

DIMENZIJSKE I MASENE ZNAČAJKE FORWARDERA

DIMENSIONAL AND MASS CHARACTERISTICS OF FORWARDERS

Tomislav PORŠINSKY¹, Zdravko PANDUR¹, Zoran BUMBER², Mihael LOVRINČEVIĆ¹,
Branko URŠIĆ¹, Andreja ĐUKA^{1*}

SAŽETAK

Izvoženje drva forwarderima, obilježava kotrljanje drva na kotačima, prihvat i sakupljanje sortimentnom metodom izrađenoga drva hidrauličnom dizalicom, iz čega proizlazi i zahtjev za paralelnom mrežom sekundarnih šumskih prometnica međusobnoga razmaka dvostrukoga dosega dizalice.

Rad se bavi prikazom: 1) dimenzijskih i masenih značajki forwardera u svijetlu norme ISO 13860 (2016) te 2) plana raspodjele tereta forwardera kojega je razvio njemački Kuratorij za šumski rad i šumsku tehniku (KWF), s ciljem pomoći šumarskim stručnjacima pri nabavci, odnosno korištenju ovih šumskih vozila.

Za primjermi forwarder odabran je teški osmokotačni forwarder Komatsu 875, za koji su na osnovi mjerenja prikazane njegove dimenzijske i masene značajke, kao i plan raspodjele tereta s ciljem njegove ocjene.

Kritički osvrt je dan i na normu ISO 13860 (2016) s obzirom na neobuhvaćanje nekih dimenzijskih (duljina i visina prednjeg te stražnjeg prepusta forwardera, kutovi i polumjeri prohodnosti vozila) i masenih (položaj točke težišta) pokazatelja forwardera, a koje opisuju i/ili služe modeliranju njegove kretnosti pri izvoženju drva s obzirom na smjer i uzdužni nagib terena. Isto tako, norma izrijekom ne spominje niti jedan pokazatelj okolišne pogodnosti (npr. nominalni tlak na podlogu).

KLJUČNE RIJEČI: prohodnost i kretnost forwardera, ISO 13860 (2016), raspodjela tereta

1. UVOD INTRODUCTION

Izvoženje drva forwarderima naslanja se na dugu tradiciju uporabu životinjsko-kolskih sprega, a razvoj forwardera na traktore s (polu)prikolicom (Drushka i Konttinen 1997). Prvi forwarder Brunett 350 Boxer je proizveden u Švedskoj 1962. godine (Nordfjell i dr. 2019), a prvi forwarderi na području spačvanskih šuma koriste se od 1971. godine (Slabak 1983). Izvoženje drva forwarderima, predstavlja poseban oblik privlačenja drva, koji obilježava kotrljanje drva na

kotačima, prihvat i sakupljanje sortimentnom metodom izrađenoga drva hidrauličnom dizalicom, iz čega proizlazi i zahtjev za paralelnom mrežom traktorskih vlaka međusobnoga razmaka dvostrukoga dosega dizalice (Poršinsky 2005, Poršinsky i dr. 2011).

Forwarder je samohodno i samoutovarno vozilo konstruirano za izvoženje stabala ili njihovih dijelova (ISO 6814, 2009), a sastoji se od dvije uzglobljene šasije (okvira). Prednji (pogonski) dio vozila i pogonjena poluprikolica (nosач tereta) s pridodanom hidrauličkom dizalicom spojeni su

¹ Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za šumarske tehnike i tehnologije, Svetošimunska 25, HR-10002 Zagreb, Hrvatska, prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky, e-pošta: tporsinsky@sumfak.unizg.hr, doc. dr. sc. Andreja Đuka, e-pošta: aduka@sumfak.unizg.hr, doc. dr. sc. Zdravko Pandur, e-pošta: zpandur@sumfak.unizg.hr, Mihael Lovrinčević, mag.ing.silv., e-pošta: mlovrin@sumfak.unizg.hr, Branko Uršić, mag.ing.silv., e-pošta: bursic@sumfak.unizg.hr

² Hrvatske šume d.o.o. – UŠP Zagreb, Lazinska 41, HR – 10 000 Zagreb, mr. sc. Zoran Bumber, e-pošta: zoran.bumber@hrsurne.hr

* dopisni autor – corresponding author, doc. dr. sc. Andreja Đuka, e-pošta: aduka@sumfak.unizg.hr

uzdužnim i poprečnim zglobovima te imaju mogućnost gibanja u vodoravnoj i uspravnoj ravnini (Horvat 1993A). Upravljanje forvarderom (skretanje vozila), vrši se pomoću dva hidraulička cilindra uzdužnoga zgloba, promjenom kuta prednjeg i stražnjeg dijela vozila u vodoravnoj ravnini. Poprečni zglob omogućuje svladavanje terenskih prepreka gibljivošću u uspravnoj ravnini, čime je omogućeno njihanje prednjeg i stražnjeg dijela forvardera. Pri utovaru drva dizalicom poprečni je zglob forvardera blokiran u cilju osiguranja bočne stabilnosti vozila.

Prema izvedbi kretnoga sustava forvarderi se dijele na kotačne (slike 1A – 1E) i gusjenične (slika 1F), a kotačni prema broju kotača na četverokotačne (slika 1A), šestokotačne (slika 1B), osmokotačne (slika 1C) i desetokotačne forvardere (slika 1D). Samo kod šestokotačnih forvardera prednji kotači (pneumatici) su većega promjera, dok su kod ostalih kotačnih forvardera istih dimenzija. Iako je kod forvardera hidraulična dizalica osnovni način prihvata drva, proredni forvarderi često se opremaju stražnjom daskom i vitlom za sakupljanje drva iz neprometnih terena za šumska vozila (slika 1A). Posebno treba istaknuti da je u zadnjem deset-



Slika 1. Različite izvedbe forvardera
Fig. 1 Different forwarder designs

ljeću sve prisutnije opremanje kotačnih forvardera dodatnim vitlom (slika 1E), čije uže nema namjenu prihvata/sakupljanja drva, već sidrenja i/ili dodatne trakcije vozila, čime je forvarderima siguran i djelotvoran rad proširen sa 30 % na 55 % uzdužnog nagiba terena (Holzfeind i dr. 2020).

Jednostruka prednja i stražnja osovina značajne su samo za četverokotačne (proredne) forvardere, dok su forvarderi s većim brojem kotača svi opremljeni stražnjom (šestokotačni), a osmokotačni i prednjom njihajućom (bogi) osovinom s kotačima u tandem rasporedu. Oko bogi osovine prisutne su česte terminološke dvojbe je li ona jednostruka, odnosno dvostruka osovina ili se radi o udvojenim kotačima. Pod udvajanjem kotača osovine podrazumijeva se njihov položaj jedan do drugoga, dok su kod bogi osovine oni smješteni jedan iza drugog u tzv. tandem rasporedu. Sa stajališta raspodjele opterećenja bogi osovina je jednostruka, a dvostruka sa stajališta raspodjele pogona na kotače, odnosno djelovanja na tlo. Zbog spoznaje da cjelokupan teret utovarenoga drva opterećuje stražnju osovinu forvardera (Poršinsky i Horvat 2005), kod desetokotačnih forvardera (slika 1D) stražnja bogi osovina izvodi sa tri kotača u tandem rasporedu u cilju smanjenja sabijanja tla (Starke i dr. 2020), od kojih je zadnji vučeni – slobodnokotrljajući kotač (Ponsse) ili pogonski kotač (HSM). U odnosu na jednostruku osovinu, bogi osovinu forvardera obilježava: 1) veća nosivost i bolja kretnost vozila s obzirom na broj pogonskih kotača (Horvat 1993B,) 2) veća stabilnost vozila pri svladavanju površinskih prepreka (Makkonen 1989 – slika 2) te 3) okolišna pogodnost uslijed manjih do-dirnih tlakova na tlo većeg broja kotača i njihove veće do-dirne površine (Poršinsky i dr. 2011). U uvjetima ograničene nosivosti šumskog tla kotači jednostruke osovine forvardera opremaju se lancima, a njihajuće bogi osovine polugusjenicama (Ireland 2006, Poršinsky i dr. 2020).

Forvardere pogone dizel motori s prednabijanjem. Do 1989. prevladavaju šestokotačni forvarderi s mehaničko – hidrodinamičkom transmisijom (s konverterom zakretnoga momenta), a od 2010. osmokotačni forvarderi s bogi osovinom na prednjoj i stražnjoj šasiji vozila te hidrostatsko – mehaničkom transmisijom (Nordfjell i dr. 2010). Mogućnost hibridnog pogona forvardera trenutno je još u razvoju, odnosno na razini prototipa (Pandur i dr. 2021). Uspoređujući značajke forvardera 1970. i 2010. godine, Nordfjell



Prema – According to: Makkonen (1989)

Slika 2. Usporedba kretanja bogi i jednostruke osovine
Fig. 2 Comparison of axle movement on bogie and single axle

i dr. (2019) zaključuju da tijekom vremena forvarderi postaju sve teži, na osnovi porasta prosječnih vrijednosti njihove: 1) neto mase (9,2 t → 17,3 t), 2) nosivosti (11,5 t → 14,5 t), 3) ukupne mase s deklariranim teretom (20,4 t → 31,8 t), 4) snage motora (71,6 kW → 158,6 kW), 5) zakretnog momenta motora (318 Nm → 907 Nm), 6) odnosa snage motora i ukupne mase (3,44 kW/t → 5,00 kW/t) te 7) odnosa zakretnoga momenta motora i ukupne mase (15 Nm/t → 29,3 Nm/t). Isti autori, navode da se je i podizni moment hidraulične dizalice povećavao s obzirom na neto masu forvardera.

Osim udaljenosti privlačenja drva, proizvodnost je forvardera najznačajnije utjecana obujmom drva koji se izvozi u jednom traktorskom ciklusu, stoga se oni najčešće dijele s obzirom na njihovu deklariranu nosivost (Athanasiadis i dr. 1999) na: 1) lake (< 10 t), 2) srednje teške (10 – 12 t) te 3) teške (> 12 t). Analizirajući stanje na tržištu forvardera, Nordfjell i dr. (2019) predlažu novu podjelu forvardera na osam razreda njihove nosivosti: 1) Micro (< 2 t), 2) XXS (2 – 5 t), 3) XS (5 – 8 t), 4) Small (8 – 11 t), 5) Medium (11 – 14 t), 6) Large (14 – 17 t), 7) XL (17 – 20 t) te 8) XXL (> 20 t).

Cilj je ovoga rada približiti šumarskim stručnjacima dimenzijske i masene značajke forvardera sukladno normi ISO 13860 (2016), te značenje KWF-ovog dijagrama raspodjele opterećenja s obzirom na duljinu utovarenoga drva listača, odnosno četinjača, kao alat za ocjenjivanja pogodnosti forvardera prilikom njihove nabavke, odnosno planiranja izvoženja drva. Navedeno će biti prikazano na primjeru teškog osmokotačnoga forvardera Komatsu 875.

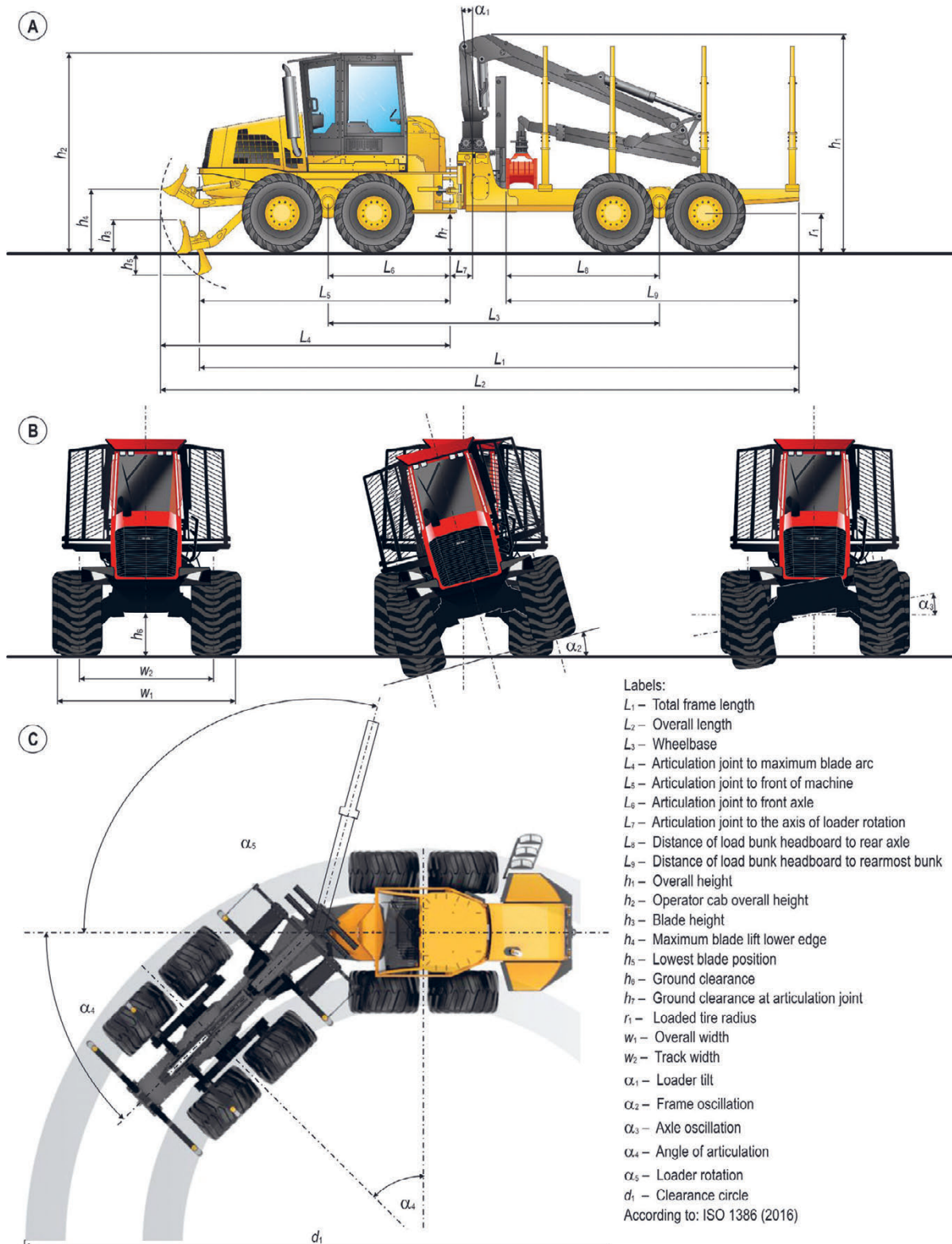
2. ISO 13860 (2016)

Norma ISO 13860 (2016) definira osnovne dimenzijske i masene značajke forvardera koje su prikazane na slici 3, temeljem kojih Horvat i dr. (2004) izrađuju morfološku analizu forvardera s ciljem potpore: 1) odabiru novih vozila šumarskim stručnjacima, 2) određivanju najpovoljnije uporabe forvardera u različitim uvjetima rada te 3) određivanju okvirnih dimenzija pri konstrukciji novih forvardera. Navedena norma dimenzije forvardera određuje kroz 13 duljina, 15 visina, 4 širine, 6 kutova, 2 površine presjeka te po jedan polumjer i promjer.

Duljine i visine forvardera prikazuje slika 3A, a širine, klirens te vertikalnu gibljivost forvardera slika 3B. Horvat i dr. (2004) navode da je za sve forvardere značajno prevladavanje visine (h_1) nad širinom vozila (w_1), što nepovoljno utječe na njegovu bočnu stabilnost. U odnosu na duljinu forvardera (L_1, L_2), ali i međuosovinski razmak (L_3), posebno treba istaknuti asimetrično postavljene upravljački zglobovi (L_4, L_5, L_6), zbog ugradnje hidraulične dizalice na stražnji okvir vozila, ali i zahtjeva za duljinom utovarnog prostora (L_0). Za kretnost forvardera pri izvoženju drva, koju između ostalih

pokazatelja određuje raspodjela osovinskog opterećenja nominalno natovarenoga vozila, pored međuosovinskog razmaka (L_3), utječe i položaj hidraulične dizalice u odnosu na zglob vozila (L_7), kao i položaj uzglavlja utovarnoga prostora u odnosu na stražnju osovinu vozila (L_8).

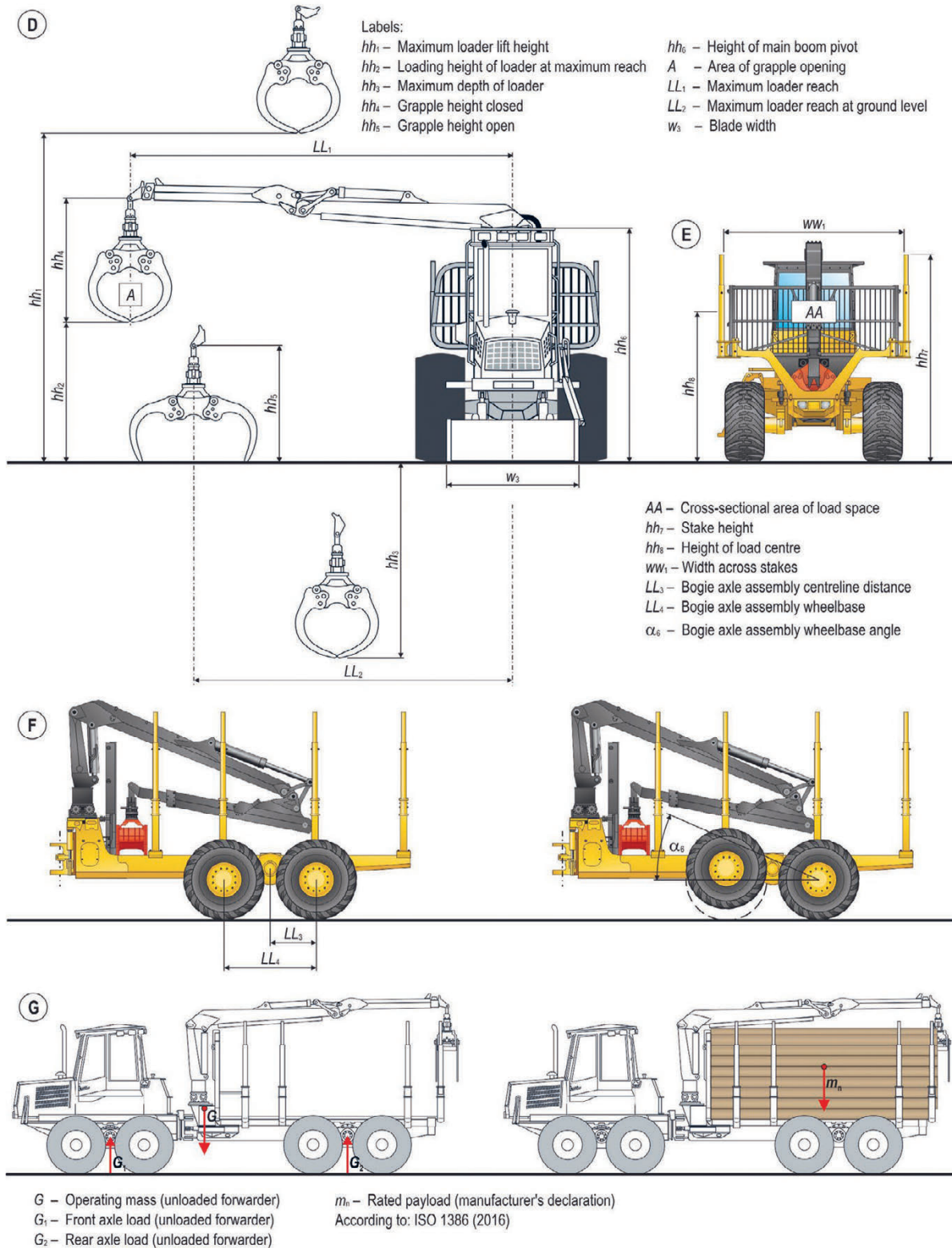
Pokazatelj prohodnosti forvardera pri kretanju forvardera po površinskim preprekama (kamenitim terenima) svakako je klirens vozila (h_6), ali i kut oscilacije prednje i stražnje šasije vozila (α_2) uslijed mogućnosti zakretanja upravljačkog zgloba i u uspravnoj ravnini, čime je umanjeno



Slika 3. Dimenzijske i masene značajke forvardera – 1. dio
Fig. 3 Dimensional and mass characteristics of forwarders – part 1

nepovoljno prevladavanje visine nad širinom forvardera. Vertikalnu gibljivost forvardera pri kretanju po površinskim preprekama osigurava i kut oscilacije osovine (α_3), koja je tipična samo za šestokotačne forvardere kojima je ugrađena jednostruka prednja oscilirajuća osovina. Bitno

je napomenuti da sve visine forvardera, kao i njegova ukupna širina ovise o dimenzijama pneumatika kojima su opremljeni. Posebno treba istaknuti da se forvarder može registrirati ako mu vanjske gabaritne dimenzije ispunjavaju uvjete Pravilnika o tehničkim uvjetima vozila u prometu



Slika 3. Dimenzijske i masene značajke forvardera – 2. dio
 Fig. 3 Dimensional and mass characteristics of forwaders – part 2

na cestama (NN 85/16, 24/17, 70/19, 60/20), čime izostaju troškovi kamiona s niskopodnom prikolicom pri premještanju forvardera s jednog na drugo šumsko radilište.

Kuteve skretanja forvardera i zakretanja hidraulične dizalice prikazuje slika 3C. Zglobno upravljanje forvarderom, odnosno kut loma zgloba u horizontalnoj ravnini (α_4) omogućava forvarderu manji vanjski promjer okretanja (d_1) u odnosu na vozila kojima se upravlja promjenom kuta prednjih i/ili stražnjih kotača vozila, dok je kut zakretanja hidrauličke dizalice (α_5) pokazatelj njene dobrote pri sakupljanju izrađenog drva.

Dimenzijske značajke hidraulične dizalice kojom je opremljen forvarder (odnosno stupa dizalice, podiznog, produžnog i izvlačnog kraka), a koje su bitne za djelotvornost utovara i istovara drva prikazuje slika 3D. Posebno treba istaknuti da je najveći doseg dizalice na razini tla (LL_2) uvijek ima manju vrijednost od najvećeg dosega dizalice (LL_1), što treba uvažiti pri planiranju i obilježavanju paralelne mreže traktorskih vlaka na terenu. Najveća visina podizanja dizalice (hh_1) utječe na visinu složajeva drva pri istovaru drva na pomoćnome stovarištu, a najveća dubina prihvata drva dizalicom (hh_3) na mogućnost sakupljanja drva ispod razine tla (duboki kanali, vrtače, ...). Navedeni pokazatelji dobrote dizalice pri utovaru i istovaru drva utjecani su i visinom hvatala s rotatorom (hh_5) kojima je hidraulična dizalica opremljena, kao i visinom osovine stupa dizalice i podiznoga kraka (hh_6).

Dimenzijske značajke poprečnoga presjeka utovarnoga prostora forvardera prikazane na slici 3E. Uz širinu (ww_1), površine presjeka (AA) te visine držača tereta od tla (hh_7), norma ISO 13860 (2016) poznaje i visinu težišta tereta (hh_8) za koju Makkonen (1989) navodi da je bitan pokazatelj bočne stabilnosti forvardera.

Većina je ovodobnih forvardera opremljena stražnjom njihajućom bogi osovinom iz razloga što ona preuzima masu utovarenoga drva. Značajke bogi osovine forvardera prikazane su na slici 3F, s dvije dimenzije: 1) razmakom osovine tandem kotača (LL_4) te 2) kutem bogija kojim osciliraju kotači u tandem rasporedu pri prelazanju površinskih nepravilnosti (α_6). Ova vertikalna oscilacija još je jedno tehničko rješenje povećanja bočne stabilnosti forvardera pri kretanju po površinskim preprekama (Makkonen 1980), a navedene dimenzijske značajke bogi osovine određuju i visinu prepreke koju forvarder pri kretanju može svladati.

Iako norma ISO 13860 (2016) poznaje više masenih značajki, za odabir forvardera i planiranje izvoženja drva, bitne su one prikazane na slici 3G: 1) deklarirana nosivost forvardera od strane proizvođača (m_n), 2) masa nenatovarenoga forvardera (G) te njena raspodjela – opterećenje na 3) prednju (G_1) i 4) stražnju (G_2) osovinu. Norma predviđa i iskaz dopuštenog opterećenja prednje i stražnje osovine ko-

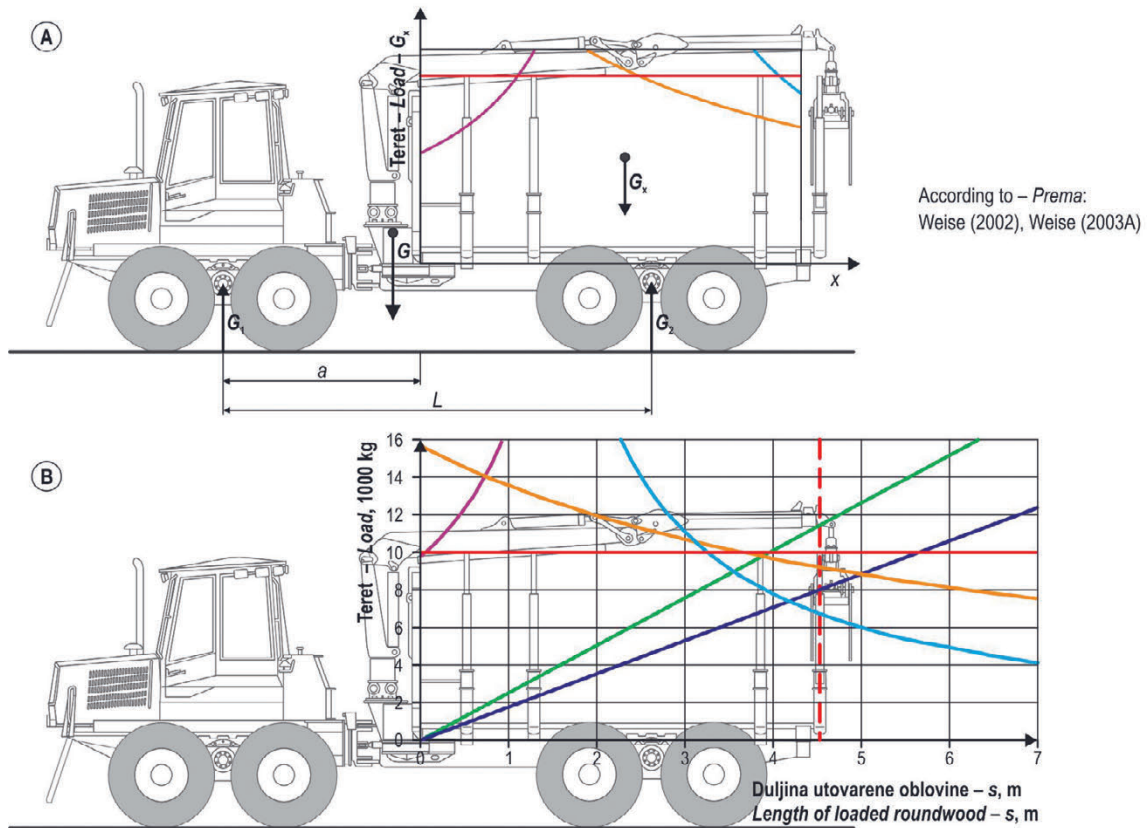
jima je opremljen forvarder od strane proizvođača. Od masenih značajki forvardera, neovisno o njihovim proizvođačima posebno treba istaknuti ustaljenost: 1) raspodjele neto mase forvardera, 60 % na prednju te 40 % na stražnju osovinu i 2) odnosa nosivosti forvardera i mase nenatovarenoga forvardera, koji Nordfjel i dr. (2019) nazivaju indeks opterećenja te navode da on za današnje forvardere iznosi $\sim 0,80$, dok je kod forvardera iz 1970. godine iznosio $\sim 1,0$. Pad nosivosti u odnosu na neto masu u proteklome razdoblju, obrazlažu činjenicom da je nosivost forvardera sporije rasla u odnosu na masu nenatovarenoga vozila uslijed ugradnje snažnijih pogonskih motora te većih hidrauličnih dizalica.

Dodatno, norma ISO 13860 (2016) obuhvaća i specifikacije pneumatika kojima je forvarder opremljen.

3. PLAN RASPODJELE TERETA FORWARDERA LOAD DISTRIBUTION PLAN FOR FORWARDERS

Na osnovi dimenzijskih i masenih značajki forvardera nje-mački Kuratorij za šumski rad i šumsku tehniku (KWF) razvio je Plan raspodjele tereta forvardera na horizontalnoj podlozi (Weise 2002, Weise 2003A) s ciljem: 1) ocjene dobrote njihove konstrukcije prilikom nabavke te 2) pomoći pri planiranju izvoženja drva listača, odnosno četinjača.

Proizvođači forvardera deklariraju nosivost (dopušteno opterećenje) forvardera, pri čemu ne uzimaju u obzir vrstu drva, kao ni duljinu utovarenoga drva. S obzirom na konstrukciju forvardera te duljinu izrađene oblovine, utovareno drvo, ovisno o položaju težišta tereta, više opterećuje prednju ili stražnju osovinu vozila. U cilju djelotvornoga korištenja forvardera potrebno je podjednako opteretiti osovine vozila ili rasporediti opterećenje s obzirom na nosivost osovine, odnosno radi upravljanja vozilom zadržati najmanje opterećenje prednje osovine forvardera (Weise 2002). Navedenim, Plan raspodjele tereta forvardera zasnovan je na četiri korisnička zahtijeva (Weise 2003A): 1) najveći teret utovarenoga drva neovisno o njegovoj duljini i položaju težišta, ne smije biti veći od deklarirane nosivosti forvardera od strane proizvođača uslijed čvrstoće konstrukcije utovarnoga prostora (izraz 1), 2) najveće dopušteno opterećenje prednje (izraz 2) i 3) stražnje osovine (izraz 3) ne smije se prekoračiti (pri čemu treba uzeti u obzir i zbroj nosivosti pneumatika po osovinu) te 4) opterećenje prednje osovine ne smije pasti ispod 20 % mase opterećenoga forvardera (izraz 4). Plan raspodjele tereta forvardera s obzirom na položaj točke težišta tereta (udaljenosti od uzglavlja utovarnoga prostora), zasnovan je na razradi momentnih jednadžbi (izrazi 2 do 4), a vizualiziran je sa četiri krivulje na dijagramu prikazanim na slici 4A iz kojih se može zaključiti: 1) utovar kratkog drva (težište tereta ispred prednjih kotača stražnje osovine) dovodi do preopterećenja prednje osovine forvardera, 2) teret sa težištem u uskom



Kazalo – Labels:

- a – Udaljenost uzglavlja utovarnog prostora od prednje osovine – Distance from front axle to headboard bunk
 - x – Udaljenost točke težišta tereta od uzglavlja utovarnog prostora – Distance of the load centre of gravity from the headboard bunk
 - L – Međuosovinski razmak – Wheelbase
 - G – Masa neopterećenoga forvardera – Mass of unloaded forwarder
 - G₁ – Opterećenje prednje osovine (nenatovaren) – Front axle load (empty)
 - G₂ – Opterećenje stražnje osovine (nenatovaren) – Rear axle load (empty)
 - G_x – Teret – Load
 - s – Duljina utovarene oblovine – Length of roundwood
 - — Duljina utovarnoga prostora – Length of bunk
- Deklarirana nosivost forvardera – Forwarder payload (m_n)
 - Preopterećenje prednje osovine – Front axle overload
 - Preopterećenje stražnje osovine – Rear axle overload
 - Rasterećenje prednje osovine – Insufficient front axle load
 - Masa tereta tvrdih listača – Loading mass hardwood
 - Masa tereta četinjača – Loading mass softwood

Slika 4. Plan raspodjele tereta forvardera
Fig. 4 Load distribution plan for forwarders

rasponu oko središta stražnje osovine osigurati će korištenje deklarirane nosivosti forvardera, 3) pomicanjem težišta tereta iza stražnje osovine dovesti će do njenoga preopterećenja, odnosno 4) daljnje pomicanje težišta tereta ka kraju utovarnoga prostora polučiti će rasterećenje prednje osovine forvardera te gubitak upravljivosti vozilom.

$$G_x \leq m_n \tag{1}$$

$$G_x \leq \frac{G_{1_allow} \cdot L}{L - a - x} \tag{2}$$

$$G_x \leq \frac{G_{2_allow} \cdot L}{a + x} \tag{3}$$

$$G_x \leq \frac{G_1 - 0,2 \cdot G}{\frac{x + a}{L} - 0,8} \tag{4}$$

$$G_x = A \cdot f \cdot \rho \cdot s \tag{5}$$

$$s = 2 \cdot x \tag{6}$$

gdje su:

- m_n deklarirana nosivost forvardera (kg)
- G_x masa utovarenoga drva (kg)
- G₁ opterećenje prednje osovine nenatovarenoga forvardera (kg)
- G masa nenatovarenoga forvardera (kg)
- G_{1_allow} dopušteno opterećenje prednje osovine (kg)
- G_{2_allow} dopušteno opterećenje stražnje osovine (kg)
- x udaljenost točke težišta tereta od uzglavlja utovarnoga prostora (m)
- s duljina utovarenoga drva (m)
- a udaljenost uzglavlja utovarnoga prostora od prednje osovine (m)

- L međuosovinski razmak forvardera (m)
 A površina poprečnoga presjeka utovarnoga prostora (m²)
 f iskoristivost (popunjenost) poprečnoga presjeka utovarnoga prostora (%)
 ρ gustoća utovarenoga drva (kg/m³)

Pretpostavke izračuna mase utovarenoga drva (izraz 5) ovisno o njegovoj duljini su: 1) ispunjen poprečni presjek utovarnoga prostora, 2) pri čemu je popunjenost poprečnog presjeka 70 % (radi transformacije pr_m u m³), 3) gustoća drva tvrdih listača od 1000 kg/m³, a četinjača od 700 kg/m³ (Weise 2003B). Korištenjem izraza 6, transformiran je dijagram prikazan na slici 4A u dijagram koji prikazuje slika 4B, koji je daleko razumljiviji korisnicima jer prikazuje krivulje deklarirane nosivosti forvardera, preopterećenja prednje i stražnje osovine te rasterećenja prednje osovine ovisno o duljini utovarene oblovine.

Posebno treba istaknuti da dijagram slike 4B, predstavlja nepovoljne dimenzijske i masene značajke forvardera, kod kojega se ne može doseći deklarirana nosivost pri utovaru drva listača i četinjača zbog preopterećenja stražnje osovine te posljedično rasterećenja prednje osovine. Uzrok navedenome su: 1) manje opterećenje prednje osovine nenatovarenoga vozila, 2) nepovoljan položaj uzglavlja utovarnoga prostora, koje je previše pomaknuto ka stražnjoj osovini

vozila u odnosu na međuosovinski razmak te 3) prevelika udaljenost težišta utovarenoga drva od prednje osovine forvardera (Weise 2003A).

4. DIMENZIJSKE I MASENE ZNAČAJKE FORVARDERA KOMATSU 875

DIMENSIONAL AND MASS CHARACTERISTICS OF KOMATSU 875 FORWARDER

U mehaničkoj radionici Radne jedinice Prijevoz, mehanizacija i graditeljstvo Uprave šuma podružnice Bjelovar, provedena je izmjera dimenzijskih i masenih značajki primjernog osmokotačnog forvardera Komatsu 875 sukladno normi ISO 13860 (2016). Za izmjeru dimenzijskih značajki forvardera korištene su geodetska letva, mjerna vrpca, laserski daljinomjer, kutnik i digitalni kutomjer, a za izmjeru masenih značajki prijenosne 10-tonske vage Telub (slika 5A).

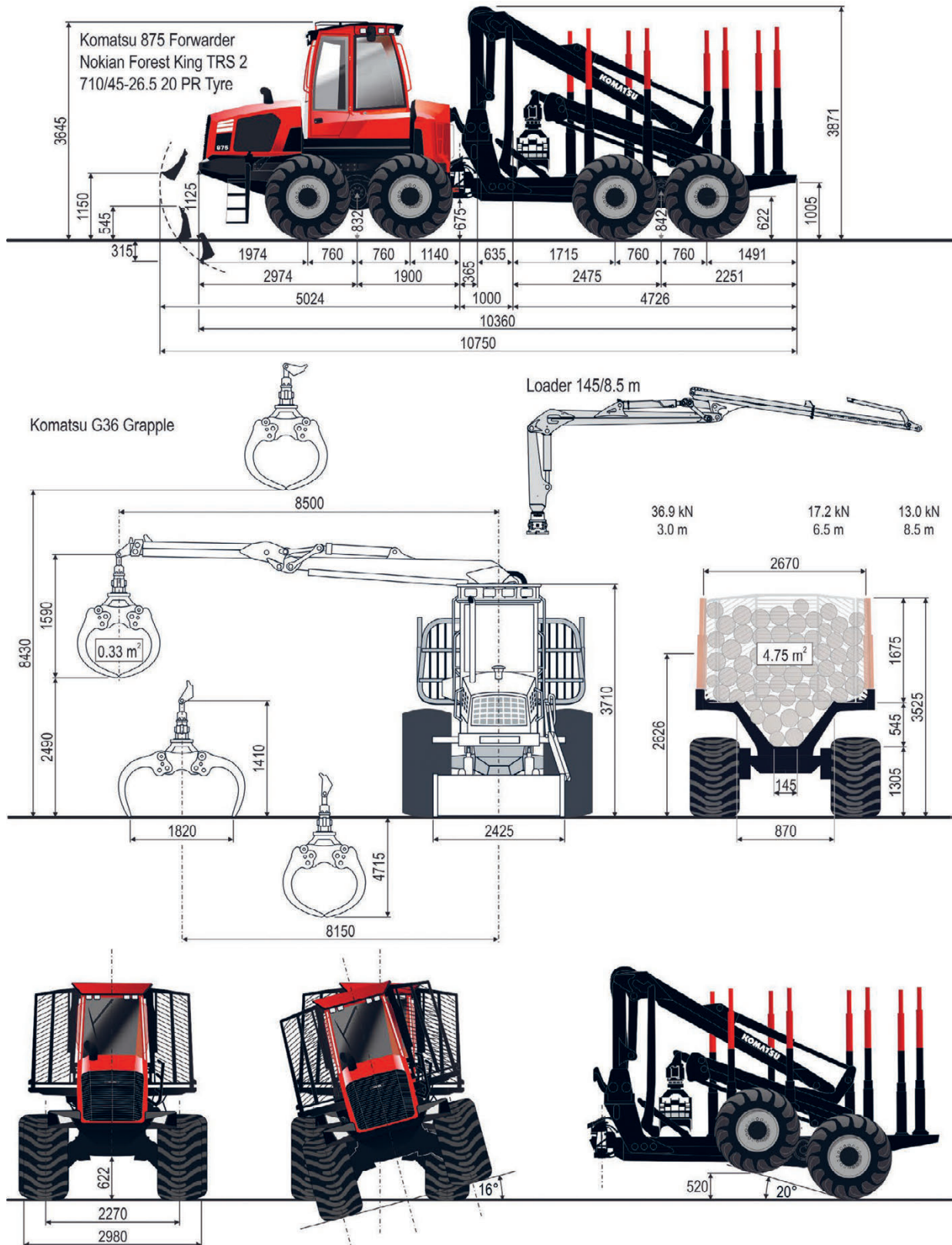
Komatsu 875 je teški forvarder neto mase 21.385 kg te deklarirane nosivosti 16.000 kg. Vozilo pokreće šest-cilindarski dizelski motor s prednabijanjem (AGCO Power 74-AWF), stapajnog obujma 7.400 cm³, najveće snage 190 kW pri 1900 min⁻¹ i zakretnog momenta 1130 Nm pri 1500 min⁻¹, koji udovoljava zahtjevima EURO norme V za emisiju ispušnih plinova. Prijenos snage obavlja se hidrostatsko-



Slika 5. Mjerenja nekih značajki forvardera Komatsu 875
Fig. 5 Measurements of some Komatsu 875 forwarder features

-mehaničkom transmisijom, gdje dizel motor pogoni hidrostatski sustav forvardera, koji se sastoji od pumpe i hidromotora. Hidromotor pokreće razvodnik pogona s kojega se

snaga prenosi kardanskim vratilima na prednji, odnosno stražnji diferencijal. Snaga se sa diferencijala vratilima prenosi na zupčanički sustav bogi osovina unutar kojega se



Slika 6. Dimenzijske značajke forvardera Komatsu 875
 Fig. 6 Dimensional Characteristics of Komatsu 875 forwarder

pogone planetarni reduktori lijevog i desnog para tandem kotača. Na ovaj je način omogućena promjena stupnja prijenosa bez zaustavljanja toka snage uz računalnu kontrolu prijenosa snage. Uusitalo (2010) navodi da većina skandinavskih šumskih vozila koristi sustav hidrostatsko-mehaničke transmisije zbog lakšeg održavanja, dugog vremena uporabe te lakše kontrole snage motora u teškim uvjetima rada. Indeksni pokazatelji forvardera Komatsu 875, poput: 1) odnosa snage motora i mase forvardera s deklariranim teretom (5,08 kW/t), 2) odnosa zakretnog momenta i mase forvardera s deklariranim teretom (30,23 Nm/t) te 3) odnos nosivosti i neto mase (0,75), u skladu su s pokazateljima ovo-dobnih forvardera (Nordfjell i dr. 2019).

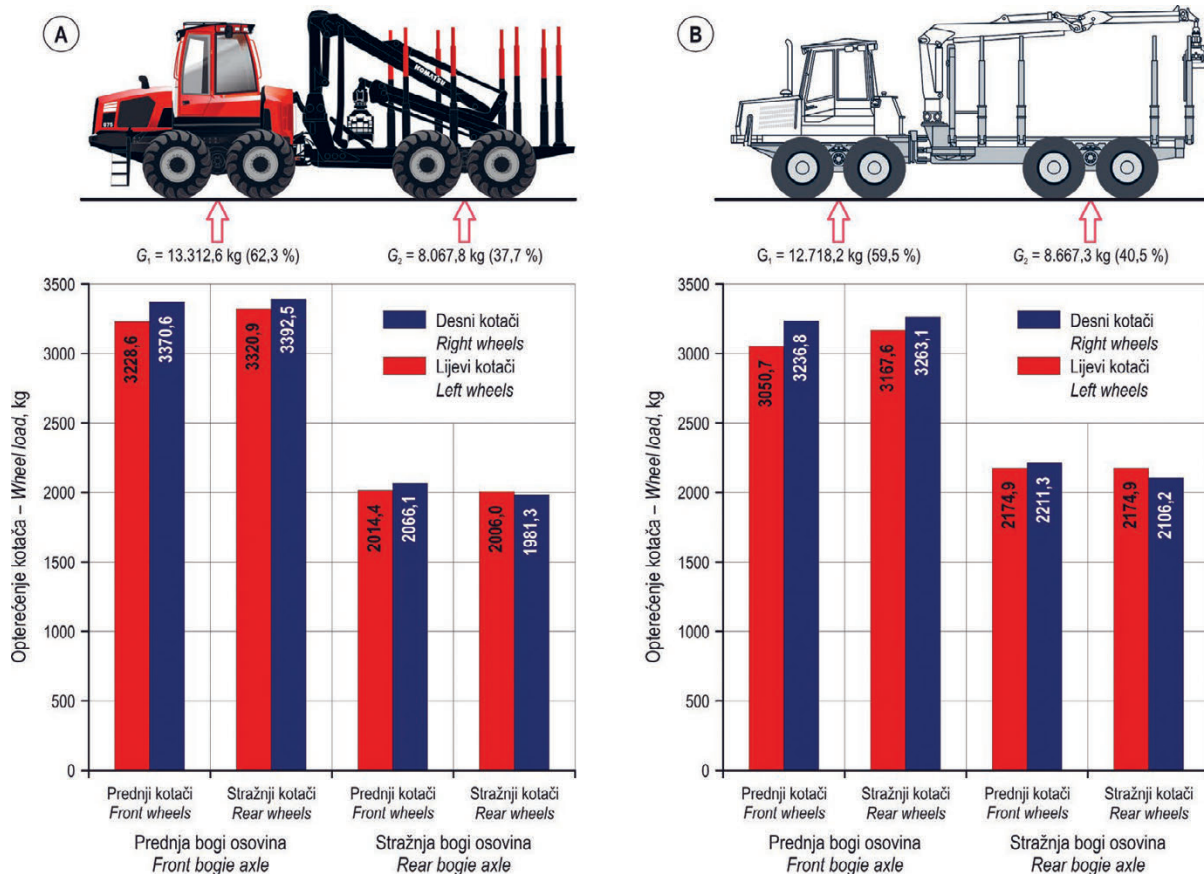
Usljed opremljenosti forvardera Komatsu 875 prednjom daskom, ukupna duljina vozila iznosi 10,75 m (slika 6). Uz asimetrično postavljene uzdužni zglob sa kutom loma prednje i stražnje šasije od $\pm 42^\circ$ (slika 5B) te duljinom prednje šasije od 5,024 m i stražnje šasije od 5,726 m, forvarder Komatsu 875 ostvaruje relativno mali vanjski promjer okretanja vozila od 31,25 m, odnosno unutarnji polumjer okretanja vozila od 12,65 m. Širina vozila od 2,98 m odgovara širini traktorskih vlaka od 3,5 do 4 m.

Vertikalnu gibljivost forvardera Komatsu 875 pri kretanju po nepravilnostima terena osigurava kut zakretanja popreč-

noga zgloba od $\pm 16^\circ$ (slika 5C), ali i kut osciliranja tandem kotača bogi osovine od $\pm 20^\circ$ (slika 5D) koji omogućuje svla-davanje površinskih prepreka visine < 52 cm uz zadržavanje bočne stabilnosti forvardera.

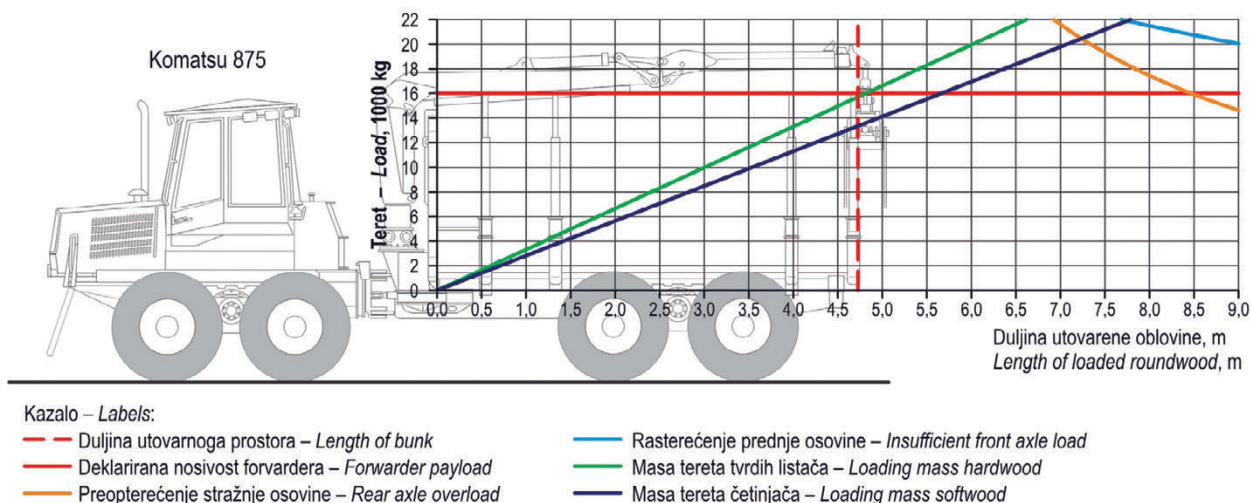
Forvarder je opremljen hidrauličkom dizalicom Komatsu 145F, mase 2400 kg i dosega 8,5 m te najvećega podiznog momenta 145 kNm, odnosno najvećeg zakretnog momenta 38 kNm. Kut zakretanja dizalice iznosi $\pm 192^\circ$, najveća visina podizanja tereta 8,43 m te mogućnost prihvata drva 4,71 m ispod razine tla (slika 6), opisuju njene velike mogućnosti pri utovaru i istovaru drva, što je posebno značajno zbog spoznaje o utrošcima vremena rada dizalicom $< 60\%$ u strukturi ukupnoga vremena turnusa (Piskunov 2021). Ipak najveći doseg dizalice na razini tla od 8,15 m ne osigurava prihvat izrađenoga drva sa paralelne mreže traktorskih vlaka međusobnoga razmaka 20 m. U cilju smanjenja gaženja i sabijanja šumskoga tla, ovaj problem se može riješiti: 1) usmjerenim rušenjem stabala okomito na traktorske vlake i/ili 2) nabavkom forvardera sa dodatnim izvlačnim krakom, odnosno dosegom dizalice od 10 m.

Poprečni presjek utovarnog prostora iznosi $4,75\text{ m}^2$, duljine je $4,726\text{ m}$ te zapremine $22,45\text{ prm}$. Uz iskorištenje/ispu-njenost poprečnog presjeka od 70% i gustoću drva od 1000 kg/m^3 (Weise 2002) doseže se deklarirana nosivost forvar-



Slika 7. Masene značajke značajke forvardera Komatsu 875

Fig. 7 Mass characteristics of Komatsu 875 forwader



Slika 8. Plan raspodjele tereta forvardera Komatsu 875

Fig. 8 Load distribution plan for Komatsu 875 forwarder

dera od 16 t. Uzglavlje je utovarnog prostora udaljeno 2,9 m od prednje i 2,475 m od stražnje osovine (slika 6), čime masa utovarenoga drva duljine ~ 4,8 u potpunosti opterećuje stražnju osovinu, što je u skladu s prethodnim objavama (Poršinsky i Horvat 2005).

Prednja i stražnja bogi osovina forvardera Komatsu 875 su iste – NAF PTA 76 za koje proizvođač navodi najveće dopušteno statičko opterećenje od 360 kN te najveće dopušteno dinamičko opterećenje od 290 kN (www.nafaxles.com). Kotači prednje i stražnje osovine opremljeni su pneumaticima istih dimenzija 710/45-26.5 20 PR (Nokian Forest King TRS 2) – širine 710 mm, promjera 1340 mm, opterećenog statičkog polumjera 618 mm, kotrljajućeg opsega 4103 mm te najvećeg tlaka punjenja zrakom 500 kPa (Nokian 2021). Proizvođač pneumatika navodi da za Komatsu 875 prednje gume trebaju biti napunjene tlakom zraka od 400 kPa koji osigurava njihovu nosivost od 5,6 t/gumi pri brzini kretanja < 10 km/h, odnosno stražnje sa tlakom zraka od 500 kPa koji pri istoj brzini kretanja osigurava njenu nosivost od 6,9 t/gumi. Navedenim, nosivost bogi osovine nije kriterij dopuštenih osovinskih opterećenja forvardera Komatsu 875, već zbroj nosivosti pneumatika kotača prednje (22,4 t) i stražnje (27,6 t) bogi osovine kojima je vozilo opremljeno.

Norma ISO 13860 (2016), pri iskazivanju osovinskih opterećenja neopterećenoga forvardera na horizontalnoj podlozi ne određuje položaj hidraulične dizalice, odnosno je li ona složena u transportnome položaju ili ispružena što je precizniji ulazni podatak za izračun Plana raspodjele tereta. Rezultate vaganjem utvrđenih opterećenja kotača te osovinskih opterećenja za nenatovareni forvarder Komatsu 875 sa složenom dizalicom u transportnome položaju prikazuje slika 7A, a sa ispruženom dizalicom slika 7B. Odstupanje neto mase forvardera, od 5,1 kg pri ove dvije inačice vaga-

nja su zanemariva (neto masa forvardera sa složenom dizalicom u transportnom položaju iznosi 21.380,4 kg, a sa ispruženom dizalicom 21.385,5 kg). Opterećenje prednje osovine forvardera sa dizalicom složenom u transportnom položaju iznosi 13.312 kg (62,3 % neto mase), a opterećenje stražnje osovine 8067,8 kg, odnosno 37,7 % neto mase. Kod vaganja forvardera sa ispruženom dizalicom, došlo je do promjene raspodjele opterećenja po osovina, gdje je prednja osovina opterećena sa 12.718,2 kg (59,5 %) te stražnja sa 8667,3 kg (40,5 %), uslijed premještanja mase podiznog, produžnog i izvlačnog kraka ka stražnjoj osovini vozila. Neovisno o položaju hidrauličke dizalice pri vaganju forvardera, zbroj ukupnih opterećenja svih desnih kotača iznosi 50,6 % neto mase vozila, odnosno zbroj opterećenja svih lijevih kotača 49,4 %, što ukazuje da je točka težišta forvardera zanemarivo pomaknuta od uzdužne simetrale vozila u desnu stranu.

Uspoređujući dimenzijske i masene značajke forvardera Komatsu 875 sa rezultatima morfološke analize forvardera (Horvat i dr. 2004), može se zaključiti da se on uklapa u konstrukcijske zakonitosti ovodobnih forvardera.

Plan raspodjele tereta forvardera Komatsu 875 (slika 8), napravljen je korištenjem izraza 1 – 6, na osnovi: međuosovinskog razmaka (5,375 m), udaljenosti uzglavlja utovarnog prostora od prednje osovine (2,9 m), 21,385 t neto mase i njene raspodjele na prednju (12,718 t) i stražnju (8,667 t) osovinu, deklarirane nosivosti od 16 t, dopuštenih osovinskih opterećenja pneumatika kotača prednje (22,4 t) i stražnje (27,6 t) bogi osovine.

Na dobrotu konstrukcije (dimenzijskih i masenih značajki) forvardera Komatsu 875 uz popunjenost poprečnoga presjeka utovarnoga prostora (4,75 m²) i njegovo iskorištenje od 70 %, ukazuju spoznaje iščitane iz dijagrama slike 7: 1) forvarder je dimenzioniran za tvrde listače (1000 kg/m³) jer

dosiže deklariranu nosivost pri utovaru oblovine duljine od 4,82 m, koja je malo veća od duljine utovarnoga prostora (4,726 m), 2) pri utovaru četinjača (850 kg/m^3)¹, deklarirana nosivost forvardera će se dosegnuti kod utovara oblovine duljine od 5,65 m, 3) pri navedenim duljinama utovarenoga drva tvrdih listača i četinjača kriteriji preopterećenja prednje i stražnje osovine, preopterećenja pneumatika, kao i rasterećenja prednje osovine neće ograničavati deklariranu nosivost forvardera. Pri planiranju izvoženja drva, navedene duljine tvrdih listača i četinjača treba poimati kao prosječne vrijednosti duljine sortimenata u cilju dosezanja što veće proizvodnosti forvardera.

5. RASPRAVA DISCUSSION

Vezano za dimenzijske i masene značajke forvardera, rasprava je napisana kroz osvte na normu ISO 13860 (2016) te KWF-ov plan raspodjele tereta forvardera, odnosno ocjenu dobrote forvardera Komatsu 875.

Norma ISO 13860 (2016) odnosi se samo na kotačne forvardere, dok izrijeком ne spominje: 1) gusjenične forvardere te 2) niti jedan od pokazatelja forvardera opremljenih sidreno-trakcijskim užem za rad na strmim terenima (npr. zakretna samonivelirajuća kabina). Isto tako, ne spominje, niti preporuča izraz za procjenu dodirnih tlakova natovarenoga forvardera na šumsko tlo. Zbog velikog utjecaja dodirnih tlakova forvardera na šumsko tlo, kao pokazatelj okolišne pogodnosti forvardera valjalo bi u normu uključiti nominalni tlak na podlogu (Melgren 1980) zbog jednostavnosti njegovog izračuna, ali i prihvaćenosti od strane šumarskih stručnjaka (Partington i Ryans 2010, Poršinsky i dr. 2011, Nordfjell i dr. 2019).

Od dimenzijskih značajki forvardera, norma ISO 13860 (2016) izrijeком ne poznaje: 1) duljinu i visinu prednjeg i stražnjeg prepusta forvardera, 2) kutove prohodnosti forvardera, 3) polumjere prohodnosti forvardera, koje poneki proizvođači iskazuju u svojim prospektnim materijalima ili atestne organizacije u svojim izvješćima. Na primjeru skidera s vitlom, Poršinsky i dr. (2016) pojašnjavaju značenje te način izračuna navedenih pokazatelja prohodnosti šumskih vozila.

Zbog položaja kotača stražnje bogi osovine forvardera, poprečni presjek utovarnog prostora forvardera (slika 3E) složen je geometrijski lik koji se sastoji od jednakokračnoga trapeza (manji donji dio) i pravokutnika (veći gornji dio). Norma ISO 13860 (2016) ne poznaje sve dimenzije ovih geometrijskih likova potrebne za izračun poprečnoga presjeka utovarnoga prostora forvardera, a koje su za forvar-

der Komatsu 875 prikazane na slici 5. Iako norma poznaje visinu težišta tereta (hh_8 – slika 3E), ne objašnjava način izračuna ovoga pokazatelja, a koji se izračunava putem visine težišta dijela poprečnog presjeka koji se odnosi jednako-kračni trapez, odnosno pravokutnik uz korištenje izraza momenta površine.

Osim navedenih dimenzijskih značajki, norma ISO 13860 (2016) ne poznaje udaljenost uzglavlja utovarnoga prostora forvardera od prednje osovine vozila, a koja se ne može niti izračunati iz normom određenih dimenzija forvardera (slika 3A), a ulazni je parametar izračuna Plan raspodjele tereta forvardera (Weise 2002).

Najznačajniju masenu značajku – položaj točke težišta natovarenoga forvardera na horizontalnoj podlozi, norma ISO 13860 (2016) ne poznaje, niti ju iskazuju proizvođači forvardera. Težište vozila je bitan konstruktivni pokazatelj, koji ima velik utjecaj na vučnu značajku i stabilnost kretanja vozila, a predstavlja točku u kojoj je koncentrirana cjelokupna masa vozila. Uz pretpostavku da se točka težišta nalazi na uzdužnoj simetrali vozila, određena je: 1) horizontalnom udaljenošću od prednje osovine, 2) horizontalnom udaljenošću od stražnje osovine te 3) visinom od horizontalne podloge. Uslijed manjih brzina kretanja šumskih vozila u odnosu na cestovna, položaj težišta forvardera je statička, u osnovi nepromjenjiva značajka, koja se dinamički ne mijenja pri ubrzanju, kočenju ili kretanju u krivinama. Zbog sve većeg korištenja forvardera na nagnutim terenima (Marčeta i dr. 2020, Mederski i dr. 2021, Borz i dr. 2021, Ring i dr. 2021), ovaj maseni pokazatelj forvardera dobiva na značenju zbog njegove neophodnosti pri modeliranju raspodjele osovinskih opterećenja i dodirnih tlakova te kretnosti šumskih vozila s obzirom na udužni nagib terena i smjer kretanja (Đuka i dr. 2016, Đuka i dr. 2018, Poršinsky i dr. 2021) u cilju planiranja privlačenja drva na siguran, djelotvoran i okolišno prihvatljiv način.

Plan raspodjele tereta forvardera izuzetno je dobar brzi alat za ocjenu dobrote konstrukcije forvardera prilikom njihove nabave, kao i pomoći krajnjim korisnicima pri planiranju izvoženja drva te je svoje mjesto našao u KWF-im izvješćima (eng. *Test report*, njem. *Prüfbericht*) o forvarderima (Hauck 2002). Od ulaznih parametara potrebnih za izračun preopterećenja prednje i stražnje osovine forvardera, proizvođači u prospektnim materijalima ne iskazuju dopuštena osovinska opterećenja forvardera koja bi u sklopu nabavke forvardera trebalo dodatno zatražiti. Najmanje opterećenje prednje osovine forvardera od 20 % mase opterećenoga forvardera, dobro je odabran kriterij rasterećenja prednje osovine potreban radi zadržavanja upravljivosti forvardera. Isti kriterij kod skidera s vitlom, Sever (1990) određuje kao najmanji odnos adhezijskog opterećenja prednje i stražnje osovine skidera pri vuči drva na nagnutim terenima ($G_1 : G_2 > 1 : 3,5$). Ostale Pretpostavke izračuna mase utovarenoga drva (gustoća drva tvrdih listača od 1000 kg/m^3

¹ Istraživanja provedena na četinjačama u Hrvatskoj (Sinković 1991) ukazuju na gustoću drva četinjača od 850 kg/m^3 .

te četinjača od 700 kg/m³, iskorištenost/popunjenost poprečnoga presjeka utovarnoga prostora od 70 %), lako je modificirati s obzirom na lokalne prilike. Poršinsky i dr. (2014) istražujući proizvodnost izvoženja drva forvarderima s obzirom na propisnost mjerenja drva, na primjeru forvardera Valmet 840.2 utvrđuju gustoću hrasta lužnjaka od 992 do 998 kg/m³ bruto obujma utovarenoga drva, a iskorištenje je poprečnog presjeka utovarnoga prostora imalo vrijednosti: 65 % pri utovaru trupaca i višemetarskog ogrijevnog drva, 72 % pri utovaru višemetarskog ogrijevnog drva, odnosno 75 % pri utovaru trupaca.

Na osnovi izmjere dimenzijskih i masenih značajki forvardera Komatsu 875, može se zaključiti da on udovoljava svim dimenzijskim i masenim zakonitostima konstrukcije ovdobnih forvardera (Horvat i dr. 2004, Nordfjell i dr. 2010, Nordfjell i dr. 2019). Navedeno potvrđuje i Plan raspodjele tereta forvardera Komatsu 875, koji ukazuje da kriteriji preopterećenja prednje i stražnje osovine, preopterećenje pneumatika te rasterećenja prednje osovine ne ograničavaju dosezanje od strane proizvođača deklarirane nosivosti pri izvoženju drva tvrdih listača i četinjača.

Na kraju diskusije, treba istaknuti da konačni sud o nabavci forvardera treba donijeti i na osnovi istraživanja njegove proizvodnosti (Stankić i dr. 2012, Gagliardi i dr. 2020, Borz i dr. 2021, Kymäläinen i dr. 2021, Spinelli i dr. 2021), odnosno troškovnih analiza (Naderializadeh i dr. 2020, Triplat i dr. 2020, Abbas i dr. 2021, Sessions i dr. 2021).

6. UMJESTO ZAKLJUČKA INSTEAD OF CONCLUSION

U prospektnim materijalima proizvođača forvardera dostupno je svega nekoliko njihovih dimenzijskih i masenih značajki (u odnosu na one koje poznaje norma ISO 13860 ili neke druge značajke koje dodatno opisuju prohodnost šumskih vozila), a na osnovi kojih krajnji korisnici donose sud pri odabiru/nabavci vozila. Vrlo često je prilikom nabavke forvardera presudna nabavna cijena te uvjeti postprodaje poput dostupnosti servisa, odnosno cijena i brzina isporuke rezervnih dijelova.

Teško je reći koje su dimenzijske i masene značajke ključne za odabir/nabavu forvardera, jer su mnoge od njih u međudjelovanju, ali i sve nemaju isto značenje s obzirom na radne uvjete koji prevladavaju na području krajnjega korisnika. Stoga je od proizvođača potrebno zatražiti dodatne dimenzijske i masene pokazatelje forvardera, s obzirom na prevladavajuće terenske i sastojinske čimbenike ciljanoga područja rada krajnjega korisnika.

Na dimenzijskim i masenim značajkama se zasniva i Plan raspodjele tereta forvardera, koji predstavlja jednostavan i brz alat ocjene dobrote konstrukcije forvardera sa ciljem utvrđivanja mogućnosti dosezanja deklarirane nosivosti

forvardera, uz uvažavanje kriterija preopterećenja prednje i stražnje osovine te rasterećenja prednje osovine. Navedeno osigurava sigurno i djelotvorno izvoženje drva forvarderom, ali i otklanjanja mogućih oštećenja forvardera u njihovome uporabnom ili amortizacijskom razdoblju. Njemački KWF, određuje za forvarder ukupno vrijeme uporabe 10 godina ili 16.000 (14.000 – 18.000) pogonskih sati, odnosno razdoblje amortizacije od 7 godina ili 11.200 pogonskih sati (Forbig i Büttner 2013).

Zbog sve učestalijeg korištenja forvardera na terenima s određenim stupnjem nagiba, poseban će mjeriteljski izazov predstavljati određivanje točke težišta forvardera sa ciljem modeliranja kretnosti forvardera s obzirom na smjer izvoženja drva i uzdužni nagib terena u svrhu planiranja pridobivanja drva.

ZAHVALA ACKNOWLEDGEMENT

Istraživanje je provedeno u sklopu projekta »Očuvanje sastojina poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) u Republici Hrvatskoj s naglaskom na biotske štetne čimbenike« koji financira Ministarstvo poljoprivrede Republike Hrvatske iz sredstava naknade za korištenje općekorisnih funkcija šuma (OKFŠ) za financiranje znanstvenog rada iz područja šumarstva.

Suautori se zahvaljuju djelatnicima Radne jedinice Prijevoz, mehanizacija i graditeljstvo Uprave šuma podružnice Bjeļovar, bez čije se susretljivosti te pomoći ovo istraživanje ne bi moglo provesti.

7. LITERATURA REFERENCES

- Abbas, D., F., Di Fulvio, E., Marchi, R., Spinelli, M., Schmidt, T., Bilek, H.S., Han, 2021: A Proposal for an Integrated Methodological and Scientific Approach to Cost Used Forestry Machines. Croat. j. for. eng. 42(1): 63–75. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2021.849>
- Athanassiadis, D., G., Lidestav, I., Wästerlund, 1999: Fuel, hydraulic oil and lubricant consumption in swedish mechanized harvesting operations, 1996. J For Eng 10(1): 59–66.
- Borz, S.A., M.V., Marcu, M.F., Cataldo, 2021: Evaluation of an HSM 208F 14 tone HVT-R2 Forwarder Prototype under Conditions of Steep-Terrain Low-Access Forests. Croat. j. for. eng. 42(2): 185–200. doi: 10.5552/crojfe.2021.775
- Drushka, K., H., Kontinen, 1997: Tracks in the Forest: The Evolution in Logging Machinery. Timberjack Group, Helsinki, 1–254.
- Đuka, A., T., Pentek, D., Horvat, T., Poršinsky, 2016: Modelling of Downhill Timber Skidding: Bigger Load – Bigger Slope. Croat. j. for. eng. 37(1): 139–150.
- Đuka, A., T., Poršinsky, T., Pentek, Z., Pandur, D., Vusić, I., Papa, 2018: Mobility Range of a Cable Skidder for Timber Extraction

- on Sloped Terrain. *Forests* 9(9): 526. <https://doi.org/10.3390/f9090526>
- Forbig, A., Büttner, I., 2013: Forstmaschinen vorauskalkulieren. *KWF Merkblatt* Nr. 17/2013: 1–35.
 - Gagliardi, K., S., Ackerman, P., Ackerman, 2020: Multi-Product Forwarder-Based Timber Extraction: Time Consumption and Productivity Analysis of Two Forwarder Models Over Multiple Products and Extraction Distances. *Croat. j. for. eng.* 41(2): 231–242. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.736>
 - Hauck, B., 2002: Volle Ladung in der Prüfarbeit! *KWF Forsttechnische Informationen* 1+2: 1–3.
 - Holzfeind, T., R., Visser, W., Chung, F., Holzleitner, G., Erber, 2020: Development and Benefits of Winch-Assist Harvesting. *Current Forestry Reports* 6: 201–209.
 - Horvat, D., 1993A: Prilog proučavanju prohodnosti vozila na šumskom tlu. *Disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu*, 1–234.
 - Horvat, D., 1993B: Prilog poznavanju dinamike bogie sustava kotača (A Contribution to comprehension of the bogie wheel system dynamics). *Meh. šumar.* 18(3): 107–120.
 - Horvat, D., T., Poršinsky A., Krpan, T., Pentek, M., Šušnjar, 2004: Ocjena pogodnosti forvardera morfološkom raščlambom (Suitability Evaluation of Forwarders Based on Morphological Analysis). *Strojarstvo* 46(4–6): 149–160.
 - ISO 6814, 2009: Machinery for forestry – Mobile and self-propelled machinery – Terms, definitions and classification, 1–7.
 - ISO 13860, 2016: Machinery for forestry – Forwarders – Terms, definitions and commercial specifications, 1–12.
 - Ireland, D., 2006: Traction Aids in Forestry. *Forestry Commission, Technical Note* 13: 1–8.
 - Kymäläinen, H., J., Laitila, K., Väättäinen, J., Malinen, 2021: Workability and Well-Being at Work Among Cut-To-Length Forest Machine Operators. *Croat. j. for. eng.* 42(3): 405–417. doi: 10.5552/crojfe.2021.874
 - Makkonen, I., 1989: Choosing a wheeled shortwood forwarder. *For. Eng. Res. Inst. Can. (FERIC), Pointe-Claire, Que. Tech. Note* TN-136, 1–12.
 - Marčeta, D., V., Petković, D., Ljubojević, I., Potočnik, 2020: Harvesting System Suitability as Decision Support in Selection Cutting Forest Management in Northwest Bosnia and Herzegovina. *Croat. j. for. eng.* 41(2): 251–265. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.744>
 - Mederski, P.S., S.A., Borz, A., Đuka, A., Lazdiņš, 2021: Challenges in Forestry and Forest Engineering – Case Studies from Four Countries in East Europe. *Croat. j. for. eng.* 42(1): 117–134. doi: 10.5552/crojfe.2021.838
 - Mellgren, P. G., 1980: Terrain Classification for Canadian Forestry. *Canadian Pulp and Paper Association*, 1–13.
 - Naderalizadeh, N., K.A., Crowe, R., Pulkki, 2020: On the Importance of Integrating Transportation Costs into the Tactical Forest Harvest Scheduling Model. *Croat. j. for. eng.* 41(2): 267–276. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.624>
 - Nokian, 2021: Technical Manual – Heavy Tyres. *Nokian Tyres*, 1–468.
 - Nordfjell T, R., Björheden, M., Thor, I., Wästerlund, 2010: Changes in technical performance, mechanical availability and prices of machines used in forest operations in Sweden from 1985 to 2010. *Scand J For Res.* 25(4): 382–389.
 - Nordfjell, T., E., Öhman, O., Lindroos, B., Ager, 2019: The technical development of forwarders in Sweden between 1962 and 2012 and of sales between 1975 and 2017. *International Journal of Forest Engineering* 30(1): 1–13. <https://doi.org/10.1080/14942119.2019.1591074>
 - Pandur, Z., M., Šušnjar, M., Bačić, 2021: Battery Technology – Use in Forestry. *Croat. j. for. eng.* 42(1): 135–148. doi: 10.5552/crojfe.2021.798
 - Partington, M., M., Ryans, 2010: Understanding the nominal ground pressure of forestry equipment. *FPInnovations*, 12(5): 1–8.
 - Piskunov, M., 2021: Investigation of Structure of Technology Cycle Time of Hydraulic Manipulators in the Process of Loading Forwarders with Logs. *Croat. j. for. eng.* 42(3): 391–403. doi: 10.5552/crojfe.2021.863
 - Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710 pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske. *Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, 1–170.
 - Poršinsky, T., D., Horvat, 2005: Indeks kotača kao parametar procjene okolišne prihvatljivosti vozila za privlačenje drva (Wheel Numeric as Parameter for Assessing Environmental Acceptability of Vehicles for Timber Extraction). *Nova meh. šumar.* 26: 25–38.
 - Poršinsky, T., I., Stankić, A., Bosner, 2011: Ecoefficient Timber Forwarding Based on Nominal Ground Pressure Analysis. *Croat. j. for. eng.* 31(1): 345–356.
 - Poršinsky, T., A., Đuka, O., Busić, 2014: Utjecaj propisnosti mjerenja oblovine na transport drva (Influence of Prescribed Method of Roundwood Scaling on Timber Transport). *Nova meh. šumar.* 35: 1–9.
 - Poršinsky, T., M., Moro, A., Đuka, 2016: Kutovi i polumjeri prohodnosti skidera s vitlom (Maneuverability Characteristics of Cable Skidder). *Šum. list* 140(5–6): 259–272.
 - Poršinsky, T., J., Matas, D., Horvat, A., Đuka, 2020: Pneumatici kotača šumskih vozila (Tyres of Forestry Vehicles). *Šum. list* 144(9–10): 509–522.
 - Poršinsky, T., V., Kajgana, Ž., Tomašić, A., Đuka, 2021: Granični nagib kretnosti skidera s vitlom temeljem vučne značajke vozila (Gradeability of the Cable Skidder Based on Traction Performance). *Šum. list* 145(5–6): 211–224. <https://dx.doi.org/10.31298/sl.145.5-6.1>
 - Ring, E., M., Andersson, L., Hansson, G., Jansson, L., Högbom, 2021: Logging Mats and Logging Residue as Ground Protection during Forwarder Traffic along Till Hillslopes. *Croat. j. for. eng.* 42(3): 445–462. doi: 10.5552/crojfe.2021.875
 - Sessions, J., M., Berry, H.-S., Han, 2021: Machine Rate Estimates and Equipment Utilization – A Modified Approach. *Croat. j. for. eng.* 42(3): 437–443. doi: 10.5552/crojfe.2021.1026
 - Sever, S., 1990: Skidder traction factors. *Journal of Forest Engineering* 1(2): 15–23.
 - Sinković, T., 1991: Neka fizička svojstva jelovine iz Gorskog kotara. *Drvena industrija* 42(1–2): 17–21.
 - Slabak, M., 1983: Forvarderi u svijetu i kod nas. *Zbornik radova »Mehanizacija šumarstva u teoriji i praksi«, Opatija*, 351–361.
 - Spinelli, R., N., Magagnotti, A., Assirelli, J.P., Martins, M., Mihelič, 2021: A Long-Term Follow-Up Study of Slash Bundling

in Fast-Growing Eucalypt Plantations. *Forests* 12: 1548. <https://doi.org/10.3390/f12111548>

- Stankić, I., Poršinsky, T., Tomašić, Ž., Tonković, I., Frntić, M., 2012: Productivity Models for Operational Planning of Timber Forwarding in Croatia. *Croat. j. for. eng.* 33(1): 61–78.
- Starke, M., C., Derron, F., Heubaum, M., Ziesak, 2020: Rut Depth Evaluation of a Triple-Bogie System for Forwarders – Field Trials with TLS Data Support. *Sustainability* 12(16): 6412. <https://doi.org/10.3390/su12166412>
- Triplat, M., N., Krajnc, 2020: Assessment of Costs in Harvesting Systems Using WoodChainManager Web-based Tool. *Croat. j. for. eng.* 41(1): 49–57. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.58>
- Weise, G., 2002: Was kann der Rückezug wirklich? *KWF Forst-technische Informationen* 1+2: 4–6.
- Weise, G., 2003A: Load Distribution Plans for Forwarders. *Agrartechnische Forschung* 9(1): 7–10.
- Weise, G., 2003B: Load Distribution Plans for Forwarders. *Landtechnik* 58(1): 30–31.
- Uusitalo, J., 2010: Introduction to forest operations and technology. *JVP Forest Systems*, 1–287.
- www.nafaxles.com
- *Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama (NN 85/16, 24/17, 70/19, 60/20)

SUMMARY

Timber forwarding is characterised by carrying timber clear of the ground and loading timber assortments by a hydraulic crane, which results in the requirement for a parallel network of secondary forest infrastructure network where the distance between trails equals to double span of the hydraulic crane.

The paper presents 1) dimensional and mass characteristics of forwarders considering ISO 13860 (2016) standard and 2) forwarder load distribution plan developed by the German Kuratorium für Wadarbeit und Forsttechnik (KWF) to assist forestry experts in the purchase and use of these forest vehicles.

The heavy eight-wheel forwarder Komatsu 875 was selected as an example. Its dimensional and mass characteristics are shown based on measurements and the load distribution plan, aiming to evaluate the vehicle.

A critical comment is also given regarding the ISO 13860 (2016) standard due to the lack of some dimensional (length and height of the front and rear overhangs of forwarders, approach and departure angles and clearance radii) and mass (position of the centre of gravity point) of forwarders. These characteristics describe and serve to model its mobility during timber forwarding concerning the direction and longitudinal slope of the terrain. In addition, the ISO 13860 (2016) standard does not explicitly mention any indicator of environmental suitability (e.g. nominal ground pressure).

KEY WORDS: mobility and performance characteristics of forwarders, ISO 13860 (2016), load distribution