko višjih frekvencah pa tudi obremenjenosti stroja. Iz rezultatov frekvenčnih analiz ropota ugotavljamo, da je strojnik najbolj obremenjen v frekvenčnem območju med 40 Hz in 6300 Hz. Prvi neizrazit maksimum se pojavi pri 25 Hz, ki ustreza 500 obratom 6-valjnega 4-taktnega motorja v minuti, drugi pa pri 40 Hz, ki ustreza 800 obratom motorja v minuti. Ostali lokalni maksimumi, pri 80 Hz in 125 Hz, so ali posledica večjih obratov motorja ali pa so harmoniki osnovnih frekvenc motorja. Povečanje jakosti ropota pri frekvenci 6300 Hz je verjetno posledica ropota verig oz. kovinskih gosenic, kar ugotavlja tudi Poje (2011). Ta ugotovitev tudi ni v nasprotju z ugotovitvami Žuniča (2010), da gosenice oz. verige ne vplivajo statistično značilno na jakost obremenitve z ropotom, saj je prispevek ropota gosenic ali verig k skupnem ropotu lahko zelo majhen.

S statistično analizo obremenitev z ropotom med delovišči smo dokazali, da so obremenitve po deloviščih značilno različne. Razlike so lahko posledica uporabljenih strojev, načinov dela in delovnih razmer. Tako so bile najnižje obremenitve zabeležene na deloviščih, kjer je delo potekalo z zgibnimi polprikoličarji John Deere 1410D, John Deere 1210E in EcoLog 564B. Značilno višje so bile obremenitve na delovišču s strojem Valmet 840.3 ter najvišje na delovišču s starejšim strojem Timberjack 810B, še posebej takrat, ko je imel priprto okno. Dokazane razlike so lahko posledica lastnosti strojev in ne nujno izrabilnosti strojev, na kar kažejo neznatne razlike v obremenitvah med strojema John Deere 1410D in John Deere 1210E ter ugotovitve iz raziskave Žuniča (2014). Tako po moči motorja šibkejši stroji, kot je na primer Timberjack 810B, potrebujejo za prevoz lesa

višje vrtljaje motorja in s tem povzročajo večji ropot kot po moči motorja zmogljivejši stroji. Verjetno imajo velik vpliv na razliko med stroji moč motorja (npr. Timberjack 810B), prostornina motorja in število valjev ter teža stroja, saj zmorejo vsi prepeljati enak volumen.

Ekvivalentne jakosti ropota po delovnih operacijah se med delovišči razlikujejo, vendar smo za vsa delovišča najnižje vrednosti izmerili za delovni operaciji nakladanje in razkladanje. Večje jakosti ropota se pojavijo pri premikih. Najvišje vrednosti ekvivalentne jakosti ropota dosega polna vožnja ter prazna vožnja. Podobno najvišje vrednosti pri prazni vožnji oz. pri vseh operacijah, kjer se stroj premika, ugotavlja več različnih avtorjev (Žunič, 2014; Gerasimov in Sokolov, 2014; Messingerova in sod., 2005; Seixas in sod., 1999). Prav tako so te vrednosti nižje v primerjavi s polno in prazno vožnjo traktorjev (Obranovič, 2013; Gerasimov in Sokolov 2014; Poje, 2011; Žunič, 2010).

Podobno kot za ekvivalentno jakost ropota med delovišči smo tudi med delovnimi operacijami za produktivni čas ugotovili statistično značilne razlike. S posteriorno analizo statistično značilnih razlik nismo uspeli dokazati med delovnimi operacijami nakladanje in razkladanje, polna vožnja in prazna vožnja, premik in nakladanje, premik in razkladanje ter premik in polna vožnja. Ugotovitve, da ni statistično značilnih razlik med nakladanjem in razkladanjem ter med polno in prazno vožnjo, se zdijo smiselne, saj Žunič (2014) potrjuje značilne razlike med mirovanjem in premikanjem stroja, kjer je pri premikanju potrebna večja moč motorja, kar povzroči večje emisije ropota.

Kot ukrepe za zmanjšanje obremenitev z ropotom na prvem mestu predlagamo organizacijske ukrepe v smislu menjave delovnih mest in izobraževanje. Z menjavo delovnih mest zmanjšamo vpliv stroja in delovišča na obremenitev posameznega delavca. Kot drugi ukrep predlagamo izobraževanje o primernem načinu opravljanja dela, da se lahko izognemo nepotrebnim preobremenitvam. Takšno nepotrebno obremenitev z ropotom predstavlja delo izven kabine pri delujočem stroju. Kot pomemben ukrep predlagamo tudi tehnični ukrep pri preprečevanju širjenja ropota. Okna stroja se ne bi smela odpirati, v notranjosti pa bi morala biti nameščena ustrezna klimatska naprava. Ob odpiranju vrat kabine stroja pa bi se moral motor samodejno ugasniti oz. bi ga morali delavci dosledno ugašati. Glede na naše rezultate in slovensko zakonodajo mora delodajalec strojniku v primeru, da ne zagotovi primernega ogrevanja in prezračevanja kabine stroja, zagotoviti osebno varovalno opremo (npr. ušesne čepke ali glušnike), strojnik pa jih uporablja glede na lastno presojo.

6.3 OBREMENITEV CELEGA TELESA S TRESENJEM

V celotnem snemalnem času so bile vektorske vrednosti tresenja (RMS VTV) v intervalu med $0,60 \text{ m/s}^2$ in $1,17 \text{ m/s}^2$ ter skupne doze tresenja (VDV VTV) med $16,78 \text{ m/s}^{1,75}$ in $25,80 \text{ m/s}^{1,75}$. Najvišje jakosti tresenja so bile izmerjene na delovišču, kjer se je spravilo vršilo s strojem Valmet 840.3. Najnižje vrednosti pa smo zabeležili na deloviščih, kjer se je uporabljalo stroj EcoLog 564B oz. John Deere 1410D, nekoliko višje pa na deloviščih JD 1210E oz. TIMB 810B. Nekoliko nižje vrednosti od naših sta za zgibne polprikoličarje izmerila Gerasimov in Sokolov (2014), verjetno zaradi bolj optimalne podlage, saj so meritve opravljali v borealnih gozdovih na peščeno-ilovnati podlagi. Zanimivo, da sta najnižje jakosti tresenja beležila ravno pri proizvajalcu John Deere, podobno kot v naši raziskavi. Bolj primerljive vrednosti jakosti tresenja z našo raziskavo je pokazala študija na severu Švedske (Rehn in sod., 2005b), kjer se je vrednost RMS VTV glede na stroj gibala od $0,8 \text{ m/s}^2$ do $1,3 \text{ m/s}^2$. Verjetno ima vrsta podlage bistven vpliv na jakost tresenja, kar potrjujejo tudi Rehn in sod. (2005a), zato iz naših rezultatov ne moremo podati neposrednih primerjav med stroji.

Izmerjene obremenitve celega telesa s tresenjem so na vseh deloviščih nad dopustnimi mejami glede na slovensko zakonodajo (Pravilnik ... vibracijam pri delu, 2005), saj presegajo opozorilne vrednosti $0,50 \text{ m/s}^2$ oz. $9,1 \text{ m/s}^{1,75}$, za delovišče, kjer se je spravilo izvajalo s strojem Valmet 840.3, pa obremenitve s tresenjem presegajo mejne vrednosti dnevne izpostavljenosti ($1,15 \text{ m/s}^2$ oz. $21 \text{ m/s}^{1,75}$). Na delovišču VAL 840.3 smo izmerili najvišje vrednosti tresenja zaradi kamnitosti in ostankov debelih vej na vlakah in sečnih poteh. Obremenitve pa so bile posledično odvisne tudi od načina dela strojnika, ki mora prilagajati delo delovnim razmeram.

Za celotni delovni čas so bile glede na RMS in VDV na vseh deloviščih najvišje jakosti tresenja izmerjene v aksialnih smereh (Y), sledijo jim tresenja vertikalnih (Z) ter horizontalnih smeri (X), kar za zgibne polprikoličarje potrjujejo Rehn in sod. (2005b) ter za zgibnike Cation in sod. (2008). Najvišjo aksialno vrednost za delovni čas smo izmerili na delovišču VAL 840.3 ($0,66 \text{ m/s}^2$ oz. $14,28 \text{ m/s}^{1,75}$), ki presega opozorilno mejo dnevne izpostavljenosti glede na Pravilnik ... (2005), glede na skupne doze tresenja aksialne smeri za delovni čas je opozorilna vrednost dnevne izpostavljenosti presežena na deloviščih JD 1210E ($9,33 \text{ m/s}^{1,75}$) ter CAT 564B ($10,35 \text{ m/s}^{1,75}$).

Pri primerjavi dobljenih rezultatov z drugimi pravilnimi sredstvi so pomembne predvsem neposredno primerljive delovne operacije, kot sta polna in prazna vožnja ter obremenitve v osemurnem delavniku. Če primerjamo naše rezultate z izsledki drugih avtorjev (Cation in sod., 2008; Melemez in Tunay, 2010; Poje, 2011; Obranovič, 2013), ugotovimo, da so obremenitve pri spravilu z zgibnimi polprikoličarji na primerljivem nivoju z obremenitvami pri spravilu lesa z zgibniki in prilagojenimi kmetijskimi traktorji. Tako

ugotovitev, da so obremenitve celega telesa s tresenjem pri spravilu lesa z zgibnim polprikoličarjem nižje kot pri spravilu lesa s traktorji (Poje 2011), ne drži nujno, če pri obremenitvah upoštevamo tudi različne delovne razmere.

S statistično analizo primerjave jakosti tresenja (tako RMS kot VDV) smo dokazali, da so obremenitve med delovišči značilno različne. Podobno, kot smo že zapisali pri ropotu, so razlike lahko posledica uporabljenih strojev, načinov dela in delovnih razmer. Najnižje obremenitve smo zabeležili na deloviščih CAT 564B, JD 1410D, JD 1210E ter TIMB 810B. Značilno višje so bile obremenitve na delovišču VAL 840.3, kar smo potrdili s posteriorno analizo razlik med delovišči JD 1410D in VAL 840.3, TIMB 810B in CAT 564B ter CAT 564B in VAL 840.3 (tako po kazalniku RMS VTV kot VDV VTV). Domnevamo, da so višje jakosti tresenja na delovišču VAL 840.3 posledica manj ugodnih razmer za spravilo v primerjavi z ostalo skupino strojev.

S posteriorno analizo smo največ statistično značilnih razlik med stroji ugotovili za horizontalne (X) smeri, manj za aksialne (Y) smeri ter najmanj za vertikalne (Z) smeri, kar je smiselno, saj sedež najbolj blaži tresenje ravno v vertikalni smeri (Potočnik, 2009).

Podobno kot za tresenje celega telesa po deloviščih smo tudi med delovnimi operacijami za produktivni čas ugotovili statistično značilne razlike. S posteriorno analizo značilnih razlik nismo mogli potrditi med delovnimi operacijami nakladanje in razkladanje ter med polno vožnjo in premikom. Glede na vrednosti mediane je z vidika tresenja najbolj obremenjujoča delovna operacija prazna vožnja, sledita polna vožnja ter premik, kar ugotavljajo tudi Rehn in sod. (2005a). Precej manjše jakosti tresenja smo izmerili pri nakladanju in razkladanju. Najvišje vrednosti opazimo za delovne operacije, kjer se je stroj premikal. Sklepamo, da so obremenitve s tresenjem pri posamezni delovni operaciji odvisne od zgradbe stroja in vrste terena (Rehn in sod., 2005a) ter tudi od načina dela strojnika.

Z analizo nam ni uspelo potrditi značilne povezanosti hitrosti vožnje in jakosti tresenja ob polni in prazni vožnji, kar potrjuje tudi švedska raziskava na veliko večjem vzorcu (Rehn in sod., 2005a). Pri nekaterih strojih funkcija jakosti tresenja od hitrosti vožnje statistično značilno narašča, pri drugih pa pada, skupno pa povezanost ni statistično značilna. Vzrok je verjetno premajhen vzorec ter preveč heterogene delovne razmere. Nekateri avtorji ugotavljajo povezanost, drugi ne, a ti tudi poudarjajo, da so verjetno imeli preveč heterogene delovne razmere. Če bi poskus ponavljali na istih strojih ter isti podlagi bi verjetno ugotovili statistično značilno povezanost med jakostjo tresenja ter hitrostjo vožnje.

Za zmanjšanje obremenitev s tresenjem celega telesa predlagamo organizacijski ukrep v smislu menjave delovnih mest ter izobraževanje o primernem načinu opravljanja dela in vplivu preobremenitev s tresenjem na strojnikovo zdravje. Splošni napotek za strojnike bi bil, da morajo predvsem prazno in polno vožnjo prilagajati terenskim razmeram. Z dodatnim akcelerometrom, vgrajenim v kabino zgibnega polprikoličarja, bi strojnik lahko bil obveščen o jakosti tresenja. Še bolj drastičen ukrep pa bi bil, da bi se stroj ustavil po določeni prejeti dozi tresenja.

7 SKLEPI

V magistrski nalogi smo ugotavljali obremenitve delavca z ropotom in tresenjem celega telesa. Te vrednosti smo primerjali z dopustnimi mejami ter z ergonomskega vidika primerjali spravilo lesa z zgibnimi polprikoličarji, prilagojenimi kmetijskimi traktorji ter zgibniki. Najprej bomo odgovorili na zastavljene hipoteze, v nadaljevanju pa podajamo pomembnejše splošne ugotovitve.

Odgovori na postavljene hipoteze

1. *Obremenitve strojnika zgibnega polprikoličarja z ropotom so nižje od primerjanih s traktorji ter pod dopustnimi mejami glede na veljavne pravilnike v RS.*

Upoštevati moramo dejstvo, da smo obremenitve z ropotom snemali za produktivni čas, v zaprti kabini, ob ugasnjeni klimi in radiu. Predpostavljamo, da je strojnik v delovnem času obremenjen z jakostjo ropota, ki je podobna našim meritvam. Obremenitve z ropotom za delovni čas smo primerjali z dopustnimi mejami in ugotovili, da le-te ne presegajo dopustnih mej glede na veljavne pravilnike v RS. Prav tako so obremenitve z ropotom zgibnega polprikoličarja nižje od primerjanih obremenitev pri delu s tehnološko starejšimi traktorji in zgibniki, vendar pa primerljive z obremenitvami pri delu z novejšim traktorjem. Hipotezo lahko ob upoštevanju vseh predpostavk potrdimo.

2. *Obremenitve strojnika zgibnega polprikoličarja s tresenjem so nižje od primerjanih s traktorji ter pod dopustnimi mejami glede na veljavne pravilnike v RS.*

Ugotovili smo, da obremenitev strojnika s tresenjem celega telesa variira predvsem zaradi podlage oz. terenskih razmer. Jakosti tresenja po deloviščih glede na kazalnik RMS VTV (od $0,60 \text{ m/s}^2$ do $1,17 \text{ m/s}^2$) ter VDV VTV (od $16,78 \text{ m/s}^{1,75}$ do $25,80 \text{ m/s}^{1,75}$) presegajo opozorilno vrednost dnevne izpostavljenosti, na enem delovišču s strojem Valmet 840.3 pa tudi mejno vrednost dnevne izpostavljenosti glede na Pravilnik ... (2005). Opozorilno vrednost glede na kazalnik RMS v aksialni smeri presegajo tresenja za delovišče VAL 840.3, glede na kazalnik VDV pa so v aksialni smeri opozorilne jakosti tresenja presežene na treh deloviščih (VAL 840.3, JD 1210E ter CAT 564B). Najvišje jakosti tresenja smo izmerili pri prazni in polni vožnji, katerih jakosti so primerljive s prilagojenimi kmetijskimi traktorji ter zgibniki. Za delovni čas smo ugotovili, da so jakosti tresenja nekoliko nižje od primerjanih s traktorji in zgibniki, pri stroju Valmet 840.3 pa celo primerljive. Hipotezo zavrnamo, saj obremenitve strojnika zgibnega polprikoličarja s tresenjem niso vedno pod dopustnimi mejami glede na pravilnik v RS ter tudi ne vedno nižje od primerjanih s traktorji in zgibniki.

Splošne ugotovitve za obremenitve z ropotom

- Na podlagi raziskave se zdi, da sta z vidika obremenitev z ropotom ergonomsko najugodnejša stroja proizvajalca John Deere.
- Obremenitve z ropotom so pod dopustnimi mejami le ob zaprtem oknu oz. ob zaprtih vratih kabine. Strojniki imajo težnjo po odpiranju oken – zaradi vročine, svežega zraka ali potrebe po kajenju. To pa pomeni, da se obremenitev z ropotom dvigne nad dopustne meje, zato priporočamo, da imajo strojniki ves delovni čas zaprto kabino. Več neproduktivnega časa bi ob delujočem stroju verjetno povečalo obremenitve z ropotom.
- Tudi pri zgibnih polprikoličarjih se višje jakosti ropota pojavijo pri starejših modelih.
- Za različne zgibne polprikoličarje obstajajo statistično značilne razlike med sredinami ekvivalentne jakosti ropota. Za stroje istega proizvajalca (John Deere) nismo mogli potrditi statistično značilnih razlik. Na razliko v ekvivalentni jakosti ropota imata verjetno velik vpliv tudi prostornina in moč motorja.
- Med sredinami ekvivalentne jakosti ropota za različne delovne operacije obstajajo statistično značilne razlike. Značilnih razlik ne moremo potrditi med nakladanjem in razkladanjem, polno in prazno vožnjo ter med delovno operacijo premik v primerjavi z nakladanjem, razkladanjem in polno vožnjo.
- Hitrost vožnje ne vpliva statistično značilno na jakost ropota.

Splošne ugotovitve za obremenitve celega telesa s tresenjem

- Z vidika jakosti tresenja celega telesa so ergonomsko najprimernejši stroji na deloviščih CAT 564B, JD1410D oz. JD 1210E.
- Najvišje jakosti tresenja smo izmerili za prazno vožnjo, sledita polna vožnja ter premik.
- Na splošno se najvišje jakosti tresenja pojavijo v aksialni (Y) smeri, sledijo tresenja vertikalne (Z) ter horizontalne (X) smeri.

- Z osnovno statistično analizo primerjave jakosti tresenja (tako RMS kot VDV ter njihovih smeri) smo potrdili statistično značilne razlike med stroji in med delovnimi operacijami.
- Med stroji obstaja najmanj razlik v vertikalni smeri (zaradi vzmetenja sedeža), več statistično značilnih razlik med stroji smo potrdili za aksialne in največ za horizontalne smeri tresenja.
- Obremenitve s tresenjem so tako za stroje kot za delovne operacije odvisne od vrste podlage, vrste stroja (opremljenost stroja) ter od načina dela strojnika. Obremenitev s tresenjem na brezpotju znižuje uporaba kovinskih gosenic – predvsem na prikolici.
- Hitrost vožnje ne vpliva statistično značilno na jakost tresenja.

8 POVZETEK

8.1 POVZETEK

Delovno okolje v gozdarski panogi je med manj ugodnimi in lahko povzroči vrsto zdravstvenih težav. Obremenitve strojnikov gozdarskih strojev so pogojene z vrsto stroja, načinom njegove uporabe in delovnimi razmerami. Med dejavniki delovnega okolja smo preučevali vpliv fizikalnih dejavnikov (ropota in tresenja) pri delu z zgibnimi polprikoličarji (John Deere 1410D, John Deere 1210E, Timberjack 810B, EcoLog 564B ter Valmet 840.3).

Meritve so potekale na petih različnih lokacijah ter s petimi operaterji. Namen naloge je ugotoviti obremenitev strojnikov z ropotom in tresenjem celega telesa (WBV), ugotovitve primerjati s sprejetimi dopustnimi mejami ter s prilagojenimi kmetijskimi traktorji in zgibniki. Raziskava je bila narejena na podlagi hkratne časovne študije ter meritev ropota in tresenja celega telesa na območju visokega krasa Slovenije v GGO Kočevje in GGO Postojna. Uporabljena sta bila mednarodna standarda SIST EN ISO 9612: 2009 ter ISO 2631/1: 1997, Evropski direktivi 2003/10/EC ter 2002/44/EC oz. 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).

Korigirana ekvivalentna jakost ropota za delovni čas je bila po deloviščih v intervalu med 68,4 dB(A) in 74,6 dB(A), konična jakost pa med 101,3 dB(C) in 130,2 dB(C). Najnižje obremenitve v produktivnem času so bile izmerjene na delovišču JD 1410D ter najvišje na delovišču TIMB 810B. S statistično analizo ropota smo dokazali, da so obremenitve z ropotom po deloviščih ter tudi med delovnimi operacijami značilno različne. Razlik ni mogoče potrditi med nakladanjem in razkladanjem, polno in prazno vožnjo ter med premikom v primerjavi z nakladanjem, razkladanjem in polno vožnjo. Hitrost vožnje ne vpliva statistično značilno na ekvivalentno jakost ropota.

Obremenitve s tresenjem celega telesa so bile v intervalu med $0,60 \text{ m/s}^2$ in $1,17 \text{ m/s}^2$ (vrednosti RMS VTV) oz. med $16,78 \text{ m/s}^{1,75}$ in $25,80 \text{ m/s}^{1,75}$ (vrednosti VDV VTV). Najnižje obremenitve s tresenjem so bile v produktivnem času izmerjene za delovišče CAT 564B ter najvišje za delovišče VAL 840.3. Najvišje vrednosti RMS ter VDV se za delovni čas pojavijo v aksialni smeri (Y) ter presegajo opozorilno vrednost dnevne izpostavljenosti na deloviščih VAL 840.3 ($0,66 \text{ m/s}^2$), JD 1210E ($9,33 \text{ m/s}^{1,75}$), CAT 564B ($10,35 \text{ m/s}^{1,75}$) ter VAL 840.3 ($14,28 \text{ m/s}^{1,75}$). Po jakosti tresenja sledijo vertikalne (Z) ter horizontalne smeri (X). S statistično analizo obremenitev celega telesa s tresenjem smo potrdili značilne razlike tako med delovišči kot med delovnimi operacijami. Hitrost vožnje ne vpliva značilno na jakost tresenja.

Glede na slovensko in evropsko zakonodajo v času meritev obremenitve z ropotom niso presegle spodnje opozorilne vrednosti, medtem ko so obremenitve s tresenjem celega telesa pri vseh strojih presegale opozorilno vrednost, pri stroju Valmet 840.3 pa tudi mejno vrednost dnevne izpostavljenosti. Za strojnika zgibnega polprikoličarja smo najvišje jakosti obremenitev s tresenjem in ropotom izmerili za delovno operacijo prazna vožnja, sledita polna vožnja in premik, najmanjše jakosti pa smo izmerili med nakladanjem oz. razkladanjem. Obremenitve z ropotom pri spravilu lesa z zgibnimi polprikoličarji so v primerjavi s pravilom lesa s prilagojenimi kmetijskimi traktorji in zgibniki nižje, obremenitve s tresenjem pa na primerljivem nivoju.

Glede na rezultate lahko potrdimo hipotezo, da so obremenitve strojnika zgibnega polprikoličarja z ropotom nižje od primerjanih s traktorji ter pod dopustnimi mejami glede na veljavne pravilnike v RS, ne moremo pa potrditi hipoteze, da so obremenitve strojnika zgibnega polprikoličarja s tresenjem nižje od primerjanih s traktorji ter pod dopustnimi mejami glede na veljavne pravilnike v RS. Glede na našo in tuje raziskave bi lahko bili ergonomsko najprimernejši stroji proizvajalca John Deere. Glede na rezultate se kot ukrep za zmanjšanje obremenitev predlaga rotacija delavcev na delovnih mestih, način dela, prilagojen delovnim razmeram, izobraževanje oz. ozaveščanje delavcev ter tehnične izboljšave vozila.

8.2 SUMMARY

Exposure to noise and especially to whole-body vibration (WBV) may cause a wide variety of health disorders and varies due to vehicle type, the way it is used and working conditions. The objective of this study was to measure and evaluate WBV and noise loads on the area of Slovenian high Carst during five - day research. In addition to this, those values were compared to the valid standards, adjusted agricultural tractors and skidders. At the same time we analyzed noise loads and WBV's according to different tasks and worksites. Measurements were performed on five different locations, operators and forwarders (John Deere 1410D, John Deere 1210E, Timberjack 810B, Ecolog 564B and Valmet 840.3). Measurements were made according to the international standards ISO 9612: 2009 and ISO 2631/1: 1997. Results were compared to European directive 2003/10/EC and European directive 2002/44/EC, which are equivalent to Slovenian national standards. Noise loads and WBV's differences between worksites and routine machine operations were compared using ANOVA (K - independent samples). This was followed by post-hoc multiple comparisons using Mann-Whitney (U-test). The first assumption was that exposure of forwarder operator to noise and whole-body vibration were not exceeded allowable limits stated in Slovenian and European legislation. The second assumption was that exposures to noise and whole-body vibration values were lower, compared to adjusted agricultural tractors and skidders. The results showed that exposures for working time were between 65,8 dB(A) and 73,6 dB(A) for equivalent noise level, and between 101,3 dB (C) and 130,2 dB(C) for peak sound pressure. The lowest noise loads in productive time were measured by John Deere 1410D and the highest by Timberjack 810B. Statistically significant results of noise loads showed that there were differences between worksites and between work tasks. We were not able to confirm statistically significant differences between two workplaces where worked forwarders of the same producer (John Deere) and between forwarders John Deere 1410D and EcoLog 564B. Likewise, the differences were not confirmed between loading and unloading cargo, between travel loaded and travel empty and between machine move compared to loading, unloading and travel loaded. There was no strong relation between speed and noise loads at travel empty or travel loaded, which may be a result of small variation of average speed, inaccurate measurement of speed, few measurements, interaction with terrain type. The exposure to the whole-body vibration varied from $0,60 \text{ m/s}^2$ to $1,17 \text{ m/s}^2$ (calculated as the RMS values), and from $16,78 \text{ m/s}^{1,75}$ to $25,80 \text{ m/s}^{1,75}$ (calculated as total vibration dose value –VDV). The lowest whole-body vibrations in productive time were measured on the worksite of EcoLog 564B and the highest on the worksite of Valmet 840.3. The highest RMS and VDV values for work-place time occurred at the y-axis, followed by z-axis and x-axis. Statistically significant results of WBV values showed that there were differences between worksites as well as between work tasks. According to RMS VTV there were statistically significant results between worksites of JD 1410D and VAL 840.3, CAT 564B and TIMB 810B and CAT 564B and VAL 840.3. There were only two

statistically significant differences according to VDV VTV, between TIMB 810B and CAT 564B and between CAT 564B and VAL 840.3. Small number of differences between forwarders were confirmed with respect to the vertical direction (probably because of seat suspension), the more to axial direction and the highest differences were confirmed to horizontal direction. Statistically significant differences according to RMS VTV were not confirmed between loading cargo and unloading and between driving loaded and machine move, according to VDV VTV were not confirmed differences between loading cargo and machine move, between driving loaded and driving empty and between driving loaded and machine move. There was no strong relation between average speed and RMS VTV in our study. According to Slovenian national and European legislation noise loads were not exceeded lower action value, while whole-body vibration exceeded action value, as well as the permissible value (Valmet 840.3) of daily exposure. The highest exposures to noise and whole-body vibration were achieved during travelling activities, especially during travel empty followed by travel loaded and machine move. The lowest exposures occurred at loading and unloading cargo. We confirmed the assumption that exposure of forwarder operator to noise were not exceeded allowable limits stated in Slovenian and European legislation and that those values were lower compared to adjusted agricultural tractors and skidders. We were not able to confirm that forwarder operator was not over loaded by WBV's, which were not lower compared to adjusted agricultural tractors and skidders. The most suitable machine from the ergonomic point of view could be both machines from the same producer (John Deere). According to the results exposures to noise and whole-body vibration could be reduced by rotation of workers, working method adapted to working conditions (the way the vehicle is driven) and technical improvements of the vehicle.

9 VIRI

- Abbate C., Micali E., Giorgianni C., Munao F., Brecciaroli R., Salmaso L., Germano D. 2004. Affective correlates of occupational exposure to whole-body vibration. A case-control study. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 73(6): 375-379
- Ariëns G.A., Bongers P.M., Douwes M., Miedema M. C., Hoogendoorn W. E., van der Wal G., Bouter L. M., van Mechelen W. 2001. Are neck flexion, neck rotation, an sitting work risk factors for neck pain? Results of a prospective cohort study. *Occupational and Environmental Medicine*, 58: 200-7
- 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 (20. 7. 2014)
- Bottoms D. J., Barber T.S. 1978. A swiveling seat to improve tractor drivers posture. *Applied ergonomics*, 9(2): 77-84
- 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
- Cation S., Jack R. J., Oliver M., Dickey J. P., Lee-She N. K. 2008. Six degree of freedom whole-body vibration exposure during forestry skidder operations. *International journal of industrial ergonomics*, 38: 739 – 757
- Čudina M. 2001. *Tehnična akustika: merjenje, vrednotenje in zmanjševanje hrupa in vibracij*. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo: 265 str.
- Direktiva 2002/44/ES o minimalnih zdravstvenih in varnostnih zahtevah glede izpostavljenosti delavcev tveganjem iz fizikalnih dejavnikov (vibracij). 2002. Evropski parlament. Evropski parlament in svet evrope. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002L0044&rid=1> (6.3.2014)
- Direktiva 2003/10/ES o minimalnih zahtevah za varnost in zdravje v zvezi z izpostavljenostjo delavcev fizikalnim dejavnikom (hrup). 2003. Evropski pralament. Evropski parlament in svet evrope. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32003L0010&rid=1> (6.3.2014)
- 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, SkogForsk - The Forestry Research Institute of Sweden: 85 str.
- Gellerstedt S. 1998. A self-leveling and swiveling forestry machine cab. *Journal of forest engineering*, 9(1): 7-16
- Gellerstedt S. 2002. Operation of the single-grip harvester: Motor-sensory and cognitive work. *International Journal of forest engineering*, 13(2): 35-47
- Guglielmino E., Stammers C. W., Stancioiu D., Sireteanu T., Ghigliazza R. 2005. Hybrid variable structure – fuzzy control of a magnetorheological damper for a seat suspension. *International journal of vehicle autonomous systems*, 3(1): 34-46
- Gerasimov Y., Sokolov A. 2009. Ergonomic characterization of harvesting work in Karelia. *Croatian journal of forest engineering* 30(2): 159-170

Gerasimov Y., Sokolov A. 2014. Ergonomic evaluation and comparison of wood harvesting systems in Northwest Russia. *Applied Ergonomics*, 45: 318 – 338

Guide to good practice on Whole-body vibration: Non-binding guide to good practice with a view to implementation of Directive 2002/44/EC on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibrations). 2008. European Commission, Directorate General Employment, Social Affairs and Equal Opportunities.
http://resource.isvr.soton.ac.uk/HRV/VIBGUIDE/2008_11_08%20WBV_Good_practice_Guide%20v6.7h%20English.pdf
(3.1.2015).

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

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

Jack R. J., Oliver M., Dickey J. P., Cation S., Hayward G., Lee-Shee N. 2010. Six-degree-of freedom whole-body vibration exposure levels during routine skidder operations. *Ergonomics*, 53, 5: 696-715

Kirk P. M., Byers J. S., Parker R. J., Sullman M. J. 1997. Mechanisation developments within the New Zeland forest industry: The human factors. *International Journal of forest engineering*, 8(1): 75-80

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

Kotar, M. 2011. Raziskovalne metode v upravljanju z gozdnimi ekosistemi. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Gozdarska založba: 510 str.

Lipoglavšek M., Kumer P. 1998. Humanizacija dela v gozdarstvu: učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 214 str.

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

Magnusson M, Pope M. H. 1998. A review of the biomechanics and epidemiology of working postures. It isn't always vibration which is to blame!. *Journal of sound and vibration*, 215: 965-76

Melemez K., Tunay M. 2010. An ergonomic evaluation on whole-body vibration of loading tractors in Turkish forestry. FORMEC 2010. Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment July 11 – 14, 2010, Padova – Italy
<http://intra.tesaf.unipd.it/formec2010/Proceedings/Ab/Ab014.pdf>
(12.7.2014)

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

Obranovič A. 2013. Obremenitev delavca z dejavniki delovnega okolja pri spravilu lesa z zgibnim traktorjem Ecotrac 120V: magistrsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta). Ljubljana, samozal.: 121 str.

Poje A. 2011. Vplivi delovnega okolja na obremenitev in težavnost dela sekača pri različnih organizacijskih oblikah: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta). Ljubljana, samozal.: 242 str.

Potočnik I. 2009. Ergonomija: študijsko gradivo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 176 str.

Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu. 2005. 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

Rehn B., Nilsson T., Lundström R., Hagberg M., Burström L. 2009. Neck pain combined with arm pain among professional drivers of forest machines and the association with whole-body vibration exposure. *Ergonomics*, 52, 10: 1240-1247

Seixas F., Barbosa R. A., Rummer R. 1999. Noise Level Determination in Forestry Machines. V: *Forestry Engineering for Tomorrow, Machinery Technical Papers*, June 28-30 1999. Edinburgh, University Edinburgh: 1-14

[http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_seixas001.pdf?](http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_seixas001.pdf)
(23. 7. 2014)

Sherwin L. M., Owende P. M. O., Kanali C. L., Lyons J., Ward S. M. 2004. Influence of tyre inflation pressure on whole body vibrations transmitted to the operator in a cut to length timber harvester. *Applied ergonomics*, 35: 253-261

SIST EN ISO 9612:2009. Acoustics – Determination of Occupational Noise Exposure – Engineering Method. 2009: 56 str.

Šenica R. 2012. Obremenitev delavcev z ropotom pri sečnji in spravilu lesa: diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta Oddelek. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Ljubljana, samozal.: 68 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

Tucker P. 2003. The impact of rest breaks upon accident risk, fatigue and performance: a review. *Work and Stress*, 17(2):123-137

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.

Žunič G. 2010. Obremenitev traktorista pri spravilu lesa: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire) Ljubljana, samozal.: 53 str.

Žunič G. 2014. Vpliv delovnih razmer na obremenitve strojnika zgibnega polprikoličarja z ropotom: mag. delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta). Ljubljana, samozal.: 91 str.

10 ZAHVALA

Za pomoč pri terenskih snemanjih ter napotke in nasvete pri izdelavi magistrske naloge se zahvaljujem somentorju, asist. dr. Antonu Poje. Prav tako gre zahvala mentorju prof. dr. Igorju Potočniku za končni pregled naloge ter doc. dr. Juriju Marenčetu za recenzijo naloge.

Za izvedbo meritev se zahvaljujem koncesionarju Gozdarstvo Grča ter podizvajalcem Andrej Črešnar s.p., podjetju Broman Holz OEG in podjetju Holzschlägerung Unterrainer Gerhard. Prav tako gre zahvala vsem njihovim strojnikom, katerim smo z meritvami zmotili običajen delovni dan.

Za pomoč pri terenskih snemanjih ter splošno spodbudo se zahvaljujem dekletu Mateji, prav tako se za spodbudo zahvaljujem staršema.

Za lektoriranje magistrske naloge se zahvaljujem Simoni Rutar. Za hiter tehnični pregled se zahvaljujem Luciji Peršin Arifović.

HVALA!