



Sveučilište u Zagrebu

ŠUMARSKI FAKULTET

Marko Zorić

**UPORABA NOVIH MJERNIH SUSTAVA ZA
ODREĐIVANJE ENERGIJSKE I TEHNIČKE
POGODNOSTI KAMIONSKOG PRIJEVOZA
DRVA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2015.



Sveučilište u Zagrebu
ŠUMARSKI FAKULTET

Marko Zorić

**UPORABA NOVIH MJERNIH SUSTAVA ZA
ODREĐIVANJE ENERGIJSKE I TEHNIČKE
POGODNOSTI KAMIONSKOG PRIJEVOZA
DRVA**

DOKTORSKI RAD

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar

Zagreb, 2015.



University of Zagreb
FACULTY OF FORESTRY

Marko Zorić

**USAGE OF NEW MEASUREMENT SYSTEMS
FOR DETERMINING ENERGY AND TECHNICAL
SUITABILITY OF TIMBER TRUCK TRANSPORT**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: Assoc. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar

Zagreb, 2015

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

TI (naslov)	Uporaba novih mjernih sustava za određivanje energijske i tehničke pogodnosti kamionskog prijevoza drva
AU (autor)	Marko Zorić
AD (adresa)	Ulica Ivana Brkanovića 14, 10360 SESVETE, email: mzoric@sumfak.hr
SO (izvor)	Šumarska knjižnica, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu Svetošimunska 25, 10000 Zagreb
PY (godina objave)	2015
LA (izvorni jezik)	hrvatski
DE (ključne riječi)	šumski kamionski skup, osovinsko opterećenje, daljinsko praćenje rada strojeva, potrošnja goriva, vibracije, šumske ceste
GE (zemlja objave)	Hrvatska
PT (vrsta objave)	Disertacija
VO (obujam)	I – XV + 154 str. + 45 tablica + 108 slika + 214 literaturna navoda
AB (sažetak)	<p>Daljinski transport drva kamionima predstavlja posljednju podfazu pridobivanja drva. Zbog svojih značajki, cikličkog rada, veliki udio vožnje neopterećenog vozila, visoke nabavne cijene vozila, prevezene male količine jeftine robe, visoka cijena goriva, velika potrošnja goriva, daljinski transport drva kamionima karakteriziraju iznimno visoki troškovi. Osim visoke cijene daljinskog transporta drva kamionima značajno je i njegovo veliko opterećenje okoliša emisijom stakleničkih plinova te niska energetska učinkovitost. Zbog zakonskih ograničenja propisanih u Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama (NN 51/10, 84/10, 145/11, 140/13 i 85/14) šumarski stručnjaci su primorani iznalaziti tehnička i organizacijska rješenja kako bi povećali proizvodnost kamionskih skupova, energetska učinkovitost i smanjili negativan utjecaj na okoliš. U ovom radu naglasak će biti na tehničkim rješenjima, čijom primjenom se postiže navedeno.</p> <p>Cilj rada je bio utvrditi tehničku i energetska pogodnost šumskih kamionskih skupova. Rezultati provedenih analiza koristiti će se kao podloga za optimizaciju prijevoza drva kamionima.</p> <p>Istraživanje tehničkih karakteristika je izvršeno pomoću tri različita mjerna sustava za mjerenje mase. Provedbom istraživanja testiran je mjerni sustav koji je integriran u zračni ovjes šumskih kamionskih skupova.</p> <p>Fleet Management Sustav (FMS) korišten je u svrhu sakupljanja i daljinskog slanja izmjerenih podataka sa dva istraživana šumska kamionska skupa. Mjereni podaci bili su: brzina vrtnje motora, brzina kretanja, GPS koordinate, trenutna i ukupna potrošnja goriva i vrijeme. Na temelju dobivenih podataka te njihove obrade donesen je sud o energetska pogodnosti šumskih kamionskih skupova, primjenjivosti komercijalnog FMS-a, odnosno o njegovim dobrim stranama te o nedostacima istog prilikom istraživanja daljinskog prijevoza drva kamionima.</p>

Osim određivanja tehničke i energetske pogodnosti šumskih kamionskih skupova, istražena je mogućnost procjene stanja šumskih cesta pomoću vibracija. Za provedbu istraživanja razvijena je posebna aplikacija za Android operativni sustav, te su vibracije mjerene na način da se tablet postavljao u kabinu kamiona. Rezultati provedenog istraživanja poslužiti će za razvoj nove metode, koja bi trebala omogućiti brzu i jeftinu procjenu stanja šumskih cesta, na temelju koje će se donositi odluke o potrebnim radovima održavanja šumskih prometnica.

KEY WORDS DOCUMENTATION

TI (Title)	Usage of new measuring systems for determining energy and technical suitability of timber truck transport
OT (Original title)	Uporaba novih mjernih sustava za određivanje energijske i tehničke pogodnosti kamionskog prijevoza drva
AU (Author)	Marko Zorić
AD (Address of Author)	Ulica Ivana Brkanovića 14, 10360 SESVETE, email: mzoric@sumfak.hr
SO (Source)	Library of forestry, Forestry faculty of Zagreb University Svetosimunska 25, 10000 Zagreb
PY (Publication year)	2015
LA (Text language)	Croatian
DE (Descriptors)	forest truck unit, axle load, machine remote monitoring, fuel consumption, vibration, forest roads
GE (Geo. Headings)	Croatia
PT (Publication Type)	Dissertation thesis
VO (Volume)	I – XV + 154 p. + 45 tables + 108 figures + 214 references
AB (Abstract)	<p>Timber haulage is last phase in wood harvesting. Because of its characteristics, cycle operation, a lot of unloaded driving, high purchase price of truck units, transport of small amounts of cheap goods, high oil prices, high fuel consumption, timber haulage is most expensive phase of wood harvesting. Except of high prices, timber haulage has a lot of negative impact on environment due to its high greenhouse gas emission. Because of law restrictions prescribed in state ordinance forestry experts are forced to find technical and organizational solutions which they can improve productivity and energy and decrease environmental viability of forest truck units. This paper will put accent on technical solutions, whose application will achieve above stated.</p> <p>Aim of this thesis is to determine technical and energetic viability of forest truck units. Results of conducted analysis will be used for optimization of timber truck haulage.</p> <p>Research of technical characteristics is conducted with three different measuring systems for mass measuring. During research a new measuring system, which is integrated into trucks air suspension, is tested.</p> <p>Fleet Management System (FMS) is used for the purpose of collecting and remote sending measured data from two forest truck units. Measured data were: Rpm, traveling speed, GPS coordinates, instant and total fuel consumption and time. Based on the collected data and their processing it was brought judgment on energetical viability of forest truck units, applicability of commercial FMS what means its good sides and the disadvantages of the same.</p>

Beside determining technical and energy viability of forest truck units, possibility of assessing forest road condition using vibrations was explored. For this purpose a special application was developed for Android OS, so that vibrations were measured by putting the tablet into the truck cabin. Results of this research will be used for development of new method, which should provide fast and cheap assessment of forest roads condition, based on whom decisions will be made of necessary forest road maintenance.

KAZALO SADRŽAJA

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA	I
KEY WORDS DOCUMENTATION	III
KAZALO SADRŽAJA	V
KAZALO TABLICA	VII
KAZALO SLIKA	IX
KAZALO KRATICA	XII
PREDGOVOR	XIII
PODACI O MENTORU	XIV
1. UVOD	1
1.1. PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA	4
1.1.1 Prometna infrastruktura	10
1.1.1.1 Javna prometna infrastruktura	11
1.1.1.2 Šumska prometna infrastruktura	16
1.1.2 Tehničke značajke kamionskih skupova	17
1.1.3 Energijaska učinkovitost kamionskog prijevoza drva	27
1.1.4 Daljinsko praćenje rada strojeva	35
1.1.5 Metode procjene stanja (šumske) ceste	40
1.1.5.1 Subjektivne metode procjene stanja kolničke konstrukcije	44
1.1.5.2 Objektivne metode procjene stanja kolničke konstrukcije	45
2. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	49
2.1. Ciljevi istraživanja	49
2.2. Hipoteze istraživanja	49
3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA	50
3.1. Objekt istraživanja	50
3.2. Morfološka analiza	53
3.3. Mjerenje mase	55
3.3.1. Prijenosni mjerni sustav	56
3.3.2. Kamionski sustav za mjerenje mase	58
3.3.3. Kolna vaga	62
3.4. Daljinsko praćenje rada šumskih kamionskih skupova	63
3.4.1. Sustav daljinskog praćenja	64
3.4.1.1 Mobilis TRACKER 0021	66
3.4.1.2. Sonda za mjerenje razine goriva	67

3.4.1.3 CAN modul	68
3.5. Procjena stanja kolničke konstrukcije šumskih cesta	69
3.6. Statistička obrada podataka	71
4. REZULTATI I RASPRAVA	72
4.1. Morfološka analiza	72
4.2. Mjerni sustavi	85
4.3. Tehničke značajke istraživanih šumskih kamionskih skupova	93
4.4. Energijska učinkovitost kamionskog prijevoza drva	106
4.5. Procjena stanja šumskih cesta pomoću vibracija	115
5. ZAKLJUČCI	126
LITERATURA	129
ŽIVOTOPIS	147
AUTOROV POPIS OBJAVLJENIH RADOVA	148
PRILOZI	152

KAZALO TABLICA

	str.
Tablica 1. Vrste dizalica u hrvatskom šumarstvu 1992. godine (Izvor: Krpan 1992b)	6
Tablica 2. Prikaz izraza za izračun dodirne površine i tlaka između kotača i tla.....	25
Tablica 3. Prikaz zakonom dopuštenih dimenzija ŠKS u nekim zemljama EU i Republici Hrvatskoj (Izvor: Sveriges Åkeriföretag, 2006 prema Kjell i Westerlund 2009)	26
Tablica 4. Zaključci Åkerman i Jonsson-a o korištenju EMS sustava	27
Tablica 5. Promatrani parametri za sve kamionske skupove HŠ u 2012. godini.....	32
Tablica 6. Prijedlog daljnjeg razvoja po Lindhqvist i Bengtsson (2010).....	34
Tablica 7. Intenzitet uzimanja uzoraka za procjenu očekivanja oštećenosti planuma šumskih cesta na razini operativnog, taktičkog i strategijskog planiranja za pojedino reljefno područje (izvor: Papa 2014).	45
Tablica 8. Tehničke karakteristike istraživanih ŠKS	50
Tablica 9. Tehničke karakteristike hidraulične dizalice EP M110Z	52
Tablica 10. Tehničke karakteristike prikolice za prijevoz drva PSM 200	52
Tablica 11. Karakteristike mjerne platforme DINI ARGEO WWSC	56
Tablica 12. Karakteristike mjerne doze SBX-1KL	57
Tablica 13. Mjerne konstante DINI ARGEO WWSC vaga u prijenosnom sustavu.....	58
Tablica 14. Karakteristike mjerne doze RC 3	62
Tablica 15. Opće karakteristike modula Mobilisiti TRACKER 0021 (Izvor: Anon 2015b)...	66
Tablica 16. Značajke sonde LLS-20160	68
Tablica 17. Tehničke značajke akcelerometra MMA8452Q (Izvor: Anon 2015b)	70
Tablica 18. Deskriptivna statistika istraživanih značajki hidrauličnih dizalica	72
Tablica 19. Statistička analiza parametara korištenih u matematičkim modelima za izjednačavanje ovisnosti okretnog momenta o bruto podiznom momentu	73
Tablica 20. Statistička analiza parametara korištenih u matematičkim modelima za izjednačavanje ovisnosti mase o bruto podiznom momentu	75
Tablica 21. Statistička analiza parametara korištenih u matematičkim modelima za izjednačavanje ovisnosti dosega dizalice (L) o bruto podiznom momentu dizalice	76
Tablica 22. Statistička analiza parametara korištenih u matematičkim modelima za izjednačavanje ovisnosti radnog tlaka o bruto podiznom momentu dizalice.....	77
Tablica 23. Statistička analiza parametara korištenih u matematičkim modelima za izjednačavanje ovisnosti količine protoka o bruto podiznom momentu dizalice.....	78
Tablica 24. Statistička analiza parametara korištenih u matematičkim modelima za izjednačavanje ovisnosti dosega o masi dizalice.....	79
Tablica 25. Statistička analiza parametara korištenih u matematičkim modelima za izjednačavanje ovisnosti radnog tlaka o masi dizalice	80
Tablica 26. Rezultati provedene klaster analize na osnovu mase dizalice.....	81
Tablica 27. Rezultati provedene klaster analize na osnovu bruto podiznog momenta	81
Tablica 28. Analiza varijance za 2 i 3 osovinu mjerenu sustavima 1 i 2	86
Tablica 29. Analiza varijance za prikolicu mjerenu sustavima 1, 2 i 3.....	87
Tablica 30. Analiza varijance mase 1. osovine mjerene sustavima 1 i 3	89
Tablica 31. Analiza varijance mase kamiona mjerene sustavima 1 i 3	89
Tablica 32. Analiza varijance ŠKS mjerene sustavima 1 i 3	89
Tablica 33. Razlike mase osovinskog opterećenja mjerena sustavima 1 i 2.....	90
Tablica 34. Razlika ukupne mase kamionskih skupova mjerena sustavima 2 i 3.....	91

Tablica 35. Razlika ukupne mase kamionskih skupova mjerena sustavima 1 i 3.....	92
Tablica 36. Opisna statistika mjerenih tovara	94
Tablica 37. Mase neopterećenih šumskih kamionskih skupova	95
Tablica 38. Maksimalni postotak mase koja se prebacuje na 1 osovinu kamiona	99
Tablica 39. Vrijednosti dodirnog tlaka između kotača i ceste	105
Tablica 40. Opisna statistika dnevne potrošnje goriva.....	107
Tablica 41. Opisna statistika dnevne potrošnje goriva ovisno o broju kočenja	110
Tablica 42. Opisna statistika vrijednosti WAS-a tijekom 24 dana mjerenja	115
Tablica 43. Analiza varijance vrijednosti WAS-a ovisno o frekvenciji snimanja	119
Tablica 44. Analiza varijance vrijednosti WAS-a ovisno o vrsti automobila, brzini kretanja i tlaku u gumama	121
Tablica 45. Analiza varijance vrijednosti WAS-a ovisno o vrsti kolničke konstrukcije i brzini kretanja	122

KAZALO SLIKA

	str.
Slika 1. Šumska željeznica (Izvor: Tonković 2001)	3
Slika 2. Podjela transporta drva.....	4
Slika 3. Čimbenici transporta drva	5
Slika 4. Mack šumski kamion iz 1926 (Izvor: www.pinterest.com).....	5
Slika 5. Različite izvedbe šumskih kamionskih sustava	8
Slika 6. Šumskim kamionskim skupom sa tegljačkom dvoosovinskom prikolicom, bez hidraulične dizalice	9
Slika 7. Broj kamiona u državnim/javnim šumarskim poduzećima u 20-godišnjem razdoblju (Izvor: Malnar 2000)	10
Slika 8. Udio vlastitoga i vanjskoga daljinskoga prijevoza drva u razdoblju od 1986. do 2004. godine (Izvor: Tomašić i dr. 2005).....	10
Slika 9. Transport drva i transportna infrastruktura (Izvor: Bumber 2011).....	11
Slika 10. Razredba šumske prometne infrastrukture (Izvor: Papa 2014).....	11
Slika 11. Kategorije javnih cesta (Izvor: Bumber 2011).....	15
Slika 12. Najveće dopuštene mase ŠKS u Hrvatskoj	22
Slika 13. Najveće dopuštene dimenzije ŠKS-a	22
Slika 14. Vozila europskog modularnog sustava – EMS-a, s mogućim varijacijama; A) Kamion, teretna kolica i poluprikolica; B) Tegljač, poluprikolica i prikolica; C) Tegljač, spojna poluprikolica i poluprikolica (Izvor: Zorić 2012).....	26
Slika 15. A) standardni ŠKS u Americi 1981; B) ŠKS s troosovinskom prikolicom; C) „kamionski vlak“ s dvije poluprikolice (Izvor: Smith 1981)	29
Slika 16. Kamionski skup <i>One stack more</i> (Izvor: Lindhqvist i Bengtsson 2010)	33
Slika 17. Osovinska opterećenja kamionskog skupa „ <i>One stack more</i> “	33
Slika 18. Prikaz ostvarenih ruta (desno: tradicionalno planiranje; lijevo: optimizirane rute) (Izvor: Smaltschinski i Opferkuch 2011)	38
Slika 19. Upotreba Thyssen poligona za optimiziranje daljinskoga prijevoza drva (Izvor: Smaltschinski i Opferkuch 2011).....	38
Slika 20. Oštećenje ŠC nastalo kao posljedica preopterećenja osovina ŠKS (Izvor Keller and Sherar 2003)	41
Slika 21. <i>Dipstick profiler</i> (Izvor: www.dipstick.com).....	46
Slika 22. Automobil opremljen Mays uređajem za mjerenje hrapavosti ceste (Izvor: Sayers i Karamihas 1998)	46
Slika 23. Vrijednosti IRI-a za neke vrste kolničkog zastora (Izvor: Krishna Rao 2012).....	47
Slika 24. Laserski sustav za snimanje stanja ceste (Izvor: Svenson 2011)	48
Slika 25. IVECO Trakker 500.....	50
Slika 26. MAN TGS 33.440.....	50
Slika 27. Dimenzije hidraulične dizalice Epsilon Palfinger M110Z.....	51
Slika 28. Graf podiznog bruto podiznog momenta hidraulične dizalice Epsilon Palfinger M110Z.....	51
Slika 29. Prikolica za prijevoz drva PSM 200	52
Slika 30. Zračni ovjes ŠKS	56
Slika 31. Osnovna jedinica EBS-a	56
Slika 32. Mjerna doza SBX-1KL (2500 kg)	56
Slika 33. Prijenosni mjerni sustav	57

Slika 34. Umjeravanje prijenosnog mjernog sustava	57
Slika 35. Umjeravanje vage 1	58
Slika 36. Umjeravanje vage 2	58
Slika 37. Umjeravanje vage 3	58
Slika 38. Umjeravanje vage 4	58
Slika 39. Prikaz izmjerenih osovinskih opterećenja u kabini kamiona.....	59
Slika 40. Usporedba zaustavnog puta EBS-a i klasičnog pneumatskog kočionog sustava.....	60
Slika 41: Upravljački modul prikolice, TrCM	61
Slika 42: Ventil zračnog ovjesa.....	61
Slika 43. Dijagnostički ekran	62
Slika 44. RC 3 mjerna doza.....	63
Slika 45. Kolna vaga za obavljanje kontrolnih mjerenja	63
Slika 46. Osnovne komponente sustava za daljinsko praćenje vozila (FMS-a).....	64
Slika 47. Mobilisis TRACKER 0021	65
Slika 48. Osnovne komponente mobilne jedinice	65
Slika 49. Prikaz izvještaja o radu vozila	65
Slika 50. Korisničko sučelje FMS-a.....	66
Slika 51. Sonda LLS-20160	68
Slika 52. Dijagram umjeravanja sonde za mjerenje razine goriva	68
Slika 53. CAN modul korišten u istraživanju	69
Slika 54. Mjerenje vibracija	70
Slika 55. Römer – Orphalova raspodjela.	71
Slika 56. Ovisnost okretnog momenta o bruto podiznom momentu.....	73
Slika 57. Šumski tegljački kamionski skup.....	74
Slika 58. Ovisnost mase o bruto podiznom momentu.....	75
Slika 59. Ovisnost dosega o bruto podiznom momentu dizalice	76
Slika 60. Ovisnost radnog tlaka o bruto podiznom momentu dizalice.....	77
Slika 61. Ovisnost količine protoka o bruto podiznom momentu dizalice	78
Slika 62. Ovisnost dosega o masi dizalice	79
Slika 63. Ovisnost radnog tlaka o masi dizalice.....	80
Slika 64. Položaj dizalice Epsilon Palfinger M110Z pri analizi ovisnosti okretnog momenta o bruto podiznom momentu	81
Slika 65. Položaj dizalice Epsilon Palfinger M110Z pri analizi ovisnosti mase o bruto podiznom momentu.....	82
Slika 66. Položaj dizalice Epsilon Palfinger M110Z pri analizi ovisnosti dosega o bruto podiznom momentu.....	82
Slika 67. Položaj dizalice Epsilon Palfinger M110Z pri analizi ovisnosti radnog tlaka o bruto podiznom momentu.....	83
Slika 68. Položaj dizalice Epsilon Palfinger M110Z pri analizi ovisnosti količine protoka o bruto podiznom momentu	83
Slika 69. Položaj dizalice Epsilon Palfinger M110Z pri analizi ovisnosti dosega o masi dizalice	84
Slika 70. Položaj dizalice Epsilon Palfinger M110Z pri analizi ovisnosti radnog tlaka o masi dizalice	84
Slika 71. Analiza varijance sustava 1 i 2, za 2. i 3. osovinu	86
Slika 72. Analiza varijance svih sustava prilikom mjerenja mase prikolice	87
Slika 73. Analiza varijance mase na 1 osovini kamiona prilikom mjerenja sustavima 1 i 3 ..	88

Slika 74. Analiza varijance mase kamiona prilikom mjerenja sustavima 1 i 3.....	88
Slika 75. Analiza varijance mase kamionskog skupa prilikom mjerenja sustavima 1 i 3.....	89
Slika 76. Razlika mase osovinskog opterećenja mjerena sustavima 1 i 2.....	90
Slika 77. Razlika ukupne mase kamionskih skupova mjerena sustavima 2 i 3	91
Slika 78. Razlika ukupne mase kamionskih skupova mjerena sustavima 1 i 3	92
Slika 79. Dimenzije istraživanih šumskih kamionskih skupova	93
Slika 80. Prosjek masa neopterećenih kamionskih skupova	94
Slika 81. Prosječna osovinska opterećenja i prosječna ukupna masa opterećenih kamionskih skupova.....	95
Slika 82. Opremanje kotača kamiona i prikolice aluminijskim naplaticima.....	96
Slika 83. Opremanje kamiona aluminijskim spremnikom za gorivo	96
Slika 84. Dimenzije šumskog tegljačkog skupa bez ugrađene hidraulične dizalice	97
Slika 85. Masa šumskog tegljačkog skupa bez ugrađene hidraulične dizalice	97
Slika 86. Prosječna raspodjela osovinskih opterećenja neopterećenih kamionskih skupova	100
Slika 87. Prosječna raspodjela mase tovara s obzirom na vrstu kamionskog skupa	100
Slika 88. Transportni položaj dizalice.....	101
Slika 89. "Ispruženi" položaj dizalice	101
Slika 90. Raspodjela mase tovara po osovinama s obzirom na vrstu tovara.....	102
Slika 91. Raspodjela opterećenja po osovinama s obzirom na tip kamiona i vrstu tovara	103
Slika 92. Vrijednosti dodirnih tlakova istraživanih ŠKS	105
Slika 93. Dnevna potrošnja goriva	107
Slika 94. Ovisnost dnevne potrošnje goriva o brzini kretanja.....	109
Slika 95. Ovisnost dnevne potrošnje goriva o broju okretaja motora	109
Slika 96. Ovisnost dnevne potrošnje goriva o broju pritisaka spojke	110
Slika 97. Ovisnost dnevne potrošnje goriva o broju kočnja	110
Slika 98. Ovisnost trenutne potrošnje goriva o broju okretaja	111
Slika 99. Utovar šumskog tegljačkog skupa na pomoćnom stovarištu uz javnu prometnicu	113
Slika 100. Analiza varijance mjerenja vibracija tokom 24 radna dana	116
Slika 101. Ovisnost vrijednosti WAS-a o brzini kretanja vozila	117
Slika 102. Ovisnost SD WAS-a o SD brzine kretanja vozila.....	117
Slika 103. Odnos WAS-a i brzine kretanja vozila na segmentu šumske ceste	118
Slika 104. Analiza varijance vrijednosti WAS-a ovisno o frekvenciji snimanja.....	119
Slika 105. Analiza varijance vrijednosti WAS-a ovisno o vrsti automobila, brzini kretanja, tlaku u gumama	120
Slika 106. Analiza varijance vrijednosti WAS-a ovisno o vrsti kolničkog zastora	122
Slika 107. Prikaz vrijednosti WAS-a na mjernom poligonu u Zalesini	124
Slika 108. Udar na rupa na poligonu za mjerenje vibracija	125

KAZALO KRATICA

EBS	<i>Electronic breake system</i> – Elektronski sustav kočnja
EMS	<i>European modular system</i> – Europski modularni sustav
ETT	<i>En Trave Till – One stack more</i> – Jedan složaj više
FMS	<i>Fleet management system</i> – Sustav daljinskog praćenja vozila
IRI	<i>International roughness indeks</i> – Međunarodni indeks hrapavosti
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i> – Radio frekvencijska identifikacija
RTRRM	<i>Response type road roughness meters</i> – Uređaj za određivanje stanja kolničke konstrukcije
ŠKS	Šumski kamionski skup
ŠC	Šumska cesta
TrCM	<i>Trailer Control Module</i> – Upravljački modul prikolice
WAS	<i>Weighted Acceleration Sum</i> – Suma vrednovanih ubrzanja u sva tri smjera

PREDGOVOR

Istraživanja za energijske pogodnosti, tehničkih značajki šumskih kamionskih skupova te razvoj nove metode za procjenu stanja kolničke konstrukcije šumskih cesta za izradu ove disertacije obavljeno je u razdoblju od srpnja do studenog 2014 godine.

Izradu disertacije vodio je mentor izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar koje me se ovim putem još jednom zahvaljujem na ukazanom povjerenju te na svim savjetima prilikom izrade ovoga rada. Zahvaljujem se i prof. dr. sc. Dubravku Horvatu na pomoći tijekom izrade disertacije, a posebno bih se zahvalio njemu i mentoru na ukazanom povjerenju i pozivu na rad na Šumarskom fakultetu u Zagrebu.

Ovim putem bih se zahvalio svim kolegicama i kolegama sa Šumarskog fakulteta u Zagrebu na pomoći i savjetima prilikom izrade disertacije, a posebno kolegi dr. sc. Zdravku Panduru, koji je tijekom izrade disertacije na sebe preuzeo veliku većinu ostalih poslova.

Zahvaljujem se kolegama iz Uprave šuma podružnice Senj na čijem području je obavljeno istraživanje, a posebno se želim zahvaliti gospodinu Marinu Vukeliću dipl. ing. na svim savjetima i ustupljenim podacima koji su mi pomogli pri izradi disertacije. Nadalje zahvalio bih se vozačima šumskih kamionskih skupova Nikoli Prpiću, Ivanu Sučiću, Miletu Lopcu i Miji Gidi koji su sudjelovali u istraživanju na uspješnoj suradnji i strpljenju.

Za provedbu terenskih istraživanja zahvaljujem se gospodi Branu Likeru i Branku Samardžiji koji su mi ustupili svoje kolne vaga na kojima su vršena kontrolna mjerenja.

Najveći dio terenskih mjerenja ne bi bio odrađen bez svesrdne pomoći dvojice kolega i odličnih prijatelja Vedrana Kašića mag. ing. silv. i Zvonimira Sučića mag. ing. silv. kojima se ovim putem neizmjerljivo zahvaljujem na pomoći.

Na kraju zahvaljujem se svojoj obitelji na podršci, a posebno svojoj ženi Ani i majci Biserki.

Ovaj rad posvećujem svojoj obitelji, a posebno svome ocu Franji.

PODACI O MENTORU

OSOBNI PODACI

Izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar

Poslovna adresa: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za šumarske
tehnike i tehnologije, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb
Tel: 01 235 2552; Fax: 01 235 2517; e-mail: susnjar@sumfak.hr

Osobna adresa: Svetog Mateja 114, 10000 Zagreb

Datum i mjesto rođenja: 16. svibanj 1972. Slavonski Brod

Osnovna škola: Slavonski Brod; Srednja škola: Matematička gimnazija Slavonski Brod

Hrvatsko državljanstvo i nacionalnost

Strani jezici: engleski

OBRAZOVANJE I STEČENA STRUČNA SPREMA

9. prosinac 1996. diplomirani inženjer šumarstva, Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu

28. veljače 2002. magistar znanosti iz područja šumarstva, Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu

21. prosinac 2005. doktorat biotehničkih znanosti, područje šumarstvo, Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu

RADNO ISKUSTVO I IZBORI U ZNANSTVENA I ZNANSTVENO-NASTAVNA ZVANJA

ZVANJE	INSTITUCIJA	DATUM IZBORA
Znanstveni novak- asistent	Šumarski fakultet u Zagrebu	1. travanj 1997.
Docent – Znanstveni suradnik	Šumarski fakultet u Zagrebu	20. prosinac 2006.
Viši znanstveni suradnik	Šumarski fakultet u Zagrebu	27. svibanj 2009.
Znanstveni savjetnik	Šumarski fakultet u Zagrebu	18. siječanj 2011.
Izvanredni profesor	Šumarski fakultet u Zagrebu	14. prosinac 2011.

TRENTUTNA NASTAVNA DJELATNOST

Preddiplomski studij: 2 predmeta; Diplomski studij 5 predmeta; Poslijediplomski doktorski studij: 3 predmeta.

ZNANSTVENA DJELATNOST

Objave: 87 znanstvenih radova (časopisi, zbornici – A1: 14 radova; A2: 22 rada; A3: 28 radova; ostalo 23 rada).

Sudjelovao na 36 međunarodna i 7 domaćih znanstvenih skupova.

Od 1996. do 2013. godine vodio je 5 znanstvenih projekata u sklopu 5-to godišnjih znanstveno/istraživačkih programa ugovorenih s firmom "Hrvatske šume" d.o.o. Zagreb.

Sudjelovao kao istraživač na 4 projekta financirana od Ministarstva znanosti obrazovanja i sporta (MZOS) RH: "Promicanje proizvodnje u hrvatskom šumarstvu" (1996—2002), "0068112-Ecology, ergonomics and energy suitable forest techniques and technologies" (2002-2005), "0682111-Ecological, energy and ergonomic evaluation of

forest technologies and machines"(2006-2013), "068-0000000-3520 Interaction of ground parameters and wheel of forest vehicles" (2006-2013). Sudjelovao kao istraživač na 2 tehnologijska projekta MZOŠ RH: "Razvoj, izrada i ispitivanje prototipa skidera mase 7 t" (2002) iz programa TEST te "Razvoj, izrada i ispitivanje specijalnog šumskog vozila - skidera mase 7 t" (2005) iz programa RAZUM. Voditelj 3 znanstvena ugovorna projekta s poduzećem "Hrvatske šume" d.o.o. Zagreb: „Okolišno prihvatljive šumske tehnike“ (2006-2010), „Utjecaj tehničkih značajki šumskih strojeva i vozila na eksploatacijske, ergonomске i okolišne zahtjeve izvođenjka mehaniziranih šumskih radova“ (2011-2013), „Unapređenje ekonomičnosti i energetske učinkovitosti kamionskog prijevoza drva“ (2013-2014). Istraživač u COST Action FP 0902 Development and harmonisation of new operational research and assessment procedures for sustainable forest biomass supply (2009 – 2013). Suradnik na projektu IPA2007/HR/16IPO/001-040515 "Building Innovation support through efficient cooperation network BISTEC".

OSTALO

Prodekan za međunarodnu suradnju Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (1. listopada 2010. - 1. listopada 2014). Član Odbora za međunarodnu suradnju Sveučilišta u Zagrebu.

Voditelj diplomskog studija „Tehnike, tehnologije i menadžment u šumarstvu“ (2008 -). ECTS koordinator Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (2008 -)

Rješenjem Ministarstva poljoprivrede imenovan je u Radnu skupinu šumarskog sektora za izradu Programa ruralnog razvoja republike Hrvatske za razdoblje 2014.-2020.

Tehnički urednik časopisa „Croatian Journal of Forest Engineering“ (2008-2013).
Tehnički urednik časopisa „Nova mehanizacija šumarstva“ (2007-2013).

Član je Hrvatske komore inženjera šumarstva i drvne tehnologije, Tehničkog odbora 23 "Traktori i strojevi za poljoprivredu i šumarstvo" Državnog zavoda za norme, znanstvene udruge IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations)Hrvatskog šumarskog društva, Hrvatskog ekološkog društva, Društva sveučilišnih nastavnika i ostalih znanstvenika.

Aktivno se služi engleskim jezikom.

1. UVOD

Šuma je obnovljiv, ali ograničen resurs, koji je definiran kao šumsko tlo suvislo obraslo šumskim drvećem, grmljem i prizemnim raslinjem, gdje se trajno proizvodi drvena tvar i općekorisna dobra izražena u ekološkim (zaštitnim), društvenim (socijalnim) i socijalno - ekofiziološkim funkcijama šume, u kojoj vladaju ravnoteža i uzajamni odnosi između životne zajednice ili biocenoze (biljke, životinje, mikroorganizmi) i staništa (tlo, klima, reljef) (Matić 1996). Upravo iz navedene definicije proizlazi kompleksnost svih odnosa koji vladaju u šumi, ali isto tako i sve blagodati koje šuma proizvodi.

Čovjeka i šumu veže ne raskidiva veza, od pojave prvih ljudi pa sve do današnjih dana. U počecima razvoja čovječanstva šuma je čovjeku služila kao sklonište, izvor hrane, dalje kao izvor građevnog materijala, jer upravo je drvo, kako navodi Ugrenović (1957), bilo ona čudesna tvar, koja je čovjeku pružala toplinu (ogrjev), materijal za izradu oružja, oruđa, nastambi, prvih prijevoznih sredstava (splav, čamac).

Odnos čovjeka prema šumi mijenjao se kroz povijest razvojem civilizacije, tako Kauders i Frančišković (1983) dijele odnos čovjeka prema šumi na tri razdoblja. U prvom se razdoblju šume sijeku bez ikakvog plana o racionalnom iskorištavanju, te se sječa obavlja prvenstveno radi dobivanja pašnjačkih i poljoprivrednih površina. U drugom se razdoblju, povećanjem brojnosti stanovništva te njihovih potreba za drvnom sirovinom, uviđa ograničenost šumskih resursa, stoga to razdoblje karakterizira izrada određenih planova za pridobivanje drva. U trećem se razdoblju vodi briga o obnovi posječenih šuma i osnivanju novih. Tijekom drugog razdoblja, uviđanjem ograničenosti šumskih resursa, javlja se potreba za razvojem šumarstva prvo kao stručne, a kasnije i kao znanstvene discipline, te potreba za održivim gospodarenjem šuma. Hans Carl von Carlowitz (1713) prema Groberu (1999) je prvi definirao termin održivog (potrajnog) gospodarenja u svom djelu *Sylvicultura Oeconomica*, u kojem je opisao ideje o održivom korištenju šumskih resursa. Osmislio je načelo po kojem bi trebalo sjeći samo onu količinu drva koja bi se kasnije mogla ponovno uzgojiti provođenjem planova pošumljavanja. U istom periodu, kako u svijetu, tako i u Hrvatskoj nastaju prvi propisi vezani uz gospodarenje šuma. Najstariji propis koje se odnosio na šumarstvo je »Tripartitum opus iuris consuetudinarii inclyti regni Hungarie« mađarskog pravnika Verböczya iz 1514. godine, dok je najvažniji povijesni propis Šumski red Marije Terezije iz 1769. godine čime počinje doba organiziranog šumarstva na ovim područjima (Piškorić i Vukelić 1992).

Razvojem šumarstva kao struke razvijaju se i posebne šumarske metode sa sastavnicama, koje Horvat (1993) dijeli na:

- ⇒ biološku (stvaranje i oblikovanje postupaka i radnji djelovanja u određenim uvjetima okoliša, staništa i sastojine);
- ⇒ tehničku (izvršenje radova);
- ⇒ organizacijsku (planiranje radova u prostoru i vremenu).

Isti autor navodi kako je za prve dvije sastavnice posebno važno da nastaju i razvijaju se zajedno, jer stvaranje postupaka za koje ne postoje sredstva rada, ili primjena sredstava rada koja ne odgovaraju biološkim uvjetima, može dovesti do znatnih oštećenja šume i cijeloga ekosustava.

Paralelno s razvojem šumarstva, izumom i razvojem parnog stroja krajem 18. i početkom 19. stoljeća započinje industrijska (tehnička) revolucija, čiji izumi ubrzo nalaze primjenu u radovima pridobivanja drva te istiskuju ljudski i životinjski rad; prvo u fazi transporta, a kasnije i u fazi sječe i izrade.

Razvoj i uvođenje novih transportnih sredstava u šumarstvo ogleda se prvenstveno izgradnjom šumskih željeznica, tako Brown (1949) navodi da je, u Americi prva šumska pruga s drvenim tračnicama postavljena je 1852. godine. Krpan (1992a) navodi da se krajem 19. i početkom 20. stoljeća u hrvatsko šumarstvo uvodi mehanički transport, u kojem glavnu ulogu imaju šumske željeznice (slika 1), ali i parna cestovna lokomotiva (na Alanu 1870. godine). Isti autor, navodi da su do kraja drugog svjetskog rata u Hrvatskoj dominantno sredstvo za transport drva bile šumske željeznice, s čijom se izgradnjom prestaje 1950. godine. Tada je u Hrvatskoj bilo ukupno 40 glavnih šumskih pruga, ukupne duljine 604,7 km, sa 187 km odvojaka i 60 km staničnih kolosijeka (Tonković 2001).

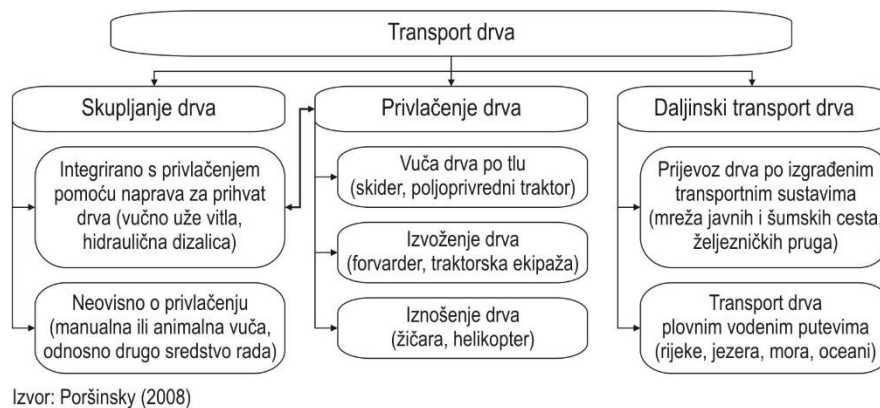


Slika 1. Šumska željeznica (Izvor: Tonković 2001)

Završetkom rata dolazi do intenzivnije izgradnje mreže šumskih prometnica koje zamjenjuju šumske željeznice, tako Butković (1963, 1965) navodi da je još krajem 1955. godine udjel šumskih željeznica u ukupnoj mreži šumskih prometnica iznosio 31 %, odnosno da je na području SR Hrvatske bilo izgrađeno ukupno 3560 km tvrdih cesta i 1867 km šumskih željeznica. U razdoblju od 1945. do 1964. godine je izgrađeno 2840 km cesta, te uklonjeno 1598 km šumskih željeznica, tako da je krajem 1964. godine ostalo još svega 259 km šumskih pruga. Zadnja šumska pruga je demontirana u šumariji Lipovljani 1980. godine (Krpan 1991). Izgradnjom šumskih cesta i prestankom korištenja šumskih željeznica, u šumarstvo se polako počinju uvoditi kamioni kao osnovno sredstvo daljinskog transporta drva.

1.1. PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA

Transport je definiran kao premještanje dobara (usluga ili robe), ljudi i energije s jednog mjesta na drugo, uz organizirano savladavanje prostorne i vremenske udaljenosti. U šumarstvu transport je definiran kao premještanje drva od mjesta sječe i izrade (panja) do krajnjeg korisnika (Benić 1987). Tijekom povijesti definicija transporta u šumarstvu bila je predmet istraživanja mnogih znanstvenika i stručnjaka (Brown 1949, Ugrenović 1959, Hafner 1964, Conway 1976, Lovrić 1976, Bojanin i Nikolić 1988) pa tako Krpan (1991) dijeli transport drva na sakupljanje, privlačenje i daljinski transport (slika 2).



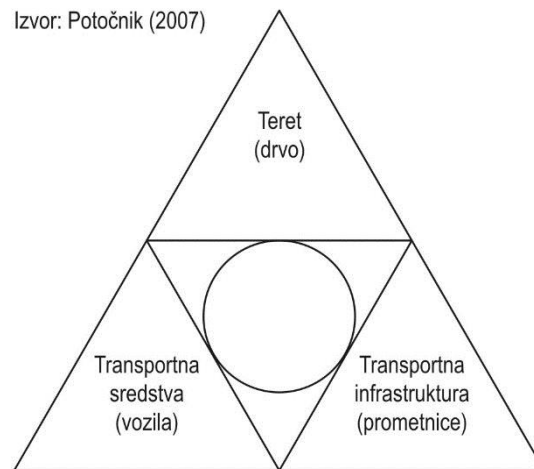
Slika 2. Podjela transporta drva

Greulich (2002), koji je analizirao transport drva kroz povijest, zaključuje da se, neovisno o autorima, transport dijeli na dvije međuovisne podfaze:

- ⇒ primarni transport drva – privlačenje drva po šumskom bespuću, odnosno sekundarnim (traktorski putovi i vlake) ili tercijarnim (žične linije) šumskim prometnicama,
- ⇒ sekundarni transport drva – daljinski transport drva po izgrađenim transportnim sustavima (prijevoz drva po javnim i šumskim cestama ili željezničkim prugama), odnosno vodenim putovima.

Osnovni, međusobno ovisni čimbenici transporta drva su: teret (drvo), transportna sredstva (najčešće vozila) te mreža transportne infrastrukture (Potočnik 2007)(slika 3). Daljinski ili sekundarni transport drva je pomicanje dijelova ili cijelih stabala od pomoćnog stovarišta do glavnog stovarišta (kupca). Vondra (1991) daljinski transport još naziva i „transport u užem smislu riječi“. Krpan (1992) navodi da se termin daljinski prijevoz drva u Hrvatskoj odnosi na kopnene transportne sustave. Poršinsky (2008) i Bumber (2011) pak navode da se osim kopnenih transportnih sustava u hrvatskom šumarstvu, manje količine drva (10 000 – 15 000m³

godišnje) mekih listača iz poplavnih šuma (kultura) vodenim putovima dopremaju tvornici celuloze u Belišću.



Slika 3. Čimbenici transporta drva

Brown (1949) navodi da se u Americi kamioni eksperimentalno počinju primjenjivati 1909., a sustavno se primjenjuju od 1913. Wackerman (1949) smatra da se kamioni u Americi sustavno upotrebljavaju tek od 1935. godine. Kamioni za daljinski transport drva se u hrvatskom šumarstvu počinju upotrebljavati, kako je ranije navedeno, nakon drugog svjetskog rata, te kroz godine postaju osnovno sredstvo daljinskog transporta.



Slika 4. Mack šumski kamion iz 1926 (Izvor: www.pinterest.com)

U početku primjene kamiona za daljinski prijevoz drva, za utovar i istovar drva koristi se animalni ili ljudski rad, daljnjim razvojem tehnologije počinju se primjenjivati mehaničke, a kasnije i hidrauličke dizalice. Prvu hidrauličnu dizalicu postavljenu na kamion razvio je Eric

Sundin 1947. godine (Anon 2015a). U početku su hidraulične dizalice postavljane ne zasebna vozila te su se još nazivale i samohodne dizalice. Sedamdesetih godina 20. stoljeća hidrauličke dizalice se počinju ugrađivati na kamionske skupove što povećava njihovu autonomnost i učinkovitost. Bojanin i Sever (1977) provode prvu morfološku analizu hidrauličnih dizalica. Morović (1986) donosi preporuke za izbor najprikladnije hidraulične dizalice, gdje govori da se prilikom odabira dizalica posebna pažnja treba posvetiti intenzitetu rada i veličini prosječnog opterećenja dizalice. Krpan (1992b) daje prikaz vrsta dizalica koje se koriste u hrvatskom šumarstvu (tablica 1). Ugradnja hidrauličnih dizalica na kamionske skupove te otvaranje šuma gradnjom primarnih šumskih prometnica razlozi su zašto je kamionski prijevoz drva postao najznačajniji oblik daljinskog transporta u Hrvatskoj (Horvat i Šušnjar 2002).

Tablica 1. Vrste dizalica u hrvatskom šumarstvu 1992. godine (Izvor: Krpan 1992b)

Proizvođač	Tip	Komada
Dizalice ugrađene na kamion		
Hiab-Metal	550/2	1
	560	1
	670	97
	700	3
	900	29
	970	13
LIV-	Javornik 900	4
	Javornik 9002	25
	Javornik 6-1100	2
	Javornik 6-1303	2
	Javornik 6-2303	3
	Javornik 9-2100	2
	Javornik 9-2200	59
Tehnomehanika	7 Š	20
	10 Š	19
Jonsered	902	2
	700	16
	700/1	4
FOCO	6000	1
	9000	3
Atlas	3006	2
Sveukupno		308
Samohodne dizalice		
Hiab-Metal	670	4
Hiab-Metal	970	1
Atlas	4002	3
Atlas	5002	1
Radoje Dakić	RD 180	1
Fuchs	301 i 400 K	4
Solmec	-	2
Tabarelli	-	1
Volvo	846 BM	1
Sveukupno		18

Paralelno s razvojem i uporabom dizalica, dolazi do razvoja različitih inačica kamiona, prikolica i kamionskih skupova za daljninski prijevoz drva. Bubanić (1976) navodi da su se dotada u šumarstvu koristile visoko serijske inačice kamiona, te da se 1976. prvi puta počinju razvijati kamionske inačice specijalizirane za rad u šumarstvu. Isti autor, predlaže podjelu kamiona s obzirom na uvjete rada te ih dijeli na kamione za nizinske i brdske uvjete. 1979. godine radna skupina šumarskih stručnjaka donosi *Kriterije izvedbe kamionskih šasija za potrebe šumarstva*. Navedeni kriteriji se odnose na izbor kamionske šasije, šumarske nadogradnje, hidraulične dizalice i izbor prikolice, a podijeljeni su na:

- ⇒ Morfološke zahtjeve;
- ⇒ Konstrukcijske zahtjeve;
- ⇒ Dodatnu opremu;
- ⇒ Ergonomske zahtjeve.

Malek (1980) opisuje iskustva iz prakse prilikom korištenja tegljača s poluprikolicom, koja je na stražnjem kraju opremljena s hidrauličkom dizalicom, te navodi da je za optimalno korištenje ovakvog skupa potrebno imati složenu robu na pomoćnom stovarištu, okretnice na šumskim cestama te ceste bez oštih krivina i s manjim usponima. Iste godine, Zakšek i Rajić istražuju tegljač FAP-18 s poluprikolicom i hidrauličnom dizalicom ugrađenom iza kabine tegljača, te ga uspoređuju s traktorskom ekipažom, gdje zaključuju da jedan ovakav kamionski skup mijenja tri traktorske ekipaže, a optimalno iskorištenje kamionskog skupa je na udaljenosti prijevoza drva do 60 km.

Iz svega navedenog vidljivo je da su šumarski stručnjaci stekli dosta znanja o tehničkim izvedbama šumskih kamionskih skupova. Stečenim znanjima te zbog različitih načina i uvjeta gospodarenja dolazi i do razvoja različitih tipova šumskih kamionskih skupova, te prikolica, zbog čega dolazi do različitog nazivlja za šumske kamionske skupove. Prema Krpanu (1992b) se u praksi i u stručnim člancima za tegljač pojavljuju nazivi kamionska ekipaža (Zakšek i Rajić 1980) i kompozicija (Malek 1980), transportna jedinica (Ljubić 1984, 1986), isti izraz koristi Krpan (1988). Bojanin i Bojanin i dr. (1985, 1986, 1987, 1988, 1989) služe se izrazom kamion kada žele oslikati rad kamiona s dizalicom, ali bez prikolice (poluprikolice) te kamion s prikolicom. Kulušić (1988) upotrebljava izraz transportna sredstva, ali i transportna kompozicija. Sever i Horvat (1989) koriste izraz kamionska kompozicija, a Knežević (1990) transportni skup. Zbog različitog nazivlja za ista transportna sredstva u ovome će se radu imenovati kamionski sustavi kako ih je definirao Sever (1992)(slika 5):

A – Šumski kamioni bez dizalice – kamion bez dizalice

1 – Šumski kamion bez dizalice

B- Šumski kamioni s dizalicom – kamion s dizalicom ili samo kamion

2 –Šumski kamion s dizalicom montiranom straga

3 – Šumski kamion s dizalicom montiranom sprijeda

C - Šumski kamionski skup s prikolicom

4 - Šumski kamionski skup s prikolicom – kamion s prikolicom

D - Šumski kamionski skup s poluprikolicom

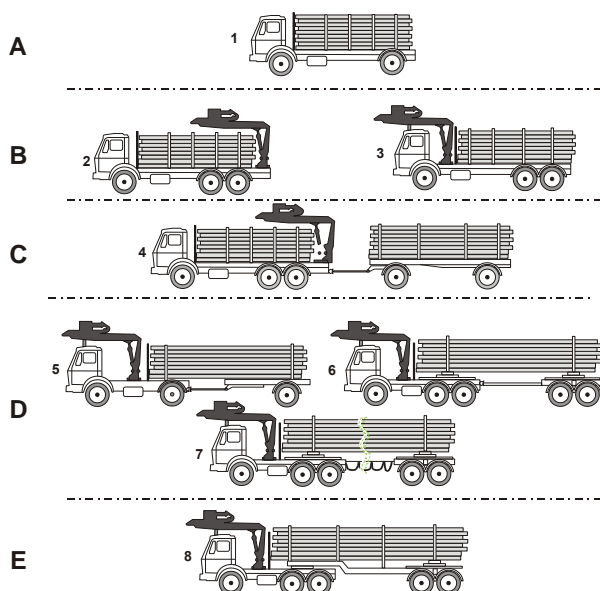
5 - Šumski kamionski skup s jednoosovinskom poluprikolicom

6 - Šumski kamionski skup s dvoosovinskom poluprikolicom – kamion s poluprikolicom

7 - Šumski kamionski skup s dvoosovinskom poluprikolicom bez ruda

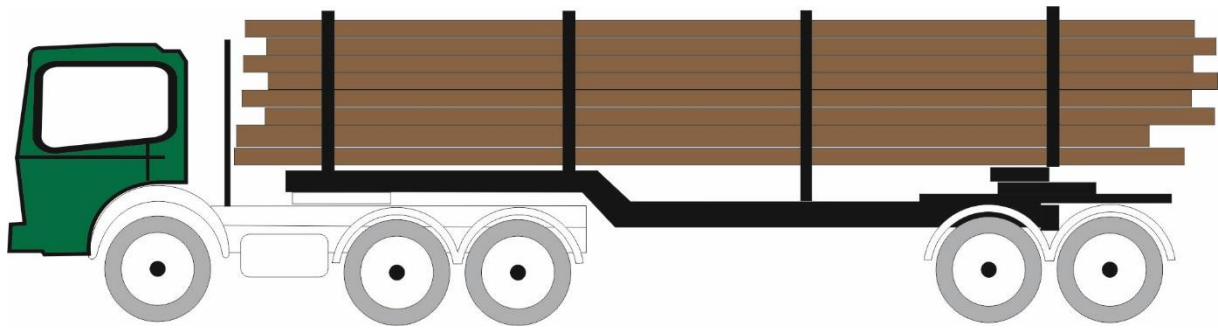
E - Šumski tegljački kamionski skup

8 - Šumski kamionski skup sa dizalicom i tegljačkom dvoosovinskom poluprikolicom



Slika 5. Različite izvedbe šumskih kamionskih sustava

Navedenu podjelu potrebno je dodatno proširiti sa šumskim kamionskim skupom s tegljačkom dvoosovinskom prikolicom bez hidraulične dizalice (slika 6), koji se u zadnjih nekoliko godina počinje intenzivnije koristiti u prijevozu drva kamionima.



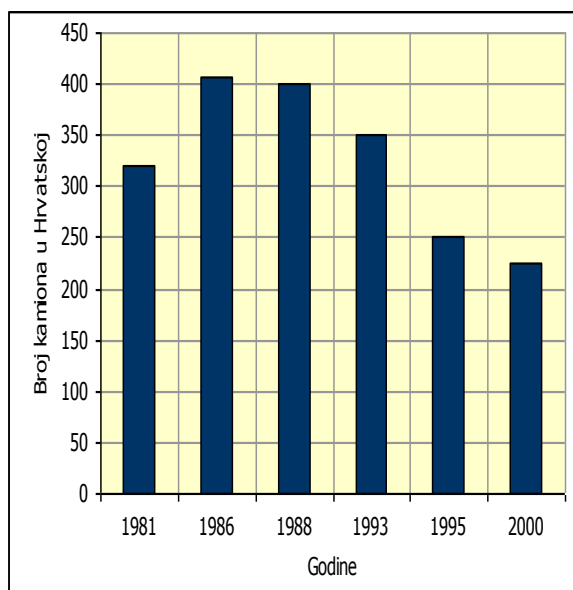
Slika 6. Šumskim kamionskim skupom sa tegljačkom dvoosovinskom prikolicom, bez hidraulične dizalice

Razliku u vrstama šumskih nadogradnji najčešće uzrokuje morfologija tereta, a izbor nadogradnje uvjetuje i primjenjeni kamionski skup. Temeljna razlika u vrstama nadogradnji, vezana za određene značajke hrvatskog šumarstva je ta, da su neke primjerene kraćim duljinama tereta - do 6m, dok se drugima mogu prevoziti i tereti duljine do 12 m (Malnar 2000, Zorić 2010).

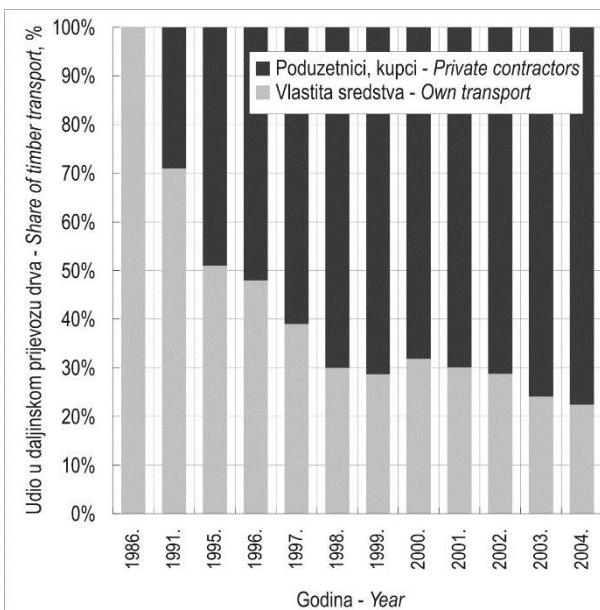
Analizu brojnog stanja šumskih kamionskih skupova (ŠKS) donosi Malnar (2000) (slika 7). Autor naglašava kako nakon 1988. godine dolazi do smanjenja broja ŠKS zbog povećanja njihove nosivosti, ali i zbog otvaranja tržišta usluge prijevoza drva. Tako Tomašić i drugi (2005) daju povijesni pregled udjela u daljinskom transportu drva ŠKS (slika 8), te navode da je državna tvrtka „Hrvatske šume“ d.o.o Zagreb 2004. godine imalo udjel u prijevozu drva ŠKS od 22%. Isti autor 2012. godine navodi da je udjel javnog poduzeća smanjen na 16,1%. Otvaranjem tržišta prijevoza drva, nestaje podatak o stvarnom broj ŠKS u Hrvatskoj. Za usporedbu, Beuk i dr. (2007) navode da u ukupnom prijevozu drva kamionskim skupovima u Hrvatskoj, „Hrvatske šume“ d.o.o. Zagreb, 2007. godine su sudjelovale s 21 %, dok preostalih 79 % prijevoza drva obavljaju privatni poduzetnici. Zorić i dr. (2014) navode da javno poduzeće „Hrvatske šume“ d.o.o Zagreb u 2012. godini raspolaže sa 101 ŠKS-a. Danas se, na temelju podataka o prevezenim količinama drva, procjenjuje da se u Hrvatskoj koristi oko 350 ŠKS-a.

Zbog svojih značajki, cikličkog rada, veliki udio vožnje neopterećenog vozila, visoke nabavne cijene vozila, prevezene male količine jeftine robe, visoka cijena goriva, velika potrošnja goriva, daljinski transport drva kamionima karakteriziraju iznimno visoki troškovi. Osim visoke cijene daljinskog transporta drva kamionima značajno je i njegovo veliko onečišćenje okoliša emisijom stakleničkih plinova te niska energetska učinkovitost. Da bi se povećala učinkovitost kamionskog prijevoza drva, potrebno je provoditi svrsishodne tehničke, tehnološke i organizacijske mjere, kao što su odabir kamiona i organizacija pomoćnog stovarišta. Osim navedenog, postoji i niz ograničavajućih čimbenika koji se nalaze izvan utjecaja šumarske struke, kao što su, zakonski propisi o dozvoljenim dimenzijama i nosivosti

kamionskih skupova, ograničenja brzine vožnje, stanje i opterećenost prometnica i sl. (Malnar 2000)



Slika 7. Broj kamiona u državnim/javnim šumarskim poduzećima u 20-godišnjem razdoblju (Izvor: Malnar 2000)

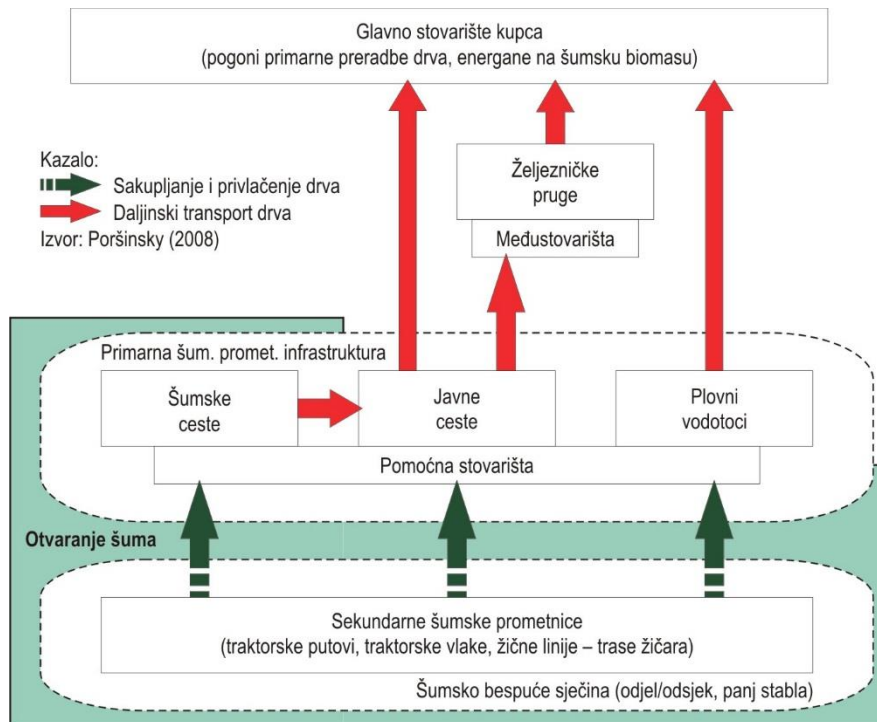


Slika 8. Udio vlastitoga i vanjskoga daljinskoga prijevoza drva u razdoblju od 1986. do 2004. godine (Izvor: Tomašić i dr. 2005)

1.1.1 Prometna infrastruktura

Preduvjet za racionalno i održivo gospodarenja šumama je pravilno isplanirana i izgrađena mreža šumskih puteva (Brinker i Tufts 1995). Jeličić (1983), Jeličić (1988), Šikić i dr. (1989), Potočnik (1996), Pentek (2002), Potočnik (2007), Enache (2009), Stampfer (2010), Lepoglavec (2014) istražuju važnost i funkcije šumske prometne infrastrukture te svi navode da je glavna uloga šumskih prometnica racionalan izvoz drva i drugih šumskih proizvoda iz šume. U početku bavljenja problematikom šumskih prometnica njihova glavna uloga bila je olakšavanje pristupa šumi zbog sve većih potreba stanovništva za drvnom sirovinom. U današnje vrijeme uočava sve veća raznolikost uloga šumske prometne infrastrukture, čiji detaljan pregled opisuje Papa (2014)

Prometna infrastruktura za transport drva sastoji se od primarne prometne infrastrukture za daljinski transport drva i sekundarne prometne infrastrukture za izvoženje (privlačenje drva). Primarnu infrastrukturu Bumber (2011) prema Poršinskom (2008) dijeli na mrežu šumskih i javnih cesta koje se koriste pri radovima pridobivanja drva, ali i plovnih vodotoka (slika 9).



Slika 9. Transport drva i transportna infrastruktura (Izvor: Bumber 2011)

Papa (2014) prema Penteku (2012) i Pentek i dr. (2014) primarnu prometnu infrastrukturu još naziva i šumska prometna infrastruktura, koja obuhvaća javne ceste koje se koriste pri radovima pridobivanja drva te primarne šumske prometnice (slika 10).



Slika 10. Razredba šumske prometne infrastrukture (Izvor: Papa 2014)

1.1.1.1 Javna prometna infrastruktura

Kako je rečeno prijevoz drva kamionima se odvija, osim po šumskim cestama i po javnim cestama. Malnar (2000) navodi da tijekom radnog dana, ŠKS na šumskim cestama, ovisno o vrsti tereta koji se prevozi, provode 11,61% odnosno 18,64% radnog vremena. Holzleitner

(2009) i Holzleitner i dr. (2011) navodi da ŠKS na šumskim cestama provode 14,2% radnog vremena. Iz navedenog je vidljivo da većinu svog radnog vremena ŠKS provode na javnim cestama čime podliježu nizu zakona koji reguliraju cestovni promet.

Definicija i status javnih cesta su se razvojem društva mijenjali. U početku se javna cesta tretirala kao carska, državna, zatim kao javno dobro, a danas se smatra općim dobrom u javnoj upotrebi (Busija 2007, prema Papa 2014).

Republika Hrvatska u 2015. godini raspolaže s osnovnom mrežom javnih cesta ukupne duljine 26.958,5 km (www.mppi.hr), od čega na autoceste i poluautoceste otpada 1.416,5 km, državne ceste 6.858,9 km, županijske ceste 9.703,4 km, te lokalne ceste 8.979,7 km.

Zakon o cestama (NN 84/11, 18/13, 22/13, 54/13, 148/13 i 92/14) definira javne ceste kao javno dobro u općoj upotrebi u vlasništvu Republike Hrvatske, te ovisno o njihovom društvenom, prometnom i gospodarskom značenju, razlikuje sljedeće četiri kategorije (slika 11):

- ⇒ autoceste – javne ceste s tehničkim karakteristikama autoceste određenim propisima kojima se uređuje sigurnost prometa na cestama koje imaju funkciju povezivanja Republike Hrvatske u europski prometni sustav, ostvarivanje kontinuiteta E-ceste (međunarodnim i međudržavnim sporazumima određena kao europska cesta), prometnog povezivanja regija Republike Hrvatske, omogućavanje tranzitnog prometa,
- ⇒ državne ceste – javne ceste koje imaju funkciju povezivanja Republike Hrvatske u europski prometni sustav, ostvarivanje kontinuiteta E-ceste prometnog povezivanja regija Republike Hrvatske, prometno povezivanje sjedišta županija međusobno, povezivanje sjedišta županija s većim regionalnim sjedištima susjednih država (gradovi veći od 100 000 stanovnika), omogućavanje tranzitnog prometa, koje čine cestovnu okosnicu velikih otoka i kojima se ostvaruje kontinuitet državnih cesta kroz gradove,
- ⇒ županijske ceste – javne ceste koje povezuju sjedišta županija s gradovima i općinskim sjedištima, povezuju sjedišta gradova i općina međusobno, preko kojih se ostvaruje veza grada ili gradskih dijelova s državnim cestama,
- ⇒ lokalne ceste – javne ceste koje povezuju sjedište grada, odnosno općine s naseljima s više od 50 stanovnika unutar grada ili općine, ceste u urbanom području koje povezuju gradske četvrti sa županijskim cestama, ceste koje povezuju susjedne gradske četvrti međusobno.

Skupine mjerila na temelju kojih se javne ceste razvrstavaju u navedene četiri kategorije, definirane su Uredbom o mjerilima za razvrstavanje javnih cesta (NN 34/12):

- ⇒ osnovna mjerila koja uključuju društveno, prometno i gospodarsko značenje cestovnog pravca,
- ⇒ dopunska mjerila koja se odnose na značenje cestovnog pravca koji je u funkciji povezivanja značajnih prometnih, povijesno-kulturnih, prirodnih, turističkih, zdravstvenih i sportsko-rekreacijskih lokaliteta,
- ⇒ korektivna mjerila koja uključuju posebne okolnosti i uvjete u odnosu na posebne prostorne vrijednosti i prometno opterećenje, značenje javne ceste za kvalitetno prometno povezivanje naselja, gradskih i prigradskih prostora, otoka i kopna i brdsko-planinskih područja, osiguranje kontinuiteta trase javne ceste kroz grad, odnosno naselje.

Temeljem navedene uredbe, popis svih kategoriziranih javnih cesta dan je u Odluci o razvrstavanju javnih cesta u autoceste (NN 77/07, 13/09, 104/09) te Odluci o razvrstavanju javnih cesta u državne ceste, županijske ceste i lokalne ceste (NN 122/08, 13/09, 104/09, 123/09, 17/10). Sve javne ceste u Republici Hrvatskoj projektiraju se i grade u skladu s Pravilnikom o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa (NN 110/01).

Zakon o sigurnosti prometa na cestama (NN 67/08, 48/10, 74/11, 80/13, 158/13, 92/14), propisuje dvije posebno bitne odrednice, sa stajališta prijevoza drva kamionima:

- ⇒ Sve javne ceste moraju imati najmanje dvije prometne trake i dvije rubne trake koje se grade neprekinuto uzduž javne ceste u istoj širini, ovisno o vrsti ceste, odnosno širini prometne trake, uz izdignuti rubnjak na cestovnim objektima (mostovima, vijaduktima, tunelima, ...). Iznimno, lokalna cesta može imati samo jednu prometnu traku, s tim da, ovisno o preglednosti ceste, na udaljenosti od najviše 500 m, ima odgovarajuća proširenja za mimoilaženje vozila,
- ⇒ Autoceste, državne i županijske ceste, moraju biti u stanju u kojem podnose osovinsko opterećenje od najmanje 11.500 kg, dok lokalne i nerazvrstane ceste, moraju biti u stanju u kojem podnose osovinsko opterećenje od najmanje 6.000 kg.

Osim navedenih kategorija javnih cesta, prema Zakonu o cestama (NN 84/11, 18/13, 22/13, 54/13, 148/13 i 92/14) i Zakonu o sigurnosti prometa na cestama (NN 67/08, 48/10, 74/11, 80/13, 158/13, 92/14), postoji i kategorija nerazvrstanih cesta, koja je određena kao površina koja se koristi za promet vozilima po bilo kojoj osnovi i koja je dostupna većem broju raznih korisnika te koje svatko može slobodno koristiti na način i pod uvjetima određenim navedenim

zakonima (seoski, poljski i šumski putovi, putovi na nasipima za obranu od poplava, pristupne ceste i prostori parkirališta, benzinskih crpki i sl.).

Zakon o sigurnosti prometa na cestama (NN 67/08, 48/10, 74/11, 80/13, 158/13, 92/14) još propisuje ograničenja vezana za:

- ⇒ Brzine kretanja. Zakon o sigurnosti prometa na cestama, propisuje ograničenja brzine kretanja vozila po različitim kategorijama javnih cesta, što je posebno regulirano prometnim znakovima u naseljenim mjestima.
- ⇒ Ograničenje mjesta utovara drva. Zakon o cestama i Zakon o sigurnosti prometa na cestama propisuju uvjete pri kojima je dopušteno korištenje zaštitnoga pojasa uz državne, županijske i lokalne ceste radi formiranja pomoćnoga stovarišta (uz suglasnost koncesionara koji upravlja njima) te utovar drva u kamione uz obaveznu izradu i provođenje „Projekta privremene regulacije prometa“.
- ⇒ Ograničenja dnevnog radnog vremena vozača. Zakon o sigurnosti prometa na cestama, propisuje vremensko ograničenje dnevnog upravljanja vozilima (najviše 9 sati na dan, s dodatnim ograničenjima zbog prekida).

Uz navedene zakone i uredbe, najbitniji zakonski akt je Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama (NN 51/10, NN 84/10, 145/11, 140/13, 85/14) čija će se problematika opisati u posebnom poglavlju.

Autocesta A11
Zagreb – Sisak



Državna cesta D31
Velika Gorica – Gornji Viduševac



Županijska cesta ŽC 1046
Nadvožnjak Hrašće – Lukinić Brdo



Lokalna cesta LC 31156
Gradići – Petrovina Turopoljska



Nerazvrstane ceste
– najčešći problemi vezani za prijevoz drva –



Slika 11. Kategorije javnih cesta (Izvor: Bumber 2011)

1.1.1.2 Šumska prometna infrastruktura

Zakon o šumama (NN 140/05, 82/06, 129/08, 80/10, 124/10, 25/12, 68/12, 148/13, 94/14) pod šumskom prometnom infrastrukturom smatra šumske prometnice (šumske ceste, vlake i stalne žičare) i druge objekte u šumama namijenjene prvenstveno gospodarenju i zaštiti šuma.

Pičman i dr. (1996) navode podjelu šumskih cesta s obzirom na učestalost uporabe i potrebu za održavanjem:

- ⇒ primarne šumske ceste, koje se u uporabi nalaze tijekom cijele godine i zahtijevaju redovno održavanje,
- ⇒ sekundarne šumske ceste, koje se rabe povremeno, prema potrebi, pa im je i održavanje periodično.

Prema Tehničkim uvjetima za gospodarske ceste (Šikić i dr. 1989), mrežu šumskih gospodarskih cesta je moguće razvrstati:

- ⇒ prema značenju,
 - **spojne šumske ceste** tijekom cijele godine povezuju gospodarske šumske ceste s javnim cestama i s njima čine cjelokupnu prometnu mrežu gospodarskih cesta šireg šumskog područja. Širina se planuma spojnih cesta kreće od 6,0 – 7,0 m, a kolnik širine 4,5 – 5,0 m se sastoji od dviju prometnih traka i služi za odvijanje prometa u oba smjera. Prisutnost različitog broja, vrsta i tipova teških motornih vozila na ovakvim cestama zahtijeva dimenzioniranje na maksimalno osovinsko opterećenje. U pogledu prostornog rasporeda, planiranje i projektiranje ovih cesta obično se izvodi prema kriterijima za javne ceste približno jednake kategorije, ali sa specifičnostima strojeva i vozila,
 - **glavne šumske ceste**, širina planuma glavnih šumskih cesta iznosi 6,5 – 7,5 m, a kolnika 5,0 – 5,5 m. Kolnik je izgrađen za dvosmjerni promet s dvije prometne trake. Glavne šumske ceste prolaze kroz šumsko područje i na taj način spajaju šumski kompleks s javnim prometnicama,
 - **sporedne šumske ceste** se odvajaju od glavne ceste ulaze u pojedine dijelove šumskog kompleksa ili otvaraju manji šumski kompleks. Širina kolnika ovih cesta iznosi za dvije vozne trake 4,5 – 5,0 m, a za jednu voznu traku 3,5 – 4,0 m,
 - **prilazne šumske ceste** mogu se odvajati od glavnih ili sporednih šumskih cesta prolazeći kroz šumski kompleks do pojedinih većih ili manjih radilišta. To su prometnice s jednom voznom trakom širine kolnika 3,5 – 4,0 m.

- ⇒ prema prometnom opterećenju (izraženom u brutto tonama dnevno),

- srednje teško (500 do 2500 bruto tona dnevno),
- lako (100 do 500 bruto tona dnevno),
- neznatno prometno opterećenje (< 100 bruto tona dnevno).

⇒ prema veličini i učestalosti transporta drvnog obujma,

- šumska cesta 1. reda,
- šumska cesta 2. reda,
- šumska cesta 3. reda,

⇒ prema konfiguraciji terena,

- ravničarske,
- prigorsko-brdske,
- planinske.

S obzirom na određivanje vrste kolničkih konstrukcija šumskih cesta, mjerodavno je i prometno opterećenje iskazano u bruto tonama po danu kako ih dijele Šikić i dr. (1989), te Pičman (2007). Osim navedenog Nevečerel i dr. (2007), ovisno o prometnom opterećenju u bruto tonama u godini, dijele šumske ceste na pet razreda:

⇒ I. razred (> 80 000 t)

⇒ II. razred (60 000 – 80 000 t)

⇒ III. Razred (40 000 – 60 000 t)

⇒ IV. Razred (20 000 – 40 000 t)

⇒ V. rezred (< 20 000 t)

Krpan (1992) navodi da 3/4 prometa po učestalosti pripada prometu izvan pridobivanja drva, dok se po opterećenju taj odnos mijenja jer prijevoz drva opterećuje šumske ceste sa 67 %. Isto potvrđuju podaci koje iznosi Robek (2015) tijekom praćenja prometa na šumskoj cesti, u periodu od godine dana zabilježio je 22.383 vozila, od koji su 28,7 % bili kamioni (vozila mase veće od 7 t), dok su preostalih 71,3 % bila osobna vozila.

Prema Hodiću i Jurušiću (2011) u Hrvatskoj je 2009. godine ukupna duljina šumskih cesta iznosila 18.735,57 km, od čega se u obračun otvorenosti šuma uzima 14.605,66 km.

1.1.2 Tehničke značajke kamionskih skupova

Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama (NN 51/10, NN 84/10, 145/11, 140/13, 85/14) koji propisuje dopuštene dimenzije, mase, osovinska opterećenja i snagu motora

vozila prilikom prometa na javnim cestama, dijeli vozila u prometu na cestama u slijedećih 6 kategorija:

- ⇒ Mopedi, motocikli, laki četverocikli i četverocikli (L);
- ⇒ Osobni automobili i autobusi (M);
- ⇒ Teretni automobili (N);
- ⇒ Priključna vozila (O);
- ⇒ Traktor (T);
- ⇒ Radni stroj (RS).

Kamioni koji se koriste za prijevoz drva nalaze se unutar skupine N3 – motorna vozila za prijevoz tereta najveće dopuštene mase >12000 kg. Također prikolice i poluprikolice koje se koriste za prijevoz drva nalaze se u skupini O4 – priključna vozila kojima je najveća dopuštena masa > 10000 kg.

Nadalje pravilnik propisuje maksimalne dopuštene dimenzije, najveće dopuštene mase vozila ili skupa vozila i najveća dopuštena opterećenja pojedinih osovina vozila.

Izvadak iz propisa

Najveće dopuštene duljine vozila iznose: za motorna vozila 12 m, za priključna vozila (s rudom) 12 m, za tegljače s poluprikolicom 16,5 m te za vučna vozila s prikolicom 18,75 m.

Najveća dopuštena širina vozila iznosi 2,55 m.

Najveća dopuštena visina vozila iznosi 4,0 m.

Motorna i priključna vozila, a i skupovi vozila moraju imati takve uređaje da pri vožnji u krugu, promjer vanjske opisane kružnice bude najviše 25 m, a promjer unutarnje kružnice najmanje 10,6 m.

Odnos bruto snage motora izražene u kilovatima i najveće dopuštene mase vozila izražene u tonama mora biti za teretne automobile – najmanje 7 kW/t, a za radna i specijalna vozila namijenjena obavljanju komunalnih usluga, teretne automobile namijenjene za obavljanje prijevoza u poljoprivredi, šumarstvu, građevinarstvu i rudarstvu te za skupove motornih i priključnih vozila - najmanje 4 kW/t.

Najveća dopuštena masa vozila na motorni pogon ili skupa vozila i osovinsko opterećenje vozila, odnosno skupa vozila u stanju mirovanja, na vodoravnoj podlozi, ne smiju prelaziti sljedeće iznose:

1. Najveće dopuštene mase vozila na motorni pogon ili skupa vozila

1.1. Vozila koja tvore dio skupa vozila:

⇒ *Dvoosovinska prikolica 18 t*

⇒ *Troosovinska prikolica 24 t*

1.2. Skup vozila:

⇒ *Skup vozila sa 5 ili 6 osovina:*

a) dvoosovinsko motorno vozilo s troosovinskom prikolicom 40 t

b) troosovinsko motorno vozilo sa dvo ili troosovinskom prikolicom 40 t

⇒ *Tegljač s poluprikolicom s ukupno 5 ili 6 osovina*

a) dvoosovinski tegljač s troosovinskom prikolicom 40 t

b) troosovinski tegljač sa dvo ili troosovinskom prikolicom 40 t

c) troosovinski tegljač sa dvo ili troosovinskom prikolicom kada prevozi 40-stopni ISO kontejner kao kombiniranu prijevoznju operaciju (jedinicu) 44 t

⇒ *Skup vozila s četiri osovine koji se sastoji od dvo-osovinskog motornog vozila i dvoosovinske prikolice 36 t*

⇒ *Tegljač s poluprikolicom s ukupno 4 osovine, pri čemu su i tegljač i poluprikolica dvoosovinski, a za slučaj da je razmak između osovina poluprikolice:*

a) od 1,3 m do 1,8 m 36 t

b) veći od 1,8 m 36 t (* +2 tone razlike kad je riječ o najvećoj dopuštenoj masi motornog vozila (18 t) i najvećoj dopuštenoj masi tandema osovine poluprikolice (20 t) i kad je pogonska osovina opremljena duplim gumama i zračnim ogibljenjem ili ogibljenjem koje se priznaje kao ekvivalentno unutar EU.*

1.3. Motorna vozila:

⇒ *Dvoosovinsko motorno vozilo 18 t*

⇒ *Troosovinsko motorno vozilo 25 t* (* odnosno 26 tona ako je pogonska osovina opremljena duplim gumama i zračnim ogibljenjem ili ogibljenjem koje se priznaje kao ekvivalentno unutar EU.)*

⇒ Četveroosovinsko motorno vozilo s dvije upravljane osovine 31 t ** (** odnosno 32 tone ako je pogonska osovina opremljena duplim gumama i zračnim ogibljenjem ili ogibljenjem koje se priznaje kao ekvivalentno unutar EU.)

2. Osovinsko opterećenje vozila odnosno skupa vozila u stanju mirovanja; na vodoravnoj podlozi ne smije prelaziti:

2.1 Jednostruka osovina (svaka osovina koja je od susjedne osovine udaljena 1,80 ili više ($d \geq 1,80$ m)),

a) jednostruka slobodna osovina 10 t

b) jednostruka pogonska osovina 11,50 t

2.2 Dvostruke osovine prikolica i poluprikolica (dvije osovine ako im je međusobni razmak manji od 1,80 m ($d < 1,80$ m))

Zbroj opterećenja osovine dvostruke osovine ne smije prijeći, ako je razmak (d) između osovine:

a) manji od 1,00m ($d < 1,00$ m) 11 t

b) od 1,00 m do manje od 1,30 m ($1,00$ m $\leq d \leq 1,30$ m) 16 t

c) od 1,30 m do manje od 1,80 m ($1,30$ m $d \leq 1,80$ m) 18 t

2.3 Trostruke osovine prikolica i poluprikolica (tri osovine ako je razmak susjednih osovine manji od 1,80 m ($d < 1,80$ m)) opterećenja trostruke osovine ne smije prijeći, ako je razmak (d) između susjednih osovine:

a) do 1,30 m ($d \leq 1,30$ m) 21 t

b) veći od 1,30 m do 1,40 m ($1,30$ m $< d \leq 1,40$ m) 24 t

c) veći od 1,40 m do 1,80 m ($1,40$ m $< d \leq 1,80$ m) 27 t

2.4 Višestruke osovine prikolica i poluprikolica (četiri i više osovine ako je razmak susjednih osovine manji od 1,80 m ($d < 1,80$ m)) Osovinsko opterećenje svake pojedine osovine kod višestrukih osovine ne smije prijeći, ako je razmak (d) između osovine:

a) manji od 1,00 m ($d < 1,00$ m) 6 t

b) od 1,00 m do 1,30 m ($1,00$ m $\leq d < 1,30$ m) 7 t

c) od 1,30 m do 1,40 m ($1,30\text{ m} \leq d < 1,40\text{ m}$) 8 t

d) od 1,40 m do 1,80 m ($1,40\text{ m} \leq d < 1,80\text{ m}$) 9 t

2.5 Dvostruke osovine motornih vozila

Zbroj opterećenja osovina po dvostrukoj osovini ne smije prijeći, ako je razmak (d) između osovina:

a) manji od 1,00 m ($d < 1,00\text{ m}$) 11,50 t

b) od 1,00 m do manje od 1,30 m ($1,00\text{ m} \leq d < 1,30\text{ m}$) 16 t

c) od 1,30 m do manje od 1,80 m ($1,30\text{ m} \leq d < 1,80\text{ m}$) 18 t

Pojašnjenja:

Pod međuosovinskim razmakom vozila na motorni pogon i prikolica, prema ovom Pravilniku, razumijeva se razmak između prednje i stražnje osovine. Ako je prednja ili stražnja osovina vozila izvedena kao jednostruka, dvostruka ili trostruka, pod međuosovinskim se razmakom razumijeva razmak između simetrala dvostrukih, odnosno trostrukih osovina i krajnje (prednje ili stražnje) osovine vozila. Za poluprikolice se umjesto međuosovinskog razmaka uzima razmak između vertikalne osi okretnog postolja i simetrale osovina, odnosno stražnje osovine poluprikolice.

U smislu ovog pravilnika definicije raznovrsnih pojmova osovina, ako sa "d" označimo njihov međusobni razmak su:

a) Pod "jednostrukom osovino" podrazumijeva se jedna ili više osovina kada je razmak krajnjih osovina manji od 1,0 m; ($d < 1,0\text{ m}$)

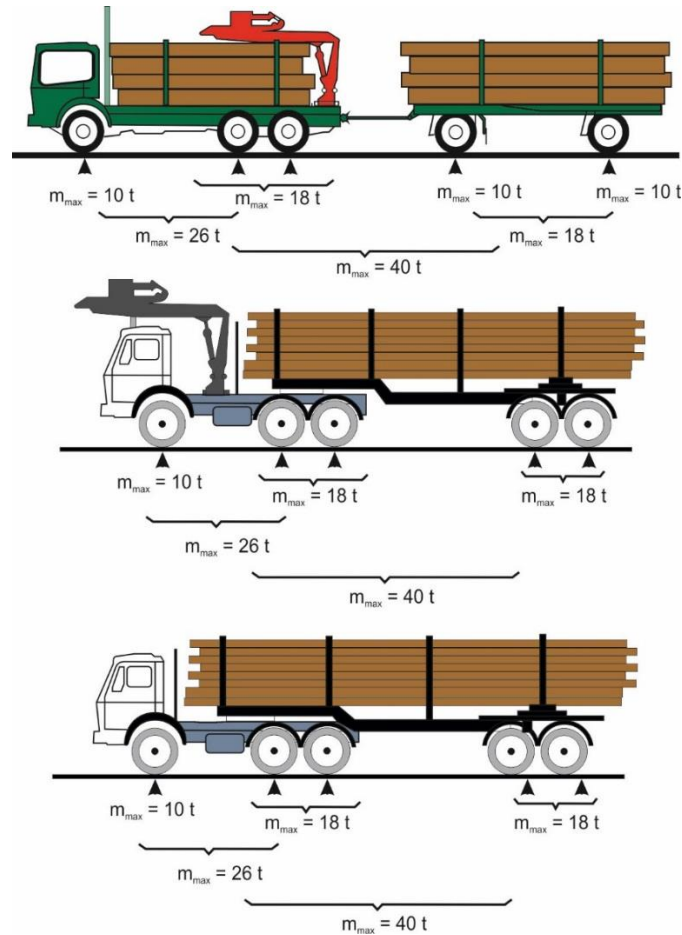
b) Pod "dvostrukom osovino" podrazumijevaju se dvije osovine ako im je razmak jednak ili veći od 1,0 m, a manji od 1,8 m; ($1,0\text{ m} \leq d < 1,8\text{ m}$)

c) Pod "trostrukom osovino" podrazumijevaju se tri osovine ako im je međusobni razmak jednak ili veći od 1,0 m a ne veći od 1,4; ($1,0\text{ m} \leq d < 1,4\text{ m}$)

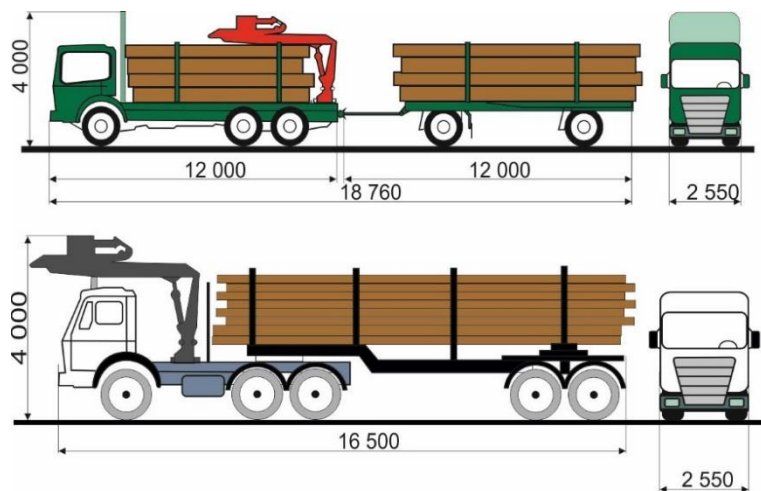
d) Pod "zasebno osovino" ("pojedinačno osovino") podrazumijeva se svaka osovina koja je od susjedne osovine udaljena 1,8 m ili više ($d \geq 1,8\text{ m}$)

Temeljem ove raščlambe može se zaključiti da kamion u ŠKS smije biti opterećen najviše s 26 t, a prikolica s 18 t, ali da ukupna masa sustava ne smije prelaziti 40 t. Ujedno pojedinačno

opterećenje samostalne osovine ne smije prelaziti 10 t, a dvostruke ukupno 18 t. Na slici 12 prikazane su najveće dopuštene mase, najčešće korištenih tipova ŠKS-a u Hrvatskoj. Ukupna duljina kamiona s prikolicom ili polu prikolicom ne smije biti veća od 18,75 m, dok ukupna duljina tegljača s poluprikolicom ne smije biti veća od 16,5 m (slika 13). Širina teretnih vozila ne smije biti veća od 2,55 m, a visina ne smije biti veća od 4,00 m.



Slika 12. Najveće dopuštene mase ŠKS u Hrvatskoj



Slika 13. Najveće dopuštene dimenzije ŠKS-a

Najveće dopuštene mase, prikazane na slici 12, pokazuju izvjesne nelogičnosti koje nastaju zbog ograničavanja ukupne mase i osovinskih pritisaka. Primjerice, prema dopuštenim osovinskim pritiscima kamion bi mogao imati ukupnu masu 28 tona, ali je ona ograničena na dopuštenih 26 t. Iz ovoga proizlazi i način kontrole masa koji se trebaju provesti tako da se mjere opterećenja svake pojedine osovine, a njihovu sumarnu vrijednost opet se treba usporediti s dopuštenom ukupnom masom kamiona. To isto vrijedi i za prikolicu. Cijeli se kamionski skup također mora procijeniti temeljem ukupne mase za skup, koja se dobije zbrajanjem pojedinačnih masa kamiona i prikolice te isto usporediti s dopuštenom masom od 40 t.

Tehničke značajke ŠKS bile su predmet istraživanja mnogih istraživača, ponajprije zbog zakonom propisanih ograničenja ukupnih masa ŠKS te osovinskih opterećenja. U *Kriterijima izvedbe kamionskih šasija za potrebe šumarstva* (1979) članovi radne skupine predlažu povećanje snage motora za 20% zbog uvjeta rada u šumarstvu. Isto tako predlažu korištenje jedanaest različitih izvedbi ŠKS s obzirom na područje rada, te navode njihove prednosti i nedostatke. Navedeni prijedlozi su se odnosili prvenstveno na kamione proizvedene na području Jugoslavije. U novije vrijeme problematikom tehničkih značajki ŠKS u hrvatskom šumarstvu bavio se Malnar (2000) koji istražuje dimenzijske i masene značajke šest različitih tipova ŠKS te zaključuje da nema značajnih razlika u dimenzijama s obzirom na tip ŠKS, na proizvođača te na vrstu nadogradnje. Isti autor naglašava da je razlog nedovoljnog iskorištenja ŠKS zakonski propis o dopuštenim masama i osovinskim opterećenjima ŠKS te navodi da je proračun graničnih tereta pokazao da su zakonskim propisima određene najveće dopuštene mase kamionskog skupa, najveće dopuštene mase kamiona i najveće dopuštene mase prikolice, najvažniji faktori koji ograničavaju veličinu tovara. Neposredno iza njih je dopuštena nosivost stražnje dvostruke osovine, a tek tada nosivost prednje osovine. Ispitujući tehničke značajke ŠKS Scania Horvat i Šušnjar (2002) donose slične zaključke kao i Malnar (2000). Tomašić i dr. (2005) istražujući stanje prijevoza drva ŠKS donose preporuke za smanjenje početne mase ŠKS; Ovo bi se smanjenje trebalo ostvariti:

- ⇒ povoljnijim konstrukcijskim rješenjima šumarske nadogradnje, uz uporabu boljih i lakših vrsta materijala,
- ⇒ ugradnjom lakše dizalice jednakih mogućnosti i poboljšanih tehničkih značajki (prisilno hlađenje hidrauličnoga ulja),
- ⇒ izborom kamionskoga skupa s lakšim i drugačije riješenim sklopovima (motor, mjenjač, kabina sl.),

- ⇒ uvođenjem kombinirane tehnologije prijevoza kamionskih skupova s dizalicom i bez dizalice (povećanje korisne nosivosti kod takvih kamionskih skupova za iznos mase dizalice te sustava hlađenja dizalice),
- ⇒ povećanjem korisne nosivosti kamionskoga skupa (prijetov veće količine drva) može se utjecati i povećanjem brzina u prijevozu, uz veći broj i kraće vrijeme trajanja ciklusa (tura) prijevoza.

Šušnjar i dr. (2011a) istražuju dimenzijske i masene značajke dva tipa ŠKS (prema slici 5, tipovi C4 i E8) te zaključuje da su dimenzije oba tipa ŠKS u skladu sa zakonskim propisima, te da su s tovarom od 22,61 m³ oba ŠKS bila u prekoračenju dopuštenih masa, pri tome je bitno napomenuti da opterećenje niti jedne osovine nije prekoračilo dopuštene vrijednosti. Nadalje autor zaključuje da je ŠKS tip E8 imao veću početnu masu nego ŠKS tip C4, iz razloga što je tip E8 duže vremena u upotrebi, odnosno za njegovu izradu korišteni su teži materijali. Takvi podaci nam ukazuju na mogući daljnji razvoj poluprikolice tegljača i cjelokupnog tegljačkog skupa. Upotrebom modernijih materijala za izgradnju poluprikolice, ugradnjom modernije, lakše dizalice istih mogućnosti smanjila bi se početna masa tegljačkog skupa što bi u konačnici značilo da bi se mogao prevesti veći korisni teret.

Šušnjar i dr. (2011b) istražuju dodirne tlakove između kotača kamiona i šumske ceste koristeći tri izraza za izračun dodirne površine (tablica 2), te zaključuju da je najveći dodirni tlak ispod kotača prednje osovine kamiona, neovisno o tipu ŠKS, čime prednja osovina kamiona uzrokuje najveća opterećenja na šumskoj cesti. Stoga preporučuju da se u zakonskim propisima, koji reguliraju dopuštena osovinska opterećenja, umjesto dopuštenih masa koristi dodirni tlak kao mjera opterećenja. Nadalje, autori napominju kako bi se korištenjem širih guma na prednjoj osovini kamiona smanjio njen negativan utjecaj na oštećenje šumske ceste, čime bi se dugoročno smanjili troškovi održavanja šumskih cesta.

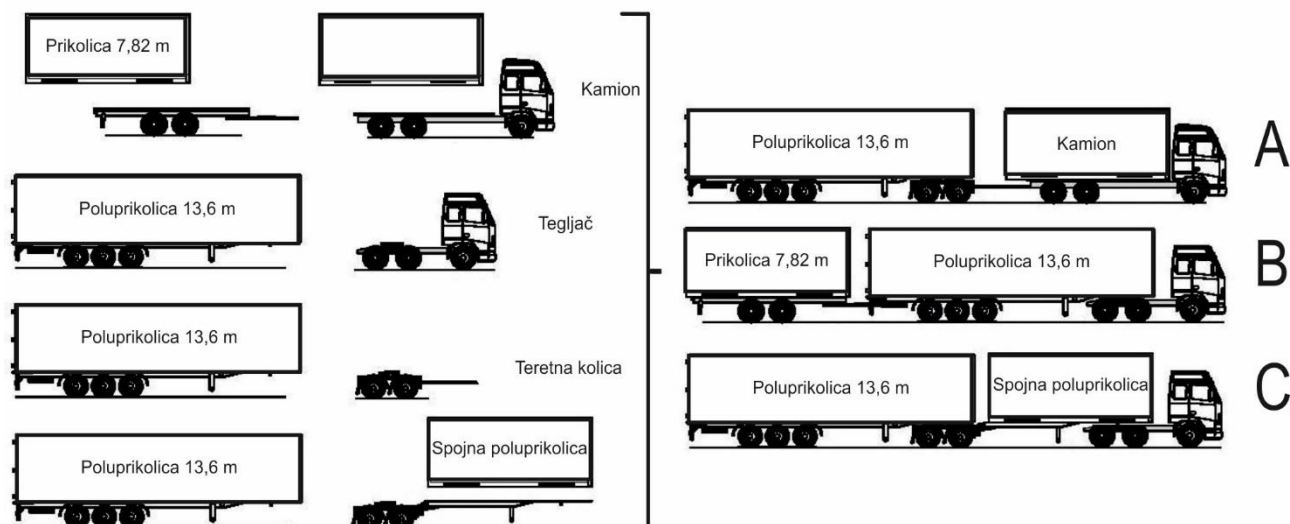
Tablica 2. Prikaz izraza za izračun dodirne površine i tlaka između kotača i tla

Autor	Dodirna površina	Nominalni dodirni tlak
Mellgren (1980)	$A = r \cdot b$	$NGP = \frac{G_k}{r \cdot b}$
		Dodirni tlak između kotača i tla
Komandi (1990)	$A = \frac{c \cdot G_k^{0,7} \cdot \sqrt{b}}{p_i^{0,45}}$	$p = \frac{G_k^{0,3} \cdot p_i}{c \cdot \sqrt{b}}$
Maclaurin (1997)	$A = b^{0,8} \cdot d^{0,8} \cdot \Delta^{0,4}$	$p = \frac{G}{b^{0,8} \cdot d^{0,8} \cdot \Delta^{0,4}}$
Legenda: p – dodirni tlak, kPa NGP – nominalni dodirni tlak, kPa G – težina vozila, kN G_k – opterećenje kotača, kN A – dodirna površina, m ² d – promjer neopterećenog kotača, m	r – polupjerm neopterećenog kotača, m Δ – progib kotača, m b – širina neopterećenog kotača, m p_i – tlak punjenja gume kotača, kPa c – koeficijent vrste tla: (3 - 3.2 za tvrdo tlo)	

Europska unija u svom zakonodavnom okviru striktno propisuje dopuštene dimenzije i mase pri kamionskom daljinskom transportu roba između zemalja članica (Directive 96/53/EC). Švedska i Finska su izuzete iz tih propisa zbog vremenskih uvjeta te zbog udaljenosti na koje se roba mora prevoziti. No, čak i prije uvođenja takvog zakonodavnog okvira, obvezujućeg za članice EU, Švedska i Finska u svojim zakonodavnim okvirima su propisale dopuštene dimenzije kamionskih skupova na 24 m dužine, te dopuštenu masu na ukupnih 60 tona, dok većina ostalih članica, i prije i poslije donošenja zajedničkog propisa, imaju dopuštene dimenzije od 18,75 m dužine i 40 tona ukupne mase. Godine 1997. usvojena je direktiva EU (Directive 97/27/EC) koja dozvoljava povećanje dimenzija u kamionskom prijevozu drva i to dužinu od 25,25 m, odnosno povećanje ukupne mase na 60 tona, ali isključivo ako se kamionski skup sastoji od vučnog i vučenog vozila koje propisuje i dopušta Europski modularni sustav (European modular system – EMS), prikazan na slici 14.

Iako se ovaj propis ne odnosi samo na Švedsku i Finsku, nego na sve članice EU, jedino Švedska i Finska prihvaćaju povećanje dimenzija i masa kamionskih skupova (Åkerman i Jonsson, 2007), a ostale članice EU imaju propisane dimenzije prikazane u tablici 3. U međunarodnom prijevozu, propisi EU, ne dopuštaju dimenzije veće od 18,75 m i 40 tona.

Prema Ericsonu i dr. (2010) upotreba dugačkih kamionskih kompozicija u svijetu nije nepoznanica. Tako autor navodi da, prema OECD (2010) i Mellin and Stähle (2010), kamionski skupovi kakvi se danas koriste u Švedskoj, koriste se također i u SAD-u, Meksiku, Kanadi, Brazilu i Australiji. Najveći kamionski skupovi koriste se u Australiji, dimenzija su 53,5 m duljine i smiju dosežati ukupnu masu od 125 tona (NTC 2009, Mellin and Stähle 2010).



Slika 14. Vozila europskog modularnog sustava – EMS-a, s mogućim varijacijama; A) Kamion, teretna kolica i poluprikolica; B) Tegljač, poluprikolica i prikolica; C) Tegljač, spojna poluprikolica i poluprikolica (Izvor: Zorić 2012)

Tablica 3. Prikaz zakonom dopuštenih dimenzija ŠKS u nekim zemljama EU i Republici Hrvatskoj (Izvor: Sveriges Åkeriföretag, 2006 prema Kjell i Westerlund 2009)

Država	Dužina (m) ¹	Širina (m) ²	Visina (m)	Masa (tone)
EU standard	16,50/18,75	2,55(2,60)	4,00	40/44 ³
Švedska	24/25,25 ⁴	2,60/2,55(2,60) ⁴	4,50 ⁵	60
Finska	22/25,25 ⁴	2,60/2,55(2,60) ⁴	4,20	60
Danska	16,50/18,75	2,55(2,60)	4,00	48
Nizozemska	16,50/18,75	2,55(2,60)	4,00	50
Italija	16,50/18,75	2,55(2,60)	4,00	44
Luksemburg	16,50/18,75	2,55(2,60)	4,00	44
Belgija	16,50/18,75	2,55(2,60)	4,00	44
Češka	16,50/18,75	2,55(2,60)	4,00	48
Francuska	16,50/18,75	2,55(2,60)	Nema ograničenja	40/44 ³
Irska	16,50/18,35	2,55(2,60)	4,25	40/44 ³
Velika Britanija	16,50/18,75	2,55(2,60)	Nema ograničenja	44
Norveška	17/18,50	2,55(2,60)	Nema ograničenja	50
Hrvatska ⁶	16,50/18,75	2,55(2,60)	4,00	40/44

¹ Kamion s poluprikolicom/Kamion s prikolicom

² Brojevi u zagradama predstavljaju dimenzije vozila s hladnjačom debljine stjenke 45 mm

³ ISO kontejner 44 tone,

⁴ Kombinacija vozila po EMS-u,

⁵ U Švedskoj ne postoji ograničenje visine, ali prepreke niže od 4,5 m moraju biti označene znakovima,

⁶ Dimenzije preuzete iz Pravilnika o tehničkim uvjetima vozila na cestama, 2008: Narodne novine br. 51/10,

Åkerman i Jonsson (2007) opisuju prednosti i nedostatke korištenja EMS sustava (tablica 4).

Pozitivni učinci korištenja EMS sustava su smanjenje potrošnje goriva, što utječe na smanjenje troškova transporta. Nadalje upotrebom dužih vozila koja prevoze veće količine tereta smanjio bi se i broj vozila koje prometuju na cestama te oni ne bi trebali imati negativni utjecaj na sigurnost prometa. Negativni učinak koji navode je taj da bi se upotrebom EMS sustava

povećao i udio cestovnog transporta na račun drugih vrsta transporta, ali smatraju da bi se budućim razvojem ostalih vrsta transporta taj negativni učinak anulirao.

Tablica 4. Zaključci Åkerman i Jonsson-a o korištenju EMS sustava

Područje utjecaja	Najpozitivniji utjecaj	Najnegativniji utjecaj	Rezultat
Okoliš	Smanjena potrošnja po jedinici prevezenog tereta	Moguće povećanje udjela cestovnog prometa	+
Gospodarstvo, na nižoj razini	Smanjenje troškova prijevoza	Povećanje potrošnje goriva i troškova održavanja po vozilu	+
Gospodarstvo, na višoj razini	Učinkovitiji prijevoz, smanjenje ukupnih troškova	Potreba za prilagodbom cestovne infrastrukture	+
Broj vozila	Manji broj vozila prevozi istu količinu dobara	Moguće povećanje udjela cestovnog prometa	+/-
Sigurnost u prometu	Manji broj vozila prevozi istu količinu dobara	Značajke vozila mogu utjecati na broj prometnih nesreća	+/-
Utjecaj na ostale vrste transport	Olakšava razvoj intermodalnog prijevoza	Moguće povećanje udjela cestovnog prometa	+/-

Lumsden (2004) istražuje utjecaj povećanih masa i dimenzija kamionskih skupova na sigurnost cestovnog prometa. Autor navodi kako, prema istraživanju Švedskog nacionalnog cestovnog i prometnog instituta, nema značajne razlike u vremenu potrebnom za pretjecanje kamionskog skupa standardnih dimenzija (18,75 m) i kamionskih skupova većih dimenzija. Pozitivan utjecaj na sigurnost cestovnog prometa je da se smanjuje broj vozila na cestama te se na taj način smanjuje i mogućnost nastanka prometnih nesreća.

1.1.3 Energijska učinkovitost kamionskog prijevoza drva

U svijetu se 2012. godine utrošilo $375,93 \times 10^{18}$ J energije od čega 40,7% ili $152,9 \times 10^{18}$ J je utrošak nafte i naftnih derivata. Od ukupno utrošene količine nafte i naftnih derivata, 63,7% se utroši za transport (Anon 2014). S obzirom na iznesene podatke te na sve veću potražnju za fosilnim gorivima i povećanja cijena, jasno je zašto u novije vrijeme istraživanja energetske učinkovitosti pojedinih proizvodnih sustava postaju sve intenzivnija. Osim navedenog, istraživanje energetske učinkovitosti proizlazi iz potrebe i želje stručnjaka za smanjenjem ulaznih troškova tih sustava te smanjenjem negativnog utjecaja na okoliš. Isto se odnosi i na mehanizirane radove u šumarstvu.

Prva istraživanja energetske učinkovitosti proizvodnih sustava u šumarstvu poklapaju se s pojavom prve energetske krize u drugoj polovici 1973. godine. Od tada pa do danas šumarski znanstvenici i stručnjaci pokušavaju iznaći rješenja za što manjim utroškom goriva i što većom učinkovitosti sustava pridobivanja drva.

Malnar (2000) navodi da je daljinski prijevoz drva kamionima ujedno i najskuplji oblik daljinskog prijevoza drva, te navodi da je potrebno provoditi svrsishodne tehničke, tehnološke i organizacijske mjere s ciljem smanjenja troškova i negativnog učinka na okoliš.

Svenson (2011) prema Klvaču (2013) navodi niz tehničkih čimbenika koji utječu na potrošnju goriva ŠKS, a samim time i na emisiju stakleničkih plinova. Čimbenike svrstava u sljedeće skupine: značajke vozila, značajke prikolice, geometriju ceste, gornji ustroj šumske ceste, brzinu kretanja, promjenu stupnja prijenosa, način vožnje, vrijeme i uvjete gornjeg ustroja šumske ceste. Devlin (2010) govori da navedeni čimbenici značajno utječu na potrošnju goriva prilikom daljinskog transporta drva ŠKS, koja može biti i dvostruko veća u usporedbi s prijevozom drugih vrsta roba. Favreau (2006) navodi da u ukupnim troškovima daljinskog transporta drva kamionima, trošak goriva sudjeluje s 30 %.

Heski (1977) navodi da trošak daljinskog prijevoza drva čini 16% ukupnih troškova pridobivanja drva, te značajno utječe na cijenu rada. Nadalje navodi da na učinak i trošak prijevoza drva značajan utjecaj ima kvaliteta ceste po kojima se ŠKS kreću.

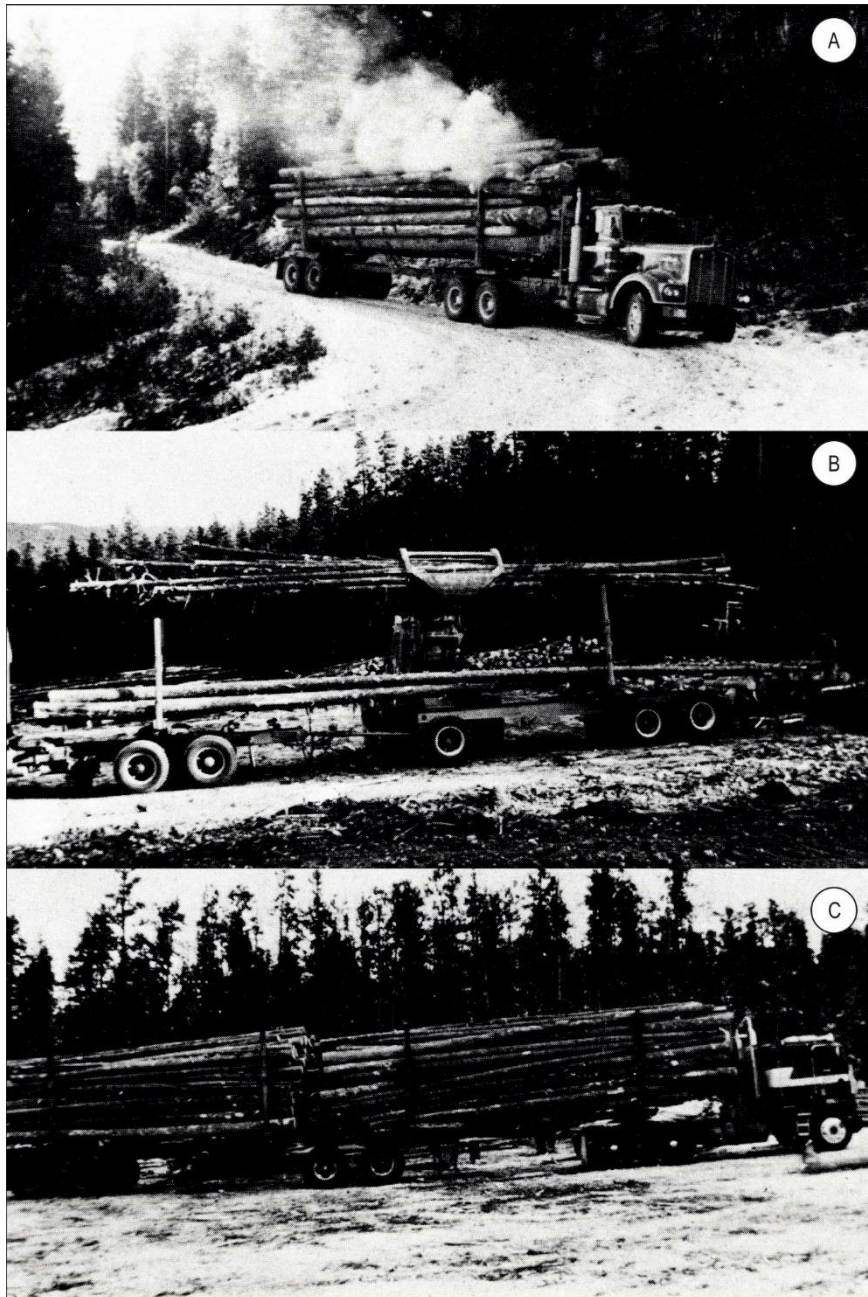
Slabak (1980) analizirajući rad strojeva u 1979. godini navodi da se u ukupnom trošku kamionskog prijevoza drva, trošak goriva kretao između 10,9% i 15,4%, ovisno o vrsti ŠKS. Iste godine, Marold ne iznoseći konkretne podatke o potrošnji goriva pri prijevozu drva kamionima, iznosi prijedloge mjera, koje ne zahtijevaju velika ulaganja, a imaju značajan utjecaj na potrošnju goriva. Kao najvažnije, izdvaja:

- ⇒ izbor motornih vozila,
- ⇒ utjecaj vozača na troškove eksploatacije,
- ⇒ edukacija vozača,
- ⇒ programirani način upravljanja motornim vozilima,
- ⇒ kontrolu ponašanja vozača u eksploataciji.

Zanimljivo je istaći da se već tada razmatralo poboljšanje aerodinamičnih svojstava ŠKS-a, gdje isti autor navodi da se poboljšanjem aerodinamičnosti kabine kamiona može uštedjeti i do 10 litara goriva na 100 prijeđenih kilometara. Garner (1980) navodi da aerodinamični otpor naglo raste pri povećanju brzine iznad 50 km/h, te da kod brzine od 80 km/h iznosi 25% ukupnog otpora.

Smith (1981) uspoređuje učinkovitost i troškove te analizira mogućnost primjene tri različita ŠKS (slika 15). Navodi da povećanjem prevezenog obujma drva u jednom tovaru, dolazi do

smanjenja jedinične potrošnje goriva, ali da se zbog dimenzija „kamionskog vlaka“ i potrebe za rekonstrukcijom prometne infrastrukture u vidu proširenja cesta preporuča upotreba ŠKS sa šest osovina (tegljač i troosovinska prikolica/poluprikolica), koji može prevesti veće terete od standardnog kamionskog skupa, ali isto tako zbog svojih dimenzija može se bez problema kretati po šumskim cestama i pristupiti pomoćnom stovarištu.



Slika 15. A) standardni ŠKS u Americi 1981; B) ŠKS s troosovinskom prikolicom; C) „kamionski vlak“ s dvije poluprikolice (Izvor: Smith 1981)

Ljubić (1982) analizirajući potrošnju goriva pri prijevozu drva kamionima navodi da uslijed povećanja brzine kamiona značajno raste potrošnja goriva zbog povećanja otpora zraka, otpora

kotrljanja te gubitaka koji se javljaju na transmisiji kamiona. Nadalje, isti autor navodi da se upotrebom radijalnih guma značajno smanjuje potrošnja goriva.

Đurašević (1983) analizirajući potrošnju goriva pri kamionskom prijevozu u drvnoj industriji zaključuje da na potrošnju goriva najveći utjecaj ima način vožnje tj. brzina vozila i broj okretaja pogonskog motora. Autor naglašava potrebu za edukacijom operatera kako bi se smanjila potrošnja goriva.

Ledinski (1984) za mjerenje potrošnje goriva koristi protočni mjerni uređaj Kienzle 1402, s točnošću od $\pm 2\%$, i prikazom potrošnje od 0,1 L, te za analizu prikupljenih podataka s tahografa koristi elektroničku obradu podataka. Koristeći elektronsku obradu podataka, autor navodi njene prednosti u vidu pojednostavljenja vođenja evidencije, povećanja točnosti prikupljenih podataka i kvalitetnije analize istih. Pri povećanju tereta za jednu tonu, autor navodi da se povećava potrošnja goriva kod kamiona za 2,1 L/100km, a kod ŠKS za 1,6 L/100km. Kao i Đurašević, autor naglašava potrebu za edukacijom vozača, jer je pri provođenju mjerenja potrošnje goriva tijekom „dirigirane“ vožnje izmjerio smanjenje potrošnje goriva za 20,4%.

Clark (1986) uspoređujući ŠKS s troosovinskom i četveroosovinskom prikolicom navodi da kod korištenja četveroosovinske prikolice u ŠKS dolazi do povećanja ukupne potrošnje goriva za 7%, ali zbog prijevoza veće količine tereta dolazi do smanjenja jedinične potrošnje goriva i smanjenja prosječnog operativnog troška za 7%.

Potočnik (1989) istražuje utjecaj uzdužnog nagiba ceste na potrošnju goriva. Navodi da su ŠKS pri vožnji niz nagib (- 4%) trošili od 40% do 76% manje goriva nego pri vožnji po ravnom, a pri vožnji uz nagib (+ 4%) potrošnja se povećala od 53% do 83% u usporedbi s vožnjom na ravnom. Nadalje autor navodi da se na najstrmijim dijelovima (nagib + 8%) potrošnja goriva povećala za dvostruko. Autor je u svojim istraživanjima koristio uređaj za mjerenje potrošnje goriva s točnošću od 0,1 L.

Sever i Horvat (1989), istražujući potrošnju goriva pri prijevozu drva kamionima navode da opterećeni ŠKS je imao potrošnju od 95,30 L/100km, te da najznačajniji utjecaj na potrošnju goriva ima vrsta ceste, a zatim vrsta tereta. Nadalje, navode kod potrošnje goriva prilikom utovara i istovara najznačajniji utjecaj ima vrsta ŠKS, zatim broj pomicanja ŠKS, trajanje utovara te vrsta tovara. Uspoređujući „slobodnu“ i „dirigiranu“ vožnju autori navode da je „dirigiranom“ vožnjom kod ŠKS moguće ostvariti uštedu od 23 L/100km.

Benić (1992) proučava potrošnju goriva pri prijevozu drva ŠKS u razdoblju od 1981. godine do 1990. te navodi prosječnu jediničnu potrošnju goriva od 2,33 L/m³, ukupni godišnji prevezeni obujam se kretao od 200.000 – 450.000 m³, odnosno od 7000 – 9900 m³ po ŠKS.

Kure (1990 i 1992) za mjerenje potrošnje goriva ŠKS koristi Kienzle 1402 protočni mjerač, te mjeri potrošnju goriva s obzirom na kategoriju ceste, s obzirom na nagib šumske ceste, te mjeri potrošnju goriva prilikom utovara i istovara sortimenata. Autor navodi da je prosječna potrošnja goriva iznosila 67 L/100km (77 L/100km pri praznoj vožnji uz nagib, odnosno 57 L/100km pri punoj vožnji niz nagib). Tijekom vožnje ŠKS uz nagib prosječna potrošnja goriva je iznosila 121 L/100km, niz nagib 23 L/100km, po cesti bez uzdužnog nagiba i bez horizontalnih krivina 62 L/100km, po cesti s horizontalnim krivinama 61 L/100km. Također, autor navodi da je potrošnja goriva tijekom vožnje praznog kamionskog skupa značajno veća zbog karakteristika prijevoza u brdskom području, gdje se drvo prevozi s brda u dolinu. Potrošnja goriva prilikom vožnje opterećenog ŠKS uz nagib s povećanim brojem okretaja od optimalnog iznosila je, ovisno o broju okretaja, od 101 L/100km do 261 L/100km. Mjerenju potrošnje goriva prilikom utovara i istovara vršeno je na tri različite hidrauličke dizalice, ugrađene na ŠKS, te pet različitih vrsta tovara. Prosječna potrošnja goriva za sve tri vrste dizalica i svih pet vrsta tovara za utovar i istovar iznosila je 7,5 L/h. Nadalje, autor navodi da hidraulična dizalica s podiznim momentom od 90 do 100 kNm tijekom utovara i istovara troši od 30% do 40% manje goriva nego hidraulične dizalice s podiznim momentom od 60 kNm.

Javno poduzeće »Hrvatske šume« d.o.o 1996. godine su raspolagale s 259 kamionskih skupova, te su u ukupnom daljinskom transportu drva kamionima sudjelovale s 85 %. Potrošnja goriva svih radova potrebnih za proizvodnju 1 m³ 1996. godine u hrvatskom šumarstvu bila je 6,96 L/m³, a potrošnja goriva pri kamionskom transportu drva bila je 2,33 L/m³ ili 33,4 % od ukupno utrošenog goriva (Anić i dr. 1996).

Karjalainen i Asikainen (1996) navode kako potrošnja goriva u Finskoj iznosi 56 L/100 km, dok emisija stakleničkih plinova (CO₂, CH₄ i N₂O) iznosi 0,03 kg/m³km. Svenson (2011) navodi potrošnju goriva u Švedskoj od 58 L/100 km. Holzleitner (2011) navodi prosječnu jediničnu potrošnju goriva od 2,09 L/m³, isti autor navodi da je potrošnja goriva kod vožnje opterećenih ŠKS iznosila 52,6 L/100km, a prilikom vožnje neopterećenih ŠKS 62 L/100km, razlog navedenog, ne očekivanog, potrošnji su uvjeti rada u brdsko-planinskom području, odnosno kretanje neopterećenog ŠKS uz nagib do pomoćnog stovarišta i kretanje opterećenog ŠKS niz nagib do mjesta istovara. Hohle (2011) navodi da je za prijevoz različitih drvnih

sortimenata u Norveškoj potrošnja goriva iznosila 2,2 L/m³, isti autor navodi da je uložena energija u sustavu pridobivanja drva iznosila od 2,6% do 3,3% dobivene energije. Klvač (2013) navodi potrošnju goriva od 2,19 L/m³, odnosno 67,4 L/100 km. Pandur (2013) navodi da je utrošak energije svih radova potrebnih za proizvodnju 1 m³ drva u nizinskim šumama 634 MJ/m³, od tog iznosa energija goriva čini 86 %. Od svih radova potrebnih za proizvodnju 1 m³ utrošak energije pri kamionskom transportu drva je 31 % ukupno utrošene energije.

Zorić i dr. (2014) istražuju potrošnju goriva pri prijevozu drva kamionima državne tvrtke „Hrvatske šume“ d.o.o. Zagreb na temelju službenih evidencija za 101 kamion kojim je 2012. godine raspolagalo navedeno poduzeće. U tablici 5 prikazani su rezultati navedenog istraživanja.

Tablica 5. Promatrani parametri za sve kamionske skupove HŠ u 2012. godini

Prevezeni obujam, m ³	842.776
Ukupno prijeđena udaljenost, km	3.499.901
Vožnja opterećenog kamionskog skupa, km	1.667.032
Vožnja neopterećenog kamionskog skupa, km	1.832.869
Prosječni udio vožnje opterećenog kamionskog skupa, %	47,6
Ostvareni tona-kilometri, tkm	20.827.633
Ukupna potrošnja goriva, L	2.256.193
Jedinična potrošnja goriva, L/m ³	2,73
Jedinična potrošnja goriva na 100 kilometra, L/100km	66
Jedinična potrošnja po ton-kilometru, L/tkm	0,07
Ukupan broj turnusa	36144
Prosječna duljina jednog turnusa (oba smjera), km	96,83
Prosječan obujam turnusa, m ³	23,32
Prosječni dnevni učinak, m ³	51,01

Löföth i Svenson (2011) na primjeru »One stack more« kamionskog skupa (slika 16, 17) navode kako se povećanjem dopuštene nosivosti kamionskog skupa s 60 na 90 tona značajno smanjuje potrošnja goriva po jedinici prevezenog drva, do čak 20 %, samim time dolazi i do značajnog smanjenja emisije štetnih stakleničkih plinova. Nadalje navode kako povećanje ukupne mase kamionskog skupa sa 60 na 90 tona, nema negativnog utjecaja na ceste zbog ujednačenog rasporeda mase po osovinama, te da povećanje duljine kamionskog skupa nema negativni učinak na sigurnost prometa, štoviše smanjenjem broja vozila na cesti povećava se sigurnost.



Slika 16. Kamionski skup *One stack more* (Izvor: Lindhqvist i Bengtsson 2010)

	Kamion	Teretna kolica	Spojna poluprikolica	Poluprikolica
Osovinska opterećenja				
Neopterećeno vozilo	5900	3000	1855	1483
Opterećeno vozilo	7850	9070	8530	7830
Zakonsko dopuštenje	9000	9500	9000	8000

Slika 17. Osovinska opterećenja kamionskog skupa „*One stack more*“

Lindhqvist i Bengtsson (2010) razrađuju mogućnosti i daju smjernice za daljnji razvoja ETT sustava. Prijedloge za daljnji razvoj dijele u tri skupine, ovisno o važnosti, s time da se najveća važnost pridaje potrošnji goriva. Prikaz njihovih prijedloga je u tablici 6.

Tablica 6. Prijedlog daljnjeg razvoja po Lindhqvist i Bengtsson (2010)

Prva skupina važnosti – značajan utjecaj na potrošnju goriva
<p>Smanjenje otpora zraka</p> <p>Smanjene emisije</p> <p>Smanjenje otpora kotrljanja</p> <p>Povećanje iskorištenja goriva</p> <p>Povećanje nosivosti</p>
Druga skupina važnosti – manji utjecaj na potrošnju goriva;
<p>Povećanje prosječne brzine</p> <p>Poboljšanje klimatizacije kabine</p> <p>Poboljšanje sustava za određivanje mase tovara</p> <p>Poboljšanje kontrole vučnog otpora</p> <p>Klizno radno vrijeme</p>
Treća skupina važnosti – ostali povoljni utjecaji
<p>Lakša dostupnost</p> <p>Poboljšanje elektro instalacija na ETT sustavu</p> <p>Smanjenje negativnog utjecaja na cestu</p> <p>Poboljšanje preglednosti</p> <p>Poboljšana signalizacija kamionskog sustava</p> <p>Poboljšanje sigurnosti vozača i ostalih sudionika u prometu</p> <p>Poboljšanje kočionog sustava</p> <p>Poboljšanje utovara i osiguranja tovara</p> <p>Unaprjeđenje kabine kamiona</p>

Povećanje okolišne pogodnosti i energetske učinkovitosti kamionskog transporta drva moguće je provesti na nekoliko načina. Tako Loforth i Lindholm (2005) navode kako se potrošnja goriva i maziva može smanjiti za 5 – 10 % poboljšanjem aerodinamičnosti kamiona.

Brokmeier (2011) navodi da se upotrebom centralnog sustava kontrole tlaka u gumama kamiona (CTIS) može značajno utjecati na ergonomsko, okolišno i ekonomsko poboljšanje prijevoza drva kamionima, jer se upotrebom CTIS-a smanjuje potrošnja goriva, smanjuje se trošenje guma, smanjuju se potrebe za održavanjem vozila, smanjuje se negativan utjecaj kamiona na primarnu prometnu infrastrukturu.

Anon (2012) je proveo istraživanje uspoređujući konvencionalni kamionski skup (ŠKS) s „Star Truck“, koji je bio manje mase, opremljen središnjim sustavom za kontrolu tlaka u gumama, sustavom za mjerenje mase tovara, kako bi se optimalno iskoristio tovarni prostor. Sve navedeno je dovelo do prijevoza veće količine korisnog tereta za 9,8 %, uz povećanje potrošnje goriva za samo 1 %, prijevoza 8,6 % više jedinice tovara po litri goriva, smanjenja od 8 %

troškova goriva po prevezenoj toni, te smanjenja trošenja guma uslijed korištenja središnjeg sustava za kontrolu tlaka u gumama.

1.1.4 Daljinsko praćenje rada strojeva

Istraživanja energetske učinkovitosti, proizvodnosti i iskorištenosti nekog proizvodnog sustava izrazito su zahtjevna, dugotrajna i skupa. Ovo se posebno odnosi na terenska istraživanja u šumarstvu, a naročito na istraživanja šumske mehanizacije i radova pridobivanja drva. Skupa su ne samo zbog vremena koje istraživači provedu u postupku prikupljanja podataka već i zbog vremena koje to vozilo provede bez efektivnog radnog učinka (Pandur 2013). U početku istraživanja mehaniziranih radova u šumarstvu provode se kontrolirani pokusi, koji zahtijevaju stalno prisustvo istraživača na terenu i korištenje službenih evidencija o radnom vremenu, utrošcima goriva, proizvodnosti što zbog subjektivne pogreške utječe na točnost prikupljenih podataka (Holzleitner 2011). Kasnije se razvojem mjerne opreme počinju upotrebljavati instrumenti uz posebnu pripremu sredstava rada, u vidu njihova opremanja s posebnim mjernim sustavima (npr. opremanje kamiona s protočnim mjeracom potrošnje goriva (Ledinski 1984, Potočnik 1989)). Tako Sever (1980) i Horvat (1993) provode kontrolirane pokuse na šumskim strojevima na unaprijed pripremljenim trasama, a strojevi su prethodno bili opremljeni mjernim pretvornicima i induktivnim davačima sa kojih su se žičanim putem mjerene vrijednosti prenosile na terensko i laboratorijsko vozilo koje se kretalo usporedno sa istraživanim strojem. Nedostatak takvog načina prikupljanja podataka je složenost pri odabiru prikladnog mjesta istraživanja koje mora sadržavati stvarno stanje uvjeta na terenu, ali i mogućnost neometanog kretanja terenskog vozila za prikupljanje podataka usporedno sa strojem koji se istražuje, ali i izbacivanje stroja iz sustava proizvodnje. Navedena istraživanja su bila ograničena samo na jedan dio sastojine – šumsku prosjeku (Horvat 1993), pomoćno stovarište (Sever 1980) ili na asfaltiranu površinu (Horvat 1993). Osim navedenih nedostataka, bitno je naglasiti stalno prisustvo istraživača prilikom provedbe istraživanja te nemogućnost trenutne provjere podataka. Pottie (1986) opisuje primjenu telemetrije za daljinski prijenos podataka o masi tovara u kabinu kamiona ŠKS i u kabinu utovarivača, te navodi pouzdanost sustava, pomoću kojeg su smanjene varijabilnosti mase tovara te je veća proizvodnost ŠKS-a. Musonda i dr. (1983) među prvima, u svrhu mjerenja zakretnih momenata dovedenih na pogonske kotače skidera, za prijenos signala sa rozeta mjernih traka postavljenih na vratilima, koriste radio telemetriju (Hassan 1989).

Šušnjar (2005) i Tomašić (2007) istražuju tehničko-eksploatacijske značajke skidera na šumskoj traktorskoj vlaci odnosno traktorskom putu. Za prijenos podataka mjerenja od istraživanih skidera koriste daljinski prijenos podataka uz pomoć dva radio modema, jednog postavljenog na istraživani skider, a drugi pored prijenosnog računala na terenu. Ovakvim načinom mjerenja i prijenosa izmjerenih podataka pojednostavljuje se postupak istraživanja jer više nije potrebno laboratorijsko vozilo koje se kreće usporedno s istraživanim strojem, te su izmjereni podaci odmah vidljivi. Međutim, nedostaci kod ovakvog načina prijenosa podataka su nemogućnost prijenosa podataka na veće udaljenosti, osjetljivost radio veze na fizičke prepreke poput lišća, grana i sl. te potreba za usmjeravanjem prijemne i odašiljačke antene. Jedan od nedostataka i ovdje je nemogućnost praćenja rada i mjerenja u nekontroliranim uvjetima.

Marenče (2005) istražuje tehničko – eksploatacijske značajke skidera i malog poljoprivrednog zglobnog traktora opremljenog sa farmi vitlom pri čemu se svi mjereni podaci sakupljaju i pohranjuju na prijenosnom računalu smještenom na istraživanom vozilu. Dakle u ovom slučaju nije bilo prijenosa podataka na udaljeno (terensko) računalo već su se snimljeni podaci preuzimali s terenskog računala na kraju istraživanja čime se nije nadzirala kvaliteta zapisa.

Razvojem komunikacijske tehnologije, GPS sustava i računalnih programa omogućeno je praćenje kretanja i rada pojedinog vozila ili cijelih proizvodnih sustava bez da se narušava normalan rad. U početku su ti sustavi služili isključivo za određivanje položaja vozila, a njihovim daljnjim razvojem omogućeno je praćenje rada vozila i prikupljanje bitnih podataka o radu vozila. Logistički sustavi ili Fleet Management System (u daljnjem tekstu FMS) prvobitno su razvijeni za „civilni“ promet, a tek kasnije počinje se upotrebljavati u specijaliziranim vrstama transporta kao što je šumarstvo. FMS je sustav daljinskog praćenja rada vozila koji omogućuje prikupljanje određenih podataka bez da se remeti normalan rad vozila, odnosno omogućuje provedbu istraživanja u gotovo nekontroliranim uvjetima. Osim za istraživanje proizvodnosti i energetske učinkovitosti FMS se koristi i kao alat za studij rada i vremena, te za ocjenjivanje okolišne pogodnosti šumske mehanizacije.

Wientraub i dr. (1996) opisujući upotrebu logističkog programa koji se koristio, još od 1990. godine, za izvedbu i planiranje prijevoza drva u Čileu navodi da se postižu uštede u troškovima između 10 i 20%. Sličan sustav u finskom šumarstvu opisuje Palgrem i dr. (2004).

Klvač (2006) opisuje razvoj logističkog sustava (programa) za potrebe češkog šumarstva, gdje navodi da se upotrebom takvih sustava podiže razina organizacije prilikom daljinskog prijevoza

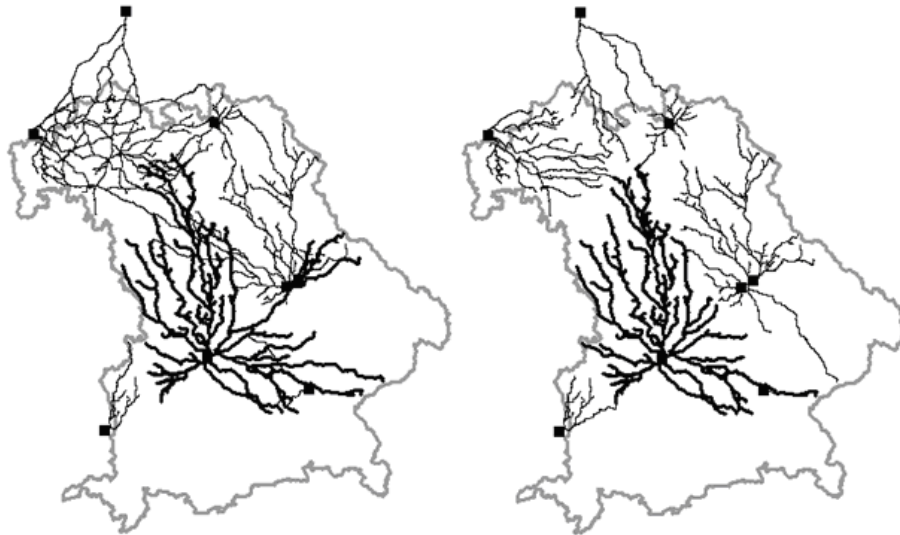
drva, povećava iskorištenost ŠKS, smanjuje potrošnja goriva, te prikuplja velika količina podataka na temelju koje je moguće raditi detaljne analize i planiranje poslovanja u svrhu smanjenja troškova i povećanja energetske učinkovitosti. Na temelju razvijenog računalnog programa, Klvač i dr. (2009) prate rad ŠKS, gdje zaključuju da je primjenom logističkog sustava došlo do promjena u sustavu pridobivanja drva, u smislu optimizacija ruta prijevoza, te smanjenja potrošnje goriva.

Pandur i dr. (2009) opisuju ručni prijenos podataka na primjeru komercijalnog FMS-a ugrađenog na 3 kamiona i 2 forvardera u svrhu mjerenja potrošnje goriva. Podaci su se u tom slučaju prenosili uz pomoć malog prijenosnog memorijskog uređaja koji je ujedno služio za identifikaciju vozača i postavljanje parametara rada FMS-a. Takav način prijenosa podataka, kako navodi, bio je najlošiji dio sustava, naročito kod forvardera koji su uglavnom na terenu (u šumi), te nije bilo moguće svakodnevno uzimanje izmjerenih podataka. Kasnije je forvarder opremljen FMS-om s ugrađenim GSM/GPRS modul koji je omogućio daljinski prijenos podataka.

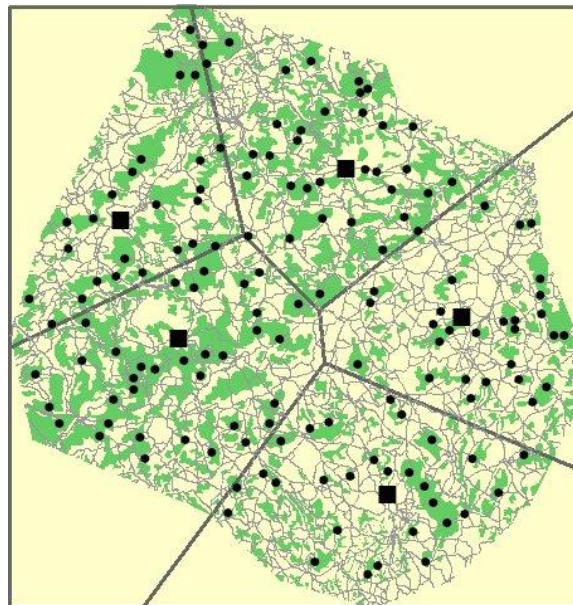
Holzleitner (2009) upotrebljava komercijalni FMS ugrađen na sedam kamiona za provedbu studije vremena, analizirajući na temelju prikupljenih podataka brzinu kretanja kamiona po različitim kategorijama cesta u Austriji, udio vremena po pojedinim sastavnicama rada, potrošnju goriva i u konačnici proizvodnost, pretpostavljajući da se u jednoj turi prevozi nazivnih 25 ili 30 m³ trupaca, ovisno o tipu kamionskog skupa.

Acuna i dr. (2011) spominje sustav FlowOPT koji se, na temelju prikupljenih podataka i provedenih GIS analiza, koristi za izradu rasporeda prijevoza drva, te čijom su primjenom ostvarene uštede od 5 do 20%. Isti autor opisuje razvoj sustava FastTRUCK. Nakon provedenih testiranja programa FastTRUCK Acuna (2014) navodi smanjenje troškova od 10%.

Smaltschinski i Opferkuch (2011) opisuju optimizaciju prijevoza drva kamionima na primjeru iz Njemačke gdje navode da se upotrebom logističkih sustava i GIS analiza, koje su korištene za optimizaciju, na temelju jedne godine smanjila prijeđena udaljenost za 12% (slika 18). Prilikom analize i planiranja prijevoza drva kamionima autori koriste *Thiessen polygons* metodu, pomoću koje se, na temelju položaja drvnih industrija, određuju težinska područja s kojih je optimalan prijevoz drva prema određenoj drvnjoj industriji (slika 19).



Slika 18. Prikaz ostvarenih ruta (desno: tradicionalno planiranje; lijevo: optimizirane rute) (Izvor: Smaltschinski i Opferkuch 2011)



Slika 19. Upotreba Thysen poligona za optimiziranje daljinskog prijevoza drva (Izvor: Smaltschinski i Opferkuch 2011)

Carrette i Ginet (2014) opisuju upotrebu GPS-a za praćenje rada ŠKS, pomoću kojeg se prikupljanju podaci o rutama prijevoza, te provodi analiza u svrhu optimizacije ruta i određivanja optimalnih pravaca ovisno o zakonskim ograničenjima o dopuštenoj masi ŠKS.

Akay i Kakol (2014) na temelju GIS analize provode planiranje ruta za kretanje ŠKS prilikom prijevoza drva s 10 različitih lokacija, te navode da se pomnim planiranjem i detaljnom analizom kretanja ŠKS može ostvariti ušteda u troškovima od 28%.

Gingras i dr. (2014) predstavljaju programsko rješenje FPSuit, pomoću kojeg je u realnom vremenu moguće pratiti sve operacije vezane uz mehanizirano pridobivanje drva.

Osim upotrebe FMS-a za praćenje rada daljinskog transporta drva, on nalazi primjenu i kod istraživanja ostalih faza pridobivanja drva, kao i kod istraživanja nekih tehničkih značajki šumske mehanizacije. Tako su McDonald i dr. (2000) razvili sustav automatskog studija vremena za skidere koristeći samo podatke o poziciji skidera preko GPS-a te analizom prikupljenih podataka u GIS-u.

Suvinen i Saarilahti (2006) koriste računalo forvardera koje im omogućava mjerenje obodne snage i teorijske brzine na kotačima, a stvarna brzina i putanja kretanja forvardera mjerena je pomoću GPS uređaja koji je sastavni dio FMS-a. Dobiveni podaci kasnije su služili za izračunavanje otpora kretanja i klizanje kotača forvardera prilikom kretanja na različitim uvjetima podloge. Isti autor (2006) pomoću računala, GPS tehnologije i uređaja za mjerenje potrošnje goriva na forwarderu uspoređuje ekonomičnost primjene guma, lanaca i polugusjenica prilikom izvoženja drva.

Sikanen i dr. (2005) istražuju mogućnost primjene FMS-a u svrhu optimizacije transporta drvene sječke kamionima te zaključuju da su prednosti primjene velike. Kao prvu prednost navode izostanak potrebe za popratnicama i ostalim dokumentima koji se koriste kod prijevoza te smanjenu potrebu za mobilnim pozivima što u konačnici dovodi do mjesečnih ušteda u iznosu od 100 do 140 USD po ŠKS.

Suk i dr. (2011) opisuju razvoj sustava za daljinsko praćenje rada motorne pile, koji može bilježiti lokaciju motorne pile, režim rada, vibracije te može vršiti procjenu utroška goriva.

Smaltschinski i Opferkuch (2012) opisuju korištenje logističkog programa prilikom planiranja sjekoreda, odnosno prilikom premještanja strojeva za sječu, izradu i privlačenje na određenom šumskom području.

Pandur (2013) istražuje primjenu komercijalnog FMS-a za praćenje rada strojeva u istraživanju izvoženja drva forwarderom, gdje zaključuje da je FMS ispunio očekivanja postavljena na početku istraživanja i kao takav smatra se povoljnim sredstvom za daljinsko praćenje nekih eksploatacijskih značajki vozila u nekontroliranim uvjetima za potrebe znanstvenih istraživanja. Dalje navodi da je jedan od ciljeva daljnjeg unaprijeđenja daljinskog praćenja rada vozila implementacija RFID tehnologije u FMS, u svrhu jednostavnijeg praćenja vozila i drvnih sortimenata, odnosno implementacija u cijeli lanac dobave sortimenata od panja do krajnjeg korisnika.

Prednosti upotrebe FMS-a u postupcima pridobivanja drva prema projektu EcoWood (Owende i dr. 2002) se dijele u dvije osnovne grupe:

1. Operativne

- ⇒ Efikasniji raspored, kontrola i praćenje radnih operacija strojeva;
- ⇒ Povećanje produktivnosti, smanjenje potrebne radne snage i povećanje upotrebljivosti strojeva;
- ⇒ Neposredan uvid u evidenciju servisa i rezervnih dijelova stroja;
- ⇒ Uvid u kvarove stroja i raspored servisa;
- ⇒ Praćenje stroja u svrhu upravljanja radnim operacijama;
- ⇒ Smanjenje potrošnje goriva, održavanja i stajanja stroja;
- ⇒ Dobava drvnih proizvoda do kupca u dogovorenom vremenskom roku i
- ⇒ Brže ažuriranje baza podataka u sustavu lanca dobave drva.

2. Okolišne

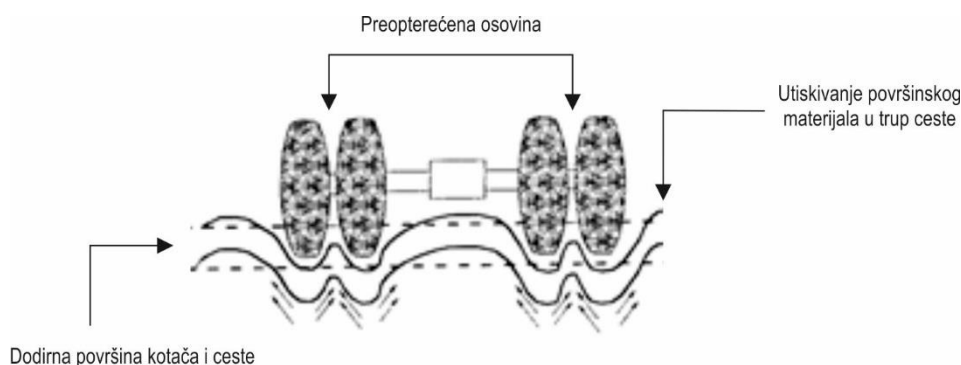
- ⇒ Upotreba geografskih karata i satelitske navigacije sa svrhom praćenja kretanja strojeva u šumi (Sa svrhom potvrđivanja da su radne operacije stroja obavljene u skladu sa okolišno prihvatljivim načinom. Npr. strojevi se mogu držati podalje od zaštićenih ili osjetljivih šumskih staništa. Nadalje, planiranjem broja prolazaka stroja u svrhu izbjegavanja stvaranja prekomjernog oštećenja šumskoga tla u obliku kolotruga, opasnosti od odnošenja tla na područjima gdje postoji povećana opasnost od erozije ili u svrhu zaštite korijenja stabala);
- ⇒ Učinkovitije korištenje strojeva smanjuje potrošnju goriva pa time i emisije stakleničkih plinova po jedinici proizvoda;
- ⇒ Kod harvesteri povoljnijim trupljenjem stabala smanjuje količinu otpada pri sječi i izradbi čime se postiže maksimalno iskorištenje stabla;
- ⇒ Kod kamiona optimizacija kretanja u svrhu smanjenja oštećenja cesta u skladu s ekonomskom korisnošću.

1.1.5 Metode procjene stanja (šumske) ceste

Šumske prometnice karakterizira nisko prometno opterećenje (Koczwański and Nowakowska-Moryl 1992, Fertal 1994), u smislu broja prolaza vozila, ali i velike vrijednosti dodirnih tlakova

koji se javljaju između kotača i šumske ceste, a koja prelaze 80 kN (Trzciński and Kaczmarzyk 2006) što uzrokuje oštećenja gornjeg i donjeg ustroja šumske ceste (Bayoglu 1997). Zbog pojave i utjecaja dodirnog tlaka između kotača i šumske ceste dolazi do oštećenja ŠC (slika 20), koje tijekom određenog vremena može rezultirati potpunom nedostupnošću šumskog područja, kao posljedice oštećenja nastalih uslijed prevelikog opterećenja osovina ŠKS i nedostatka odgovarajućeg održavanja šumske ceste (Öztürk and Sentürk 2009).

Održavanje šumskih cesta gotovo je jednako značajno kao i njihova izgradnja, jer se šumske ceste pod utjecajem prometnog opterećenja i vremenskih prilika oštećuju, deformiraju i razaraju. Suština održavanja svake sastavnice primarne šumske prometne infrastrukture je otklanjanje oštećenja i omogućavanje nesmetanog i sigurnog prometovanja po istoj (Jeličić 1983).



Slika 20. Oštećenje ŠC nastalo kao posljedica preopterećenja osovina ŠKS (Izvor Keller and Sherar 2003)

Pravilnim održavanjem šumskih cesta se smanjuje negativan utjecaj na prirodne resurse te omogućuje njihovo dugoročno korištenje. Time se osiguravaju investicije uložene u planiranje i izgradnju mreže šumskih cesta (Anon. 2000).

Acar (2005) naglašava važnost pravilnog godišnjeg održavanja šumskih cesta navodeći kako se u suprotnom ugrožava njihova struktura i istodobno uzrokuju erozija i klizišta, te negativne posljedice na okoliš.

Prema Klassenu (2006) te Pellegriniu i dr. (2013) tekuće je održavanje prometnica neophodno za očuvanje njihove prohodnosti i omogućavanje pravilnog funkcioniranja objekata odvodnje. Pravilno održavana šumska cesta s obzirom na neodržavanu, sadržava manju količinu sedimenta koji mogu biti izvor onečišćenja vodnih tijela a ujedno umanjuje troškove daljinskog transporta i rizik od naglog propadanja kolničke konstrukcije. Neodržavane ceste utječu na povećanje oštećenja vozila, povećanje potrošnje goriva, povećavanje troška popravka vozila (Douangphachanh i Oneyama 2013). Mnoge studije pokazuju kako su pravilno održavane šumske ceste otpornije na štetan utjecaj erozivnih i ostalih destruktivnih procesa, što dovodi do

zmanjenog taloženja sedimenta u vodnim tijelima (Thompson i dr. 2010) dok s druge strane radovi održavanja poboljšavaju proveznost šumskih cesta te umanjuju troškove transporta drva (Feng i Douglas 1993, Talbot i Nitteberg 2011).

Hajak i Szilagyi (1972), Potočnik (2007) i Pentek (2012a) navode da se uzroci oštećenja na šumskim cestama mogu podijeliti u sljedeće grupe:

- ⇒ posljedice loše obavljelog planiranja, projektiranja ili izgradnje šumskih cesta,
- ⇒ posljedice nepravilne ili prekomjerne uporabe šumskih cesta,
- ⇒ posljedice djelovanja prirodnih čimbenika (voda, snijeg, led, mraz, prirodne katastrofe, vegetacija i dr.).

Nepravilna ili prekomjerna uporaba cesta se odnosi na njihovo korištenje u nepovoljnim vremenskim uvjetima, uvjetima narušene stabilnosti tijela ceste, prometovanje neprimjerenim sredstvima te nepoštivanje zakonskih ograničenja o najvećim dopuštenim osovinskim opterećenjima. Promatrajući interakciju prometa (prometnog opterećenja) i kolničke konstrukcije Reissinger (1972) zaključuje da promet (teretni i putnički) svojim vibracijama negativno utječe na vezivno sredstvo kolničke konstrukcije te ističe da je navedeni negativan utjecaj proporcionalan težini vozila odnosno pritisku samog vozila na kotače. Dietz i dr. (1984) bave se problematikom amortizacije šumskih cesta te zaključuju da se uslijed djelovanja kotača vozila (prometno opterećenje) i kao posljedica djelovanja prirodnih čimbenika, nosivost, kao temeljni preduvjet za sigurnost sudionika u prometu, konstantno smanjuje. Prema Wellsu (2002) se šumske ceste ne bi smjele upotrebljavati u mokrim uvjetima jer su tada najpodložnije nastanku oštećenja. Osim toga umanjuje se i proizvodnost transporta drva.

Nunamaker i dr. (2007) ističu kako je prvo pravilo održavanja gornjeg ustroja šumske ceste smanjenje njenog korištenja u mokrim uvjetima. Za ceste koje se koriste čitave godine uputno je izbjegavati prometovanje teškim vozilima poput šumskih kamiona za vrijeme obilnih oborina. Na sezonskim cestama koje su od početka predviđene za korištenje u suhim uvjetima, se preporuča izbjegavati i najmanju prometnu aktivnost u uvjetima velike količine vlage, kada je smanjena nosivost temeljnog tla. Ukoliko postoji opasnost od uporabe sezonskih cesta u takvim neprihvatljivim uvjetima, poželjno ih je privremeno zatvoriti za vrijeme trajanja jakih oborina ili topljenja snijega.

Pentek (2012) u postupke koji se smatraju nepravilnom ili prekomjernom uporabom šumskih cesta ubraja sljedeće:

- ⇒ prometovanje preopterećenih kamiona (najčešće prilikom transporta drvnih sortimenata, ali i pri prijevozu građevinskih strojeva i kamenog materijala),
- ⇒ uporaba šumskih cesta poddimenzioniranih kolničkih konstrukcija nakon jakih i dugotrajnih kiša ili po razmočenom snijegu,
- ⇒ vožnja šumskih ili građevinskih strojeva s gusjenicama ili lancima na kotačima,
- ⇒ nepropisno obavljanje radova pridobivanja drva (prvenstveno privlačenja, ali i sječe i izradbe),
- ⇒ vožnja brzinom većom od dopuštene,
- ⇒ ostalo (primjerice vožnja off road vozilima ili motociklima).

Izloženost šumskih cesta prirodnim čimbenicima nije moguće izbjeći, stoga je od izuzetne važnosti prilagoditi šumske ceste očekivanim prirodnim uvjetima u fazama njihovog planiranja, projektiranja i izgradnje. Voda u obliku oborinske, poplavne ili podzemne predstavlja najistaknutiji čimbenik koji utječe na šumske ceste. Reissinger (1972) navodi da vlažnost materijala (slojeva) kolničke konstrukcije u iznosu od 15 % predstavlja optimum te da kod navedene vlažnosti slojevi kolničke konstrukcije pružaju najveći otpor na negativne učinke guma odnosno prometnog opterećenja. Pičman (2007) ističe da su šumske ceste s najčešćom kolničkom konstrukcijom bez vezanog zastora (kameni kolnici), vrlo osjetljive na protjecanje površinske vode s erozivnim djelovanjem, te na prometno opterećenje i prodor vode u dublje slojeve. Isti autor navodi da voda svojim protjecanjem preko kolnika s nevezanim zastorom lagano odnosi gornji, habajući sloj, stvaranjem početnih kolotruga i udarnih rupa. S vremenom navedena oštećenja postaju sve dublja te nastaju znatnija oštećenja koja treba što brže sanirati kako ne bi došlo do daljnje degradacije kolničke konstrukcije. Autor naglašava da je osnovni uzrok oštećenja kolničkih konstrukcija s nevezanim zastorom loše izvedena površinska odvodnja, te voda, umjesto da otječe jarcima, cijevima ili drenažama, polagano erodira gornju površinu kolnika i na taj način slabi cijelu kolničku konstrukciju. Vuletić i dr. (2014) naglašavaju negativan učinak prirodnih katastrofa navodeći kako su ledene kiše, poplave i bujice koje su nanijele značajne štete šumskim ekosustavima u Hrvatskoj, također uzrokovale brojna oštećenja na šumskim cestama.

Proučavajući životni ciklus gospodarskih cesta u Australiji Underhill (2004) smatra da su glavni uzročnici oštećenja:

- ⇒ klimatski čimbenici,
- ⇒ geometrija ceste,
- ⇒ greške pri projektiranju ili izgradnji ceste,

- ⇒ kvaliteta ugrađenih materijala,
- ⇒ važeći standardi koje treba zadovoljiti pri izvođenju radova,
- ⇒ vrsta i učestalost održavanja,
- ⇒ odredbe vezane uz površinsku i podzemnu odvodnju,
- ⇒ učestalost i vrsta prometa,
- ⇒ starost ceste.

U svijetu postoji niz metoda za procjenu stanja kolničke konstrukcije koje se prvenstveno koriste za procjenu stanja javne prometnice, ali svoju upotrebu nalaze i u šumarstvu. Krishna Rao (2012) navodi metode procijene stanja (oštećenosti) kolničkih konstrukcija, te ih dijeli na dvije skupine:

- ⇒ Subjektivne metode;
- ⇒ Objektivne metode.

1.1.5.1 Subjektivne metode procjene stanja kolničke konstrukcije

Subjektivne metode procjene se zasnivaju na pojedinačnom ispunjavanju tipskih obrazaca, gdje korisnici prometnica i stručnjaci na temelju pregleda određenog segmenta prometnice donose ocjene o stanju navedene dionice. Ocijene se najčešće kreću u rasponu od 0 do 5, gdje 0 označava najlošije stanje prometnice dok ocjena 5 označava odlično stanje prometnice.

Papa (2014) razrađuje subjektivnu metodu procijene stanja šumskih prometnica na temelju prikupljanja podataka o stanju ŠC na tri različita reljefna područja u Hrvatskoj. Na temelju rezultata svojih istraživanja autor predlaže dva pristupa za prikupljanje podataka:

- ⇒ prikupljanje terenskih podataka u znanstvene svrhe;
 - ✓ korištenje mjerne stanice uz klasifikaciju oštećenja,
 - ✓ intenzitet uzimanja podataka za procjenu očekivanja vrste i stupnja oštećenja na razini operativnog, taktičkog i strategijskog planiranja za svako reljefno područje zasebno,
 - ✓ princip uzimanja uzoraka sustavni slučajni,
 - ✓ bilježenje podataka o stanju elemenata odvodnje,
 - ✓ na dionicama uzdužnih nagibima nivelete većim od 6 %, bez obzira na sistematski slučajni uzorak, dodati mjernu plohu.
- ⇒ prikupljanje terenskih podataka za praktičnu (operativnu) primjenu;
 - ✓ korištenje mjerne vrpce pri izmjeri širine kolnika, bankina i planuma

- ✓ intenzitet uzimanja podataka za procjenu očekivanja vrste i stupnja oštećenja na razini operativnog, taktičkog i strategijskog planiranja za svako reljefno područje zasebno,
- ✓ princip uzimanja uzoraka sustavni slučajni,
- ✓ bilježenje podataka o stanju elemenata odvodnje,
- ✓ na dionicama uzdužnih nagiba nivelete većih od 6 %, bez obzira na sustavni slučajni uzorak, dodati mjernu plohu.

Krishna Rao (2012), Douangphachanh i Oneyama (2013) kao i mnogi drugi autori koji se bave problematikom stanja prometnica navode da su subjektivne metode iznimno skupe, zbog vremena koje je potrebno za prikupljanje podataka, te zbog konstantnog prisustva istraživača i operativnih stručnjaka na terenu prilikom provedbe istraživanja. Upravo iz tog razloga Papa (2014) donosi preporuku o intenzitetima prikupljanja podataka subjektivnom metodom za pojedino reljefno područje u Hrvatskoj (tablica 7).

Tablica 7. Intenzitet uzimanja uzoraka za procjenu očekivanja oštećenosti planuma šumskih cesta na razini operativnog, taktičkog i strategijskog planiranja za pojedino reljefno područje (izvor: Papa 2014).

Vrsta planiranja	Intenzitet uzimanja uzoraka za procjenu očekivanja oštećenosti planuma šumskih cesta, %		
	Gorsko reljefno područje	Nizinsko reljefno područje	Krško reljefno područje
Operativno planiranje	46,87 (≈ 47)	59,23 (≈ 59)	35,51 (≈ 36)
Taktičko planiranje	9,14 (≈ 9)	16,84 (≈ 17)	11,35 (≈ 11)
Strategijsko planiranje	3,30 (≈ 3)	9,74 (≈ 10)	11,35 (≈ 11)

1.1.5.2 Objektivne metode procjene stanja kolničke konstrukcije

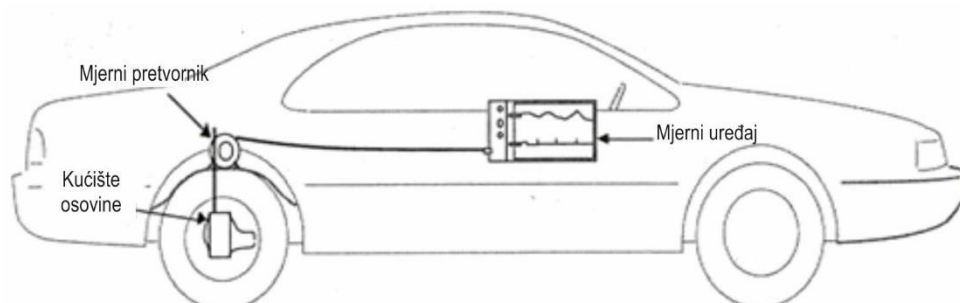
Objektivne metode procijene stanja kolnika prometnica koriste različite vrste mjernih instrumenata, od analognih do digitalnih, pomoću kojih se prikupljaju podaci. Neke od metoda su:

- ⇒ Metoda ravnjače i podravnjače – nepraktična i skupa metoda.
- ⇒ Upotreba *Dipstick profiler*-a (slika 21) – daje izrazito precizne podatke o ravnini profila ceste (odstupanja su $\pm 0,127$ mm), ali mjerenja su izrazito vremenski zahtjevna, te se stoga koristi prvenstveno pri kontroli stanja zrakoplovnih uzletišta, ali i pri kalibraciji drugih kompleksnijih instrumenata;



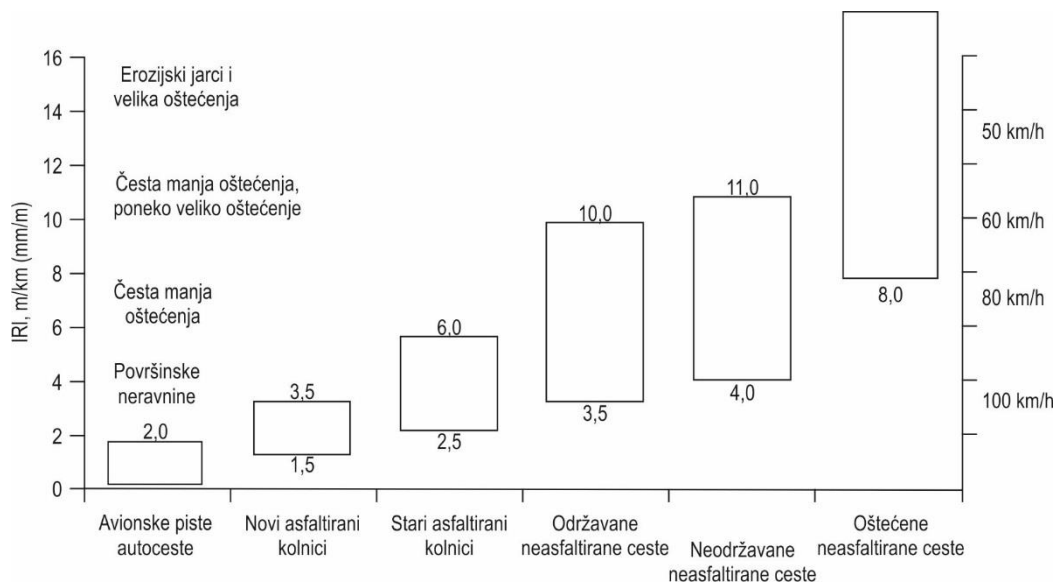
Slika 21. *Dipstick profiler*(Izvor: www.dipstick.com)

- ⇒ Filografi – „peti kotač“ koji slobodno oscilira prilikom kretanja vozila te bilježi neravnine ceste na papir.
- ⇒ Uređaji za mjerenje „hrapavosti“ ceste (*Response type road roughness meters–RTRRM*s) – Uređaji kojima se na indirektan način mjeri uzdužni profil ceste, na način da uređaj bilježi relativnu udaljenosti između šasije vozila i sredine stražnje osovine (slika 22). Gillespie i dr. (1980), Sayers i dr. (1986) navode da točnost mjerenja izrazito ovisi o vrsti vozila koje se koristi za mjerenje, položaju pretvarača (odstupanje do 5% okomice na osovinu), brzini kretanja vozila, ovjesu vozila, opterećenju vozila (masi), vrsti guma, tlaku u gumama, vrsti i načinu spajanja pretvarača i osovine, balansiranosti kotača vozila, temperaturi okolnog zraka te vlažnosti zraka.



Slika 22. Automobil opremljen Mays uređajem za mjerenje hrapavosti ceste (Izvor: Sayers i Karamihas 1998)

Kroz povijest istraživanja „hrapavosti“ cesta razvijeni su razni uređaji i metode čije se rezultate nije moglo međusobno uspoređivati, upravo zbog toga je razvijen *International Roughness Index (IRI)* kao parametar koji će se moći primijeniti na bilo kojoj vrsti kolničkog zastora, te bilo kojoj razini oštećenosti („hrapavosti“) ceste. IRI je matematička funkcija uzdužnog profila ceste te je zamišljen kao računalni program (Sayers i dr. 1986, Sayers i Karamihas 1998) koji izražava stanje oštećenosti kolničke konstrukcije kao odnos vertikalnog gibanja osovine u odnosu na ukupni prijeđeni put (m/km). Na slici 23 prikazane su vrijednosti IRI-a za pojedinu vrstu kolničkog zastora.



Slika 23. Vrijednosti IRI-a za neke vrste kolničkog zastora (Izvor: Krishna Rao 2012)

⇒ Uređaji za snimanje profila ceste – Uređaji koji izrazito precizno snimaju uzdužne i poprečne profile ceste i oštećenja na cesti, a koriste kontaktne ili bez kontaktne sustave senzora. Bezkontaktni sustavi senzora pomoću lasera ili ultrazvučnih uređaja snimaju profile prometnice. Osim upotrebe senzora ovakvi sustavi koriste i video kamere, te se snimke segmenata istraživane ceste obrađuju pomoću računalnih programa. Takvi uređaji se nazivaju *Integrated Pavement Analysis Units* ili *Automatic Road Analyser*. Ovakvi uređaji su skupi jer zahtijevaju posebno opremanje vozila, razvoj specijaliziranih računalnih programa, te se stoga često koriste samo za kalibriranje RTRRMs uređaja. Ovakve uređaje u svojim istraživanjima koriste Dawson i Killer (2009) i Svenosn (2011) (slika 24). Uređaj koji koriste Dawson i Killer (2009) je ultrazvučni radar koji ima mogućnost snimanja stanja donjeg stroja šumske ceste. Računalni program koji se koristi uz ovakve uređaje kao završni rezultat daju vrijednost IRI-a, uz ostale snimke profila ceste.



Slika 24. Laserski sustav za snimanje stanja ceste (Izvor: Svenson 2011)

Kako bi se pojednostavila procjena stanja cesta, mnogi autori počinju umjesto specijaliziranih uređaja upotrebljavati akcelerometre, gdje preko snimljenih vibracija određuju stanje kolnika ceste. Gonzalez i dr. (2008) postavljaju akcelerometar u testno vozilo kako bi procijenili stanje ceste, te zaključuju da se na temelju snimljenih podataka može procijeniti stanje kolničke konstrukcije. Slične zaključke donose Erikson i dr. (2008). Mohan i dr. (2008) umjesto specijaliziranih uređaja za mjerenje vibracija koriste mobilni telefon, gdje preko senzora ugrađenih u isti određuju stanje ceste i prometa. Strazdins i dr. (2011) koriste pametne telefone s Android operativnim sustavom, gdje preko akcelerometra ugrađenog u pametni telefon i jednostavnih algoritama određuju lokacije udarnih rupa na cesti. Autori koriste tri različita pametna telefona te zaključuju da postoje značajne razlike u točnosti prikupljenih podataka te frekvenciji snimanja podataka. Tai i dr. (2010) te Perttunen i dr. (2011) određuju stanje ceste na temelju analize frekvencija vibracija koje su snimili pomoću pametnog telefona. Douangphachanh i Oneyama (2013) istražuju mogućnost određivanja stanja cesta upotrebom pametnih telefona pomoću kojih mjere vibracije te dobivene podatke uspoređuju s IRI-jem. Autori zaključuju da se upotrebom pametnih telefona značajno pojednostavljuje metoda procijene stanja ceste. Nadalje, zaključuju da vrijednosti snimljenih vibracija dobro koreliraju s IRI-jem, ali da značajan utjecaj na korelaciju ima brzina kojom se kreće testno vozilo, te vrsta vozila i vrsta uređaja kojim se mjere vibracije.

2. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

2.1. Ciljevi istraživanja

Osnovni cilj rada je odrediti tehničku i energijsku pogodnost kamionskog prijevoza drva u brdsko-planinskom području. U svrhu određivanja pogodnosti cilj je odrediti tehničke značajke istraživanih ŠKS (masu, dimenzije), izmjeriti potrošnju goriva kamionskih skupova s obzirom na vrstu kolničkog zastora ceste, uzdužni nagib ceste, te vrsta radnog zahvata, poglavito prilikom utovara i istovara kako bi se utvrdila mogućnost korištenja alternativnih izvora energije za pogon hidraulične dizalice. Nadalje, cilj je istraživanjem utvrditi pogodnost mjernog sustava ugrađenog u zračni ovjes istraživanih kamionskih skupova, te na temelju mjerenja mase odrediti koliki se dio mase tovara kamiona prebacuje na prednju osovinu koja nije opremljena mjernim sustavom. Na osnovu izmjerenih podataka o potrošnji goriva napraviti će se proračun emisije štetnih stakleničkih plinova ovisno o vrsti kolničkog zastora, nagiba ceste i radnom zahvatu. Stanje kolničke konstrukcije će se mjeriti pomoću vibracija, stoga će jedan od ciljeva rad biti ustanoviti točnost izmjerenih podataka kako za znanstvenu tako i za praktičnu primjenu.

2.2. Hipoteze istraživanja

- H₁ Ugrađeni mjerni sustav vaga točno mjeri masu (odstupanje <5% s obzirom na konvencionalne mjerne sustave);
- H₂ Najviše opterećena osovina u kamionskom skupu je stražnja osovina kamiona;
- H₃ Šumski kamionski skupovi s ugrađenim hidrauličnim dizalicama imaju nepovoljniju nosivost i povećani utrošak energije u odnosu na šumske tegljačke skupove bez hidraulične dizalice;
- H₄ Kolnička konstrukcija i uzdužni nagib ceste (promjena nagiba od 2%) imaju značajan utjecaj na trenutnu potrošnju goriva;
- H₅ Stanje gornjeg stroja šumske ceste moguće je odrediti pomoću vibracija;
- H₆ Komercijalni FMS sustav s CAN modulom može se koristiti za prikupljanje podataka o daljinskom prijevozu drva kamionima kako u praktične tako i u znanstvene svrhe.

3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. Objekt istraživanja

Istraživanje osovinskih opterećenja, daljinskog praćenja rada kamionskih skupova i procijene stanja kolničkog zastora šumskih cesta provedeno je u brdsko-planinskom području (UŠP Senj). Prilikom istraživanja korišteni su ŠKS IVECO Trakker 500 proizveden 2012 godine (slika 25) i MAN TGS 33.440 proizveden 2014 godine (slika 26) (tablica 8).



Slika 25. IVECO Trakker 500

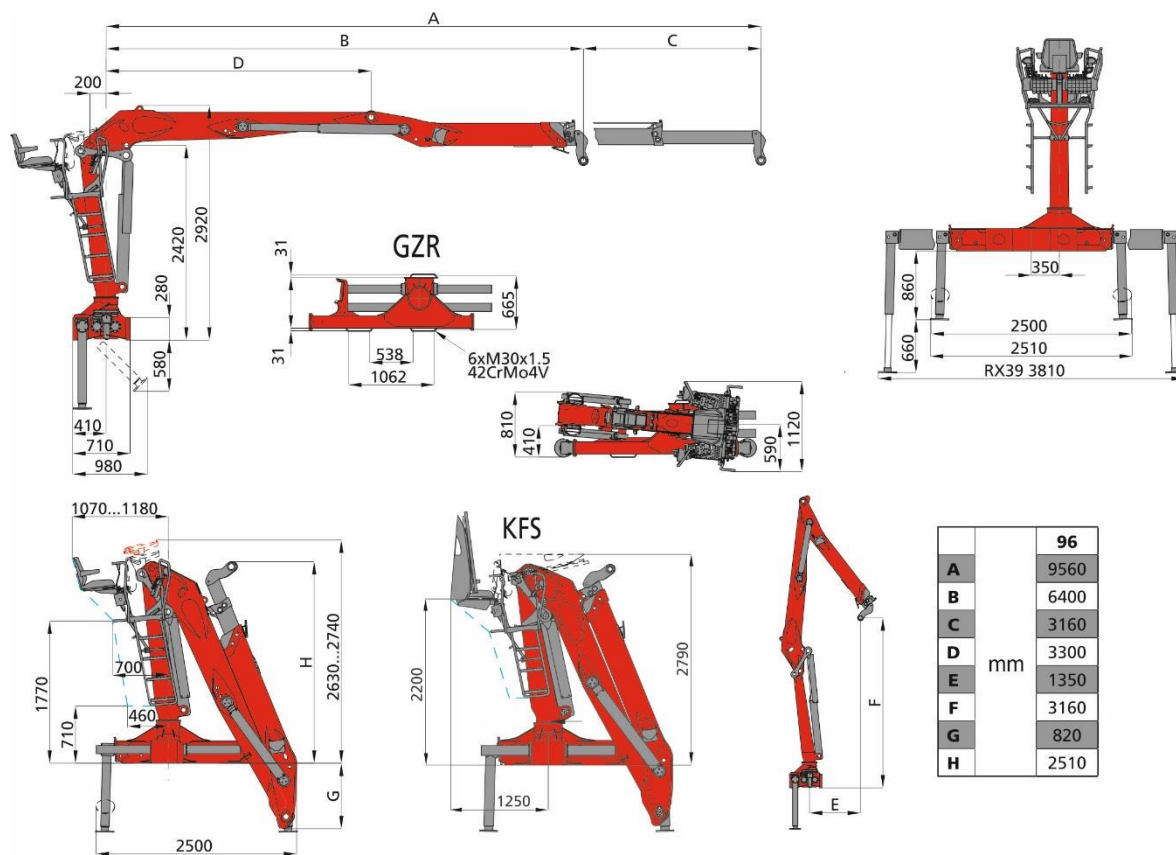


Slika 26. MAN TGS 33.440

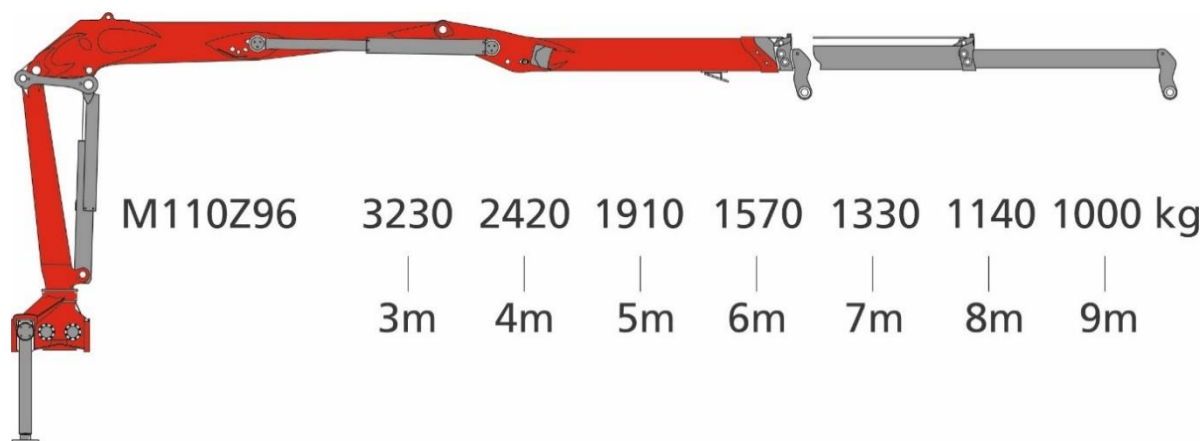
Tablica 8. Tehničke karakteristike istraživanih ŠKS

	IVECO Trakker 500	MAN TGS 33.440
Motor	Šest cilindarski redni dizelski motor Cursor 13 – 368kW (500 KS) pri 1900 min ⁻¹ , 2300 Nm (1000-1525 min ⁻¹) – Euro 5, zapremina 12,88 L	Šest cilindarski Common-Rail dizelski motor D26 – 324kW (440 KS) pri 1800 min ⁻¹ , 2100 Nm (900-140 min ⁻¹) – Euro 6, zapremina 12,4 L
Prijenos snage	Stalan pogon na stražnje kotače (6x4), blokada stražnjeg diferencijala, centralna blokada, 16 stupanjski ručni mjenjač.	Stalan pogon na stražnje kotače (6x4), blokada stražnjeg diferencijala, centralna blokada, 16 stupanjski ručni mjenjač.
Kočnice	Bubnjevi na svim kotačima, ABS, EBS sustav za ravnomjernu raspodjelu sile kočenja, hidrodinamički retarder.	Bubnjevi na svim kotačima, ABS, EBS sustav za ravnomjernu raspodjelu sile kočenja, elektronički sustav stabilnosti, hidrodinamički retarder.
Kabina	HI-Land kabina, dvije osobe, tri fiksne stepenice, automatsko hidraulično podizanje kabine.	M kabina, dvije osobe, tri fiksne stepenice, automatsko hidraulično podizanje kabine.
Gume	Prednja osovina – 315/80R22.5 Stražnje osovine – 315/80R22.5	Prednja osovina – 315/80R22.5 Stražnje osovine – 315/80R22.5

Oba ŠKS su opremljena hidrauličnom dizalicom Epsilon Palfinger M110Z (slika 27 i 28; tablica 9), prikolicama PSM 200 proizvođača PK d.o.o (slika 29 i tablica 10) te sustavima za mjerenje mase tovara.



Slika 27. Dimenzije hidraulične dizalice Epsilon Palfinger M110Z



Slika 28. Graf podznog bruto podznog momenta hidraulične dizalice Epsilon Palfinger M110Z

Tablica 9. Tehničke karakteristike hidraulične dizalice EP M110Z

Podizni moment, kNm	97
Okretni moment, kNm	27
Kut okretanja, °	425
Doseg, m	9,6
Radni tlak, bar	245
Količina protoka, L/min	2×70
Masa, kg	2230
Maksimalna sila stabilizatora, kN	87



Slika 29. Prikolica za prijevoz drva PSM 200

Tablica 10. Tehničke karakteristike prikolice za prijevoz drva PSM 200

Masa prazne prikolice, kg	3800
Neto nosivost, kg	16200
Bruto masa vozila, kg	20000
Dimenzije guma	275/70 R22,5
Dužina prikolice bez ruda, mm	7000
Ukupna dužina vozila, mm	8700
4 para štica	EXTE E-6
BPW osovine, zračni ovjes, mogućnost mjerenja mase tovara	

3.2. Morfološka analiza

Morfološkom analizom (raščlambom) utvrđuje se trenutna stanje, svojstva i zakonitosti, ali i povijesni te mogući tijek razvoja strojeva i alata koji se koriste pri radovima u šumarstvu. Rezultati provedenih istraživanja mogu poslužiti kao pomoć šumarskim stručnjacima i izvođačima radova u šumarstvu pri odabiru novih, tehnički najpovoljnijih strojeva i alata. Morfološkom analizom prikazuje se položaj istraživanoga stroja ili alata unutar skupine sličnih ili istovrsnih strojeva. Na temelju izabranih geometrijskih, masenih i drugih veličina te njihovih ovisnosti, morfološkom analizom donosi se ocjena o valjanosti izbora stroja. Najčešće se njome proučava odnos između geometrijskih veličina i težinskih svojstava.

Bekker (1956) provodi jednu od prvih morfoloških analiza vozila za kretanje izvan putova, iznoseći mišljenje kako će objekt koji se kreće u nekom mediju poprimiti oblik koji pruža najmanji otpor kretanju. S tog se stajališta morfološka analiza može provoditi ne samo za iskaz dostignute razine dimenzijskog razvoja vozila ili za traženje položaja nekoga vozila u skupu sličnih, već i za procjenu budućeg razvoja. On navodi kako odnos geometrijskih pokazatelja vozila, a posebice tzv. faktora noseće ploštine vozila, određuje kretnost vozila na mekim tlima.

Sever (1980) morfološkom analizom uspoređuje šumske zglobne traktore s vitlom s adaptiranim poljoprivrednim traktorima, nedvojbeno utvrdivši kako se, iako razvijeni iz poljoprivrednih traktora, skideri mogu svrstati u poseban skup/obitelj vozila koja ima svojstvene morfološke značajke. Ovu analizu proširuje (1986) i na ostala šumarska vozila pa tako i na forvardere, utvrdivši kako i obitelj forvardera također ima svojstvene morfološke značajke. Sever i Horvat (1985) pri izradi studije skidera, a za stvaranje projektnog zadatka za srednji skider, upotrebljavaju rezultate morfološke analize. Takvu analizu za proračun onih dimenzija skidera (ako nisu poznate) koje trebaju za proračun dinamičke preraspodjele opterećenja upotrebljava i Horvat (1989).

Sever i Knežević (1991) traže, između ostalog, razliku u morfološkim značajkama forvardera raznih formula pogona (4x6, 6x6 i 8x8). U ovoj analizi, kao i u ostalima gdje se slikovno iskazuju značajke obitelji vozila, najčešće se kao osnovni pokazatelj upotrebljava tzv. indeks oblika.

Sever i Horvat (1992a) prikazuju bazu podataka geometrijskih i drugih značajki skidera i forvardera. Isti autori (1992b) analiziraju temeljne morfološke značajke raznih šumskih vozila. Iznose mišljenje kako se ovakvim podacima mogu služiti konstruktori pri konstrukciji vozila i šumarski stručnjaci pri njihovu izboru. Njihovu bazu podataka forvardera proširuje Poršinsky

(1996), tražeći položaj jednog tipa forvardera u cijeloj obitelji i Pentek (2008) koji radi morfološku analizu obitelji forvardera. Stankić (2010) ponovno provodi morfološku analizu forvardera, nadopunjujući bazu podataka Poršinkog (1996). Istu bazu podataka dodatno proširuje Pandur (2013).

Istražujući i uspoređujući značajke srednjih skidera i adaptiranih poljoprivrednih traktora, Horvat i Sever (1995, 1996), Horvat (1996), Sever i Horvat (1997) te Horvat i dr. (2002) upotrebljavaju morfološku analizu.

Horvat i Kristić (1999) iznose prvu morfološku analizu prorednih traktorskih skupova (traktor s poluprikolicom i hidrauličkom dizalicom) kao polazište u traženju optimalnoga rješenja za nizinske šume.

Na Šumarskom fakultetu u Zagrebu morfološka je analiza upotrebljavana i za istraživanje drugih šumskih strojeva, pa je tako Koščak i dr. (1995) rabe za šumske sitnilice, Šušnjar (1998) za šumske iverače, Šušnjar i dr. 2007. koriste morfološku analizu za šumske hidraulične dizalice, te 2008. za raščlambu farmerskih vitala.

Horvat (2001) morfološkom analizom utvrđuje razlike između adaptiranih poljoprivrednih traktora s ugrađenim različitim izvedbama šumskih vitala.

Horvat i Šušnjar (2001a i 2001b) prikazuju razvoj morfoloških značajki poljoprivrednih traktora, zaključujući da dostignuta raznovrsnost njihove konstrukcije omogućava izbor pogodne inačice traktora za prilagodbu za šumske radove. Isti autori (2003) rabe morfološku analizu u dijelu analize pogodnosti opremanja uzgojnog traktora tzv. farmi izvedbama vitla.

Poršinsky i dr. (2008) i Zorić i dr. (2014b) pomoću morfološke analize prikazuju razvoj i utvrđuju razlike između različitih modela motornih pila lančanica.

Iz ovoga se kratkoga pregleda nekih dosadašnjih radova lako se da zapaziti kako je morfološka analiza značajna metoda u analizi pogodnosti šumskih vozila i drugih strojeva općenito.

Za ovo istraživanje preuzeta je baza podataka o kamionskim hidrauličnim dizalicama od Šušnjara i dr. (2007) te je nadopunjena novim modelima hidrauličnih dizalica koje se ugrađuju na ŠKS. Prilikom provedbe analize korištene su jednadžbe izjednačenja koje su također preuzete od Šušnjara i dr. (2007).

Baza koja je pripremljena za ovu morfološku analizu sastoji se od 178 tipova kamionskih hidrauličnih dizalica različitih proizvođača. Za analizu je izabrano šest parametara kojima su hidraulične dizalice opisane:

1. Bruto podizni moment – M_{bruto} , kNm;
2. Okretni moment – M_{okr} , kNm;
3. Masa – m , kg;
4. Doseg dizalice – L , m;
5. Radni tlak – p , bar;
6. Protok – Q , L/min.

Provedbom morfološke analize utvrditi će se položaj hidrauličke dizalice Epsilon Palfinger M110Z u obitelji šumskih kamionskih dizalica. Za provedbu analize korišten je statistički računalni program STATISTICA 8.

3.3. Mjerenje mase

Tijekom istraživanja masa je mjerena pomoću tri različita mjerna sustava. Sva četiri ŠKS koji su korišteni u istraživanju bili su opremljeni zračnim ovjesom (slika 30) i EBS-om (*Electronic brake system*) sustavom (slika 31), osim na prednjoj osovini, pomoću kojega je moguće mjeriti masu tovara. Drugi korišteni sustav je prijenosni mjerni sustav (slika 38) Laboratorija za tehničko tehnološka mjerenja u šumarstvu, dok je treći mjerni sustav bila kolna vaga (slika 45), koja je korištena kao kontrolni sustav.

Osovinska opterećenja mjerena su prilikom prijevoza dvije najzastupljenije vrste drva u području istraživanja, obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) i obična jela (*Abies alba* Mill.). Prilikom mjerenja korišteni su različiti tovari s obzirom na vrstu sortimenata koji se prevoze. Ukupno je za potrebe mjerenja osovinskog opterećenja izvagano 49 tovara.

Na osnovu izmjerenih osovinskih opterećenja s prijenosnim mjernim sustavom, uz upotrebu Mellgrenovog izraza za određivanje dodirne površine (1) izračunat će se dodirni tlak između kotača kamiona i površine ceste.

$$A = r \times b \quad (1)$$

Gdje je:

- ⇒ r – promjer kotača,
- ⇒ b – širina kotača.



Slika 30. Zračni ovjes ŠKS



Slika 31. Osnovna jedinica EBS-a

3.3.1. Prijenosni mjerni sustav

Prijenosni sustav se sastoji od četiri mjerne platforme DINI ARGEO WWSC (tablica 11). Maksimalno opterećenje pojedine vage u sustavu je 10 t. Svaka vaga je opremljena sa šest mjernih doza tipa SBX-1KL pojedinačnog maksimalnog opterećenja do 2,5 tona (slika 32, tablica 12). Mjerne doze su paralelno spojene u sabirnu kutiju koje se nalazi na svakoj pojedinoj vazi. Za potrebe ovog istraživanja prijenosni mjerni sustav je doraden na način da je kompatibilan s mjernim pojačalom SPIDER proizvođača Hottinger Baldwin Messtechnik GMBH te povezan s prijenosnim osobnim računalom a zajedno čine jedinstveni sustav za prikupljanje podataka (slika 33).

Tablica 11. Karakteristike mjerne platforme DINI ARGEO WWSC

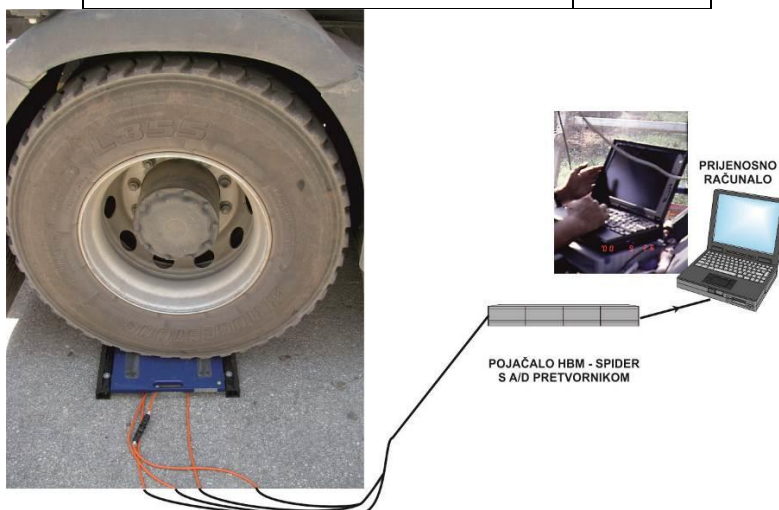
Dimenzije, D×Š×V, mm	500×511×58
Masa, kg	19,5
Mjerna površina, mm	500×400
Maksimalno opterećenje, t	10



Slika 32. Mjerna doza SBX-1KL (2500 kg)

Tablica 12. Karakteristike mjerne doze SBX-1KL

Klasa preciznosti	C 3
Maksimalno opterećenje, kg	2 500
Promjena napona, mV/V	2 ($\pm 0,5\%$)
Utjecaj temperature na točnost mjerenja, %/°C	0,002
Temperaturni raspon prilikom rada, °C	-20 – +60
Sigurnosno preopterećenje, %	150
Maksimalno preopterećenje, %	300

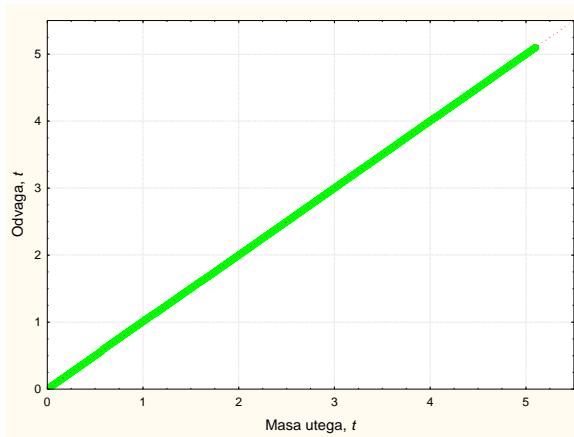


Slika 33. Prijenosni mjerni sustav

Točnost mjerenja prerađenog mjernog sustava je 1 kg. Prednost prerađenog mjernog sustava u usporedbi sa serijskim, osim veće točnosti mjerenja i mogućnosti veće količine prikupljanja podataka (frekvencija snimanja je 50Hz), je ta što se u isto vrijeme mogu pratiti mjerenja svake vage pojedinačno, te grafičkog prikaza mjerenja, a jednostavniji je način prikupljanja podataka, jer se prilikom mjerenja koristi specijalizirani program Catman, koji omogućava daljnju obradu podataka statističkim alatima. Za potrebe istraživanja prijenosni sustav vaga umjeren je pomoću certificiranog etalona za umjeravanje vaga (slika 34). Na slikama 35 do 38 prikazane su regresijske jednadžbe izjednačavanja podataka te koeficijentima korelacije umjeravanja vaga, a u tablici 13 prikazane su konstante za svaku pojedinu vagu u prijenosnom mjernom sustavu.

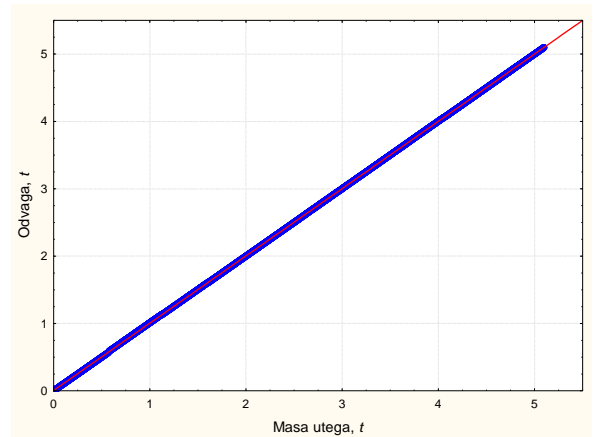


Slika 34. Umjeravanje prijenosnog mjernog sustava



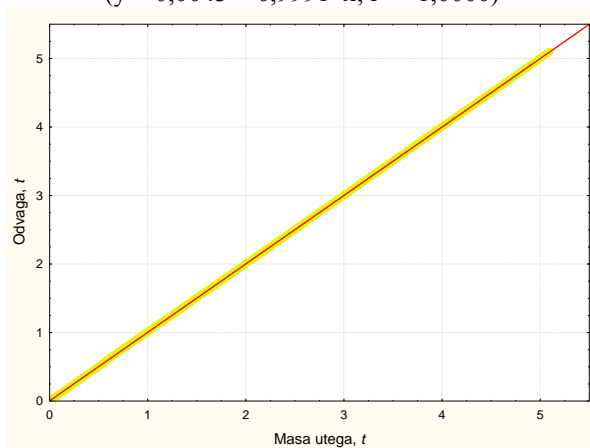
Slika 35. Umjeravanje vage 1

$$(y = 0,0043 + 0,9991 * x; r^2 = 1,0000)$$



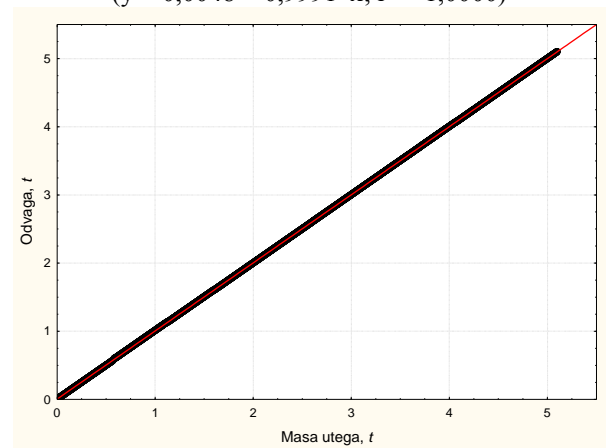
Slika 36. Umjeravanje vage 2

$$(y = 0,0048 + 0,9991 * x; r^2 = 1,0000)$$



Slika 37. Umjeravanje vage 3

$$(y = 0,0045 + 0,9991 * x; r^2 = 1,0000)$$



Slika 38. Umjeravanje vage 4

$$(y = 0,005 + 0,9991 * x; r^2 = 1,0000)$$

Tablica 13. Mjerne konstante DINI ARGEO WWSC vage u prijenosnom sustavu

Promjena napona mV/V	Mjerna vrijednost			
	Vaga 1	Vaga 2	Vaga 3	Vaga 4
0	0	0	0	0
1	7014	7007,5	6984,5	7009

3.3.2. Kamionski sustav za mjerenje mase

Kamionski sustav za mjerenje mase tovara i osovinskog opterećenja sastoji se od zračnog ovjesa kamiona i EBS sustava. Zračni ovjes može biti postavljen na sve osovine ŠKS (npr. Volvo) ili na sve osovine osim prve osovine kamiona (npr. MAN, IVECO, Scania) što je bio i slučaj u ovom istraživanju. Mjerenje mase tovara pomoću zračnog ovjesa radi na principu mjerenje promjene tlaka u zračnim jastucima, te na osnovu izmjerenih vrijednosti prikazuje koliko je pojedina osovina kamiona opterećena. Prije razvoja zračnog ovjesa za mjerenje mase

tovara koristile su se mjerni pretvornici kako to opisuje Pottie (1986) gdje su se podaci uz pomoć telemetrije prikazivali na ekranu u kabini kamiona. Nedostatak ovakvog načina mjerenja je taj što je kamion bilo potrebno opremiti mjernim pretvornicima i telemetrijskim sustavom, što je skup postupak, a s druge strane bilo je moguće odrediti samo ukupnu masu tovara, a ne i raspodjelu mase po osovina. Razvojem mjernog sustava uz upotrebu zračnog ovjesa te njihovom ugradnjom u kamione i prikolice počinje intenzivnije korištenje kamionskog mjernog sustava, čija je osnovna namjena mjerenje osovinskih opterećenja kako bi se kamionski sustavi što bolje iskoristili, a da s druge strane ne bi se kršili propisi o dozvoljenim osovinskim opterećenjima i ukupnoj masi kamiona. U početku njihove primjene korišteni su analogni mjerni sustavi, gdje se mjerila samo promjena tlaka u zračnim jastucima. Daljnjim razvojem tehnologije dolazi do razvoja elektroničkih sustava koji su u mogućnosti mjeriti osovinska opterećenja kamionskih sustava (ŠKS), te imaju mogućnost prikaza izmjerenih podataka u kabini vozila (slika 39), poput sustava, kojim su bili opremljeni kamioni u ovom istraživanju je EBS.

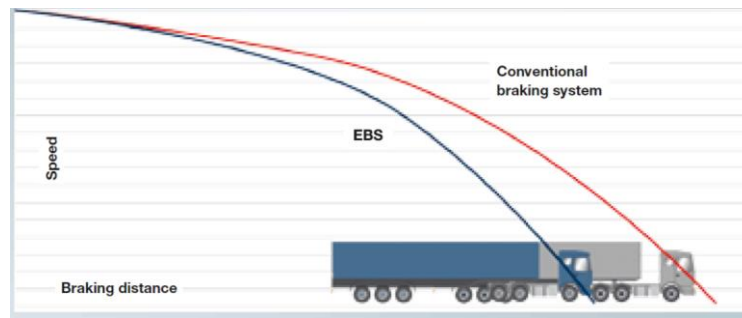


Slika 39. Prikaz izmjerenih osovinskih opterećenja u kabini kamiona

Electronic Brake system (EBS)

Osnovna namjena EBS sustava je bolja kontrola kočenja vozila, kako vučnog tako i vučenog. Njegove prednosti u odnosu na klasične pneumatske kočione sustave su:

- ⇒ povećana sigurnost zbog kraćeg vremena odaziva, što rezultira kraćim zaustavnim putem (slika 40)
- ⇒ pojednostavljena instalacija,
- ⇒ značajno smanjeni zahtjevi za održavanjem sustava.



Slika 40. Usporedba zaustavnog puta EBS-a i klasičnog pneumatskog kočionog sustava

Suprotno od pneumatski upravljanoj kočionog sustava, EBS zasebno nadzire tlak u kočionim cilindrima pri tome koristeći elektroniku. Aktiviranje papučice kočnice se pretvara u električni signal koji je prosljeđen do kontrolne jedinice. Koristeći podatke iz sustava jedinica proračunava optimalan tlak kočenja, osiguravajući da su sile kočenja ponajbolje raspodijeljene kroz sustav. Pojava električne greške može rezultirati prestankom funkcioniranja EBS jedinice. U tom slučaju jedinica nastavlja raditi kao dio konvencionalnog pneumatskog sustava kočenja. Kako bi se osiguralo da kočioni sustav i ostale sastavnice rade savršeno, EBS je opremljen opsežnim programom za podešavanje parametara (*Trailer manager*) i programom za analizu operativnih podataka vozila i prikolice (*Trailer analyser*) te unutarnjom memorijom u kojoj može bilježiti podatke za zadnjih 1000 putovanja.

Osnovne komponente EBS-a su:

- ⇒ EBS modulator (slika 31) – centralna jedinica sustava koja upravlja svim ostalim sastavnicama. Osigurava jednaku raspodjelu sile kočenja, mjeri osovinska opterećenja, bilježi podatke o putovanju, stanje ceste i vozila, upravlja visinom vučenog vozila na način da kontrolira tlak u zračnim jastucima.
- ⇒ Upravljački modul prikolice (TrCM) (slika 41) – ima više funkcija, a to su:
 - kočioni ventil u nuždi – omogućava ABS kočenje u slučaju puknuća cijevi za dobavu zraka, u slučaju gubitka tlaka u spremnicima zraka kočenje preuzimaju opruge u cilindrima,
 - kontrolni ventil – sprječava gubitak tlaka u spremnicima u slučaju puknuća instalacije,
 - predtlačni ventil – osigurava primarnu opskrbu zrakom kočionog sustava, te ga odvaja od ostalih potrošača (npr. zračni ovjes),

- ventil za brzo otpuštanje – premošćuje kočenje s otkapčanjem dobavne linije i automatski prebacuje u stanje za ponovno spajanje,
- parkirni ventil – aktivira parkirnu kočnicu.



Slika 41: Upravljački modul prikolice, TrCM

⇒ Ventil zračnog ovjesa (slika 42) – služi za kontrolu pritiska u jastucima u ovisnosti o opterećenju, održava visinu vozila jednakom neovisno o opterećenju i pomoću njega se izbjegava nestabilnost prikolice i tereta u zavojima. Iznad svake osovine je jedan ventil. Prikaz jednog ventila se može vidjeti na slici 42.



Slika 42: Ventil zračnog ovjesa

⇒ Dijagnostički ekran – služi za prikaz dijagnostike i specifičnih podataka prikolice, ima korisničko sučelje sa zaslonom i tri gumba za navigaciju izbornikom (slika 43), te prikazuje informacije o:

- ukupnom prijedenom putu (odometer),
- dva zasebna mjerenja puta (npr. 1.-udaljenost jednog puta, 2.-put prijeđen u određenom vremenskom razdoblju),
- maksimalno 8 dijagnostičkih grešaka ako postoje,

- trenutnoj konfiguraciji sustava.

Dijagnostički ekran (*Trailer monitor*) ima servisnu lampicu i prikazuje koliko kilometara je potrebno odvoziti do sljedećeg servisa. Također ima mogućnost namještanja servisnog intervala (u vremenskom razdoblju ili prijeđeni km), datuma te informacija koje će biti prikazane na početnom zaslonu (kilometraža, masa). Za ovo istraživanje najvažnija je mogućnost testiranja trenutne mase u postocima ili u kg te očitavanja tlaka u zračnom ovjesu.



Slika 43. Dijagnostički ekran

3.3.3. Kolna vaga

Kontrolna mjerenja su rađena pomoću kolnih vaga na dva lokaliteta gdje su provođena mjerenja (Fužine i Žuta Lokva). Kolne vage su duljine 20 m, širine 3 m, ukupne nosivost 50 t (slika 45). Zastupljeni su isti principi mjerne tehnike kao i u prije opisanom mjernom sustavu. Kolna se vaga oslanja na osam neovisnih mjernih doza (RC 3) (slika 44) povezanih na zajedničko pojačalo te analogno/digitalni konverter spojen na osobno računalo. Čitav je mjerni sustav, kao i prethodni, u stvari sustav za prikupljanje podataka. Vaga je kontrolirana i umjerena od strane ovlaštene ustanove. U tablici 14 prikazane su karakteristike mjernih doza kojima su opremljene kolne vage na kojima su rađena kontrolna mjerenja.

Tablica 14. Karakteristike mjerne doze RC 3

Klasa preciznosti	C 3
Maksimalno opterećenje, t	30
Promjena napona, mV/V	2 ($\pm 0,1\%$)
Utjecaj temperature na točnost mjerenja, %/°C	0,01
Temperaturni raspon prilikom rada, °C	-40 – +80
Sigurnosno preopterećenje, %	200
Maksimalno preopterećenje, %	300



Slika 44. RC 3 mjerna doza



Slika 45. Kolna vaga za obavljanje kontrolnih mjerenja

3.4. Daljinsko praćenje rada šumskih kamionskih skupova

Energijsku pogodnost daljinskog prijevoza drva kamionima odredit će se pomoću podataka koji će se prikupljati pomoću komercijalnog Fleet Management sustava (FMS-a). Parametri koji će se prikupljati FMS-om su:

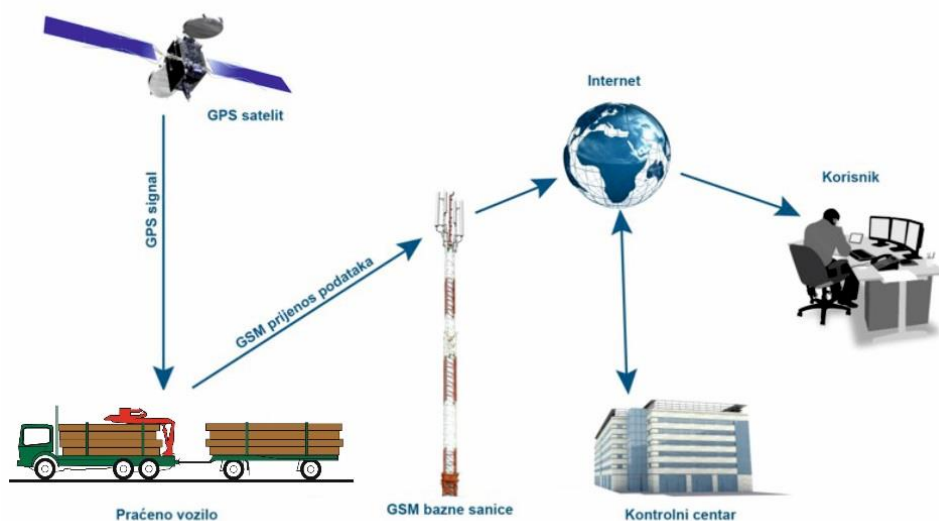
- ⇒ GPS koordinate vozila;
- ⇒ Brzine kretanja;
- ⇒ Ukupna potrošnja goriva;
- ⇒ Prosječna potrošnja goriva (L/100km);
- ⇒ Vrijeme rada hidrauličke dizalice;

⇒ Broj okretaja pogonskog motora.

Na temelju prikupljenih podataka će se izračunavati jedinična potrošnja goriva L/m^3 te trenutna potrošnja goriva. Osim jedinične i trenutne potrošnje goriva izračunavat će se potrošnja goriva tijekom rada hidraulične dizalice, na temelju ukupne potrošnje goriva i vremena rada hidraulične dizalice kako bi se na osnovu dobivenih rezultata mogli uvidjeti energijske potrebe za rad dizalice, a sa svrhom određivanja mogućnosti korištenja alternativnih izvora energije za pogon hidraulične dizalice. Izračunavat će se i potrošnja goriva s obzirom na vrstu kolničke konstrukcije šumske ceste, s obzirom na broj okretaja pogonskog motora, i s obzirom na uzdužni nagib šumske ceste.

3.4.1. Sustav daljinskog praćenja

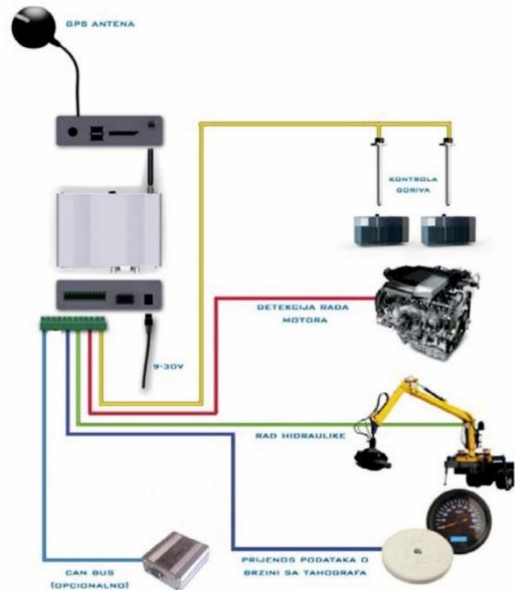
Kamioni na kojima su obavljena istraživanja opremljeni su mobilnom jedinicom MOBILISIS TRACKER 0021, za daljinsko praćenje rada vozila, te su uključeni u sustav daljinskog praćenja rada vozila. FMS se sastoji od hardverskih i softverskih sastavnica koje omogućuju dvosmjernu komunikaciju između vozača i korisničkog (logističkog) centra. Osnovne sastavnice FMS-a prikazane su na slici 46. Na osnovu podataka koje prikuplja mobilna jedinica te koji se spremaju na server korisnik (vlasnik vozila) može donositi odluke o izboru optimalne rute za prijevoz drva, također kontinuirano pratiti rad vozila te izdavati digitalne radne naloge. Osnovna sastavnica svakog FMS sustava je mobilna jedinica koja, osim određivanja položaja vozila, ima i mogućnost preko različitih senzora prikupljati i slati krajnjem korisniku različite podatke o radu vozila. Mobilna jedinica koja je korištena u istraživanju prikazana je na slici 47, dok su na slici 48 prikazane osnovne sastavnice mobilne jedinice.



Slika 46. Osnovne komponente sustava za daljinsko praćenje vozila (FMS-a)



Slika 47. Mobilis TRACKER 0021

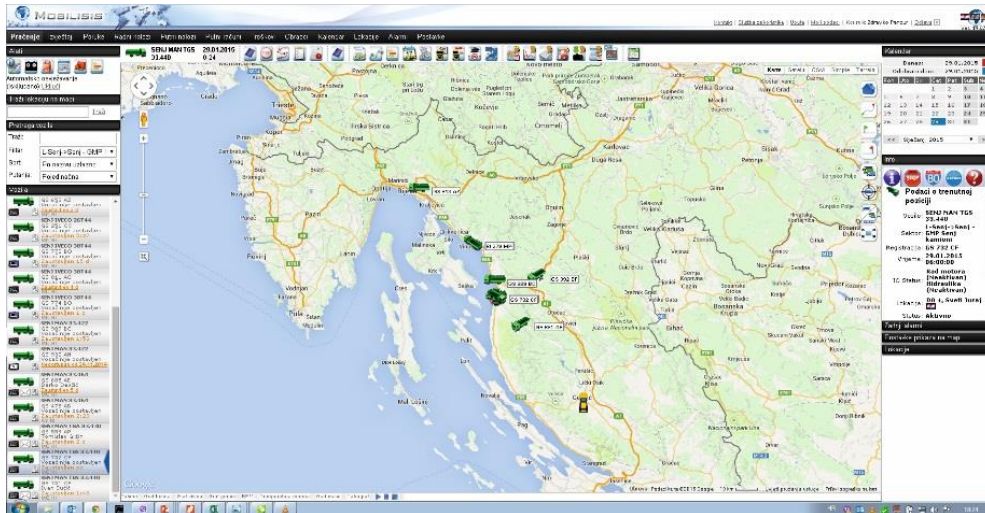


Slika 48. Osnovne komponente mobilne jedinice

Svi podaci koji se prikupljaju pomoću mobilne jedinice i dodatnih senzora putem GSM (GPRS) prijenosa podataka se šalju na internet, te spremaju na server. Na osnovu prikupljenih podataka formiraju se izvještaji (slika 49) do kojih korisnik dolazi preko računalnog sučelja (slika 50). Za računalno sučelje nije potrebna instalacija, svi su podaci vidljivi na web stranici s koje je omogućen pristup standardnim izvještajima o praćenju vozila, administracija lokacija / vozača / korisnika, izvještaji potrošnje goriva, izvještaji putanja, putni računi, greške itd. Svi podaci su zaštićeni lozinkom. Izvještaji krajnjem korisniku služe kao osnova za analizu učinaka, potrošnje goriva te kretanja vozila. Ukoliko se, vozilo koje se prati ne nalazi u području GSM signala podaci se spremaju u internu memoriju mobilne jedinice, te se prilikom ulaska vozila u područje GSM signala šalju na server. Korištenjem FMS sustava korisnik ima mogućnost praćenja vozila u realnom vremenu.

Id	Time	Speed	Engine	Fuel	Hydraulic	...
1	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
2	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
3	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
4	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
5	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
6	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
7	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
8	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
9	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
10	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
11	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
12	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
13	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
14	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
15	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
16	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
17	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
18	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
19	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
20	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
21	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
22	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
23	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
24	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
25	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
26	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
27	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
28	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
29	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
30	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
31	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
32	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
33	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
34	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
35	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
36	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
37	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
38	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
39	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
40	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
41	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
42	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
43	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
44	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
45	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
46	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
47	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
48	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
49	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...
50	12.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	...

Slika 49. Prikaz izvještaja o radu vozila



Slika 50. Korisničko sučelje FMS-a

3.4.1.1 Mobilisis TRACKER 0021

Mobilisis modul (TRACKER) za praćenje pogodan je za instaliranje u sve tipove vozila. Koristi se za kompleksnu kontrolu/praćenje vozila. Uređaj ima 4 serijska ulaza. Također uključuje RS485 industrijsku komunikaciju za različite senzore, čitače kartica, LED zaslone te mjerače razine goriva. Uređaj ima konektor za GPS antenu. Jednostavna instalacija uređaja u vozila te čvrsto aluminijsko kućište odlični su za širok spektar korisnika. Uređaj je spreman za instalaciju na 12V i 24V. Uređaj se sastoji od modula i konektora na koji se spajaju senzori za praćenje različitih parametara vozila. U tablici 15 su prikazane opće karakteristike modula.

Tablica 15. Opće karakteristike modula Mobilisis TRACKER 0021 (Izvor: Anon 2015b)

Dimenzije	73 x 108.5 x 30.5 mm (bez konektora)
Težina	cca 120 grama
Kućište	Aluminijski profil
Raspon radnog napona	5.5 V do 32 V DC
Konektor antene	Goldplated SMA
Raspon frekvencije antene	Quad-band GSM 850/GSM900/DCS1800/PCS1900 MHz
GPRS	Klasa 10
GPS	SiRFstar III GPS chipset za laku (nevidljivu) GPS instalaciju

Značajke modula:

- ⇒ Visoka osjetljivost satelitske navigacije (20 kanalni SiRFStarIII GPS);
- ⇒ Komunikacija preko Quad Band GSM (SMS, glas, podaci, GPRS, TCP/IP, E-pošta);
- ⇒ Pametno slanje koordinata;
- ⇒ Pametna konekcija na mrežu (dopuštaju se određene mreže);
- ⇒ Opcija spavanje (SLEEP) kako bi se smanjila potrošnja energije;
- ⇒ 30 dana spremanja podataka ako konekcija nije dostupna;
- ⇒ Uzimanje uzorka geografskih koordinata i brzine vozila svakih 5 sekundi;

- ⇒ GeoFencing;
- ⇒ Akcelerometar po tri osi detekcije;
- ⇒ GPRS/SMS dijagnostika;
- ⇒ Optimiziran GPRS promet (cca 3 MB/mjesec), optimizirano u roaming-u;
- ⇒ Mogućnost uključivanja/isključivanja roaming-a;
- ⇒ Prepoznavanje sabotáže;
- ⇒ Daljinska administracija i nadogradnja programa;
- ⇒ Sigurnost vozila – ako je alarm aktiviran uređaj će poslati poruku pri pomaku vozila.

Značajke konektora:

- ⇒ 4 Serijska porta + 1 RS485 port:
 - RS232 - Kontroler posipavanja;
 - RS232 - GPS antena;
 - RS232 - CANbus adapter;
 - RS232 - Po potrebi;
 - RS485 - Industrijska komunikacija, neograničen broj ulaza / izlaza putem RS485 modula;
- ⇒ Napajanje (5.5-32V) - 4 pinski Molex;
- ⇒ 4 Analogna ulaza;
- ⇒ 4 Digitalna ulaza – (Kontakt akumulatora i sl.);
- ⇒ 4 Digitalna izlaza – (Svjetla i sl.);
- ⇒ LED;
- ⇒ Čitač SIM kartice za 1,8/3 V SIM kartice;

3.4.1.2. Sonda za mjerenje razine goriva

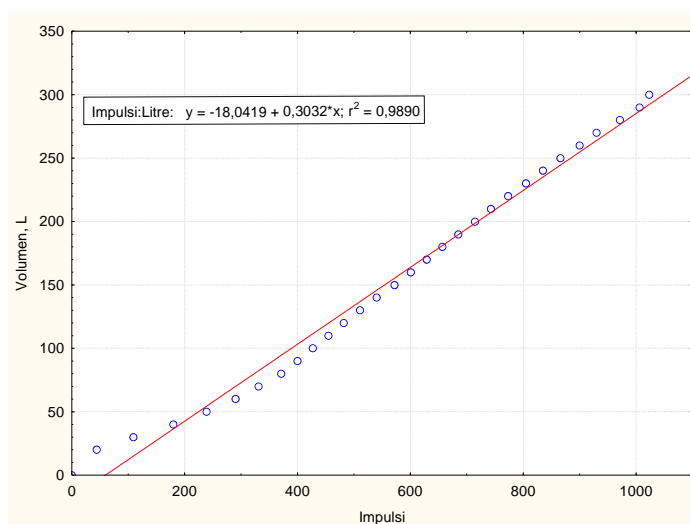
Za mjerenje razine goriva u spremniku kamiona korištena je sonda LLS-20160 (slika 51), koja služi za mjerenje dizel goriva. To je kapacitivni senzor bez pokretnih dijelova. Ima digitalni izlaz (RS485 sučelje). Elektroničke sastavnice senzora su uronjene u elastično kućište koje osigurava maksimalnu zaštitu za okolinu (IP66). Ima robusno aluminijsko kućište. Senzor je prilagodljiv na visinu spremnika. Može biti odrezan na bilo koju dužinu sa automatskom kalibracijom. Značajke sonde su prikazane u tablici 16. Na slici 52 prikazan je dijagram umjeravanje sonde.



Tablica 16. Značajke sonde LLS-20160

Dimenzije	Dimenzije L x 70 x 70 mm (bez konektora)
Izlaz	Izlaz Digitalni RS485
Maksimalna trenutna potrošnja (mA)	30
Visina mjerenja (mm)	od 180 do 3000 (ovisno o dubini spremnika za gorivo)
Napajanje (V)	6 do 36
Operativno vrijeme	neograničeno
Greška mjerenja (% od duljine sonde)	+/- 0,1
Radna temperatura (°C)	-40 do +55
Izlazna ograničenja, prazno/puno	0-100 %
Klasa zaštite	IP 66

Slika 51. Sonda LLS-20160



Slika 52. Dijagram umjeravanja sonde za mjerenje razine goriva

3.4.1.3 CAN modul

CAN (engl. *Controller Area Network*) je računalni mrežni protokol građen tako da omogućuje mikrokontrolerima i uređajima da međusobno komuniciraju i bez glavnog računala. Dizajniran je specijalno za vozila, ali danas se koristi i u drugim područjima.

CAN modul (slika 53) je specijalizirani uređaj koji služi za prikupljanje podataka s računala vozila, a bio je postavljen na dva kamiona koja su sudjelovala u istraživanju. Uređaj se pomoću bezkontaktnog konektora spaja s računalom vozila s kojega na FMS modul šalje dostupne podatke. Vrsta podataka koju je moguće prikupljati s CAN modulom ovisi o proizvođaču vozila, odnosno o njegovom dopuštenju.

S istraživanih ŠKS pomoću CAN modula je moguće prikupiti podatke o:

- | | |
|---------------------------------------|---|
| ⇒ vremenu (hh:mm:ss); | ⇒ okretnom momentu (% od maksimuma); |
| ⇒ stanju brojčanika; | ⇒ poziciji papučice gasa (%); |
| ⇒ udaljenosti od zadnjeg servisa; | ⇒ temperaturi motora (°C); |
| ⇒ brzini kretanja; | ⇒ turbo pritisku (bar); |
| ⇒ ukupnoj potrošnji goriva; | ⇒ opterećenju pogonske osovine (kg); |
| ⇒ razini goriva u spremniku; | ⇒ ukupnom vremenu vožnje (hh:mm); |
| ⇒ ukupnom broj radnih sati; | ⇒ stajanju s upaljenim motorom (hh:mm); |
| ⇒ potrošnji goriva u slobodnom hodu; | ⇒ broju pritisaka kočnice; |
| ⇒ broju okretaja motora (RPM); | ⇒ broju pritisaka kvačila. |

*Bold stilom su označeni parametri koji su korišteni u istraživanju



Slika 53. CAN modul korišten u istraživanju

3.5. Procjena stanja kolničke konstrukcije šumskih cesta

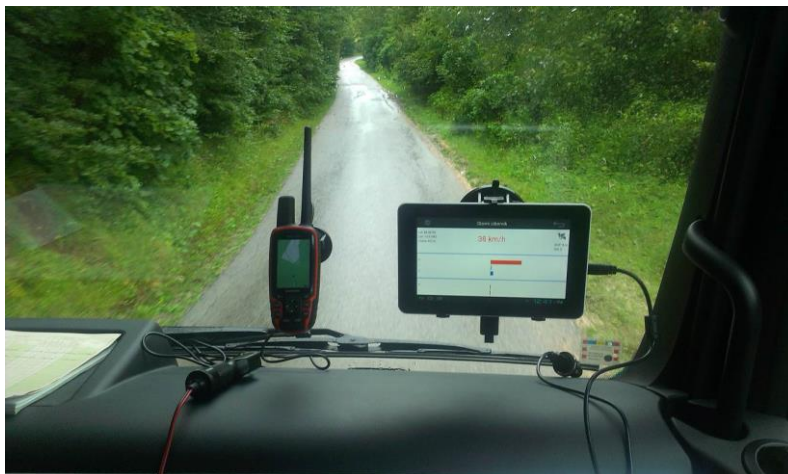
Procjena stanja gornjeg stroja šumskih cesta obavljena je pomoću mjerenja vibracija. Vibracije su se mjerile pomoću tableta Huawei MediaPad 7 Lite s ugrađenim troosnim akcelerometrom MMA8452Q (tablica 17) i za istraživanje posebno razvijene aplikacije za Android platformu. Prilikom mjerenja tablet je postavljen u kabinu kamionskog skupa, na način prikazan na slici 54. Ovakav mjerni sustav je korišten zbog niske nabavne cijene, brzine mjerenja i načina prikupljanja podataka. Naime, prilikom mjerenja vibracija cilj je bio izmjeriti relativne vrijednosti vibracija, odnosno njihovu promjenu s obzirom na promjenu stanja kolničkog zastora šumske ceste i s obzirom na promjenu stanja gornjeg stroja šumske ceste. Osim navedenog, istražen je utjecaj različitih vozila, različitih brzina kretanja (20, 40 i 60 km/h) te različitih tlakova guma (2, 2,5 i 3 bara) na vrijednosti vibracija. Navedeno mjerenje je obavljeno vozilima Lada Niva i Toyota Auris, na dionici šumske ceste u NPŠO Zalesina u duljini od 100 metara.

Podaci koji se mjere pomoću aplikacije su:

- ⇒ vibracije u sve tri osi (x, y, z);
- ⇒ lokaciju vozila (GPS koordinate);
- ⇒ brzina, km/h;
- ⇒ broj satelita;
- ⇒ greška položaja (DOP), m;
- ⇒ uzdužni nagib ceste između dvije snimljene točke, °;
- ⇒ prijeđeni put između dvije snimljene točke, m.

Tablica 17. Tehničke značajke akcelerometra MMA8452Q (Izvor: Anon 2015b)

Raspon mjerenja, m/s^2	$\pm 39,24$
Osjetljivost, jedinica/ (m/s^2)	51,19
Odstupanje osjetljivosti, %	$\pm 2,64$
Promjena osjetljivosti s obzirom na temperaturu, $\%/^{\circ}C$	$\pm 0,008$
Točnost, m/s^2	$\pm 0,2$
Promjena točnosti s obzirom na temperaturu, $(m/s^2)/^{\circ}C$	$\pm 0,0015$
Raspon radne temperature, $^{\circ}C$	$-40^{\circ}C - 85^{\circ}C$
Raspon frekvencija snimanja podataka, Hz	1,56 – 800



Slika 54. Mjerenje vibracija

Vibracije su mjerene u sve tri osi (x, y, z) dok su se za prikaz rezultata koristili suma vrednovanih ubrzanja WAS. Tijekom mjerenja frekvencija snimanja vibracija je bila 10 Hz, dok je frekvencija snimanja GPS koordinata bila 1 Hz. Sva mjerenja su rađena u realnom vremenu. Prikupljeni podaci su sortirani u bazu podataka u MS Excel, dok je za grafički prikaz podataka korišten računalni program ArcGIS 9.3. Prilikom rada u GIS-u, snimljene koordinate

bilo je potrebno transformirati iz WGS 84 sustava u Gauss-Krüger koordinatni sustav, u zonu 5, iz razloga što su vektorski podaci koji su korišteni kao podloga za izradu grafičkog prikaza, bili dostupni u navedenom koordinatnom sustavu. Za podlogu je korišten katastar prometnica UŠP Senj, na čijem se području provodilo mjerenje.

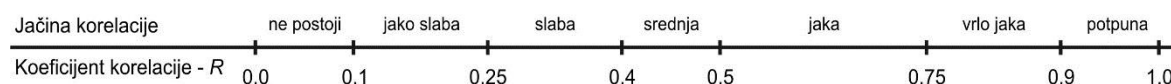
3.6. Statistička obrada podataka

Podaci s terena uneseni su u tablice radi lakšeg kasnijeg konfiguriranja u svrhu njihove statističke obrade. Programski paket korišten za stvaranje baze podataka bio je Microsoft Office Excel 2007, a statistička obrada podataka provedena je u programskom paketu StatSoft STATISTICA 8.

Kod opisa temeljnih značajki skupova promatranih podataka (neovisne varijable) korištena je deskriptivna statistika, gdje su izračunate različite mjere središnje tendencije rasipanja mjernih podataka, a kao najpovoljnije odabrane su medijan i aritmetička sredina sa standardnom devijacijom kao mjerom rasipanja te vrijednosti. U svrhu prikazivanja varijabilnosti izmjerenih podataka korišten je koeficijent varijacije kao relativna mjera varijabilnosti. U većini slučajeva korišten je medijan kao mjera centralne tendencije iz razloga što bolje opisuje srednju (položajnu) vrijednost u slučaju kada raspored podataka nije raspoređen po normalnoj (binomnoj) distribuciji.

U svrhu donošenja zaključaka o značajnosti razlike između dva nezavisna skupa podataka korišten je test razlike ili Studentov t – test, uz razinu značajnosti od 5 % ($p < 0,05$). U slučaju ispitivanja razlike između tri i više nezavisnih varijabli korištena je jednostruka analiza varijance (ANOVA), a za utvrđivanje različitosti pojedinih skupova korišten je Tukey HSD post – hoc test, uz razinu značajnosti od 5 % ($p < 0,01$).

Kod istraživanja mogućih stohastičkih ovisnosti između zadovoljavajuće koreliranih varijabli korištena je regresijska analiza. Odabir krivulje izjednačenja proveden je na osnovu koeficijenta (determinacije) korelacije (R), t – varijable (t.Stat) i vjerojatnosti greške prve vrste (p – value) te regresijskih koeficijenata. U svrhu utvrđivanja jakosti veze između izjednačenih nezavisnih i zavisnih varijabli korištena je Römer – Orphalova skala (slika 55).



Slika 55. Römer – Orphalova raspodjela.

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Morfološka analiza

Prilikom odabira hidrauličnih dizalica za ugradnju na ŠKS treba se voditi sljedećim kriterijima: intenzitet rada u jednom danu i veličina prosječnog opterećenja (Morović 1986). Šušnjar i dr. (2007) provedbom morfološke analize hidrauličnih dizalica koje se koriste u šumarstvu zaključuju da se hidraulične dizalice za potrebe šumarstva dijele na osnovu vozila na koja se ugrađuju. Provedenom morfološkom analizom obuhvaćeno je 178 različitih hidrauličnih dizalica koje se ugrađuju na šumske kamionske skupove, 86 starih dizalica (podaci iz 2007.) i 92 nove dizalice (podaci iz 2015.). U tablici 18 prikazana je deskriptivna statistika za sve dizalice koje su obuhvaćene morfološkom analizom. Iz tablice je vidljivo da stare hidraulične dizalice imaju veći bruto podizni moment, okretni moment i neto podizni moment nego nove hidraulične dizalice, dok je doseg, masa, radni tlak i količina protoka manja kod starih dizalica nego kod novih.

Tablica 18. Deskriptivna statistika istraživanih značajki hidrauličnih dizalica

	Veličina	Jedinica	Aritmetička sredina	Medijan	Min.	Maks.	Varijanca	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije
Stare dizalice	M_{bruto}	kNm	141,8	130,1	37,0	250,0	3076,5	55,46	39,10
	M_{okr}		28,4	27,4	7,1	42,4	69,8	8,35	29,33
	M_{neto}		133,7	108,0	27,5	251,2	3796,6	61,61	46,08
	L	m	8,3	8,1	5,7	10,5	1,1	1,06	12,71
	m	kg	2163,2	2150,0	950,0	3590,0	304473,2	551,79	25,50
	p	kPa	247,6	250,0	175,0	360,0	796,3	28,21	11,39
	Q	L/min	70,4	70,0	25,0	100,0	161,4	12,70	18,04
Nove dizalice	M_{bruto}	kNm	136,3	129,0	36,0	284,0	3498,7	59,14	43,37
	M_{okr}		26,4	26,0	6,0	44,0	56,2	7,49	28,39
	M_{neto}		94,5	102,0	60,0	110,0	246,3	15,69	16,59
	L	m	8,4	8,2	6,0	10,5	0,9	0,95	11,21
	m	kg	2192,4	2170,0	970,0	3520,0	216091,5	464,84	21,20
	p	kPa	250,3	255,0	190,0	310,0	635,6	25,21	10,07
	Q	L/min	93,9	80,0	30,0	180,0	1333,1	36,51	38,85
SVE	M_{bruto}	kNm	139,0	129,2	36,0	284,0	3284	57,30	41,22
	M_{okr}		27,4	26,7	6,0	44,0	64	7,97	29,07
	M_{neto}		126,0	103,0	27,5	251,2	3329	57,69	45,78
	L	m	8,4	8,2	5,7	10,5	1	1,01	11,93
	m	kg	2178,3	2165,0	950,0	3590,0	257528	507,47	23,29
	p	kPa	249,0	250,0	175,0	360,0	711	26,66	10,70
	Q	L/min	82,6	80,0	25,0	180,0	902	30,04	36,37

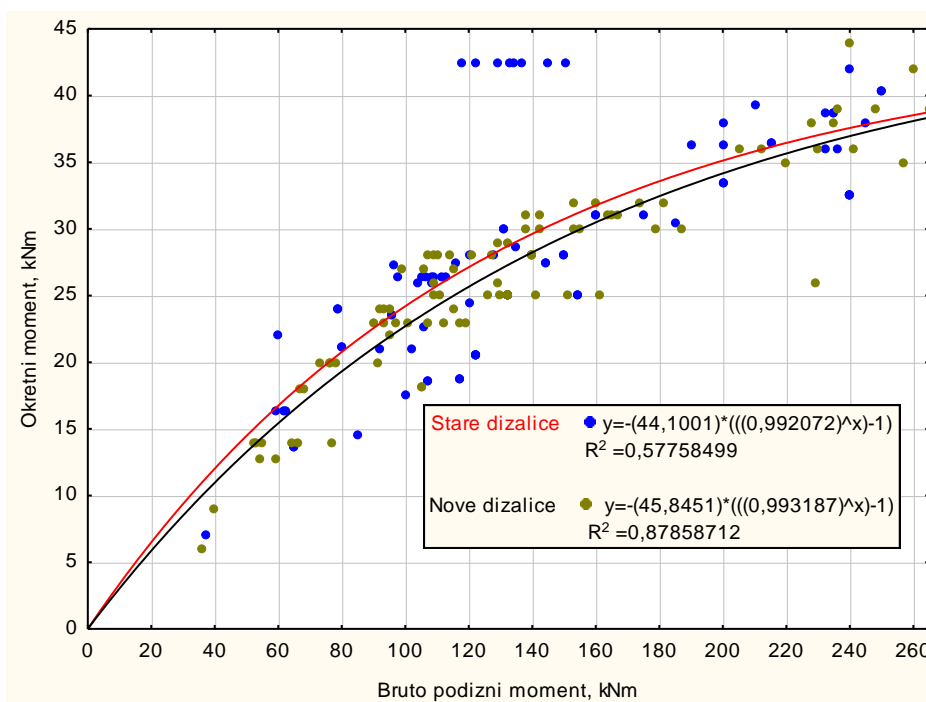
Na slici 56 prikazana je usporedba ovisnosti okretnog momenta dizalice o bruto podiznom momentu dizalice između novih i starih dizalica. Na temelju vrijednosti indeksa korelacije korištenih modela izjednačenja te provedene analize varijance, vidljivo je da korišteni modeli, na temelju Römer – Orphalova skale, imaju jaku povezanost (stare dizalice), odnosno vrlo jaku povezanost s podacima. Na temelju rezultata analize varijance korištenih modela nove dizalice

($F(2; 90) = 4972,898$; $p < 0,001$), stare dizalice ($F(2; 84) = 1226,385$; $p < 0,001$) utvrđeno je da se korišteni modeli s značajnom sigurnošću mogu koristiti prilikom izražavanja ovisnosti okretnog momenta dizalice o bruto podiznom momentu dizalice. U tablici 19 prikazani su podaci statističke analize parametara koji su korišteni u modelima za izjednačavanje ovisnosti okretnog momenta dizalice o bruto podiznom momentu dizalice, iz navedene tablice vidljivo je da korišteni parametri iskazuju značajnosti te se mogu koristiti za opis cijele populacije hidrauličkih kamionskih dizalica.

Tablica 19. Statistička analiza parametara korištenih u matematičkim modelima za izjednačavanje ovisnosti okretnog momenta o bruto podiznom momentu

		Procijena	Standardna greška	t-vrijednost - ss = 84	p
Stare dizalice	a	44,10006	3,551524	12,4172	0,001
	b	0,99207	0,001232	804,9638	0,001
Nove dizalice	a	45,84514	2,007275	22,839	0,001
	b	0,99319	0,000524	1896,163	0,001

Nadalje, iz slike 56 vidljivo je da su stare dizalice uz isti bruto podizni moment imale u prosjeku za 7,5% veći okretni moment, iako nove hidraulične dizalice imaju veći raspon kako podiznog tako i okretnog momenta. Osim navedenog, iz slike 56 moguće je primijetiti izdvajanje grupe dizalica, negdje oko srednje vrijednosti bruto podiznog momenta, ali s izrazito velikim okretnim momentom. Karakteristično za tu grupu dizalica je da se one zbog svojih karakteristika ugrađuju na tegljačke kamionske skupove (slika 57) ili na „biling“ kamionske sustave, koji su namijenjeni za prijevoz sortimenata većih duljina.



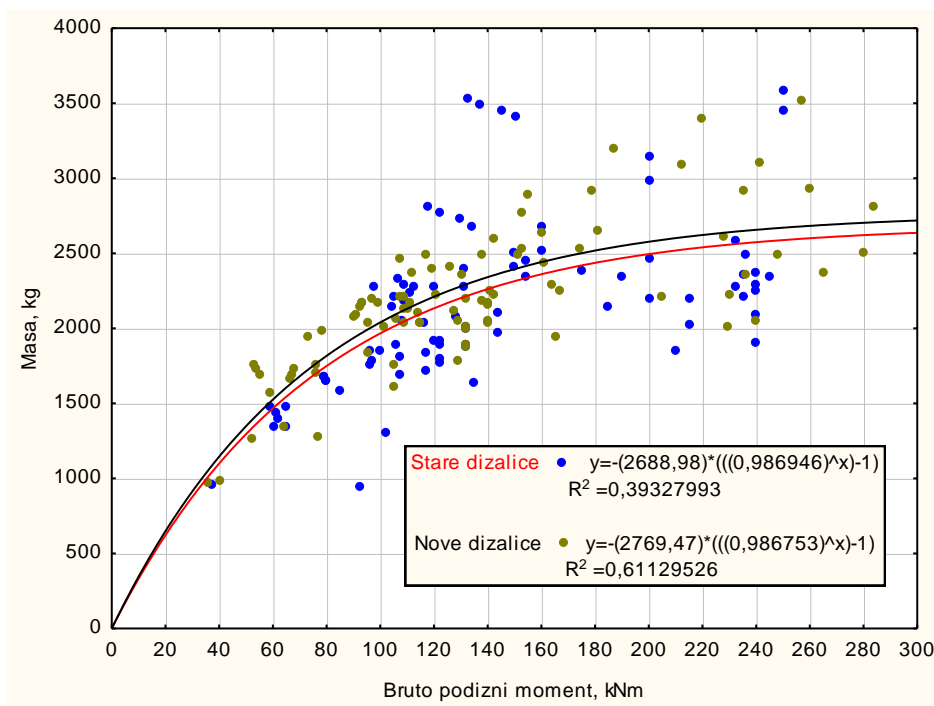
Slika 56. Ovisnost okretnog momenta o bruto podiznom momentu



Slika 57. Šumski tegljački kamionski skup

Na slici 58 prikazana je ovisnost mase o bruto podiznom momentu, iz koje je vidljivo da u prosjeku nove dizalice imaju, uz isti bruto podizni moment, 1,2% veću masu nego stare dizalice. Ovakav rezultat nije očekivan zbog pretpostavke da su nove dizalice građene od lakših materijala nego stare dizalice. Objašnjenje za ovakav rezultat je to što nove hidraulične dizalice imaju manji raspon masa nego stare hidraulične dizalice, odnosno imaju manju standardnu devijaciju i manji koeficijent varijacije od starih hidrauličnih dizalica, što je vidljivo u tablici 18. Osim navedenog razlog nešto veće mase novih hidrauličnih dizalica može biti način konstrukcije koji za cilj ima povećanje sigurnosti operatera koji upravlja dizalicom. Ovaj odnos je izrazito bitan kod izbora utovarne naprave prilikom opremanja kamiona šumarskom nadogradnjom, jer dizalica svojom masom direktno utječe na korisnu nosivost šumskog kamionskog skupa.

Provedenom statističkom analizom utvrđeni su indeksi korelacije za korištene modele, te je kod starih dizalica utvrđena slaba povezanost korištenog modela i skupa podataka, dok je kod novih dizalica utvrđena jaka ovisnost korištenog modela i skupa podataka. Analizom varijance korištenih modela za nove dizalice ($F(2; 90) = 2674,278; p < 0,001$) i stare dizalice ($F(2; 84) = 1103,661; p < 0,001$) utvrđeno je da su korišteni modeli značajni za opis cijele populacije podataka. U tablici 20 prikazani su parametri korištenih modela, koji kao i modeli, iskazuju značajnost za cijelu populaciju podataka.



Slika 58. Ovisnost mase o bruto podiznom momentu

Tablica 20. Statistička analiza parametara korištenih u matematičkim modelima za izjednačavanje ovisnosti mase o bruto podiznom momentu

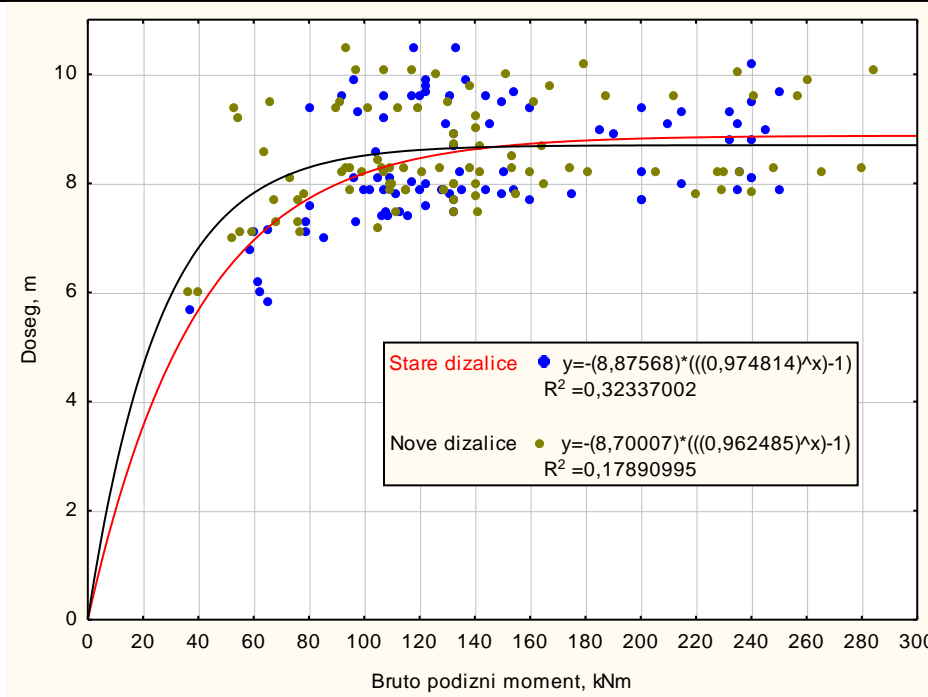
		Procijenjena	Standardna greška	t-vrijednost - ss = 84	p
Stare dizalice	a	2688,980	144,9671	18,5489	0,001
	b	0,987	0,0019	507,3785	0,001
Nove dizalice	a	2769,468	92,58253	29,9135	0,001
	b	0,987	0,00119	826,9185	0,001

Na slici 59 prikazana je ovisnost doseg dizalice o bruto podiznom momentu dizalice. Iz slike 59 je vidljivo da nove dizalice do bruto podiznog momentom od 140 kNm imaju veći doseg nego stare dizalice s istim podiznim momentom, dok iznad vrijednosti bruto podiznog momenta iznad 140 kNm stare dizalice imaju nešto veći doseg. Nove hidraulične dizalice u prosjeku imaju za 1,2% veći doseg nego stare dizalice. Također, kao i kod prethodne analize, i kod analize ovog odnosa bitno je naglasiti kako nove dizalice imaju manju standardnu devijaciju te manji koeficijent varijacije (tablica 18) što također utječe na dobiveni rezultat. Opremanje ŠKS-a kamionskom hidrauličnom dizalicom većeg doseg omogućit će brži utovar ŠKS prilikom rada u brdskim i brdsko planinskim područjima, gdje na pomoćnim stovarištima drvni sortimenti često nisu uhrpani i podijeljeni po klasama kakvoće, zbog čega je potrebno kamion premještati više puta kako bi se optimalno natovarilo ŠKS.

Statističkom analizom navedene ovisnosti utvrđeni su indeksi korelacije s jako slabom povezanosti (nove dizalice) te slabom povezanosti (stare dizalice). Unatoč tome, analizom varijance korištenih modela utvrđena je njihova značajnost kako za nove dizalice ($F(2; 90) = 3313,366$; $p < 0,001$) tako i za stare dizalice ($F(2; 84) = 3034,162$; $p < 0,001$), također je utvrđena značajnost parametara koji su uvršteni u korištene modele (tablica 21).

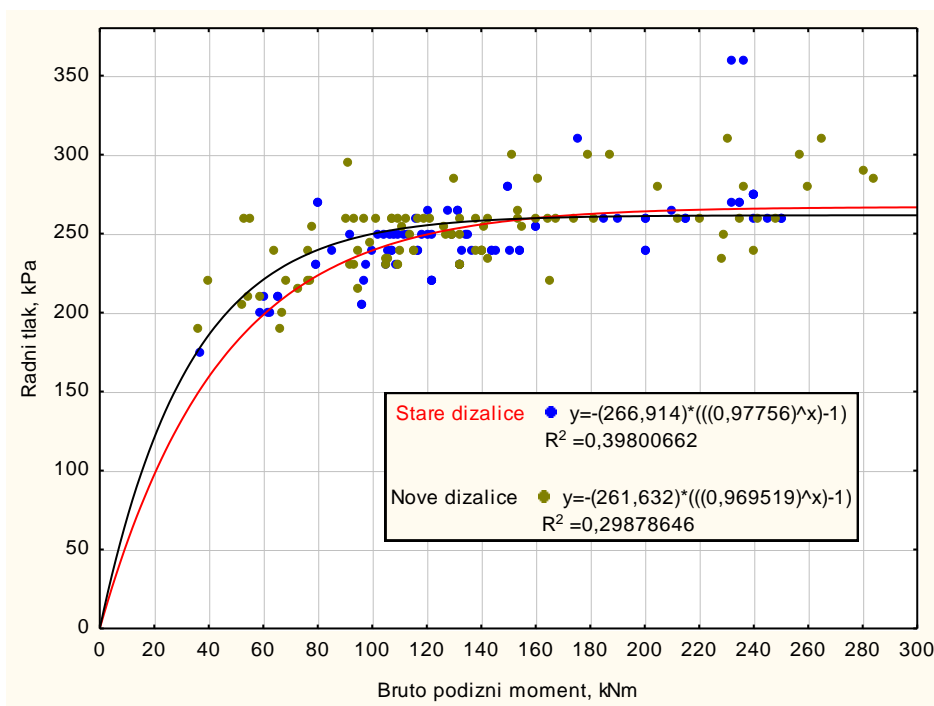
Tablica 21. Statistička analiza parametara korištenih u matematičkim modelima za izjednačavanje ovisnosti doseg dizalice (L) o bruto podiznom momentu dizalice

		Procijena	Standardna greška	t-vrijednost - ss = 84	p
Stare dizalice	a	8,875682	0,160337	55,3565	0,001
	b	0,974814	0,002640	369,3159	0,001
Nove dizalice	a	8,700068	0,117750	73,8857	0,001
	b	0,962485	0,004578	210,2330	0,001



Slika 59. Ovisnost dosega o bruto podiznom momentu dizalice

Na slici 60 prikazana je ovisnost radnog tlaka, koji je potreban za pogon hidraulične dizalice, o bruto podiznom momentu. Iz slike je vidljivo da je za pogon novih hidrauličnih dizalica potreban nešto veći radni tlak nego kod starih hidrauličnih dizalica, u prosjeku za 1%. Provedenom statističkom analizom dobiveni su indeksi korelacije sa slabom vezom i za stare i za nove hidraulične dizalice, ali je bitno napomenuti kako je analizom varijance korištenih modela utvrđena njihova značajnost za cijelu populaciju podataka, za nove dizalice ($F(2; 90) = 6415,526$; $p < 0,001$) i za stare dizalice ($F(2; 84) = 5465,611$; $p < 0,001$), kao i značajnost korištenih parametara koji su prikazani u tablici 22.



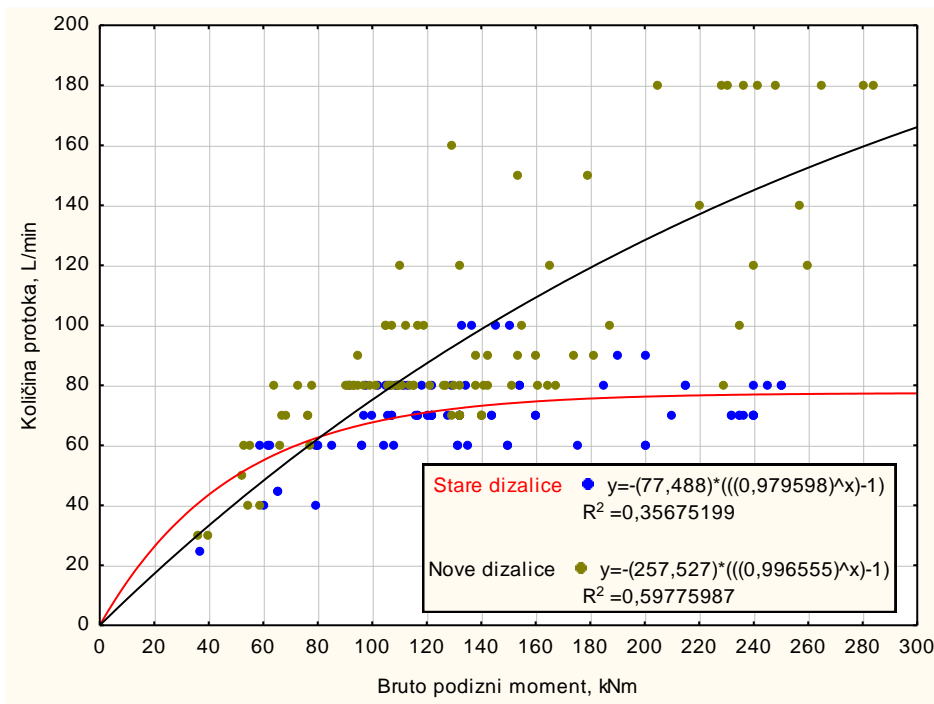
Slika 60. Ovisnost radnog tlaka o bruto podiznom momentu dizalice

Tablica 22. Statistička analiza parametara korištenih u matematičkim modelima za izjednačavanje ovisnosti radnog tlaka o bruto podiznom momentu dizalice

		Procijena	Standardna greška	t-vrijednost - ss = 84	p
Stare dizalice	a	266,9143	4,380712	60,9294	0,001
	b	0,9776	0,001822	536,4502	0,001
Nove dizalice	a	261,6316	3,253860	80,4065	0,001
	b	0,9695	0,002530	383,1342	0,001

Na slici 61 je prikazana ovisnost količine protoka o bruto podiznom momentu. Iz slike je jasno vidljivo da nove hidraulične dizalice imaju značajno veći raspon količine protoka od starih te da za isti bruto podizni moment imaju značajno veću količinu protoka nego stare dizalice, u prosjeku veću za 17,3%. Provedenom statističkom analizom utvrđeni su indeksi korelacije koji po Römer – Orphalova skali opisuju jaku povezanost modela i skupa podataka za nove dizalice, te slabu povezanost za stare dizalice. Analizom varijance utvrđena je da su oba modela značajna za cijelu populaciju podataka (nove dizalice ($F(2; 89) = 806,8805$; $p < 0,001$); stare dizalice ($F(2; 83) = 2027,952$; $p < 0,001$)), također utvrđena je značajnost korištenih parametara, čije su vrijednosti prikazane u tablici 23.

Razlog većeg radnog tlaka i veće količine protoka kod novih dizalica, je to što se kod novih hidrauličnih dizalica koriste po dvije hidraulične pumpe s nižim pojedinačnim radnim tlakovima i količinama protoka, ali dok je zajednička vrijednost radnog tlaka i količine protoka značajno veća (20% u prosjeku) nego kod starih dizalica. Upotrebom dvaju hidrauličnih pumpi za pogon dizalice osigurava se jednostavnija i brža upravljivost dizalicom, budući je moguće u isto vrijeme vršiti više operacija (npr. podizanje sortimenta i zakretanje stupa dizalice, ili podizanje sortimenta i uvlačenje produžnog kraka).

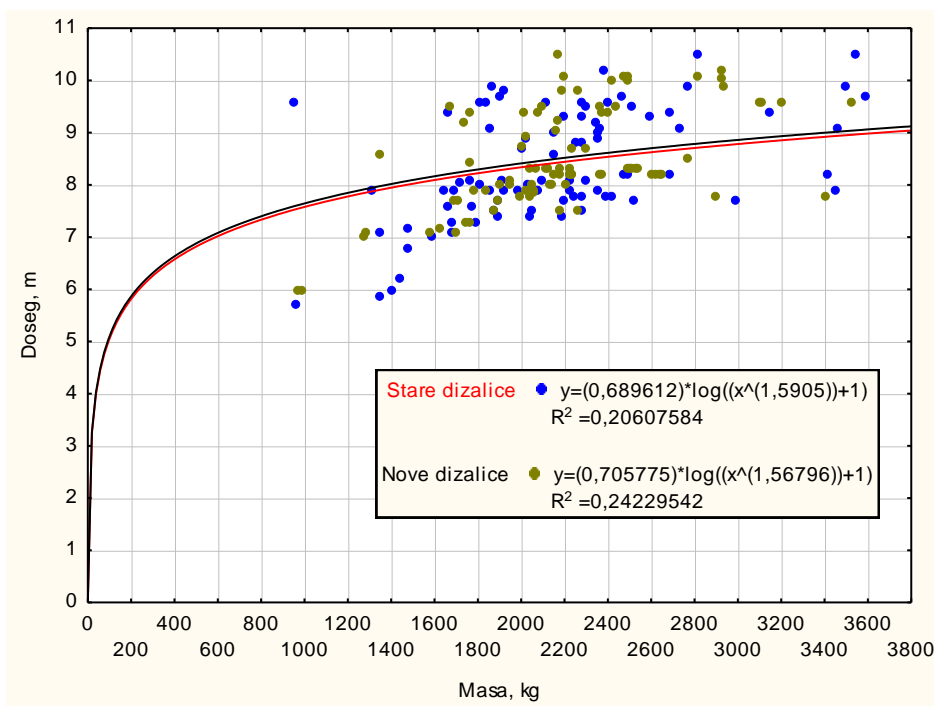


Slika 61. Ovisnost količine protoka o bruto podiznom momentu dizalice

Tablica 23. Statistička analiza parametara korištenih u matematičkim modelima za izjednačavanje ovisnosti količine protoka o bruto podiznom momentu dizalice

		Procijena	Standardna greška	t-vrijednost - ss = 84	p
Stare dizalice	a	77,48803	2,232338	34,7116	0,001
	b	0,97960	0,002567	381,5883	0,001
Nove dizalice	a	257,5268	55,39422	4,6490	0,001
	b	0,9966	0,00100	995,7226	0,001

Na slikama 62 i 63 prikazana je ovisnost doseg dizalice o masi, odnosno ovisnost radnog tlaka o masi dizalice. Karakteristično za ove dvije analize je da od 2007. do 2015. godine nije došlo do značajnije promjene u ovisnosti doseg dizalice o masi, odnosno radnog tlaka o masi dizalice, te ne postoje bitne razlike prilikom usporedbe starih i novih dizalica. Provedena analiza pokazuje jako slabu odnosno slabu jakost korelacije između korištenih modela i skupa podataka ($R^2 = 0,2 - 0,3$). Provedenom analizom varijance ovisnosti doseg o masi dizalice utvrđeno je da parametri korišteni u jednadžbama izjednačenja nisu značajni za navedene skupove podataka (tablica 24), iako se korišteni model može primijeniti za cijelu populaciju podataka (nove dizalice ($F(2; 90) = 4791,793$; $p < 0,001$); stare dizalice ($F(2; 84) = 3320,560$; $p < 0,001$)).

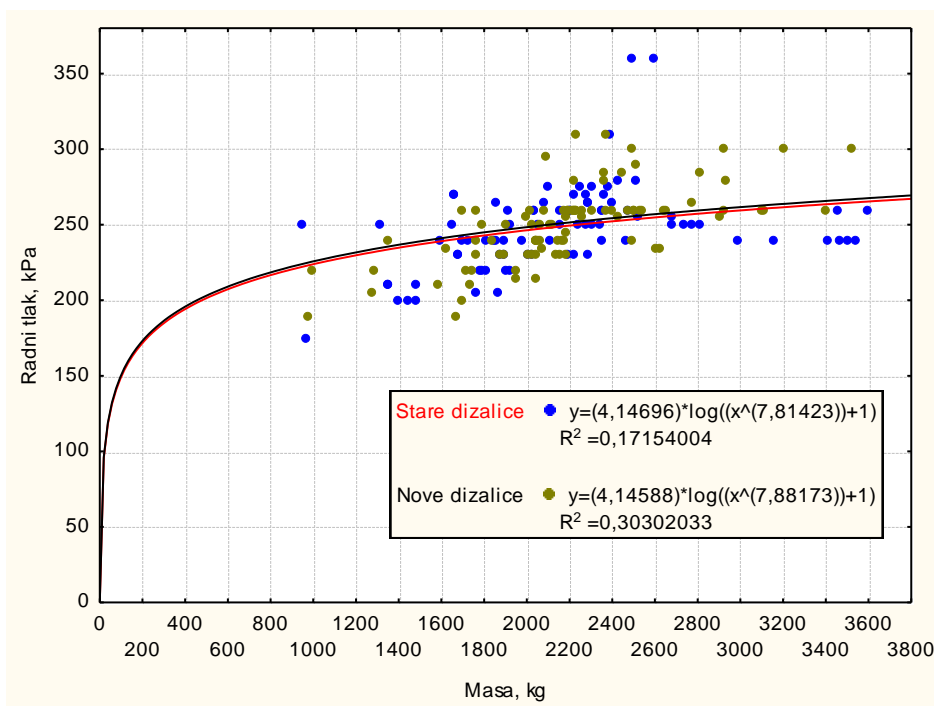


Slika 62. Ovisnost dosega o masi dizalice

Tablica 24. Statistička analiza parametara korištenih u matematičkim modelima za izjednačavanje ovisnosti dosega o masi dizalice

		Procijena	Standardna greška	t-vrijednost - ss = 84	p
Stare dizalice	a	0,689612	2927,289	0,000236	0,001
	b	1,590504	6724,376	0,000237	0,001
Nove dizalice	a	0,705775	2413,037	0,000292	0,001
	b	1,567957	5343,477	0,000293	0,001

Analizom varijance korištenog modela za opis ovisnosti radnog tlaka o masi dizalica utvrđena je njegova značajnost za cijelu populaciju podataka (nove dizalice ($F(2; 90) = 6454,771$; $p < 0,001$); stare dizalice ($F(2; 84) = 3960,059$; $p < 0,001$)). Analizom značajnosti parametara koji su korišteni u modelima za izjednačenje (tablica 25) utvrđeno je da parametri korišteni u modelu za izjednačenje kod starih dizalica nisu značajni za cijelu populaciju podataka, dok je kod modela izjednačenja kod novih dizalica utvrđena značajnost korištenih parametara za cijelu populaciju podataka.



Slika 63. Ovisnost radnog tlaka o masi dizalice

Tablica 25. Statistička analiza parametara korištenih u matematičkim modelima za izjednačavanje ovisnosti radnog tlaka o masi dizalice

		Procijena	Standardna greška	t-vrijednost - ss = 84	p
Stare dizalice	a	0,689612	2927,289	0,000236	0,999
	b	1,590504	6724,376	0,000237	0,999
Nove dizalice	a	4,145876	0,00	0,00	0,001
	b	7,881726	0,00	0,00	0,001

Na osnovu zaključaka koje iznose Šušnjar i dr. (2007) i na osnovu provedene statističke analize vidljivo je da bi se kod daljnjih morfoloških analiza različite vrste dizalica trebale analizirati zasebno, te bi za svaku vrstu dizalica bilo potrebno razviti jedinstvene modele za izjednačavanje ovisnosti.

Nadalje, uzevši u obzir da početna masa ŠKS ima značajan utjecaj na njegovu učinkovitost, kako ekonomsku tako i energetska, prilikom morfološke analize hidrauličnih dizalica koje se ugrađuju na ŠKS potrebno je kao nezavisni parametar koristiti masu umjesto bruto podiznog momenta, jer hidraulična dizalica svojom masom direktno utječe na početnu masu kamionskog skupa. Na temelju provedene klaster analize (tablica 26 i tablica 27) i cjelokupne baze podataka kamionske hidraulične dizalice se mogu podijeliti po masi na:

- ⇒ lake – masa < 1920 kg
- ⇒ srednje teške – masa 1921-2679 kg
- ⇒ teške – masa > 2680 kg.

Osim po masi dizalice se mogu podijeliti i po bruto podiznom momentu na:

- ⇒ male – < 120 kNm
- ⇒ srednje – 130–180 kNm

⇒ velike – > 181 kNm

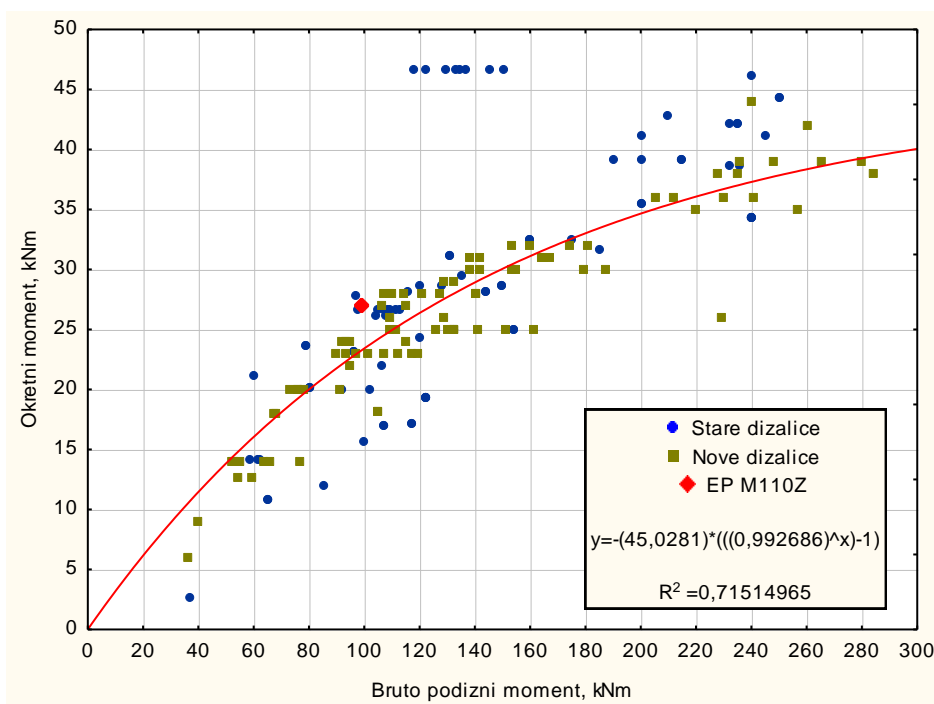
Tablica 26. Rezultati provedene klaster analize na osnovu mase dizalice

	Broj dizalica u grupi	Prosječna masa, kg	Std. Dev.	Min., kNm	Maks., kNm
Lake dizalice	54	1639,67	263,74	950	1920
Srednje dizalice	100	2248,59	180,19	1921	2679
Teške dizalice	24	3097,5	312,23	2680	3590

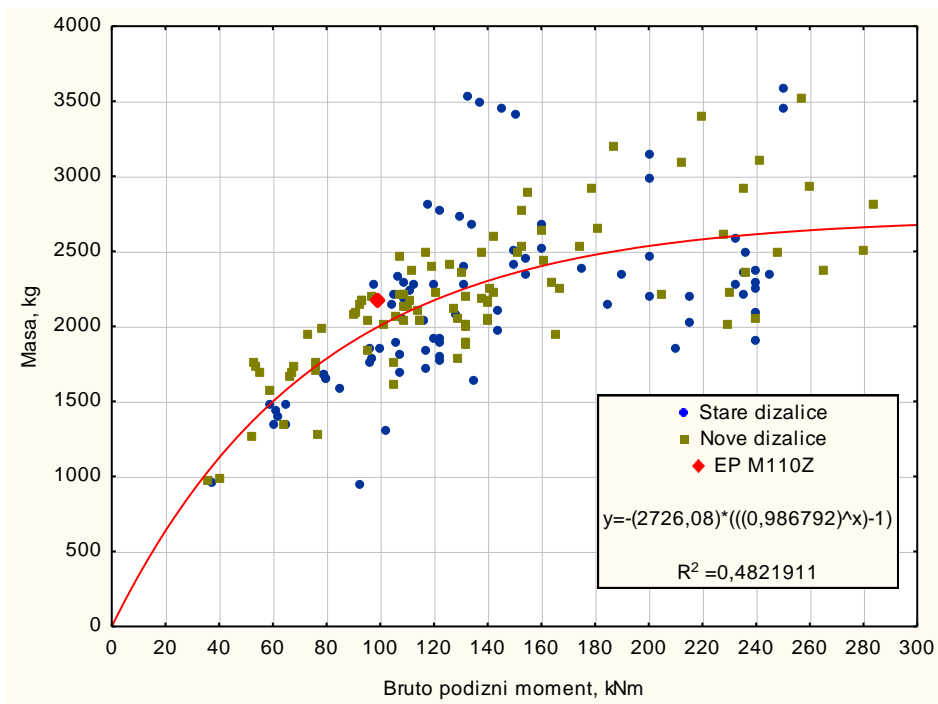
Tablica 27. Rezultati provedene klaster analize na osnovu bruto podiznog momenta

	Broj dizalica u grupi	Prosječni bruto podizni moment, kNm	Std. Dev.	Min., kNm	Maks., kNm
Male	45	76,28	18,6	36	102
Srednje	93	130,57	18,96	103	180
Velike	40	229,2	24,73	181	284

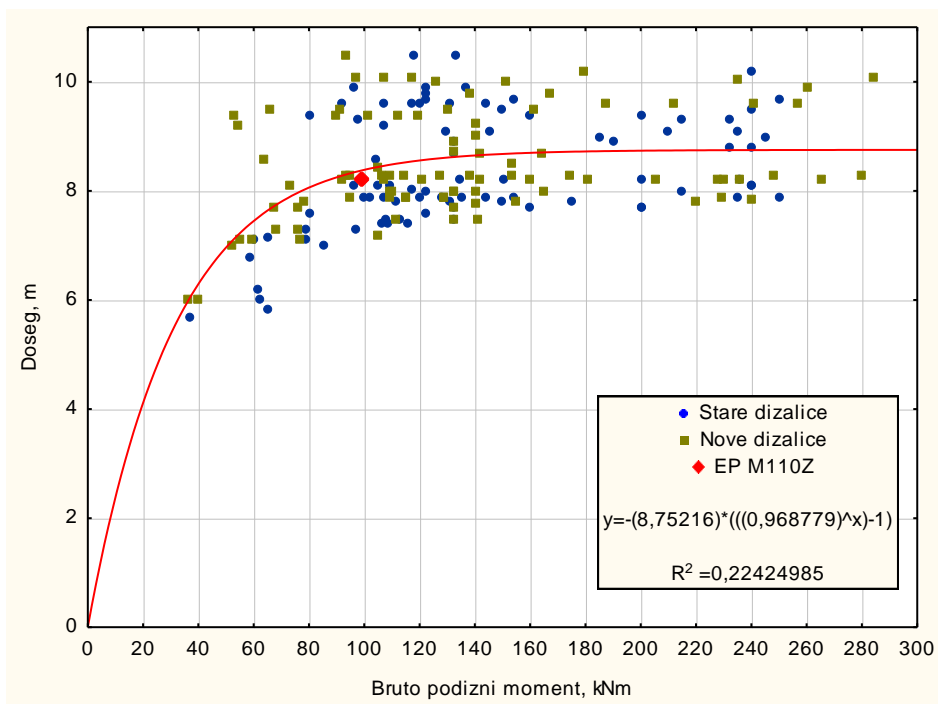
Na slikama 64-70 prikazan je položaj hidraulične kamionske dizalice Epsilon Palfinger M110Z u obitelji šumskih kamionskih dizalica. Navedenom dizalicom su bili opremljeni kamioni korišteni u ovom istraživanju. Iz slika je vidljivo da se radi o srednje teškoj dizalici, dok po bruto podiznom momentu ulazi u kategoriju malih dizalica



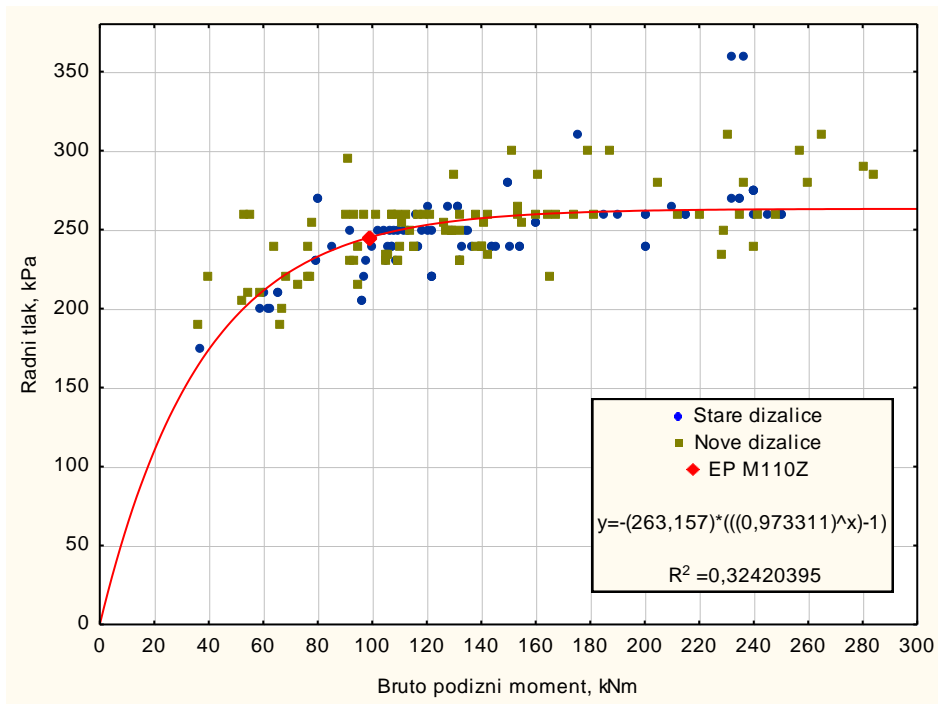
Slika 64. Položaj dizalice Epsilon Palfinger M110Z pri analizi ovisnosti okretnog momenta o bruto podiznom momentu



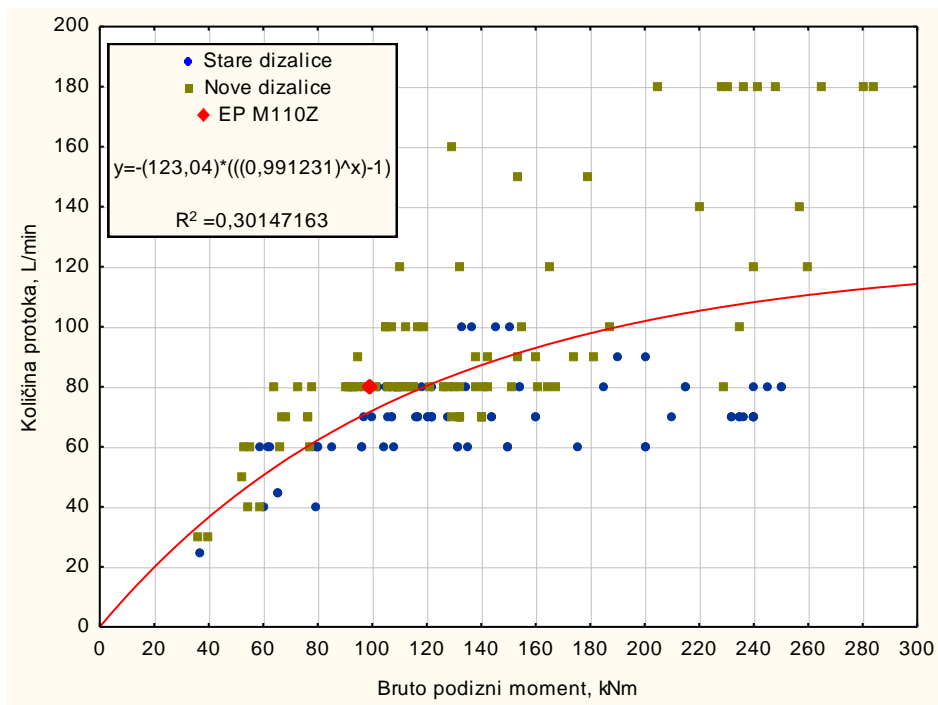
Slika 65. Položaj dizalice Epsilon Palfinger M110Z pri analizi ovisnosti mase o bruto podiznom momentu



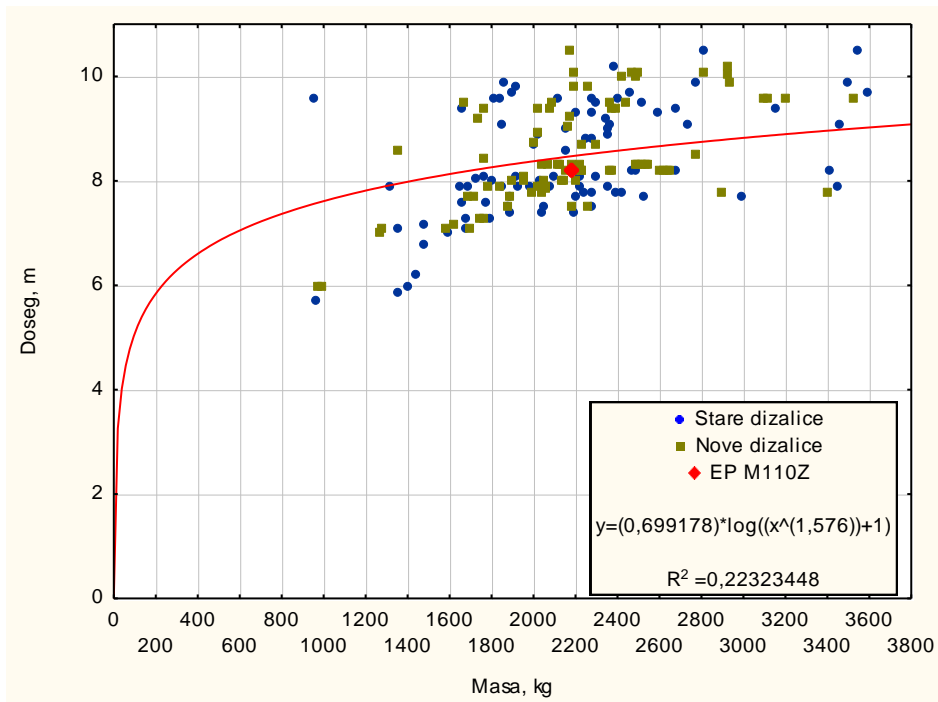
Slika 66. Položaj dizalice Epsilon Palfinger M110Z pri analizi ovisnosti dosega o bruto podiznom momentu



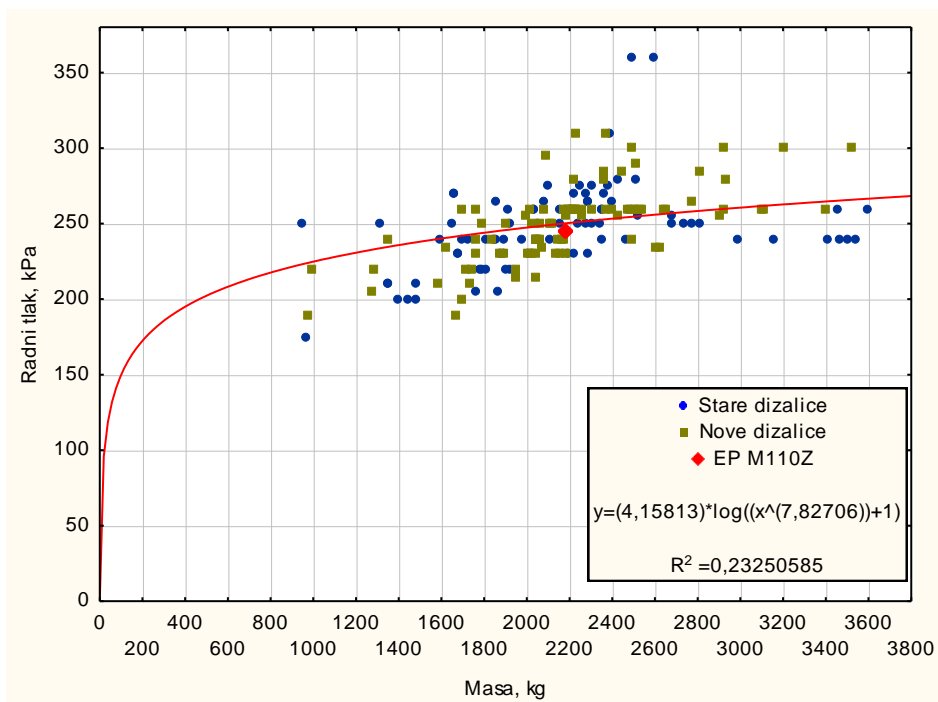
Slika 67. Položaj dizalice Epsilon Palfinger M110Z pri analizi ovisnosti radnog tlaka o bruto podiznom momentu



Slika 68. Položaj dizalice Epsilon Palfinger M110Z pri analizi ovisnosti količine protoka o bruto podiznom momentu



Slika 69. Položaj dizalice Epsilon Palfinger M110Z pri analizi ovisnosti dosega o masi dizalice

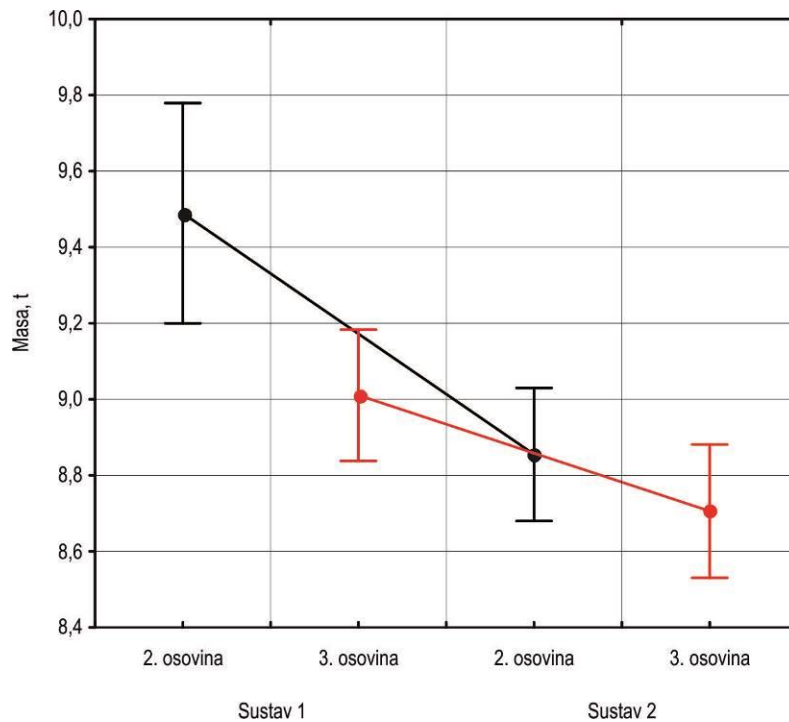


Slika 70. Položaj dizalice Epsilon Palfinger M110Z pri analizi ovisnosti radnog tlaka o masi dizalice

4.2. Mjerni sustavi

Osovinska opterećenja u ovom istraživanju mjerena su pomoću tri različita sustava. Sustav 1 je prijenosni mjerni sustav Laboratorija za tehničko tehnološka mjerenja u šumarstvu. Prijenosni sustav se sastoji o četiri mjerne platforme DINI ARGEO WWSC. Maksimalno opterećenje pojedine vage u sustavu je 10 t. Svaka vaga je opremljena sa šest mjernih doza tipa SBX-1KL pojedinačnog maksimalnog opterećenja do 2,5 tona. Mjerne doze su paralelno spojene u sabirnu kutiju koje se nalazi na svakoj pojedinoj vazi. Za potrebe ovog istraživanja prijenosni mjerni sustav je dorađen na način da je kompatibilan s mjernim pojačalom SPIDER proizvođača Hottinger Baldwin Messtechnik GMBH te povezan s prijenosnim osobnim računalom čini jedinstveni sustav za prikupljanje podataka. ŠKS koji su korišteni u istraživanju bili su opremljeni zračnim ovjesom i EBS-om (*Electronic brake system*) sustavom, osim na prednjoj osovini, pomoću kojega je moguće mjeriti masu tovara (sustav 2). Mjerenje mase tovara pomoću zračnog ovjesa radi na principu mjerenje promjene tlaka u zračnim jastucima, te na osnovu izmjerenih vrijednosti prikazuje koliko je pojedina osovina kamiona opterećena. Sustav 3 je bilo kolna vaga, koja je korištena kao kontrolni sustav. Kolne vage bile su duljine 20 m, širine 3 m, ukupne nosivost 50 t, oslonjene na osam neovisnih mjernih doza (RC 3) povezanih na zajedničko pojačalo te analogno/digitalnim konverterom za osobno računalo. Vaga je kontrolirana i umjerena od strane ovlaštene ustanove.

Na slici 71 prikazana je analiza varijance za mjerenja na 2. i 3. osovini kamionskih skupova pomoću prijenosnog mjernog sustava (sustava 1) i mjernog sustava ugrađenog u kamionske skupove (sustav 2). Provedenom analizom utvrđeno je postojanje statistički značajne razlike između dva korištena sustava (tablica 28).

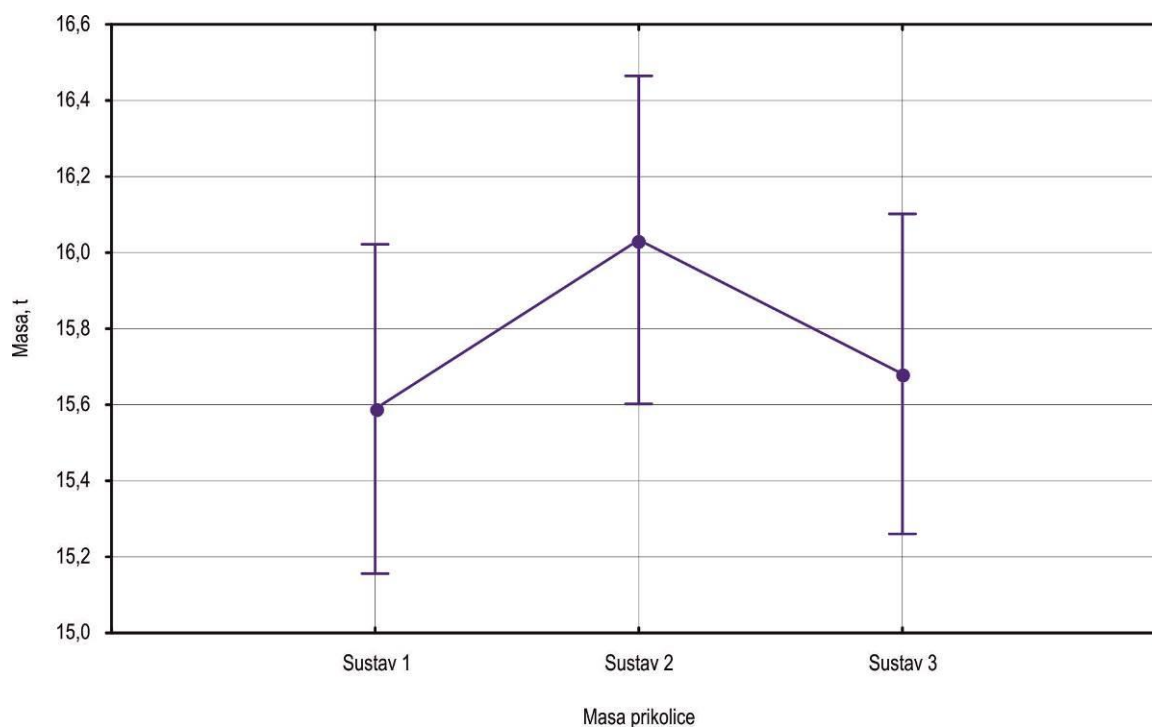


Slika 71. Analiza varijance sustava 1 i 2, za 2. i 3. osovinu

Tablica 28. Analiza varijance za 2 i 3 osovinu mjerenu sustavima 1 i 2

	R1	{1} - 9489,4	{2} - 8855,1
Sustav 1	2. osovina		0,000117
Sustav 2		0,000117	
Sustav 1	3. osovina		0,000117
Sustav 2		0,000117	

Slika 72 prikazuje analizu varijance ponovljenih mjerenja za ukupnu masu prikolice koja je mjerena sa sva tri sustava. Analizom mase prikolice kamionskog skupa utvrđena je statistički značajna razlika sustava 2 u odnosu na sustave 1 i 3, dok između sustava 1 i 3 nije utvrđena statistički značajna razlika (tablica 29).

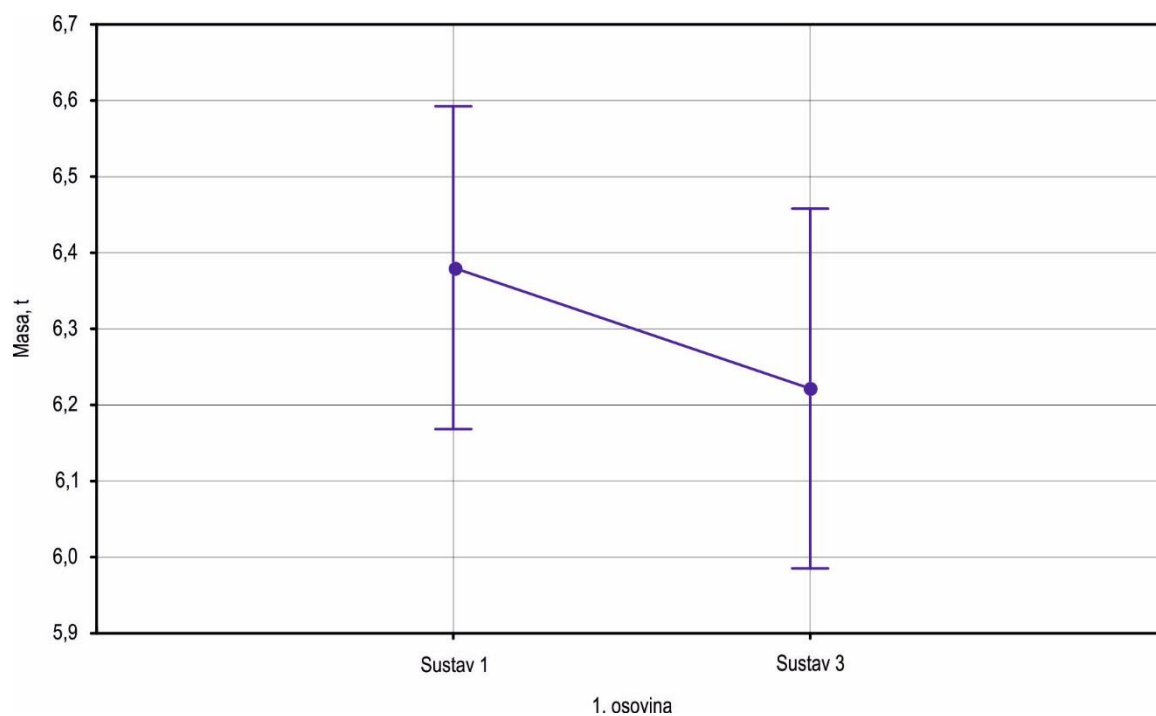


Slika 72. Analiza varijance svih sustava prilikom mjerenja mase prikolice

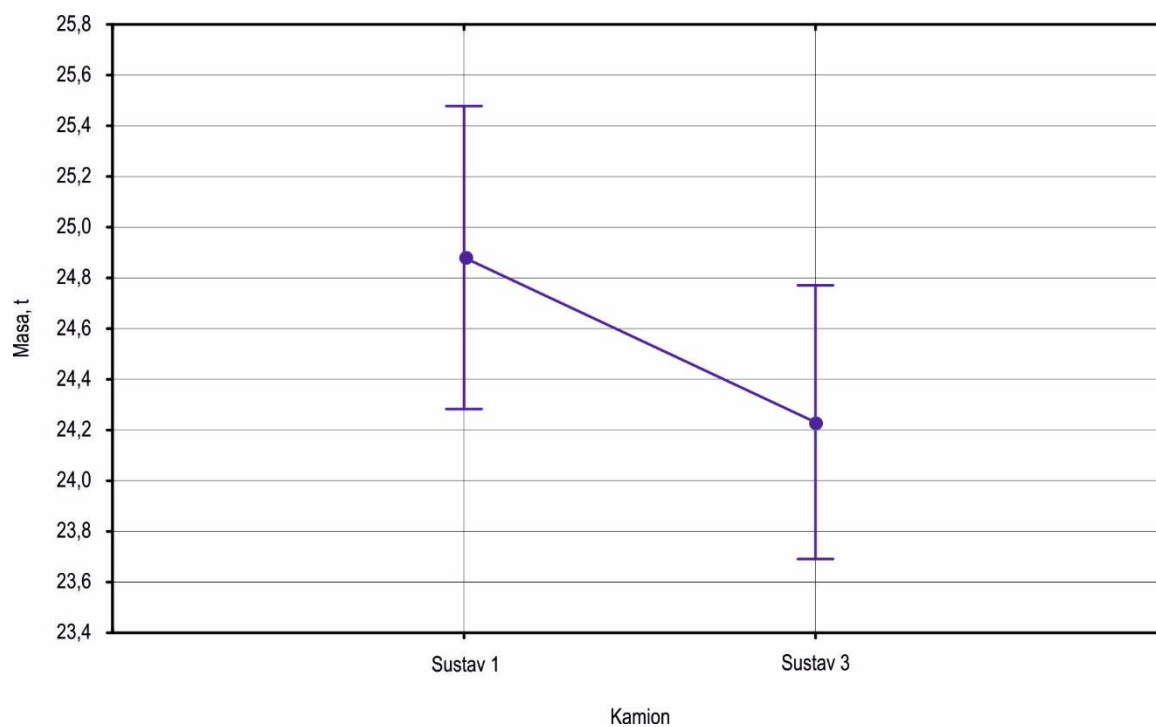
Tablica 29. Analiza varijance za prikolicu mjerenu sustavima 1, 2 i 3

	R1	{1} - 15589,	{2} - 16033,	{3} - 15681,
Sustav 1	Prikolica		0,000105	0,130792
Sustav 2		0,000105		0,000105
Sustav 3		0,130792	0,000105	

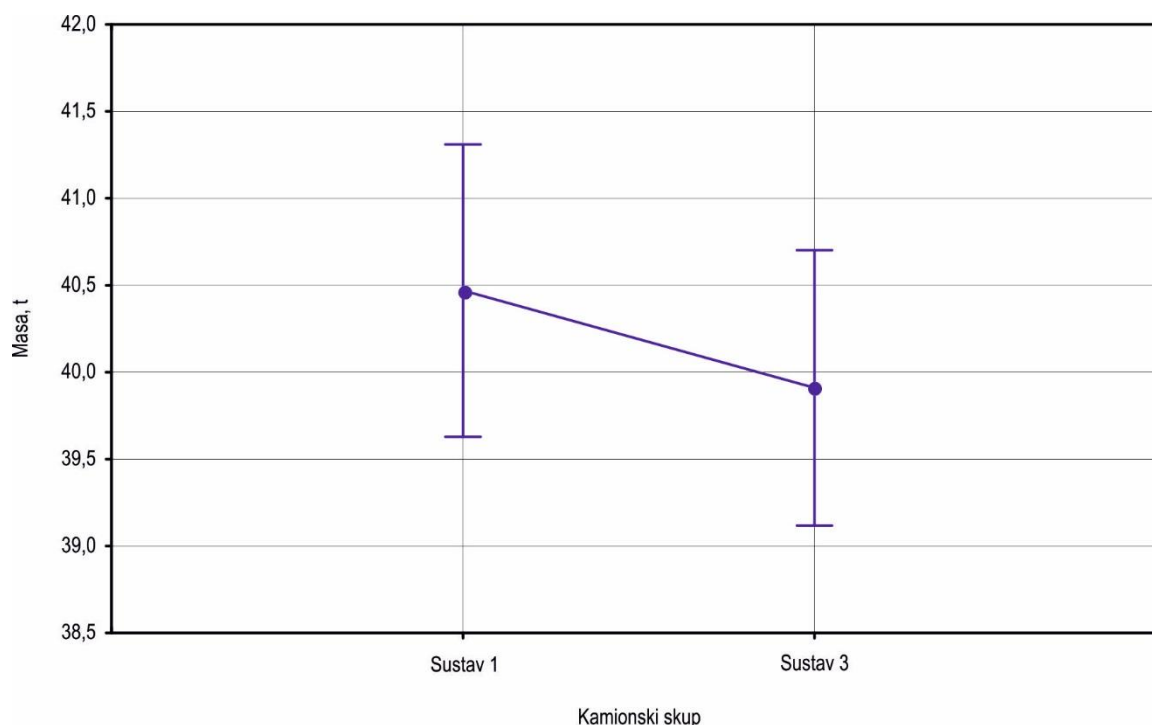
Na slikama 73, 74 i 75 prikazana je analiza varijance mase na prvoj osovini kamiona, mase kamiona i mase ŠKS mjerena pomoću sustava 1 i 3. Mjerenjem mase na 1. osovini kamiona, sustavima 1 i 3, utvrđena je statistički značajna razlika (tablice 30, 31, 32), razlog tomu je to što kamion nije stajao u horizontalnom položaju, tako da je zbog raspodjele sila mjerenja pomoću kolne vage (sustava 3) imaju manje vrijednosti u odnosu na sustav 1. Isti slučaj se pojavljuje i kod mjerenja mase kamiona, jer se prilikom nailaska kamiona na kolnu vagu, prikolica kamionskog skupa nalazila na ulaznoj rampi kolne vage te je zbog svoje mase i sila koje se javljaju na njoj djelovala na kamion kao rasterećenje. Prilikom mjerenja mase kamionskog skupa sustavima 1 i 3 statistički značajna razlika nastaje zbog različitih podjeljaka mjerenja između dvaju sustava, te zbog djelovanja tzv. „*elastic after-effect*“ pojave koju opisuje Hoffman (1989), a koja se javljala prilikom mjerenja na kolnoj vagi. Naime radi se o zaostajanju mjerne vrijednosti, istu pojavu opisuju i Šušnjar i dr. (2011b). Osim navedenog, razlikama u mjerenju pridonosi i način nailaska vozila na samu kolnu vagu, koja nije namijenjena za parcijalno vaganje pojedinih osovina vozila ili dijelova kamionskog skupa.



Slika 73. Analiza varijance mase na 1 osovini kamiona prilikom mjerenja sustavima 1 i 3



Slika 74. Analiza varijance mase kamiona prilikom mjerenja sustavima 1 i 3



Slika 75. Analiza varijance mase kamionskog skupa prilikom mjerenja sustavima 1 i 3

Tablica 30. Analiza varijance mase 1. osovine mjerene sustavima 1 i 3

	R1	{1} - 6380,4	{2} - 6221,6
Sustav 1	1. osovina		0,000193
Sustav 3		0,000193	

Tablica 31. Analiza varijance mase kamiona mjerene sustavima 1 i 3

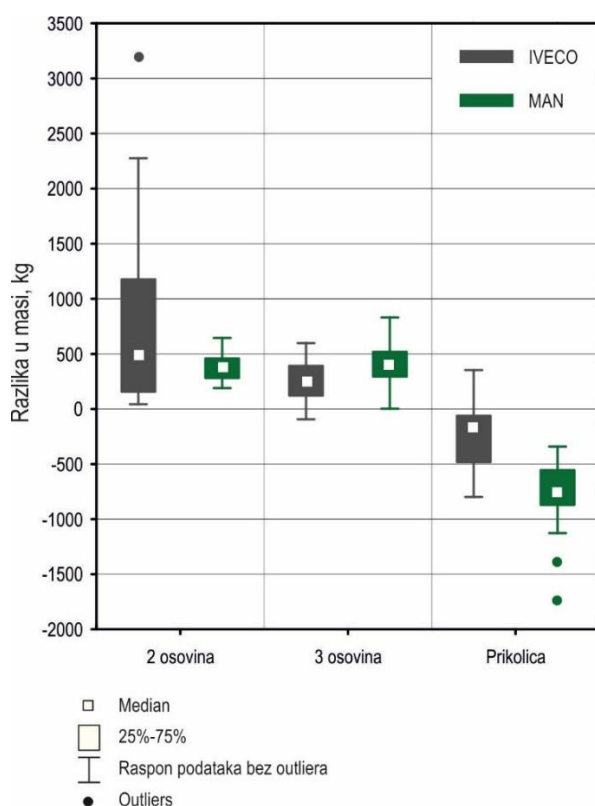
	R1	{1} - 24881,	{2} - 24231,
Sustav 1	Kamion		0,000117
Sustav 3		0,000117	

Tablica 32. Analiza varijance ŠKS mjerene sustavima 1 i 3

	R1	{1} - 40470,	{2} - 39910,
Sustav 1	Kamionski skup		0,000117
Sustav 3		0,000117	

Na slici 76 su prikazane razlike mjerenja mase po osovinama prilikom usporedbe prijenosnog sustava vaga (sustav 1) i mjernog sustava ugrađenog u zračni ovjes ŠKS (sustav 2). Usporedba mjerenja na prvoj osovini nije moguća, jer kamionski skupovi nisu bili opremljeni zračnim ovjesom na prvoj osovini. Opisna statistika usporedbe dvaju sustava je prikazana u tablici 33. Iz slike 76 i tablice 33, vidljivo je da između dva korištena sustava postoje značajne razlike u mjerenju. Razlike u masi, ovisno o osovini se kreću od 455 kg pa sve do maksimalne razlike od 3201 kg koja je izmjerena na 2. osovini ŠKS IVECO. Nadalje iz slike 76 i tablice 33 je vidljivo da je sustav 2 prilikom mjerenja mase na kamionu bilježio niže vrijednosti od sustava 1, dok je kod mjerenja osovinskog opterećenja na prikolici sustav 2 bilježio veće vrijednosti nego sustav 1. Raspon vrijednosti razlike mase je na sva tri mjerna mjesta veći kod kamionskog skupa IVECO, razlog tomu je veći broj pogonskih sati, uslijed kojeg je vjerojatno došlo do

značajnijeg poremećaja preciznosti mjernog sustava 2. Značajne razlike između mjernih sustava 1 i 2 nastale su zbog ne umjeravanja sustava 2, te zbog ne postojanja klase točnosti za sustav 2. Zbog velikog raspona izmjerenih razlika između sustava 1 i 2, razlika izmjerenih masa je veća od 5%, odbacuje **hipoteza 1**. Iako je na temelju rezultata mjerenja odbačena hipoteza 1, to ne znači da mjerni sustav ŠKS nije pogodan za mjerenje mase tovara. Naime, kako bi se pomoću mjernog sustava ugrađenog u kamion, s dovoljnom točnošću mogla mjeriti masa, sustav je potrebno umjeriti s konvencionalnim mjernim sustavima, npr. pomoću sustava 1 koji je korišten u ovome istraživanju. Osim početnog umjeravanja sustava, zbog teških uvjeta rada ŠKS, potrebno je odrediti i vremenski period nakon kojeg je potrebno izvršiti ponovno umjeravanje sustava.

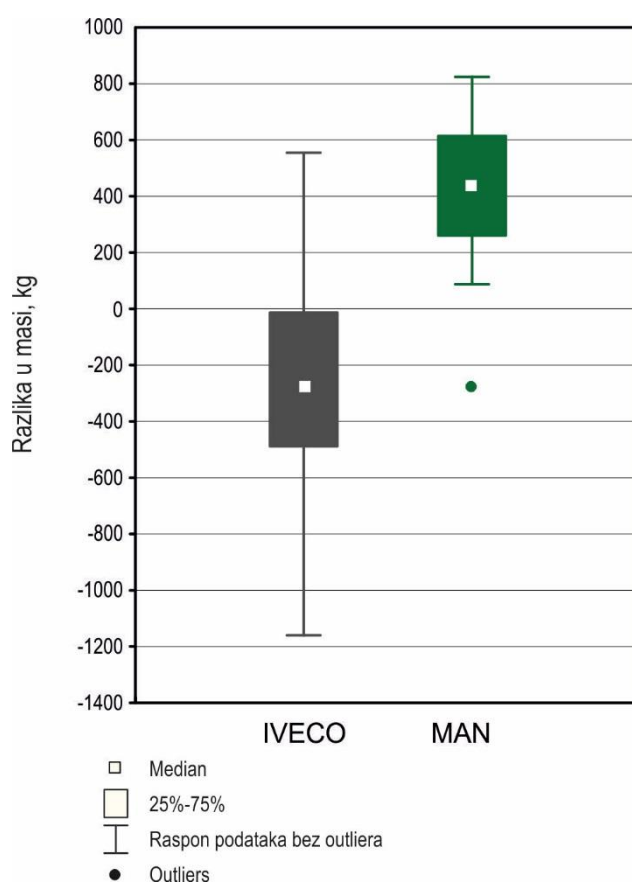


Slika 76. Razlika mase osovinskog opterećenja mjerena sustavima 1 i 2

Tablica 33. Razlike mase osovinskog opterećenja mjerena sustavima 1 i 2

			Prosjek	Min	Maks.	Std. Dev.	Koef. Var
2. osovina	IVECO	kg	767	43	3201	799,0	104
	MAN		384	190	645	128,9	34
3. osovina	IVECO		254	-93	598	183,8	72
	MAN		401	3	831	194,0	48
Prikolica	IVECO		-259	-798	353	307,7	-119
	MAN		-794	-1732	-342	356,4	-45

Na slici 77 i u tablici 34 prikazane su razlike u ukupnim masama ŠKS mjerene sustavima 2 i 3. Važno je naglasiti da je, prilikom korištenja sustava 2, zbog nemogućnosti mjerenja mase na prvoj osovini kamiona, korištena masa koje je izmjerena prijenosnim mjernim sustavom. Raspon vrijednosti razlika kretao se od 1098 kg kod MAN kamionskog skupa do 1715 kg kod IVECO kamionskog skupa. Prosječna vrijednost razlike je iznosila 241 kg, za IVECO, i 412 kg za MAN kamionski skup. Prilikom mjerenja ukupne mase kamionskih skupova kolna vaga je pokazivala u prosjeku veće vrijednosti nego ugrađeni mjerni sustav vage na IVECO kamionskom skupu, dok je kod MAN kamionskog skupa ugrađeni mjerni sustav pokazivao veće vrijednosti od kolne vage.



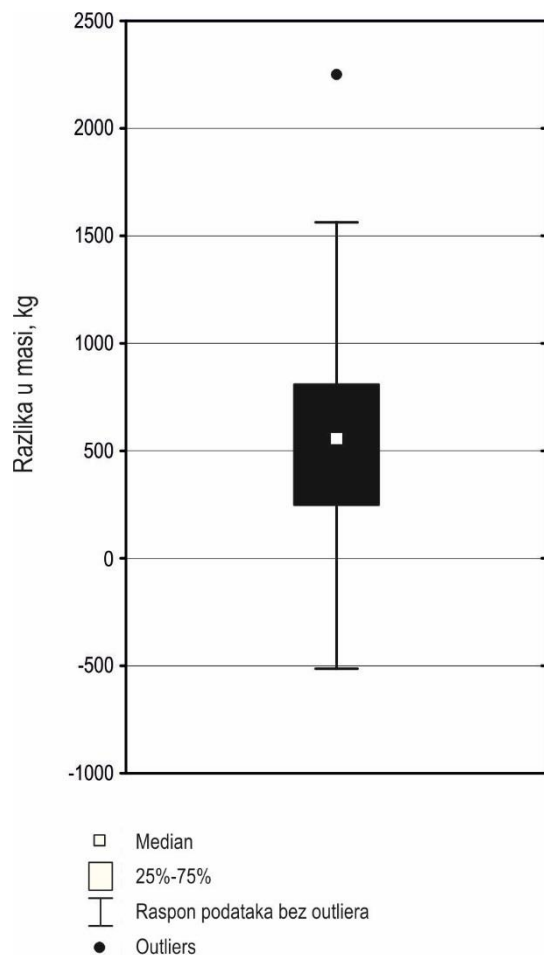
Slika 77. Razlika ukupne mase kamionskih skupova mjerena sustavima 2 i 3

Tablica 34. Razlika ukupne mase kamionskih skupova mjerena sustavima 2 i 3

		Prosjek	Min	Maks.	Std. Dev.	Koef. Var
IVECO	kg	-241	-1160	555	450	-186
MAN		412	-273	825	282	68

Na slici 78 i u tablici 35 prikazane su vrijednosti razlika mase mjerene sustavima 1 i 3. Raspon vrijednosti je 2767 kg, što iznosi 6,9 % zakonom dopuštene ukupne mase kamionskih skupova.

Razlike koje su izmjerene između sustava 1 i 2 rezultat su ne umjeravanja sustava koji je ugrađen u kamionske skupove, kao i razlike između sustava 2 i 3. Razlike koje su izmjerene između sustava 1 i 3 nastale su kao rezultat različitih klasa preciznosti prijenosnog mjernog sustava i kolnih vaga koje su korištene prilikom istraživanja.



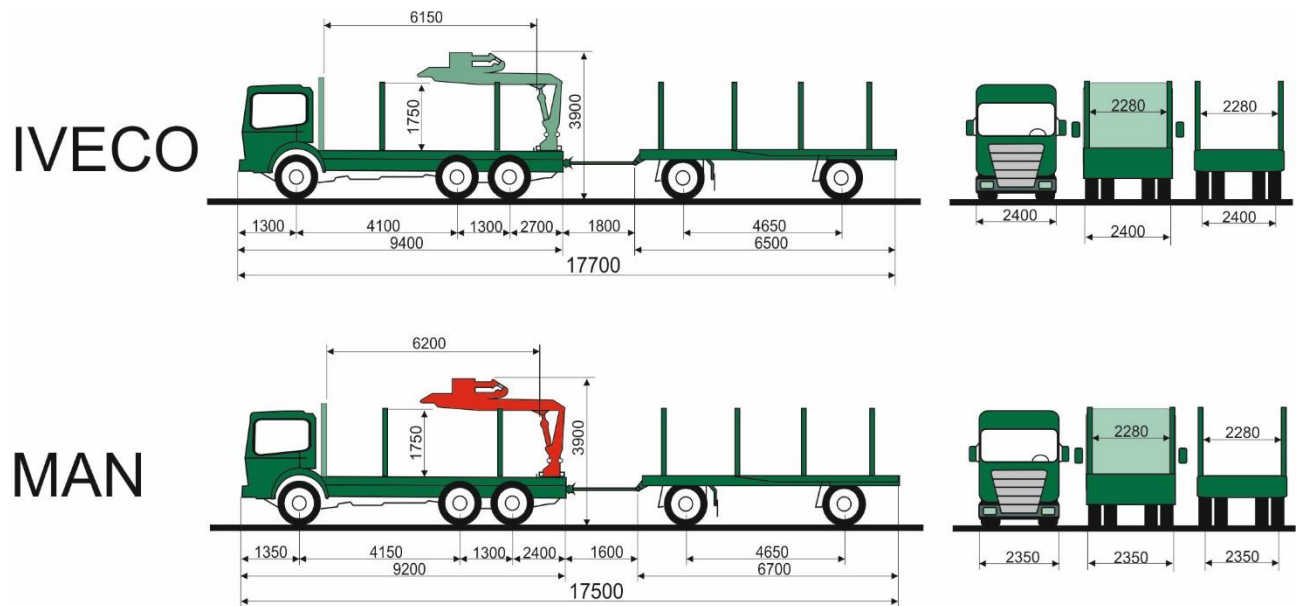
Slika 78. Razlika ukupne mase kamionskih skupova mjerena sustavima 1 i 3

Tablica 35. Razlika ukupne mase kamionskih skupova mjerena sustavima 1 i 3

		Prosjek	Min	Maks.	Std. Dev.	Koef. Var
Svi kamioni	kg	560	-514	2253	509,6	91,09

4.3. Tehničke značajke istraživanih šumskih kamionskih skupova

Na slici 79 prikazane su dimenzije istraživanih kamionskih skupova. Iz slike je vidljivo da po dimenzijama kamionski skupovi zadovoljavaju zakonom dopuštenim dimenzijama. Obujam tovarnog prostora IVECO ŠKS je 50,48 m³ (kamion 24,53 m³, prikolica 25,95 m³), a MAN ŠKS je 51,48 m³ (kamion 24,74 m³, prikolica 26,74 m³), obujam tovarnog prostora kod oba ŠKS je računat na temelju samih dimenzija tovarnog prostora, odnosno u izračunu nije korišten dozvoljeni 1 m prepusta na prikolici, a koji je dopušten prema zakonskim propisima.



Slika 79. Dimenzije istraživanih šumskih kamionskih skupova

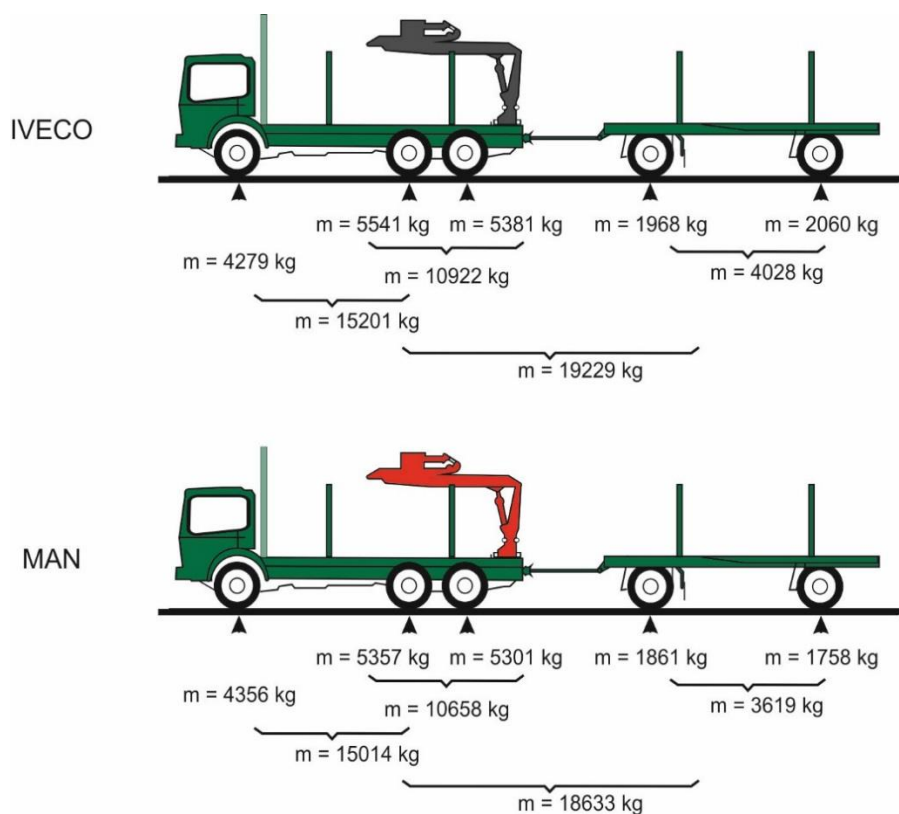
Prilikom mjerenja osovinskih opterećenja ukupno je izvagano 49 tovara, od kojih 14 tovara bukove tehničke oblovine, 11 tovara jelove tehničke oblovine te 24 tovara jelovog celuloznog drva. Ukupno, prema popratnicama državne tvrtke „Hrvatske šume“ d.o.o izvagano je 1184,55 m³ drva, te je prosječan obujam tovara iznosio 24,03 m³. Podaci o vrsti drva, masi tovara i osovinskom opterećenju prikazani su u prilogu 2, dok je u tablici 36 prikazana opisna statistika, ovisno o vrsti, obujmu, masi i gustoći tovara. Obujam tovara nije stvaran obujam, već obujam koji se dobije propisanim načinom mjerenja oblovine.

Tablica 36. Opisna statistika mjerenih tovara

	Jela TO			Jela celuloza			Bukva TO		
	Obujam	Masa	Gustoća	Obujam	Masa	Gustoća	Obujam	Masa	Gustoća
	m ³	kg	kg/m ³	m ³	kg	kg/m ³	m ³	kg	kg/m ³
Prosjek	23,85	23273,95	995,76	26,69	20208,90	762,57	21,54	22103,14	1035,55
Min	19,84	18062,83	630,25	21,05	15980,50	587,95	21,67	22254,01	1037,23
Max	28,66	28924,83	1349,99	28,20	25887,50	1146,45	21,85	22408,14	1036,60
Std. Dev.	3,12	3350,18	216,47	1,48	2819,95	138,96	21,93	22319,02	1029,44

Na temelju obujma tovarnog prostora i prosječnih tovara ŠKS vidljivo je slabo volumno iskorištenje šumskih kamionskih skupova. Volumno iskorištenje istraživanih kamionskih skupova s prosječnim tovarom od 24,03 m³ iznosi 47,6% za IVECO ŠKS, odnosno 46,7% za MAN ŠKS.

Prosječne mase neopterećenih kamionskih skupova koji su korišteni u istraživanju prikazani su na slici 80. Neopterećeni kamioni su vagani 6 puta IVECO i 8 puta MAN, a podaci o vaganjima neopterećenih kamionskih skupova prikazani su u tablici 37. Razlike u masama neopterećenih kamionskih skupova pojedinog tipa nastale su zbog različite količine pogonskog goriva u spremniku kamionskog skupa te zbog otpada koji ostaje u tovarnom prostoru nakon istovara sortimenata. MAN-ovi kamionski skupovi su u prosjeku imali za 570 kg manju masu.

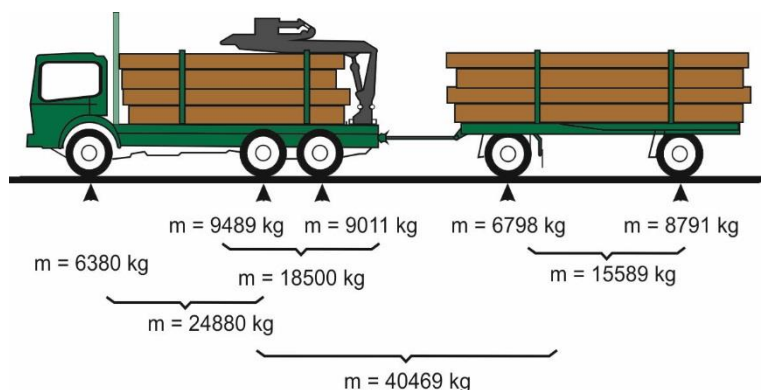


Slika 80. Prosjek masa neopterećenih kamionskih skupova

Tablica 37. Mase neopterećenih šumskih kamionskih skupova

			Kamion	Prikolica	Ukupno
IVECO	Min	kg	14892	3933	18969
	Max		15430	4134	19420
	Std. Dve		203,1	73,2	173,5
MAN	Min	kg	14877	3509	18565
	Max		15189	3874	18751
	Std. Dve		106,4	114,8	75,1

Prosječna masa opterećenih kamionskih skupova svih 49 tovara je 40469 kg (slika 81), minimalne mase 34640 kg, a maksimalne 48154 kg. Od svih mjerenja kamionski skupovi su bili u ukupnom pretovaru (masa > 40 tona) 26 puta mjereno s prijenosnim mjernim sustavom, 23 puta mjereno kolnom vagom. Kamionski skupovi su kod 34 tovara imali veća osovinska opterećenja i ukupne mase kamiona, prikolice i ukupnu masu skupa od pravilnikom dopuštenih vrijednosti.



Slika 81. Prosječna osovinska opterećenja i prosječna ukupna masa opterećenih kamionskih skupova

Uz prosječnu masu tovara od 21862 kg oba istraživana ŠKS prelaze dopuštene vrijednosti propisane zakonskim okvirima. IVECO ŠKS je u pretovaru za 1091 kg, odnosno 2,7%, dok je MAN ŠKS u pretovaru za 495 kg, odnosno 1,2%. Kako je maseno iskorištenje ŠKS ograničeno zakonskim okvirom (max. 40 t) (Malnar 2000, Horvat i Šušnjar 2002), maseno iskorištenje istraživanih skupova, s navedenom prosječnom masom tovara, je 105% za IVECO ŠKS, te 102% za MAN ŠKS. Iz navedenih rezultata te broja prekoračenja zakonskih propisa vidljivo je da su oba istraživana ŠKS maseno u potpunosti iskorištena.

Povećanje masenog i volumnog iskorištenja ŠKS moguće je postići smanjenjem početne mase ŠKS na način da se prilikom opremanja kamiona sa šumarskom nadogradnjom koriste što lakši materijali, što jednostavniji spojevi prilikom izrade nadogradnje, zatim opremanjem kamiona aluminijskim spremnikom za gorivo, aluminijskim spremnicima za zrak, korištenjem aluminijskih felgi na kotačima (slika 82, 83). Korištenje aluminijskih felgi prilikom nadogradnje kamiona dovodi do smanjenja mase za 1 tonu (Benšak 2015), iako sve navedeno povećava

početnu nabavnu cijenu ŠKS. Kako u šumarstvu vlada zakon velikih brojeva, početna velika investicija se vrlo brzo isplaćuje. Negativne strane opremanja ŠKS s aluminijskim naplaticima su te, da zbog radnih uvjeta u šumi, te zbog često nepovoljnog stanja šumskih cesta, dolazi do oštećenja naplataka (savijanje, pucanje).



Slika 82. Opremanje kotača kamiona i prikolice aluminijskim naplaticima



Slika 83. Opremanje kamiona aluminijskim spremnikom za gorivo

Uz navedeno početna se masa kamiona može smanjiti i prema prijedlozima koje iznose Tomašić i dr. (2005), a to su:

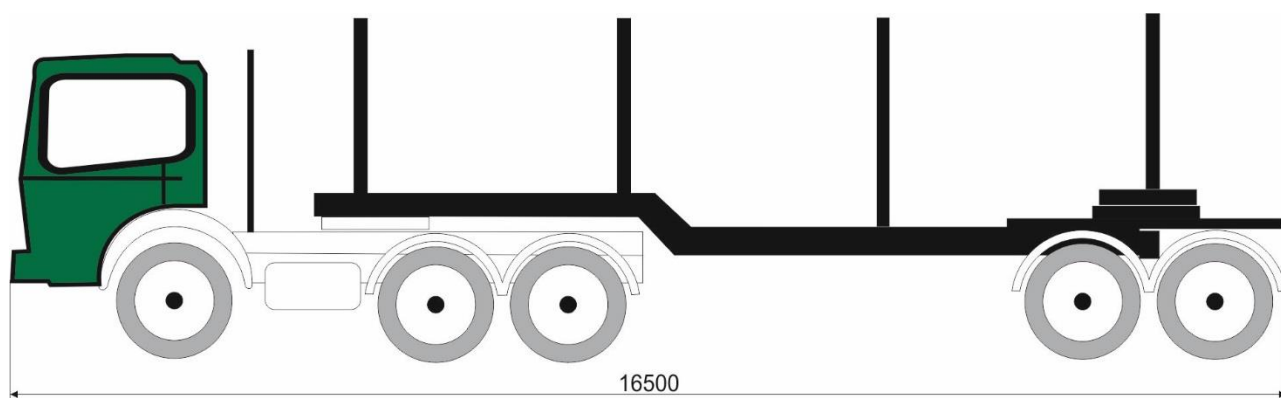
- ⇒ povoljnijim konstrukcijskim rješenjima šumarske nadogradnje, uz uporabu boljih i lakših vrsta materijala,
- ⇒ ugradnjom lakše dizalice jednakih mogućnosti i poboljšanih tehničkih značajki (prisilno hlađenje hidrauličnoga ulja),
- ⇒ izborom kamionskoga skupa s lakšim i drugačije riješenim sklopovima (motor, mjenjač, kabina sl.),
- ⇒ uvođenjem kombinirane tehnologije prijevoza kamionskih skupova s dizalicom i bez dizalice (povećanje korisne nosivosti kod takvih kamionskih skupova za iznos mase dizalice te sustava hlađenja dizalice),
- ⇒ povećanjem korisne nosivosti kamionskoga skupa, na prijevoz većih količina drva može se utjecati i povećanjem brzina u prijevozu, uz veći broj i kraće vrijeme trajanja ciklusa (tura) prijevoza.

Anon (2012) je proveo istraživanje uspoređujući konvencionalni ŠKS sa konceptom »Star Truck«, koji je bio manje mase, opremljen središnjim sustavom za kontrolu tlaka u gumama, sustavom za mjerenje mase tovara, kako bi se optimalno iskoristio tovarni prostor.

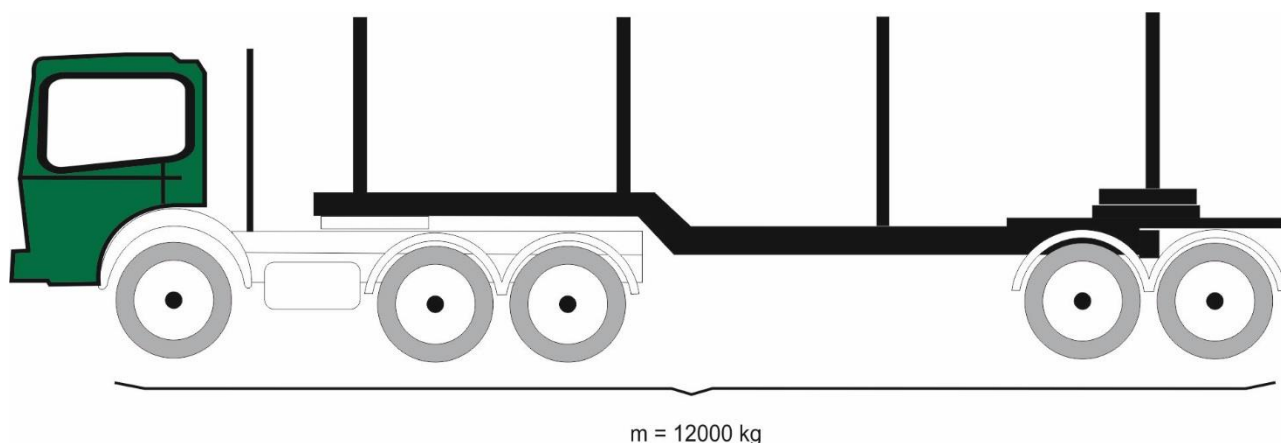
Osim navedenog Zorić i dr. (2014) predlažu upotrebu montažno demontažnih dizalica koje bi se nalazile na pomoćnim stovarištima, čime bi se smanjila autonomnost kamionskog skupa, ali

bi se pridonijelo značajnom smanjenju početne mase kamionskog skupa, odnosno njegovom boljem masenom i volumnom iskorištenju.

Na slici 84 su prikazane dimenzije, dok je na slici 85 prikazana masa šumskog tegljačkog kamionskog skupa bez hidraulične dizalice. Iz slike 84 je vidljivo da šumski tegljački kamionski skup bez dizalice svojim dimenzijama zadovoljava zakonske propise, dok je iz slike 85 vidljivo da navedeni ŠKS ima značajno manju početnu masu nego istraživani ŠKS. Horvat i Šušnjar (2002) također navode da ugradnja hidraulične dizalice nepovoljno djeluje na korisnu nosivost ŠKS. Prema Benšaku (2015) obujam koji tegljački skup bez hidraulične dizalice može prevesti je, ovisno o vrsti drva i vrsti sortimenta do 27m^3 . Iz navedenog je vidljivo da šumski tegljački skupovi bez hidraulične dizalice imaju povoljniju nosivost nego istraživani ŠKS, čime je potvrđen prvi dio **hipoteze 3** koji se odnosi na nosivost ŠKS. Kako bi se utvrdile točne vrijednosti mase i osovinskih opterećenja šumskog tegljačkog skupa potrebno je izvršiti direktna mjerenja pomoću prijenosnog mjernog sustava vaga.



Slika 84. Dimenzije šumskog tegljačkog skupa bez ugrađene hidraulične dizalice



Slika 85. Masa šumskog tegljačkog skupa bez ugrađene hidraulične dizalice

Ako se u obzir uzme zakonski propis o minimalnoj snazi pogonskog motora ŠKS od 7kW/t , vidljivo je da oba ŠKS imaju veće snage pogonskih motora od zakonom propisanih, IVECO

368 kW, te MAN 324 kW. Ukoliko se prema snazi pogonskih motora radi izračun dopuštene nosivosti, opterećen ŠKS IVECO bi mogao imati masu od 52,57 tona, dok bi MAN ŠKS mogao imati masu od 46,28 tona. Kako bi ŠKS zadovoljili navedeni zakonski propis trebali bi imati minimalnu snagu pogonskog motora od 280 kW. Ukoliko se u obzir uzmu *Kriteriji izvedbe kamionskih šasija za potrebe šumarstva* (1979), te napomena članova radne skupine kako bi minimalna snaga pogonskih motora kamiona za potrebe šumarstva, zbog uvjeta rada, trebala biti za 20% veća od zakonski propisane tada bi minimalna snaga pogonskog motora kamiona trebala iznositi 336 kW. S obzirom na navedeno, može se preporučiti da snaga pogonskih motora kamiona za potrebe šumarstva treba iznositi od 300-325 kW. Navedenim će se postići optimalno iskorištenje šumskih kamionskih skupova, smanjenje početne nabavne cijene, te smanjenje početne mase kamionskih skupova. Bitno je za napomenuti da se ova konstatacija odnosi samo na kamione koji se koriste u brdsko planinskom području, dok je za ostala područja potrebno napraviti detaljna istraživanja.

Na slikama 86 i 87 je prikazana prosječna raspodjela osovinskih opterećenja s obzirom na tip šumskog kamionskog skupa. Rezultati prikazani na slici 86, ukazuju na značajne razlike u raspodjeli osovinskih opterećenja kamionskih skupova koji su sudjelovali u istraživanju. Na raspodjelu mase po osovinama kod opterećenih kamionskih skupova (slika 87) značajan utjecaj ima položaj dizalice prilikom transporta (slika 88 i 89). Prilikom istraživanja, vozači IVECO kamionskih skupova su pri transportu tehničke oblovine, kako bukve tako i jele, hidrauličnu dizalicu postavljali u "ispruženi" položaj prikazan na slici 89. Upravo zbog položaja dizalice prilikom transporta dolazi do značajnih razlika (7 %) u raspodjeli mase tovara kod istraživanih kamionskih skupova (slika 87). Postavljenjem dizalice u "ispruženi" položaj dolazi do znatnog rasterećenja stražnje osovine kamiona, te je u tom slučaju najviše opterećena druga osovina kamiona.

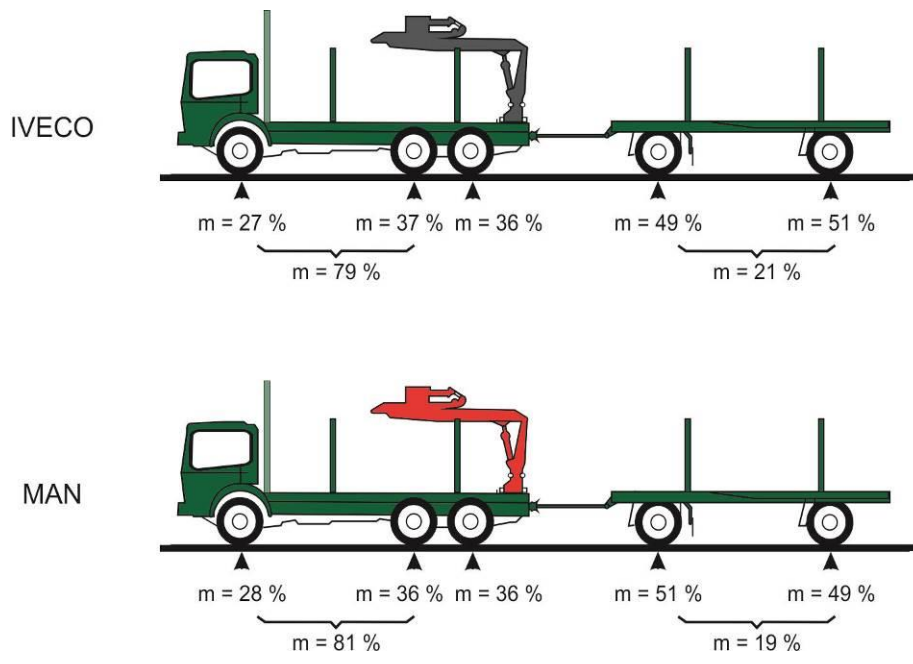
Na slici 90 prikazana je raspodjela mase tri vrste tovara kod dva tipa kamionskih skupova koji su bili objekt istraživanja. Osim o položaju dizalice prilikom prijevoza sortimenata, prema podacima prikazanim na slici 90 vidljivo je da raspodjela mase tovara po osovinama značajno ovisi o vrsti tovara. Na temelju rezultata istraživanja može se zaključiti da se kod prikolice uvijek veći dio mase prebacuje na stražnju osovinu. Razlog tomu su dimenzije sortimenata (dužina) te način slaganja sortimenata u tovarni prostor prikolice. U tablici 38 su prikazane maksimalne postotne vrijednosti mase koje se prebacuju na prvu osovinu kamiona, ovisno o tipu kamiona i vrsti tovara.

Tablica 38. Maksimalni postotak mase koja se prebacuje na 1 osovinu kamiona

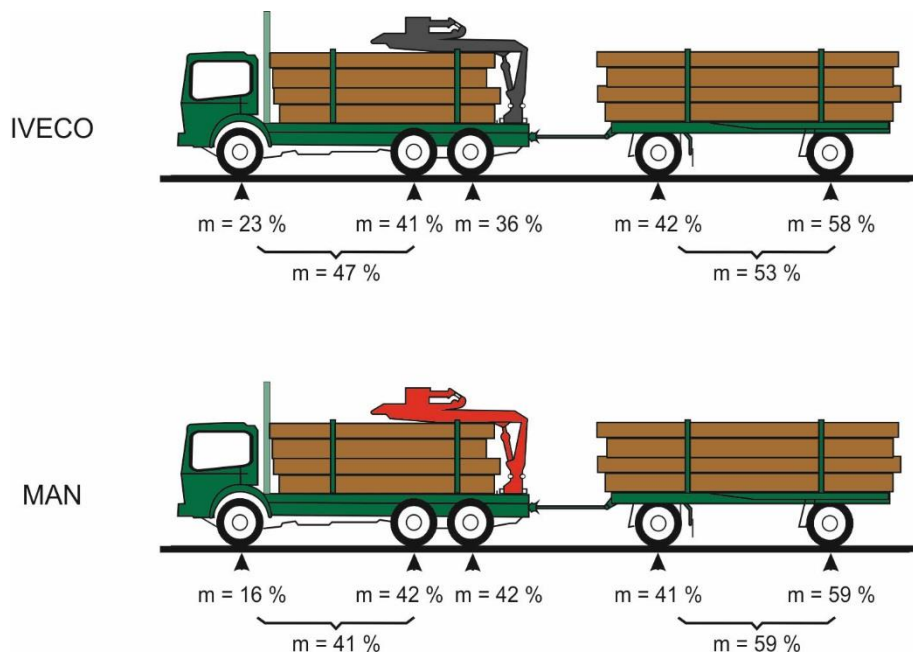
	Jela TO	Jela celuloza	Bukva TO
	%		
IVECO	26	33	28
MAN	11	19	21

Na slici 91 prikazana je raspodjela opterećenja po osovinama kod istraživanih kamionskih skupova za tri različite vrste tovara. Iz slike je vidljivo da na raspodjelu opterećenja po osovinama kamionskog skupa najviše utječe položaj dizalice prilikom transporta. Uz prosječan obujam tovara jelove celuloze od 26,69 m³ ne postoji značajna razlika u raspodjeli opterećenja po osovinama kamionskog skupa. Bitno je naglasiti da su oba tipa istraživanih kamionskih skupova, prilikom prijevoza jelove celuloze, dizalicu postavljali u transportni položaj. Također, razlika u raspodjeli osovinskih opterećenja nije vidljiva niti kod prijevoza bukovog tehničkog drva, gdje su oba kamionska skupa, prilikom prijevoza imali ispruženi položaj dizalice, prosječan obujam tovara bio je 21,54 m³. Značajna razlika u raspodjeli opterećenja je vidljiva kod prijevoza jelove tehničke oblovinne. Razlika je nastala upravo zbog različitog položaja dizalice prilikom prijevoza drva. Tako su vozači IVECO kamionskih prilikom prijevoza skupova dizalicu postavljali u "ispruženi" položaj (slika 89), dok su vozači MAN kamionskih skupova dizalicu postavljali u transportni položaj (slika 88). Prosječan obujam tovara prilikom prijevoza jelove tehničke oblovinne iznosio je 23,85 m³.

Kako se prilikom postavljanja hidrauličke dizalice u "ispruženi" položaj prebacuje određeni dio mase na 1. osovinu kamiona i tako značajno povećava njeno opterećenje, dolazi do povećanja dodirnih tlakova između kotača 1. osovine kamiona i šumske ceste. Šušnjar i dr. (2011b) navode kako se zbog jednostrukih kotača na 1. osovini kamiona javljaju maksimalni dodirni tlakovi između kotača i šumske ceste, čime 1. osovina radi najveća oštećenja šumske ceste.



Slika 86. Prosječna raspodjela osovinskih opterećenja neopterećenih kamionskih skupova



Slika 87. Prosječna raspodjela mase tovara s obzirom na vrstu kamionskog skupa



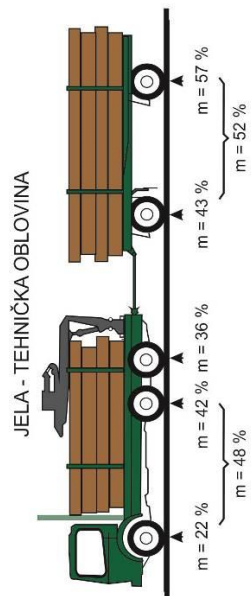
Slika 88. Transportni položaj dizalice



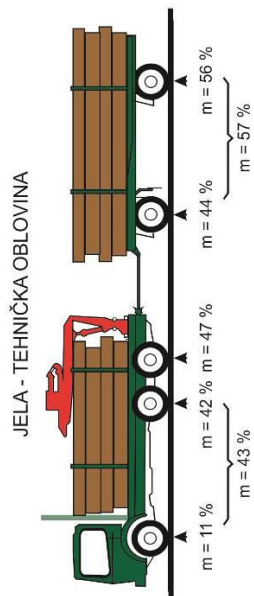
Slika 89. "Ispruženi" položaj dizalice

Iz slika 88, 89 i 92 jasno je vidljivo da stražnja osovina kamiona nije najopterećenija osovina, čime je odbačena **hipoteza 2**. Opterećenje stražnje osovine kamiona, kao i raspodjela mase tovara, ali i opterećenje po osovinama značajno ovisi o načinu slaganja sortimenata u tovarni prostor kamiona, kao i o načinu slaganja dizalice prilikom prijevoza drvnih sortimenata. Za vrijeme istraživanja stražnja osovina bila je najopterećenija osovina kamiona jedino prilikom prijevoza jelove tehničke oblovine s ŠKS MAN (slika 90), kada je dizalica bila skolopljena u transportni položaj, te kada su deblji krajevi sortimenata bili postavljeni točno iznad stražnje osovine kamiona.

IVECO



MAN

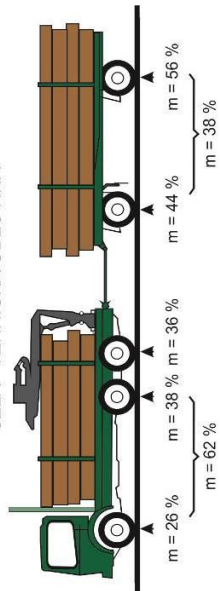


Slika 90. Raspodjela mase tovora po osovinama s obzirom na vrstu tovora

IVECO



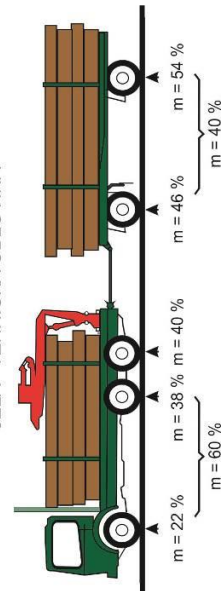
JELA - TEHNIČKA OBLOVINA



MAN



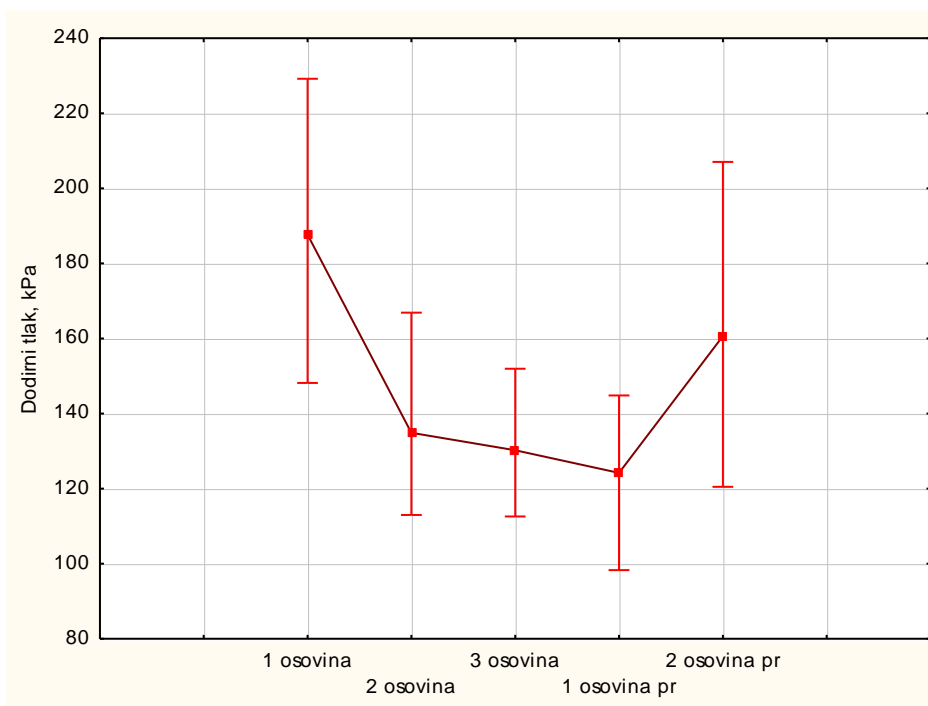
JELA - TEHNIČKA OBLOVINA



Slika 91. Raspodjela opterećenja po osovinama s obzirom na tip kamiona i vrstu tovara

Na slici 92 i u tablici 39 prikazane su vrijednosti dodirnih tlakova, između kotača i ceste, istraživanih ŠKS. Iz slike i tablice je jasno vidljivo da se ispod prve osovine kamiona javljaju najveće vrijednosti dodirnih tlakova. Nadalje, iz slike je vidljivo da se ispod kotača 2. osovine prikolice također javljaju visoke vrijednosti tlaka iako ta osovina nije najopterećenija osovina opterećenog ŠKS. Razlog tomu su dimenzije guma kojima su bili opremljene prikolice istraživanih ŠKS (275/70 22,5R). Rezultati istraživanja potvrđuju rezultate koje iznose Šušnjar i dr. (2011b), kako bi se upotrebom širih guma, naročito na prednjoj osovini (npr. dimenzija 385/65 22,5R) te na osovinama prikolice (dimenzije guma 295/80 22,5R) značajno smanjio negativan utjecaj na šumske ceste. Nadalje, upotrebom središnjeg sustava kontrole tlaka u gumama (*Central tire inflation system – CTIS*), koji opisuju Ashmore i Sirois (1987) značajno bi se moglo pridonijeti smanjenju dodirnog tlaka između kotača kamiona i šumske ceste. Osim navedenog, upotrebom CTIS-a smanjuju se oštećenja šumskih cesta, poboljšava se prohodnost kamiona, smanjuje se potrošnja goriva (Brokmeier 2011, Anon 2012), poboljšava upravljivost vozila te udobnost vožnje. MacGregor i dr. (1998) navode da se upotrebom CTIS-a, osim već navedenog, smanjuje i trošenje guma na ŠKS, čime se izravno doprinosi smanjenju troškova daljinskog prijevoza drva kamionima.

Navedeni rezultati, još jednom jasno pokazuju da bi se u zakonskim propisima kojima su regulirana maksimalna osovinska opterećenja umjesto jedinica za masu trebale koristiti mjerne jedinice za tlak, odnosno da bi se ograničenja trebala uvjetovati dodirnim tlakovima između kotača i ceste. Osim toga, istraživanja Löforth i Svenson (2011) na primjeru »One stack more« kamionskog skupa, u kojima autori navode da povećanje ukupne mase i duljine vozila nije imalo nikakvog negativnog učinka na prometnu infrastrukturu upravo zbog ujednačenog dodirnog tlaka između kotača i ceste može biti polazišna točka za daljnji razvoj nacionalnog zakonskog okvira vezanog uz dopuštena osovinska opterećenja vozila.



Slika 92. Vrijednosti dodirnih tlakova istraživanih ŠKS

Tablica 39. Vrijednosti dodirnog tlaka između kotača i ceste

		N	Prosjek	Min.	Maks.	Std.Dev.
1 osovina	Kamion	48	184,39	148,17	229,22	21,455
2 osovina		48	137,52	112,99	186,78	14,730
3 osovina		48	130,41	112,60	151,96	8,782
1 osovina pr	Prikolica	48	124,97	98,30	171,86	15,206
2 osovina pr		48	161,80	120,51	207,05	19,767

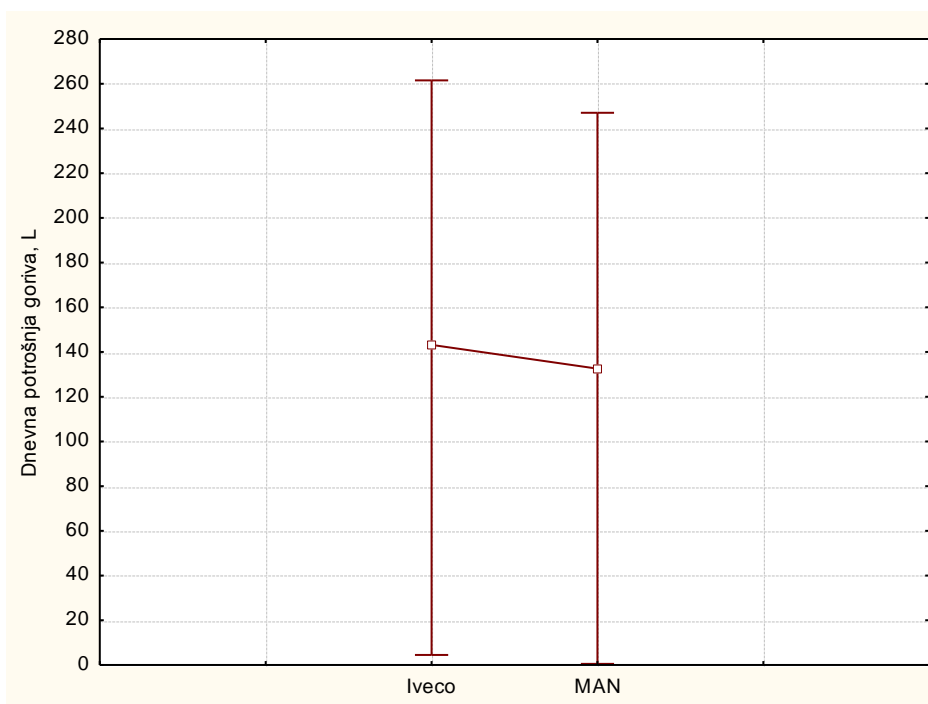
4.4. Energijska učinkovitost kamionskog prijevoza drva

Tijekom provedbe istraživanja promatrani ŠKS su prevezli ukupno 12.691 m³ (MAN 6.636 m³, IVECO 6.055 m³), utrošili su ukupno 27.435 litara pogonskog goriva (MAN 13.256 L, IVECO 14.179 L), uz ukupno prijeđen put od 48.982 km (MAN 26.537 km, IVECO 22445 km). Udio vožnje opterećenog ŠKS je za MAN 46,6%, a za IVECO 43,7%. Iz navedenog je razvidno da je organizacijskim rješenjima potrebno pokušati povećati udio vožnje opterećenih ŠKS do minimalno 50%. Prosječna dnevna brzina kretanja istraživanih ŠKS je iznosila 40 km/h. Jedinični utrošak goriva po jedinici prevezenog tereta iznosi 1,99L/m³ za MAN, te 2,34 L/m³ za IVECO. Jedinična potrošnja goriva za prijeđeni put iznosi 50 L/100km za MAN, te 63 L/100km za IVECO. Usporede li se dobiveni rezultati s podacima koje navode Karjalainen i Asikainen (1996) za potrošnju goriva u Finskoj, 56 L/100km te Svenoson (2011) za Švedsku, 58/100km, vidljivo je da je potrošnja goriva kod istraživanih ŠKS manja, ali je bitno za naglasiti da ŠKS u Finskoj i Švedskoj ŠKS prevoze u jednoj turi obujam tovara od prosječno 49 m³. Nadalje, usporede li se dobiveni rezultati s potrošnjom goriva koju navodi Klvač (2013), 2,19 L/m³, vidljivo je da istraživani ŠKS MAN u prosjeku imaju manju jediničnu potrošnju goriva po jedinici prevezenog tereta. Uzrok manje jedinične potrošnje goriva MAN ŠKS po jedinici prevezenog tereta je manja starost istraživanog ŠKS (<1 godine), dok su u istraživanju koje je proveo Klvač, ŠKS bili stari u prosjeku 4 godine.

Uzrok veće jedinične potrošnje goriva IVECO ŠKS po jedinici prevezenog tereta proizlazi iz načina obračuna prevezenog obujma, jer HŠ za svoju evidenciju koriste neto obujam drva (obujam drva bez kore i greška Huberove formule), dok je Klvač u svojim istraživanjima koristio obujam drva s korom. Usporedbom rezultata s podacima koje iznose Zorić i dr. (2014) za daljinski prijevoz drva kamionima, vidljivo je da ŠKS MAN ima značajno manju jediničnu potrošnju goriva nego kamioni kojima je 2012. godine raspolagala UŠP Senj, dok IVECO uz značajno veću potrošnju goriva od ŠKS MAN-a, ima jediničnu potrošnju goriva značajno ispod prosjeka UŠP Senj za 2012. godinu. I jedan i drugi istraživani ŠKS imaju manje jedinične potrošnje goriva, ako se usporede s jediničnom potrošnjom goriva 2012. godine za sve ŠKS državne tvrtke "Hrvatske šume" d.o.o Zagreb, koja je za 101 ŠKS iznosila 2,73 L/m³, odnosno 66 L/100km. Razlog tomu je što je prosječna starost ŠKS u 2012. godini iznosila 12,7 godina. Holzleitner (2011) navodi prosječnu jediničnu potrošnju goriva od 2,09 L/m³, isti autor navodi da je potrošnja goriva kod vožnje opterećenih ŠKS iznosila 52,6 L/100km, a prilikom vožnje neopterećenih ŠKS 62 L/100km. Hohle (2011) navodi da je za prijevoz različitih drvnih sortimenata u Norveškoj potrošnja goriva iznosila 2,2 L/m³. Na jediničnu potrošnju goriva

značajno utječu zakonom dopuštena opterećenja i organizacija, tako Löforth i Svenson (2011) na primjeru »One stack more« kamionskog skupa navode kako se povećanjem dopuštene nosivosti kamionskog skupa s 60 na 90 tona značajno smanjuje potrošnja goriva po jedinici prevezenog drva, do čak 20 %, te samim time dolazi i do značajnog smanjenja troškova prijevoza.

Na slici 93 prikazan je raspon dnevne potrošnje za istraživane ŠKS. Iz slike i tablice 40 jasno je vidljivo da niti jedan od istraživanih skupova tijekom radnog dana ne utroši više od maksimalnih 261 L goriva.



Slika 93. Dnevna potrošnja goriva

Tablica 40. Opisna statistika dnevne potrošnje goriva

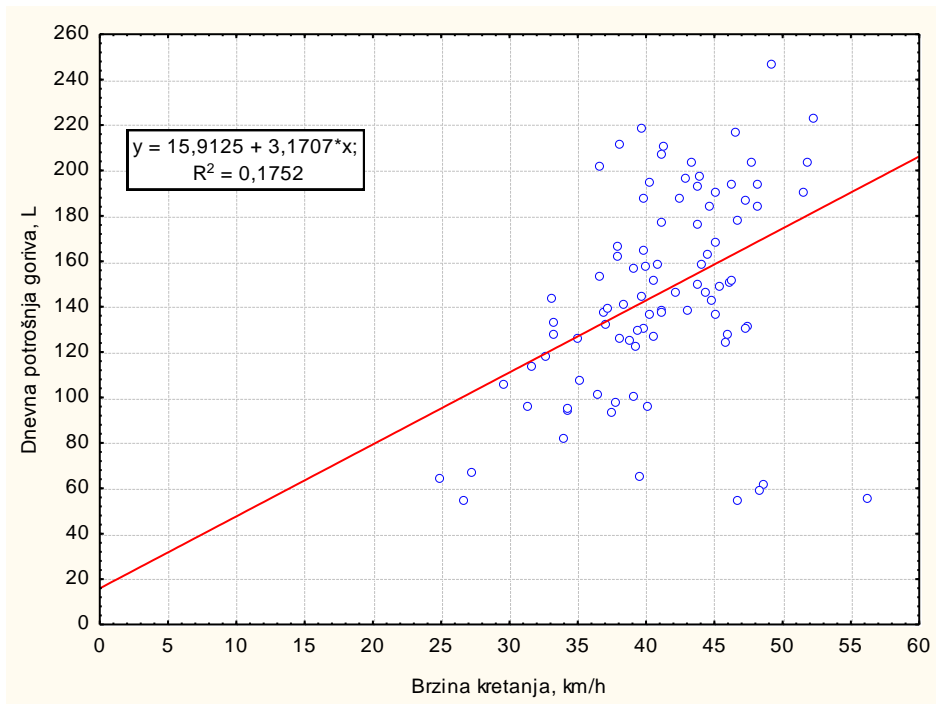
	N	Prosjek	Min.	Maks.	Std.Dev.
Iveco	99	143,21	4,5	261,5	56,78312
MAN	100	132,56	0,5	247,0	58,52217

Kako istraživani kamionski skupovi imaju spremnik za gorivo kapaciteta 400 L, na temelju navedenih rezultata vidljivo je da je moguće smanjenje kapaciteta spremnika za gorivo čime će se pridonijeti smanjenju početne mase ŠKS, odnosno povećanju prevezene količine tereta. Navedeno je u suglasju s preporukama koje donosi (Anon 2012) koji uz ostale načine za smanjenje potrošnje goriva i povećanje učinkovitosti preporučuje i smanjenje spremnika za gorivo.

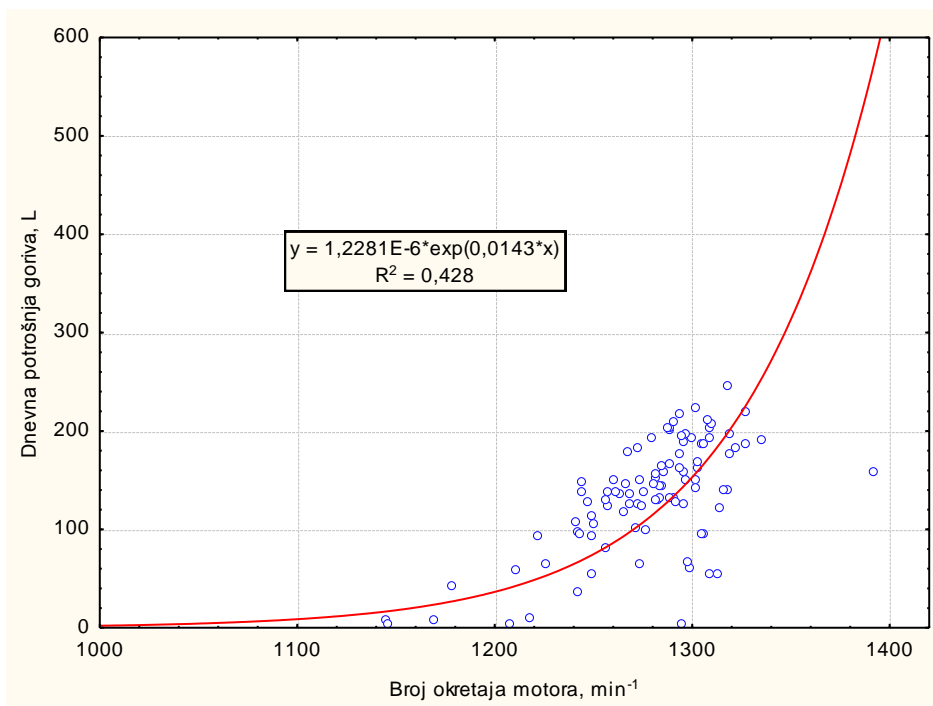
Na slici 94 prikazana je ovisnost dnevne potrošnje goriva o brzini kretanja, na slici 95 ovisnost dnevne potrošnje goriva o prosječnom broju okretaja motora tijekom dana. Na slici 96

prikazana je ovisnost dnevne potrošnje goriva o broju pritisaka spojke tijekom radnog dana, dok je na slici 97 prikazana ovisnost potrošnje goriva o broju kočenja tijekom dana. Iz slika 94, 95, 96 i 97 jasno je vidljivo da na dnevnu potrošnju goriva, koja se linearno povećava, značajno utječe brzina kretanja vozila, broj promjena stupnja prijenosa te broj kočenja, dok kod promjene režima rada motora dolazi do eksponencijalnog povećanja potrošnje goriva, čime režim rada motora ima najveći učinak na dnevnu potrošnju goriva. Prethodno navedeno potvrđuje navode Marolda (1980), Đuraševića (1983), Ledinskog (1984), Severa i Horvata (1989), da način vožnje značajno utječe na potrošnju goriva. Do povećanog broja promjene stupnja prijenosa i povećanog broja kočenja prilikom prijevoza drva kamionima dolazi zbog karakteristika šumskih cesta u brdskom i brdsko-planinskom području. Navedene šumske ceste su karakterizirane velikim uzdužnim nagibima, naglim promjenama nagiba, horizontalnim krivinama s malim radijusima, malom širinom kolnika itd. Osim karakteristika šumske ceste na broj promjene stupnja prijenosa i broj kočenja utječe i odabir rute kretanja ŠKS. Kretanjem kroz naselja smanjuje se brzina kretanja, povećava broj promjena stupnja prijenosa te broj kočenja, stoga je prilikom planiranja ruta kretanja poželjno odabrati rutu kretanja van naseljenih mjesta, ukoliko je moguće, jer se takvim odabirom utječe na smanjenje potrošnje goriva. Analizom varijance modela korištenog za izjednačenje ovisnosti dnevne potrošnje goriva o broju kočenja utvrđena je njegova značajnost $F(2;97) = 528,8005$; $p < 0,001$, dok je u tablici 41 prikazana analiza parametara korištenih u modelu.

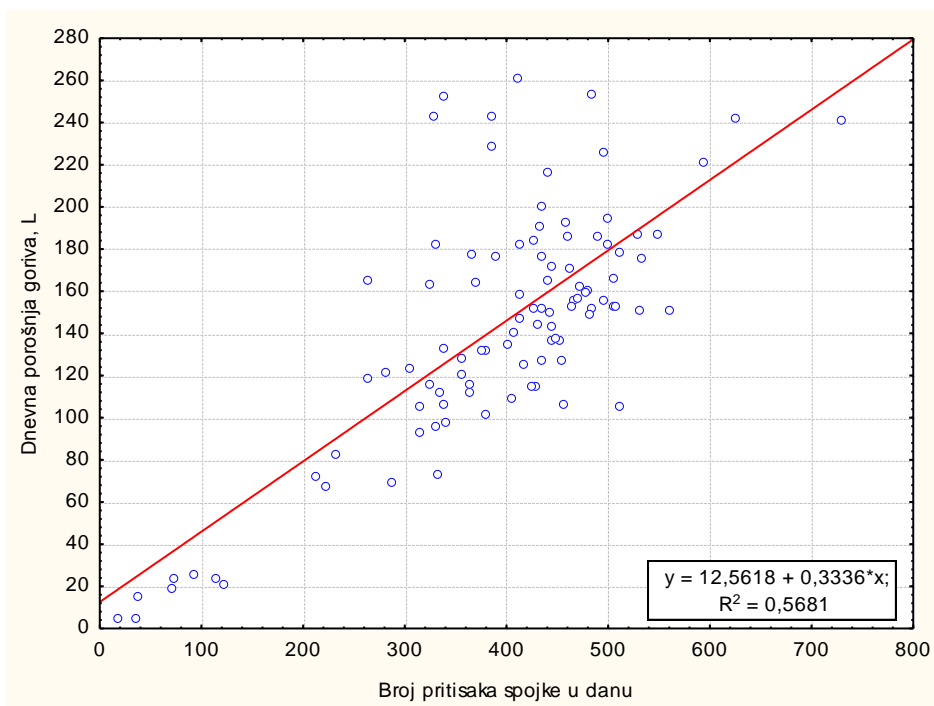
Dnevnu potrošnju goriva ŠKS potrebno je daljnjim istraživanjima detaljnije razraditi, odnosno podijeliti je na radne segmente kako bi se utvrdili radni zahvati koji imaju značajan utjecaj na potrošnju goriva. Navedena razrada poslužila bi kao osnova za analizu načina vožnje čijom bi se korekcijom mogle ostvariti uštede na gorivu.



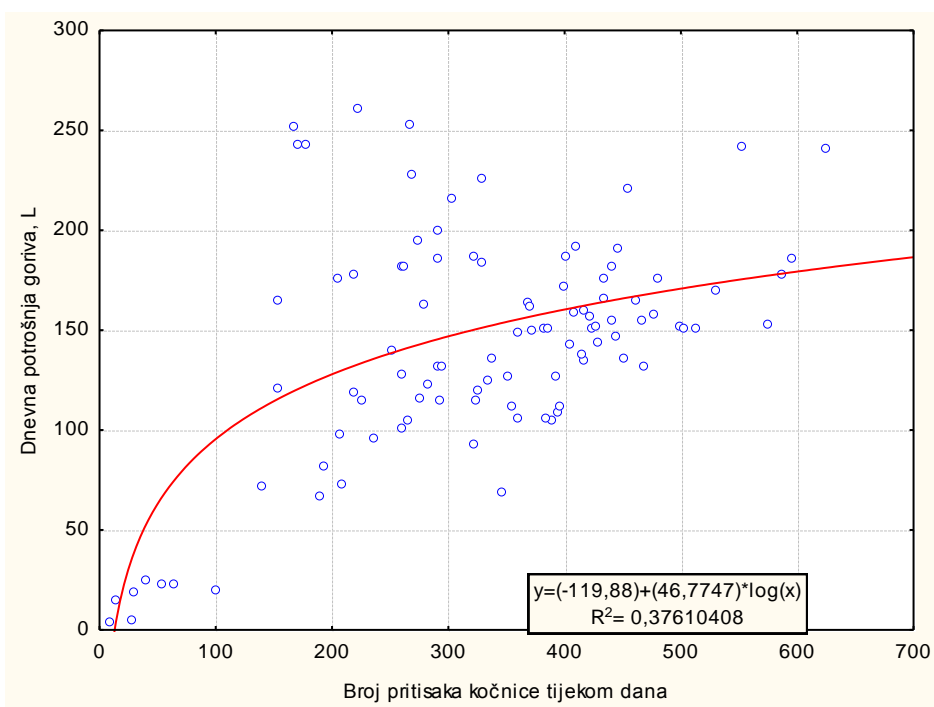
Slika 94. Ovisnost dnevne potrošnje goriva o brzini kretanja



Slika 95. Ovisnost dnevne potrošnje goriva o broju okretaja motora



Slika 96. Ovisnost dnevne potrošnje goriva o broju pritisaka spojke



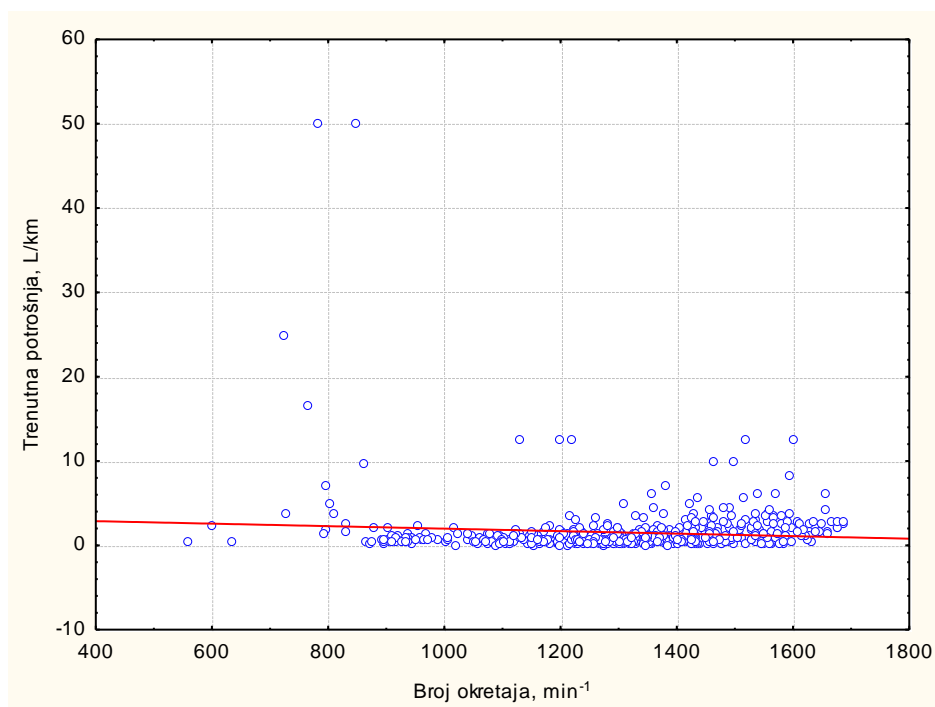
Slika 97. Ovisnost dnevne potrošnje goriva o broju kočenja

Tablica 41. Opisna statistika dnevne potrošnje goriva ovisno o broju kočenja

	Procijena	Standardna greška	t-vrijednost - ss = 84	p
a	-119,877	34,70254	-3,45442	0,001
b	46,775	6,11684	7,64687	0,00

Mjerenje trenutne potrošnje goriva obavljeno je tijekom 18 radnih dana. Ukupna potrošnja tijekom mjerenja je bila 1842 L goriva. Trenutna potrošnja goriva se kretala od 4 L/100km do 5000 L/100km prilikom kretanja opterećenog ŠKS uz nagib. Na slici 98 prikazana je ovisnost

trenutne potrošnje goriva o broju okretaja motora prema podacima koji su prikupljeni pomoću FMS-a. Kako FMS ne bilježi podatak u kojem se stupnju prijenosa nalazi kamion, pomoću podataka snimljenih FMS-om nije moguće odrediti ovisnost trenutne potrošnje goriva, odnosno utjecaj načina vožnje na trenutnu potrošnju goriva. Također, uzdužni nagib ceste nije bilo moguće odrediti korištenjem mobilne aplikacije, stoga je za buduća istraživanja potrebno detaljno snimiti cestu upotrebom klasične ili suvremene mjerne metoda za snimanje uzdužnog nagiba ceste, kako bi se tada na temelju rezultata izmjere i podataka koji su prikupljeni pomoću FMS-a mogla odrediti ovisnost trenutne potrošnje goriva i uzdužnog nagiba ceste. Iako pomoću korištenog FMS-a i Android aplikacije nije bilo moguće utvrditi trenutnu potrošnju goriva ovisno o uzdužnom nagibu ceste, tijekom analize zamijećeno je da trenutna potrošnja goriva značajno ovisi o opterećenosti kamiona, uzdužnom nagibu ceste, stanju kolničke konstrukcije, stupnju prijenosa i broju okretaja. Također, nije utvrđen utjecaj vrste kolničke konstrukcije na trenutnu potrošnju goriva, stoga se **hipoteza 4** ne može niti prihvatiti niti odbaciti.



Slika 98. Ovisnost trenutne potrošnje goriva o broju okretaja

Lindhqvist i Bengtsson (2010) razrađuju mogućnosti i daju smjernice za daljnji razvoja ETT sustava. Prijedloge za daljnji razvoj dijele u tri skupine, ovisno o važnosti, s time da se najveća važnost pridaje potrošnji goriva. Prikaz njihovih prijedloga je u tablici 6.

Povećanje okolišne pogodnosti i energetske učinkovitosti kamionskog transporta drva moguće je provesti na nekoliko načina. Tako Loforth i Lindholm (2005) navode da se potrošnja goriva i maziva može smanjiti za 5 – 10 % poboljšanjem aerodinamičnosti kamiona.

Brokmeier (2011) navodi da se upotrebom centralnog sustava kontrole tlaka u gumama kamiona (CTIS) može značajno utjecati na ergonomsko, okolišno i ekonomsko poboljšanje prijevoza drva kamionima, jer se upotrebom CTIS-a smanjuje potrošnja goriva, trošenje guma, potrebe za održavanjem vozila, te negativan utjecaj kamiona na primarnu prometnu infrastrukturu.

Određivanje ovisnosti trenutne potrošnje goriva o broju okretaja, broju promjene stupnja prijenosa i broju kočenja predstavlja temelj za analizu načina vožnje kamiona koji prema istraživanjima Marolda (1980), Đuraševića (1983), Ledinskog (1984), Severa i Horvata (1989) ima najznačajniji utjecaj na potrošnju goriva. Unatoč nemogućnosti određivanja navedenih ovisnosti pomoću podataka prikupljenih s FMS-om, dobiveni rezultati ovisnosti dnevne potrošnje o načinu vožnje predstavljaju temelj za daljnje detaljnije analize utjecaja načina vožnje. Analizom načina vožnje te dodatnom edukacijom vozača može se značajno pridonijeti smanjenju potrošnje goriva.

U bilješkama Benšaka (2015) navedeno je kako šumski tegljački skup bez hidraulične dizalice ima prosječnu potrošnju goriva od 35 L/100km, uz mogućnost prijevoza 27m³, što je značajno manja potrošnja goriva u odnosu na istraživane ŠKS. Istraživani ŠKS su imali jediničnu potrošnju goriva prilikom kretanja po javnim prometnicama od 47 L/100km, dok su prilikom kretanja po šumskim cestama, ovisno od karakteristika šumske ceste imali potrošnju do 82 L/100km. Šumski tegljački skupovi, zbog svojih dimenzija i karakteristika šumskih cesta, rijetko se kreću šumskim cestama, najveći dio svog radnog vremena provode na javnim prometnicama (autocestama), dok na utovar čekaju na pomoćnim stovarištima uz javne prometnice (slika 99). Navedeno je razlog da istraživani ŠKS imaju nepovoljniju energetska učinkovitost, čime je potvrđen drugi dio **hipoteze 3** koji se odnosi na energetska učinkovitost ŠKS. Kako bi se utvrdili točni podaci o potrošnji goriva šumskih tegljačkih skupova potrebno je izvršiti izravna mjerenja potrošnje, korištenjem FMS-a ili drugih mjernih sustava za potrošnju goriva. Upotrebom kombiniranog prijevoza drva šumskim tegljačkim skupovima i ŠKS potrebno je detaljno planiranje rasporeda utovara kako bi se maksimalno smanjila vremena čekanja na utovar tegljačkog skupa, odnosno istovar ŠKS. Nadalje, potrebno je odrediti optimalan broj tegljačkih skupova i ŠKS u pojedinoj „radnoj grupi“ (konvoju) kako bi se

postiglo maksimalno iskorištenje strojeva. Kombiniranom primjenom šumskih tegljačkih skupova i ŠKS može se očekivati smanjenje kako jedinične tako i ukupne potrošnje goriva. Nadalje, korištenjem montažno-demontažnih dizalica smanjila bi se jedinična potrošnja goriva, jer se na takav način smanjuje početna masa ŠKS. Negativne strane korištenja šumskih tegljačkih skupova se ogledaju u tome što je zbog reljefnih karakteristika određenog geografskog područja te zbog načina gradnje šumskih cesta (radijusi horizontalnih krivina) njihova primjena ograničena. Nadalje, za njihovu primjenu potrebno je izgraditi nova ili prilagoditi postojeća pomoćna stovarišta na kojima bi bio moguć utovar. Osim navedenog, prijevoz drva sa šumskim tegljačkim skupovima, ukoliko se ne radi o skupini vozila (konvoju), moguć je samo u pogone drvnih industrija koje imaju istovarne naprave (samohodne dizalice, portalne dizalice, istovarivače).



Slika 99. Utovar šumskog tegljačkog skupa na pomoćnom stovarištu uz javnu prometnicu

Rezultati prikazani u ovome radu su nastali na osnovu prikupljanja podataka pomoću FMS-a. Tijekom istraživanja sakupljena je velika količina objektivnih podataka, što prema Holzleitneru (2011) značajno utječe na točnost daljnjih analiza. Upotrebom FMS-a za istraživanje prijevoza drva kamionima potvrđena je teza da je velika prednost korištenja FMS-a u znanstvene svrhe mogućnost provedbe istraživanja nekih eksploatacijskih značajki vozila u gotovo nekontroliranim uvjetima, odnosno bez da se remeti njegov normalan, svakodnevni rad (Pandur 2013). Osim jednog dijela podataka koji je korišten u ovome istraživanju FMS pruža znatne

mogućnosti, poput planiranja ruta za kamione, trenutno praćenje radnog zahvata, izravne komunikacije s vozačem, što sve može doprinijeti znatnom unaprjeđenju daljinskog prijevoza drva kamionima. Dodatnim razvojem FMS-a za područje šumarstva, npr. praćenje mase tereta i na kamionu i prikolici omogućilo bi se praćenje tereta u realnom vremenu ili korištenje RFID (engl. *Radio Frequency Identification*) tehnologije, koje opisuju Korten i Kaul (2008) prema Panduru (2013). Ugradnjom RFID odašiljača u identifikacijske pločice kojima se obilježavaju drvni sortimenti omogućuje se praćenje pojedinog drvnog sortimenta u lancu dobave drva od panja do mjesta njegove prerade što doprinosi kontroli kretanja pojedinog sortimenta, značajnoj uštedi vremena, te pojednostavljenju daljnjih radova. Nadalje, uz prethodno opisane nedostatke komercijalnog FMS-a, za potrebe šumarstva trebalo bi unaprijediti praćenje utroška goriva prilikom rada hidraulične dizalice kako bi se mogla napraviti detaljnija analiza rada ŠKS, a dobiveni podaci bi se koristili kao podloga za istraživanje primjene alternativnih pogona hidraulične dizalice (npr. pogon dizalice elektromotorom). FMS se, uz sve navedene nedostatke, pokazao kao adekvatan alat za prikupljanje podataka kako za znanstvene tako i za praktične svrhe, čime je potvrđena **hipoteza 6**.

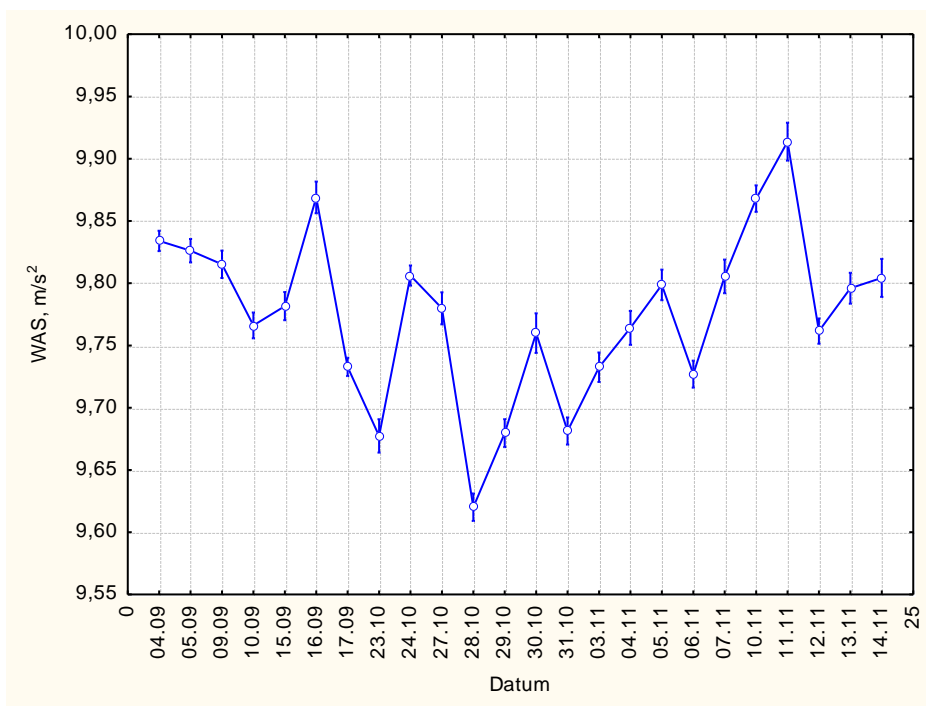
4.5. Procjena stanja šumskih cesta pomoću vibracija

Mjerenje vibracija za potrebe procijene stanja ŠC obavljeno je tijekom 24 dana, prilikom čega je tablet, s instaliranom aplikacijom za mjerenje vibracija, bio postavljen u kabini kamiona na vjetrobransko staklo (slika 54). Bitno je za naglasiti da u ovom istraživanju vibracije nisu mjerene s ergonomskog aspekta, nego je cilj bio pokušati odrediti stanje cesta na temelju promjene vrijednosti vibracija. Vibracije su mjerene u sve tri osi te su na temelju izmjerenih podataka izračunate vrijednosti WAS-a. U tablici 42 prikazana je opisna statistika za navedeno razdoblje istraživanja izmjerenih vrijednosti WAS-a, snimanih frekvencijom 10 Hz.

Tablica 42. Opisna statistika vrijednosti WAS-a tijekom 24 dana mjerenja

Datum	N	Prosjeak	Min.	Maks.	Std.Dev.
04.09	65534	9,837155	3,985394	15,99989	0,608462
05.09	65534	9,841416	3,836999	16,49525	0,659563
09.09	65534	9,877775	4,883055	15,22268	0,820099
10.09	65534	9,844569	4,902245	16,16946	0,787225
15.09	65534	9,855289	4,422787	16,03734	0,784043
16.09	65534	9,897357	3,654715	20,09510	0,901648
17.09	65534	9,819679	3,490345	16,40648	0,652094
23.10	65534	9,857140	3,114991	15,73193	0,855070
24.10	14188	9,806208	6,043212	14,00238	0,490892
27.10	65534	9,843855	3,514314	16,65076	0,832541
28.10	65534	9,781475	1,536255	18,53288	0,742510
29.10	65534	9,801374	4,883626	15,39679	0,732743
30.10	65489	9,836469	3,838500	16,46456	0,792148
31.10	65534	9,764113	4,574874	17,10812	0,589972
03.11	65534	9,808454	4,215411	14,82416	0,753777
04.11	65534	9,794580	2,074985	16,16197	0,837851
05.11	65534	9,814028	4,471923	14,48030	0,743353
06.11	65534	9,759370	5,761400	15,08550	0,674539
07.11	65534	9,850410	2,761985	17,17220	0,900533
10.11	65534	9,850584	2,936692	16,40252	0,582302
11.11	65534	9,922748	3,930333	17,45027	0,848294
12.11	65534	9,815066	5,377055	15,58970	0,719520
13.11	65534	9,795185	2,659019	15,90994	0,707290
14.11	65534	9,826027	3,864062	17,79754	0,950925

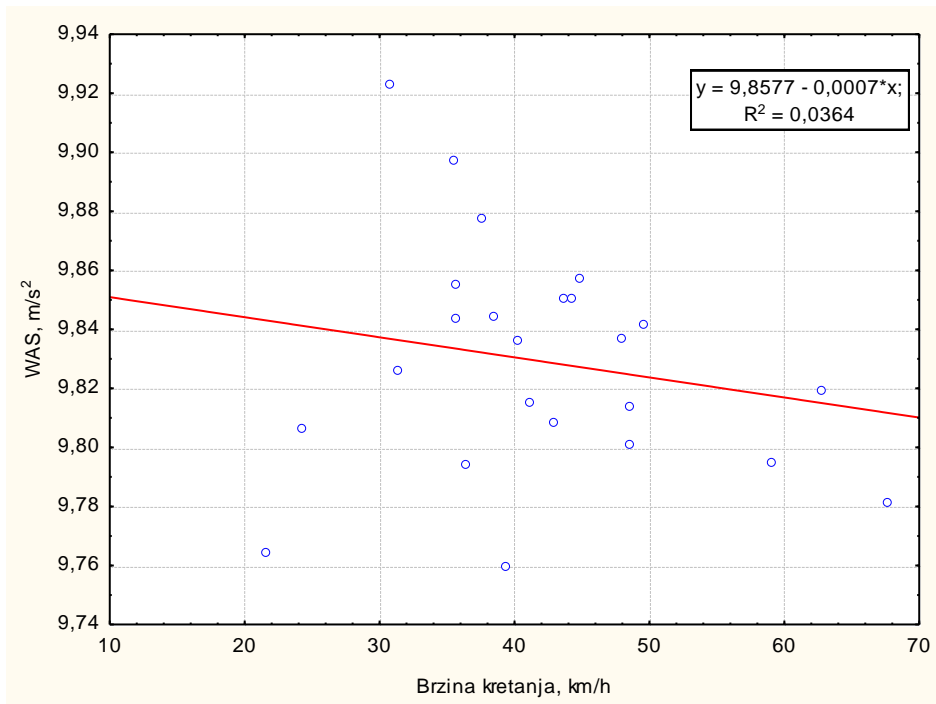
Na slici 100 prikazana je analiza varijance vrijednosti WAS-a za 24 snimljena dana. Iz slike 100 jasno je vidljivo da se vrijednosti vibracija značajno statistički razlikuju za svaki pojedini dan snimanja što ukazuje na to da su se kamioni svaki dan snimanja kretali drugačijim rutama. Preklapanjem podataka o lokacijama kamiona i katastra šumskih cesta u GIS-u uočeno je da se dana 11.11.2014, kada je izmjerena najveća prosječna vrijednost WAS-a ŠKS kretao isključivo po šumskim cestama s asfaltiranim i tucaničkim zastorom, dok se 28.10.2014 kada je izmjerena najniža prosječna vrijednost vibracija ŠKS kretao po javnim cestama s asfaltiranim zastorom.



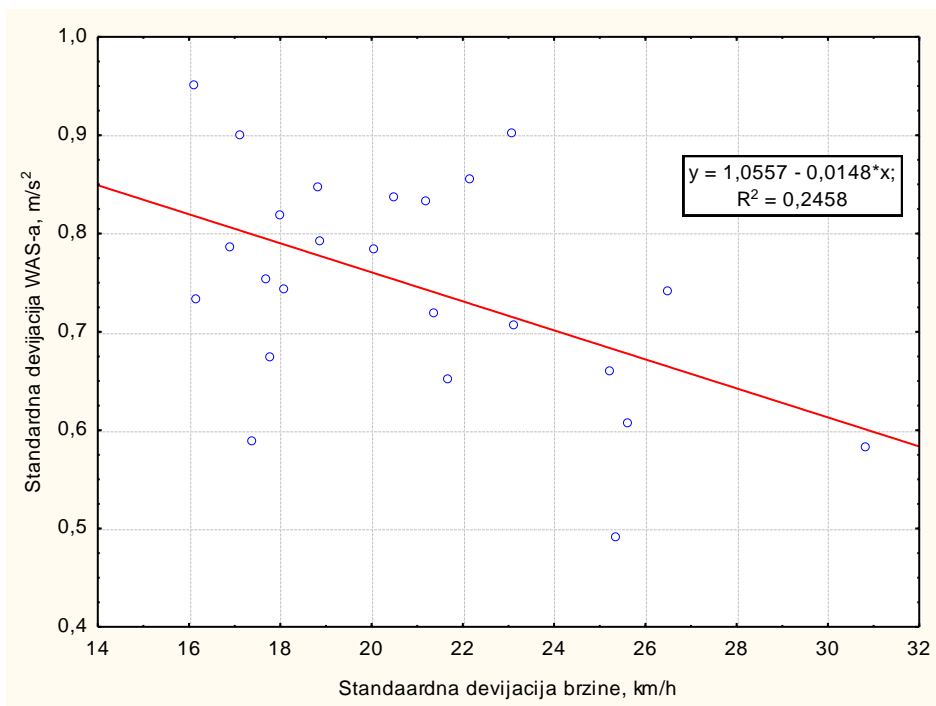
Slika 100. Analiza varijance mjerenja vibracija tokom 24 radna dana

Na slici 101 prikazana je ovisnost izmjerenih vrijednosti WAS-a o vrijednostima izmjerene brzine kretanja vozila. Unatoč iznimno maloj vrijednosti koeficijenta korelacije iz slike je vidljiv trend kretanja ovisnosti vrijednosti WAS-a o brzini kretanja vozila, odnosno pri većim brzinama kretanja vozila izmjerene vrijednosti WAS-a bi trebale biti manje što upućuje na jednoliko gibanje vozila, odnosno na kretanje vozila po cesti s iznimno malo oštećenja. Vožnjom pri manjim brzinama kretanja, uz veće vrijednosti WAS-a može se pretpostaviti da se vozilo kreće po cesti s oštećenom kolnom konstrukcijom. Kako bi se ujednačile vrijednosti, odnosno povećao koeficijent korelacije i potvrdila ovisnost, treba se prilikom snimanja stanja kolničke konstrukcije šumske ceste kretati ujednačenom brzinom.

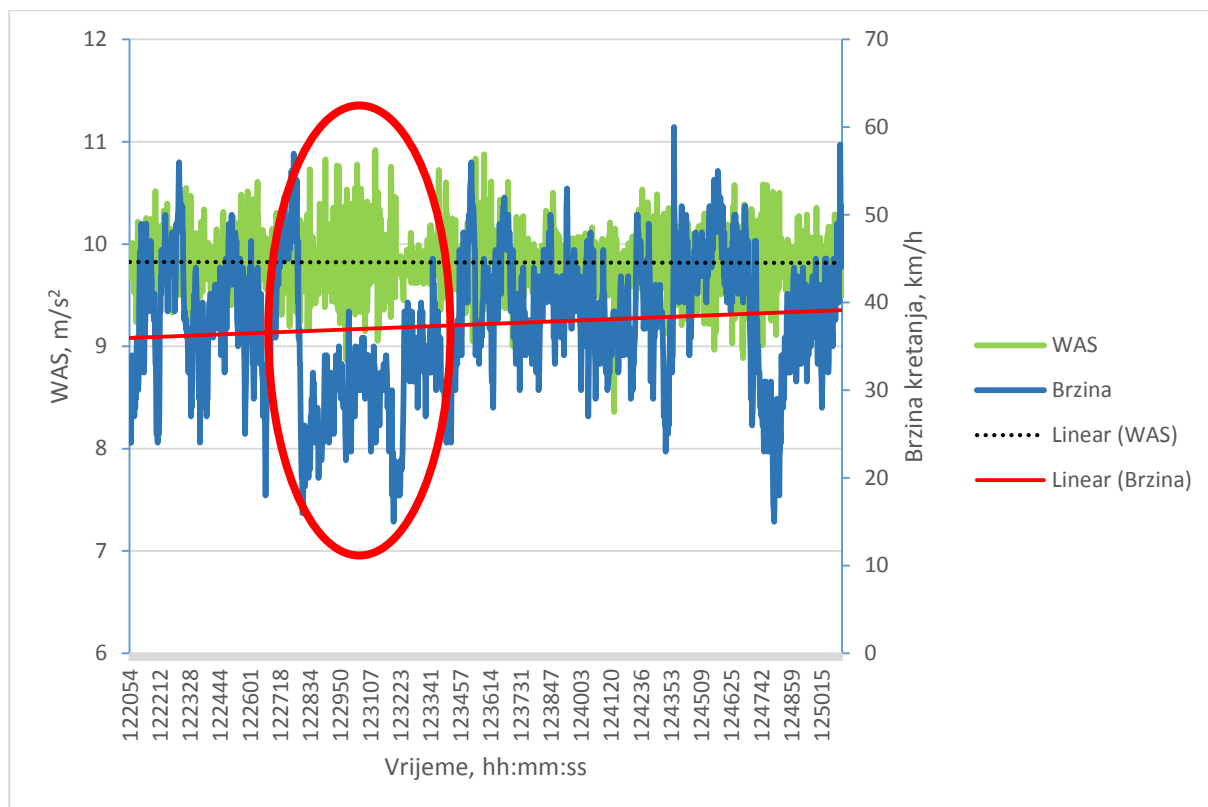
Na slici 102 prikazana je ovisnost vrijednosti standardne devijacije WAS-a o vrijednostima standardne devijacije brzine kretanja vozila. Iz slike je vidljivo da pri manjoj vrijednosti SD brzine kretanja vrijednosti WAS-a imaju veće rasipanje. Holzleitner (2011) navodi da brzina kretanja vozila po šumskim cestama iznosi u prosjeku 13,5 km/h, s maksimalnom vrijednosti od 14,91 km/h odnosno minimalnom vrijednosti 11,97 km/h. Iz navedenih brzina kretanja malog raspona, i dobivenih rezultata vidljivo je da prilikom kretanja nižim brzinama, izmjerene vrijednosti WAS-a imaju veće rasipanje što ukazuje na kretanje cestom s manje kvalitetnim kolničkim zatorom ili kretanje cestom s oštećenim kolničkim zatorom.



Slika 101. Ovisnost vrijednosti WAS-a o brzini kretanja vozila



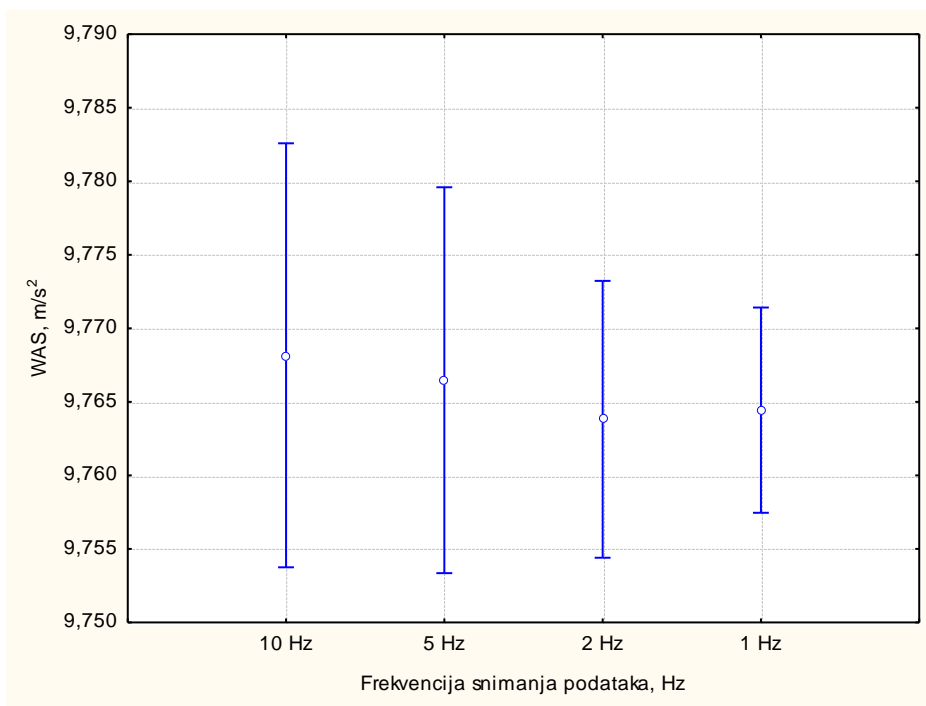
Slika 102. Ovisnost SD WAS-a o SD brzine kretanja vozila



Slika 103. Odnos WAS-a i brzine kretanja vozila na segmentu šumske ceste

Na slici 103 prikazan je odnos izmjerenih vrijednosti vibracija i brzine kretanja vozila na segmentu šumske ceste kojom se kretao istraživani ŠKS. Iz slike je jasno vidljivo da na dijelu šumske ceste gdje se javlja veće rasipanje vrijednosti vibracija dolazi do značajnog smanjenja brzine kretanja vozila, što jasno ukazuje na oštećenje kolničke konstrukcije na navedenom segmentu.

Kako je tijekom snimanja prikupljena velika količina podataka, u prosjeku 4 000 000 zapisa po danu snimanja, napravljena je analiza varijance vrijednosti WAS-a ovisno o frekvenciji prikupljanja podataka. Na slici 104 i u tablici 43 prikazana je analiza varijance vrijednosti WAS-a ovisno o frekvenciji mjerenja vibracija. Iz slike i tablice jasno je vidljivo da ne postoji značajna razlika u mjerenjima vibracija s frekvencijom snimanja od 10 Hz i od 1 Hz. Prilikom mjerenja vibracija za znanstvena istraživanja zbog detaljnosti prikupljanja podataka predlaže se mjerenje vibracija s frekvencijom od 5 Hz, dok se za praktičnu upotrebu može obavljati snimanje s frekvencijom od 1 Hz.

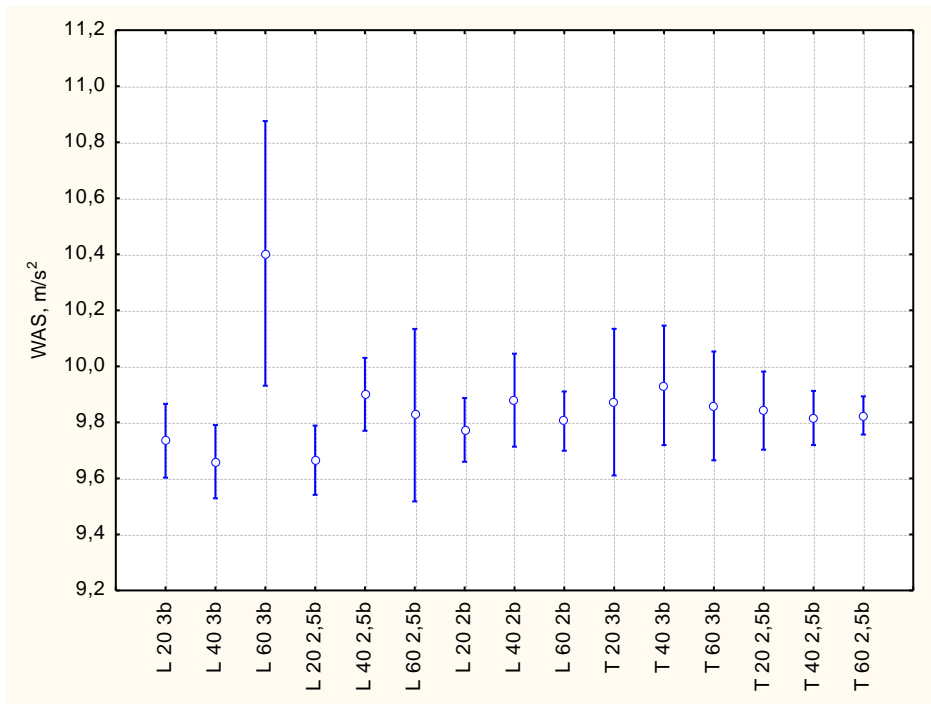


Slika 104. Analiza varijance vrijednosti WAS-a ovisno o frekvenciji snimanja

Tablica 43. Analiza varijance vrijednosti WAS-a ovisno o frekvenciji snimanja

Frekvencija snimanja		{1} - 9,7682	{2} - 9,7665	{3} - 9,7638	{4} - 9,7644
10	Hz		0,987851	0,833964	0,888171
5		0,987851		0,955523	0,979167
2		0,833964	0,955523		0,999377
1		0,888171	0,979167	0,999377	

Nakon provedenih mjerenja vibracija pomoću ŠKS u ne kontroliranim uvjetima, pristupilo se mjerenju vibracija u kontroliranim uvjetima tj. na odabranom segmentu šumske ceste. Kako su ŠKS iznimno skupi strojevi te kako ih se nebi izbacivalo iz sustava proizvodnje, za mjerenje u kontroliranim uvjetima odabrana su dva osobna automobila. Na slici 105 prikazana je analiza varijance vrijednosti WAS-a mjerenih s dva različita osobna automobila, pri tri različite brzine kretanja vozila, te tri različite vrijednosti tlaka u gumama vozila. Frekvencija snimanja je bila 1 HZ. Iz slike 105 i tablice 44 jasno je vidljivo da se samo prilikom kretanja osobnog vozila Lada Niva, brzinom od 60 km/h i s tlakom u gumama od 3 bara, javlja značajna razlika pri vrijednostima WAS-a, dok prilikom ostalih mjerenja nije zabilježena značajna razlika u vrijednostima WAS-a.



L – Lada Niva

T – Toyota Auris

20, 40, 60 – brzina kretanja automobila, km/h

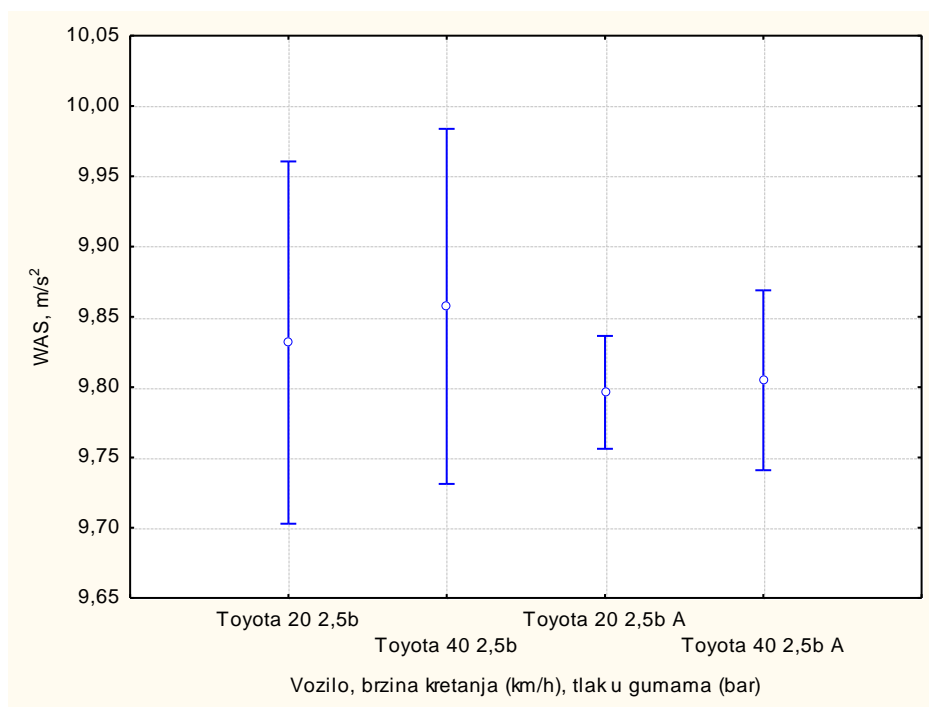
3b; 2,5b; 2b – tlak u gumama automobila, bar

Slika 105. Analiza varijance vrijednosti WAS-a ovisno o vrsti automobila, brzini kretanja, tlaku u gumama

Tablica 44. Analiza varijance vrijednosti WAS-a ovisno o vrsti automobila, brzini kretanja i tlaku u gumama

Toyota 60 2,5b	1,00000	Toyota 40 2,5b	1,00000	Toyota 20 2,5b	0,99998	Toyota 60 3b	0,99989	Toyota 40 3b	0,97672	Toyota 20 3b	0,99959	Lada 60 2b	1,00000	Lada 60 2,5b	1,00000	Lada 40 2,5b	0,99631	Lada 20 2,5b	1,00000	Lada 60 3b	0,00004	Lada 40 3b	1,00000	Lada 20 3b		R1	{1} - 9,7344
0,99654	0,99819	0,98988	0,97545	0,73003	0,95548	0,99927	0,94081	0,87960	1,00000	0,99997	0,99997	0,99634	1,00000	0,00003	0,00003	0,87960	1,00000	1,00000	1,00000	0,00003	0,00004	0,00003	1,00000	1,00000	0,99631	{2} - 9,6600	
0,00041	0,00029	0,00076	0,00139	0,01531	0,00221	0,00020	0,00283	0,00566	0,00042	0,00008	0,00008	0,00042	0,00042	0,00003	0,00003	0,00566	0,87960	0,99631	0,89679	0,00003	0,00004	0,00003	1,00000	1,00000	0,99631	{3} - 10,403	
0,99756	0,99876	0,99243	0,98074	0,75696	0,96392	0,99953	0,95127	0,89679	0,99741	0,99998	0,99986	0,99741	0,99998	0,99998	0,99998	0,99634	0,99997	0,99924	0,99741	0,00042	0,00042	0,00008	1,00000	1,00000	1,00000	{4} - 9,6650	
1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99634	0,99997	0,99924	0,99741	0,00042	0,00008	0,99997	1,00000	1,00000	1,00000	{5} - 9,9002	
1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99634	0,99997	0,99924	0,99741	0,00042	0,00008	0,99997	1,00000	1,00000	1,00000	{6} - 9,8258	
1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99634	0,99997	0,99924	0,99741	0,00042	0,00008	0,99997	1,00000	1,00000	1,00000	{7} - 9,7733	
1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99634	0,99997	0,99924	0,99741	0,00042	0,00008	0,99997	1,00000	1,00000	1,00000	{8} - 9,8795	
0,99999	0,99996	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99634	0,99997	0,99924	0,99741	0,00042	0,00008	0,99997	1,00000	1,00000	1,00000	{9} - 9,8046	
1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99634	0,99997	0,99924	0,99741	0,00042	0,00008	0,99997	1,00000	1,00000	1,00000	{10} - 9,8723	
0,99999	0,99996	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99634	0,99997	0,99924	0,99741	0,00042	0,00008	0,99997	1,00000	1,00000	1,00000	{11} - 9,9322	
1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99634	0,99997	0,99924	0,99741	0,00042	0,00008	0,99997	1,00000	1,00000	1,00000	{12} - 9,8590	
1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99634	0,99997	0,99924	0,99741	0,00042	0,00008	0,99997	1,00000	1,00000	1,00000	{13} - 9,8421	
1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99634	0,99997	0,99924	0,99741	0,00042	0,00008	0,99997	1,00000	1,00000	1,00000	{14} - 9,8159	
	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99634	0,99997	0,99924	0,99741	0,00042	0,00008	0,99997	1,00000	1,00000	1,00000	{15} - 9,8249	

Na slici 106 i tablici 45 prikazana je analiza varijance vrijednosti WAS-a prilikom kretanja vozila, brzinama 20 i 40 km/h, s tlakom u gumama od 2,5 bara na šumskoj cesti bez vezanog kolničkog zastora i s vezanim kolničkim zastorom.



Toyota – Toyota Auris
 20, 40, 60 – brzina kretanja automobila, km/h
 3b; 2,5b; 2b – tlak u gumama automobila, bar
 A – asfaltirana šumska cesta

Slika 106. Analiza varijance vrijednosti WAS-a ovisno o vrsti kolničkog zastora

Tablica 45. Analiza varijance vrijednosti WAS-a ovisno o vrsti kolničke konstrukcije i brzini kretanja

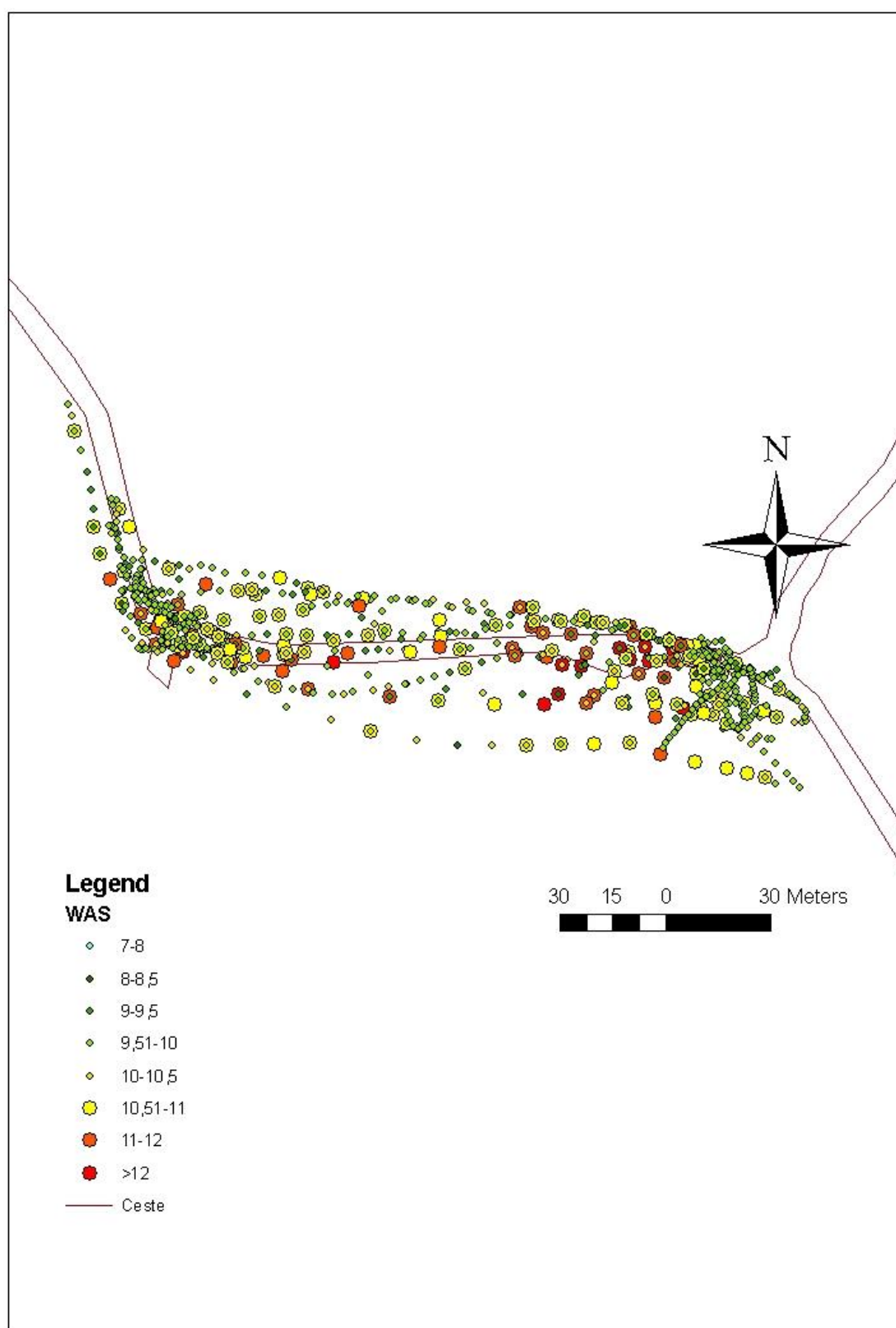
R1	{1} - 9,8317	{2} - 9,8575	{3} - 9,7963	{4} - 9,8049
Toyota 20 2,5b		0,977167	0,943930	0,974344
Toyota 40 2,5b	0,977167		0,770975	0,840871
Toyota 20 2,5b A	0,943930	0,770975		0,999167
Toyota 40 2,5b A	0,974344	0,840871	0,999167	

Prilikom mjerenja vibracija pomoću Android aplikacije te prilikom obrade podataka uočene su greške koje se javljaju prilikom mjerenja. Greške se očituju kroz zabilježbu nerealnih podataka ili krivog načina zapisa podataka. Prva uočena greška je nerealan zapis vrijednosti brzine kretanja, gdje je unatoč tome što su istraživani ŠKS limitirani na brzinu kretanja od 90 km/h, aplikacija bilježila brzine kretanja čak do 170 km/h. Takva greška se može objasniti kretanjem ŠKS kroz šumske komplekse, gdje je lošiji signal GPS-a, te se zbog toga događaju greške snimanja. Druga greška koja je uočena je ta da se poneki podaci o vrijednosti vibracija, nebitno koje osi, bilježili u formatu x,x,xxxx. Takav format zapisa nije moguće koristiti prilikom provedbe analize podataka. Treća greška koja je uočena, i spomenuta u prethodnom poglavlju su nerealne vrijednosti uzdužnog nagiba ceste. Zbog navedenih grešaka, bitno je prije provedbe

analize napraviti čišćenje snimljenih podataka, kako se ne bi dobili nerealni rezultati. Količina pogrešnih podataka po pojedinom danu snimanja iznosila je između 0,5 i 1%. Kako bi se za buduće korištenje unaprijedila aplikacija potrebno je:

- ⇒ ukloniti greške koje se javljaju prilikom snimanja;
- ⇒ omogućiti korisniku aplikacije da samostalno određuje početak i kraj snimanja, a ne da snimanje počinje čim se uređaj spoji s lokacijskim satelitima;
- ⇒ omogućiti korisniku izbor frekvencije snimanja;
- ⇒ iz aplikacije izbaciti snimanje podataka o putu i nagibu, jer se bilježe nerealni podaci, a samim time se smanjuje i veličina snimljenih datoteka, što pojednostavljuje daljnje analize podataka.

Korištenjem GIS-a kao alata za grafički prikaz prikupljenih podataka o stanju kolničke konstrukcije šumske ceste, moguće je izraditi tematske karte za pojedini šumski predjel, gospodarsku jedinicu ili čak za cijelu upravu šuma (slika 107). Na slici je vidljivo grupiranje vrijednosti WAS-a nakon višekratnog prolaska vozila, što ukazuje na determinaciju oštećenja koje se nalazilo na samome poligonu (slika 108). Tematska karta o stanju kolničke konstrukcije, uz daljnji razvoj metode, te kategorizaciju šumskih cesta na temelju stanja kolničke konstrukcije, može poslužiti stručnjacima kao podloga za daljnje planiranje radova održavanja šumskih cesta, te kao podloga za izračun potrebnih ulaganja.



Slika 107. Prikaz vrijednosti WAS-a na mjernom poligonu u Zalesini



Slika 108. Udarana rupa na poligonu za mjerenje vibracija

Na temelju prikazanih rezultata, vidljivo je da je moguće procijeniti stanje šumske ceste pomoću vibracija čime je potvrđena **hipoteza 5**. Vrijednosti vibracija ovise o vrsti vozila (kamion ili osobni automobil), brzini kretanja, dok ne ovise o tlaku u gumama vozila. Nadalje, pri nižim brzinama kretanja vozila (manje od 60 km/h) brzina nema značajan utjecaj na vrijednost vibracija. Navedeno je donekle u suglasju s konstatacijama Douangphachanh i Oneyama (2013). Iz slike 107 vidljivo je da točnost prikupljanja podataka značajno ovisi o kvaliteti GPS signala, stoga je preporučljivo svaku dionicu ceste koja se snima prijeći dva puta, kako bi se sa sigurnošću potvrdio prostorni raspored oštećenja.

U budućim istraživanjima potrebno je utvrditi korelaciju između subjektivne i objektivnih metoda za procjenu stanja ŠC, kako bi se mogle izraditi kategorije oštećenosti ovisno o reljefnom području. Sukladno cilju istraživanja nije trebalo mjeriti apsolutne vrijednosti vibracija, nego njihove relativne vrijednosti, odnosno promjenu vrijednosti vibracija tijekom kretanja vozila. Na temelju rezultata provedenih istraživanja, preporuča se da se za određivanje stanja tj. kategorije oštećenosti šumske ceste koriste standardne devijacije vrijednosti WAS-a. Nadalje, potrebno je istražiti utjecaj različitih pametnih telefona na vrijednosti vibracija, položaj i način postavljanja telefona unutar vozila tijekom snimanja. Potrebno je istražiti mogućnost korištenja vibracija za određivanje vrste oštećenja kolničke konstrukcije te odrediti optimalnu brzinu kretanja vozila tijekom snimanja stanja ŠC, te odrediti optimalnu veličinu uzorka (duljinu ceste koja se snima).

5. ZAKLJUČCI

Morfološka analiza se potvrdila kao koristan alat prilikom odlučivanja o nabavi novih alata. Upotrebom morfološke analize prilikom nabave hidrauličnih kamionskih dizalica potrebno je kao osnovnu veličinu koristiti masu koja izravno utječe na početnu masu ŠKS.

Na temelju dobivenih rezultata istraživanja utvrđene su značajne razlike u mjerenjima između tri korištena mjerna sustava. Mjerni sustav ugrađen u zračni ovjes kamionskih skupova moguće je koristiti za mjerenje mase tovara, ali ga je potrebno umjeriti kako bi se podaci koje daje mogli koristiti, kako u praktične tako i u znanstvene svrhe. Osim početnog umjeravanja potrebno je odrediti vremensko razdoblje za ponovnu kalibraciju.

Raspodjela mase tovara na osovinama kamiona značajno ovisi o početnoj raspodjeli mase neopterećenog kamionskog skupa, vrsti drva, vrsti sortimenta, te o položaju dizalice prilikom prijevoza drva.

Kako bi se, za praktične svrhe, utvrdio udio mase tovara koji se prebacuje na prednju osovina kamiona potrebno je napraviti mjerenja osovinskih opterećenja pri prijevozu svih gospodarskih vrsta drveća u Hrvatskoj.

Za procjenu mase tovara koja se prebacuje na 1. osovina kamiona potrebno je radi sigurnosti koristiti maksimalne vrijednosti koje su dobivene istraživanjem. Za praktičnu uporabu potrebno je, uz postojeći programski sustav (FMS), razviti programsko rješenje koje će na temelju izmjerenih vrijednosti opterećenja prednje osovine kamiona prilikom utovara drva vozaču ŠKS odmah u kabini kamiona prikazivati opterećenje na prednjoj osovini, opterećenje na ostalim osovinama ŠKS kao i ukupno opterećenje kamionskog skupa.

Na raspodjelu osovinskog opterećenja kamionskih skupova najveći utjecaj ima položaj dizalice prilikom transporta. Postavljanjem dizalice u transportni položaj ne dolazi do preopterećenja stražnje osovine kamiona, ukoliko cijeli kamion, odnosno kamionski skup nije u pretovaru.

Prednja osovina kamiona je najmanje opterećena osovina šumskog kamionskog skupa prilikom prijevoza drva. Unatoč tome upravo se ispod prednje osovine kamiona javlja najveći dodirni tlak između kotača i šumske ceste. Zbog navedenog je potrebno promijeniti zakonske propise o dozvoljenim osovinskim opterećenjima vozila u prometu na javnim cestama, te umjesto izraza za maksimalno opterećenje, koristiti izraz za maksimalni dodirni tlak.

Spremnik za gorivo istraživanih ŠKS nije potrebno puniti do maksimalne zapremine (400 L), nego do maksimalnih 270 L, dok se kod nabave novih ŠKS treba voditi računa o veličini zapremine spremnika tj. potrebno je nabavljati ŠKS s manjim spremnicima za gorivo. Navedeno uz opremanje ŠKS aluminijskim spremnikom za gorivo i aluminijskim kompresijskim posudama, omogućuje smanjenje početne mase ŠKS, a samim time i prijevoz veće količine korisnog tereta, čime se smanjuje jedinična i ukupna potrošnja goriva.

Šumski kamionski skupovi s ugrađenim dizalicama imaju značajno manju nosivost i značajno veći utrošak goriva od šumskih tegljačkih skupova. Kombiniranom upotrebom ŠKS i šumskih tegljačkih skupova, izgradnjom prikladne infrastrukture, optimiziranjem rasporeda utovara šumskih tegljačkih skupova te korištenjem samohodnih utovarno-istovarnih naprava značajno se može smanjiti jedinična potrošnja goriva, a samim time i trošak daljinskog prijevoza drva kamionima.

Utjecaj kolničke konstrukcije i nagiba šumske ceste na trenutnu potrošnju goriva nije moguće odrediti na temelju podataka koji se prikupljaju pomoću FMS-a i podataka katastra šumskih cesta. Kako bi se utvrdio njihov utjecaj, potrebno je pomoću konvencionalnih metoda izmjeriti uzdužne nagibe šumske ceste te snimiti stanje i vrstu kolničke konstrukcije.

Stanje kolničke konstrukcije šumske ceste moguće je procijeniti pomoću mjerenja vibracija. Za daljnji razvoj metode potrebno je na istoj dionici šumske ceste odrediti stanje kolničke konstrukcije i vrste zastora pomoću subjektivne (opisne metode) procjene te pomoću vibracija kako bi se utvrdila točnost i pouzdanost metode. Nadalje, potrebno je na dionici šumske ceste utvrditi sve vrste oštećenja, te na temelju opisa oštećenja izmjeriti vibracije na istoj dionici kako bi se pokušale utvrditi razlike u vibracijama za pojedinu vrstu oštećenja kolničke konstrukcije.

Procjena stanja kolničke konstrukcije šumske ceste na temelju mjerenja vibracija je jednostavan i jeftin način određivanja stanja kolničke konstrukcije.

FMS se, uz određene nedostatke, pokazao kao pogodan alat za prikupljanje podataka o prijevozu drva kamionima, jer je pomoću njega moguće prikupiti veliku količinu objektivnih podataka. Nedostatke FMS-a koji je korišten u istraživanju moguće je riješiti njegovom nadogradnjom ili istodobnim korištenjem FMS-a i konvencionalnih metoda izmjere podataka koje nije moguće prikupiti FMS-om. Prilikom daljnjeg razvoja FMS-a potrebno je omogućiti praćenje stupnja prijenosa u kojemu se kamion nalazi u određenom periodu. Nadalje, potrebno je omogućiti praćenje potrošnje goriva prilikom rada hidraulične dizalice kako bi se na temelju

rezultata istraživanja mogao razviti alternativni pogon hidraulične dizalice (hibridni pogon dizalice) čime bi se doprinjelo povećanju energetske učinkovitosti ŠKS.

Rezultati prikazani u ovome radu, koji su nastali na osnovu prikupljanja podataka pomoću FMS-a predstavljaju dobru bazu za daljnje analize u svrhu unaprjeđenja prijevoza drva kamionima.

LITERATURA

Acar, H. H., 2005: Djelovanje gradnje šumskih prometnica i radova pri pridobivanju drva na okoliš. Mehanizacija šumarstva 2001 – 2004, posebno izdanje časopisa Nova mehanizacija šumarstva 26 (1): 121 – 124.

Acuna, M., Brown, M., Mirowski, L., 2011: Improving Forestry transport Efficiency through Truck Schedule Optimization: a case study and software tool for the Australian industry. FORMEC'11: Pushing the boundaries with research and innovation in forest engineering October 9 – 12, 2011, Graz and Rein – Austria.

Acuna, M., 2014: Integrated transportation tool to optimise timber and biomass supply logistics. FORMEC'14: Forest engineering: propelling the forest value chain September 23 – 26, 2011, Gerardmer – France.

Akay, A. E., Kakol, A. A. H., 2014: Forest transportation Planning by using GIS-based Decision Support System. FORMEC'14: Forest engineering: propelling the forest value chain September 23 – 26, 2011, Gerardmer – France.

Åkerman, I., Jonsson, R., (2007): European Modular System for Road Freight Transport - experiences and possibilities. KTH Department of Transportation and urban economics. Stockholm: TFK TransportForsk AB.

Anić, I., Fabijanić, G., Figurić, S., Hodić, I., Horvat, D., Krpan, A. P. B., Matić, S., Meštrović, Š., Oršanić, M., Polaček, M., Poršinsky, T., Puljak, S., Risović, S., Sever, S., Tomljanović, S., 1996: Razvoj i organizacija hrvatskoga energetskog sektora, Knjiga 6 Gospodarenje šumama u Hrvatskoj - Proizvodnja i potrošnja energenata i energije. Energetski institut "Hrvoje Požar" Zagreb, 1 – 76.

Anon., 2000: Forest roads manual. Oregon department of forestry, State forest program, 1 – 207.

Anon., 2012: FP Inovation. Timber Transport Research – FERIC's Star Truck Project. Logging-on newsletter. Available on http://www.loggingon.net/timber-transport-research-ferics-star-truck-project_news_op_view_id_43

Anon, 2014: Key world energy statistics. International Energy Agency. www.iea.com

Anon, 2015a: <http://www.hiab.com/en/global/about-us/hiab-in-brief/history/>

Anon, 2015b: MMA8452Q 3-Axis, 12-bit/8-bit Digital Accelerometer, Technical Data (http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA8452Q.pdf?fasp=1).

Ashmore, C., Sirois, D. L., 1987: Influence of the central tire inflation system on log truck performance and road surfaces. Paper No. 87-1057, American Society of Agricultural Engineers. p. 1–27.

Bekker, M., G., 1956.: Theory of Land Locomotion, Univ. of Michigan Press, 1–499.

Bayoglu, S. (1997): Forest Transport Foundation and Vehicles, Istanbul University. Faculty of Forestry Publish No, 434, Istanbul.

Benić, D., 1992: Analiza proizvodnosti prijevoza drva na šumskogospodarskom području Bjelovar. Diplomski rad, Šumarski fakultet Zagreb, str. 1–39.

Benić, R., 1959: Eksploatacija. Šumarska enciklopedija 1:338, JLZ, Zagreb.

Benić, R., 1987: Transport, šumski. Šumarska enciklopedija III, JLZ Miroslav Krleža, Zagreb, 519 – 520.

Benšak, D., 2015: Knjiga radnih naloga UPTO Benšak.

Beuk, D., Tomašić, Ž., Horvat, D., 2007: Status and development of forest harvesting mechanisation in Croatian state forestry. Croatian Journal Of Forest Engineering, Vol. 28 (1): 63–82.

Bojanin, S., Sever, S., 1977: Morfološka studija hidrauličnih dizalica. Mehanizacija šumarstva, 2(3–4): 78–91.

Bojanin, S., 1985: Komparacija prijevoza trupaca pomoću kamiona i kamiona s prikolicom. Šumarski list, 109(3–4) : 137–151.

Bojanin, S. & J. Beber, A. P. B. Krpan, 1986: Prijevoz trupaca tvrdih listača kamionom i kamionom s prikolicom. Mehanizacija šumarstva, 11, (7–8): 109–123.

Bojanin, S., Krpan, A. P. B., Beber, J., 1987: Prijevoz tehničke oblovine i industrijskog višemetarskog drva pomoću kamiona i kamiona s prikolicom. Mehanizacija šumarstva, 12(1–2) : 3–15.

Bojanin, S., 1989: Određivanje dodatnog vremena kod prijevoza drva kamionima. Mehanizacija šumarstva 7/8, Vol. 14 : 131–134, Zagreb.

Bojanin, S., Nikolić, S., 1988: Sječa, izrada i transport šumskih sortimenata hrasta lužnjaka. Glasnik za šumske pokuse 24 : 157–186.

Brinker, R. W., Tufts, R. A., 1995: Forest Roads And Construction Of Associated Water Diversion Devices. Alabama cooperative extension system, ANR – 0916, 1 – 4.

Brokmeier, H., 2011: Effects of CTIS on fuel consumption. FORMEC'11: Pushing the boundaries with research and innovation in forest engineering October 9 – 12, 2011, Graz and Rein – Austria.

Brown, N. C., 1949: Logging. The principles and methods of harvesting timber in the United States and Canada. John Willey & Sons, INC., New York, Champan & Hall, Limited, London.

Bubanić, M., 1976: Neke karakteristike kamiona Magirus-Deutz prilagođenog fazi prijevoza u šumarstvu. Mehanizacija šumarstva, 1(3–4): 103–106.

Bumber, Z., 2011: Primjena GIS-a pri analizi otvorenosti G.J. Šiljakovačka dubrava II kroz strukturu prihoda drva u prostoru i vremenu. Magistarski rad, Šumarski fakultet Zagreb.

Busija, A., 2007: Pravni status javnih cesta. Zbornik radova sa Savjetovanja o održavanju cesta, Gospodarsko interesno udruženje Hrvatski cestar, Šibenik, 9 – 13.

Butković, M., 1963: Otvorenost šuma u NR Hrvatskoj. Šum. list 87(1–2): 37–42.

Butković, M., 1965: Dvadeset godina šumarstva SR Hrvatske (1945 - 1964. god.). Šumarski list 89 (11–12): 475–488.

Carrette, T., Ginet, C., 2014: Analysis of wood transport practices and infrastructures to anticipate regulatory constrains. FORMEC'14: Forest engineering: propelling the forest value chain September 23 – 26, 2011, Gerardmer – France.

Clark, M., L., 1986: Cost and Productioivity of dual load Quadaxle Trailer. FERIC Technical report No. 70.

Conway, S., 1976: Logging practices. Principles of timber harvesting system. Miller Freeman Publications, INC. USA.

Dawson, A., Killer, D., 2009: Roads under timber traffic. University of Nottingham & Forestry Civil Engineering, p. 1–22.

Devlin, G., 2010: Fuel consumption of timber haulage versus general haulage. Harvesting/Transportation No. 22. COFORD, 6 p.

Dietz, P., Knigge, W., Löffler, H., 1984: Walderschließung. Eine Lehrbuch für Studium und Praxis unter besonderer Berücksichtigung des Waldwegebaus, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, Deutschland, 1-196.

- Douangphachanh, V., Oneyama, H., 2013: A Study on the Use of Smartphones for road Roughness Condition Estimation. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 9.
- Durašević, V., 1983: Potrošnja goriva pri kamionskom prijevozu u drvnoj industriji. Diplomski rad, Šumarski fakultet Zagreb, str. 1–91.
- Enache, A., 2009: Elaboration of a Forest Road Network in Trauch Forest District, Wittgenstein Forest Administration, Hohenberg, Austria. Master Thesis. University of Natural Resources and Life Sciences – BOKU, Vienna, 1–67.
- Eriksson, J., Girod, L., Hull, B., Newton, R., Madden, S., Balakrishnan, H., 2008: The pothole patrol: using a mobile sensor network for road surface monitoring, Paper Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.9, 2013 presented at the Sixth International Conference on Mobile System, Applications and Services, Breckenridge, Colorado, United States, June 17-20.
- Ericson, J., Lincberg, G., Mellin, A., Vierth, I., 2010: Co-modality – The socio-economic effects of longer and/or heavier vehicles for land-based freight transport. The 12th World Conference on Transportation Research, July 11-15 2010, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Favreau, J., 2006: Six key elements to reduce forest transportation cost. FERIC. Available on <http://www.forac.ulaval.ca/fileadmin/docs/EcoleEte/2006/Favreau.pdf>
- Feng, Z. W., Douglas, R. A., 1993: Logging truck vehicle performance prediction for efficient resource transportation system planning: Computer Modelling Approach. Journal of Forest Engineering 4 (2): 7 – 18.
- Fertal, D. (1994): Transport intensity In forest hauling Road. Zpravy Lesnickeho Vyzkumu 2, 34-37.
- Georgsson F., Hellström, T., Johansson, T., Prorok, K., Ringdahl, O. and Sandström, U., 2005: Development of an Autonomous Path Tracking Forest Machine- a status report. Technical Report UMINF 05.08, Department of Computing Science, Umeå University SE-901 87 Umeå, Sweden.
- Gerner, G., J., 1980: Wind Tunnel Tests of Devices for Reducing the Aerodynamic Drag of Logging Trucks. FERIC Technical Report No. TR - 27.

Gillespie, T.D., Sayers, M. W., and Segel, L., 1980: Calibration of Response-Type Road Roughness Measuring Systems. I NCHRP Rept. No. 228.

Gingras, J-F., Castonguay, M., Fevreau, J., 2014: Monitoring forest supply chains in remote areas using FPInnovations' FPSuite platform. FORMEC'14: Forest engineering: propelling the forest value chain September 23 – 26, 2011, Gerardmer – France.

González, A., O'brien, E. J., Li, Y. Y., Cashell, K., 2008: The use of vehicle acceleration measurements to estimate road roughness. *Vehicle System Dynamics*, 46(6), 483–499.

Greulich, F., 2002: Transportation Networks in Forest Harvesting: Early Development of the Theory. Proceedings of the International Seminar on New Roles of Plantation Forestry Requiring Appropriate Tending and Harvesting Operations, September 29 – October 5, 2002, The Japan Forest Engineering Society & IUFRO 3.04/3.06/3.07, Tokyo, Japan, 1–9.

Grober, U., 1999: The inventor of sustainability. *Die Zeit* 48,1–6.

Hafner, F., 1964: *Der Holztransport*. Österreichischer Agrarverlag in Wien, A. Mally & Co. - Wien, 1–460.

Hajak, G., Szilagyi, J., 1972: Road maintenance: Requirements and techniques. Symposium of forest road construction and maintenance techniques. Economic commission for Europe/FAO/ILO. Sopron, Hungary.

Hans Carl von Carlowitz 1713: *Sylvicultura oeconomica*, 1–639

Hassan, A., E., 1989: Mjerni postupci pri istraživanju šumskih zglobnih traktora. *Mehanizacija šumarstva* 14(11/12), 199-209.

Heski, T., 1977: Mogućnost primjene i ekonomičnost rada kamiona s hidrauličnom dizalicom na prijevozu drvnih sortimenata s obzirom na relaciju prijevoza i nosivost kamiona. Magistarski rad, Šumarski fakultet Zagreb, str. 1–41.

Hodić, I., Jurušić, Z., 2011: Analiza primarne otvorenosti šuma kojima gospodare HŠ d.o.o. Zagreb kao podloga za kreiranje buduće politike izgradnje šumskih cesta. *Šumarski list*, 135 (9–10): 487–499.

Hoffmann, K., 1989: An introduction to measurement using strain gages. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Germany, 1-291.

Hohle, A. M. E., 2011: Energy consumption ba energy wood supply. FORMEC'11: Pushing the boundaries with research and innovation in forest engineering October 9 – 12, 2011, Graz and Rein – Austria.

Holzleitner, F., 2009: Analyzing road transport of roundwood with a commercial fleet manager. In: Prknová H (ed) Formec 2009. Kostelec nad Černými lesy: Czech University of Life Sciences Prague, p. 173–181. ISBN 978-80-213-1939-4.

Holzleitner, F., Kanzian, Ch., Stampfer, K., 2011: Analyzing time and fuel consumption in road transport of round wood with an onboard fleet manager. Eur J Forest Res 130(2): 293–301.

Horvat, D., 1989: Prediction of Tractive Performance for a four-while Drive Skidder. International seminar "Forestry transporting machinery and terrain interaction", College of forestry Garpenberg, Sweden, str. 1-12.

Horvat, D., 1993: Prilog proučavanju prohodnosti vozila na šumskom tlu. Disertacija, Fakultet Strojarnstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 1–234.

Horvat, D., Sever, S., 1995: Some Properties of the Skidders used in Mountain Forest Stand Thining, dobrovoljni referat na XX. IUFRO kongresu, Tampere, Finska, str 211-216

Horvat, D., Sever, S., 1996: Neke tehničke značajke traktora za privlačenje drva u prorjedama sastojina brdsko-planinskog područja, Šumarski list, 120(3-4): 157-162.

Horvat, D., 1996: Tractive parameters of four skidders used for wood transportation in mountain forest thinning, ECE/FAO/ILO & IUFRO Seminar on enviromentally sound foreds roads and wood transportation, Sinaia, Rumunjska, str 377-381.

Horvat, D., Kristić, A., 1999: Research of some morphological features of thinning tractor assemblies with semi-trailer [Istraživanje nekih morfoloških značajki prorjednih traktorskih skupova s poluprikolicom], Zbornik sažetaka na IUFRO savjetovanju "Emerging Harvesting Issues in Technology Transition at the End of Century", Opatija, 99 – 100.

Horvat, D., 2001: Morfološke značajke adaptiranih poljoprivrednih traktora s ugradnjom različitih vitala (Morphological characteristics of adapted farming tractors equipped with different winches), Znanstvena knjiga "Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama", str. 525 – 533

Horvat, D., Šušnjar, M., 2001a: Morphological analysis of farming tractors used in forest works, 35. Internationales wissen schaftliches symposium - FORMEC 2001, Mendel University of Agriculture and Forestry Brno, p. 27 – 38.

- Horvat, D., Šušnjar, M., 2001b: Neke značajke poljoprivrednih traktora prilagođenih šumskim radovima (Some characteristics of farming tractors used in forest works), Znanstvena knjiga "Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama", str. 535 – 544.
- Horvat, D., Goglia, V., Šušnjar, M., 2002: Some technical and ergonomic characteristics of thinning skidder Ecotrac, International conference "Logistic of wood technical production in the carpathian mountains", Zvolen, Slovakia, str. 80-93
- Horvat, D., Šušnjar, M., 2002: Istraživanje tehničkih značajki šumskog kamionskog skupa Scania, Šumarski fakultet, ZIŠ, str. 1–25.
- Horvat, D., Šušnjar M., 2003: Comparison between some technical characteristics of STEYR farming tractor equipped with 3 variants of tajfun farmi winches and with fixed TIGAR winch, Proceedings of Joint FAO/ECE/ILO & IUFRO Workshop on operation improvements in farm forests, Logarska dolina (Slovenija), pp. 83-95.
- Jeličić, V., 1983: Šumske ceste i putevi. Samoupravna interesna zajednica odgoja i usmjerenog obrazovanja šumarstva i drvne industrije, Zagreb, 1 - 193.
- Jeličić, V., 1988: Otvaranje šuma i savremeni transport drveta. Dokumentacija za tehniku i tehnologiju u šumarstvu 84, 1 - 63.
- Karjalainen, T., Asikainen, A., 1996: Greenhouse gas emissions from the use of primary energy in forest operations and long-distance transportation of timber in Finland. *Forestry*, Vol. 69 (3).
- Kauders, A., Frančišković, S., 1983: Hrvatska, povijest šumarstva. Šumarska enciklopedija II, JLZ Miroslav Krleža, Zagreb, 81–86.
- Keller, G. and Sherar, J. (2003): *Low-Volume Roads Engineering Best Management Practices Field Guide*. US Agency for International Development, 30-115.
- Kjell, M., Westerlund, K.R., 2009: Feasibility of Longer Combination Vehicles A pre-study of Longer Combination Vehicles in hub to hub long haulage of mixed goods. Master of Science Thesis, Department of Technology Management and Economics, Division of Logistics and Transportation, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, str. 1–90.
- Klassen, A., 2006: Planning, location, survey, construction and maintenance for low – impact forest roads. Center for Forestry Education and Training, Forestry Department of Republic of Indonesia, 1 – 82.

Klvač, R., 2006: Draft of Information system for timber haulage. In Charvát K (ed) Information Systems in Agriculture and Forestry. Praha: ČZU Praha, p. 1-8. ISBN 80-213-1494-X.

Klvač, R., Liška, S., Jiroušek, R., 2009: Road timber transport – Analysis of situation in Czech Republic. In: Prknová H (ed) Formec 2009. Kostelec nad Černými lesy: Czech University of Life Sciences Prague, p. 234–236. ISBN 978-80-213-1939-4.

Klvač, R., Kolarik, J., Volona, M., Drapela, K., 2013: Fuel Consumption in Timber Haulage, Croatian Journal Of Forest Engineering, 34 (2): 229–240.

Knežević, I., 1990: Utjecaj načina gospodarenja i vrste sječe na ekonomičan raspored šumskih prometnica u prebornim šumama. Doktorska disertacija, Zagreb, 1–199.

Koczwanski, S. and Nowakowska-Moryl, J. (1992): Badanie ruchu drogowego na wybranych drogach leśnych w Nadlesnictwie Krzeszowice. Sylwan 10, 19-42.

Komandi, G. (1990): Establishment of soil-mechanical parameters which determine traction on deforming soil. Journal of Terramechanics 27(2/3), 115-124.

Korten, S., Kaul, C., 2008: Application of RFID (Radio Frequency Identification) in the Timber Supply Chain. Croat. J. For. Eng. 29(1), 85-94.

Košćak, B., Horvat D., Sever, S., 1995: Morfološka rasčlamba tehničkih značajki rotositnilica (Morphological Analysis of Malching Flail Mower Technical Characteristics), Mehanizacija šumarstva, Vol. 20, No. 3, str. 137-144

Krishna Rao, K.V., 2012: Methods of Measuring Distress. Transportation Systems Engineering, Department of Civil Engineering, IIT Bombay. P. 1–11, (<http://www.civil.iitb.ac.in/~kvk rao/CE%20742%20Pavement%20Systems%20Engineering/Measuring%20Distress.pdf>)

Krpan, A. P. B., 1988: Analiza nekih elemenata daljinskog transporta drva kamionima FAP 16-20 BD 48. Savjetovanje Sekcije za iskorišćivanje šuma zajednice šumarskih fakulteta i instituta Jugoslavije, Zagreb, 05. - 07. 10. 1988. : 1–12.

Krpan, A. P. B., 1991: Daljinski transport drvene mase u Hrvatskoj – faktori razvoja i stanje. Drvna industrija 42 (3–4): 49–54.

Krpan, A.P.B., 1992a: Iskorišćivanje šuma. Šume u Hrvatskoj, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hrvatske šume j.p., Zagreb, 153–170.

- Krpan, A. P. B., 1992b: Analiza čimbenika daljinskog transporta drva kamionima. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Zagreb, str 1–264.
- Kulušić, B., 1988: Transport drveta kamionskim kompozicijama. Šumarstvo i prerada drva, XLII, 10-12: 291–300.
- Kure, J., 1990: Poraba goriva pri prevozu gozdnih lesnih sortimentov s kamionima Magirus. Specijalistički rad, Biotehniška fakulteta Ljubljana, str. 1–103.
- Kure, J., 1992: Potrošnja goriva pri prijevozu šumskih drvnih sortimenata kamionima Magirus. Mehanizacija šumarstva, 17(1–2): 29–37.
- Ledinski, Ž.: 1984: Ispitivanje potrošnje goriva pri prijevozu drvnih sortimenata na području ŠG „Mojica Birta“ Bjelovar. Diplomski rad, Šumarski fakultet Zagreb, str. 1–106.
- Lepoglavec, K., 2014: Optimizacija primarne i sekundarne šumske prometne infrastrukture. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–341.
- Lindqvist, A., Bengtsson, A., 2010: Development Concept for Timber Truck. Master Thesis, Department of Design Sciences LTH, Lund University, Sweden.
- Lofroth, C., Lindholm, E. L., 2005: Reduced fuel consumption on roundwood haulage rigs. Skogforsk. Resultat no. 23.
- Löfroth, C., Svenoson, G., 2011: Two years with ETT, Skogforsk, <http://www.skogforsk.se/en/>
- Lovrić, N., 1976: Mogućnost primjene centralnog izvlačenja kod planiranja i projektiranja šumskih transportnih sustava. Disertacija, Šumarski fakultet Zagreb.
- Lumsden, K., 2004: Truck Masses and Dimensions – Impact on transport efficiency. Masses and Dimensions SAG report. Department of Logistics and Transportation, Chalmers University of Technology, Gothenborg, Sweden.
- Ljubic, D. A., 1982: Analysis of Productivity and Cost of Forestry Transportation. Part One: Pilot Study ot Determine the Factors for Analysis of Commercial Vehicle Power Consumption and Road Performance. FERIC Terchnical Report No. TR - 53.
- Ljubic, D. A., 1984: Analysis of Productivity and Cost of Forestry Transportation. Part Two: Theoretical Analysis of the Impact of Vehicle Operating Conditions on Power Losses, and Experimental Determination of the Resistance Forces Attributable to Oil Churning. FERIC Terchnical Report No. TR - 55.

- Ljubic, D. A., 1986: Simplified method for calculating road hauling costs for transport unit alternatives. FERIC Technical Note No. TN - 95 : 1–8.
- MacGregor, D. T., 1998: Tire-pressure equalizers reduce tire wear. Field Note No.: Loading & Trucking-61. Forest Engineering Research Institute of Canada.
- Maclaurin, E.B. (1997): The use of mobility numbers to predict the tractive performance of wheeled and tracked vehicles in soft cohesive soils. Proceedings of the 7th European ISTVS Conference, October 8 – 10, 1997, Ferrara, Italy, 391 – 398.
- Malek, A., 1980: Poluprikolica (Šleper) za prijevoz prostornog drva. *Mehanizacija šumarstva*, 5 (1–2): 47–49.
- Malnar, M., 2000: Tehničko-tehnološki čimbenici prijevoza drva u brdsko gorskim uvjetima na primjeru šumarije Prezid. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Marenče, J., 2005: Spreminjanje tehničkih parametara traktorja pri vlačanju lesa – kriterij pri izbiri delovnega sredstva. Disertacija, Biotehniška fakulteta Univerze u Ljubljani, Slovenija, 1–271.
- Marold, B., 1980: Racionalizacija potrošnje pogonskog goriva u prijevozu. *Mehanizacija šumarstva*, 5 (7–8):283–298.
- Matić, S., 1996: Šumarstvo Hrvatske od osnivanja modernog sveučilišta u Zagrebu (1874.) do danas. U: Mrzljak, G. P. (ur.), *Znanost u Hrvata: prirodoslovlje i njegova primjena*. Zagreb: Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske, 516–533.
- McDonald, T. P., Taylor, S.E., Rummer, R. B., 2000: Deriving forest harvesting machine productivity from positional data. Presented at the 2000 ASAE Annual International Meeting, Paper No. 005011, ASAE.
- Mellgren, P.G. (1980): Terrain Classification for Canadian Forestry. Canadian Pulp and Paper Association, 1 – 13.
- Mellin, A., Ståhle, J., 2010: Omvärlds-och framtidsanalys – Längre och tyngre väg- och järnvägsfordon, VTI Rapport 676.
- Mohan, P., Padmanabhan, V.N., Ramjee, R., 2008: Nericell: Rich Monitoring of Road and Traffic Condition using Mobile Smartphones. Proceedings of the 6th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems, 323–336.

NTC (2009) National Heavy Vehicle Dimensions, Mass Limits och Registration Charges.
<http://www.ntc.gov.au/viewpage.aspx?documentid=17>

Morović, S., 1986: Preporuke za izbor najprikladnije hidraulične dizalice i mogućnosti provjere. *Mehanizacija šumarstva*, 11(9–10): 151–153.

Musonda, N. G., Bigsby F. W., Zoerb G. C., 1983: Four wheel drive tractor, instrumentation for traction studies. ASAE Paper No. 83-1554. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI 22 pp.

Nevečerel, H, Pentek, T., Pičman, D., Stankić, I., 2007: Traffic load of forest roads as a criterion for their categorization – GIS analysis. *Croatian Journal Of Forest Engineering*, Vol. 28 (1): 27–38.

Nunamaker, C., LeBlanc, J., Nakamura, G., Valachovic, Y., 2007: Forest stewardship series 17: forest roads. University of California, Division of agriculture and natural resources, 1 – 14.

OECD/ITF, 2010: Moving Freight with Better Trucks.

Owende, P. M. O., Lyons, J., Haarlaa, R., Peltola, A., Spinelli, R., Molano, J., Ward, S. M., 2002: Operations protocol for Eco-efficient Wood Harvesting on Sensitive Sites. Project ECOWOOD, Funded under the EU 5th Framework Project (Quality of Life and Management of Living Resources) Contract No. QLK5-1999-00991 (1999-2002), 1-74.

Öztürk, T. and Şentürk, N. (2009): Analisis of Pavement Construction on a Sample Forest Road Section in Sariyer Region. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi. Seri A* 2009 Vol. 59 No. 1, 55-70.

Palmgren, M., Rönnqvist, M., & Varbrand, P. (2004). A near-exact method for solving the log-truck scheduling problem. *International Transactions of Operations Research* 11 (4): 447–464.

Pandur, Z., Horvat, D., Šušnjar, M., Šarac, Z., 2009: Može li se komercijalni Fleet Management Sustav koristiti u praćenju rada i istraživanjima forvardera? *Nova mehanizacija šumarstva*, 30 (1), 11-17.

Pandur, Z., 2013: Primjena komercijalnog sustava za praćenje rada strojeva u istraživanju izvoženja drva forvarderom. *Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, 1–312.

Papa, I., 2014: Modeli održavanja šumskih cesta na različitim reljefnim područjima. *Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Zagreb*, str 1–286.

- Pellegrini, M., Grigolato, S., Cavalli, R., 2013: Spatial multi – criteria decision process to define maintenance priorities of forest road network: an application in the Italian alpine region. *Croatian journal of forest engineering* 34 (1): 31 – 42.
- Pentek, T., 2002: Računalni modeli optimizacije mreže šumskih cesta s obzirom na dominantne utjecajne čimbenike. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–271.
- Pentek, M., 2008: Morfološka raščlamba obitelji forvardera. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1-28.
- Pentek, T., 2012: Skripta iz kolegija Šumske prometnice. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1 – 373.
- Pentek, T., Nevečerel, H., Ecimović, T., Lepoglavec, K., Papa, I., Tomašić, Ž., 2014: Strategijsko planiranje šumskih prometnica u Republici Hrvatskoj – raščlamba postojećega stanja kao podloga za buduće aktivnosti. *Nova mehanizacija šumarstva*, 35 (1): 63–78.
- Perttunen, M., Mazhelis, O., Cong, F., Kauppila, M., Leppänen, T., Kantola, J., Collin J., Pirttikangas, S., Haverinen, J., Ristaniemi, T., 2011: Distributed road surface condition monitoring using mobile phones. *Ubiquitous Intelligence and Computing*, 64–78.
- Pičman, D., 2007: Šumske prometnice. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–460.
- Piškorić, O., Vukelić, J., 1992: Pregled povijesti hrvatskih šuma i šumarstva. *Šume u Hrvatskoj*, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hrvatske šume j.p., Zagreb, 273–290.
- Poršinsky, T., 1996: Forwarder application to wood transportation in Croatia. *Proceedings "Progresses in Forest Operations"*, Ljubljana, Slovenija, 133 – 141
- Poršinsky, T., 2008: Predavanja iz kolegija Pridobivanje drva I. Šumarski fakultet Zagreb, (<http://www.sumfak.unizg.hr/OdsjekKolegij.aspx?mhID=3&mvID=114>)
- Poršinsky, T., Stankić, I., Bosner, A., Pentek, T., 2008: Morphological Analysis of Chainsaws. *Proceedings of the 3rd International Scientific Conference FORTECHNEVI 2008*. Editors: Skoupy, A., Machal, P., Marecek, L., Brno, Mendel University of Agriculture and Forestry, 2008. 380-380.
- Pottie, M. A., 1986: Radio telemetry of logging truck load weights. *FERIC Technical note TN-96*, 1-8.
- Potočnik, I., 1989: Potrošnja goriva kamina Magirus pri prijevozu drva. *Mehanizacija šumarstva*, 14(7–8): 145–456.

- Potočnik, I., 1996: Mnogonamenska raba gozdnih cest kot kriterij za njihovo kategorizacijo. Disertacija, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani, 1-241.
- Potočnik, I., 2007: Gozdne prometnice. Študijsko gradivo – Visokošolski študij gozdarstva. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 1–215.
- Reissinger, G., 1972: Forest road building over marshy soils. Committee on Forest Working Techniques and Training of Forest Workers; Symposium on Forest Road Construction and Maintenance Techniques, Sess. 9, Sopron (Hungary), 6-8 Sep 1972, Sopron (Hungary), 4-9 Sep 1972. 4 p.
- Robek, R., 2015: Nosilnost vozišč grajenih gozdnih prometnic v Sloveniji. Doktorska disertacija. Biotehniška fakulteta Ljubljana, str.: 1–188.
- Sayers, M.W., Gillespie, T. D., and Queiroz, C.A.V., 1986: The International Road Roughness Experiment-Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements. World Bank Technical Paper No. 45, The World Bank, Washington DC.
- Sayers, M.W., Gillespie, T. D., and Paterson, W.D., 1986: Guidelines for the Conduct and Calibration of Road Roughness Measurements, World Bank Technical Paper No. 46, The World Bank, Washington DC.
- Sayers, M.W., Karamihas, S.M., 1998: The Little Book of Profiling, Basic Informations about Measuring and interpreting Road Profiles. University of Michigan.
- Sever, S., 1980: Istraživanje nekih eksploatacijskih parametara traktora kod privlačenja drva. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–301
- Sever, S., Horvat, D., 1985: "Šumski zglobni traktor snage oko 60 kW", Studija, Zagreb, ZIŠ, str. 1-187.
- Sever, S., 1986: Morphological characteristics of logging machines (Morfološke karakteristike strojeva eksploatacije šuma). Zbornik radova 18th IUFRO World Congress, Division 3, Forest operations and Techniques, Ljubljana s. 9-20.
- Sever, S., Horvat, D., 1989: Prilog proučavanju potrošnje goriva pri prijevozu drva kamionskim kompozicijama. Mehanizacija šumarstva, 14(7–8): 157–162.
- Sever, S., Knežević, I., 1991: Form index as a possible criterion for classification off-road vehicles. 5th European Conference ISTVS, Budapest, Volume II, 468 – 476.

Sever, S., Horvat, D., 1992a: Skidders and forwarders data base as source and help in determining morphological relationships. Proceedings of IUFRO workshop „Computer supported planning of roads and harvesting“, Feldafing, Germany, 196 – 200.

Sever, S., Horvat, D., 1992b: Logging wheeled tractor data bank for assistance in machine family evaluation. Proceedings of IUFRO – IUFRO workshop „Computer supported planning of roads and harvesting“, Feldafing, Germany, 281-288.

Sever, S., 1992: Šumarski strojevi: Tehnička enciklopedija, Leksikografski zavod “Miroslav Krleža”, Zagreb, 12, str. 519–531.

Sever, S., Horvat, D., 1997: Choosing and Application of Forest Soft Machines, 7th European ISTVS Conference, 7-10. October, 1997, Ferrara, Italy, 549-556.

Sikanen, L., Asikainen, A., Lehtikainen, M., 2005: Transport control of forest fuels by fleet manager, mobile terminals and GPS. Biomass and Bioenergy 28, 183–191.

Slabak, M., 1980: Analiza rada strojeva u SŠGO „Slavonska šuma“ 1979. godine. Mehanizacija šumarstva, 5 (7–8):264–282.

Smaltschinski, T., Opferkuch, M., 2011: Optimization of back freight Transportation systems. FORMEC'11: Pushing the boundaries with research and innovation in forest engineering October 9 – 12, 2011, Graz and Rein – Austria.

Smaltschinski, T., Opferkuch, M., 2012: Clustering Forest Harvesting Stands on Spatial Networks. FORMEC'12: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment October 8 – 12, 2012, Dubrovnik (Cavtat) – Croatia.

Smith, D., G., 1981. Computer-Aided Comparison of 5,6 and 7 Axle Log Trucks for Hauling Distance Highway Hauling. FERIC Technical report No. TR-49.

Stampfer, K., 2010: Forest Engineering - Course Script. Institute of Forest Engineering, Department of Forest and Soil Sciences, University of Natural Resources and Life Sciences - BOKU, Vienna, Austria.

Stankić, I., 2010: Višekriterijsko planiranje izvoženja drva forvarderima iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1-123.

Strazdins, G., Mednis, A., Kanonirs, G., Zviedris, R., Selavo, L., 2011: Towards Vehicular Sensor Networks with Android Smartphones for Road Surface Monitoring, Paper presented at

the 2nd International Workshop on Networks of Cooperating Objects, Chicago, USA, April 11.

Suk, S., Sakai, H., Nitami, T., 2011: Development a pulse data logger with integral GPS for precision monitoring chainsaw operation. FOR-TECH-ERG Monography, Bieniek J. (eds). Proceedings of Technology and Ergonomics in Service of Modern Forestry Conference, Krakov 2011, p. 107.

Suvinen, A., Saarilahti, M., 2006: Measuring the Mobility Parameters of Forwarders using GPS and CAN Bus Techniques. Journal of Terramechanics 43(2), 237-252.

Svenson, G., 2011: The impact of road characteristics on fuel consumption for timber trucks. In Ackerman P, Ham H, Gleasure E (eds) Proceedings of 4th Forest Engineering Conference: Innovation in Forest Engineering – Adapting to Structural Change. Stellenbosch University, p. 172. ISBN 978-0-7972-1284-8.

Šikić, D., Babić, B., Topolnik, D., Knežević, I., Božičević, D., Švabe, Ž., Piria, I., Sever, S., 1989: Tehnički uvjeti za gospodarske ceste. Znanstveni savjet za promet Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Zagreb, 1-78.

Šušnjar, M., 1998: Istraživanje ovisnosti nekih tehničkih značajki iverača morfološkom raščlambom. Mehanizacija šumarstva. 23 (3-4), 139-150.

Šušnjar, M., 2005: Istraživanje međusobne ovisnosti značajki tla traktorske vlake i vučne značajke skidera. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1-146.

Šušnjar, M., Horvat, D., Grahovac, I., 2007: Morfološka raščlamba šumskih hidrauličnih dizalica. Nova mehanizacija šumarstva 28: 15 – 26.

Šušnjar, M., Borić, D., 2008: Morfološka raščlamba farmerskih vitala. Nova mehanizacija šumarstva 29: 29 – 35.

Šušnjar, M., Horvat, D., Pandur, Z., Zorić, M., 2011a: Određivanje osovinskih opterećenja kamionskog i šleperskog skupa za prijevoz drva. Croatian Journal Of Forest Engineering, Vol. 32 (1): 379–388.

Šušnjar, M., Horvat, D., Zorić, M., Pandur, Z., Vusić, D., Tomašić, Ž., 2011b: Comparison of Real Axle Loads and Wheel Pressure of Truck Units for Wood Transportation with Legal Restrictions. FORMEC'11: Pushing the boundaries with research and innovation in forest engineering October 9 – 12, 2011, Graz and Rein – Austria.

- Tai, Y., Chan, C., Hsu, J. Y. (2010) Automatic road anomaly detection using smart mobile device, Paper presented at the 2010 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence, Hsinchu, Taiwan, November 18-20.
- Talbot, B., Nitteberg, M., 2011: Using transloading times in determining the effect of reduced road standards on the delivered cost of timber. Proceedings of the FORMEC 2011 Symposium: Pushing the boundaries with research and innovation in forest engineering, Graz, Austria.
- Tomašić, Ž., Sučić, Ž., Slunjski, M., Polaček, M., 2005: Ovodobno stanje prijevoza drva kamionskim skupovima u šumarstvu RH (Present Status of Timber Transport by Track Units in Croatian Forestry), *Nova mehanizacija šumarstva* 26: 65–70.
- Tomašić, Ž., 2007: Istraživanje tehničko-eksploatacijskih značajki skidera za prorede. Disertacija. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1-316.
- Tomašić, Ž., 2012: Razvoj tehnologije i tehničkih sredstava u pridobivanju drva s obzirom na posebnosti šuma i šumarstva u Republici Hrvatskoj. *Nova mehanizacija šumarstva* 33: 53–67.
- Thompson, M., Sessions, J., Boston, K., Skaugset, A., Tomberlin, D., 2010: Forest road erosion control using multiobjective optimization. *Journal of the American Water Resources Association* 46 (4): 712 – 723.
- Tonković, D., 2001: Šumske željeznice u Hrvatskoj. *Šum. list* 124(1–2): 63–67.
- Trzcinski, G. Kaczmaryk, S. (2006): Estimation of carrying capacity of slag and gravel forest road pavements. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 27, Vol. 1, 27-36.
- Ugrenović, A., 1957: Eksploatacija šuma. Sveučilište u Zagrebu, Grafički zavod Hrvatske, Zagreb, 1–481.
- Ugrenović, A., 1959: Iznošenje. *Šumarska enciklopedija* 1: 655–664, JLZ, Zagreb.
- Underhill, R., 2004: Life Cycle Maintenance of Low Volume Roads in the Alice Springs Region. Dissertation, University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying, 1-120.
- Vondra, V., 1991: Uspješnost prijevoza drva kamionskim kompozicijama. Magistarski rad, Šumarski fakultet Zagreb.
- Vuletić, D., Kauzlarić, Ž., Balenović, I., Ostoić Krajer, S., 2014: Assessment of forest damage in Croatia caused by natural hazards in 2014. *SEEFOR* 5 (1): 65 – 79.

Wackerman, A. E., 1949: Harvesting timber crops. Mc Grow-Hill Book Company, INC, New York, Toronto, London.

Weintraub, A., Epstein, R., Morales, R., Serón, J., & Traverso, P. (1996). A truck scheduling system improves efficiency in the forest industries. *Interfaces* 26 (4): 1–12.

Wells, C. H., 2002: Forest harvesting roads: meeting operational, social and environmental needs with efficiency and economy. Proceedings of the International conference on the Applying Reduced Impact Logging to Advance Sustainable Forest Management in Kuching, Malaysia, 70 – 90.

Zakšek, A., Rajić, M., 1980: Prvi rezultati u radu na utovaru i prijevozu domaćim tegljačem ŠEK–1 i ŠEK–2 (FAP –18BK prerađen u FAP –18T). *Mehanizacija šumarstva*, 5 (1–2): 50–54.

Zorić, M., 2010: Određivanje osovinskih opterećenja kamionskog i šleperskog skupa za prijevoz drva. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–29.

Zorić, M., 2012: Inovacije u kamionskom prijevozu drva – »One stack more«. *Nova mehanizacija šumarstva*, 33: 69–78.

Zorić, M., Šušnjar, M., Pandur, Z., Mihaljević, K., 2014: Potrošnja goriva i emisija stakleničkih plinova pri kamionskom prijevozu drva u hrvatskom šumarstvu. *Nova mehanizacija šumarstva*, 35: 98–97.

Zorić M., Horvat D., Šušnjar M., Pandur Z., Galović J., 2014: Morphological analysis of chainsaws - useful decision making tool // *Forest engineering: propelling the forest value chain*. Gerardmer, France, 2014. 1-1

*Kriteriji izvedbe kamionskih kompozicija, 1979: *Mehanizacija šumarstva*, 4(5–6): 133–210.

*Zakon o cestama (NN 84/11, 22/13, 54/13, 148/13, 92/14)

*Zakon o sigurnosti prometa na cestama (NN 67/08, 74/11, 80/13, 92/14)

*Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama (NN 51/10, NN 84/10, 145/11, 140/13, 85/14)

*Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa (NN 110/01)

*Uredba o mjerilima za razvrstavanje javnih cesta (NN 34/12)

*Odluka o razvrstavanju javnih cesta u autoceste (NN 77/07, 13/09, 104/09)

*Odluka o razvrstavanju javnih cesta u državne ceste, županijske ceste i lokalne ceste (NN 17/10)

*Directive 96/53/EC of 25 July 1996 laying down for certain road vehicles circulating within the Community the maximum authorized dimensions in national and international traffic and the maximum authorized weights in international traffic. Official Journal L 235, 17/09/1996 P. 0059 – 0075.

*Directive 97/27/EC of the European Parliament and of the Council of 22 July 1997 relating to the masses and dimensions of certain categories of motor vehicles and their trailers and amending Directive 70/156/EEC. Official Journal L 233 , 25/08/1997 P. 0001 – 0031.

Internet izvori:

<https://www.pinterest.com/pin/402790760395500994/>

<http://www.mppi.hr/default.aspx?id=406>

<http://www.modularsystem.eu/>

<http://www.iea.org/statistics/resources/unitconverter/>

<http://www.dipstick.com/>

ŽIVOTOPIS

Marko Zorić rođen je 03. studenog 1987. godine u Vinkovcima. Nakon završene gimnazije matematički smjer u Županji, 2005. godine upisuje Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu gdje je i diplomirao je 2010. godine s odličnim uspjehom. Nakon završetka diplomskog studija zapošljava se kao revirnik pripravnik u šumariji Otok, UŠP Vinkovci gdje radi od 01. kolovoza do 31. studenog 2010. godine. Na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu zaposlen je od 1. prosinca 2010. godine na radnom mjestu znanstvenog novaka na Zavodu za šumarske tehnike i tehnologije. Tijekom doktorskoga studija boravio je na znanstvenom usavršavanju u Grčkoj (The Faculty of Forestry and Natural Environment Aristotle University of Thessaloniki) Do sada je samostalno i u koautorstvu objavio 19 znanstvenih i 3 stručna rada te je sudjelovao je na 7 međunarodnih znanstvenih skupova. Sudjelovao je u organizaciji tri međunarodna znanstvena skupa. Član je tehničkog uredništva međunarodnog znanstvenog časopisa Croatian Journal of Forest Engineering. Član je radne skupine za izradu Programa ruralnog razvoja 2014. – 2020. Služi se engleskim jezikom. Oženjen.

AUTOROV POPIS OBJAVLJENIH RADOVA

Objavljen znanstveni rad u časopisu A1 skupine

1. Pandur, Zdravko; Horvat, Dubravko; Šušnjar, Marijan; **Zorić, Marko**. Possibility of Determination of Daily Exposure to Vibration of Skidder Drivers Using Fleet Manager System. // Croatian journal of forest engineering. 34 (2013) , 2; 305-310 (prethodno priopćenje, znanstveni).
2. Šušnjar, Marijan; Horvat, Dubravko; Pandur, Zdravko; **Zorić, Marko**. Određivanje osovinskih opterećenja kamionskoga i tegljačkoga skupa za prijevoz drva. // Croatian journal of forest engineering. 32 (2011) , 1; 379-388 (članak, znanstveni).
3. Horvat, Dubravko; Pandur, Zdravko; Šušnjar, Marijan; Nikolić, Stjepan; **Zorić, Marko**. Okolišna pogodnost dvije mehanizirane metode uspostave šumskoga reda. // Croatian journal of forest engineering. 32 (2011) , 1; 389-399 (članak, znanstveni).

Objavljen znanstveni rad u časopisu A2 skupine

1. Pandur, Zdravko; Poršinsky, Tomislav; Šušnjar Marijan; **Zorić, Marko**; Vusić, Dinko. Gaženje tla pri izvoženju drva forvarderom u sječinama hrasta lužnjka. // Nova mehanizacija šumarstva. 35 (2014) ; 23-34 (članak, znanstveni).
2. **Zorić, Marko**; Šušnjar, Marijan; Pandur, Zdravko; Mihaljević, Kristijan. Potrošnja goriva i emisija stakleičkih plinova pri kamionskom prijevozu drva u hrvatskom šumarstvu. // Nova mehanizacija šumarstva. 35 (2014) ; 89-97 (članak, znanstveni).
3. **Zorić, Marko**. Inovacije u kamionskom prijevozu drva - One stack more. // Nova mehanizacija šumarstva. 33 (2012) ; 69-78 (pregledni rad, znanstveni).
4. **Zorić, Marko**; Horvat, Dubravko; Pandur, Zdravko; Nikolić, Stjepan. Umjeravanje prijenosne platforme za mjerenje osovinskog opterećenja vozila. // Nova mehanizacija šumarstva. 33 (2012) ; 45-52 (prethodno priopćenje, znanstveni).
5. Gužvinec, Hrvoje; **Zorić, Marko**; Šušnjar, Marijan; Horvat, Dubravko; Pandur, Zdravko. Utjecaj načina sidrenja na vrijednosti horizontalne sastavnice vučne sile i faktor prijanjanja prilikom privitlavanja drva skiderom i adaptiranim poljoprivrednim traktorom. // Nova mehanizacija šumarstva. 33 (2012) ; 23-33 (članak, znanstveni).

6. **Zorić, Marko**; Pandur, Zdravko; Šantek Željko; Šušnjar Marijan. Ocjena indeksa kotača kao pokazatelja okolišne pogodnosti forvardera. // Nova mehanizacija šumarstva. 32 (2011) ; 5-13 (članak, znanstveni).
7. Zečić, Željko; Vusić, Dinko; Milković, Dragan; **Zorić, Marko**. Usporedba proizvodnosti skidera s jednobubanjским i s dvobubanjским vitlom u prebornim šumama. // Nova mehanizacija šumarstva. 32 (2011) , 1; 15-22 (članak, znanstveni).

Prezentacija na međunarodnom znanstvenom skupu (A3 skupina)

1. Šušnjar, Marijan; Pandur, Zdravko; Horvat, Dubravko; **Zorić, Marko**. Energy balance of wood chips production and delivery // Natural resources, green technology and sustainable development / Cvjetko Bubalo, Marina ; Radojčić Radovniković, Ivana ; Jakovljević, Tamara ; Vuković, Mladen ; Erdec Hendrih, Dina (ur.). Zagreb : Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Croatia, 2014. 153-158 (predavanje,međunarodna recenzija,objavljeni rad,znanstveni).
2. **Zorić, Marko**; Babić, Mladen; Pandur, Zdravko; Šušnjar, Marijan; Horvat, Dubravko. Fuel and lubricant consumption of chainsaw in Croatian lowland natural forest management // FORTECHENVI 2013 / Skoupy, Alois (ur.). Brno : Mendel University in Brno, Czech Universtiy of life sciences Prague, 2013. 28-28 (predavanje,međunarodna recenzija,sažetak,znanstveni)
3. **Zorić, Marko**; Pandur, Zdravko; Horvat, Dubravko; Šušnjar, Marijan; Perković, Ivan. Evaluation of Forwarder Multipassing on Soil Compaction // FORMEC 2012 / Pentek, Tibor ; Poršinsky, Tomislav ; Šporčić, Mario (ur.). Zagreb : Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2012. 1-12 (predavanje,međunarodna recenzija,objavljeni rad,znanstveni).
4. Pandur, Zdravko; Horvat, Dubravko; Šušnjar, Marijan; **Zorić Marko**; Hat, Zoran. Forces Required for Pulling Out a Winch Steel Cable and Physical Load of Choker-Man // Formec Croatia 2012, Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today`s Environment / Pentek, Tibor ; Poršinsky, Tomislav ; Šporčić, Mario (ur.). Zagreb : Šumarski Fakultet Zagreb, 2012. (predavanje,međunarodna recenzija,objavljeni rad,znanstveni).
5. Marijan Šušnjar; Dubravko Horvat; **Marko Zorić**; Zdravko Pandur; Dinko Vusić; Željko Tomašić. Comparison of Real Axle Loads and Wheel Pressure of Truck Units for Wood Transportation with Legal Restrictions // Formec, Austria 2011 Pushing the Boundaries with Research and Innovation in Forest Engineering, Graz, October, 9 - 13 2011. Graz,

- Austira : Formec, BOKU, 2011. (predavanje,međunarodna recenzija,objavljeni rad,znanstveni).
- Pandur Zdravko; Tomašić, Željko; Horvat, Dubravko; Šušnjar, Marijan; **Zorić, Marko**; Vusić, Dinko. Physical load of choker-man during pulling of the winch cable // Technology and Ergonomics in the Service of Modern Forestry / Józef Bieniek, Janusz M. Sowa, Anna Barszcz, Grzegorz Szewczyk (ur.). Kraków : Publishing House of the University of Agriculture in Krakow, 2011. 289-299 (predavanje,međunarodna recenzija,objavljeni rad,znanstveni).
 - Zečić, Željko; Vusić, Dinko; Milković, Dragan; **Zorić, Marko**. Skidder with single-drum or double-drum winch in mountainous areas – A case study from selective forests of Croatia // 44 th International Symposium on Forestry Mechanisation (FORMEC), Pushing the Boundaries with Research and Innovation in Forest Engineering / Stampfer, Karl (ur.). Graz/Beč : BOKU, 2011. (predavanje,međunarodna recenzija,objavljeni rad,znanstveni).

Posteri na međunarodnom znanstvenom skupu

- Pandur, Zdravko; Hodić, Ivan; Horvat, Dubravko; Franičević, Frane; Šušnjar, Marijan; **Zorić, Marko**. Application of System for Monitoring Vehicles and Machinery in the Company Croatian Forests Ltd // Formec Croatia 2012, Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment / Pentek, Tibor ; Poršinsky, Tomislav ; Šporčić, Mario (ur.). Zagreb : Šumarski Fakultet Zagreb, 2012. (poster,međunarodna recenzija,sažetak,znanstveni).
- Zorić Marko**; Horvat Dubravko; Šušnjar Marijan; Pandur Zdravko; Galović Josip. Morphological analysis of chainsaws - useful decision making tool // Forest engineering: propelling the forest value chain. Gerardmer, France, 2014. 1-1 (poster,međunarodna recenzija,sažetak,znanstveni).

Ostale vrste radova

- Goglia, Vlado; Horvat, Dubravko; **Zorić, Marko**. IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU RAZINE VIBRACIJA NA MOTORNIM PILAMA LANČANICAMA U UPRAVI ŠUMA ZAGREB, 2012. (elaborat).
- Šušnjar, Marijan; Pandur, Zdravko; **Zorić, Marko**. Izvješće o ispitivanju tehničkih značajki prototipa šumske prikolice "LIKA", 2012. (elaborat).

3. Pandur, Zdravko; **Zorić, Marko**; Šušnjar, Marijan. Rad s motornom pilom i održavanje, 2012. (popularan rad).

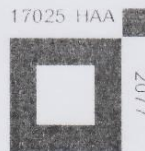
Znanstveno i stručno usavršavanje u inozemstvu

FACULTY OF FORESTRY AND NATURAL ENVIRONMENT of University of Thessaloniki, Grčka 02.09.2013.-06.09.2013.

PRILOZI

Prilog 1. Certifikat o umjeravanju etalona za umjeravanje vaga, koji je korišten u istraživanju

Potvrda o umjeravanju Calibration Certificate



Vage d.o.o.
Koledovčina 2A
HR-10 000 Zagreb
Tel.: 01 24 52 040; Fax: 01 24 52 056
http://www.vage.hr, E-mail: Laboratorij@vage.hr

Broj / Number	2013-154-19	Stranica / Page	1	od / of	3
------------------	-------------	--------------------	---	------------	---

Naručitelj / Applicant	Vage d.o.o. Koledovčina 2A 10000 Zagreb		
Predmet umjeravanja / Calibration object	Etalon za ispitivanje vaga za osovinsko opterećenje		
Proizvođač / Manufacturer	Vage d.o.o.		
Vrsta / Type	M15000		
Razred točnosti / Accuracy class	III		
Serijski broj / Serial number	M15000/001/1994		
Postupak umjeravanja / Calibration method	FAURAMET /cg-18/v.03		
Uvjeti okoliša / Ambient conditions	Temperatura: Temperature: 26,1 °C	Rel.vlažnost: Rel. air humidity:	Tlak zraka: Air pressure:
Mjesto umjeravanja i/ili mjesto ugradbe / Place of calibration and/or place of instalation	Vage d.o.o. Vage d.o.o.		
Rezultati / Results	vidi stranicu 2 i 3 look page 2 & 3		
Sljedivost / Traceability	Pri izvođenju umjeravanja korišteni su etaloni za koje je uspostavljena sljedivost do međunarodnih etalona. The measurments have been executed using standards for which the traceability to (inter)national standards is known.		

Izvršitelj /
Performed by

Janko Peranić, dipl.ing.

Odobrio /
Approved by

Janko Peranić, dipl.ing.



16.08.2013.

16.08.2013.

Datum umjeravanja /
Date of calibration

Datum izdanja /
Date of issue

OB 5.10/1-0/1a
Izdanje 07

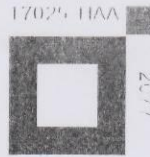
Umnožavanje kompletne potvrde o umjeravanju je dopušteno. Dijelovi potvrde o umjeravanju se smiju umnožavati samo uz dozvolu Laboratorija za umjeravanje.

Reproduction of complete certificate is allowed. Parts of certificate may only be reproduced with approval of the calibration laboratory.

Potvrda o umjeravanju

Broj / Number	2013-154	19
------------------	----------	----

Stranica / Page	2	od / of	3
--------------------	---	------------	---



Vage d.o.o.
Koledovčina 2A
HR-10 000 Zagreb
Tel.: 01 24 52 040, Fax: 01 24 52 056
http://www.vage.hr, E-mail: Laboratorij@vage.hr

Calibration Certificate

Parametri / Parameters

Max = 15000,0 kg

d = 0,5 kg

ΔT = ± 10 K

TK = 10 ppm/K

Max - Maksimalna nosivost / Maximum capacity

d - Podjeljak / Readability

ΔT - Temp. područje rada (podatak proiz. ili uvjeti na mjestu rada) /
Temp. range (manufacturer data or temp. conditions on site)

TK - Utjecaj temp. na srednji nagib karakteristične krivulje
u ppm/K / Temperature drift in ppm/K

Rezultati / Results

1. Ponovljivost / Repeatability

P =	7500,0	kg
n	W_i	
1	7502,0	kg
2	7502,0	kg
3	7501,0	kg
4	7502,0	kg
5	7501,5	kg
6	7502,0	kg

T_i - Tara / Tara

P_i - Opterećenje / Load

W_i - Pokazivanje / Indication

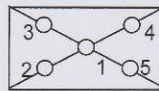
$Ecal_i$ - Pogreška očitavanja / Error of indication

$U(E)$ - Proširena mjerna nesigurnost pogreške dobivena prilikom umjeravanja
expanded uncertainty for the reported errors during calibration

Standardna devijacija $s = 0,42$ kg
Standard deviation

2. Ekscentrično opterećenje / Eccentricity

P =	-	kg
n	W_i	
1	-	kg
2	-	kg
3	-	kg
4	-	kg
5	-	kg



Mjesto postavljanja utega /
Position of load placing

3. Točnost / Accuracy

n_i	T_i	P_i	W_i	$Ecal_i$	$U(E)$
	kg	kg	kg	kg	kg
0	0,0	12000,0	12012,5	10,0	1,77
0	0,0	12000,0	12003,5	3,5	1,77
1	0,0	500,0	500,0	0,0	1,08
2	0,0	2000,0	2001,0	1,0	1,09
3	0,0	4000,0	4002,0	2,0	1,13
4	0,0	6000,0	6002,0	2,0	1,23
5	0,0	8000,0	8003,0	3,0	1,38
6	0,0	10000,0	10002,5	2,5	1,56

Prije podešavanja / Before adjustment

Nakon podešavanja / After adjustment

OB 5.10/1-0/1b
Izdanje 07

Umnožavanje kompletne potvrde o umjeravanju je dopušteno. Dijelovi potvrde o umjeravanju se smiju umnožavati samo uz dozvolu Laboratorija za umjeravanje.

Reproduction of complete certificate is allowed. Parts of certificate may only be reproduced with approval of the calibration laboratory.

Potvrda o umjeravanju

Broj / Number	2013-154	19
------------------	----------	----

Stranica / Page	3	od / of	3
--------------------	---	------------	---



Vage d.o.o.
Koleđovčina 2A
HR-10 000 Zagreb
Tel.: 01 24 52 040, Fax: 01 24 52 056
http://www.vage.hr, E-mail: Laboratorij@vage.hr

Calibration Certificate

Mjerni etaloni: Measuring standards:

Garnitura utega	Proizvođač gar. utega	Razred točnosti	Umjereno dana	Broj umjerne
Grt21	Đuro Đaković	M1	16.-26.07.2012	2012-075-17
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

Mjerna nesigurnost pri upotrebi Measurement uncertainty in use

U mjernom području / In the range $0 \text{ kg} \leq W \leq 15000,0 \text{ kg}$

Mjerna nesigurnost bez uračunatog ispravka očitavanja

$$U = (1,02 + 2,27E-05 \cdot W) \text{ kg}$$

Mjerna nesigurnost sa uračunatim ispravkom očitavanja

$$U = (1,02 + 3,51E-04 \cdot W) \text{ kg}$$

gdje je W nazivna vrijednost utega.
where the W is nominal value of the weight.

Proširena mjerna nesigurnost jednaka je vrijednosti složene nesigurnosti pomnožene s faktorom pokrivanja $k = 2$. Određena je prema proceduri EAURAMET /cg-18/v.03. Krivulja mjerne nesigurnosti je linearizirana pravcem linearne regresije. Mjerni se rezultat nalazi u naznačenim granicama mjerne nesigurnosti s područjem povjerenja od najmanje 95%.
Mjerna nesigurnost izvaganih vrijednosti iz praktičnih razloga može se zaokružiti na cijelobrojnu višekratnik vrijednosti podjeljka ljestvice d , ali samo pod uvjetom da se zaokruživanje vrši na višu vrijednost.
Složena mjerna nesigurnost se sastoji od nesigurnosti neponovljivosti mjerenja, zaokruživanja vrijednosti podjeljka ljestvice, utjecaja ekscentričnog postavljanja opterećenja, promjene temperature, mjerne nesigurnosti etalonskih utega (ispravak nazivne mase utega, drift etalona, ispravak zbog uzgona zraka, ispravak zbog konvekcije), podešavanja vage, te radi utjecaja tare.

*There is stated the expanded measurement uncertainty as results provided from combined standard uncertainty by multiplying with the coverage factor $k = 2$. It was determined according to EAURAMET /cg-18/v.03 procedure. Curve of the measurement uncertainty is lineared with the linear regression direction. Result of measurement is within the assigned interval of measurement uncertainty with a confidence level of approximately 95%.
Measurement uncertainty of the weighing values by the practical reasons could be rounded on the multiplied value of the scale division d , but only if it is upper rounding.
Expanded uncertainty consists of the repeatability of the measurement, rounding influenced by scale division value, influence of the excentric putting of the weights, changing of the temperature, measurement uncertainty of the weight standards (correction of the nominal mass, correction for a possible drift, air buoyancy correction, correction for convection effect), uncertainty of the adjusting of the characteristic curve and uncertainty of the tare influence.*

Kraj potvrde o umjeravanju End of calibration certificate

OB 5.10/1-0/1b
Izdavanje 07

Umnožavanje kompletne potvrde o umjeravanju je dopušteno. Dijelovi potvrde o umjeravanju se smiju umnožavati samo uz dozvolu Laboratorija za umjeravanje.

Reproduction of complete certificate is allowed. Parts of certificate may only be reproduced with approval of the calibration laboratory.

Prilog 2. Podaci o mjerenim tovarima

Broj mjerjenja	Tip kamiona	Vrsta tovara	Masa tovara	Osovinsko opterećenje, kg					Ukupna masa		
				Kamion			Prikolica		S1	S2	S3
			kg	1	2	3	1	2	kg		
1	IVECO	bukva tehnika	20142	6879	9154	8994	5937	8407	39371	47778	39060
2	MAN	bukva tehnika	20405	6381	9282	9043	6213	8145	39064	47209	38280
3	MAN	bukva tehnika	23389	6980	9067	9171	7557	9273	42048	51321	41240
4	IVECO	bukva tehnika	22354	7154	10835	9064	6357	8173	41583	49756	40020
5	IVECO	bukva tehnika	21796	7048	9737	9271	6793	8176	41025	49201	40900
6	IVECO	bukva tehnika	22854	7218	9914	8987	6585	9379	42083	51462	41160
7	IVECO	bukva tehnika	22411	6791	9859	8994	6291	9705	41640	51345	40940
8	IVECO	bukva tehnika	23842	7916	10647	9753	5802	8953	43071	52024	42160
9	IVECO	bukva tehnika	21442	7022	9890	9362	6890	7507	40671	48178	41040
10	IVECO	bukva tehnika	23706	7305	11416	9310	6150	8754	42935	51689	41600
11	IVECO	bukva tehnika	23764	7047	11528	9689	6243	8486	42993	51479	41760
12	IVECO	bukva tehnika	21195	7014	10445	8993	5613	8359	40424	48783	39740
13	IVECO	bukva tehnika	21814	6755	10576	8498	6267	8947	41043	49990	39700
14	IVECO	bukva tehnika	20333	6953	9158	8746	6062	8643	39562	48205	39700
15	MAN	jela celuloza	25209	5961	9728	9959	8619	9601	43868	53469	43640
16	IVECO	jela celuloza	19680	5641	9334	9020	7306	7608	38909	46517	38660
17	IVECO	jela celuloza	23358	6285	9295	9089	7093	10825	42587	53412	42160
18	MAN	jela celuloza	22743	5826	9301	9395	7860	9020	41402	50422	40720
19	IVECO	jela celuloza	17523	6531	8050	7777	6633	7761	36752	44513	36080
20	MAN	jela celuloza	20558	5449	8576	8745	6813	9634	39217	48851	38560
21	IVECO	jela celuloza	18112	5686	8743	8397	7092	7423	37341	44764	37560
22	MAN	jela celuloza	18201	5849	8390	8512	6066	8043	36860	44903	36340
23	IVECO	jela celuloza	18011	5740	8960	8615	7385	6540	37240	43780	37160
24	IVECO	jela celuloza	18196	5850	8750	8470	6645	7710	37425	45135	37240
25	IVECO	jela celuloza	16971	5440	8445	8150	6205	7960	36200	44160	36020
26	MAN	jela celuloza	15981	5440	8245	8230	5335	7390	34640	42030	34080
27	MAN	jela celuloza	19887	5471	8360	8303	6802	9610	38546	48156	37980
28	MAN	jela celuloza	19830	5967	9545	8903	6770	7304	38489	45793	38520
29	MAN	jela celuloza	21823	5781	8935	8894	6985	9887	40482	50369	39720
30	MAN	jela celuloza	25888	6496	9848	9959	9327	8917	44547	53464	43520
31	MAN	jela celuloza	16592	5440	7804	7809	5824	8374	35251	43625	34800
32	MAN	jela celuloza	22557	5988	8858	8862	6797	10711	41216	51927	40360
33	IVECO	jela celuloza	24133	6480	9525	9300	6820	11237	43362	54599	42900
34	MAN	jela celuloza	18460	5519	8459	8508	5950	8683	37119	45802	36340
35	IVECO	jela celuloza	23202	6481	9871	9647	7251	9181	42431	51612	41740
36	IVECO	jela celuloza	18317	5332	8268	8090	6160	9696	37546	47242	37140
37	MAN	jela celuloza	21196	5927	8972	8967	6710	9279	39855	49134	38960
38	IVECO	jela celuloza	18594	6894	8323	8002	6369	8235	37823	46058	37420
39	MAN	jela tehnika	21004	5315	8782	9331	6861	9374	39663	49037	39300
40	IVECO	jela tehnika	18063	5117	8945	8512	7591	7127	37292	44419	37480

41	IVECO	jela tehnika	28925	7100	10727	10496	9303	10528	48154	58682	47820
42	MAN	jela tehnika	20887	5384	9476	9618	7383	7685	39546	47231	40060
43	IVECO	jela tehnika	22805	6597	9272	8970	7189	10006	42034	52040	41860
44	IVECO	jela tehnika	24629	7458	10771	9492	7025	9112	43858	52970	42740
45	IVECO	jela tehnika	20566	6830	9624	9039	6080	8222	39795	48017	39540
46	IVECO	jela tehnika	24469	7188	9871	9690	7135	9814	43698	53512	43440
47	IVECO	jela tehnika	20920	6874	9982	9184	6574	7535	40149	47684	39280
48	IVECO	jela tehnika	26964	7650	10537	9809	7840	10357	46193	56550	45400
49	IVECO	jela tehnika	26784	7189	12901	9907	6553	9463	46013	55476	43760