

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

Matej ŠILC

**VPLIV LASTNOSTI VLAK NA OBREMENITEV
TRAKTORISTA S TRESENJEM**

MAGISTRSKO DELO
Magistrski študij – 2. stopnja

Ljubljana, 2015

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

Matej ŠILC

**VPLIV LASTNOSTI VLAK NA OBREMENITEV TRAKTORISTA S
TRESENJEM**

MAGISTRSKO DELO
Magistrski študij – 2. stopnja

**IMPACT OF SKID TRAIL CHARACTERISTICS ON EXPOSURE OF
A SKIDDER DRIVER BY WHOLE-BODY VIBRATION**

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 z gozdarskim izvajalskim podjetjem Gozdarstvo Grča, d. d., iz Kočevja.

Študijska komisija Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete je za mentorja magistrskega dela imenovala prof. dr. Igorja Potočnika, za somentorja dr. Antona Pojeta, za recenzenta pa doc. dr. Jurija Marenčeta.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Magistrsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega dela na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Matej Šilc

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Du2
 DK GDK 36: 302(043.2)=163.6
 KG Ecotrac 120V /tresenje celega telesa/lastnosti vlak/grobost podlage
 KK
 AV ŠILC, Matej
 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 VPLIV LASTNOSTI VLAK NA OBREMENITEV TRAKTORISTA S TRESENJEM
 TD Magistrsko delo (magistrski študij – 2. stopnja)
 OP IX, 69 str., 20 pregl., 18 sl., 38 vir.
 IJ sl
 JI sl/en
 AI Namen magistrske naloge je bil razjasniti vpliv, ki ga imajo lastnosti vlak na obremenitev voznika zgibnega traktorja s tresenjem celotnega telesa. Meritve jakosti tresenja celotnega telesa so bile opravljene na sedežu in pod sedežem zgibnega traktorja Ecotrac 120V in sicer na 50 metrih odsekih gozdne ceste in vlake v mirovanju in med premikanjem zgibnika. Pri prazni vožnji so bile izvedene meritve pri 1000, 1500 in 2000 obratih motorja zgibnika, pri polni pa pri 1500 obratih motorja. Indeks neravnosti (HRI) se je pridobil s pomočjo terestričnega laserskega skeniranja obeh tras. Ugotovili smo, da obremenitve s tresenjem celotnega telesa naraščajo z naraščanjem grobosti podlage. Najvišje obremenitve s tresenjem (do $1,6 \text{ m/s}^2$) smo izmerili v aksialni (Y) smeri. V splošnem je razvidno, da jakosti tresenja naraščajo v vseh smereh (X, Y, Z) in njihovi vektorski velikosti (RMS VTV). Meritve so pokazale, da so po kazalniku RMS VTV, jakosti tresenja pri prazni vožnji za od 7,4 do 28,1-krat višje kot pri mirovanju. Ugotovili smo tudi, da so glede na kazalnik RMS VTV jakosti tresenja celotnega telesa pri prazni vožnji po vlaki za od 1,5 do 2,4-krat višje kot pri prazni vožnji po cesti. Sedež zmanjšuje obremenitve v mirovanju, pri višjih hitrostih zgibnika pri prazni ter predvsem pri polni vožnji po vlaki, povečuje pa pri vožnji po cesti oz. podlagi z nizko neravnostjo ter nizkih hitrostih pri prazni vožnji. Ob predpostavki, da se jakosti tresenja po posameznih faktorjih seštevajo, smo ocenili prispevke posameznih faktorjev h končni jakosti tresenja. Tako lahko zaključimo, da je hitrost vožnje najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na jakost tresenja celega telesa, sledi pa neravnost podlage. Ukrepi za zmanjšanje obremenjenosti s tresenjem so: prilagoditev hitrost vožnje grobosti podlage, delovanje gozdarskega stroja pod čim nižjim tlakom pnevmatik, kot to še dovoljujejo razmere za varno delo, vzdrževanje planuma vlak, izbor pravilno vzmetenega in pritrjenega sedeža, ter organizacijski ukrepi, ki zmanjšujejo čas izpostavljenosti delavca obremenitvam s tresenjem.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du2
 DC FDC 36: 302(043.2)=163.6
 CX Ecotrac 120V/whole-body vibration/skid trail characteristics/roughness of basis
 CC
 AU ŠILC, Matej
 AA POTOČNIK, Igor (supervisor)/POJE, Anton (co-supervisor)
 PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Forestry and Renewable Forest Resources
 PY 2015
 TI IMPACT OF SKID TRAIL CHARACTERISTICS ON EXPOSURE OF A SKIDDER DRIVER BY WHOLE-BODY VIBRATION
 DT M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)
 NO IX, 69 p., 20 tab., 18 fig., 38 ref.
 LA sl
 AL sl/en
 AB The purpose of master thesis was to investigate the impact of characteristics of skid trails on exposure of a skidder driver by whole-body vibration. Measurements of the intensity of whole-body vibration were carried out on and under the seat of an Ecotrac 120V skidder on 50-meter sections of a forest road and a skid trail at rest and during the movement of the skidder. In case of driving empty, the measurements were performed at 1000, 1500 and 2000 rpm of the skidder motor and, in case of driving full, at 1500 rpm. Roughness index (HRI) was obtained by means of terrestrial laser scanning of both routes. We established that the exposure of whole-body vibration increases with increasing roughness of the basis. We measured the highest exposure to vibration (up to 1.6 m/s^2) in axial direction. In general, it is evident that the intensity of vibration increases in all directions (X, Y, Z) and their vector magnitude (RMS VTV). Measurements showed that according to the RMS VTV indicator the vibration intensity when driving empty is 7.4 to 28.1 times higher than at rest. We also found out that the intensity of whole-body vibration when driving empty on a skid trail is 1.5 to 2.4 times higher than when driving empty on road, according to the RMS VTV indicator. Seat reduces the exposure at standstill, at higher skidder speeds when driving empty and mostly when driving full on a skid trail and increases them when driving on a road or a basis with low roughness and when driving empty at low speeds. Assuming that the intensities of vibration add up by individual factors, we evaluated the contribution of each factor to the final intensity of vibration. Thus, we can conclude that speed is the most important factor which affects the intensity of whole-body vibration, followed by the roughness of the basis. Measures for reducing the exposure to vibration are: adjustment of the driving speed to the roughness of the basis, operation of a forestry machine with tire pressure as low as conditions for safe work allow, maintenance of the skid trail foundation, selecting a properly cushioned and fixed seat and organizational measures that reduce the exposure time of a worker to the exposure to vibration.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	IX
1 UVOD	1
2 DOSEDANJE RAZISKAVE	3
2.1 ŠKODLJIVI VPLIVI TRESENJA NA ZDRAVJE	3
2.2 OBREMENITVE S TRESENJEM PRI SPRAVILU LESA	4
2.3 VPLIV TLAKA PNEVMATIK NA OBREMENITVE S TRESENJEM.....	7
2.4 VPLIV RAZLIČNIH PODLAG IN HITROSTI NA OBREMENITVE S TRESENJEM	9
2.5 MEDNARODNI INDEKS NERAVNOSTI.....	10
3 RAZISKOVALNE HIPOTEZE.....	13
4 MATERIAL IN METODE	14
4.1 OBMOČJE RAZISKAVE	14
4.1.1 Izbira ustreznih tras	14
4.1.2 Lastnosti objektov	14
4.1.3 Zakoličenje in priprava tras	16
4.2 OPIS DELOVNIH SREDSTEV	18
4.2.1 Zgibni traktor Ecotrac 120V.....	18
4.3 OPIS MERILNIH NAPRAV	20
4.3.1 Leica ScanStation Type P20.....	20
4.3.2 Merilnik jakosti tresenja Bruel & Kjaer	23
4.3.3 Kamera Sony HDR AS15.....	25
4.4 OPIS POTEKA MERITEV	26
4.5 KAZALNIKI OBREMENJENOSTI S TRESENJEM IN DOPUSTNE MEJE	29
4.6 OBDELAVA PODATKOV	31
5 REZULTATI.....	35
5.1 KORELACIJA MED INDEKSOM NERAVNOSTI IN TRESENJEM.....	35
5.2 VPLIVI NA OBREMENITVE DELAVCA.....	41
5.2.1 Vpliv stanja zgibnega traktorja na obremenitve delavca	41
5.2.2 Vpliv podlage na obremenitve delavca	43

5.2.3	Vpliv obremenitve zgibnega traktorja na obremenitve delavca	46
5.2.4	Modelna dnevna obremenitev delavca	47
5.3.1	Dušenje sedeža glede na stanje zgibnega traktorja.....	48
5.3.2	Dušenje sedeža glede na podlago	50
5.3.3	Dušenje sedeža glede na obremenitev zgibnega traktorja	52
6	RAZPRAVA.....	54
6.1	PRESOJA METODE MERITEV	54
6.2	VPLIVI NA OBREMENITVE DELAVCA S TRESENJEM	55
6.3	UKREPI ZA ZMANJŠANJE OBREMENITEV CELEGA TELESIA S TRESENJEM	59
7	SKLEPI	61
8	POVZETEK.....	63
9	VIRI	66
	ZAHVALA	70

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tehnične lastnosti zgibnega traktorja Ecotrac 120V	19
Preglednica 2: Prikaz hitrosti pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja, na različnih podlagah in z/brez obremenitve.....	34
Preglednica 3: Jakost tresa v mirovanju in prazni vožnji pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja	41
Preglednica 4: Statistično tveganje pri preverjanju srednjih vrednosti jakosti tresa med različnimi obrati motorja zgibnika za vse smeri tresa pri mirovanju in premiku.....	42
Preglednica 5: Statistično tveganje pri preverjanju srednjih vrednosti jakosti tresa med mirovanjem in premikom pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja za vse smeri tresa.....	43
Preglednica 6: Jakost tresa na cesti in vlaki pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja (upoštevana samo prazna vožnja)	44
Preglednica 7: Statistično tveganje pri preverjanju srednjih vrednosti jakosti tresa med različnimi obrati motorja zgibnega traktorja za vse smeri tresa na cesti in vlaki.....	44
Preglednica 8: Statistično tveganje pri preverjanju srednjih vrednosti jakosti tresa med cesto in vlako pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja za vse smeri tresa.....	45
Preglednica 9: Jakost tresa med prazno in polno vožnjo po cesti in vlaki pri 1500 obratih motorja	46
Preglednica 10: Statistično tveganje pri preverjanju srednjih vrednosti jakosti tresa med polno in prazno vožnjo pri 1500 obratih motorja zgibnega traktorja za vse smeri tresa	46
Preglednica 11: Preračunana dnevna obremenitev delavca s tresenjem celega telesa med vožnjo po vlaki	47
Preglednica 12: Dušenje sedeža v mirovanju in prazni vožnji pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja	48
Preglednica 13: Statistično tveganje razlik med jakostmi tresa na in pod sedežem pri mirovanju in premiku zgibnika ter pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja	48
Preglednica 14: Statistično tveganje razlik med jakostmi tresa pod sedežem v mirovanju in med premikom pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja.....	49
Preglednica 15. : Dušenje sedeža na cesti in vlaki pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja.....	50
Preglednica 16: Statistično tveganje razlik med jakostmi tresa na in pod sedežem na cesti in vlaki ter pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja	51
Preglednica 17: Statistično tveganje razlik med jakostmi tresa pod sedežem na cesti in vlaki pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja	51
Preglednica 18: Dušenje sedeža med polno in prazno vožnjo pri 1500 obratih motorja zgibnega traktorja	52

Preglednica 19: Statistično tveganje razlik med jakostmi tresenja na in pod sedežem pri polni in prazni vožnji zgibnika pri 1500 obratih motorja zgibnega traktorja 52

Preglednica 20: Statistično tveganje razlik med jakostmi tresenja pod sedežem pri polni in prazni vožnji zgibnika pri 1500 obratih motorja zgibnega traktorja 53

KAZALO SLIK

Slika 1: Slika prikazuje indeks neravnosti (IRI) v povezavi z različnimi tipi podlage (Sayers in Karamihas, 1998, str.: 48)	11
Slika 2: Trasa ceste, ki leži v oddelku 15025B je označena z rdečo bravo	15
Slika 3: Trasa vlake, ki leži v oddelku 15024A je označena z rdečo bravo	16
Slika 4: Delno pripravljena trasa vlake	17
Slika 5: Zgibni traktor Ecotrac 120V	18
Slika 6: Leica ScanStation Type P20	20
Slika 7: Slika prikazuje način delovanja rotirajočih zrcal (Balon, 2007, str.: 25).....	21
Slika 8: Adapter Breuel & Kjaer 4515-B-002 pritrjen na sedežu zgibnika.....	23
Slika 9: Merilna naprava Bruel & Kjaer Pulse LAN Xi nameščena v nahrbtniku, zraven nahrbtnika vidimo pospeškomer, nameščen na podnožje sedeža zgibnega traktorja.....	24
Slika 10: Kamera Sony, magnetno pričvrščena na bok zgibnega traktorja	25
Slika 11: Leica Scanstation Type P20 med skeniranjem trase vlake	26
Slika 12: Zgibni traktor z bremenom med meritvami na trasi vlake	28
Slika 13: Digitalni model reliefa vlake in z rdečo bravo označene kolesnice zgibnega traktorja.....	33
Slika 14: Povezava med jakostjo tresenja po kazalniku RMS VTV, ter vrednostjo HRI (m/km), prikazan je tudi prečni profil vlake.....	35
Slika 15: Odvisnost RMS VTV jakosti tresenja od HRI indeksa pri polni in prazni vožnji po cesti in vlaki pri različnih obratih motorja.....	36
Slika 16: Odvisnost RMS X jakosti tresenja od HRI indeksa pri polni in prazni vožnji po cesti in vlaki pri različnih obratih motorja.....	37
Slika 17: Odvisnost RMS Y jakosti tresenja od HRI indeksa pri polni in prazni vožnji po cesti in vlaki pri različnih obratih motorja.....	38
Slika 18: Odvisnost RMS Z jakosti tresenja od HRI indeksa pri polni in prazni vožnji po cesti in vlaki pri različnih obratih motorja.....	39

1 UVOD

Po raziskavah javnega mnenja v Sloveniji, sta zdravje in delo vrednoti, ki ljudem največ pomenita (Varnost in zdravje ..., 1999). Glede na to, da v povprečju na delovnem mestu preživimo tretjino svojega časa, je zelo pomembno, da je delo na delovnem mestu udobno in predvsem varno in zdravju neškodljivo. Fizično oziroma telesno udobje delavca je osnovna ergonomska zahteva za varno in zdravo delo s stroji. Največje neudobje pa, poleg drugih negativnih vplivov, povzroča tresenje celotnega ali posameznih delov telesa.

V gozdarstvu se delavci soočajo z mnogimi poklicnimi tveganji. Med njimi je tudi izpostavljenost določenega dela telesa ali pa celotnega telesa tresenju. Tresljaji so pomemben dejavnik delovnega okolja pri delu v gozdu, ki neugodno vplivajo na delavca. To so mehanična nihanja, ki se po različnih materialih – sestavnih delih strojev, kot so tla, sedež, pedala in ročice, prenašajo na človeka, ki stroje upravlja ali jih uporablja (Lipoglavšek in Kumer, 1998).

V človekovem telesu se tresenje prenaša predvsem prek okostja. Občutljivost telesa za tresenje, ki ga sprejemajo mehanoreceptorji v telesu, je največja pri nizkih frekvencah 4–5 oziroma 2–7 Hz. Tudi subjektivni občutek neugodja je tedaj največji (Lipoglavšek in Kumer, 1998).

Neugoden vpliv je odvisen od jakosti, frekvence, smeri, trajanja in mesta, kjer se tresenje prenaša na človekovo telo. Jakost obremenitve s tresenjem delavca pa je odvisna predvsem od lastnosti delovnega stroja (kakovost in oblika sedeža, izoliranost delovne kabine ...), ravnanja delavca, deformiranosti podlage ter sestojnih, vremenskih in delovnih razmer.

Košir (1982) ugotavlja, da se pri delu z gozdarskimi traktorji vibracijam oziroma tresenju ni mogoče povsem izogniti, lahko pa omilimo njihov kvarni vpliv. Traktorist lahko s pravilno držo in pravilnim sedenjem na sedežu pripomore k zmanjšanju negativnega vpliva izpostavljenosti tresenju celega telesa (Sherwin in sod., 2004).

V Sloveniji je še vedno prevladujoče klasično, traktorsko spravilo lesa. Med to spravilno obliko lesa štejemo manjše in večje prilagojene kmetijske traktorje, ter za gozdarske

potrebe narejene zgibne traktorje, kot je Hittner Ecotrac 120V, katerega smo uporabili pri meritvah.

Ker je ravnanje delavca med delom težko nadzorovati, in, ker morajo biti ukrepi za zmanjševanje obremenitev primarno usmerjeni v odstranjevanje nevarnosti, se zdi najbolj smiselno, da so ukrepi za zmanjševanje obremenitev usmerjeni v organizacijo dela (npr. menjava dela) ali v zamenjavo tehnološko zastarelih delovnih sredstev ter v spreminjanje delovnih razmer, med katerimi je ena najpoglavitejših odprtost gozdov s primarnimi in sekundarnimi prometnicami. S povečevanjem razdalje vlačanja se namreč povečujejo obremenitve celega telesa s tresenjem. Zagotovo pa na obremenitve vplivajo tudi lastnosti vlak, ki so odvisne od njene gradnje kakor tudi od njenega vzdrževanja, kar bi lahko pomenilo, da so obremenitve v neposredni povezavi s finančnim vložkom v sekundarno omrežje vlak. Z magistrsko nalogo želimo razjasniti vpliv, ki ga imajo lastnosti vlak na obremenitve s tresenjem ter s tem upravičenost dodatnega finančnega vlaganja v vzdrževanje vlak.

2 DOSEDANJE RAZISKAVE

2.1 ŠKODLJIVI VPLIVI TRESENJA NA ZDRAVJE

Traktoristi so pri gozdarskem delu podvrženi vsakodnevnim, večurnim izpostavitvam tresenju celega telesa, med tem ko so večinoma v prisilni drži na sedežu zgibnega traktorja. Za upravljanje zglobnika izvajajo ponavljajoče se, večinoma enake gibe rok in nog, ramenskega obroča in glave.

Več avtorjev (Axelsson in Ponten, 1990; Griffin, 1990; Gellerstedt, 2002) navaja, da so kljub ergonomskim izboljšavam gozdarskih strojev še vedno prisotne poškodbe in/ali bolečine vratu, rok, ramen, nog, hrbtenice, še posebej pa spodnjega dela hrbtenice, živčnega sistema, prebavnega trakta. Izpostavljenost tresenju celotnega telesa lahko vpliva na motorične sposobnosti upravljavca gozdarskega stroja, še posebej pri frekvencah od 10 do 30 Hz. Velja, da se izogibamo frekvencam, ki so enake lastnim frekvencam notranjih organov (Griffin, 1990).

Izvor in razlog mišično-skeletnih poškodb upravljavcev gozdarskih strojev se skriva v kombinaciji obremenjenosti s tresenjem celega telesa, ponavljajočih gibov povezanih z upravljanjem gozdarskega stroja (Axelsson in Ponten, 1990), ter prisilne nepravilne drže hrbtenice. Ko je hrbtenica sključena, vretenca niso več vzporedna s hrbtno površino, tako da so sile na vretencih večje, kot pri normalni drži (Griffin, 1990).

Pri delu v gozdarstvu pa s tresenjem niso obremenjeni le upravljavci gozdarskih strojev, ampak tudi sekači. Najhujše doslej znane posledice tresenja pri delu v gozdarstvu so povzročile motorne žage – imamo vrsto invalidov zaradi vibracijske bolezni (Lipoglavšek in Kumer, 1998). Kljub nenehnim izboljšavam tehnologij motornih žag pa jakosti tresenja, še vedno močno presegajo s pravilnikom določeno dopustno mejo (Šilc, 2011).

2.2 OBREMENITVE S TRESENJEM PRI SPRAVILU LESA

Večina avtorjev (Poje, 2011; Obranovič, 2013; Jack in sod., 2010; Košir, 1982; Žunič, 2010), ki so preučevali obremenitve traktorista s tresenjem, ugotavlja, da so vrednosti najvišje, kadar je bil traktor v premikanju. Tudi meritve jakosti tresenja pri zgibnem polprikoličarju kažejo, da so najvišje prav med premikanjem (Rehn in sod., 2005). Golsee in Hope (1987) ugotavljata, da so upravljavci zgibnikov v primerjavi z upravljavci ostalih gozdarskih strojev bolj izpostavljeni obremenitvam s tresenjem celega telesa, kar pripisujeta večjim hitrostim vožnje zgibnega traktorja v primerjavi z ostalimi gozdarskimi stroji.

Poje (2011) je z raziskavo v okviru doktorske disertacije preučeval obremenjenost traktorista s tresenjem na zgibnem gozdarskem traktorju Timberjack 240C. Meritve so bile razdeljene na delovne operacije. Rezultati so pokazali, da so RMS VTV obremenitve s tresenjem večje med opravili, pri katerih se je traktor premikal, med temi pa najvišje med prazno vožnjo ($1,31 \text{ m/s}^2$) in rampanjem lesa ($1,22 \text{ m/s}^2$) ter najmanj med polno vožnjo ($0,91 \text{ m/s}^2$). Avtor ugotavlja, da lahko vzroke za večje obremenitve s tresenjem med prazno v primerjavi s polno vožnjo iščemo v večji hitrosti traktorja med prazno vožnjo. Med opravili, pri katerih pa je traktor miroval, so najvišje obremenitve izmerjene med delovno operacijo privlačevanja lesa ($0,89 \text{ m/s}^2$) ter najmanjše pri zastoju zaradi osebnih potreb ($0,35 \text{ m/s}^2$). Razlog, da so obremenitve večje pri privlačevanju, leži v višjih obratih motorja traktorja. Avtor nadalje ugotavlja, da glede na primerjave obremenitev celega telesa traktorista s tresenjem po opravilih lahko zaključimo, da so obremenitve lahko posledica stanja prometnic, po katerih poteka spravilo lesa (prazna vožnja – premik po skladišču), hitrost vožnje (prazna vožnja – polna vožnja) in obratov motorja traktorja (privlačevanje – zastoj zaradi osebnih potreb). Največje obremenitve s tresenjem so bile v vertikalni smeri, kar nakazuje na vprašljivo sposobnost sedeža na dušenje tresenja.

Meritve obremenjenosti voznika zgibnega traktorja s tresenjem so bile opravljene tudi na identičnem zgibnem traktorju, kot smo ga uporabili pri naši raziskavi, se pravi Ecotrac 120V.

Prva raziskava je bila opravljena še na prototipu zgibnega gozdnega traktorja Ecotrac 120V, ki sta jo opravila Goglia in Đukić (2005). Meritve sta opravila na novem in eno leto starem zgibnem traktorju, in sicer med mirovanjem zgibnika. Jakost tresenja sta merila na krmilniku – volanu in na sedežu zgibnega traktorja. Meritve na volanu zgibnika so pokazale, da je največja jakost tresenja pri prostem teku ($2,88 \text{ m/s}^2$), najmanjša vrednost pa pri polnem plinu ($0,58 \text{ m/s}^2$). Pri zgibnem traktorju, ki je bil v uporabi eno leto, pa so bile izmerjene vrednosti najvišje pri prostem teku ($0,84 \text{ m/s}^2$), najnižje pa pri polnem plinu ($0,43 \text{ m/s}^2$).

Obremenjenost s tresenjem so merili tudi na sedežu novega zgibnika, kjer so ugotovili, da so jakosti tresenja v X osi najnižje pri vožnji v prvi prestavi ($0,092 \text{ m/s}^2$) ter najvišje pri vožnji v peti prestavi ($0,63 \text{ m/s}^2$). Vrednosti jakosti tresenja na Y osi so se bile izmerjene med $0,042 \text{ m/s}^2$ pri vožnji v prvi prestavi in $0,38 \text{ m/s}^2$ pri vožnji v peti prestavi. Na Z osi pa so se pri vožnji v peti prestavi vrednosti gibale med $0,06 \text{ m/s}^2$ in $0,357 \text{ m/s}^2$. Pri zgibnem traktorju, ki je bil v uporabi eno leto, so meritve opravili pri sedmih različnih obremenitvah motorja na vseh treh (X, Y, Z) oseh. Prišli so do ugotovitev, da dobljene vrednosti jakosti tresenja celotnega telesa, ne presegajo kritičnih vrednosti, ki bi lahko ogrozile zdravje traktorista.

Tudi meritve v raziskavi, ki jo je Obranovič (2013) opravil v okviru svoje magistrske naloge, so bile opravljene na zgibnem traktorju Ecotrac 120V. V raziskavi je bilo ugotovljeno, da je skupna obremenitev s tresenjem celega telesa po kazalniku RMS VTV znašala $0,98 \text{ m/s}^2$. Ugotovil je, da je bil traktorist bistveno bolj kot v neproduktivnem času obremenjen v produktivnem času ($1,08 \text{ m/s}^2$). Najbolj je bil traktorist obremenjen v času premikanja traktorja. Največja obremenitev s tresenjem celega telesa je nastala med rampanjem in prazno vožnjo ($1,53 \text{ m/s}^2$). Sledijo delovne operacije polna vožnja ($1,51 \text{ m/s}^2$) in oba premika. Skupna obremenitev s tresenjem celega telesa po kazalniku VDV VTV pa je znašala $41,22 \text{ m/s}^{1,75}$. V tem primeru je bila najbolj obremenjujoča delovna operacija rampanje ($32,41 \text{ m/s}^{1,75}$). Sledita delovni operaciji polna ($29,99 \text{ m/s}^{1,75}$) in prazna vožnja ($25,12 \text{ m/s}^{1,75}$) ter zastoj zaradi organizacije dela (izvajanje gozdnega reda) ($23,97 \text{ m/s}^{1,75}$). Če se izračunane vrednosti ($0,89 \text{ m/s}^2$ in $41,97 \text{ m/s}^{1,75}$) primerjajo z vrednostmi iz Pravilnika o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu, lahko ugotovimo, da izračunane vrednosti po kazalniku RMS VTV presega samo

opozorilno vrednost dnevne izpostavljenosti ($0,5 \text{ m/s}^2$). Izračunana vrednost po kazalniku VDV VTV pa presega tako opozorilno ($9,1 \text{ m/s}^{1,75}$) kot tudi mejno vrednost dnevne izpostavljenosti ($21 \text{ m/s}^{1,75}$). Na podlagi ugotovitev sklepamo, da je bilo delo pretežavno ter da je bil traktorist v času raziskave preobremenjen s tresenjem celega telesa. Ugotovili smo namreč, da izračunane modelne vrednosti presegajo uveljavljene mednarodne norme in zakonsko dovoljene meje dnevne izpostavljenosti. Prav tako smo ugotovili, da na vse merjene dejavnike značilno vplivajo kazalci odprtosti s primarnimi in sekundarnimi gozdnimi prometnicami (Obranovič, 2013).

Cation in sod. (2008) so ugotavljali obremenitve več delavcev s tresenjem celega telesa pri upravljanju gozdarskih zgibnih traktorjev. Meritve obremenitev so merili v šestih smereh, in sicer v treh rotacijskih oziroma krožnih in treh translacijskih smereh. Obremenitve so merili na podvozju in sedežu zgibnika, večje jakosti so bile na sedežu. Jakosti tresenja so bile najvišje pri prazni vožnji ($2,1 \text{ m/s}^2$). Največja obremenitev v rotacijskih smereh je bila v smeri kotaljenja, kar kaže na vpliv terena na obremenitev s tresenjem. Glede na kategorizacijo delovnih pogojev ISO standarda (ISO 2631-1:1997) so ugotovili, da 4 urna izpostavljenost tresenju preseže zgornjo mejo izpostavljenosti tresenju in spada v kategorijo neudobno/zelo neudobno.

Košir (1982) je v raziskavi primerjal jakosti tresenja za različne delovne operacije in na različnih deloviščih pri adaptiranem goseničarju FIAT 505 C, zgibnim traktorjem Timberjack (208 in 209D) ter adaptiranim kolesnikom IMT 558. Pri vseh gozdarskih strojih so bile jakosti največje pri polni in prazni vožnji. Medtem ko se jakosti pri IMT 558 in obema zgibnikoma vrtijo od $3,28 \text{ m/s}^2$ do $3,53 \text{ m/s}^2$, pa močno izstopa goseničar, pri katerem je najvišja izmerjena jakost pri polni vožnji $6,20 \text{ m/s}^2$. Avtor še ugotavlja, da voznika najbolj obremenjuje vožnja po vlaki. Pri adaptiranem kolesniku je vožnja traktorja predstavljala od 45 do 75 % produktivnega časa, pri čemer je bil njen prispevek k skupni obremenitvi v ciklusu med 61 in 95 %.

Močnik (2014) je v okviru svoje diplomske naloge primerjal starejši traktor (Zetor 5340, letnik 1996) z novejšim traktorjem (Zetor 8443, letnik 2008). Med drugim je ugotavljal jakost tresenja. Najvišje jakosti so bile izmerjene pri prazni vožnji in sicer $1,95 \text{ m/s}^2$ RMS VTV za novejši in $1,94 \text{ m/s}^2$ RMS VTV za starejši traktor.

Žunič (2010) v raziskavi ugotavlja, da so bile največje RMS VTV obremenitve s tresenjem celotnega telesa pri prazni vožnji, in sicer $1,97 \text{ m/s}^2$ in nato pri polni vožnji $1,82 \text{ m/s}^2$. Najvišje obremenitve so bile v horizontalni smeri. Skupna dnevna obremenitev traktorista je znašala $1,03 \text{ m/s}^2$, kar je po Pravilniku o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu (2005) nad opozorilno mejo in pod mejno vrednostjo.

Obremenitve s tresenjem pa nastajajo tudi na volanu in krmilnih ročicah. Skupna obremenitev jakosti tresenja rok na volanu majhnega kmetijskega traktorja je bila $14,28 \text{ m/s}^2$, od tega $4,26 \text{ m/s}^2$ v prostem teku ter $17,91 \text{ m/s}^2$ pri polnem plinu (Goglia in sod., 2003). Tudi tresenje rok in dlani na volanu narašča s hitrostjo vožnje in je doseglo skupno vrednost 4 m/s^2 , z največjimi vrednostmi pri 50 Hz pri vožnji po terenu (Marsili in sod., 1998).

2.3 VPLIV TLAKA PNEVMATIK NA OBREMENITVE S TRESENJEM

Pri pregledu raziskav na temo vpliva tlaka pnevmatik na obremenjenost celega telesa s tresenjem smo ugotovili, da je teh raziskav relativno malo.

Sherwin in sod. (2004) so naredili raziskavo vpliva tlaka pnevmatik na tresenje celotnega telesa operaterja stroja za sečnjo. Merilnik je bil nameščen na sedežu operaterja stroja za sečnjo, tresenje pa je bilo merjeno v treh pravokotnih oziroma ortogonalnih smereh in sicer X, Y, Z. Testiranja so bila narejena na istih pnevmatikah z različnim tlakom in sicer 138 kPa, 345 kPa in 414 kPa. Tresenje je prevladovalo na Z osi. Tresenje je bilo v vseh smereh v frekvenčnem spektru od 2 do 8 Hz in z vrhovi do največ 16 Hz. Največja izmerjena vrednost tresenja je bila $0,281 \text{ ms}^{-2}$ pri frekvenci 3,15 Hz. Rezultati kažejo da so bile vrednosti tresenja z znižanjem tlaka v pnevmatikah iz 414 kPa na 138 kPa kar za 55 % nižje. Zato avtorji članka svetujejo, da naj stroj deluje pod čim nižjim tlakom pnevmatik kot to še dovoljujejo razmere za varno delo. Ko se odločamo o tlaku v pnevmatikah, moramo v obzir vzeti tudi težo, naloženosti vozila, ter terenske in vremenske razmere.

Cuong in sod. (2013) so v raziskavi na Kitajskem med drugim ugotavljali tudi vpliv tlaka pnevmatik na tresenje. Za raziskavo je bil uporabljen traktor brez vzmetenja. Poskus je bil opravljen na dveh podlagah, od katerega je bila ena mehka in z veliko vsebnostjo vlage. Pri takšni vrsti strojev brez vzmetenja so pnevmatike edini in prvi primarni sistem, ki delujejo kot vzmetenje in zadušijo določeno količino tresenja. Tresenje je bilo merjeno na prednji ter zadnji osi traktorja ter na sredini traktorja. Znižanje tlaka v prednjih pnevmatikah je znižalo vrednosti tresenja. Znižanje tlaka v prednjih pnevmatikah pa ni imelo takega vpliva na tresenje, če je bil poskus izveden na podlagi z veliko vsebnostjo vlage, se pravi na razmočenih tleh. Vrednosti RMS tresenja so bile višje na prvi, kot na zadnji osi traktorja. Najvišje vrednosti tresenja so bile izmerjene na Z (navpični oziroma vertikalni) osi, nižje so bile v X (vzdolžni oziroma horizontalni) in najnižje v Y (bočni oziroma aksialni) osi. Tlak v pnevmatikah je bil za prvi dve gumi od 90 do 210 kPa in od 60 do 180 kPa za zadnji dve gumi. S povečanjem tlaka iz 90 na 210 kPa na prvem paru pnevmatik in iz 60 na 180 kPa na zadnjem paru pnevmatik so se vrednosti tresenja povečale iz $0,337 \text{ m/s}^2$ na $1,270 \text{ m/s}^2$, iz $0,772 \text{ m/s}^2$ na $1,578 \text{ m/s}^2$ in iz $0,987$ na $2,038 \text{ m/s}^2$ pri hitrostih 1,16 m/s, 1,49 m/s in 1,79 m/s. Zaključek raziskave je, da so pri traktorjih brez vzmetenja znižanje tlaka v pnevmatikah ter vožnja po bolj vlažni podlagi dobri metodi za znižanje obremenjenosti celega telesa s tresenjem. Ugotovljeno je bilo tudi, da se jakost tresenja povečuje, ko se povečuje hitrost traktorja.

Tudi nemški raziskovalci Bloch in sod. (1992) ugotavljajo, da se z znižanjem tlaka v pnevmatikah traktorja znižajo obremenjenosti s tresenjem celega telesa. V raziskavi, ki so jo naredili na gozdni cesti in vlaki, so znižali tlak iz 250 kPa na 80 kPa oziroma iz 2,5 barov na 0,8 barov. S tem, ko so znižali tlak so se jakosti tresenja na obeh podlagah znižale za od 10 % do 20 %, in sicer tako pri prazni kot pri polni vožnji.

2.4 VPLIV RAZLIČNIH PODLAG IN HITROSTI NA OBREMENITVE S TRESENJEM

Na Japonskem so Yokomuri in sod. (1986) naredili raziskavo o vplivu različnih struktur vozne podlage na tresenje krmila pri motornem kolesu. Merilnik tresenja je bil nameščen na kovinski del krmila motornega kolesa, tik ob držalu za levo roko. Raziskava je bila narejena na asfaltni, makadamski in zasneženi (zbit, kompakten sneg, 5 cm snega na 2 cm ledene podlage) podlagi, za raziskavo pa so uporabili standardno motorno kolo tamkajšnjih poštarijev. Testirali so pri 10, 20 in 30 km/h na snegu ter do 50 km/h na makadamu in asfaltu. Rezultati raziskave kažejo, da so najvišje vrednosti tresenja na zasneženi podlagi, najnižje pa na asfaltu. Nadalje se je izkazalo, da se s povečanjem hitrosti višajo tudi obremenitve s tresenjem.

Indijski avtorji Mehta in sod. (2000) v svojem članku opisujejo vpliv tresenja na traktorista pri različnih kmetijskih delovnih operacijah. Tresenje je bilo merjeno na sedežu traktorja, ki spada v kategorijo traktorjev z manjšo močjo. Študija je bila opravljena na treh podlagah, in sicer na asfaltirani podlagi, poljski poti in brezpotju. Ugotovljeno je bilo, da z naraščanjem hitrosti oziroma pospeševanjem narašča tudi jakost tresenja. Ugotovljeno je bilo, da ni opaziti večjih razlik v jakosti tresenja med poljsko potjo in asfaltirano podlago. Če upoštevamo skupno obremenjenost s tresenjem, so se jakosti tresenja zvišale kar za dvakrat na brezpotju proti asfaltirani podlagi in poljski poti. Upoštevajoč standard ISO 2631/1 je bilo ugotovljeno, da čas izpostavljenosti traktorista tresenju dnevno pri večini operacij ne sme presegati 4 ure, kajti preseganje tega časa lahko povzroči nelagodje, bolečine ter poškodbe hrbtenice ter drugih telesnih delov.

Bloch in sod. (1992) so v raziskavi, v kateri so merili obremenjenost traktorista s tresenjem celega telesa, ugotovili, da so obremenjenosti višje pri vožnji po vlaki kot pri vožnji po cesti, ter da so obremenjenosti večje pri prazni vožnji kot pri polni vožnji. Na vlaki so bile najnižje obremenitve $0,65 \text{ m/s}^2$ izmerjene v Z (vertikalni) smeri, najvišje pa v X (horizontalni) in Y (aksialni) smeri približno enako visoke in so znašale $0,8 \text{ m/s}^2$. Te vrednosti so bile izmerjene pri tlaku pnevmatik 80 kPa. Pri tlaku 200 kPa pa so bile jakosti tresenja za okoli 10 % višje. Na gozdni cesti pa so bile najnižje jakosti izmerjene v Y smeri

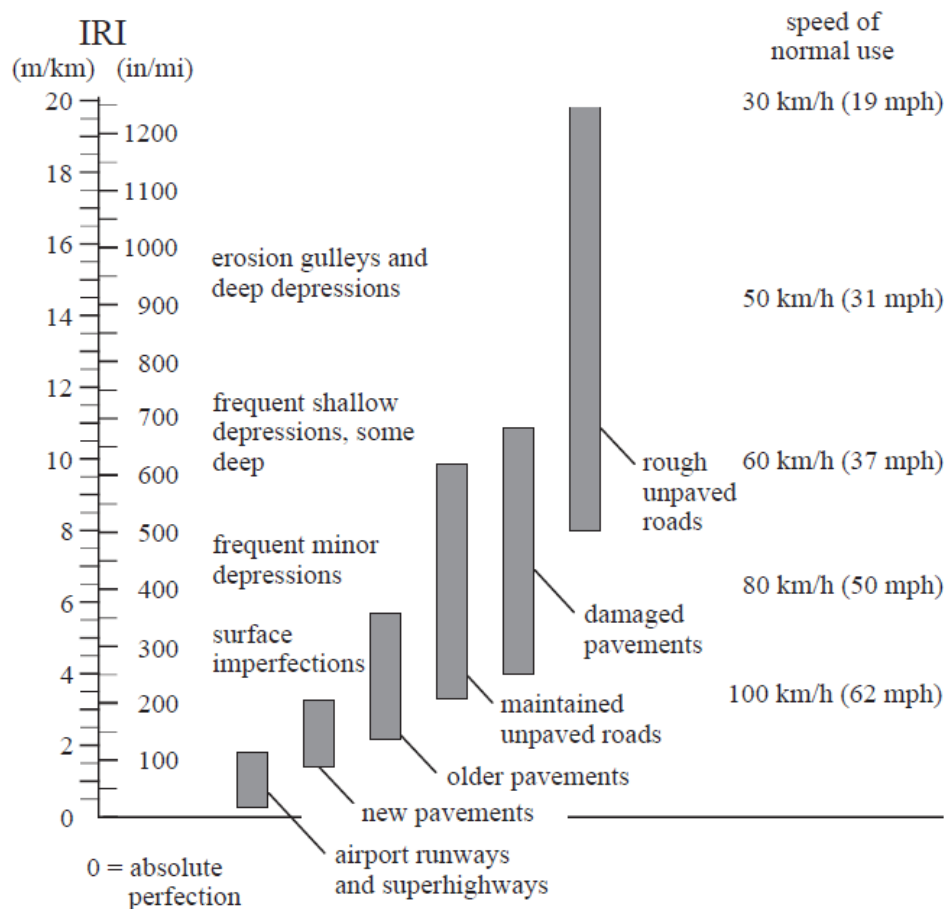
in najvišje približno enako visoke v X in Y smeri. Jakosti tresenja celotnega telesa so bile za približno 30 % nižje na cesti kot na vlaki.

Cuong in sod. (2013) so v svoji raziskavi merili jakost tresenja na traktorju. Preizkus so naredili na kmetijskih površinah na Kitajskem, in sicer na peščeno glineni prsti z vsebnostjo vlage 48,3 % in 62,4 %. Na podlagi, ki je imela višjo vsebnost vlage, so bile jakosti tresenja manjše kot na podlagi z nižjo vsebnostjo vlage. Ugotovili so, da se jakosti tresenja močno povečujejo, ko se povečuje hitrost traktorja.

2.5 MEDNARODNI INDEKS NERAVNOSTI

Mednarodni indeks neravnosti oziroma angleško International roughness Index (IRI) je indeks, ki opisuje stanje vzdolžne ravnosti vozne površine, izvrednoten z matematično simulacijo odziva vozila na vzdolžni profil vozišča v eni kolesni sledi, upoštevajoč model simulacije četrtine avtomobila (Tehnična specifikacija ..., 2003).

IRI je uvedla Svetovna banka, da bi zagotovila standard za merjenje neravnosti površine, predvsem z vidika vlaganja sredstev v ceste. IRI je časovno stabilna metoda, se pravi, da se ne spreminja s časom, z metodo ocenjevanja in z uporabljenim merilnikom. IRI ponazarja izkušnje voznikov in je dober kazalnik udobnosti vožnje, ki je odvisna od ravnosti oziroma grobosti ceste, odziva vozila na cesto (lastnosti vozila) ter odziva ljudi na tresenje (Sayers in Karamihas, 1998).



Slika 1: Slika prikazuje indeks neravnosti (IRI) v povezavi z različnimi tipi podlage (Sayers in Karamihas, 1998, str.: 48)

IRI je v glavnem namenjen za standardizacijo asfaltiranih cest, se pa lahko uporablja za vse vrste podlag in različna transportna sredstva. IRI lahko izrazimo v metrih/kilometer ali milimetrih/meter. Večja kot je vrednost indeksa neravnosti, bolj groba in neravna je podlaga. Indeks neravnosti od 0 (indeks neravnosti 0 pomeni, da je podlaga popolnoma ravna) do 2 je značilen za vzletne steze za letala in novozgrajene avtoceste, indeks od 2 do 3 je značilen za novo asfaltirane ceste in tako naprej, kot nam prikazuje slika 1. Z vrednostjo indeksa je podana tudi ustrezna okvirna hitrost, ki sovпада z indeksom neravnosti. Tako je pri vrednosti indeksa 10 priporočena hitrost normalne vožnje 60 km/h (Slika 1).

IRI ima več izpeljank. Ena izpeljanka je tudi HRI (Half-car Roughness Index), kar pomeni, da indeksa neravnosti ne izračunamo samo za eno kolesno sled, tako kot je to pri IRI, temveč ga merimo in izračunamo za obe kolesni sledi, ter indeks podamo s povprečjem obeh kolesnih sledi.

V raziskavi na Švedskem (Whole-body vibration ..., 2002) so preučevali jakost tresenja celega telesa voznika tovornjaka s prikolico (naložen s hlodovino) na različno neravni podlagi. Rezultati kažejo, da pri povprečni vožnji 75 km/h (tovornjak s prikolico) jakosti tresenja naraščajo z naraščanjem indeksa neravnosti. Ko je tovornjak vozil po podlagi z indeksom neravnosti 1 mm/m, so bile jakosti tresenja $0,4 \text{ m/s}^2$, ko je vozil po podlagi z indeksom neravnosti 5 mm/m, so bile jakosti tresenja $1,05 \text{ m/s}^2$, ter ko je vozil po podlagi z indeksom neravnosti 8 mm/m, so bile jakosti tresenja $1,4 \text{ m/s}^2$.

3 RAZISKOVALNE HIPOTEZE

Po pregledu dosedanjih raziskav in na podlagi namena magistrske naloge smo postavili naslednje hipoteze:

1. Merjeni dejavniki, kot so X, Y, Z, značilno vplivajo na obremenitve delavca s tresenjem celega telesa.
2. Z izboljšanjem stanja vlak bi dosegli manjše obremenitve delavca s tresenjem celega telesa.

4 MATERIAL IN METODE

4.1 OBMOČJE RAZISKAVE

4.1.1 Izbira ustreznih tras

Da bi zagotovili ustrezne pogoje za načrtovane meritve, smo morali izbrati primerni trasi. Najprej smo morali izbrati odsek gozdne ceste, ki nam je služil kot referenca, se pravi del poti, ki je imel podlago z najboljšimi delovnimi pogoji. Prehodili in natančno ogledali smo si več delov ceste, nato pa izbrali najustreznejši del ceste, ki je bil primerno utrjen, in brez večjih poškodb cestišča. Nato smo morali izbrati še odsek vlake. Enako kot pri cesti smo si pri vlaki najprej ogledali in prehodili več različnih delov vlak. Pazljivi smo bili na podlago vlake, saj ni smela biti premehka, kajti za meritve je bilo predvidenih več ponovitev, vlaka pa se pri prehodih zgibnika naj ne bi preveč spreminjala. Ta del vlake naj bi tudi odražal vsakodnevne realne delovne pogoje. Oba odseka sta morala biti dolga 50 metrov. Za potrebe meritev sta morala biti oba izbrana odseka čim bolj ravna brez večjih zavojev. S tem smo zagotovili istoslednost obeh parov koles.

4.1.2 Lastnosti objektov

Objekta oziroma trasi se nahajata v Gozdnogospodarskem območju Kočevje, natančneje v gozdnogospodarski enoti Draga. Vse podatke za opis objekta smo pridobili iz Gozdnogospodarskega načrta za gozdnogospodarsko enoto Draga, ki je bil izdelan leta 2011 in je veljaven do leta 2020.

Trasa gozdne ceste leži v odseku 15025B (Slika 2). Odsek ima površino 28,48 ha in je v celoti v državni lasti. Nahaja se na nadmorski višini od 1000 pa do 1060 metrov. Povprečni nagib terena v odseku je 5 %, skalovitost pa je v povprečju 20 %. Uvrščamo ga v rastiščnogojitveni razred *Abieti-Fagetum D. Omphalodetosum*. Lesna zaloga je ocenjena na 417 m³/ha, prevladujejo iglavci. Kot način spravila lesa iz gozda se uporablja

iz gozda uporablja prilagojeni kmetijski traktor. Odprtost z gozdnimi vlakami je prav tako 100 %, pravilna razdalja pa je v povprečju 250 metrov.



Slika 3: Trasa vlake, ki leži v oddelku 15024A je označena z rdečo bravo

4.1.3 Zakoličenje in priprava tras

Ko smo izbrali ustrezni trasi, smo ju morali še zakoličiti. Izdelali smo dvakrat po 51 lesenih smrekovih količkov. V višino so zaradi meritev morali meriti okoli 130 centimetrov. Na količke smo nato pritrdili lesene tablice, na katerih so bile napisane številke od 0 pa do 50. Na terenu smo odmerili točno 50 metrov na vsaki trasi ter nato v zemljo ob robu trase na vsak meter dolžine postavili količek.

Trasi smo po zakoličenju in pred snemanjem morali še ustrezno pripraviti. Trasa na gozdni cesti je bila praktično že pripravljena na snemanje, saj je bila primerno utrjena in na njej ni bilo motečih dejavnikov. Bolj pa smo se posvetili trasi na vlaki. Po celotni dolžini smo

morali odstraniti morebitno zeliščno plast ter listje in veje (Slika 4). To je bilo potrebno opraviti, da bi na digitalnem posnetku trase dobili profil vlake brez motečih dejavnikov. Prav zaradi tega, in da bi bila vlaka čim bolj enaka pri vseh ponovitvah meritev, smo morali odstraniti vsa manjša in premikajoča kamenja. Da bi bila trasa pravilno utrjena pred snemanjem, smo prosili delavca traktorista, da se je nekaj dni pred snemanjem z zgibnim traktorjem nekajkrat zapeljal po vlaki.



Slika 4: Delno pripravljena trasa vlake

4.2 OPIS DELOVNIH SREDSTEV

4.2.1 Zgibni traktor Ecotrac 120V

Meritve tresenja smo merili na delavcu traktoristu, ki je upravljal specialni gozdarski zgibni traktor Ecotrac 120V (Slika 5). Omenjeni zgibni traktor je proizvod hrvaškega proizvajalca traktorjev Hittner, d. o. o. V času opravljanja meritev je imel zgibni traktor 2278 obratovalnih ur. Na zgibniku so bile zaradi vremenskih in terenskih pogojev ves čas meritev nameščene verige. Na traktorju je nameščen dvobobenski vitel, ki premore dva krat 80 kN vlečne sile, z jekleno vrvjo premera 12 mm in skupne dolžine 60 metrov. Skupna masa zgibnika pa znaša 7200 kg. Preostale tehnične lastnosti zgibnega traktorja Ecotrac 120V so prikazane v preglednici 1.



Slika 5: Zgibni traktor Ecotrac 120V

Preglednica 1: Tehnične lastnosti zgibnega traktorja Ecotrac 120V

DIMENZIJE IN MASA	
SKUPNA MASA	7200 kg
DOLŽINA	7130 mm
VIŠINA	2950 mm
ŠIRINA	2440 mm
PREHODNOST	570 mm
MINIMALNI RADIJ OBRAČANJA	5,1 m
PREDNJA OS : ZADNJA OS	59:41
MOTOR	
ZNAMKA	DEUTZ
TIP	F6L-914
MOČ	84 kW pri 2300 vrtljajih/min
HLAJENJE	zračno
POGON	stalni 4 X 4, 2 diferenciala z možnostjo skupne blokade
MENJALNIK	Mehanski, sinhroniziran, 10 prestav naprej in 2 prestavi vzvratno
NAJVIŠJA HITROST	30 km/h
SPECIFIČNA PORABA	220 – 240 g/kWh
PNEVMATIKE	16,9 – 30, R-1, 14 PR
ŠIRINA PNEVMATIKE	40 cm
NALEŽNA POVRŠINA PNEVMATIKE	60 cm
PREMER PNEVMATIKE	150 cm
VITEL	
TIP	Dvobobenski hidravlični z elektro hidravličnim upravljanjem
VLEČNA SILA	2 X 80 kN
UPRAVLJANJE	daljinsko
JEKLENA VRV	60 m / 12 mm
HITROST NAVIJANJA	0-1,26 m/s
NOTRANJI PREMER BOBNA	200 mm
ZUNANJI PREMER BOBNA	490 mm

4.3 OPIS MERILNIH NAPRAV

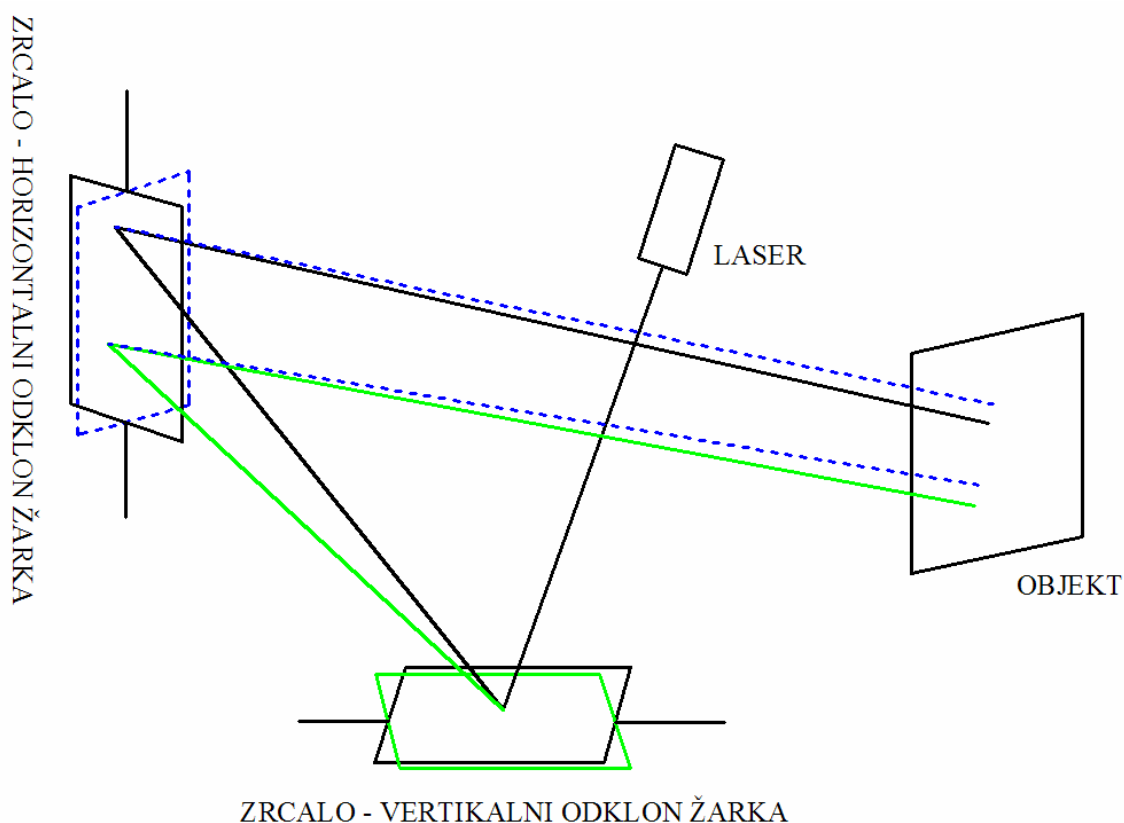
4.3.1 Leica ScanStation Type P20

Trasi smo terensko poskenirali z ultra hitrim terestričnim laserskim skenerjem Leica Scanstation Type P20 (Slika 6). Skener lahko zajame do 1 milijon točk na sekundo v visoki resoluciji ter ima natančnost oziroma napako meritev 3 milimetre na 50 metrov. Točke lahko pobiramo v razponu od 0,4 metra pa do 120 metrov. Skener deluje v vseh svetlobnih pogojih, tako v temi kot na izraziti svetlobi.



Slika 6: Leica ScanStation Type P20

Metoda zajemanja podatkov se imenuje Terestrično lasersko skeniranje, ki spada med tehnologijo, ki jo označujemo z izrazom LIDAR (ang. Light Detection and Ranging) (Kobal M., Krajnc N., 2014). TLS je napredna tehnologija nedestruktivnega zaznavanja celovitih prostorskih podatkov, ki opisujejo obliko in orientacijo vidnih površin obravnavanega objekta. V zelo kratkem časovnem intervalu naprava sistematično ustvarja milijone 3-D meritev (Mozetič, 2004).



Slika 7: Slika prikazuje način delovanja rotirajočih zrcal (Balon, 2007, str.: 25)

Deluje na principu laserskega žarka, s pomočjo katerega določimo obliko, velikost in položaj objektov v prostoru. Oddani laserski impulzi potujejo po celotnem obravnavanem objektu ter se od njega odbijajo nazaj k instrumentu. Razdalja med sprejemnikom in obravnavano točko se izračuna na osnovi časovnega intervala potovanja signala od oddajnika do sprejemnika ali meritve faznih razlik ali trikotniške mreže. Skeniranje je izvedeno z dvema gibljivima zrcaloma, ki omogočata zelo majhne spremembe v

odklonskem kotu laserskega žarka, projiciranega na površino objekta (Balon, 2007). Delovanje rotirajočih zrcal prikazuje slika 7.

Rezultat meritev je gost oblak prostorsko orientiranih točk. Za vsako stojišče dobimo svoj oblak točk v skenerjevem koordinatnem sistemu. Skene posameznih stojišč na osnovi tarč nato transformiramo v državni koordinatni sistem in jih združimo, da dobimo enega samega. Oblak točk si lahko ogledamo že na terenu. Omogočeni so tudi pogledi z različnih zornih kotov ter približevanje in oddaljevanje, kar pri uporabi drugih merskih tehnik ni mogoče. Sledi filtriranje odvečnih podatkov. Laserski skener namreč zajame celotno površino terena, vključno z nepotrebni objekti, kot so drevje, grmičevje, trava, listje in vse ostalo, kar je v trenutku snemanja na območju. Rezultat filtriranja je oblak točk brez nepotrebnih vsebin (Balon, 2007). Ti podatki oziroma oblak točk natančno opisujejo obliko površine merjenega objekta. Gostota točk se lahko prilagaja glede na zastavljen cilj (Mozetič, 2004).

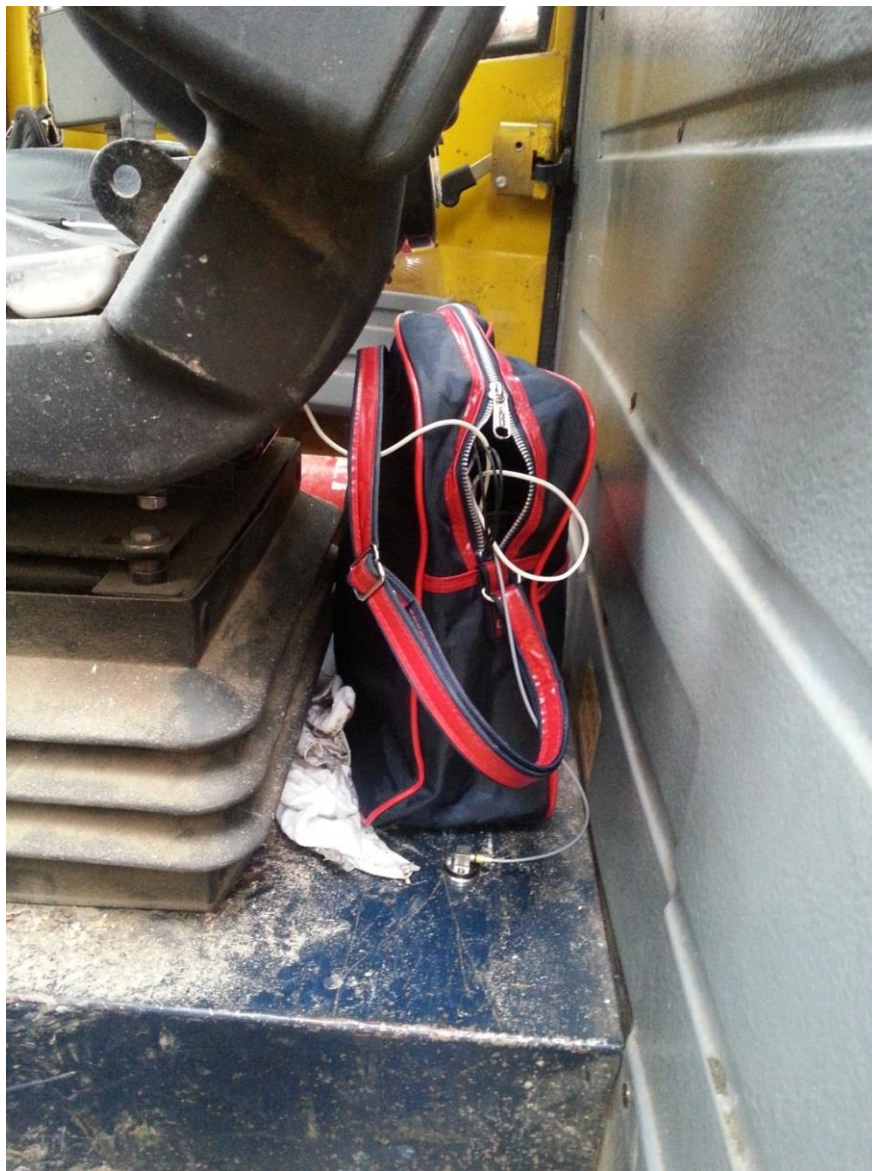
4.3.2 Merilnik jakosti tresenja Bruel & Kjaer

Za merjenje jakosti obremenitev traktorista s tresenjem smo uporabili merilno napravo tipa Bruel & Kjaer Pulse LAN Xi in pospeškometer oziroma akcelometra Bruel & Kjaer 4524. Na sedež zgibnega traktorja smo pritrdili adapter Bruel & Kjaer 4515-B-002 (Slika 8), v katerem je bil nameščen pospeškometer. Adapter je bil na sedežu pričvrščen tako, da je bila več čas meritev X os akcelometra usmerjena v smer vožnje, Y os pravokotno v horizontalni smeri, Z os pa pravokotno v vertikalni smeri na njo. Na podnožje sedeža zgibnega traktorja smo namestili dodatni pospeškometer (Slika 9), ki je meril jakosti tresenja brez vpliva sedeža. Ker smo imeli samo še en prosti vhod v merilno napravo, je ta akcelometer meril le v vertikalni smeri, torej Z osi.



Slika 8: Adapter Breuel & Kjaer 4515-B-002 pritrjen na sedežu zgibnika

Merilna naprava Bruel & Kjaer Pulse LAN Xi je bila v času meritev nameščena v nahrbtniku (Slika 9) in varno spravljena za sedežem zgibnega traktorja. Upravljanje naprave je bilo brezžično, preko pametnega telefona. Akcelerator je bil s kablom povezan z merilno napravo. Naprava je ves čas meritev shranjevala vse vrednosti merjenih parametrov.



Slika 9: Merilna naprava Bruel & Kjaer Pulse LAN Xi nameščena v nahrbtniku, zraven nahrbtnika vidimo pospeškometer, nameščen na podnožje sedeža zgibnega traktorja

4.3.3 Kamera Sony HDR AS15

Potek meritev smo tudi posneli, za kar smo uporabili kamero Sony HDR AS15. Kamera snema v visoki ločljivosti 1920 x 1080 slikovnih pik ter ima posebno vodoodporno ohišje. Kamero smo na bok kabine zgibnega traktorja pričvrstili s pomočjo magneta (Slika 10). Na kamero je bil pritrjen laser, da smo lahko kasneje na posnetku razbrali, pri katerem količku se zgibnik v določenem trenutku nahaja. S pomočjo posnetka, ki smo ga naredili na meritvah, smo nato lahko detajlno pogledali in preučili meritve.



Slika 10: Kamera Sony, magnetno pričvrščena na bok zgibnega traktorja

4.4 OPIS POTEKA MERITEV

Za potrebe magistrske naloge smo potrebovali pet terenskih dni. Po en dan smo potrebovali za izbiro primernih tras, za zakoličevanje tras, za pripravo tras, za terestrično snemanje in za meritve obremenitev s tresenjem.

Kakor smo že omenili, smo prostorske podatke vlake in ceste zajeli z ultra hitrim terestričnim – trirazsežnim laserskim skenerjem Leica Scanstation Type P20 (Slika 11). Zajemanje prostorskih podatkov trase vlake in ceste smo opravili v sodelovanju s podjetjem Geoservis d. o. o., ki nam je laserski skener tudi posodilo za izvedbo meritev. Za potrebe raziskave smo oba objekta poskenirali z 1-centimetro natančnostjo.



Slika 11: Leica Scanstation Type P20 med skeniranjem trase vlake

Naslednji snemalni dan smo opravili meritve jakosti tresenja celega telesa. Pri meritvah je sodelovalo podjetje IMS MERILNI SISTEMI, d. o. o. Podjetje nam je priskrbelo in za meritve posodilo merilno napravo Bruel & Kjaer Pulse LAN Xi. Meritve jakosti tresenja so potekale kontinuirano v vseh štirih smereh. Dobljen posnetek je bil kasneje za potrebe obdelav obdelan tako, da smo dobili po vseh štirih smereh frekvenčno utežene jakosti tresenja po intervalih s trajanjem 0,000122 s.

Pred meritvami obremenitev smo na in v zgibnik namestili vso potrebno merilno opremo. Na obe trasi smo z razpršilom zarisali linijo po kateri naj bi voznik zgibnega traktorja vozil, da bi pri vsaki vožnji peljal po istem koloteku in bi bil pri vseh meritvah približno enako oddaljen od postavljenih kolčkov.

Meritve smo začeli opravljati na trasi gozdne ceste. Najprej smo opravili meritve, ko je bil zgibni traktor v mirovanju. Merili smo obremenjenost s tresenjem celotnega telesa, pri vseh treh (1000, 1500, 2000) obratih motorja, glavni vir tresenja pa je bil motor zgibnega traktorja. Nadaljevali smo z meritvami, ko je bil zgibnik v premikanju pri različnih obratih motorja (1000, 1500, 2000). Vse tri vožnje je opravil brez bremena. Voznik zgibnega traktorja se je trudil, da je vsako vožnjo obdržal približno enako hitrost oziroma obrate vožnje, da bi dobili kar se da natančne rezultate. Traktorista smo ves čas meritev spremljali in natančno beležili čas, ko je bila sredina zgibnika pri prvem in zadnjem količku. Beležili smo tudi čase začetka in konca snemanja s kamero posamezne vožnje ter začetek in konec beleženja merilnika jakosti tresenja.



Slika 12: Zgibni traktor z bremenom med meritvami na trasi vlake

Nato smo meritve ponovili na vlaki, kjer smo ponovili tri vožnje pod 1000, 1500 in 2000 obrati/minuto, prav tako brez bremena. Potem pa smo opravili še meritvi z bremenom, ko je imel zgibni traktor zadaj pripete bukovne hlode. Meritev smo opravili pri 1500 obratih motorja na vlaki (Slika 12) in na cesti. Meritve z bremenom smo na koncu opravili zato, da bi trasi ceste in še posebno vlake ostali v tem bolj enakem stanju kot ob začetku meritev oz. pri skeniranju terena.

4.5 KAZALNIKI OBREMENJENOSTI S TRESENJEM IN DOPUSTNE MEJE

Z Zakonom o varnosti in zdravja pri delu, Ur.l. RS, št. 43/2011 (ZVZD-1), je v Sloveniji urejeno področje zdravega in varnega delovnega okolja za delavce. V zakonu so opredeljene in določene pravice in dolžnosti delodajalcev in delavcev v zvezi z varnim in zdravim delom ter ukrepi za zagotavljanje varnosti in zdravja pri delu. Med drugim v zakonu tudi piše, da mora delodajalec zagotoviti varnost in zdravje delavcev pri delu. V ta namen mora izvajati ukrepe, potrebne za zagotovitev varnosti in zdravja delavcev ter drugih oseb, ki so navzoče v delovnem procesu, vključno s preprečevanjem, odpravljanjem in obvladovanjem nevarnosti pri delu, obveščanjem in usposabljanjem delavcev, z ustrezno organiziranostjo in potrebnimi materialnimi sredstvi (Zakon o varnosti..., 2011).

Na podlagi Zakona o varnosti in zdravja pri delu iz leta 2011 je nastal Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu, Ur. l. RS, št. 94/2005. Ta pravilnik v skladu z Direktivo Evropskega parlamenta in Sveta o minimalnih zdravstvenih in varnostnih zahtevah glede izpostavljenosti delavcev tveganjem iz fizikalnih dejavnikov (vibracij oziroma tresenja) določa zahteve za varovanje delavcev pred tveganji za njihovo zdravje in varnost, ki izhajajo ali bi lahko izhajale iz izpostavljenosti mehanskim vibracijam oziroma tresenju (Pravilnik ..., 2005).

Košir (1982) ugotavlja, da je tresenje, ki se prenaša na delavca skozi traktorski sedež najmočnejše, zato tudi najbolj ogroža traktoristovo zdravje. Zato nas pri obremenitvah traktorista s tresenjem zanimajo predvsem obremenitve celotnega telesa, ki so v Pravilniku o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu opredeljene kot »vibracije celotnega telesa«: mehanske vibracije oziroma tresenje, ki ob prenašanju na celotno telo predstavljajo tveganje za varnost in zdravje delavcev, zlasti težave s križem in poškodbe hrbtenice (Pravilnik ..., 2005).

Na evropski in mednarodni ravni so pomembni še evropska zakonodaja (Direktiva 2002/44/EC) in mednarodni standard (ISO 2631).

ISO 2631 in evropska direktiva pri vrednotenju celega telesa, poleg uporabe frekvenčno tehtanih RMS sredin predvideva dodatne metode v primerih, ko crest faktor presega

vrednost 9, to je v primerih tresenja z nenadnimi sunki. Predvidene dodatne metode vključujejo poročanje vrednosti MTVV, kar pomeni največjo prehodno jakost tresenja v sekundnem intervalu in VDV, kar je nasprotno od RMS vrednosti, kumulativna vrednost tresenja (Poje, 2011).

Po Pravilniku o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu so mejne in opozorilne vrednosti izpostavljenosti za tresenje celotnega telesa naslednje:

- mejna vrednost dnevne izpostavljenosti, normalizirana na referenčno obdobje osmih ur, je $1,15 \text{ m/s}^2$,
- opozorilna vrednost dnevne izpostavljenosti, normalizirana na referenčno obdobje osmih ur, je $0,5 \text{ m/s}^2$.

Glede na standard ISO 2631/1 in vodila dobrega ravnanja (2005) se za primerjavo z opozorilno in mejno vrednostjo uporablja najvišja izmerjena vrednost v posamezni smeri. Le v primerih, ko so obremenitve podobne v dveh ali vseh treh smereh, se lahko uporabi tudi rezultanta ali vektorska velikost tresenja – VTV vrednost (ISO 2631/1).

Kazalniki, ki so pomembni pri ugotavljanju obremenitev delavca s tresenjem, so:

- povprečne jakosti tresenja (RMS) po vseh treh smereh (X, Y, Z) in njihova vektorska velikost (VTV).

4.6 OBDELAVA PODATKOV

Podatke, ki smo jih pridobili z meritvami na terenu smo iz merilne naprave s pomočjo merilni napravi priložene programske opreme prenesli v program Microsoft Excel. Iz merilne naprave smo dobili veliko število podatkov, saj je merilna naprava v eni sekundi vrednosti jakosti tresenja celega telesa izmerila kar 8193 krat za vsako smer. Dobili smo neurejene podatke, zato smo jih morali urediti in združiti. Najprej smo pridobljene podatke za smeri (X, Y, Z, AUX) kvadrirali in izračunali vektorsko velikost (VTV) po spodnji enačbi 1:

$$VTV = \sqrt{1,4^2 x^2 + 1,4^2 y^2 + 1 z^2} \quad \dots(1)$$

Odločili smo se, da bomo za potrebe statističnih analiz podatke združili v petdeset intervalov, kar ustreza dolžini trase ceste in vlake v metrih. Upoštevali smo čas med prvim in zadnjim količkom in celotno število podatkov delili s 50 ter za vsak interval od petdesetih izračunali povprečno vrednost jakosti tresenja celotnega telesa. Tudi 30 sekundne posnetke meritev, ko je bil zgibni traktor v mirovanju, smo razdelili na petdeset intervalov in izračunali povprečne jakosti za vsak interval.

Za izračun obremenitve s tresenjem celega telesa za skupno bremenitev traktorista smo uporabili enačbo 2.

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

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

RMS_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

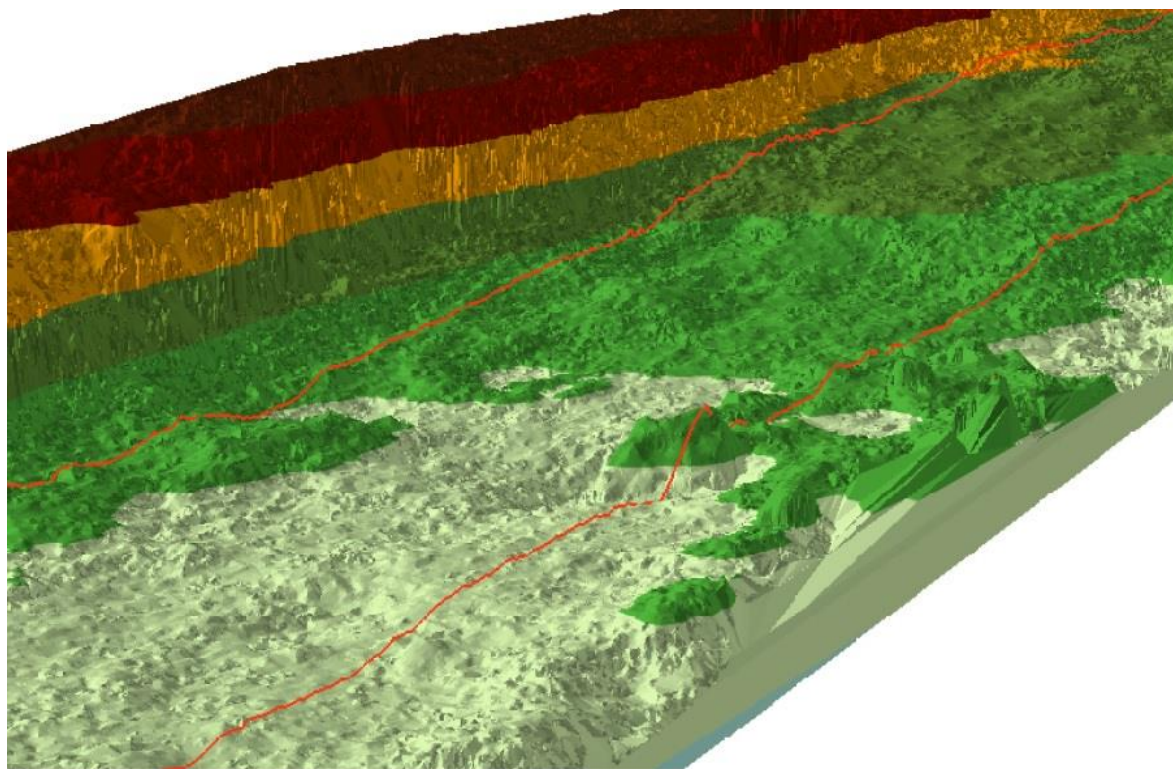
Rezultati, ki smo jih dobili z meritvami, so prikazani v vseh treh smereh tresenja celotnega telesa ter vektorski vrednosti tresenja. Vrednosti tresenja prikazujemo v naslednjih smereh:

- horizontalne – tresenje v smeri vožnje (RMS X),
- vertikalne – tresenje navpično na podlago (RMS Z),
- aksialne – bočno tresenje (RMS Y) in
- vektorske velikosti tresenja (RMS VTV).

Rezultati tresenja, ki smo ga merili pod sedežem zgibnega traktorja, pa so podani samo v vertikalni (RMS Z) smeri, v preglednicah in nadalje v besedilu pa so označeni z AUX.

Nadalje smo podatke obdelali s statističnim programom IBM SPSS, kjer smo tudi izdelali preglednice. S programom SPSS smo za testiranje enakosti srednjih vrednosti uporabili Mann-Whitney U test ter Kruskal-Wallis, in sicer test prav tako za testiranje sredin, ki se uporablja za dva ali več vzorcev pri testiranju več kot dveh skupin.

Prostorske podatke, ki smo jih posneli z laserskim skenerjem smo obdelali s programom ProVAL. Program ProVAL je programska aplikacija, ki nam omogoča, da pregledujemo in analiziramo različne urejene (asfaltirane, tlakovane, makadamske...) podlage tal. Program sponzorirajo, uporabljajo, ter priporočajo naslednje ustanove: US Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA), Long Term Pavement Performance Program (LTPP) in druge ustanove ter agencije po svetu, ki se ukvarjajo z analiziranjem grobosti in neravnosti podlage. S programom lahko naredimo izračun za International Roughness Index (IRI), Half-car Roughness Index (HRI), Mean Roughness Index (MRI) in Ride Number (RN).



Slika 13: Digitalni model reliefa vlake in z rdečo bravo označene kolesnice zgibnega traktorja

Za potrebe naše raziskave smo izračunali HRI indeks, to pomeni, da smo merili obe sledi zgibnega traktorja in izračunali povprečje. Najprej smo s pomočjo programa ArcGIS obdelali množico prostorskih podatkov, ki smo jih zajeli s terestričnim laserskim skenerjem, da smo dobili digitalni model reliefa (Slika 13) in vzdolžni profil vlake pod obema kolesnicama. Vzdolžni profil obeh kolesnic (50 metrov) smo razdelili na 5 centimetrske sekcije in tako dobili 1000 petcentimetrskih intervalov. S pomočjo programa Proval pa smo za vsak 10 metrski odsek izračunali vrednost HRI indeksa.

Za primerjavo jakosti tresenja s HRI indeksom smo posebej pripravili tudi izmerjene jakosti tresenja. Podatke smo podobno kot za statistično obdelavo razdelili v intervale, vendar v tem primeru na 10 intervalov. Število intervalov se je tako ujemalo s številom intervalov za izračun HRI indeksa. Jakost tresenja po vseh treh glavnih smereh (X, Y, Z) in skupno (VTV) smo za vsak interval izračunali po enačbi 2.

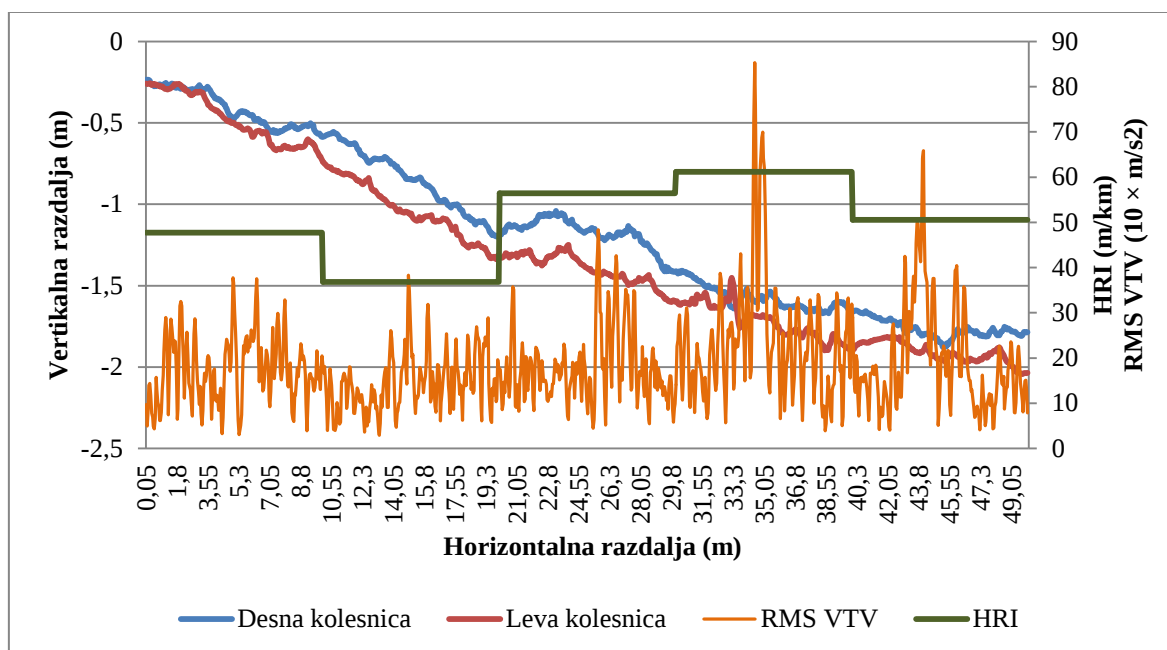
Izračunali smo tudi približne hitrosti zgibnega traktorja (Preglednica 2). Preglednica nam prikazuje hitrosti, ki jih je imel zgibni traktor bodisi na trasi ceste bodisi na trasi vlake pri različnih obratih motorja, z ali brez bremena. Hitrosti smo izračunali tako, da smo razdaljo na cesti in vlaki, ki je bila vedno 50 metrov, delili s časom, ki ga je potreboval pri posamezni meritvi pri različnih obratih motorja ter dobili hitrost izraženo v m/s in jo pretvorili v km/h.

Preglednica 2: Prikaz hitrosti pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja, na različnih podlagah in z/brez obremenitve

		km/h	
	Obratov/minuto	Cesta	Vlaka
Prazna vožnja	1000	3,6	3,3
	1500	4,5	4,3
	2000	5,8	5,1
Polna vožnja	1500	4,1	4,3

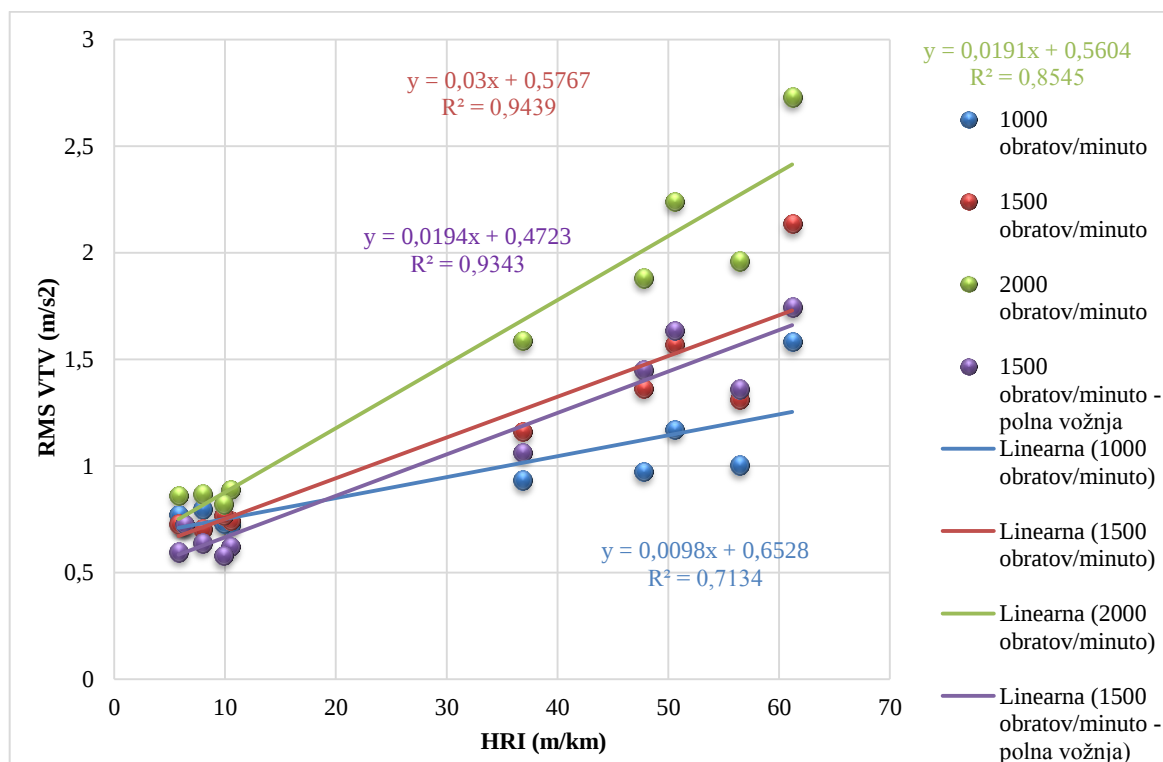
5 REZULTATI

5.1 KORELACIJA MED INDEKSOM NERAVNOSTI IN TRESENJEM



Slika 14: Povezava med jakostjo tresenja po kazalniku RMS VTV, ter vrednostjo HRI (m/km), prikazan je tudi prečni profil vlake

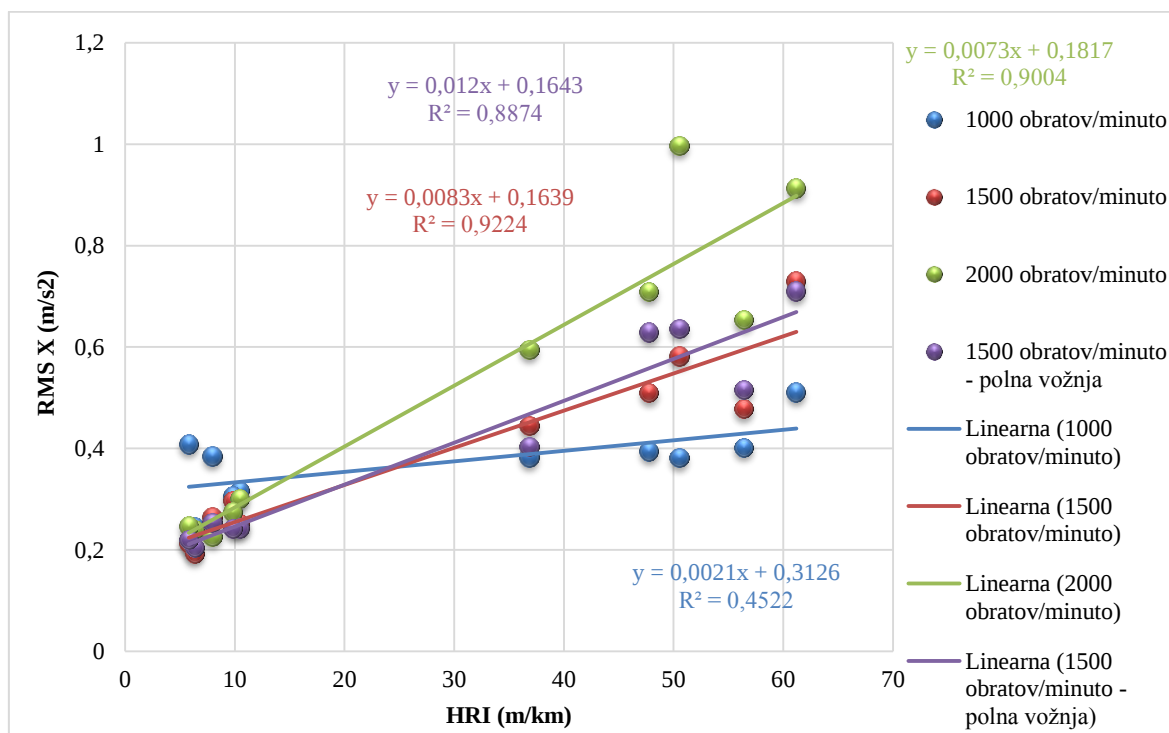
Slika 14 prikazuje vzdolžni profil vlake pod obema kolesnicama, leve in desne, RMS VTV jakosti tresenja pri prazni vožnji po vlaki pri 2000 obratih/minuto oziroma hitrosti vožnje zgibnega traktorja 5,1 km/h in pripadajoči HRI indeks. Iz primerjave med jakostmi tresenja in vzdolžnim profilom vlake pod kolesnicama lahko ugotovimo, da se neravnine in jakosti med seboj le v grobem ujemajo. Pričakovali bi namreč, da se vsaka neravnina izrazi v jakosti tresenja. Vzrok za relativno veliko neskladje lahko iščemo v tem, da ima zgibni traktor dve osi, kar pomeni, da ista neravnina dvakrat vpliva na jakost tresenja. Poleg tega se zgibnik tal dotika na štirih mestih, posledično lahko vsaka sprememba posamezne lege kolesa, povzroči nepredviden vpliv na jakost vibracij. Nasprotno pa je primerjava med HRI indeksom in RMS VTV jakostmi tresenja veliko bolj skladna, saj se razlike v položajih zgibnega traktorja izravnavajo na daljši razdalji.



Slika 15: Odvisnost RMS VTV jakosti tresenja od HRI indeksa pri polni in prazni vožnji po cesti in vlaki pri različnih obratih motorja

Zgornji grafikon (Slika 15) nam prikazuje odvisnost RMS VTV jakosti tresenja od neravnosti podlage (HRI indeksa) pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja. V splošnem je iz grafikona razvidno, da jakosti tresenja naraščajo z naraščanjem neravnosti podlage. Jakosti tresenja na cesti s HRI indeksom med 5 in 10 dosežejo vrednosti med $0,580 \text{ m/s}^2$ in $0,888 \text{ m/s}^2$. Na vlaki, kjer je bila vrednost HRI indeksa med 36 in 61, pa so jakosti tresenja višje, med $0,933 \text{ m/s}^2$ in $2,730 \text{ m/s}^2$. Jakost tresenja poleg neravnosti podlage narašča tudi s hitrostjo vožnje oz. obrati motorja zgibnika. Tako so jakosti tresenja najvišje pri 2000 in najmanjše pri 1000 obratih motorja. Jakosti tresenja so pri polni vožnji in 1500 obratih motorja v splošnem nekoliko nižje kot jakosti pri prazni vožnji in istih obratih motorja. Vse naštetu velja za vožnjo z zgibnikom ne glede na podlago ter predvsem za vožnjo po vlaki.

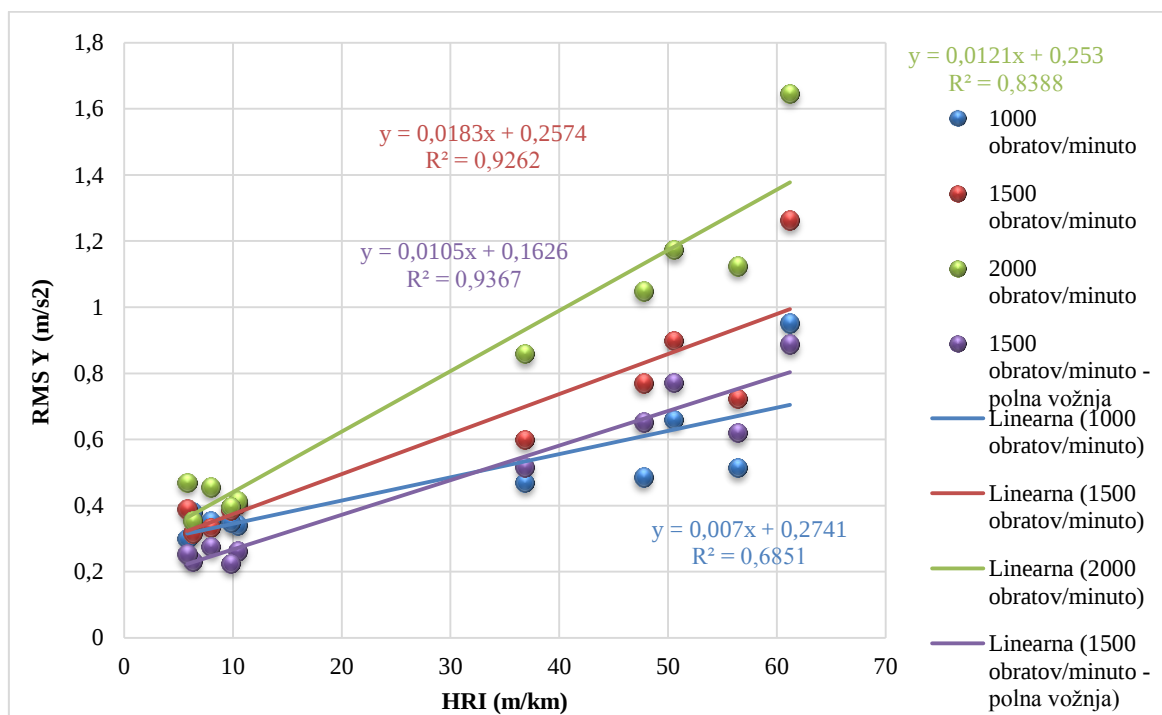
Pri vožnji po cesti pa so RMS VTV jakosti tresenja pri polni vožnji in 1500 obrati motorja najnižje, podobne pri prazni vožnji pri 1000 in 1500 obrati motorja ter najvišje pri prazni vožnji z 2000 obrati motorja.



Slika 16: Odvisnost RMS X jakosti tresenja od HRI indeksa pri polni in prazni vožnji po cesti in vlaki pri različnih obratih motorja

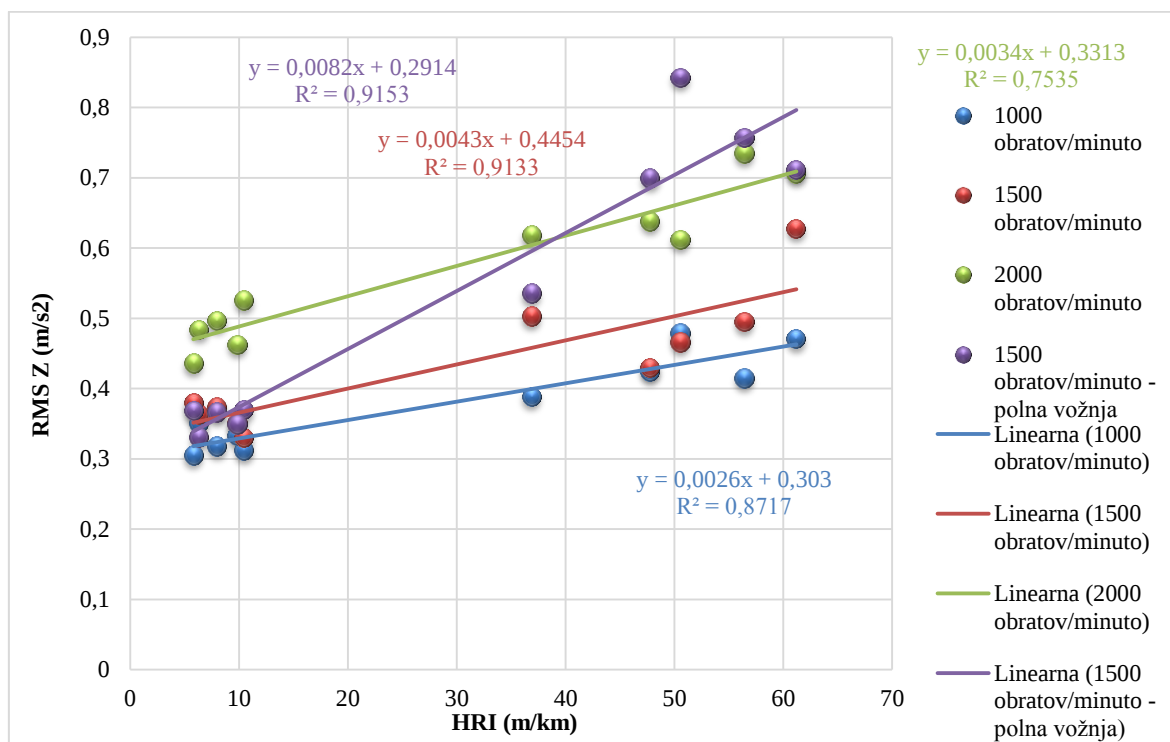
Jakosti tresenja tudi v smeri X naraščajo z večanjem hitrosti zgibnega traktorja in neravnostjo terena (Slika 16). RMS X jakosti tresenja se na cesti gibljejo med $0,228 \text{ m/s}^2$ in 308 m/s^2 in na vlaki med $0,392 \text{ m/s}^2$ in $0,730 \text{ m/s}^2$. V splošnem so jakosti tresenja najvišje pri najvišjih obratih motorja in najnižje pri najnižjih obratih motorja zgibnika. Drugače kot pri odvisnosti RMS VTV jakosti tresenja od HRI indeksa (Slika 15) je jakost tresenja v X smeri višja pri polni kot pri prazni vožnji.

Pri nizkih vrednostih HRI indeksa, torej na cesti, so jakosti tresenja najvišje pri 1000 obratih motorja, sledijo jakosti tresenja pri 2000 in 1500 obratih motorja. Najnižje vrednosti so bile izmerjene pri polni vožnji.



Slika 17: Odvisnost RMS Y jakosti tresenja od HRI indeksa pri polni in prazni vožnji po cesti in vlaki pri različnih obratih motorja

Odvisnost RMS Y jakosti tresenja od neravnosti podlage (HRI indeksa) pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja nam prikazuje slika 17. Tudi v aksialni smeri jakosti tresenja celotnega telesa naraščajo z naraščanjem HRI vrednosti in hitrostjo vožnje. Potek in položaj regresijskih premic je v splošnem zelo podoben kot na sliki 15, s to razliko, da so v smeri Y razlike v jakosti tresenja med polno in prazno vožnjo večje. V aksialni oziroma Y smeri so bile izmerjene najvišje jakosti tresenja (do $1,6 \text{ m/s}^2$) v primerjavi z ostalimi posameznimi smermi (Slika 15, Slika 17). RMS Y jakosti tresenja se na cesti gibljejo med $0,330 \text{ m/s}^2$ in $0,396 \text{ m/s}^2$ in na vlaki med $0,575 \text{ m/s}^2$ in $1,068 \text{ m/s}^2$.



Slika 18: Odvisnost RMS Z jakosti tresenja od HRI indeksa pri polni in prazni vožnji po cesti in vlaki pri različnih obratih motorja

Odvisnost RMS Z jakosti tresenja od neravnosti podlage (HRI indeksa) pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja nam prikazuje slika 18. Pri polni vožnji jakosti tresenja z neravnostjo podlage hitreje naraščajo v primerjavi s prazno vožnjo in pri HRI indeksu nad 40 presežejo jakosti tresenja pri najhitrejši prazni vožnji. V vertikalni smeri so bile jakosti tresenja v splošnem najnižje v primerjavi z X in Y smerjo (Slika 16, Slika 17). RMS Z jakosti tresenja se na cesti gibljejo med $0,317 \text{ m/s}^2$ in $0,469 \text{ m/s}^2$ in na vlaki med $0,428 \text{ m/s}^2$ in $0,644 \text{ m/s}^2$. Na cesti so jakosti tresenja najvišje pri prazni vožnji pri 2000 obratih motorja, primerljive med polno in prazno vožnjo pri 1500 obratih motorja in najnižje pri najpočasnejši prazni vožnji.

Na podlagi vseh ugotovljenih odvisnosti med jakostjo tresenja in HRI indeksom neravnosti podlage lahko zaključimo, da v splošnem jakosti tresenja v vseh smereh naraščajo z neravnostjo podlage. Razlike v jakostih tresenja med hitrostjo obratov motorja so pri prazni vožnji po vlaki pričakovane, najvišje jakosti so pri najvišjih in najnižje jakosti tresenja pri najnižjih obratih motorja. Jakosti tresenja pri polni vožnji so na vlaki lahko

celo višje kot pri vseh hitrostih zgibnika pri prazni vožnji in vedno višje kot pri najpočasnejši prazni vožnji.

Na cesti so jakosti tresenja v nasprotju s pričakovanji. Tako so lahko jakosti tresenja najvišje pri najhitrejši ali najpočasnejši prazni vožnji, najnižje jakosti pa ali pri polni vožnji ali najpočasnejši prazni vožnji. Jakosti pri prazni vožnji in enakih obratih motorja so na cesti v splošnem višje kot pri polni vožnji.

5.2 VPLIVI NA OBREMENITVE DELAVCA

5.2.1 Vpliv stanja zgibnega traktorja na obremenitve delavca

V preglednici 3 so prikazane jakosti obremenitev s tresenjem celotnega telesa na traktorista glede na premikanje stroja. Ko je bil zgibni traktor v mirovanju, je bila najvišja jakost tresenja ($0,123 \text{ m/s}^2$) izmerjena pri najnižjih obratih motorja (1000 obratov/minuto), če upoštevamo kazalnik RMS VTV in je primerljiva z jakostjo tresenja ($0,111 \text{ m/s}^2$) pri najvišjih obratih motorja (2000 obratov/minuto). Najnižje jakosti ($0,038 \text{ m/s}^2$) smo izmerili pri 1500 obratih/minuto, ki so za 3,2 krat nižje, kot pri 1000 obratih/minuto. V smeri X so bile najvišje jakosti tresenja ($0,084 \text{ m/s}^2$) izmerjene pri najnižjih obratih motorja, v smeri Y in Z pa pri 2000 obratih motorja ($0,034 \text{ m/s}^2$ in $0,093 \text{ m/s}^2$). Le v Z smeri jakosti tresenja kontinuirano naraščajo z obrati motorja.

Preglednica 3: Jakost tresenja v mirovanju in prazni vožnji pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja

Jakost tresenja (m/s^2)		Obrati/minuto					
		1000		1500		2000	
		Aritmetična sredina	Standardni odklon	Aritmetična sredina	Standardni odklon	Aritmetična sredina	Standardni odklon
Stanje	Smer						
Mirovanje	VTV	0,123	0,002	0,038	0,003	0,111	0,017
	X	0,084	0,001	0,010	0,002	0,027	0,003
	Y	0,012	0,001	0,008	0,003	0,034	0,002
	Z	0,031	0,003	0,033	0,003	0,093	0,018
Premik	VTV	0,911	0,350	1,067	0,562	1,407	0,787
	X	0,350	0,147	0,372	0,219	0,486	0,330
	Y	0,453	0,249	0,561	0,377	0,732	0,523
	Z	0,373	0,096	0,422	0,126	0,556	0,166

Pri statistični obdelavi povprečnih jakosti tresenja se je pokazalo (Preglednica 4), da so bile v mirovanju vse sredine med seboj statistično značilne (p-vrednost manjša od 5 %), le primerjava RMS VTV jakosti tresenja pri 1000 in 2000 obratih motorja se je pokazala kot statistično neznačilna ($p = 0,187$).

Preglednica 4: Statistično tveganje pri preverjanju srednjih vrednosti jakosti tresenja med različnimi obrati motorja zgibnika za vse smeri tresenja pri mirovanju in premiku

Statistično tveganje p - vrednosti		Smer											
		X			Y			Z			VTV		
Stanje	Obr/min	1000	1500	2000	1000	1500	2000	1000	1500	2000	1000	1500	2000
Mirovanje	1000												
	1500	0,000			0,000			0,030			0,000		
	2000	0,000	0,000		0,000	0,000		0,000	0,000		0,187	0,000	
Premik	1000												
	1500	1,000			0,090			0,038			0,290		
	2000	0,073	0,062		0,000	0,065		0,000	0,000		0,000	0,001	

Pri prazni vožnji se jakosti tresenja skupno in po posameznih smereh povečujejo s povečevanjem obratov motorja zgibnika (Preglednica 3). Tako se RMS VTV jakosti tresenja iz $0,911 \text{ m/s}^2$ pri 1000 obratih/minuto povečajo na $1,407 \text{ m/s}^2$ pri 2000 obratih/minuto oz. za 1,5 krat. Po posameznih smereh se s spremembo hitrosti motorja iz 1000 na 2000 obratov jakosti tresenja najbolj povečajo v Y smeri (1,6 krat) in najmanj v X smeri (1,4 krat). Pri vseh obratih motorja so bile jakosti tresenja najvišje v aksialni (Y) smeri. Pri 2000 obratih motorja dosežejo vrednost po posameznih smereh od $0,486 \text{ m/s}^2$ do $0,732 \text{ m/s}^2$.

S statistično analizo sredin pri premiku zgibnika (Preglednica 4), kjer je upoštevana samo prazna vožnja, smo ugotovili, da so razlike v jakostih tresenja statistično značilne pri vseh treh primerjavah glede na obrate motorja, razen v smeri Z, med 1500 in 2000 obrati motorja v smeri Y in med 1000 in 2000 ter med 1500 in 2000 obrati motorja v smeri rezultante (VTV).

Če primerjamo jakosti tresenja celega telesa med premikom in mirovanjem (Preglednica 3), ugotovimo, da se vrednosti tresenja s premikom zgibnika povečajo v vseh posameznih smereh in skupno. Jakosti tresenja se pri premikih povečajo od 4,2 do 70,1 krat glede na jakost tresenja zgibnika v mirovanju. V splošnem se jakosti tresenja najbolj povečajo pri 1500 obratih motorja in v smeri Y.

Statistična analiza jakosti tresenja med premikom in mirovanjem zgibnika je pokazala, da so pri vseh merjenih obratih motorja zgibnega traktorja razlike v jakostih tresenja po posameznih smereh in skupno statistično značilne (Preglednica 5).

Preglednica 5: Statistično tveganje pri preverjanju srednjih vrednosti jakosti tresenja med mirovanjem in premikom pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja za vse smeri tresenja

Statistično tveganje p - vrednosti		Smer							
		X		Y		Z		VTV	
Obr/min	Stanje	Mirovanje	Premik	Mirovanje	Premik	Mirovanje	Premik	Mirovanje	Premik
1000	Mirovanje								
	Premik	0,000		0,000		0,000		0,000	
1500	Mirovanje								
	Premik	0,000		0,000		0,000		0,000	
2000	Mirovanje								
	Premik	0,000		0,000		0,000		0,000	

5.2.2 Vpliv podlage na obremenitve delavca

V preglednici 6 prikazujemo jakosti obremenitev s tresenjem celotnega telesa na traktorista pri prazni vožnji po cesti in vlaki pri različnih obratih motorja. Na cesti smo najvišje RMS VTV obremenitve s tresenjem ($0,828 \text{ m/s}^2$) izmerili pri 2000 obratih/minuto, najnižje jakosti ($0,699 \text{ m/s}^2$) pa smo izmerili pri 1500 obratih/minuto. Medtem ko v smeri Y in Z jakosti tresenja kontinuirano naraščajo z obrati motorja in so najvišje jakosti ($0,396 \text{ m/s}^2$ oz. $0,469 \text{ m/s}^2$) pri najvišjih merjenih obratih in so tako za 1,2 in 1,5 krat višje kot pri najpočasnejši vožnji. Jakost tresenja v smeri X je najvišja ($0,308 \text{ m/s}^2$) pri najnižjih obratih motorja in za 1,4 krat višja kot pri 1500 obratih motorja. Pri vožnji po cesti so bile najvišje jakosti pri najpočasnejši prazni vožnji izmerjene v X smeri, pri ostalih hitrostih pa v Z smeri.

Preglednica 6: Jakost tresenja na cesti in vlaki pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja (upoštevana samo prazna vožnja)

Jakost tresenja (m/s ²)		Obrati/minuto					
		1000		1500		2000	
		Aritmetična sredina	Standardni odklon	Aritmetična sredina	Standardni odklon	Aritmetična sredina	Standardni odklon
Podlaga	Smer						
Cesta	VTV	0,733	0,155	0,699	0,160	0,828	0,158
	X	0,308	0,138	0,228	0,096	0,243	0,091
	Y	0,330	0,102	0,346	0,125	0,396	0,141
	Z	0,317	0,068	0,353	0,072	0,469	0,115
Vlaka	VTV	1,089	0,398	1,436	0,579	1,987	0,736
	X	0,392	0,146	0,517	0,213	0,730	0,302
	Y	0,575	0,289	0,777	0,420	1,068	0,520
	Z	0,428	0,087	0,492	0,130	0,644	0,164

S statistično obdelavo jakosti tresenja pri meritvah na cesti (Preglednica 7) smo ugotovili, da v smeri X jakosti tresenja niso statistično značilno različne med 1500 in 2000 obrati motorja, v Y smeri med 1000 in 1500 obrati motorja, v Z smeri med 1000 in 1500 obrati motorja. Razlike v RMS VTV jakosti tresenja so se izkazale za statistično neznailne med 1000 in 2000 obrati motorja zgibnika.

Preglednica 7: Statistično tveganje pri preverjanju srednjih vrednosti jakosti tresenja med različnimi obrati motorja zgibnega traktorja za vse smeri tresenja na cesti in vlaki

Statistično tveganje p - vrednosti		Smer											
		X			Y			Z			VTV		
Podlaga	Obr/min	1000	1500	2000	1000	1500	2000	1000	1500	2000	1000	1500	2000
Cesta	1000												
	1500	0,000			0,432			0,312			0,000		
	2000	0,009	0,057		0,005	0,000		0,000	0,000		1,000	0,000	
Vlaka	1000												
	1500	0,009			0,004			0,071			0,001		
	2000	0,000	0,000		0,000	0,011		0,000	0,000		0,000	0,000	

RMS Y jakosti tresenja se z večanjem obratov motorja stopnjujejo v vseh posameznih smereh in skupno (Preglednica 6). Jakosti tresenja so pri najhitrejši vožnji od 1,1 do 1,8 krat višje kot pri najpočasnejši vožnji. Na vlaki so bile pri vseh obratih motorja najvišje

izmerjene jakosti v aksialni (Y) smeri z vrednostmi med $0,575 \text{ m/s}^2$ pri 1000 obratih motorja in $1,068 \text{ m/s}^2$ pri 2000 obratih motorja zgibnika.

Pri statistični obdelavi jakosti tresenja na vlaki (Preglednica 7) smo ugotovili, da so bile vse razlike v jakostih tresenja med seboj statistično značilne. Kot statistično neznačilne se je izkazala le razlika v jakostih tresenja pri 1000 in 1500 obrati motorja v vertikalni smeri.

Preglednica 8: Statistično tveganje pri preverjanju srednjih vrednosti jakosti tresenja med cesto in vlako pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja za vse smeri tresenja

Statistično tveganje p - vrednosti		Smer							
		X		Y		Z		VTV	
Obr/min	Podlaga	Cesta	Vlaka	Cesta	Vlaka	Cesta	Vlaka	Cesta	Vlaka
1000	Cesta								
	Vlaka	0,001		0,000		0,000		0,000	
1500	Cesta								
	Vlaka	0,000		0,000		0,000		0,000	
2000	Cesta								
	Vlaka	0,000		0,000		0,000		0,000	

Če primerjamo jakosti tresenja na različnih podlagah (Preglednica 6), vidimo, da so jakosti tresenja pri vseh obratih motorja ter v vseh smereh višje pri prazni vožnji po vlaki kot po cesti. Jakosti tresenja pri prazni vožnji po vlaki so tako za od 1,3 do 3 krat višje kot pri prazni vožnji po cesti.

Statistična analiza jakosti tresenja med vožnjo zgibnega traktorja po cesti in vlaki je pokazala, da so pri vseh merjenih obratih motorja zgibnega traktorja razlike v jakostih tresenja po posameznih smereh in skupno statistično značilne (preglednica 8).

5.2.3 Vpliv obremenitve zgibnega traktorja na obremenitve delavca

Preglednica 9 nam prikazuje jakosti tresenja celotnega telesa med prazno in polno vožnjo pri 1500 obratih motorja. Rezultati nam razkrivajo, da so bile pri polni vožnji jakosti obremenitve s tresenjem celotnega telesa najvišje ($0,520 \text{ m/s}^2$) v vertikalni (Z) smeri in najnižje v horizontalni (X) smeri. Pri prazni vožnji so bile jakosti tresenja največje v aksialni (Y) smeri ($0,561 \text{ m/s}^2$), najnižje obremenitve pa v horizontalni (X) smeri. Pri prazni vožnji so jakosti tresenja za 1,3 krat oz. 1,1 krat višje v Y smeri in skupno (VTV) in za 1,04 krat oz. 1,2 krat nižje v X in Z smeri kot pri polni vožnji.

Preglednica 9: Jakost tresenja med prazno in polno vožnjo po cesti in vlaki pri 1500 obratih motorja

Jakost tresenja (m/s^2)		Obrati/minuto	
		1500	
		Aritmetična sredina	Standardni odklon
Obremenitev	Smer		
Polna	VTV	0,999	0,511
	X	0,387	0,227
	Y	0,445	0,283
	Z	0,520	0,225
Prazna	VTV	1,067	0,562
	X	0,372	0,219
	Y	0,561	0,377
	Z	0,422	0,126

Razlike v jakostih tresenja med prazno in polno vožnjo so statistično značilne v Y in Z smeri ter skupno (Preglednica 10).

Preglednica 10: Statistično tveganje pri preverjanju srednjih vrednosti jakosti tresenja med polno in prazno vožnjo pri 1500 obratih motorja zgibnega traktorja za vse smeri tresenja

Statistično tveganje p - vrednosti		Smer							
		X		Y		Z		VTV	
Obr/min	Obremenitev	Polna	Prazna	Polna	Prazna	Polna	Prazna	Polna	Prazna
1500	Polna								
	Prazna	0,657		0,004		0,004		0,034	

5.2.4 Modelna dnevna obremenitev delavca

Za izračun modelne dnevne obremenitve smo predpostavili, da traktorist pri spravilu lesa na 500 metrov dolgi razdalji vlačanja 50 % produktivnega časa opravi iz kabine (Obranovič, 2013) faktor neproduktivnega časa pa je enak 1,36 (Poje in Klun, 2000). Za obremenitev s tresenjem smo upoštevali vrednosti, ki smo jih izmerili pri prazni vožnji po vlaki v Y smeri, ki se je izkazala kot najvišja med posameznimi smermi tresenja, ter vektorsko velikost tresenja.

Preglednica 11: Preračunana dnevna obremenitev delavca s tresenjem celega telesa med vožnjo po vlaki

Jakost tresenja (m/s^2)	Obrati/minuto		
Smer	1000	1500	2000
RMS Y	0,33	0,44	0,60
RMS VTV	0,62	0,81	1,12

Glede na vhodne podatke smo izračunali, da produktivni čas zavzema 5,12 ure delovnega časa ter da traktorist od tega 2,56 ure dela opravi v kabini traktorja. Izračunane modelne dnevne obremenitve s tresenjem celega telesa zavzemajo vrednosti od $0,33 \text{ m/s}^2$ do $0,60 \text{ m/s}^2$ v smeri Y in RMS VTV vrednosti od $0,62 \text{ m/s}^2$ do $1,12 \text{ m/s}^2$.

5.3 DUŠENJE SEDEŽA

5.3.1 Dušenje sedeža glede na stanje zgibnega traktorja

Dušenje sedeža se meri kot razlika v jakostih tresenja, izmerjenih na sedežu, in jakostih, izmerjenih na podnožju sedeža. Jakost tresenja na podnožju smo merili samo v vertikalni smeri (AUX), zato smo jih primerjali samo z jakostmi tresenja, izmerjenih v vertikalni smeri na sedežu (RMS Z).

Preglednica 12: Dušenje sedeža v mirovanju in prazni vožnji pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja

Jakost tresenja (m/s ²)		Obrati/minuto					
		1000		1500		2000	
		Aritmetična sredina	Standardni odklon	Aritmetična sredina	Standardni odklon	Aritmetična sredina	Standardni odklon
Stanje	Smer						
Mirovanje	AUX	0,052	0,004	0,046	0,002	0,150	0,032
	Z	0,031	0,003	0,033	0,003	0,093	0,018
Premik	AUX	0,346	0,099	0,430	0,164	0,582	0,213
	Z	0,373	0,096	0,422	0,126	0,556	0,166

V preglednici 12 so prikazane jakosti obremenitev s tresenjem celotnega telesa na traktorista v smeri Z na sedežu in na podnožju sedeža zgibnega traktorja v mirovanju in med prazno vožnjo. Med mirovanjem zgibnika so jakosti tresenja pri vseh obratih motorja nižje kot na podnožju sedeža. Jakosti tresenja na sedežu so od 1,4 do 1,7 krat nižje od jakosti tresenja na podnožju sedeža. Razlike v jakostih tresenja na sedežu in pod sedežem so statistično značilne pri vseh obratih motorja zgibnika (Preglednica 13).

Preglednica 13: Statistično tveganje razlik med jakostmi tresenja na in pod sedežem pri mirovanju in premiku zgibnika ter pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja

Statistično tveganje p - vrednosti		Obrati/minuto					
		1000		1500		2000	
Stanje	Smer	Z	AUX	Z	AUX	Z	AUX
Mirovanje	Z						
	AUX	0,000		0,000		0,030	
Premik	Z						
	AUX	0,015		0,749		0,599	

Med prazno vožnjo zgibnega traktorja se jakosti tresenja tako na sedežu, kot na podnožju sedeža z obrati motorja povečujejo (Preglednica 12). Jakosti tresenja na sedežu so pri najnižjih obratih motorja zgibnika za 10 % večje, pri 1500 in 2000 obratih motorja za 2 % oz. 5 % nižje kot na podnožju sedeža. Statistična analiza je pokazala, da so razlike v jakostih tresenja značilne le pri najnižjih obratih motorja (Preglednica 13).

Primerjava jakosti tresenja na sedežu in podnožju sedeža med mirovanjem zgibnika in prazno vožnjo je pokazala, da se jakosti tresenja na podnožju sedeža s premikom povečajo za 3,9 do 9,3 krat, medtem ko se jakosti na sedežu povečajo od 6,0 do 12,8 krat. Razlike v jakosti tresenja na podnožju sedeža med mirovanjem in premikom so statistično značilne (Preglednica 14).

Preglednica 14: Statistično tveganje razlik med jakostmi tresenja pod sedežem v mirovanju in med premikom pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja

Obr/min	Stanje	Mirovanje	Premik
1000	Mirovanje		
	Premik	0,000	
1500	Mirovanje		
	Premik	0,000	
2000	Mirovanje		
	Premik	0,000	

5.3.2 Dušenje sedeža glede na podlago

V preglednici 15 so prikazane jakosti obremenitev s tresenjem celotnega telesa na traktorista v smeri Z na sedežu in na podnožju sedeža zgibnega traktorja na trasi ceste in vlake, upoštevali smo le prazno vožnjo. Med prazno vožnjo po cesti so jakosti tresenja pri vseh obratih motorja višje kot na podnožju sedeža. Jakosti tresenja na sedežu so do 1,1 krat višje od jakosti tresenja na podnožju sedeža. Na cesti so razlike v jakostih tresenja na sedežu in pod sedežem statistično značilne pri vseh obratih motorja zgibnika (Preglednica 16).

Preglednica 15 : Dušenje sedeža na cesti in vlaki pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja

Jakost tresenja (m/s ²)		Obrati/minuto					
		1000		1500		2000	
		Aritmetična sredina	Standardni odklon	Aritmetična sredina	Standardni odklon	Aritmetična sredina	Standardni odklon
Podlaga	Smer						
Cesta	AUX	0,286	0,050	0,329	0,064	0,466	0,122
	Z	0,317	0,068	0,353	0,072	0,469	0,115
Vlaka	AUX	0,406	0,100	0,531	0,172	0,699	0,221
	Z	0,428	0,087	0,492	0,130	0,644	0,164

Med prazno vožnjo zgibnega traktorja po vlaki so pri najnižjih obratih jakosti tresenja na sedežu za 1,1 krat višje kot jakosti na podnožju sedeža, pri 1500 in 2000 obratih motorja pa so jakosti na podnožju sedeža višje za 1,1 krat oz, 1,1 krat kot jakosti tresenja na sedežu zgibnega traktorja. Statistična analiza je pokazala, da razlike v jakostih tresenja niso značilne pri nobenih obratih motorja (Preglednica 16).

Preglednica 16: Statistično tveganje razlik med jakostmi tresenja na in pod sedežem na cesti in vlaki ter pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja

Statistično tveganje p - vrednosti		Obrati/minuto					
		1000		1500		2000	
Stanje	Smer	Z	AUX	Z	AUX	Z	AUX
Cesta	Z						
	AUX	0,030		0,013		0,012	
Vlaka	Z						
	AUX	0,128		0,267		0,252	

Razlike v jakosti tresenja na podnožju sedeža med vožnjo po cesti in vlaki so statistično značilne pri vseh obratih motorja (Preglednica 17).

Preglednica 17: Statistično tveganje razlik med jakostmi tresenja pod sedežem na cesti in vlaki pri različnih obratih motorja zgibnega traktorja

Obr/min	Stanje	Cesta	Vlaka
1000	Cesta		
	Vlaka	0,000	
1500	Cesta		
	Vlaka	0,000	
2000	Cesta		
	Vlaka	0,000	

5.3.3 Dušenje sedeža glede na obremenitev zgibnega traktorja

V preglednici 18 so prikazane jakosti obremenitev s tresenjem celotnega telesa na traktorista v smeri Z na sedežu in na podnožju sedeža zgibnega traktorja med polno in prazno vožnjo. Med polno vožnjo so jakosti tresenja na podnožju sedeža za 1,1 krat višje kot na sedežu, prav tako so pri prazni vožnji jakosti tresenja višje na podnožju sedeža kot na sedežu le, da za 1,02 krat.

Preglednica 18: Dušenje sedeža med polno in prazno vožnjo pri 1500 obratih motorja zgibnega traktorja

Jakost tresenja (m/s ²)		Obrati/minuto	
		1500	
		Aritmetična sredina	Standardni odklon
Obremenitev	Smer		
Polna	AUX	0,580	0,341
	Z	0,520	0,225
Prazna	AUX	0,430	0,164
	Z	0,422	0,126

Statistična analiza je pokazala, da razlike v jakostih tresenja niso značilne ne pri polni ne pri prazni vožnji (Preglednica 19).

Jakosti tresenja so bile na vznožju sedeža pri polni vožnji višje za 1,4 krat, na sedežu pa so bile prav tako pri polni vožnji višje za 1,2 krat (Preglednica 18).

Preglednica 19: Statistično tveganje razlik med jakostmi tresenja na in pod sedežem pri polni in prazni vožnji zgibnika pri 1500 obratih motorja zgibnega traktorja

Statistično tveganje p - vrednosti		Obrati/minuto	
		1500	
Obremenitev	Smer	Z	AUX
Polna	Z		
	AUX	0,698	
Prazna	Z		
	AUX	0,749	

Razlike v jakosti tresenja na podnožju sedeža med prazno in polno vožnjo so statistično značilne (Preglednica 20).

Preglednica 20: Statistično tveganje razlik med jakostmi tresenja pod sedežem pri polni in prazni vožnji zgibnika pri 1500 obratih motorja zgibnega traktorja

Statistično tveganje p - vrednosti		AUX	
Obr/min	Obremenitev	Polna	Prazna
1500	Polna		
	Prazna	0,000	

6 RAZPRAVA

6.1 PRESOJA METODE MERITEV

- Predstavljena metoda, uporabljena v analizi, je po nam znanih podatkih uporabljena prvič. Zagotovo to velja za Slovenijo.
- Prvotna metoda je bila zasnovana tako, da bi v čim večji meri zmanjšala verjetnost izgube podatkov oz. povečala izvedljivost raziskave. Na začetku raziskave namreč nismo vedeli na kakšen način bomo izrazili npr. neravnost podlage. To smo ugotovili šele kasneje pri detajlnem pregledu dosedanje literature.
- Za pripravo osnovnih baz podatkov smo v raziskavi potrebovali: natančen začetek in konec trase, ki smo jo kasneje analizirali; natančen potek obeh kolesnic zgibnega traktorja, čas, ki je bil potreben za vožnjo med začetkom in koncem ter terenski posnetek in posnetek jakosti tresenja. Glede na podatke, ki smo jih uporabili za pripravo baz podatkov, bi torej potrebovali le začetni in končni količek, ki bi označevala traso. Dodatni količki so bili v metodo dodani zato, da bi bilo na mestih količkov na preprostejši način mogoče pridobiti podatke o profilu vlake pod kolesnicami, torej brez uporabe terestričnega laserja. Kamera in nanjo nameščen laserski označevalec pa bi nam po prvotno zamišljeni metodi služila za določitev položaja zgibnika v času, kar bi nam omogočilo izbiro le določenih intervalov iz celotnega posnetka jakosti tresenj.
- Možne izboljšave in nadgradnje uporabljene metode:
 - Uporaba laserskega žarka na začetku in koncu vlake za natančno merjenje časa, ali še bolje
 - natančno merjenje pozicije traktorja v prostoru s pomočjo elektronskega tahimetra. Ta metoda bi omogočila snemanje daljših odsekov vlak, poenostavila pripravo podatkov, saj bi podatke iz tahimetra in terstičnega skenerja preprosteje in natančneje obdelali s prostorskimi orodji (npr. ArcGis). Je pa ta metoda najdražja.

6.2 VPLIVI NA OBREMENITVE DELAVCA S TRESENJEM

Ugotovili smo, da obstaja povezava med grobostjo podlage ter obremenjenostjo traktorista s tresenjem celotnega telesa. Grobost podlage smo izrazili z indeksom neravnosti, v našem primeru s HRI-indeksom. Višji, kot je HRI-indeks, večja je grobost oziroma neravnost podlage. S povečevanjem indeksa neravnosti so se povečevale tudi jakosti tresenja celotnega telesa. V splošnem je razvidno, da jakosti tresenja naraščajo v vseh smereh (X, Y, Z) in njihovi vektorski velikosti tresenja (RMS VTV). Podobne ugotovitve so dobili tudi na Švedskem (Whole-body vibration ..., 2002), ko so preučevali odvisnost grobosti terena s tresenjem celotnega telesa. Najvišje obremenitve s tresenjem (do $1,6 \text{ m/s}^2$) smo izmerili v aksialni (Y) smeri. V X smeri so bile obremenitve traktorista s tresenjem višje pri polni kot pri prazni vožnji. V splošnem najnižje obremenitve s tresenjem pa so bile v Z smeri. V smeri Z so pri polni vožnji z naraščanjem HRI-indeksa jakosti tresenja naraščale hitreje kot pri prazni vožnji in pri HRI-indeksu 40 presegle jakosti tresenja pri najhitrejši prazni vožnji. Ugotovili smo tudi, da se s povečevanjem obratov motorja zgibnega traktorja oziroma njegove hitrosti jakosti tresenja intenzivneje povečujejo s povečevanjem indeksa neravnosti kot pri manjših hitrostih. Medtem ko so razlike v jakostih tresenja pri indeksu neravnosti 10 zanemarljive, so pri indeksu neravnosti 60 jakosti tresenja med najnižjo in najvišjo hitrostjo razlikujejo za približno 100 %. S stališča zmanjševanja izpostavljenosti traktorista tresenju celega telesa bi bilo smiselno vlaganje v vzdrževanje vlak ter prilagoditev hitrosti vožnje po vlakih. Je pa potrebno dodati, da samo izboljšanje vlak ne bi doprineslo k zmanjšanju obremenjenosti s tresenjem, saj manj grobe vlake dopuščajo večje hitrosti vožnje. Tako je potrebno prilagoditi tudi hitrost vožnje glede na podlago. Wegscheid (1994) ugotavlja, da na obremenitve s tresenjem najbolj vpliva agresivnost voznika stroja, ki se kaže predvsem v prilagajanju hitrosti vožnje glede na grobost podlage.

V raziskavi smo med drugim primerjali jakosti tresenja celotnega telesa, ko je bil zgibni traktor v mirovanju, ter ko je bil v premikanju, upoštevali smo samo prazno vožnjo po vlaki in cesti. Po pričakovanjih smo ugotovili, da je bil traktorist s tresenjem bolj obremenjen med premikanjem kot mirovanjem. Če rezultate primerjamo z dosedanjimi raziskavami, vidimo, da je do zaključkov, da so obremenjenosti s tresenjem najvišje, kadar

je traktor v premikanju, prišla večina avtorjev (Jack in sod., 2010; Košir, 1982; Žunič, 2010; Poje, 2011 in Obranovič, 2013). Meritve so pokazale, da so po kazalniku RMS VTV jakosti tresenja pri prazni vožnji za od 7,4 do 28,1-krat višje kot pri polni vožnji, najvišje razlike so pri 1500 obratih motorja zgibnega traktorja. Pri premikanju se z obrati motorja oziroma hitrostjo zgibnega traktorja jakosti tresenja povečujejo. Pri mirovanju pa so jakosti najnižje pri 1500 obratih/minuto. Tudi Poje (2011) ugotavlja, da se obremenjenost s tresenjem povečuje s povečevanjem obratov motorja.

Preverjali smo tudi razlike v jakosti tresenja med vožnjo zgibnega traktorja po vlaki in cesti. Tudi tu smo upoštevali le prazno vožnjo. Tako kot Bloch in sod. (1992) smo ugotovili, da so jakosti tresenja višje pri vožnji po vlaki kot po cesti. V njihovi raziskavi je bilo ugotovljeno, da so jakosti tresenja na vlaki za približno 30 % višje kot na cesti, ter da so najvišje obremenitve (približno $0,8 \text{ m/s}^2$) v X in Y smeri, najnižje (približno $0,65 \text{ m/s}^2$) pa v Z-smeri. V naši raziskavi pa smo ugotovili, da jakosti tresenja celotnega telesa pri prazni vožnji po vlaki glede na kazalnik RMS VTV za od 1,5 do 2,4krat višje kot pri prazni vožnji po cesti. Pri vseh obratih motorja so bile najvišje jakosti tresenja v aksialni (Y) smeri. Tudi Košir (1982) ugotavlja, da voznika gozdarskih strojev najmočneje obremenjuje vožnja po vlaki. Mehta in sod. (2000) pa so v raziskavi ugotovili, da je traktorist s tresenjem dvakrat bolj obremenjen na brezpotju, kot na poljski makadamski cesti.

Pri vožnji po vlaki s hitrostjo zgibnega traktorja naraščajo tudi jakosti tresenja celega telesa. Glede na kazalnik RMS VTV so bile pri najnižjih obratih jakosti tresenja $1,089 \text{ m/s}^2$, pri najvišjih obratih motorja pa $1,987 \text{ m/s}^2$. Do podobnih ugotovitev so prišli tudi avtorji raziskav s podobno tematiko (Yokomuri in sod., 1986; Bloch in sod., 1992, ter Cuong in sod., 2013). Po vožnji na cesti so bile najnižje izmerjene jakosti tresenja pri 1500 obratih/minuto ($0,699 \text{ m/s}^2$), višje pri najnižjih obratih ($0,733 \text{ m/s}^2$), razlika je sicer majhna, vendar statistično značilna. Najvišje jakosti ($0,828 \text{ m/s}^2$) pa so bile pri najvišjih obratih motorja.

V raziskavi smo ugotavljali tudi razliko v obremenitvi voznika zgibnega traktorja s tresenjem celotnega telesa med polno in prazno vožnjo na trasi ceste in vlake. Ugotovili smo, da je bil po kazalniku RMS VTV traktorist sicer nekoliko bolj obremenjen pri prazni

vožnji (1,067) kot pri polni vožnji (0,999), vendar pa so razlike statistično neznailne. Poje (2011) je v svoji doktorski disertaciji, kjer je preučeval jakost tresenja na zgibnem gozdarskem traktorju Timberjack 240C, prav tako ugotovil, da je bil traktorist bolj obremenjen pri prazni vožnji ($1,31 \text{ m/s}^2$) kot pri polni vožnji ($0,91 \text{ m/s}^2$). Avtor predpostavlja, da je vzrok za razlike v jakostih tresenja v hitrosti vožnje in ne dodatni obremenitvi traktorja, kar smo raziskovali v pričujoči raziskavi. Tudi Obranovič (2013), ki je pri svoji raziskavi uporabil enak model zgibnega traktorja, je prišel do ugotovitev, da je bil traktorist bolj obremenjen pri prazni ($1,53 \text{ m/s}^2$) kot pri polni vožnji ($1,51 \text{ m/s}^2$). Majhne razlike v jakostih tresenja med polno in prazno vožnjo potrjujejo naše ugotovitve, medtem ko višje vrednosti lahko pripišemo ali višji hitrosti vožnje ali bolj grobi podlagi, kot je bila pri naši raziskavi.

Košir (1982) je v svoji raziskavi ugotovil, da se vrednosti pri polni in prazni vožnji pri dveh zgibnih traktorjih gibljejo od $3,28 \text{ m/s}^2$ do $3,53 \text{ m/s}^2$, ter do $6,20 \text{ m/s}^2$ pri goseničarju. Tako visoke obremenitve lahko pripišemo predvsem starejši izdelavi strojev.

Tudi Močnik (2014) in Žunič (2010) ugotavljata, da so največje obremenitve pri prazni vožnji. Prvi je izmeril jakosti $1,95 \text{ m/s}^2$ pri adaptiranemu kmetijskemu traktorju Zetor 8443 in $1,94 \text{ m/s}^2$ pri Zetor 5340, drugi pa zelo podobne jakosti, in sicer $1,97 \text{ m/s}^2$ pri prazni vožnji ter $1,82 \text{ m/s}^2$ pri polni vožnji.

Pri polni vožnji so bile v naši raziskavi največje obremenitve ($0,52 \text{ m/s}^2$) v vertikalni (Z) smeri, pri prazni vožnji pa so bile jakosti tresenja ($0,561 \text{ m/s}^2$) najvišje v aksialni (Y) smeri. Drugi avtorji pa poročajo, da so bile najvišje obremenitve med prazno vožnjo v vertikalni (Z) smeri (Poje, 2011; Sherwin in sod. 2004, ter Coung in sod., 2013). Žunič (2010) je prav tako pri prazni vožnji v X smeri izmeril najvišje jakosti tresenja ($1,04 \text{ m/s}^2$). Pri raziskavi, ki so jo opravili Bloch in sod. (1992), pa so ugotovili, da so bile obremenitve pri prazni vožnji po vlaki najvišje v X in Y-smeri.

Izračunali smo tudi modelne dnevne obremenitve traktorista pri predpostavkah, da je pravilna razdalja 500 metrov, da traktorist 50 % produktivnega časa opravi iz kabine (Obranovič, 2013), ter da je faktor neproduktivnega časa enak 1,36 (Poje in Klun, 2000). Za obremenitev s tresenjem smo upoštevali vrednosti, ki smo jih izmerili pri prazni vožnji po vlaki v Y-smeri, ki se je izkazala kot najvišja med posameznimi smermi tresenja ter

vektorsko velikost tresenja. Po Pravilniku o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu iz leta 2005 je opozorilna vrednost dnevne izpostavljenosti normalizirana na referenčno obdobje osmih ur $0,5 \text{ m/s}^2$ ter mejna vrednost $1,15 \text{ m/s}^2$. V smeri Y so bile pri 1000 in 1500 obratih motorja jakosti tresenja $0,33 \text{ m/s}^2$ oz. $0,44 \text{ m/s}^2$, kar je pod opozorilno vrednostjo, pri najvišjih obratih motorja pa so bile jakosti tresenja $0,60 \text{ m/s}^2$, kar pa je malo nad opozorilno vrednostjo. Pri vektorski velikosti tresenja (RMS VTV) so bile izračunane modelne obremenitve s tresenjem od $0,62 \text{ m/s}^2$ do $1,12 \text{ m/s}^2$, kar jih postavlja nad opozorilno in pod mejno vrednost.

Če zaradi enostavnosti predpostavimo, da se jakosti tresenja po posameznih faktorjih seštevajo, potem lahko na podlagi naših rezultatov ocenimo prispevke posameznih faktorjev h končni jakosti tresenja. Izmerjene RMS VTV-jakosti tresenja pri 1000 obratih motorja so $0,123 \text{ m/s}^2$ v mirovanju, $0,733 \text{ m/s}^2$ na cesti, $1,089 \text{ m/s}^2$ na vlaki ter pri 2000 obratih motorja na vlaki $1,987 \text{ m/s}^2$. V izračun ni vključena obremenitev traktorja, ki se je izkazala za statistično neznačilna. Če izračunamo razlike med njimi in jih spremenimo v deleže glede na končno vrednost ($1,987 \text{ m/s}^2$), lahko zaključimo, da k skupni jakosti tresenja motor prispeva 6 %, vožnja po cesti s hitrostjo motorja 1000 obratov 31 %, razlika v neravnosti podlage med cesto in vlako 18 % in povečanje hitrosti motorja iz 1000 na 2000 obratov 45 %. Dobljena ocena je zelo groba in ne velja za posamezne smeri tresenja. Iz rezultatov modela tako lahko zaključimo, da je hitrost vožnje najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na jakost tresenja celega telesa. Drugi najpomembnejši dejavnik pa je neravnost podlage.

Merili smo tudi dušenje sedeža, in sicer kot razliko v jakostih tresenja, izmerjenih na podnožju sedeža in jakostih, izmerjenih na sedežu zgibnega traktorja. Jakost tresenja na podnožju smo merili samo v vertikalni smeri, zato smo jih primerjali samo z jakostmi tresenja, izmerjenih v vertikalni smeri na sedežu.

Sedež tako glede na našo raziskavo zmanjšuje obremenitve v mirovanju, kjer so jakosti tresenja na sedežu zgibnega traktorja do 1,7 krat nižje kot na podnožju sedeža. Sedež zmanjšuje obremenitve še pri višjih hitrostih zgibnika pri prazni ter predvsem pri polni vožnji po vlaki, povečuje pa pri vožnji po cesti oz. podlagi z nizko neravnostjo ter nizkih hitrostih pri prazni vožnji. Tudi Poje (2011) je v svoji raziskavi razmišljal, da je sposobnost

sedeža na dušenje tresenja vprašljiva. Lipoglavšek in Kumer (1998) v raziskavi ugotavljata, da sedeži pogosto celo povečujejo jakosti tresenja ohišja v nizkofrekvenčnem, za človeka občutljivem območju. Cation in sod. (2008) ugotavljajo, da lahko neprimerni sedeži jakost tresenja še povečujejo, ter da se v zadnjih nekaj desetletjih sedeži v zgibnih traktorjih glede na sposobnost dušenja tresenja niso izboljšali.

6.3 UKREPI ZA ZMANJŠANJE OBREMENITEV CELEGA TELESA S TRESENJEM

Košir (1982) ugotavlja, da se pri delu z gozdarskimi stroji ni mogoče izogniti obremenitvam s tresenjem celotnega telesa. Lahko pa njihov kvarni vpliv omilimo, čeprav nimamo na voljo takšnih sredstev kot pri preprečevanju kvarnih posledic ropota, vlage, mraza in podobno.

Košir (1982) je mnenja, da je izbor pravilnega sedeža najpomembnejši korak za zmanjšanje kvarnega vpliva obremenjenosti delavca s tresenjem. Priporoča, da naj bi bil sedež vzmeten v vseh treh smereh tresenja, in sicer z nastavljivim vzmetenjem glede na težo voznika. Lipoglavšek in Kumer (1998) dodajata, da je jakost tresenja odvisna tudi od mesta pritrditve sedeža. Ugotavljata tudi, da običajni sedež za kmetijski traktor ni primeren za delo v gozdu.

Nekateri avtorji (Sherwin in sod., 2004; Cuong in sod., 2013, ter Bloch in sod., 1992) v svojih raziskavah ugotavljajo, da se jakosti tresenja celotnega telesa zmanjšajo, ko se zniža tlak v pnevmatikah. Bloch in sod. (1992) poročajo, da so se jakosti tresenja z znižanjem tlaka znižale za 10–20 %, medtem, ko Sherwin in sod. (2004) ugotavljajo, da so razlike v jakostih tresenja do 55 % ter dodajajo, da naj stroj deluje pod čim nižjim tlakom pnevmatik, kot to še dovoljujejo razmere za varno delo. Ko se odločamo o tlaku v pnevmatikah, moramo v obzir vzeti tudi težo, naloženost vozila, ter terenske in vremenske razmere.

V raziskavi smo ugotovili, da se jakosti tresenja celotnega telesa povečujejo z večanjem obratov motorja zgibnega traktorja oz. hitrostjo vožnje. Ugotovitev potrjujejo tudi

raziskave drugih avtorjev (Yokomuri in sod., 1986; Bloch in sod., 1992, ter Cuong in sod., 2013). Tudi iz modelnega izračuna o prispevku posameznih faktorjev h končni jakosti tresenja je razvidno, da je hitrost vožnje najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na jakost tresenja celega telesa. Iz tega lahko zaključimo, da ima traktorist možnost, da prilagodi hitrost vožnje in s tem zmanjša obremenjenost s tresenjem celotnega telesa.

K manjšemu indeksu neravnosti in posledično manjši izpostavljenosti traktorista s tresenjem prispeva vzdrževanje planuma vlak (sanacija po končanem spraviu) ter njihovo urejeno odvodnjavanje.

Z ukrepom organizacije dela lahko na zmanjšanje obremenjenosti s tresenjem celotnega telesa vplivamo tako, da zmanjšamo čas izpostavljenosti delavca obremenitvam s tresenjem.

7 SKLEPI

Na podlagi postavljenih hipotez:

1. merjeni dejavniki, kot so X, Y, Z značilno vplivajo na obremenitve delavca s tresenjem celega telesa,
2. z izboljšanjem stanja vlak bi dosegli manjše obremenitve delavca s tresenjem celega telesa,

lahko zaključimo:

1. Ugotovili smo, da jakosti tresenja naraščajo v vseh smereh (X, Y, Z) in njihovi vektorski velikosti tresenja (RMS VTV). Najvišje obremenitve s tresenjem (do $1,6 \text{ m/s}^2$) smo izmerili v aksialni (Y) smeri. V X smeri so bile obremenitve traktorista s tresenjem višje pri polni kot pri prazni vožnji. V splošnem najnižje obremenitve s tresenjem pa so bile v Z smeri.

V modelnem izračunu dnevne obremenjenosti s tresenjem smo ugotovili, da so bile jakosti tresenja glede na Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam iz leta 2005 v Y smeri pri najvišjih obratih motorja nad opozorilno vrednostjo, pri 1000 in 1500 obratih motorja pa pod opozorilno vrednostjo. Gledano po kazalniku RMS VTV so bile jakosti tresenja pri vseh obratih motorja nad opozorilno vrednostjo, pri najvišjih obratih pa tik pod mejno vrednostjo. S tem potrjujemo prvo hipotezo.

2. Obremenitve s tresenjem celotnega telesa naraščajo z naraščanjem grobosti podlage. Voznik zgibnega traktorja je bil pri najvišji merjeni hitrosti oziroma obratih motorja zgibnega traktorja, za približno 1,7 krat bolj obremenjen, ko je vozil po odseku vlake, ki je bila najbolj groba oziroma je imela najvišji indeks neravnosti kot po odseku, ki je imela najnižji indeks neravnosti. Vzdrževanje planuma vlak (sanacija po končanem spravi) ter urejeno njihovo odvodnjavanje bi prispevalo k manjšemu indeksu neravnosti in posledično k manjši izpostavljenosti traktorista s tresenjem.

Z večanjem hitrosti vožnje se povečujejo jakosti tresenja celotnega telesa in s tem obremenjenost traktorista. Zato je priporočljivo, da traktorist prilagodi

hitrost vožnje terenskim razmeram, še posebej pri prazni vožnji, kjer se dosegajo najvišje hitrosti vožnje, s tem pa se zmanjša izpostavljenost tresenju.

Ugotovili smo tudi, da je pri vožnji po vlaki traktorist bolj obremenjen s tresenjem celotnega telesa kot pri vožnji po gozdni cesti. Prav tako razlike v jakosti tresenja s hitrostjo pri vožnji po vlaki naraščajo še hitreje kot pri vožnji po gozdni cesti. Pri tem je treba opozoriti, da je vožnja s traktorjem po gozdni cesti dopustna samo toliko, kolikor je potrebno za potrebe rampanja in spravila lesa. Prav tako je potrebno po končanem spravilu lesa vse tako nastale poškodbe na gozdni cesti, vključno s sistemom odvodnjavanja, sanirati v prvotno stanje.

Traktorski sedež jakosti tresenja zmanjšuje v mirovanju, pri višjih hitrostih zgibnega traktorja ter pri polni in prazni vožnji po vlaki. Na drugi strani pa traktorski sedež obremenitve s tresenjem povečuje pri vožnji po gozdni cesti, vožnji po podlagi z nizkim indeksom neravnosti ter nizkih hitrostih pri prazni vožnji.

S temi ugotovitvami potrjujemo drugo hipotezo.

8 POVZETEK

V gozdarstvu se delavci soočajo z mnogimi poklicnimi tveganji. Med njimi je tudi izpostavljenost določenega dela telesa ali pa celotnega telesa tresenju. Tresljaji so pomemben dejavnik delovnega okolja pri delu v gozdu, ki neugodno vplivajo na delavca.

Ker je ravnanje delavca med delom težko nadzorovati, in ker morajo biti ukrepi za zmanjševanje obremenitev primarno usmerjeni v odstranjevanje nevarnosti, se zdi najbolj smiselno, da so ukrepi za zmanjševanje obremenitev usmerjeni v organizacijo dela (npr. menjava dela) ali v zamenjavo tehnološko zastarelih delovnih sredstev ter v spreminjanje delovnih razmer, med katerimi je ena najpoglavitejših odprtost gozdov s primarnimi in sekundarnimi prometnicami. S povečevanjem razdalje vlačjenja se namreč povečujejo obremenitve celega telesa s tresenjem. Zagotovo pa na obremenitve vplivajo tudi lastnosti vlak, ki so odvisne od njene gradnje kakor tudi od njenega vzdrževanja, kar bi lahko pomenilo, da so obremenitve v neposredni povezavi s finančnim vložkom v sekundarno omrežje vlak. Z magistrsko nalogo želimo razjasniti vpliv, ki ga imajo lastnosti vlak na obremenitve s tresenjem ter s tem upravičenost dodatnega finančnega vlaganja v vzdrževanje vlak.

V Sloveniji je še vedno prevladujoče klasično, traktorsko spravilo lesa. Med to pravilno obliko lesa štejemo manjše in večje prilagojene kmetijske traktorje ter za gozdarske potrebe narejene zgibne traktorje, kot je Hittner Ecotrac 120V, katerega smo uporabili pri meritvah.

Za potrebe magistrske naloge smo potrebovali pet terenskih dni. Po en dan smo potrebovali za izbiro primernih tras, za zakoličevanje tras, za pripravo tras, za terestrično snemanje in za meritve obremenitev s tresenjem.

Meritve smo opravili na petdeset metrski trasi ceste in vlake. Trasa ceste leži v oddelku 15025B, trasa vlake pa v oddelku 15024A. Oba oddelka se nahajata v Gozdnogospodarskem območju Kočevje, natančneje v gozdnogospodarski enoti Draga. Na trasi ceste in vlake smo zapičili po petdeset količkov, na vsak meter po enega. Predvsem

traso vlake smo morali pripraviti, po celotni dolžini smo morali odstraniti morebitno zeliščno plast ter listje in veje.

Prostorske podatke vlake in ceste smo zajeli z ultra hitrim terestričnim – trirazsežnim laserskim skenerjem Leica Scanstation Type P20. Meritve jakosti tresenja celotnega telesa smo, kot že omenjeno, merili na zgibnem traktorju Ecotrac 120V. Jakosti tresenja smo merili na sedežu in podnožju sedeža zgibnika. Meritve jakosti tresenja so potekale kontinuirano v vseh štirih smereh. Meritve smo opravili na vlaki in cesti v mirovanju in prazni vožnji pri različnih obratih motorja (1000, 1500, 2000). Polno vožnjo pa smo opravili pri 1500 obratih motorja.

V naši raziskavi smo ugotovili, da obstaja povezava med grobostjo podlage ter obremenjenostjo traktorista s tresenjem celotnega telesa. Grobost podlage smo izrazili z indeksom neravnosti, v našem primeru HRI-indeksom. Višji, kot je HRI-indeks, večja je grobost oziroma neravnost podlage. S povečevanjem indeksa neravnosti so se povečevale tudi jakosti tresenja celotnega telesa. V splošnem je razvidno, da jakosti tresenja naraščajo v vseh smereh (X, Y, Z) in njihovi vektorski velikosti tresenja (RMS VTV). Najvišje obremenitve s tresenjem (do $1,6 \text{ m/s}^2$) smo izmerili v aksialni (Y) smeri. V X smeri so bile obremenitve traktorista s tresenjem višje pri polni kot pri prazni vožnji. V splošnem najnižje obremenitve s tresenjem pa so bile v Z smeri.

Meritve so pokazale, da so po kazalniku RMS VTV jakosti tresenja pri prazni vožnji za od 7,4 do 28,1-krat višje kot pri mirovanju, najvišje razlike so pri 1500 obratih motorja zgibnega traktorja. Pri premikanju se z obrati motorja oziroma hitrostjo zgibnega traktorja jakosti tresenja povečujejo. Pri mirovanju pa so jakosti najnižje pri 1500 obratih/minuto.

Ugotovili smo tudi, da so glede na kazalnik RMS VTV jakosti tresenja celotnega telesa pri prazni vožnji po vlaki za od 1,5 do 2,4-krat višje kot pri prazni vožnji po cesti. Pri vseh obratih motorja so bile najvišje jakosti tresenja v aksialni (Y) smeri. Pri tem je treba opozoriti, da je vožnja s traktorjem po gozdni cesti dopustna samo toliko, kolikor je potrebno za potrebe rampanja in spravila lesa. Prav tako je potrebno po končanem spravilu lesa vse tako nastale poškodbe na gozdni cesti, vključno s sistemom odvodnjavanja, sanirati v prvotno stanje.

V raziskavi smo ugotavljali tudi razliko v obremenitvi voznika zgibnega traktorja s tresenjem celotnega telesa med polno in prazno vožnjo na trasi ceste in vlake. Ugotovili smo, da je bil po kazalniku RMS VTV traktorist sicer nekoliko bolj obremenjen pri prazni vožnji (1,067) kot pri polni vožnji (0,999), vendar pa so razlike statistično neznačilne.

Primerjali smo tudi, koliko tresenja zaduši sedež. Glede na našo raziskavo sedež zmanjšuje obremenitve v mirovanju, kjer so jakosti tresenja do 1,7-krat nižje na sedežu zgibnega traktorja kot na podnožju sedeža. Sedež zmanjšuje obremenitve še pri višjih hitrostih zgibnika pri prazni ter predvsem pri polni vožnji po vlaki, povečuje pa pri vožnji po cesti oz. podlagi z nizko neravnostjo ter nizkih hitrostih pri prazni vožnji.

Pri izračunu modelnih dnevnih obremenjenosti s tresenjem smo ugotovili, da so bile jakosti tresenja glede na Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam iz leta 2005 v Y smeri pri najvišjih obratih motorja nad opozorilno vrednostjo, pri 1000 in 1500 obratih motorja pa pod opozorilno vrednostjo. Gledano po kazalniku RMS VTV so bile jakosti tresenja pri vseh obratih motorja nad opozorilno vrednostjo, pri najvišjih obratih pa tik pod mejno vrednostjo.

Ob predpostavki, da se jakosti tresenja po posameznih faktorjih seštevajo, smo na podlagi naših rezultatov ocenili prispevke posameznih faktorjev h končni jakosti tresenja. Dobljena ocena je zelo groba in ne velja za posamezne smeri tresenja. Iz rezultatov modela tako lahko zaključimo, da je hitrost vožnje najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na jakost tresenja celega telesa. Drugi najpomembnejši dejavnik pa je neravnost podlage.

Med ukrepe za zmanjšanje obremenjenosti s tresenjem celotnega telesa med drugim sodi tudi vzdrževanje planuma vlak (sanacija po končanem spraviu) ter urejeno njihovo odvodnjavanje, prilagoditev hitrost vožnje grobosti podlage, delovanje gozdarskega stroja pod čim nižjim tlakom pnevmatik, kot to še dovoljujejo razmere za varno delo, izbor pravilno vzmetenega in pritrjenega sedeža ter organizacijski ukrepi, ki zmanjšujejo čas izpostavljenosti delavca obremenitvam s tresenjem.

9 VIRI

- Axelsson S., Ponten B. 1990. New ergonomics problems in mechanized logging operations. *International Journal of Industrial ergonomics*, 5: 267–273
- Balon M. 2007. Analiza uporabnosti tehnologije terestričnega laserskega skeniranja za metrično dokumentacijo zemeljskih plazov: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer). Ljubljana, samozal.: 98 str.
- Bloch G. W., Gerdson G., Zeitsch R. 1992. Belastung und Beanspruchung durch Ganzkörperschwingungen beim Rucken mit unterschiedlichen Reifeninnendrucken. *Forsttechnische Informationen*, 44, 6/7: 45–48
- Cation S., Jack R. J., Oliver M., Dickey J. P., Lee-Shee N. K. 2008. Six-degree-offreedom whole-body vibration exposure levels during routine skidder operations. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38: 696–715
- Cuong D. M., Zhu S., Zhu Y. 2013. Effects of tyre inflation pressure and forward speed on vibration of an unsuspended tractor. *Journeal of Terramechanics*, 50: 185-198
- Direktiva 2002/44/ES o minimalnih zdravstvenih in varnostnih zahtevah glede izpostavljenosti delavcev tveganjem iz fizikalnih dejavnikov (vibracij). 2002. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:02002L0044-20081211> (20. marec 2015)
- Gellerstedt S. 2002. Operation of the single-grip harvester: Motor-sensory and cognitive work. *International Journal of Forest Engineering*, 13: 35–47
- Goglia V., Đukić I. 2005. Rezultati istraživanja nekih ergonomske značajke skidera Ecotrac 120V te njihova kontrola nakon jedne godine uporabe: elaborat. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet: 14 str.

- Goglia V., Gospodaric Z., Kosutic S., Filipovic D. 2003. Hand-transmitted vibration from the steering wheel to drivers of a small four-wheel drive tractor. *Applied Ergonomics*, 34, 1: 45–49
- Golsse J. M., hope P. A. 1987. Analysis of whole-body vibration levels during skidding (Technical report, TR 77). Forest Engineering Research Institute of Canada: 22 str.
- Gozdnogojitveni načrt za odsek 15024, GGE Draga, KO Draga. 2012. Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Kočevje.
- Gozdnogojitveni načrt za odsek 15025, GGE Draga, KO Draga. 2012. Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Kočevje.
- Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Draga. 2011 – 2020. Kočevje, Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Kočevje.
- Griffin M. J. 1990. Handbook of human vibrations. London, Elsevier Academic Press: 957 str.
- Guide to good practice on Whole-Body Vibration. 2005: 59 str.
- ISO 2631-1. Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements. 1997
- Kobal M., Krajnc N. 2014. Lidar v gozdarsvtu. Gozdarski inštitut Slovenije. Ljubljana, 4 str.
- Košir B. 1982. Obremenitev traktoristov z vibracijami. *Gozdarski vestnik*, 40, 1: 12–19
- Lipoglavšek M., Kumer P. 1998. Humanizacija dela v gozdarstvu. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 214 s.
- Marsili A., Ragni L., Vassalini G. 1998. Vibration and noise of a tracked forestry vehicle. *Journeal of Agricultural Engineering Research*, 70, 3: 295–306
- Mehta C. R., Shyam M., Singh P., Verma R. N. 2000. Ride vibration on tractor – implement system. *Applied Ergonomics* 31: 323–328

Močnik E. Ergonomska ocena kmetijskega traktorja za delo v gozdu: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 88 str.

Mozetič B. 2004. Terestrično 3D (trirazsežno) lasersko skeniranje. Geodetski vestnik, 48/2004-3: 351–362

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

Podatki o terestričnem laserskem skenerju Leica Scanstation Type P20

http://www.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/ScanStation_P20/brochures-datasheet/Leica_ScanStation_P20_DAT_en.pdf (12. november 2014)

Podatki o zgibnem traktorju Hittner Ecotrac 120V

http://hittner.hr/sumski-traktori/hrvatska/sumski_zglobni_traktor_ecotrac_120_v (10. november 2014)

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

Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam pri delu. 2005. Ur. l. RS, št. 94/2005

Rehn B., Lundstrom R., Nilsson L., Liljelind I., Jarvholm B. 2005. 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

Sayers M. W., Karamihas S. M. 1998. The little book of profiling. The Regent of the University of Michigan: 100 str.

- 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 operator in a cut-to-length timber harvester. *Applied Ergonomics*, 35, 3: 253–261
- Šilc M. 2011. Vpliv tehnike dela na obremenitev sekača s tresenjem: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 29 str.
- Tehnična specifikacija za javne ceste. 2003. Slovenski inštitut za standardizacijo. Ljubljana, Ministrstvo za promet: 11 str.
- Varnost in zdravje pri gozdnem delu. 1999. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije: 190 str.
- Whole-body vibrations when riding on rough roads. 2002. Road engineering division: 81 str.
- Yokomori M., Nakagawa T., Matsumoto T. 1986. Handlebar vibration of motorcycle during operation on different road surfaces. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 12: 332–337
- Zakon o varnosti in zdravju pri delu. 2011. Ur. l. RS, št. 43/2011
- Žunič G. 2010. Obremenitve traktorista pri spravilu lesa: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 53 str.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi ter strokovnem pregledu magistrske naloge se zahvaljujem mentorju prof. dr. Igorju Potočniku.

Posebna zahvala gre somentorju dr. Antonu Pojetu za pomoč pri izvedbi meritev na terenu, pomoč pri obdelavi in analizi zbranih podatkov, strokovno pomoč in vse koristne napotke med pisanjem magistrske naloge.

Zahvala gre tudi doc. dr. Juriju Marenčetu za hitro in korektno opravljeno recenzijo.

Za pomoč pri tehnični izvedbi meritev se zahvaljujem Juretu Pokornu, dr. Matevžu Miheliču pa za pomoč pri obdelavi podatkov.

Zahvalo dolgujem tudi podjetju Grča, d. d., ki mi je na razpolago dalo zgibni traktor in delavca ter s tem omogočilo izvedbo meritev. Za pomoč pri meritvah in izposojajo merilne naprave se zahvaljujem Luki Dolencu iz podjetja IMS Merilni sistemi, d. o. o. Zahvala gre tudi Gregorju Bilbanu iz podjetja Geoservis, d. o. o., za zajem prostorskih podatkov obeh tras z laserskim skenerjem.

Še posebej pa se zahvaljujem svojima staršema, ki sta me ves čas študija moralno in finančno podpirala, ter moji puncu za izkazano potrpljenje in spodbudo.

Vsem se še enkrat najlepše zahvaljujem!