

Raspodjela mase tovara i osovinskoga opterećenja šumskih kamionskih skupova pri prijevozu jelova celuloznoga drva

Marijan Šušnjar, Zdravko Pandur, Marin Bačić, Marko Zorić

Nacrtak – Abstract

Pri prijevozu prostornoga drva za preradu (celuloznoga drva) poznavanje ukupne mase tovara vrlo je važno jer se prodaja toga proizvoda obavlja na osnovi mase. Osnovni je cilj istraživanja utvrđivanje raspodjela mase tovara jelova celuloznoga drva koja se može prevesti na različitim tipovima šumskih kamionskih skupova te usporedba s dopuštenim ograničenjima osovinskoga opterećenja i ukupne mase natovarenoga kamionskoga skupa. Istraživanja su obuhvatila šumske kamionske skupove IVECO Trakker 500, proizveden 2012. godine, i MAN TGS 33.440, proizveden 2014. godine. Oba su kamionska skupa opremljena istom hidrauličnom dizalicom Epsilon Palfinger M110Z i prikolicom PSM 200.

Tijekom istraživanja osovinsko je opterećenje mjereno pomoću prijenosnoga mjernoga sustava od četiriju mjernih platformi DINI ARGEO WWSC. Točnost je mjerenja mjernoga sustava 1 kg. Za potrebe istraživanja prijenosni je sustav vaga umjeren pomoću certificiranoga etalona za umjeravanje vaga.

Osovinsko je opterećenje praznoga kamionskoga skupa IVECO mjereno šest puta, a kamionskoga skupa MAN osam puta tijekom istraživanja. Kamionski skup MAN u prosjeku ima manju masu za 570 kg. Kod oba neopterećena kamionska skupa najveće osovinsko opterećenje nalazi se na drugoj osovini kamiona. Usporedbom sa zakonskim ograničenjima utvrđeno je da korisna nosivost kamionskoga skupa MAN iznosi 21 341 kg, a kamionskoga skupa IVECO 20 771 kg.

Ukupno su obavljena 24 mjerenja osovinskoga opterećenja natovarenih kamionskih skupova s različitim tovarima jelova celuloznoga drva – 11 puta na kamionskom skupu IVECO i 13 puta na kamionskom skupu MAN. Raspodjela ukupnoga osovinskoga opterećenja u oba je kamionska skupa približno jednaka. Na kamion otpada 60 % ukupnoga opterećenja, a na prikolicu 40 %. Neznatno se odstupanje 1–2 % nalazi između pojedinoga osovinskoga opterećenja na istraživanim kamionskim skupovima.

Masa je tovara izračunata iz razlike osovinskoga opterećenja natovarenih šumskih kamionskih skupova i prosječnih vrijednosti osovinskoga opterećenja nenatovarenih kamionskih skupova. Najmanje vrijednosti mase tovara koje se raspodjeljuju na prednju osovину kamiona u prosječnim relativnim odnosima iznose 21 % mase tovara kod kamionskoga skupa IVECO, odnosno 17 % kod kamionskoga skupa MAN.

Na osnovi podataka ustanovljene su razlike u načinu slaganja drvnih sortimenata u tovarni prostor, ali one nisu utjecale na pojavu pretovara. Na pojavu pretovara, odnosno na prekoračenje dopuštene ukupne mase šumskih kamionskih skupova pri prijevozu drva na javnim cestama utječe ponajprije ukupna masa tovara.

Rezultatima se istraživanja ukazuje na smjernice razvoja šumskih kamionskih skupova te izvode određeni zaključci u svezi s primjenom šumskih kamionskih skupova pri prijevozu drva.

Ključne riječi: šumski kamionski skup, masa tovara, osovinsko opterećenje, zakonska ograničenja, jelovo celulozno drvo

1. Uvod – Introduction

Daljinski ili sekundarni prijevoz drva pomicanje je dijelova ili cijelih stabala od pomoćnoga stovarišta do glavnoga stovarišta – kupca (Krpan 1991). U hrvatskom šumarstvu prijevoz se drva uglavnom obavlja šumskim kamionskim skupovima, tj. kamionima s prikolicom opremljenim hidrauličnim dizalicama (Tomašić 2012). Zorić i dr. (2014) daju podatak da udio prijevoza drva šumskim kamionskim skupovima premašuje 85 % u ukupnom daljinskom prijevozu drva. Bumber (2011) navodi da se osim kopnenih prijevoznih sustava, u hrvatskom šumarstvu, manje količine drva (10 000 – 15 000 m³ godišnje) mekih listača iz poplavnih šuma i šumskih kultura dopremaju vodenim putovima. Također se manje količine drva prevoze željeznicom.

Pri daljinskom prijevozu drva šumski kamionski skupovi prometuju po javnim i šumskim cestama. Malnar (2000) navodi da tijekom radnoga dana kamionskih skupova na šumskim prometnicama, ovisno o vrsti tereta koji prevoze, provode 11,61 % odnosno 18,64 % radnoga vremena. Holzleitner (2009) i Holzleitner i dr. (2011) navode da kamionski skupovi na šumskim cestama provode 14,2 % radnoga vremena. Preostalo radno vrijeme kamionski skupovi provode na javnim cestama čime podliježu zakonskim ograničenjima koja su propisana za promet po javnim cestama (Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila za promet u prometu na cestama, NN 51/10, NN 84/10, 145/11, 140/13, 85/14).

Glavni problem koji se pojavljuje jest dopušteno ograničenje osovinskoga opterećenja i ukupna masa natovarenoga kamionskoga skupa. Kako se količina drva koja se prevozi kamionskim skupovima u hrvatskom šumarstvu izražava u kubnim metrima, a drvo zbog svojih značajki ima veliku varijabilnost vlage, točnu masu drva u tovarnom prostoru kamionskoga skupa nemoguće je procijeniti. Zbog nemogućnosti sigurne procjene mase tovara često je opterećenje osovine veće od dopuštenoga pa se plaća prometni prekršaj, ili se nedovoljno iskorištava kamionski skup kao radni stroj.

Pri prijevozu prostornoga drva za preradu (celuloznoga drva) poznavanje ukupne mase tovara vrlo je bitno jer se prodaja toga proizvoda obavlja na osnovi mase. Prema podacima iz »Godišnjega izvješća 2015. godine Hrvatskih šuma d.o.o. Zagreb« ukupno je proizvedeno i prodano 530 281 m³ prostornoga drva za preradu, što je 11 % ukupne količine drvnih sortimenta. Od toga na celulozno drvo četinjača otpada 237 706 m³, odnosno 5 % ukupne količine drvnih sortimenta. Pri tome je potrebno naglasiti da se navedene količine odnose samo na prostorno drvo proizvedeno

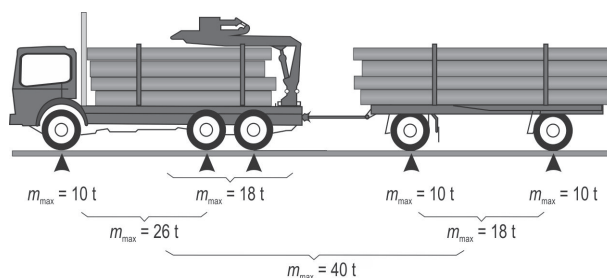
iz državnih šuma kojima gospodare »Hrvatske šume« d.o.o. Zagreb, bez količine prostornoga drva proizvedenoga iz privatnih šuma. Ukupne količine celuloznoga drva četinjača prevoze se uglavnom do kupaca šumskim kamionskim skupovima. Stoga je osnovni cilj istraživanja određivanje raspodjele mase tovara jelova celuloznoga drva koja se može prevesti na različitim tipovima šumskih kamionskih skupova te usporedba s dopuštenim ograničenjima osovinskoga opterećenja i ukupne mase natovarenoga kamionskoga skupa.

2. Problematika – Scope of research

Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama (NN 51/10, NN 84/10, 145/11, 140/13, 85/14) propisuje snagu motora, najveće dopuštene dimenzije i masu vozila ili skupa vozila te najveće dopušteno opterećenje pojedinih osovina vozila prilikom prometa na javnim cestama.

Prema Pravilniku kamioni koji služe za prijevoz drva nalaze se unutar skupine N3 – motorna vozila za prijevoz tereta najveće dopuštene mase >12 000 kg. Također prikolice i poluprikolice koje služe za prijevoz drva nalaze se u skupini O4 – priključna vozila kojima je najveća dopuštena masa >10 000 kg.

Temeljem te raščlambe može se zaključiti da kamion u kamionskom skupu smije biti opterećen najviše 26 t, a prikolica 18 t, ali da ukupna masa sustava ne smije prelaziti 40 t. Ujedno pojedinačno opterećenje samostalne osovine ne smije prelaziti 10 t, a dvostruke osovine ukupno 18 t. Na slici 1 prikazana je najveća dopuštena masa najčešće korištenih tipova kamionskih skupova u Hrvatskoj. Ukupna duljina kamiona s prikolicom ili poluprikolicom ne smije biti veća od 18,75 m. Ako je prazni kamionski skup kraći od granične duljine, zakonom je dopušten prepust do 15 % međuosovinskoga razmaka prikolice. Širina teretnih vozila ne smije biti veća od 2,55 m, a visina ne smije biti veća od 4,00 m.



Slika 1. Najveća dopuštena masa šumskih kamionskih skupova
Fig. 1 Maximum permissible mass of truck units

Najveća dopuštena masa, prikazana na slici 1, pokazuje određenu nelogičnost nastalu zbog ograničavanja ukupne mase i osovinskoga opterećenja. Primjerice, prema dopuštenomu osovinskomu opterećenju kamion bi mogao imati ukupnu masu 28 tona, ali je ona ograničena na dopuštenih 26 t. Isto vrijedi i za prikolicu gdje je dopuštena masa 18 t, a zbroj osovinskoga opterećenja 20 t. Zbroj pojedinačne dopuštene mase kamiona i prikolice iznosi 44 t, ali je dopuštena masa šumskoga kamionskoga skupa 40 t.

Istraživanja tehničkih svojstava šumskoga kamionskoga skupa s obzirom na zakonska propisana ograničenja u europskom okruženju provodili su Lumsden (2004), Klvač i dr. (2009) te Carette i Ginet (2014). Problematikom tehničkih svojstava kamionskoga skupa u hrvatskom šumarstvu bavio se Malnar (2000). On je istraživao dimenzijska i masena obilježja šest različitih tipova kamionskih skupova te je zaključio da nema značajnih razlika u dimenzijama s obzirom na tip i proizvođača kamionskoga skupa i na vrstu nadogradnje. Isti autor navodi da su zakonskim propisima određena najveća dopuštena masa kamionskoga skupa, najveća dopuštena masa kamiona i najveća dopuštena masa prikolice najvažniji čimbenici koji ograničavaju veličinu tovara. Neposredno nakon njih dopuštena je nosivost stražnje dvostruke osovine, a tek tada nosivost prednje osovine. Ispitujući tehnička svojstva kamionskoga skupa Scania, Horvat i Šušnjar (2002) zaključuju slično kao i Malnar (2000). Šušnjar i dr. (2011a) istražuju masena svojstva dvaju tipova kamionskoga skupa te zaključuju da su s tovarom od 22,61 m³ oba kamionska skupa prekoračila dopuštenu masu, ali je bitno napomenuti da opterećenje ni jedne osovine nije prekoračilo dopuštene vrijednosti. Šušnjar i dr. (2011b) istražuju dodirni tlak između kotača kamiona i šumske ceste te zaključuju da je najveći dodirni tlak ispod kotača prednje osovine kamiona, neovisno o tipu kamionskoga skupa, te preporučuju da se u zakonskim propisima, koji reguliraju dopušteno osovinsko opterećenje, umjesto dopuštene mase koristi dodirni tlak kao mjera opterećenja.

Daljnji slijed razvoja šumskih kamionskih skupova odnosi se na smanjenje početne mase te time povećanje korisne nosivosti šumskih kamionskih skupova. Tomašić i dr. (2005) donose sljedeće preporuke za smanjenje početne mase kamionskoga skupa: upotreba bolje i lakše vrste materijala, ugradnja lakše dizalice poboljšanih tehničkih svojstava, izbor kamionskoga skupa s lakšim i drugačije riješenim sklopovima (motor, mjenjač, kabina i sl.), uvođenje kombinirane tehnologije prijevoza kamionskih skupova s dizalicom i bez dizalice (povećanje korisne nosivosti za iznos mase dizalice te sustava hlađenja dizalice). Zorić i dr.

(2014) predlažu upotrebu montažno-demontažnih dizalica koje bi se nalazile na pomoćnim stovarištima, čime bi se smanjila autonomnost kamionskoga skupa, ali bi se pridonijelo značajnomu smanjenju početne mase kamionskoga skupa, odnosno njegovoj boljoj masenoj i volumnoj iskorištenosti.

Zorić (2012) također razmatra smanjenje početne mase kamionskoga skupa upotrebom lakšega materijala pri opremanju kamiona sa šumarskom nadogradnjom te navodi primjere opremanja kamiona aluminijskim spremnikom za gorivo, aluminijskim spremnicima za zrak, aluminijskim naplaticima na kotačima (slika 2). Negativne strane opremanja kamionskoga skupa s aluminijskim naplaticima očituju se pri kretanju na šumskim cestama na kojima se u slučaju nepovoljnoga stanja planuma šumskih cesta oštećuju naplatci (savijanje, pucanje).

Anon. (2012) proveo je istraživanje uspoređujući konvencionalni kamionski skup s novim »Star Truck« kamionskim sustavom manje početne mase. Novi kamionski skup bio je opremljen aluminijskim naplaticima, spremnikom goriva manjega obujma (ali dovoljne količine goriva za jedan turnus), središnjim sustavom za kontrolu tlaka u gumama, sustavom za mjerenje



Slika 2. Aluminijski naplatci na kotačima kamiona (a) i aluminijski spremnik za gorivo (b)

Fig. 2 Aluminum rims on truck wheels (a) and aluminum fuel reservoir (b)

mase tovara kako bi se optimalno iskoristio tovarni prostor. Sve je to omogućilo prijevoz veće količine korisnoga tereta za 9,8 % uz povećanje potrošnje goriva za samo 1 % te smanjenje trošenja guma zbog primjene središnjega sustava za kontrolu tlaka u gumama.

3. Materijal i metode istraživanja *Material and methods of research*

3.1 Šumski kamionski skupovi – *Truck units*

Prilikom istraživanja korišteni su šumski kamionski skupovi IVECO Trakker 500, proizveden 2012. godine (slika 3), i MAN TGS 33.440, proizveden 2014. godine (slika 4).

Kamion IVECO Trakker 500 pokreće 6-cilindarski dizelski motor Cursor 13, obujma 12,88 L, snage motora 368kW (500 KS) pri 1900 min⁻¹, zakretnoga momenta 2300 Nm (1000–1525 min⁻¹), koji zadovoljava normu za ispušne plinove Euro 5. Kamion MAN TGS 33.440 pokreće 6-cilindarski Common-Rail dizelski



Slika 3. IVECO Trakker 500

Fig. 3 IVECO Trakker 500



Slika 4. MAN TGS 33.440

Fig. 4 MAN TGS 33.440

Tablica 1. Tehnička svojstva hidraulične dizalice EP M110Z

Table 1 Technical characteristics of hydraulic crane EP M110Z

| | |
|--|--------|
| Podizni moment, kNm – <i>Lifting momentum, kNm</i> | 97 |
| Okretni moment, kNm – <i>Torque, kNm</i> | 27 |
| Kut okretanja, ° – <i>Angle of rotation, °</i> | 425 |
| Doseg, m – <i>Reach, m</i> | 9,6 |
| Radni tlak, bar – <i>Working pressure, bar</i> | 245 |
| Količina protoka, L/min – <i>Flow rate, L/min</i> | 2 × 70 |
| Masa, kg – <i>Mass, kg</i> | 2230 |

motor D26, obujma 12,4 L, snage motora 324kW (440 KS) pri 1800 min⁻¹, zakretnoga momenta 2100 Nm (900–1400 min⁻¹), koji zadovoljava normu za ispušne plinove Euro 6. Oba kamiona imaju stalan pogon na stražnje kotače (6 × 4), blokadu stražnjega diferencijala, centralnu blokadu, 16-stupanjski ručni mjenjač, ABS, EBS sustav za ravnomjernu raspodjelu sile kočenja, hidrodinamički retarder te gume jednakih dimenzija na svim kotačima (315/80R22.5). Također su oba kamionska skupa opremljena istom hidrauličnom dizalicom Epsilon Palfinger M110Z (tablica 1) i prikolicama PSM 200 proizvođača PK d.o.o (slika 5).

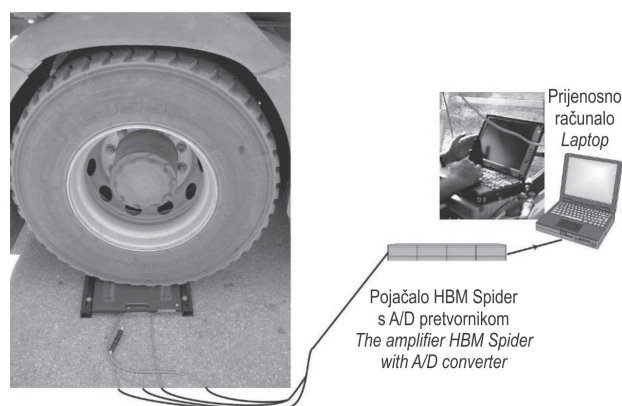
3.2 Mjerenja osovinskoga opterećenja – *Axle load measurements*

Tijekom istraživanja osovinsko je opterećenje mjereno pomoću prijenosnoga mjernoga sustava (slika 6)



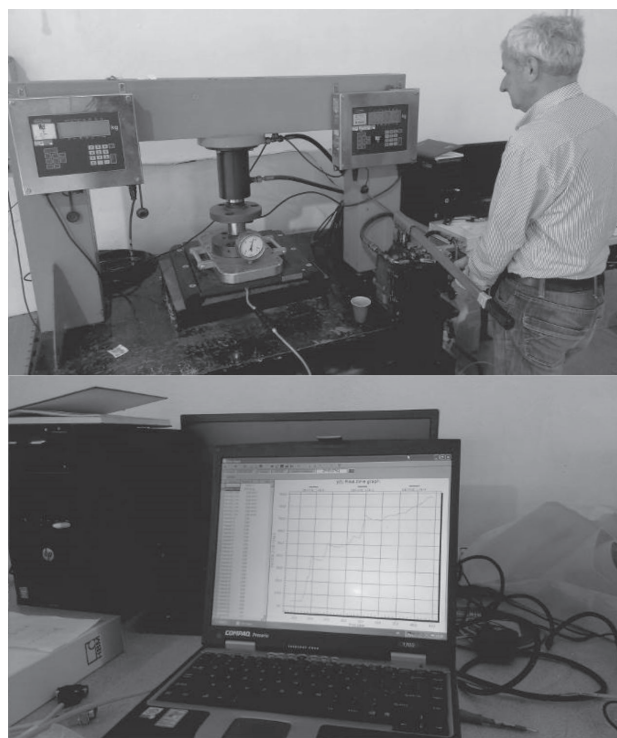
Slika 5. Prikolica PSM 200

Fig. 5 Trailer PSM 200



Slika 6. Mjerni sustav
Fig. 6 Measuring system

Laboratorija za tehničko-tehnološka mjerenja u šumarstvu. Prijenosni se sustav sastoji od četiriju mjernih platformi DINI ARGEO WWSC. Maksimalno je opterećenje pojedine vage u sustavu 10 t. Svaka je vaga opremljena sa šest mjernih doza tipa SBX-1KL pojedinačnoga maksimalnoga opterećenja do 2,5 tona. Mjerne su doze paralelno spojene u sabirnu kutiju koja se nalazi na svakoj pojedinoj vagi. Za potrebe ovoga istraživanja prijenosni je mjerni sustav doraden tako



Slika 7. Umjeravanje mjernoga sustava
Fig. 7 Calibration of measuring system

da je kompatibilan s mjernim pojačalom SPIDER proizvođača Hottinger Baldwin Messtechnik GMBH te povezan s prijenosnim osobnim računalom čini jedinstveni sustav za prikupljanje podataka (slika 6).

Točnost je mjerenja mjernoga sustava 1 kg. Prednost je prerađenoga mjernoga sustava u usporedbi sa serijskim, osim veće točnosti mjerenja i veće količine prikupljenih podataka (frekvencija je snimanja 50 Hz), mogućnost da se u isto vrijeme može pratiti mjerenje svake vage pojedinačno, zatim grafički prikaz mjerenja, jednostavniji način prikupljanja podataka, jer se prilikom mjerenja koristi specijalizirani program Catman, koji omogućuje daljnju obradu podataka statističkim alatima. Za potrebe istraživanja prijenosni je sustav vaga umjeren pomoću certificiranoga etalona za umjeravanje vaga (slika 7).

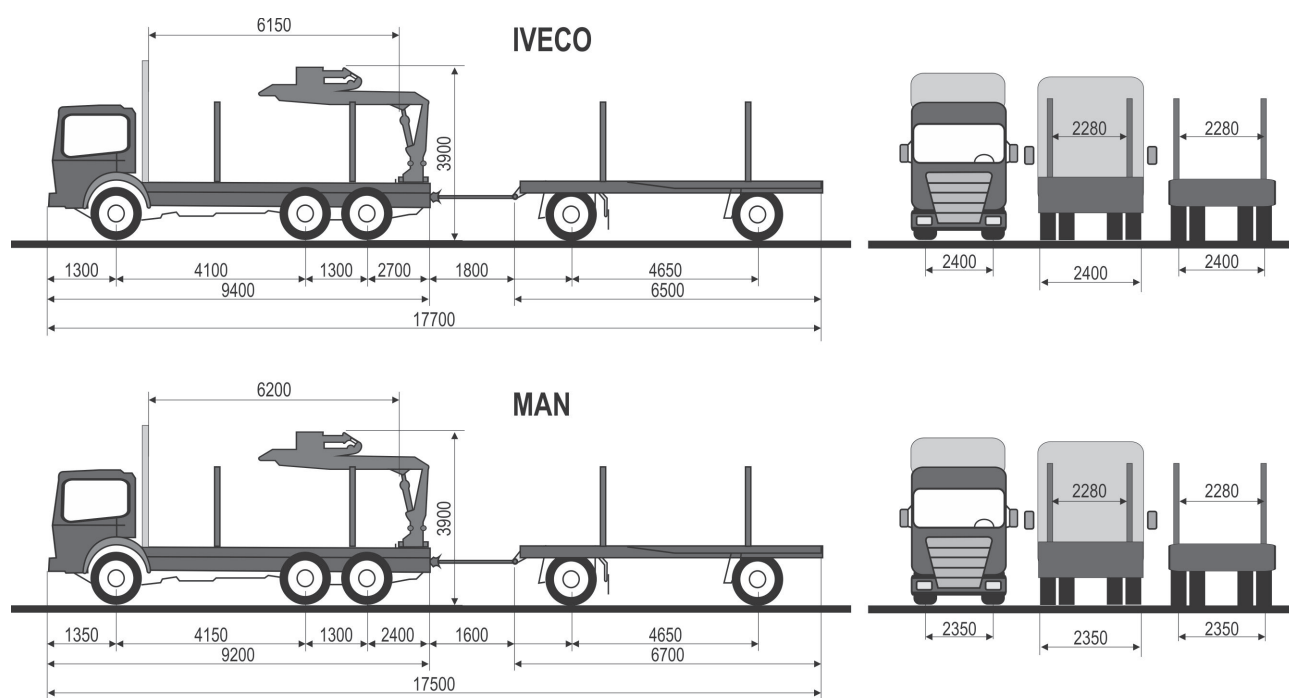
4. Rezultati – Results

Na slici 8 prikazane su dimenzije istraživanih kamionskih skupova. Iz slike je vidljivo da po dimenzijama kamionski skupovi zadovoljavaju dimenzijama koje su zakonom dopuštene. Obujam je tovarnoga prostora kamionskoga skupa IVECO 50,48 m³ (kamion 24,53 m³, prikolica 25,95 m³), a kamionskoga skupa MAN je 51,48 m³ (kamion 24,74 m³, prikolica 26,74 m³). Obujam tovarnoga prostora kod oba kamionska skupa računat je na temelju samih dimenzija tovarnoga prostora, odnosno u izračunu nije korišten 1 m prepusta na prikolici koji je dopušten prema zakonskim propisima.

Osovinsko je opterećenje neopterećenoga kamionskoga skupa IVECO mjereno šest puta, a kamionskoga skupa MAN osam puta tijekom istraživanja. Podaci o vaganju neopterećenih kamionskih skupova prikazani su u tablici 2. Razlike u masi neopterećenih kamionskih skupova pojedinoga tipa nastale su zbog različite količine pogonskoga goriva u spremniku kamionskoga skupa te zbog otpada koji ostaje u tovarnom prostoru nakon istovara sortimenata. U daljnjem su istraživanju uzete prosječne vrijednosti mase i osovinskoga opterećenja neopterećenih kamionskih skupova (slika 9).

Masa neopterećenoga kamionskoga skupa IVECO iznosi 19 229 kg, dok kamionski skup MAN u prosjeku ima manju masu za 570 kg (18 659 kg). Kod oba neopterećena kamionska skupa najveće osovinsko opterećenje nalazi se na drugoj osovini kamiona.

Osnova gradnje šumskoga kamiona za prijevoz drva počiva na šumarskoj nadogradnji velikoserijskih inačica kamiona. Pod šumarskom se nadogradnjom razumijeva produljenje šasije za postolje hidraulične



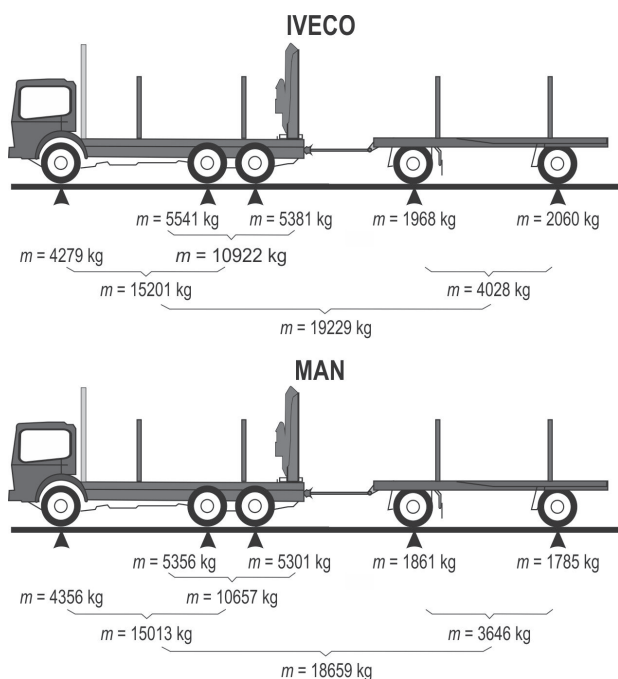
Slika 8. Dimenzije kamionskih skupova, mm

Fig. 8 Dimensions of truck units, mm

Tablica 2. Masa neopterećenih kamionskih skupova, kg

Table 2 Mass of unloaded trucks with trailers, kg

| Kamionski skup Truck unit | Mjerenje Measurement | Kamion – Truck | | | | Prikolica – Trailer | | | Ukupno Total |
|------------------------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| | | 1. osovina 1 st axle | 2. osovina 2 nd axle | 3. osovina 3 rd axle | Ukupno Total | 1. osovina 1 st axle | 2. osovina 2 nd axle | Ukupno Total | |
| IVECO | 1 | 4117 | 5602 | 5388 | 15 107 | 1977 | 2021 | 3998 | 19 105 |
| | 2 | 4949 | 5187 | 4967 | 15 103 | 1952 | 2182 | 4134 | 19 237 |
| | 3 | 4182 | 5714 | 5475 | 15 371 | 2016 | 2033 | 4049 | 19 420 |
| | 4 | 4190 | 5615 | 5625 | 15 430 | 1960 | 2015 | 3975 | 19 405 |
| | 5 | 4052 | 5441 | 5399 | 14 892 | 1945 | 2132 | 4077 | 18 969 |
| | 6 | 4186 | 5686 | 5434 | 15 306 | 1959 | 1974 | 3933 | 19 239 |
| | Prosjek – Average | 4279 | 5541 | 5381 | 15 201 | 1968 | 2060 | 4028 | 19 229 |
| MAN | 1 | 4255 | 5374 | 5438 | 15 067 | 1683 | 1826 | 3509 | 18 576 |
| | 2 | 4268 | 5458 | 5267 | 14 993 | 1912 | 1775 | 3687 | 18 680 |
| | 3 | 4246 | 5485 | 5458 | 15 189 | 1849 | 1703 | 3552 | 18 741 |
| | 4 | 4281 | 5458 | 5389 | 15 128 | 1826 | 1771 | 3597 | 18 725 |
| | 5 | 4203 | 5382 | 5350 | 14 935 | 1896 | 1805 | 3701 | 18 636 |
| | 6 | 4185 | 5445 | 5360 | 14 990 | 1815 | 1760 | 3575 | 18 565 |
| | 7 | 5148 | 4927 | 4802 | 14 877 | 2076 | 1798 | 3874 | 18 751 |
| | 8 | 4264 | 5323 | 5345 | 14 932 | 1828 | 1842 | 3670 | 18 602 |
| | Prosjek – Average | 4356 | 5356 | 5301 | 15 014 | 1861 | 1785 | 3646 | 18 659 |



Slika 9. Masa neopterećenih kamionskih skupova
Fig. 9 Mass of unloaded truck units

dizalice, ugradnja hidraulične dizalice i hidrauličnih sastavnica, konstrukcija tovarnoga prostora i zaštitne mreže kabine. Unatoč ugradnji iste hidraulične dizalice mase 2230 kg na stražnjem kraju kamiona ne dolazi do većega opterećenja stražnje osovine. Pravilnim načinom ugradnje hidraulične dizalice njezina se masa raspoređuje na obje stražnje osovine kamiona, a veći osovinski razmak između prve i druge osovine kamiona uzrokuje najveće osovinsko opterećenje upravo na drugoj osovini kamiona.

Nadalje je važno primijetiti, iako je dio obaju kamionskih skupova jednaka šumska prikolica, da je masa prikolice kod kamionskoga skupa IVECO veća za 382 kg. Objašnjenje leži u činjenici da je šumska prikolica u kamionskom skupu MAN novije proizvodnje te je konstruirana s novijim i lakšim materijalom, ali se nije promijenio naziv prikolice.

Usporedbom sa zakonskim ograničenjima vidljivo je da korisna nosivost kamionskoga skupa MAN iznosi 21 341 kg, a kamionskoga skupa IVECO 20 771 kg. Opterećenje praznoga kamionskoga skupa MAN manje je na svim osovina osim na prvoj osovini šumskog kamiona.

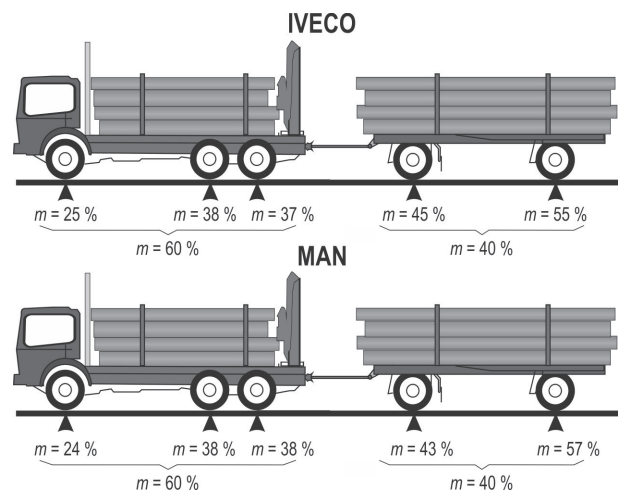
Ukupno je 24 puta mjereno osovinsko opterećenje natovarenih kamionskih skupova s različitim tovarima jelova celuloznoga drva – 11 puta na kamionskom skupu IVECO i 13 puta na kamionskom skupu MAN.

Masa tovara izračunata je iz razlike osovinskoga opterećenja natovarenih šumskih kamionskih skupova i prosječne vrijednosti osovinskoga opterećenja nenatovarenih kamionskih skupova. Masa tovara kretala se u rasponu od 17 t do 24,1 t kod kamionskoga skupa IVECO, odnosno od 16 t do 25,9 t kod kamionskoga skupa MAN (tablica 3).

Kamionski skup IVECO tri je puta bio u ukupnom pretovaru (masa >40 t) kod tovara mase veće od 23,2 t. Od toga u dva slučaja najvećega prekoračenja ukupne mase vozila javlja se i prekoračenje dopuštenoga osovinskoga opterećenja na obje stražnje osovine kamiona te na stražnjoj osovini prikolice. Kod tovara od 19,63 t ne dolazi do prekoračenja ukupne mase kamionskoga skupa, iako se pojavljuje prekoračenje dopuštenoga osovinskoga opterećenja druge osovine kamiona. Jednak se slučaj pokazao i kod kamionskoga skupa MAN pri sličnom tovaru od 19,83 t.

Kamionski skup MAN s pet je najvećih tovara bio u ukupnom pretovaru (masa >40 t). Pri tovaru od 21,82 t dogodio se pretovar, iako nije prekoračeno ni jedno dopušteno osovinsko opterećenje. Pri tovaru od 22,557 t kamionski je skup u pretovaru isključivo zbog prevelike mase tovara na stražnjoj osovini prikolice, što je rezultat nepravilnoga slaganja tovara u tovarni prostor prikolice. Kod tri najveća tovara uz pretovar prekoračeno je dopušteno osovinsko opterećenje obje stražnjih osovine kamiona.

Opterećenje stražnje osovine kamiona, kao i raspodjela mase tovara, ali i opterećenje po osovina značajno ovisi o načinu slaganja sortimenata u tovarni prostor kamiona, kao i o načinu slaganja dizalice prilikom prijevoza drvnih sortimenata.



Slika 10. Raspodjela opterećenja po osovina
Fig. 10 Distribution of axle loads

Tablica 3. Osovinsko opterećenje natovarenih kamionskih skupova, kg**Table 3** Axle load of loaded truck units, kg

| Kamionski skup <i>Truck unit</i> | Masa tovara <i>Load mass</i> | Osovinsko opterećenje – <i>Axle load</i> | | | | | Ukupno <i>Total</i> |
|-------------------------------------|---------------------------------|--|--|--|--|--|------------------------|
| | | Kamion – <i>Truck</i> | | | Prikolica – <i>Trailer</i> | | |
| | | 1. osovina <i>1st axle</i> | 2. osovina <i>2nd axle</i> | 3. osovina <i>3rd axle</i> | 1. osovina <i>1st axle</i> | 2. osovina <i>2nd axle</i> | |
| IVECO | 16 971 | 5440 | 8445 | 8150 | 6205 | 7960 | 36 200 |
| | 17 523 | 6531 | 8050 | 7777 | 6633 | 7761 | 36 752 |
| | 18 011 | 5740 | 8960 | 8615 | 7385 | 6540 | 37 240 |
| | 18 112 | 5686 | 8743 | 8397 | 7092 | 7423 | 37 341 |
| | 18 196 | 5850 | 8750 | 8470 | 6645 | 7710 | 37 425 |
| | 18 317 | 5332 | 8268 | 8090 | 6160 | 9696 | 37 546 |
| | 18 594 | 6894 | 8323 | 8002 | 6369 | 8235 | 37 823 |
| | 19 630 | 5641 | 9334 | 8970 | 7306 | 7608 | 38 909 |
| | 23 202 | 6481 | 9871 | 9647 | 7251 | 9181 | 42 431 |
| | 23 358 | 6285 | 9295 | 9089 | 7093 | 10 825 | 42 587 |
| 24 133 | 6480 | 9525 | 9300 | 6820 | 11 237 | 43 362 | |
| Prosjek – <i>Average</i> | 19 641 | 6033 | 8869 | 8592 | 6814 | 8561 | 38 874 |
| MAN | 15 981 | 5440 | 8245 | 8230 | 5335 | 7390 | 34 640 |
| | 16 592 | 5440 | 7804 | 7809 | 5824 | 8374 | 35 251 |
| | 18 201 | 5849 | 8390 | 8512 | 6066 | 8043 | 36 860 |
| | 18 460 | 5519 | 8459 | 8508 | 5950 | 8683 | 37 119 |
| | 19 830 | 5967 | 9545 | 8903 | 6770 | 7304 | 38 489 |
| | 19 887 | 5471 | 8355 | 8308 | 6802 | 9610 | 38 546 |
| | 20 558 | 5449 | 8576 | 8745 | 6813 | 9634 | 39 217 |
| | 21 196 | 5927 | 8972 | 8967 | 6710 | 9279 | 39 855 |
| | 21 823 | 5781 | 8935 | 8894 | 6985 | 9887 | 40 482 |
| | 22 557 | 5988 | 8858 | 8862 | 6797 | 10 711 | 41 216 |
| | 22 743 | 5826 | 9301 | 9395 | 7860 | 9020 | 41 402 |
| | 25 209 | 5961 | 9728 | 9959 | 8619 | 9601 | 43 868 |
| | 25 888 | 6496 | 9848 | 9959 | 9327 | 8917 | 44 547 |
| Prosjek – <i>Average</i> | 20 687 | 5778 | 8847 | 8850 | 6912 | 8958 | 39 346 |

* kurzivom su označene vrijednosti osovinskoga opterećenja i ukupne mase, što prekoračuje zakonska ograničenja

* *values of axle loads and total weight that exceed the legislative limits are marked in italic*

Za vrijeme Zorićevih (2015) istraživanja vozači kamionskih skupova u prijevozu su tehničke oblovine hidrauličnu dizalicu postavljali u »ispruženi« položaj umjesto u pravilan prijevozni položaj. Prema podacima navedenih istraživanja postavljenjem dizalice u »ispruženi« položaj rasterećuje se stražnja osovina kamiona, te je u tom slučaju najviše opterećena druga osovina kamiona. Stoga je bitno naglasiti da je u ovom istraživanju hidraulična dizalica uvijek bila postavljena pravilno u prijevozni položaj.

Raspodjela ukupnoga osovinskoga opterećenja kod oba kamionska skupa približno je jednaka. Na kamion

otpada 60 % ukupnoga opterećenja, a na prikolicu 40 %. Neznatna odstupanja od 1 do 2 % nalaze se između pojedinoga osovinskoga opterećenja na istraživanim kamionskim skupovima.

Na temelju rezultata istraživanja vidljivo je da se kod prikolice uvijek veći dio mase prebacuje na stražnju osovina. Razlog su tomu dimenzije sortimenata (dužina) te način slaganja sortimenata u tovarni prostor prikolice.

Nadalje je razmatrana raspodjela mase tovara po osovinama šumskih kamionskih skupova. Najmanje vrijednosti mase tovara raspodjeljuju se na prednju

Tablica 4. Raspodjela mase tovara po osovinama, kg

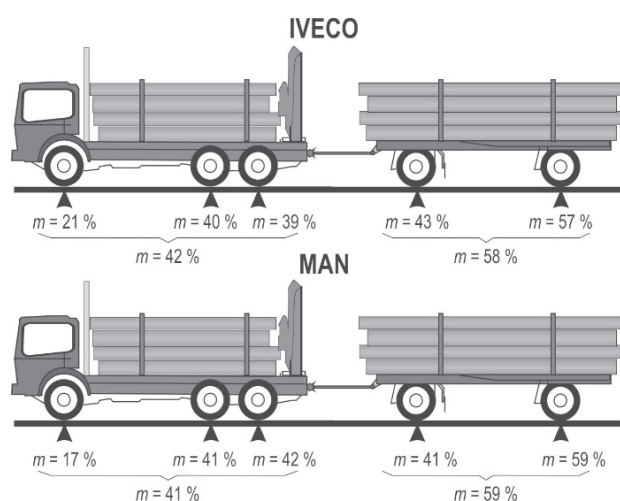
Table 4 Distribution of load mass per axles, kg

| Tip kamiona <i>Truck type</i> | Raspodjela tovara po osovinama <i>Distribution of load per axles</i> | | | | | Raspodjela tovara <i>Distribution of load</i> | | | Razlika između 2. i 3. osovine kamiona <i>Difference between 2nd – 3rd truck axles</i> | Postotak mase tovara na 1. osovini kamiona <i>Percentage of load mass on the 1st truck axle</i> |
|----------------------------------|---|--|--|--|--|--|-----------------------------|------------------------|--|---|
| | Kamion – <i>Truck</i> | | | Prikolica – <i>Trailer</i> | | Kamion <i>Truck</i> | Prikolica <i>Trailer</i> | Ukupno <i>Total</i> | | |
| | 1. osovina <i>1st axle</i> | 2. osovina <i>2nd axle</i> | 3. osovina <i>3rd axle</i> | 1. osovina <i>1st axle</i> | 2. osovina <i>2nd axle</i> | | | | | |
| IVECO | 1161 | 2904 | 2769 | 4237 | 5900 | 6834 | 10 137 | 16 971 | 135 | 17 |
| | 2252 | 2509 | 2396 | 4665 | 5701 | 7157 | 10 366 | 17 523 | 113 | 31 |
| | 1461 | 3419 | 3234 | 5417 | 4480 | 8114 | 9897 | 18 011 | 185 | 18 |
| | 1407 | 3202 | 3016 | 5124 | 5363 | 7625 | 10 487 | 18 112 | 186 | 18 |
| | 1571 | 3209 | 3089 | 4677 | 5650 | 7869 | 10 327 | 18 196 | 120 | 20 |
| | 1053 | 2727 | 2709 | 4192 | 7636 | 6489 | 11 828 | 18 317 | 18 | 16 |
| | 2615 | 2782 | 2621 | 4401 | 6175 | 8018 | 10 576 | 18 594 | 161 | 33 |
| | 1362 | 3793 | 3589 | 5338 | 5548 | 8744 | 10 886 | 19 630 | 204 | 16 |
| | 2202 | 4330 | 4266 | 5283 | 7121 | 10 798 | 12 404 | 23 202 | 64 | 20 |
| | 2006 | 3754 | 3708 | 5125 | 8765 | 9468 | 13 890 | 23 358 | 46 | 21 |
| 2201 | 3984 | 3919 | 4852 | 9177 | 10 104 | 14 029 | 24 133 | 65 | 22 | |
| Prosjek <i>Average</i> | 1754 | 3328 | 3211 | 4846 | 6501 | 8293 | 11 348 | 19 641 | 118 | 21 |
| MAN | 1084 | 2889 | 2929 | 3474 | 5605 | 6902 | 9079 | 15 981 | –40 | 16 |
| | 1084 | 2448 | 2508 | 3963 | 6589 | 6040 | 10 552 | 16 592 | –60 | 18 |
| | 1493 | 3034 | 3211 | 4205 | 6258 | 7738 | 10 463 | 18 201 | –177 | 19 |
| | 1163 | 3103 | 3207 | 4089 | 6898 | 7473 | 10 987 | 18 460 | –104 | 16 |
| | 1611 | 4189 | 3602 | 4909 | 5519 | 9402 | 10 428 | 19 830 | 587 | 17 |
| | 1115 | 2999 | 3007 | 4941 | 7825 | 7121 | 12 766 | 19 887 | –8 | 16 |
| | 1093 | 3220 | 3444 | 4952 | 7849 | 7757 | 12 801 | 20 558 | –224 | 14 |
| | 1571 | 3616 | 3666 | 4849 | 7494 | 8853 | 12 343 | 21 196 | –50 | 18 |
| | 1425 | 3579 | 3593 | 5124 | 8102 | 8597 | 13 226 | 21 823 | –14 | 17 |
| | 1632 | 3502 | 3561 | 4936 | 8926 | 8695 | 13 862 | 22 557 | –59 | 19 |
| | 1470 | 3945 | 4094 | 5999 | 7235 | 9509 | 13 234 | 22 743 | –149 | 15 |
| | 1605 | 4372 | 4658 | 6758 | 7816 | 10 635 | 14 574 | 25 209 | –286 | 15 |
| 2140 | 4492 | 4658 | 7466 | 7132 | 11 290 | 14 598 | 25 888 | –166 | 19 | |
| Prosjek <i>Average</i> | 1422 | 3491 | 3549 | 5051 | 7173 | 8462 | 12 224 | 20 687 | –58 | 17 |

osovinu kamiona te u prosječnim relativnim odnosima iznosi 21 % mase tovara kod kamionskoga skupa IVECO (raspon od 16 % do 33 %), odnosno 17 % kod kamionskoga skupa MAN (raspon od 14 % do 19 %). Veći se udio mase tovara nalazi na drugoj osovini kamiona kod kamionskoga skupa IVECO nego na stražnjoj osovini kamiona. Kod kamionskoga skupa MAN

rezultati pokazuju obrnuti slijed, odnosno veći se dio mase tovara prebacuje na stražnju osovину kamiona.

Usporedbom raspodjele mase tovara na osovinama kamiona (tablica 4) vidljivo je da je kod kamionskoga skupa IVECO pri svim mjerenjima veći udio mase tovara na drugoj osovini kamiona (od 18 kg do 204 kg). Kod kamionskoga skupa MAN udio mase tovara na



Slika 11. Raspodjela mase tovara po osovinama

Fig. 11 Distribution of load mass per axles

stražnjoj osovini veći je od 8 kg do 286 kg. Tek u jednom mjerenu udio je mase bio izrazito veći na drugoj osovini kamiona (587 kg). U tom se slučaju radilo o tovaru ukupne mase od 19,83 t pri čemu je prekoračeno dopušteno osovinsko opterećenje druge osovine kamiona. Također i kod kamionskoga skupa IVECO kod veće raspodjele tovara između druge i stražnje osovine kamiona od 204 kg prekoračeno je dopušteno osovinsko opterećenje druge osovine kamiona pri ukupnoj masi tovara od 19,63 t. Postotna raspodjela mase tovara po osovinama prikazana je na slici 11.

Iz navedenih podataka može se zaključiti o utjecaju načina slaganja i rada vozača/operatera hidraulične dizalice pri utovaru na raspodjelu mase tovara. Pri utovaru kamionskoga skupa MAN drveni sortimenti jelova celuloznoga drva uglavnom su slagani prema stražnjemu kraju tovarnoga prostora kamiona.

Način slaganja drvnih sortimenta prema stražnjemu dijelu tovarnoga prostora kamiona u skladu je s raspodjelom opterećenja praznih kamionskih skupova gdje je ustanovljeno da je stražnja osovina kamiona uvijek manje opterećena od druge osovine kamiona.

No, ni razlike u načinu slaganja nisu utjecale na pojavu pretovara. Na pojavu pretovara odnosno na prekoračenje dopuštene ukupne mase šumskih kamionskih skupova pri prijevozu drva na javnim cestama utječe ukupna masa tovara.

5. Zaključci – Conclusions

Rezultatima se istraživanja ukazuje na smjernice razvoja šumskih kamionskih skupova te izvode određeni zaključci u svezi s primjenom šumskih ka-

mionskih skupova pri prijevozu drva. Istraživani šumski kamionski skup novije proizvodnje pokazuje prednosti tehničkih svojstava u odnosu na kamionski skup starije proizvodnje. Noviji kamionski skup MAN ima za 1 m³ veći tovarni prostor te veću korisnu nosivost za 570 kg od dvije godine starijega kamionskoga skupa IVECO. Razlika je u korisnoj nosivosti također značajna kod šumske prikolice, gdje isti tip prikolice ima manju početnu masu kod novijega datuma proizvodnje. Iz navedenoga se može zaključiti da se uz konstrukciju i upotrebu novijega lakšega materijala za šumarsku nadogradnju i izradu šumske prikolice očekuje daljnje povećanje korisne nosivosti novih kamionskih skupova.

Način ugradnje hidraulične dizalice na šumskim kamionima i raspodjela mase dizalice po osovinama kamiona također je sljedeći razvojno-istraživački zadatak. Potrebno je razmotriti koliki se dio mase dizalice prebacuje na drugu osovina kamiona koja je kod praznoga kamiona uvijek najviše opterećena. Nakon toga se može istražiti način ugradnje hidraulične dizalice radi rasterećenja druge osovine neopterećenoga kamiona te time i smanjenjem mogućnosti prekoračenja osovinskoga opterećenja kod natovarenoga kamiona.

Jedna od mjera povećanja korisne nosivosti kamionskih skupova jest ograničeno punjenje spremnika goriva (Klvač i dr. 2013). Spremnik za gorivo kamionskih skupova nije potrebno puniti do maksimalnoga obujma (400 L), nego na osnovi praćenja dnevne potrošnje goriva i organizacije rada šumskoga kamionskoga skupa treba napuniti spremnik količinom goriva dovoljnom za obavljanje dnevnoga rada.

Raspodjela mase tovara na osovine kamionskoga skupa značajno ovisi o početnoj raspodjeli mase neopterećenoga kamionskoga skupa, vrsti drva te vrsti sortimenta (Zorić 2015). Način slaganja drvnih sortimenta u tovarni prostor i iskustvo radnika pri utovaru hidrauličnom dizalicom može također utjecati na raspodjelu mase tovara po osovinama i na veličinu (ili iznos) osovinskoga opterećenja.

U novije vrijeme šumski se kamionski skupovi opremaju sustavom za mjerenje osovinskoga opterećenja pomoću zračnoga ovjesa i EBS (Electronic Brake System) sustava. Mjerenje mase tovara pomoću zračnoga ovjesa radi na osnovi mjerenja promjene tlaka u zračnim jastucima i na osnovi izmjerenih vrijednosti prikazuje koliko je pojedina osovina kamiona opterećena. No, zračni ovjes može biti postavljen na sve osovine kamionskoga skupa (kamiona i prikolice) ili na sve osovine osim prve osovine kamiona.

Kada zračni ovjes nije postavljen na prvu osovina kamiona, ne može se izmjeriti ukupna masa tovara na kamionu jer se dio mase tovara raspodjeljuje na pred-

nju osovinu. U tom slučaju prikazani rezultati istraživanja mogu se koristiti za određivanje ukupne mase tovara pri prijevozu jelova celuloznoga drva.

6. Literatura – References

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

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 Sveučilišta u Zagrebu.

Carrette, T., C. Ginet, 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.

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

Holzleitner, F., Ch. Kanzian, K. Stampfer, 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., M. Šušnjar, 2002: Istraživanje tehničkih značajki šumskog kamionskog skupa Scania. Šumarski fakultet, ZIŠ, str. 1–25.

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

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

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

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.

Malnar, M., 2000: Tehničko-tehnološki čimbenici prijevoza drva u brdsko gorskim uvjetima na primjeru šumarije Prezid. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

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

Šušnjar, M., D. Horvat, M. Zorić, Z. Pandur, D. Vusić, Ž. Tomašić, 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, Graz and Rein – Austria, 1–11.

Tomašić, Ž., Ž. Sučić, M. Slunjski, M. Polaćek, 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(1): 65–70.

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(1): 53–67.

Zorić, M., 2012: Inovacije u kamionskom prijevozu drva – »One stack more«. Nova mehanizacija šumarstva, 33(1): 69–78.

Zorić, M., M. Šušnjar, Z. Pandur, K. Mihaljević, 2014: Potrošnja goriva i emisija stakleničkih plinova pri kamionskom prijevozu drva u hrvatskom šumarstvu. Nova mehanizacija šumarstva, 35(1): 98–97.

Zorić, M., 2015: Uporaba novih mjernih sustava za određivanje energijske i tehničke pogodnosti kamionskog prijevoza drva. Doktorski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 1–154.

*Godišnje izvješće 2015. Hrvatske šume d.o.o. Zagreb.

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

Abstract

Distribution of Load Masses and Axle Loads on Forest Truck Units during Transport of Fir Pulpwood

During the transport of stacked wood for processing (pulpwood), it is essential to know the total load mass because the sale of these products is based on mass. The main goal of the research is to determine the mass distribution of fir pulpwood load that can be transported with different types of truck units and to compare it with the permitted axle load limits and the total mass of the loaded truck unit. Forest truck units IVECO Trakker 500, manufactured in 2012,

and MAN TGS 33.440, manufactured in 2014, were used in this research. Both truck units are equipped with the same hydraulic crane Epsilon Palfinger M110Z and trailers PSM 200.

During the research, axle loads were measured by a portable measuring system of four measuring weighing scales DINI ARGEO WWSC. Measurement accuracy of the measuring system is 1 kg. For research purposes, the portable weighing system was calibrated using certified standards for calibration of scales.

The axle loads of the empty truck unit IVECO were measured six times, and MAN truck unit eight times during the study. The mass of MAN truck unit is smaller on average by 570 kg. In both unloaded truck units, the highest axle load is on the second truck axle. Based on the comparison with legal limits, it has been determined that the payload of MAN and IVECO truck units is 21 341 kg and 20 771 kg, respectively.

A total of 24 measurements of axle loads on loaded truck units were conducted with different loads of fir pulpwood – 11 times on the truck unit IVECO and 13 times on the truck unit MAN.

The distribution of total axle loads in both truck units is about equal. 60% of the total load is on the truck, and 40% on the trailer. Slight deviations of 1–2% have been found between axle loads on the investigated trucks units.

Masses of the loads are calculated from the difference between the axle loads of loaded truck units and the average value of the axle loads of unloaded truck units.

The lowest values of the load mass are distributed to the front truck axle, and they account on average for 21% and 17% of the mass of load of IVECO and MAN truck unit, respectively.

Based on the collected data, differences were established between methods of stacking wood in the loading space of the truck. It was also determined that these differences did not affect the occurrence of overloading. The occurrence of overloading or exceeding the permissible total mass of truck units during transport on public roads is primarily affected by the total mass of the load.

The results of the research point to the guidelines for the development of truck units and lead to certain conclusions regarding the application of truck units in the timber transport.

Keywords: forest truck unit, mass of the load, axle load, legal restrictions, fir pulpwood

Adrese autorâ – Authors' address:

Izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar *
e-pošta: susnjar@sumfak.hr
Dr. sc. Zdravko Pandur
e-pošta: pandur@sumfak.hr
Marin Bačić, mag. ing. silv.
e-pošta: mbacic1@sumfak.hr
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije
Svetošimunska 25
10 000 Zagreb
HRVATSKA

Dr. sc. Marko Zorić
e-pošta: marko.zoric@salix-plan.hr
SALIX PLAN d.o.o.
Odjel za konzultantske usluge
Čalogovićeve 11
10 010 Zagreb
HRVATSKA

* Glavni autor – Corresponding author

Primljeno (Received): 9. 10. 2016.

Prihvaćeno (Accepted): 31. 10. 2016.