

**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
ŠUMARSKI ODSJEK**

SIMON BRANIŠELJ

**MJERENJE DODIRNIH TLAKOVA
KAMIONSKIH SKUPOVA**

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2013.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
ŠUMARSKI ODSJEK

MJERENJE DODIRNIH TLAKOVA
KAMIONSKIH SKUPOVA

DIPLOMSKI RAD

Zavod za šumarske tehnike i tehnologije

Predmet: Mehanizacija šumarstva

Ispitno pojererstvo: Izv.prof.dr.sc. Marijan Šušnjar, mentor
Prof.dr.sc. Dubravko Horvat
Marko Zorić, mag.ing.silv.

Student: Simon Branišelj
Matični broj: 5123/04
Stupanj nastave: VII/I
Datum obrane: 17. prosinac 2013.

Zagreb, prosinac 2013.

Dokumentacijska kartica

Naslov	Mjerenje dodirnih tlakova kamionskih skupova
Autor	Simon Branišelj
Adresa autora	Gerovski Kraj, Kraj 6, 51304 Gerovo
Izvor	Šumarska knjižnica-Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu Svetošimunska 25, 10000 Zagreb
Rad izrađen	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Izv.prof.dr.sc. Marijan Šušnjar
Godina objave	2013.
Izvorni jezik	Hrvatski
Obujam	I-V+ 1-22 str.+6 tablica +14 slike + 24 Literat.
Ključne riječi	Kamionski skup, dodirni tlak kotača, osovinska opterećenja, nosivost šumske ceste
Sažetak	<p>Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi osovinska opterećenja na kamionu s prikolicom i kamion s poluprikolicom tijekom prijevoza različitih vrsta tereta, način određivanja dodirnih tlakova između kotača, te mjerenje nosivosti šumske ceste.</p> <p>Istaživanje je provedeno mjerenjem masenih značajki na dva kamionska skupa "klasičara" (Scania i Iveco trakker 440) te na šleperskom kamionskom skupu MAN. Za kamionski skup Scania mjerene su 3 inačice s obzirom na vrstu drva u tovaru (hrast, bukva i jela), dok je na kamionskim skupovima MAN i IVECO tovar bio mješoviti, sastavljen od hrasta i jasena.</p> <p>Osovinska opterećenje izmjerene su prijenosnom mjernom platformom i vagom TELUB.</p> <p>Različiti matematički modeli temeljeni na karakteristikama guma (dimenzija, tlaka zraka) korišteni su za izračun dodirne podloge kotača, tlak kotača je određen na temelju izmjerenog opterećenja kotača i izračunate dodirne površine. Da bismo mogli procijeniti nosivost šumske ceste potrebno je odrediti deformaciju kolničke konstrukcije, odnosno izračunati modul deformacije i elastičnost progiba kolničke konstrukcije. Mjerenja su obavljena pomoću LWD uređaja. Najveću nosivost, kao što je i očekivano ima glavna šumska cesta. Zanimljivo je primijetiti da šumska cesta s asfaltnim zastorom nema uvijek najveću nosivost, što je bilo za očekivati. Razlog tomu je taj što asfaltni zastor ne povećava samu nosivost šumske ceste, nego samo povezuje kolničku konstrukciju.</p>

Kazalo sadržaja

Ključna dokumentacijska kartica	I
Kazalo sadržaja	II
Popis slika.....	III
Popis tablica.....	IV
Predgovor.....	V
1. Uvod	1
2. Materijali i metode	7
2.1. Mjerni sustavi	7
2.2. Modeli za izračun dodirne površine i dodirnog tlaka kotača s tlom	9
2.3. Objekti istraživanja	10
2.4. Light Weight Deflectometer	11
3. Rezultati	15
4. Zaključak	20
5. Literatura	21

Popis slika

1. Slika 1. Različite mogućnosti izvedbe kamionskih skupova
2. Slika 2. Pojava kolotraga i deformacije ceste (Ozturk, T.,2008)
3. Slika 3. Najveće dopuštene mase kamionskih skupova
4. Slika 4. Shematski prikaz sustava za prikupljanje podataka
5. Slika 5. Prijenosna mjerna platforma i njezini sastavni dijelovi
6. Slika 6. Kamionski skup Scania
7. Slika 7. Kamionski skup Iveco
8. Slika 8. Šleperski kamionski skup MAN
9. Slika 9. Korišteni deflektometar
10. Slika 10. Prijenosno računalo deflektometra
11. Slika 11. Provedba mjerenja nosivosti šumske ceste
12. Slika 12. Osovinska opterećenja i ukupne mase natovarenih kamionskih skupova
13. Slika 13. Modul elastičnosti šumske ceste
14. Slika 14. Zbijanje šumske ceste uslijed djelovanja deflektometra

Popis tablica

1. Tablica 1. Pregled izraza za određivanje dodirne površine kotača s tlom te dodirnog tlaka
2. Tablica 2. Dimenzije guma korištene u istraživanim jedinicama kamionskih skupova
3. Tablica 3. Prikaz podataka na ekranu prijenosnog računala deflektometra i pojašnjenje istih
4. Tablica 4. Osovinska opterećenja i dodirni tlakovi neopterećenih kamionskih skupova
5. Tablica 5. Osovinska opterećenja i dodirni tlakovi opterećenih kamionskih skupova
6. Tablica 6. Rezultati mjerenja s deflektometrom

Predgovor

Ovaj rad je izrađen na Zavodu za šumarske tehnike i tehnologije Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Zahvaljujem mentoru izv. prof. dr. sc. Marijanu Šušnjaru, te Marku Zoriću, mag. ing. silv. na ukazanoj pomoći i savjetima pri izradi ovoga rada.

Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima što su mi omogućili studiranje i bili uz mene cijeli studij.

Velike zahvale dugujem roditeljima, sestri i kolegama zbog podrške i pomoći tijekom studija.

Simon Branišelj

1. UVOD

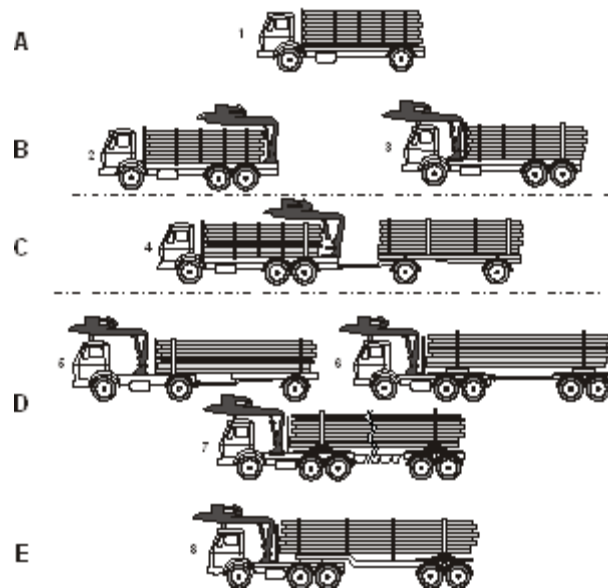
U Hrvatskoj se između dva svjetska rata počinju rabiti šumski kamioni, kojima se danas prevozi gotovo 85 % drva, tako da su postali najznačajnija sastavnica daljinskog transporta uz istodobno znatno manju uporabu željeznice. Razlozi ovome mogu se naći u razvoju kamiona i kamionskog transporta u cjelini, gradnji takve mreže javnih putova koja je omogućila masovnu uporabu kamiona te u otvaranju šuma gradnjom kamionskih cesta (Horvat i Šušnjar 2002).

Prijevoz drva kamionom je dominantni oblik daljinskog transporta drva u Hrvatskoj, iako je on najskuplji oblik transporta (Krpan i dr. 2002). Da bi se povećala njegova učinkovitost potrebno je provoditi svrsishodne tehničke, tehnološke i organizacijske mjere. Postoji i niz ograničavajućih čimbenika koji se nalaze izvan šumskog gospodarskog sustava kao što su, primjerice, zakonski propisi o dimenzijama i nosivosti kamionskih skupova, ograničenja brzine vožnje, stanje i opterećenost prometnica i sl.

Kamioni prerađeni za prijevoz drva rabe se u hrvatskom šumarstvu niz godina čime je stečeno iskustvo i u njihovom korištenju, kao i u doradi velikoserijskih inačica. Osnova gradnje takvog kamiona, koji se zbog svoje isključive namjene prijevoza oblovine može zvati šumskim kamionom, je montiranje šumske nadogradnje, ugradnja šumske dizalice te udvajanja osovine.

Razliku u vrstama šumskih nadgradnji kamiona (slika 1) najčešće uzrokuje morfologija tereta (duljine sortimenata), a izbor nadgradnje uvjetuje i primjereni kamionski skup. Temeljna razlika u vrstama nadgradnji, vezana je za određene značajke hrvatskog šumarstva, tako da su neke primjerene kraćim duljinama obloga drva (do 6 m), dok se drugima može prevoziti i oblovina duljine do 12 m.

Različiti su autori različito imenovali kombinaciju kamiona s prikolicom ili poluprikolicom, te tegljače. Zbog različitog nazivlja za ista transportna sredstva u ovome će se radu imenovati kamionski sustavi kako ih je definirao Sever (1992), a prema skicama na slici 1.



Slika 1. Različite mogućnosti izvedbi kamionskih sustava

Za izvedbe šumskih kamiona i šumskih kamionskih skupova prema slici 1, rabiti će se slijedeći nazivi:

- 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 šleperski kamionski skup
 - 8. Šumski kamionski skup sa šleperskom dvoosovinskom poluprikolicom

U hrvatskom šumarstvu najčešće se koriste slijedeće vrste kamionskih skupova:

- kamion s prikolicom - C4 (tzv. klasičar),
- kamion s poluprikolicom – D6 (tzv. biling). Međutim, treba naglasiti da se kod ovog kamionskog skupa priključno vozilo uvjetno naziva poluprikolicom i to ne zbog svojih tehničkih značajki (ima dvije osovine koje samostalno voze), već zbog tehnoloških značajki s obzirom da se s jednim osloncima za trupce (šticama) teret ne može samostalno voziti.
- tegljač – E8
- kamion – B2, (tzv. solo kamion) koji je kamionski skup C4 bez priključnog vozila.

Uspješnost kamionskog prijevoza drva ovisi o nizu čimbenika od kojih su neki pod utjecajem šumarske struke, tehnička izvedba kamionskih skupova, organizacija pomoćnog stovarišta, dok na zakonske propise o dimenzijama i nosivosti kamionskih kompozicija, ograničenju brzine vožnje, stanje i opterećenost prometnica ne možemo utjecati (Malnar 2000).

Tehničke značajke kamionskog skupa polazište su o kojem ovise svi njegovi bitni potencijali kao što su: nosivost, brzina kretanja, prohodnost, energijska učinkovitost, učinkovitost utovara i istovara, itd.

Nosivost kao jedna od značajki koja izravno utječe na proizvodnost kamionskog skupa, nije ograničena samom tehničkom izvedbom kamionskog skupa koliko zakonskim propisima na koje ne možemo utjecati. Povećanje nosivosti kamionskih skupova ima za posljedicu smanjivanje ukupnoga broja transportnih jedinica uz pretpostavku da se ukupno prevoze približno iste količine drva.

U modernim kamionima, pa tako i u šumskim izvedbama, primjenjuje se sofisticirana oprema koja znatno olakšava vožnju, ali i povećava nabavnu cijenu. Veličina kamiona, pa time i njegova nosivost, također ga poskupljuju. Za skraćivanje fiksnih vremena, osim tehnoloških mjera, potrebne su i moderne šumske dizalice koje su također relativno skupe.

Iz ovoga proističe da se može očekivati visoka nabavna cijena šumskog kamionskog skupa, čime se dodatno poskupljuje ova, u odnosu na ostale, ionako najskuplja sastavnica šumskoga transporta.

Autonomnost i fleksibilnost kamionskih skupova postignuta je ugradnjom hidrauličkih šumskih dizalica na svaki kamion. Zanimljiv je i podatak da je 1988. godine uz 400 kamiona koji su radili na prijevozu drva bilo oko 300 montiranih dizalica, što znači da je gotovo 100 kamiona pripadalo skupini A1 sa slike 1. Iste je

godine uz ove kamione radilo i 340 šumskih prikolica različitih izvedbi. Već 1995. godine, kada se broj kamiona smanjio na 250, rabilo se 236 dizalica, što znači da su gotovo svi kamioni bili njima opremljeni. Ako se uzme u obzir da su u ukupnom broju kamiona uvršteni i oni malih nosivosti (ispod 7 t) može se gotovo sa sigurnošću tvrditi da je svaki kamion za daljinski transport te godine bio opremljen šumskom dizalicom. Isto tako podatak da je tada bilo 234 prikolice ukazuje da su gotovo svi kamioni bili kamionski skupovi (Krpan i dr. 2002).

Smanjivanje ukupnog broja kamiona krajem 90-ih godina, uzrokovano je nabavkom kamionskih skupova veće nosivosti, te povećanjem udjela vanjskih transportnih i drugih poduzeća izvan šumarstva (poduzetništvo) u ukupno prevezenoj količini drva.

Danas, „Hrvatske šume“ d.o.o. Zagreb raspolažu s 105 kamionskih skupova za prijevoz drva.

U ukupnom prijevozu drva kamionskim skupovima u Hrvatskoj, „Hrvatske šume“ d.o.o. Zagreb trenutno sudjeluju sa 21 %, dok preostalih 79 % prijevoza drva obavljaju privatni poduzetnici (Beuk i dr. 2007).

Razredba šumskih prometnica

Prema Zakonu o cestama (NN 56/91) pod pojmom ceste podrazumijeva se svaka javna cesta i nerazvrstana cesta na kojoj se obavlja promet.

Mreža šumskih cesta sastavni je dio mreže gospodarskih cesta vezanih za javne prometnice u jedan cjelovit prometni sustav. Pod pojmom gospodarskih cesta podrazumijevamo one ceste koje su od osobitog značenja za pojedinu granu gospodarstva.

Šumske ceste imaju višestruku ulogu, služe za potrebe prijevoza drvne sirovine i šumskog kompleksa do stovarišta ili krajnjeg potrošača, protupožarnu i preventivnu zaštitu šuma, za lakše obavljanje poslova vezanih uz uzgajanje i uređivanje šuma, lovnu privredu, turizam i drugo.

Prema Šikiću i drugima (1989.) šumske prometnice, s obzirom na promet koji se njima odvija, dijele na primarne i na sekundarne šumske prometnice.

U primarne šumske prometnice ubrajamo šumske ceste (ŠC). To su trajni građevinski objekti koji omogućavaju stalan promet motornim vozilima radi izvršenja zadataka predviđenih gospodarskom osnovom (prijevoz drveta, lov, zaštita šuma, uzgoj, njega...). Izgrađene su od donjeg i gornjeg stroja sa svim tehničkim obilježjima ceste, te šumi trajno oduzimanje plodno tlo (za širinu planuma).

Sekundarne šumske prometnice su građevinski objekti koji povremeno služe za izvršenje zadataka predviđenih gospodarskom osnovom. Prvenstveno su namijenjene za traktorsku vuču ili izvoženje drva forvarderima. Tu ubrajamo

traktorske putove (TP) i traktorske vlake (TV). Traktorski putevi su građevinski objekti kod kojih su prisutni zemljani radovi, znači sastoje se samo od donjeg stroja. Traktorske vlake su privremeni građevinski objekti koje dobijemo prosijecanjem kroz šumu i uzastopnim prolaskom traktora istim tragom. Nakon što izvrše svoju namjenu, šuma ih ponovno preuzme.

Mrežu gospodarskih cesta u šumarstvu prema Šikiću i dr. (1989.) možemo razvrstati:

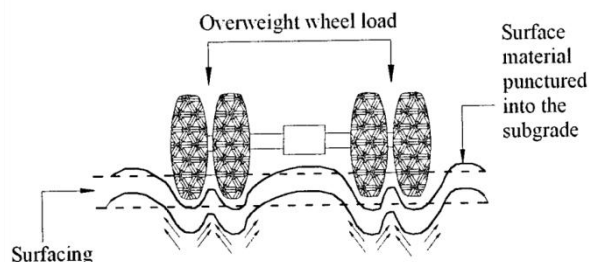
- prema značenju: na spojne ceste, glavne šumske ceste, sporedne šumske ceste, te na prilazne šumske ceste;
- prema prometnom opterećenju (bruto tona/24h), na: ceste sa srednje teškim prometnim opterećenjem (500-2500), ceste s lakim prometnim opterećenjem (100-500), te na ceste s neznatnim prometnim opterećenjem (ispod 100);
- s obzirom na konfiguraciju terena na: ravničarske ceste, prigorsko-brdske ceste, te na planinske ceste;
- prema veličini i učestalosti transporta drvne mase na: šumske ceste 1. reda, šumske ceste 2. reda, te na šumske ceste 3. reda.

S obzirom na učestalost uporabe i s obzirom na potrebu održavanja, šumske se ceste prema Pičmanu i Penteku (1996) mogu podijeliti na:

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

Za šumske ceste je karakteristična niska frekvencija (intenzitet) prometa. Glavnina se prometa tijekom godine odvija u određenom kraćem razdoblju, a najveći udio u prometnom opterećenju zauzimaju teški šumski kamioni osovinskog opterećenja većeg i od 80 kN (Nowakowska-Moryl 1992, Fertal 1994, Trzcinski 2001). Poradi što manjih troškova održavanja šumskih cesta zbog oštećenja kolničke konstrukcije šumske ceste je potrebno graditi sukladno preporučenim tehničkim značajkama i propisanom postupku izgradnje za određenu kategoriju šumske ceste (Siedrowicy i dr. 1990).

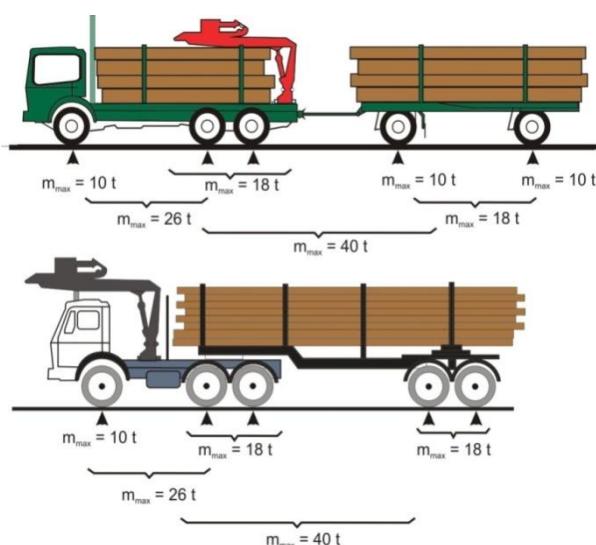
Opterećenje kotača i dodirni tlak nakon nekog vremena uzrokuju pojavu kolotraga i deformaciju šumske ceste (slika 2.)



Slika 2: Pojava kolotraga i deformacije ceste (Ozturk, T.,2008.)

Temeljni je zakonski propis kojim se određuju neke tehničke značajke “Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama” - (“Narodne novine”, br. 59/98). Ovim su pravilnikom obuhvaćene dimenzije vozila kao i osovinski pritisci.

Temeljem ove raščlambe može se zaključiti da istraživani šumarski kamion s prikolicom smije biti opterećen najviše 26 t za sam kamion, 18 t za prikolicu, 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, kako to i pokazuje slika 3.



Slika 3. Najveće dopuštene mase kamionskih skupova

Najveće dopuštene mase, prikazane na slici 3., pokazuju izvjesne nelogičnosti nastale 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 će se provesti tako da se mjere opterećenja svake pojedine osovine, a njihova sumarna vrijednost se opet uspoređuje 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 se uspoređuje s dopuštenom masom od 40 t.

2. MATERIJALI I METODE

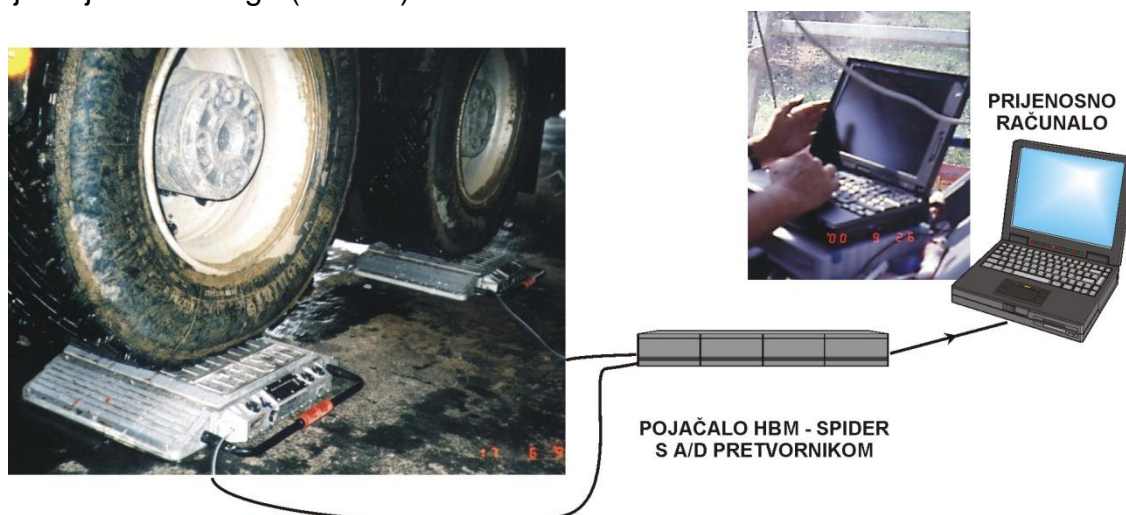
Cilj ovog diplomskog rada je opisati postupak mjerenja osovinskih opterećenja šumskih kamionskih skupova, te način određivanja dodirnih tlakova između kotača kamionskih skupova i šumske ceste. Bit će opisana i metodologija mjerenja nosivosti šumske ceste, te će se na osnovu provedenih mjerenja utvrditi utjecaj šumskih kamionskih skupova na šumske ceste.

Istraživanje je provedeno mjerenjem osnovnih dimenzijskih i masenih značajki na dva kamionska skupa "klasičara" (Scania i Iveco trakter 440) te na šleperskom kamionskom skupu MAN. Za kamionski skup Scania mjerene su 3 inačice s obzirom na vrstu drva u tovaru (hrast, bukva i jela), dok je na kamionskim skupovima MAN i IVECO tovar bio mješoviti, sastavljen od hrasta i jasena.

2.1 Mjerni sustavi

Za mjerenje osovinskih opterećenja, korištena su dva mjerna sustava. Prvi mjerni sustav je vaga TELUB švedskog proizvođača koja se sastoji od četiri samostalne vage. U svakoj se vagi nalaze po četiri neovisna dinamometra namijenjena mjerenju tlačnih naprezanja. Na svakom je dinamometru postavljeno po četiri aktivne mjerne trake, što znači da je riječ o mjernim pretvornicima s mjernim trakama u punom mostu. Mjerni su pretvornici spojeni tako da pojedinačno i zajednički registriraju svako vanjsko opterećenje. Svaka je vaga granično opterećena sa 90 kN. Budući da se opterećenje ne mora simetrično rasporediti na sva četiri dinamometra, u krajnosti je moguća i takva situacija u kojoj se svaki od tih tlačnih dinamometara može pojedinačno opteretiti s graničnom nosivošću čitave vage.

Sve su vage spojene s mjernim pojačalom HBM Spider 8, koji je direktno povezan s prijenosnim računalom, te s pomoću računalnog programa očitani rezultati mjerenja svake vage (slika 4.).



Slika 4. Shematski prikaz sustava za prikupljanje podataka

Drugi mjerni sustav je mjerna platforma (slika 5a). Dimenzije mjerne platforme su 3000 x 2700 mm. Navedene dimenzije omogućavaju postavljanje svih kotača udvojenih osovina kamiona ili poluprikolice, čime se pojednostavljuje mjerenje.

Platforma je sastavljena od dvije čelične ploče unutar koje su postavljena 4 senzora odnosno mjerne ćelije ASC modela (slika 5b), proizvođača Vishay. Mjerne ćelije ovog modela napravljene su od nehrđajućeg čelika, a zavarena konstrukcija omogućuje korištenje i u nepovoljnim uvjetima kakvi vladaju u šumi. Pri ovom mjerenju su korištene mjerne ćelije maksimalnog pojedinačnog opterećenja od 30 tona. Sve mjerne ćelije su paralelno spojeni na sabirnu kutiju (slika 5c) istog proizvođača. Sabirna kutija je povezana s prijenosnim terenskim računalom (slika 5d).



Slika 5. Prijenosna mjerna platforma i njezini sastavni dijelovi

Najveći vodoravni pomak, kod kojeg će mjerne ćelije još uvijek pouzdano mjeriti je $D = 18,5$ milimetara, odnosno pouzdano će raditi do promjene kuta od $\alpha=7^\circ$

Izvedba mjerne platforme s uporabom mjernih ćelija s mogućnošću otklona je potrebna zbog nailaska opterećenih kotača kamionskih skupova uslijed čega dolazi do naprezanja u gornjoj ploči platforme u vodoravnom smjeru.

Za potrebe mjerenja na terenu, platforma je kalibrirana pri čemu su korišteni utezi pojedinačne mase od 500 kg. Prilikom umjeravanja postupno se povećavalo opterećenje do 10 tona, i uočene razlike s obzirom na izmjerene vrijednosti mjernom platformom su zanemarive jer se kreću u rasponu od -2 kg do 4 kg. Ispitana je i preciznost mjerenja na kutovima mjerne platforme s opterećenjem od 8 tona. Izmjerene su veće vrijednosti (od 8 kg do 22 kg) koje ukazuju na grešku mjerenja od 0,1 % do 0,275 %. Pri rasterećenju mjerne platforme uočeno je zaostajanje mjerne vrijednosti od 20 kg, prvenstveno nakon opterećenja platforme masom većom od 19 tona. Takvu pojavu Hoffman (1989) naziva „elastic after-effect“ te objašnjava da ovisno o materijalu u kojem se mjeri, mjerna ćelija bilježi određeni iznos naprezanja (djelovanja sile) u kraćem vremenskom periodu nakon opterećenja.

Ova mjerna platforma pokazala se dobrom za mjerenje osovinskih opterećenja, jer je mjerna preciznost zadovoljavajuća, a i jednostavna je za rukovanje, te se može lako prenijeti s jednog mjesta na drugo, čime se smanjuje ometanje proizvodnih ciklusa (Šušnjar et al. 2011).

2.2 Modeli za izračun dodirne površine i dodirnog tlaka kotača s tlom

Djelovanje vozila na tlo se vrši preko dodirne površine guma kotača s tlom. Oblik i veličina dodirne površine kotača i tla, uz veličinu dodirnog tlaka na njoj uzrokovanog opterećenjem kotača, djeluje na raspodjelu naprezanja u tlu. Nastala naprezanja u tlu će se očitovati u ovisnosti o nosivosti tla na veličinu sabijanja tla i nastanak kolotruga.

Dodirnu površinu kotača s tlom je teško odrediti jer to ovisi o mnogim čimbenicima, a ponajprije o dimenzijama guma, tlaku u gumama, opterećenju guma kao i o karakteristikama šumske ceste. Ronai i Klinar (1977) navode da oblik i veličina dodirne površine u mnogome ovise o tlaku zraka u gumama. Uz manji tlak zraka eliptičniji je oblik dodirne površine i veća nalježuća površina. Pod stalnim tlakom punjenja guma zrakom i stalnim opterećenjem kotača, površina dodira ovisi o čimbeniku koji utječe na nosivost tla – trenutnoj vlažnosti. Punjenjem iznad određenog kritičnog tlaka, guma se kotača počinje ponašati kao kruti kotač.

Dodirna površina ovisi također o progibu gume i elastičnosti tla. Progib gume ovisi o tlaku u gumama, broju vlakana i strukturi (cross play ili radijalna). Pri manjim tlakovima punjenja guma zrakom, progib utječe na povećanje veličine površine dodira.

Tlak između kotača i tla može se mjeriti izravno tako da pričvrstimo mjerač na površinu gume (Horvat 1993). Neizravna metoda za određivanje dodirnih tlakova (proračunski) temelji se na poznavanju opterećenja kotača vozila, i dodirne površine.

Mnogi znanstvenici su razvili različite teorijske modele za izračunavanje dodirne površine i dodirnog tlaka između kotača i tla - šumske ceste. Saarilahti (2002a) daje pregled svih modela, dok su u ovom istraživanju korištena samo tri modela kao što je prikazano u tablici

Tablica1. Pregled izraza za određivanje dodirne površine kotača s tlom te dodirnog tlaka

Autor	Dodirna površina	Nominalni tlak kotača vozila
Mellgren (1980)	$A = r \cdot b$	$NGP = \frac{G_k}{r \cdot b}$
		Dodirni tlak kotača vozila
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)	$A = b^{0,8} \cdot d^{0,8} \cdot \Delta^{0,4}$	$p = \frac{G}{b^{0,8} \cdot d^{0,8} \cdot \Delta^{0,4}}$
Kazalo oznaka: p – dodirni tlak, kPa NGP – nominalni tlak, kPa G – težina vozila, kN G_k – opterećenje kotača vozila, kN A – dodirna površina, m ²	r – radijus neopterećene gume kotača, m Δ – progib gume kotača vozila, m b – širina neopterećene gume kotača, m p_i – tlak punjenja gume zrakom, kPa c – koeficijent vrste tla:(3 - 3.2 za tvrdo tlo)	

Modeli izračun dodirne površine i tlaka između kotača i tla koja su se koristila u ovom istraživanju su odabrana na temelju raznih parametara u jednadžbi, kao i na temelju tipova tala.

Mellgrenov model je izabran jer omogućuje jednostavan i brz izračun, a nedostaci su zanemarivanje utjecaja progiba gume, tlaka punjenja guma, neovisnost o značajkama tla te precjenjivanje utjecaja uporabe širih guma.

Komandi (1990) iznosi modele izračunavanja dodirne površine i tlaka u ovisnosti o opterećenju na kotaču, promjeru, širini i tlaku punjenja guma uvodeći koeficijente vrste tla.

Maclaurin (1997) na osnovi mjerenja uvodi novi parametar – ograničavajući konusni indeks, koji određuje kao konusni indeks tla ograničavajuće nosivosti po kojem vozilo može ostvariti jedan prolaz bez obzira na posljedice.

2.3 Objekti istraživanja

Istraživanja su provedena na klasičnom šumskom kamionskom skupu Scania koji je opremljen šumarskom nadogradnjom i dizalicom Jonsered 1090 (Slika 6), kamionskom skupu Iveco Trakker 440 koji je opremljen sa dizalicom Epsilon Palfinger E110Z Plus (slika 7), te na šleperskom kamionskom skupu MAN opremljen sa dizalicom Cranab 2190 (Slika8).



Slika 6: Kamionski skup Scania



Slika 7: Kamionski skup Iveco



Slika 8: Šleperski skup Man

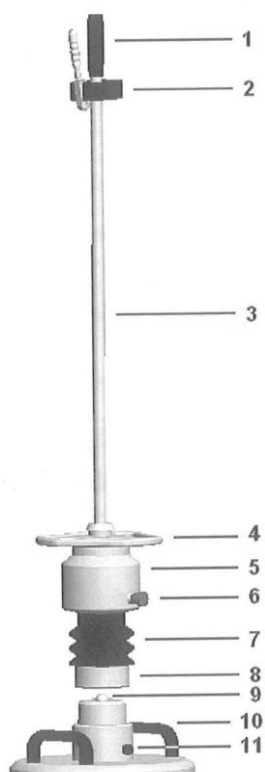
Tablica 2 prikazuje tipove i dimenzije guma koje su korištene u istraživanim jedinicama kamiona i poluprikolica. Tlak u gumama svih istraživanih jedinica kamiona i poluprikolica je 8 bara (800 kPa).

Tablica 2: Dimenzije guma korištene u istraživanim jedinicama kamionskih skupova

Osovina	SCANIA	IVECO	MAN
1.kamion	Continental 315/80 R22,5 HS45	Michelin 385/65R22.5	Sava 13R22.5
2. kamion	Continental 315/80 R22,5 HS75)	Michelin 315/80R22.5	Sava 13R22.5
3. kamion	Continental 315/80 R22,5 HS75	Michelin 315/80R22.5	Sava 13R22.5
1. prikolica	Continental 315/80 R22,5 HS75	Michelin 295/80R22.5	Sava 12R22.5
2. prikolica	Continental 315/80 R22,5 HS75	Michelin 295/80R22.5	Sava 12R22.5

2.4 Light Weight Deflectometer

Da bismo mogli procijeniti nosivost šumske ceste potrebno je odrediti deformaciju kolničke konstrukcije, odnosno izračunati modul deformacije i elastičnost progiba kolničke konstrukcije. Mjerenja su obavljena pomoću LWD uređaja (slika 9). Na vrhu uređaja nalazi se drška koja osigurava da opruga uređaja ostane vertikalna. Uzduž osovine se nalazi okidač za otpuštanje mase koji se koristi za otpuštanje tereta i na taj se način osigurava opterećenje. Odbojnici, napravljeni od gumenih blokova ili čeličnih poluga, hvataju padajući teret te prenose utjecaj sile do nosive ploče. Ispod odbojnika se nalazi naprava za mjerenje koja mjeri deformaciju, a kod nekih uređaja i snagu. Na dnu se nalazi nosiva ploča koja mora biti postavljena čvrsto na tlo.



1. Drška
2. Ručka za otpuštanje utega, gornji graničnik
3. Šiška po kojoj se spušta uteg
4. Ručka na utegu
5. Uteg
6. Bravica za blokadu prilikom transporta
7. Opruge
8. Priključak za ploču
9. Kugla za centritanje
10. Ručka za nošenje ploče
11. Priključak za prijenosno računalo

Od 1 – 8 je uređaj za opterećenje

Od 9 – 11 je mjerna ploča

Slika 9. Korišteni deflektometar

Prije provođenja prvih ispitivanja LWD uređaj se mora kalibrirati u institucijama koje su za to odgovorne. Taj se postupak mora provoditi barem jedanput godišnje.

Prije postavljanja LWD uređaja na tlo koje će se ispitivati, tlo se mora izravnati. Na mekanim ili utrim površinama se odstrani materijal do dubine 15 cm ili se umetne tanak sloj pijeska da bi se izjednačile moguće neujednačenosti. Nakon toga se LWD uređaj postavlja horizontalno na tlo koje će se testirati. Najprije se padajući teret ispušta tri puta da bi došlo do potpunog kontakta između ploče i tla, odnosno da se tlo slegne, a zatim se mora ispustiti još tri puta da se provede točno mjerenje deformacije tla uz pomoć elektroničkog metra. Od dobivenih vrijednosti izračuna se prosječna te se ta uzima kao vrijednost ispitanog tla.

LWD uređaj mjeri dinamičku deformaciju tako da se tlo optereti opterećenjem koje se primjenjuje preko čelične ploče. Mehanizam nosivosti se sastoji od padajućeg tereta, koji, kada se ispusti, pada uzduž opruge te udara o odbojnik. Nosiva sprava se nalazi u centralnoj sferi na sredini diska, te se samo tlačna sila prenosi do nosive ploče. Na sredini ploče je instaliran senzor koji je spojen na elektronički metar. Ovaj senzor mjeri kretanje ploče čak i za vrijeme testiranja. Kada je testiranje završeno, maksimalni pomak se može izračunati uz pomoć dvostrukih ili jednostrukih integrala ubrzavanja ili oscilacije brzine. Ostali parametri za određivanje modula defekcije, uključujući kontaktno opterećenje između ploče i tla, su konstante.

U tablici 3 prikazani su podaci koji se pojavljuju na ekranu prijenosnog računala deflektometra te pojašnjenje istih. Na slici 10 prikazano je prijenosno putno računalo deflektometra.

Tablica 3 Prikaz podataka na ekranu prijenosnog računala deflektometra i pojašnjenje istih

1. Tekstualni prikaz koji je moguće izmijeniti tj. unijeti oznaku lokacije mjerenje	Result TEXT
2. Broj testa, datum i vrijeme mjerenja	Nr. 33 26.09.2013 13:22
3. Najviša vrijednost zbijanja u milimetrima	s_m: 0,266 mm
4. Stupanj kompaktnosti, koji nam govori jeli moguće daljnje zbijanje. s/v < 3,5 – nije moguće daljnje zbijanje s/v > 3,5 – moguće je daljnje zbijanje	s/v: 2,414
5. Dinamički modul defleksije	E_{vd}: 37,25 MPa



Slika 10. Prijenosno računalo deflektometra

Preporučena nosivost cesta koje prvenstveno služe za prijevoz dobara te imaju brzinu kretanja do 50 km/h, što odgovara šumskim prometnicama trebali bi imati, prema njemačkoj normi *Rail 836, Designing, constructing and maintaining earthworks – Soil body, principles*, iznositi $E_{vd} = 30 \text{ MPa}$
Mjerenje je rađeno na području gdje je vapnenačka podloga, stoga se očekuje dobra nosivost šumske ceste. Na slici 11 je prikazan postupak mjerenja nosivosti šumske ceste s deflektometrom.



Slika 11. Provedba mjerenja nosivosti šumske ceste

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Rezultati istraživanja pokazuju izmjere osovinskih opterećenja i ukupnih masa praznog i natovarenog šumskog kamionskog skupa s prikolicom i kamionskog šleperskog skupa te izračunate vrijednosti dodirnih tlakova. Za mjerenje

šleperskog skupa te izračunate vrijednosti dodirnih tlakova. Za mjerenje osovinskih opterećenja kamionskog skupa Scania koristila se vaga TELUB, dok su kod skupova Iveco i MAN opterećenja izmjerena na mjernoj platformi. Za mjerenje opterećenja korištena su četiri tovara različitih vrsta drveća te približno jednakog volumena. Volumen se kretao u rasponu od 22,34 m³ kod jele, 22.42 m³ hrast, 22.61 m³ mješoviti tovar, i 22,87 m³ kod bukve.

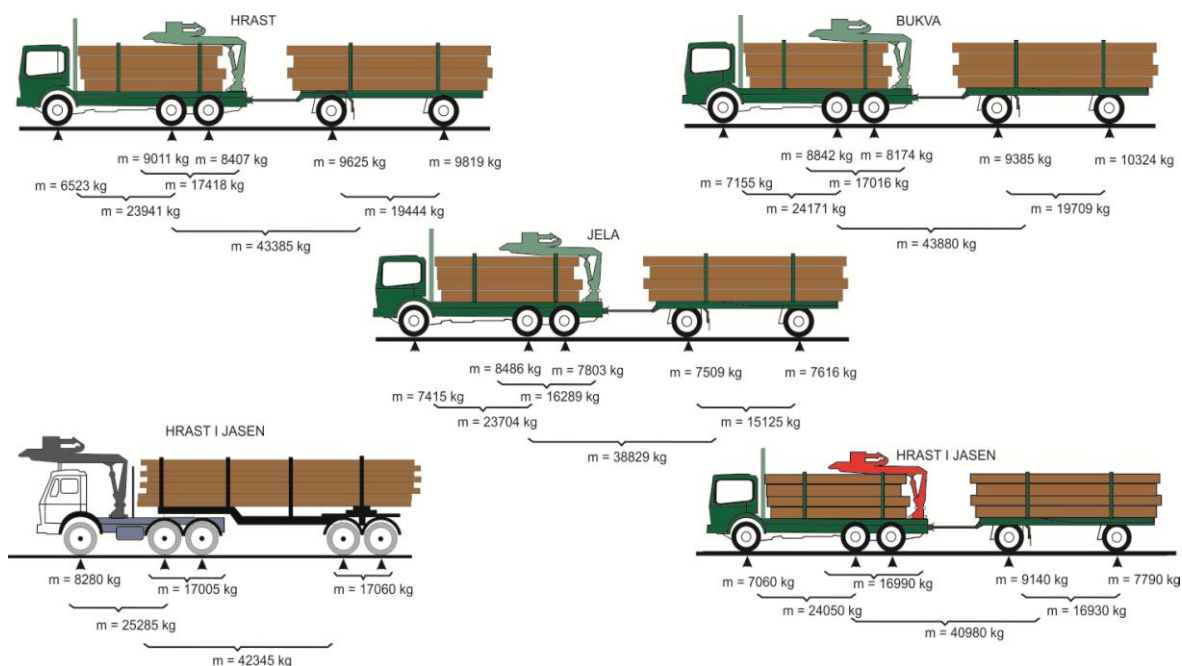
Rezultati iz tablice 4. pokazuju razlike u masi i dodirnim tlakovima neopterećenih kamionskih skupova. Šleperski kamionski skup MAN ima najveću masu 20.652 kg, a slijede IVECO sa 19.960 kg, dok je SCANIA imala najnižu početnu masu od 18.723 kg. Najveći dodirni tlak, prema svim izrazima koji su korišteni u proračunu bio je ispod prednje osovine šleperskog kamionskog skupa.

Tablica 4 Osovinska opterećenja i dodirni tlakovi neopterećenih kamionskih skupova

Kamionski skup s prikolicom		SCANIA				
Osovina		1. kamion	2. kamion	3. kamion	1. prikolica	2. prikolica
Teret (kg)		5010	4845	4283	2396	2189
Dodirni tlak (kPa)	Mellgren (1980)	145.05	70.13	62.22	34.71	31.70
	Komandi (1990)	1287.48	1035.29	998.78	838.36	815.85
	Maclaurin (1997)	219.98	133.08	118.07	64.15	58.58
Kamionski skup s prikolicom		IVECO				
Osovina		1. kamion	2. kamion	3. kamion	1. prikolica	2. prikolica
Teret (kg)		4690	5010	5010	2430	2820
Dodirni tlak (kPa)	Mellgren (1980)	135.78	72.55	72.55	35.18	40.85
	Komandi (1990)	1262.23	1045.89	1045.89	841.77	880.34
	Maclaurin (1997)	205.92	137.67	137.67	65.02	75.49
Šleperski kamionski skup		MAN				
Osovina		1. kamion	2. kamion	3. kamion	1. prikolica	2. prikolica
Teret (kg)		8336	4051	4051	2104	2104
Dodirni tlak (kPa)	Mellgren (1980)	241.33	58.68	58.68	30.46	30.46
	Komandi (1990)	1499.93	981.37	981.37	806.15	806.15
	Maclaurin (1997)	366.00	111.34	111.34	56.29	56.29

Na, osovinska opterećenja kao i ukupnu masu šumskog kamionskog skupa, ovisit će vrsta tovara (vrsta drvnih sortimenta, vrsta drva), mokrina drva, način slaganja drvnih sortimenata u tovarni prostor kamiona, prikolice i poluprikolice.

Na slici 12 prikazana su osovinska opterećenja i mase natovarenih kamionskih skupova. Podaci pokazuju da samo kamionski skup Scania s tovarom jele zadovoljava zakonske propise dok su svi ostali kamionski skupovi u pretovaru.



Slika 12. Osovnska opterećenja i ukupne mase natovarenih kamionskih skupova

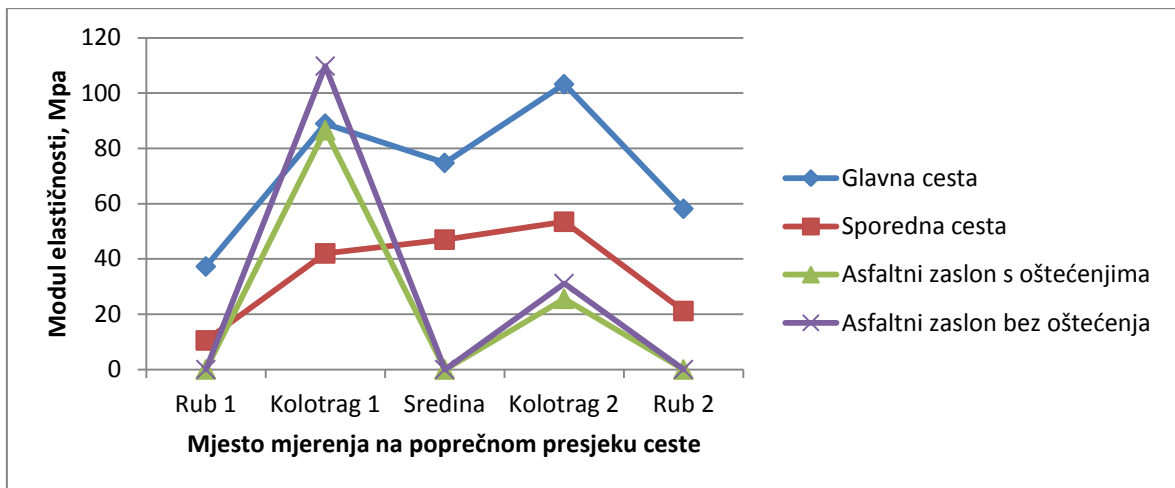
Rezultati iz tablice 5. pokazuju razlike u masi i dodirnim tlakovima opterećenih kamionskih skupova. Kamionski skup SCANIA ima najveću masu 43853 kg s tovarom bukve, a slijede SCANIA s tovarom hrasta 43385 kg, MAN s miješanim tovarom 42345kg, IVECO s miješanim tovarom 40908 kg i SCANIA s tovarom jele 38829kg. Najveći dodirni tlak, prema svim izrazima koji su korišteni u proračunu i bez obzira na značajno povećanje osovinskog opterećenja natovarenog šleperskog i kamionskih skupova bio je ispod prednje osovine. Nadalje bez obzira što nema najveću ukupnu masu, šleperski skup MAN ima najveći dodirni tlak ispod prednje osovine. Razlog tomu leži u velikom početnom opterećenju prednje osovine zbog ugradnje dizalice odmah iza kabine šleperskog skupa.

Tablica 5 Osovinska opterećenja i dodirni tlakovi opterećenih kamionskih skupova

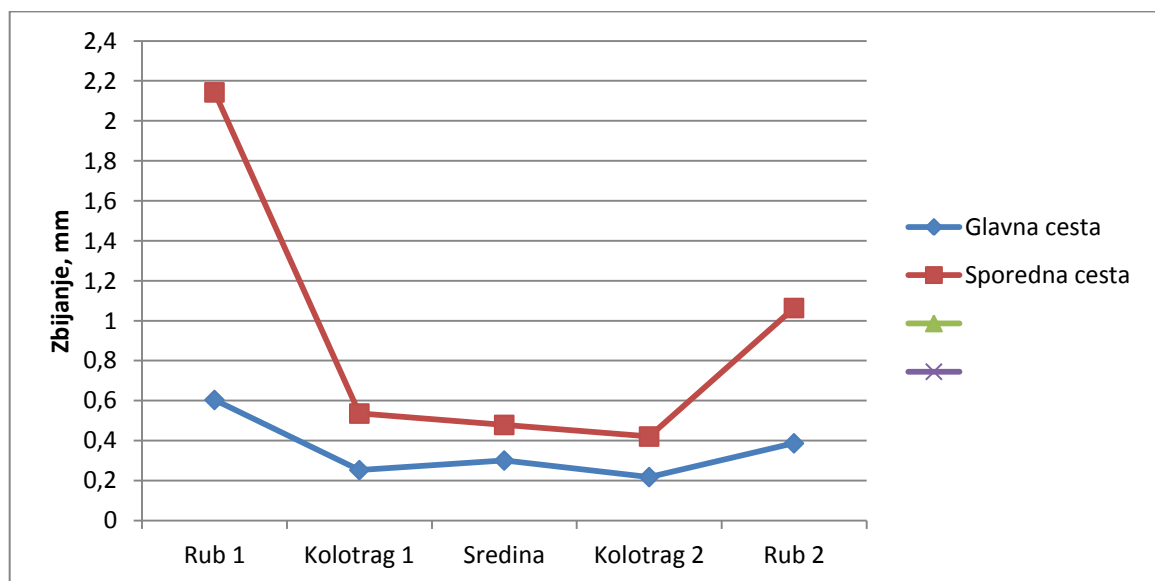
Kamionski skup s prikolicom		SCANIA				
Vrsta tereta		HRAST				
Osovina		1. kamion	2. kamion	3. kamion	1. prikolica	2. prikolica
Osovinsko opterećenje (kg)		6523	9011	8407	9625	9819
Dodirni tlak (kPa)	Mellgren (1980)	188.88	130.46	121.72	139.35	142.16
	Komandi (1990)	1393.62	1247.19	1221.50	1272.10	1279.74
	Maclaurin (1997)	292.51	217.23	205.13	229.28	233.04
Kamionski skup s prikolicom		SCANIA				
Vrsta tereta		BUKVA				
Osovina		1. kamion	2. kamion	3. kamion	1. prikolica	2. prikolica
Axle loads (kg)		7155	8842	8174	9385	10324
Dodirni tlak (kPa)	Mellgren (1980)	207.18	128.02	118.35	135.88	149.47
	Komandi (1990)	1432.83	1240.13	1211.24	1262.50	1299.14
	Maclaurin (1997)	347.37	243.96	229.83	255.16	273.97
Kamionski skup s prikolicom		SCANIA				
Vrsta tereta		JELA				
Osovina		1. kamion	2. kamion	3. kamion	1. prikolica	2. prikolica
Osovinsko opterećenje (kg)		7415	8486	7803	7509	7616
Dodirni tlak (kPa)	Mellgren (1980)	214.71	122.86	112.97	108.72	110.27
	Komandi (1990)	1448.25	1224.93	1194.48	1180.80	1185.82
	Maclaurin (1997)	356.31	236.48	221.80	215.34	217.70
Kamionski skup s prikolicom		IVECO				
Vrsta tereta		MJEŠOVITI TOVAR				
Osovina		1. kamion	2. kamion	3. kamion	1. prikolica	2. prikolica
Osovinsko opterećenje (kg)		7060	8495	8495	9140	7790
Dodirni tlak (kPa)	Mellgren (1980)	167.89	122.99	122.99	145.64	124.13
	Komandi (1990)	1288.45	1225.32	1225.32	1274.88	1215.20
	Maclaurin (1997)	293.92	236.67	236.67	270.07	239.16
Šleperski kamionski skup		MAN				
Vrsta tereta		MJEŠOVITI TOVAR				
Osovina		1. kamion	2. kamion	3. kamion	1. prikolica	2. prikolica
Osovinsko opterećenje (kg)		8280	8502.5	8502.5	8530	8530
Dodirni tlak (kPa)	Mellgren (1980)	225.83	115.95	115.95	128.30	128.30
	Komandi (1990)	1518.37	1243.15	1243.15	1263.83	1263.83
	Maclaurin (1997)	367.17	225.76	225.76	244.77	244.77

Usporedbom podataka opterećenih i neopterećenih kamionskih skupova jasno je vidljivo povećanje opterećenja na svim osovina. Najveći porast opterećenja je zabilježen na dvoosovinskim prikolicama. Opterećenje na prednjoj osovini kamiona kreće se između 15% i 20% od ukupnog opterećenja, ovisno o vrsti kamiona i vrsti opterećenja, što se jasno vidi i iz tablice da su maksimalne vrijednosti dodirnog tlaka mjerene ispod prednje osovine kotača kamiona.

Mjerenja modula elastičnosti izvršena su na četiri mjerne točke, mjerna točka 1 bila je na glavnoj cesti, mjerna točka 2 na sporednoj cesti, dok su točke 3 i 4 mjerene na asfaltiranom zaslonu. Na slici 13 su prikazani rezultati mjerenja dektometrom na svim mjernim točkama. Iz slike je vidljivo da najveću nosivost, kao što je i očekivano ima glavna šumska cesta. Zanimljivo je primijetiti da šumska cesta s asfaltnim zastorom nema uvijek najveću nosivost, što je bilo za očekivati. Razlog tomu je taj što asfaltni zastor ne povećava samu nosivost šumske ceste, nego samo povezuje kolničku konstrukciju.



Slika 13: Modul elastičnosti šumske ceste



Slika 14 Zbijanje šumske ceste uslijed djelovanja deflektometra

Slika 14 prikazuje rezultate zbijanja mjerenih deflektometrom. Iz slike možemo vidjeti da se veće zbijanje javlja na sporednoj šumskoj cesti, poglavito uz rub ceste. Maksimalno udubljenje je iznosilo 2,14 mm, dok je minimalno bilo 0,205mm.

U tablici 6 su prikazani zbirni rezultati mjerenja s deflektometrom, dinamički modul defleksije – E_{vd} (MPa), odnos s/v, prodiranje ploče deflektometra u tijelo ceste – s_m (mm).

Tablica 6 Rezultati mjerenja s deflektometrom

Mjerno mjesto	Dinamički modul defleksije (Mpa)	s/v	s_m (mm)
1	37.25 Mpa	3.276 ms	0.604
2	88.93 Mpa	2.588 ms	0.253
3	74.75 Mpa	2.699 ms	0.301
4	103.21 Mpa	2.438 ms	0.218
5	58.14 Mpa	3.111 ms	0.387
6	10.50 Mpa	5.555 ms	2.143
7	41.98 Mpa	2.862 ms	0.536
8	46.97 Mpa	3.313 ms	0.479
9	53.44 Mpa	3.182 ms	0.421
10	21.15 Mpa	4.007 ms	1.064
11	86.54 Mpa	2.764 ms	0.260
12	25.57 Mpa	4.261 ms	0.880
13	109.76 Mpa	3.461 ms	0.205
14	31.12 Mpa	3.563 ms	0.723

Od 14 točaka koje su mjerene, što se tiče modula defleksije tri točke ne zadovoljavaju standard ($E_{vd} < 30$ Mpa), dvije od tih točaka su rubovi sporedne šumske ceste, koji zbog manjeg prometnog opterećenja imaju i manju nosivost. Treća točka koja ne zadovoljava propise njemačkih normi je asfaltirani kolnik s oštećenjem. Također se može primijetiti da točke na kojima nije zadovoljena nosivost ceste imaju i odnos $s/v > 3,5$, što nam kazuje da je na tim točkama moguće dodatno zbijanje.

4. ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja pokazuju izmjerene vrijednosti osovinskih opterećenja i ukupne mase opterećenih i neopterećenih šumskih kamionskih skupova, te dodirni tlak na svakoj osovini kamionskog skupa. Iz tih rezultata je vidljivo da je početna masa šleperskog skupa MAN u prosjeku veća za oko 700 kg od mase kamionskog skupa Iveco i oko 2000 kg nego masa kamionskog skupa Scania.

Na temelju tog podatka moglo bi se zaključiti da je bolje koristiti kamionske skupove u daljinskom transportu drva, ali treba napomenuti da je šleperski skup kupljen ranije, da je poluprikolica šleperskog skupa rađena od težih materijala nego prikolica kamionskog skupa. Takvi podaci nam ukazuju na mogući daljnji razvoj poluprikolice šlepera i cjelokupnog šleperskog skupa. Upotrebom modernijih materijala za izgradnju poluprikolice, ugradnjom modernije, lakše dizalice istih mogućnosti smanjila bi se početna masa šleperskog skupa što bi u konačnici značilo da bi se mogao prevesti veći korisni teret.

Rezultati istraživanja pokazuju da su svi kamionski skupovi sa približno jednakim volumenom tovara bili u pretovaru, odnosno njihova ukupna masa bila je preko 40 t, izuzev kamionskog skupa Scania sa tovarom jele zbog manje gustoće drva.

Najviši dodirni tlakovi uvijek su primijećeni pod kotačima prednje osovine kamiona, bez obzira na vrstu kamionskog skupa .

Opremanje prednje osovine kamiona sa širim gumama ili s dvostrukim gumama imat će veliki utjecaj na smanjenje dodirnih tlakova u cilju kako bi se izbjeglo veće zadiranje u kolnik a samim time i smanjili troškovi održavanja šumskih prometnica.

Deflektometar se pokazao kao koristan alat za određivanje nosivosti šumskih cesta, jednostavan je za primjenu i daje zadovoljavajuće rezultate. Glavne šumske ceste imaju veću nosivost od sporednih šumskih cesta. Asfaltni zastor ne povećava nosivost šumske ceste nego samo povezuje kolničku konstrukciju.

Potrebno je razviti norme za nosivost šumskih cesta prilikom izgradnje, naročito u nizinskim područjima.

5. LITERATURA

1. 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 Issue 1, str. 63-82.
2. Fertal, D. (1994): Transport intensity In forest hauling Road. *Zaprawy Lesnickeho Vyzkumu* 2, 34-37.
3. Horvat, D., 1993: Prilog proučavanju prohodnosti vozila na šumskom tlu. *Disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu*, 1–234.
4. Horvat, D., Šušnjar, M., 2002: Istraživanje tehničkih značajki šumskog kamionskog skupa Scania, *Šumarski fakultet, ZIŠ*, str. 1-25
5. Krpan, A.P.B., Horvat, D., Poršinsky, T., Šušnjar, M., 2002: Tehničke i tehnološke značajke kamiona SCANIA P124 B 6x4 NZ400, prikolice Narkö i dizalica Jonsered 1090. *Studija, Zavod za iskorištavanje šuma – Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, 1 – 69.
6. Kleibl, M. 2012.: *Strip Road Comparacion Caused by Logging Technology (Measured by Penetrologger and Deflectometer)*
7. Koczwanski, S. and Nowakowska-Moryl, J. (1992): *Badanie ruchu drogowego na wybranych drogach lesnych w Nadlesnictwie Krzeszowice. Sylwan* 10, 19-42.
8. Komandi, G. (1990): Establishment of soil-mechanical parameters which determine traction on deforming soil. *Journal of Terramechanics* 27(2/3), 115-124.
9. Malnar, M., 2000: *Tehničko-tehnološki čimbenici prijevoza drva u brdsko gorskim uvjetima na primjeru šumarije Prezid, Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*
10. 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.
11. Ozturk, T. 2008.: *Analysis of Pavement Construction on a Sample Forest road Section*
12. Ronai, Đ. and Klinar, I. (1977): *Analiza ponašanja kontaktne površine točka poljoprivredne traktorske prikolice u černozeu. Proceedings 9th International symposium "Agricultural technique in the agroindustrial complex," Novi Sad*, 644-657.
13. Saarihtti, M. (2002a): *Modelling of the wheel and tyre, 1. Tyre and soil contact – Survey on tyre contact area and ground pressure models for studying the mobility forest tractors. Soil interaction model, Appendix Report No 5*, 1-43.

14. Sarilahti, M. (2002b): Modelling of the wheel and tyre, 1. Tyre and soil contact – Survey on tyre deflection models for studying the mobility forest tractors. Soil interaction model, Appendix Report No 6, 1-15.
15. Sever, S., 1992: Šumarski strojevi: Tehnička enciklopedija, Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Zagreb, 12, str. 519-531.
16. Siderowicz, J. et. all, 1990: Katalog i wytyczne techniczne dla drog leśnych wewnątrzkladowych. Naczelny Zarząd Lasów Państwowych. Warszawa.
17. Šikić, D. i dr., 1989: Tehnički uvjeti za gospodarske ceste. Znanstveni savjet za promet JAZU, Zagreb, str. 1–40.
18. Šušnjar, M., Horvat, D., Zorić, M., Pandur, Z., Vusić, D., Tomašić, Ž., 2011: Comparison of Real Axle Loads and Wheel Pressure of Truck Units for Wood Transportation with Legal Restrictions. FORMEC 2011, Graz.
19. Tomašić, Ž.; Sučić. Z.; Slunjski. M.; Polaček, M.: 2005: Ovodobno stanje prijevoza drva kamionskim skupovima u hrvatskom šumarstvu, Nova mehanizacija šumarstva 26 (1): 65-71.
20. Trzcinski, G., 2001: Analysis traffic structure in forest road network on example of selected forest districts. Doktorska disertacija. Biblioteka SGGW, Warszawa.
21. 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.
22. Zorić, M. 2010: Određivanje osovinskih opterećenja kamionskog i šleperskog skupa za prijevoz drva, Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
23. www.zorn-instruments.com.
24. Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila na cestama, 1998: Narodne novine br. 59/98.