

# Indeks kotača kao parametar procjene okolišne prihvatljivosti vozila za privlačenje drva

Tomislav Poršinsky, Dubravko Horvat

## Nacrtak – Abstract

U radu se prikazuje istraživanje mogućnosti uporabe indeksa kotača kao zadovoljavajućega parametra koji opisuje okolišnu prihvatljivost međudjelovanja kotača vozila i tla pri privlačenju drva po šumskom bespuću.

Indeks je kotača bezdimenzijski parametar (faktor) koji opisuje međudjelovanje opterećenoga kotača i tla, a čija je bit da se iz geometrijskih veličina vozila, rasporeda mase, dimenzija i krutosti pneumatika proračunom dobije broj kojim se procjenjuje sposobnost vozila da prođe po nekom terenu bez obzira na posljedice. Jednostaonim terenskim mjerenjem konusnoga indeksa tla i primjenom poluempirijskih izraza za dodirni tlak taj se parametar može lako izmjeriti/izračunati.

Raščlamba odnosa indeksa kotača i dubine kolotraga, koja je lako mjerljiva i najuočljivija posljedica negativnoga utjecaja vozila na tlo, pokazala je da je indeks kotača dovoljno dobar parametar i za njezinu procjenu, pa stoga i za ocjenu okolišne prihvatljivosti.

Radi lakšega poimanja problema osnovne sastavnice indeksa kotača i modeli raznih autora kojima se one izračunavaju prikazani su na primjeru 17-tonskoga forvardera Timberjack 1710B.

Nedostatak primjene poluempirijskih izraza za tlak na dodiru kotača i tla te nedovoljna istraženost dinamičke raspodjele vertikalnih opterećenja šumskoga vozila u različitim terenskim uvjetima, pogotovo u slučaju vuče drva po tlu, zahtijeva daljnja istraživanja u ovom smjeru.

**Ključne riječi:** vozila za privlačenje drva, indeks kotača, okolišna prihvatljivost

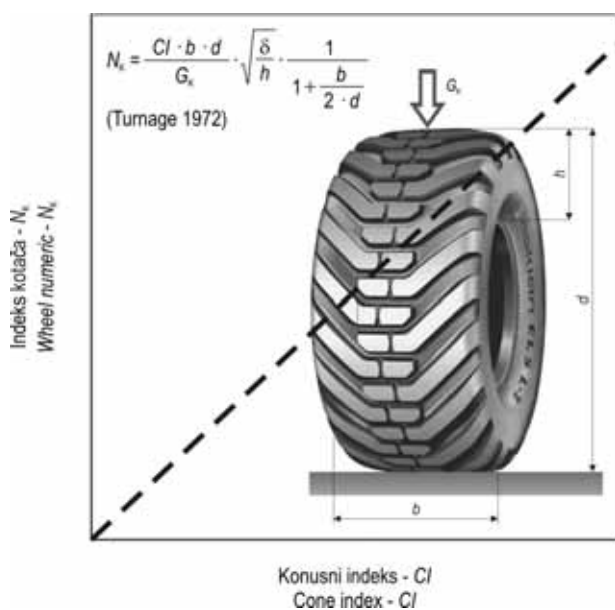
## 1. Uvod i problem istraživanja – Introduction and scope of research

Pri ocjenjivanju okolišne pogodnosti šumskih vozila jedan je od kriterija gaženje i zbijanje šumskoga tla. Wästerlund (1994) pojam prometnosti tla (*soil trafficability*) određuje kao »sposobnost tla da podnese prolaz vozila«. Bekker (1960) smatra da se prometnost tla ne može odrediti samo nosivošću (*bearing capacity*) i vučnim svojstvima tla (*traction capacity*) odvojeno od fizikalno-geometrijskih svojstava vozila. On dalje navodi da prometnost tla nema opći fizikalni smisao ako ne sadrži pokazatelje i tla i vozila.

Ovakav pristup proučavanju sustava vozilo – teren u potpunosti odgovara pojmu kretnosti vozila kako ga je definirao Horvat (1993) u traženju pojma koji bi opisivao djelovanje vozila na tlo. Horvat smatra

da do sada uobičajeno upotrebljavani izrazi poput prohodnost vozila, indeks mobilnosti vozila, prometanje vozila i sl. nedovoljno opisuju okolišnu sastavnicu sustava vozilo – tlo. Iza tih se izraza obično kriju faktori/indeksi koji se računaju poluempirijskim putem, čija je bit da se iz geometrijskih veličina vozila, rasporeda mase, dimenzija i krutosti pneumatika proračunom dobije broj kojim se procjenjuje sposobnost vozila da prođe po nekom terenu bez obzira na posljedice.

Razvojem empirijske metode proučavanja složenoga sustava kotač – tlo, odnosno vozilo – teren, u literaturi poznate kao metoda WES (*Waterways Experimentation Station, US Army Corps of Engineering Research*), za povezivanje vučnih značajki vozila i deformacije tla s nosivosti tla upotrebljava se – indeks kotača (slika 1).



**Slika 1.** Ovisnost indeksa kotača o konusnom indeksu tla  
**Figure 1** - Wheel numeric vs. cone index

Indeks je kotača (*wheel numeric*) bezdimenzijski parametar (faktor) koji opisuje međudjelovanje opterećenoga kotača i tla. Taj je parametar određen odnosom dodirnoga tlaka na mjestu dodira kotača i tla i nosivosti tla mjerene penetrometrom.

Izračun indeksa kotača temelji se na poznavanju opterećenja kotača, dimenzija gume kotača (promjer,

širina, visina profila, progib) te na otporu tla prodiranju konusa na određenoj dubini – konusnom indeksu. Prema Saarihtiju (2002C) na slici 1 prikazan je jedan od najčešće primjenjivanih analitičkih izraza za izračun indeksa kotača – Tournageov (1972).

U literaturi se susreće nekoliko izraza za izračun indeksa kotača, koje je razvilo više autora. Većina je izraza namijenjena primjeni na glejnim tlima iz razloga što je problem kretnosti vozila povezan s vlažnim koherentnim tlom (tablica 1). Iz pregleda indeksa kotača prema autorima vidljivo je da se oni međusobno razlikuju s obzirom na utjecaj progiba i širine opterećene gume kotača na dodirnu površinu gume i tla.

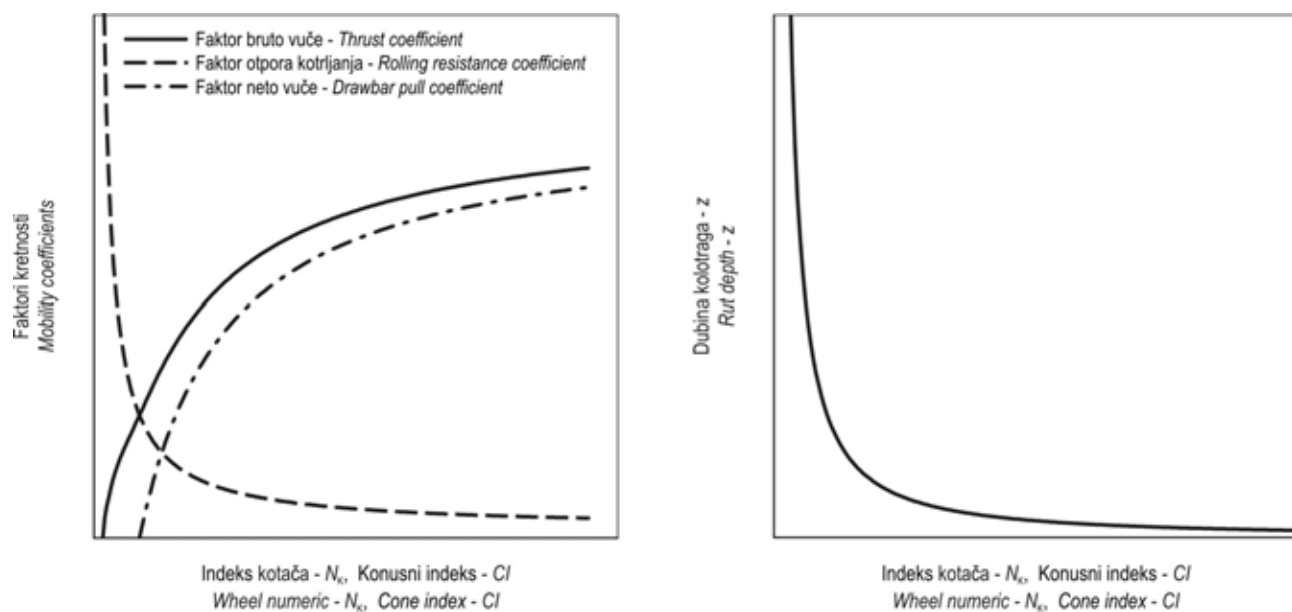
U literaturi najčešće korišteni spomenuti indeks kotača sadrži u sebi faktor odnosa dodirnoga tlaka krutoga kotača i nosivosti tla te faktore utjecaja progiba i širine gume opterećenoga kotača.

Na slici 2 zapaža se da povećanje indeksa kotača odnosno konusnoga indeksa tla u slučaju poznatoga kotača određenoga vertikalnoga opterećenja znači i povoljnije vučne značajke (veći faktori bruto i neto vuče te manji faktor kotrljanja) i manji kolotrag. Zbog te svoje kompleksnosti, odnosno sadržaja i vučnih i okolišnih značajki, indeks se kotača čini pogodnim parametrom za procjenu svekolike pogodnosti šumskih vozila.

Cilj je ovoga rada kritički osvrt na indeks kotača i na problem izmjere njegovih osnovnih sastavnica.

**Tablica 1.** Pregled najčešće primjenjivanih obrazaca izračuna indeksa kotača  
**Table 1** - Review of formulas commonly used for calculating wheel numeric

Opći izraz - General form $N_k = \frac{CI}{p} = \frac{CI}{\frac{G_k}{A}} = \frac{CI \cdot A}{G_k}$		Kazalo oznaka - Symbols:  $N_k$ - indeks kotača ( <i>wheel numeric</i> ) $CI$ - konusni indeks ( <i>cone index</i> ), kPa $p$ - dodirni tlak ( <i>contact pressure</i> ), kPa $G_k$ - opterećenje kotača ( <i>wheel load</i> ), kN $A$ - dodirna površina ( <i>contact area</i> ), m <sup>2</sup> $b$ - širina gume ( <i>tyre width</i> ), m $d$ - promjer gume ( <i>tyre diameter</i> ), m $h$ - visina profila gume ( <i>section height</i> ), m $\delta$ - progib gume ( <i>tyre deflection</i> ), m
Freitag (1965) $N_k = \frac{CI \cdot b \cdot d}{G_k} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{h}}$	Wismer i Luth (1973) $N_k = \frac{CI \cdot b \cdot d}{G_k}$	
Turnage (1972) $N_k = \frac{CI \cdot b \cdot d}{G_k} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{h}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{b}{2 \cdot d}}$	Brixius (1987) $N_k = \frac{CI \cdot b \cdot d}{G_k} \cdot \left( \frac{1 + 5 \cdot \frac{\delta}{h}}{1 + 3 \cdot \frac{b}{d}} \right)$	
Rowland (1972) $N_k = \frac{CI \cdot b^{0,85} \cdot d^{1,15}}{G_k} \cdot \left( \frac{\delta}{h} \right)^{0,5}$	Maclairin (1997) $N_k = \frac{CI \cdot b^{0,80} \cdot d^{0,8} \cdot \delta^{0,4}}{G_k}$	Izvor - Source: Saarihtii (2002c)



**Slika 2.** Ovisnost faktora kretivosti i dubine kolotruga o indeksu kotača i konusnom indeksu tla  
**Figure 2** - Dependence of mobility coefficients and rut depth on wheel numeric and cone index

Radi lakšega poimanja problema osnovne sastavnice indeksa kotača i modeli stranih autora kojima se one izračunavaju prikazat će se na primjeru 17-tonskog forvardera Timberjack 1710B.

## 2. Nosivost tla – Soil strength

Za određivanje nosivosti tla pri rješavanju složena problema sustava kotač – tlo, odnosno vozilo – teren ili transport – okoliš, u teramehanici su prisutna tri osnovna metodološka pristupa poznatija kao: analitička metoda, numerička i empirijska metoda (Baladi 1987, Horvat 1993, Saarialhti 2002a).

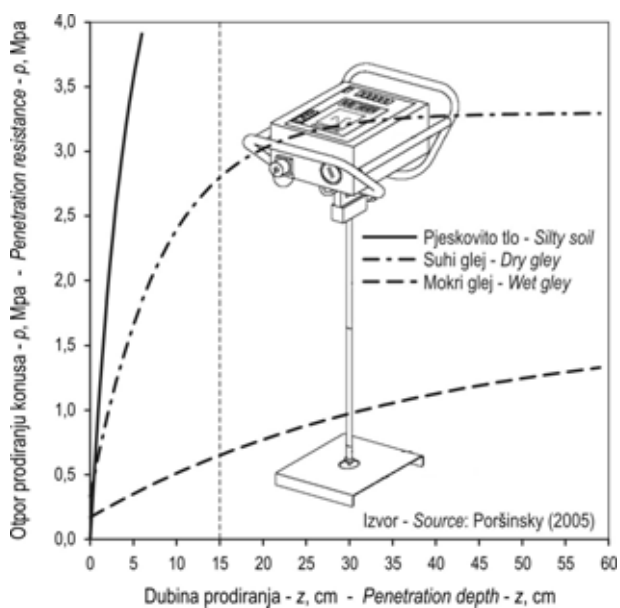
Od svih navedenih metoda određivanja nosivosti tla empirijska metoda, zbog svoje jednostavnosti, postaje najprihvatljivija za uporabu u praktičnom šumarstvu. Empirijska metoda zahtijeva osnovne podatke o tlu (granulometrijski sastav, mokrina), opis terena (nagib, vegetacija) i penetracijski test.

Kao kvantitativni pokazatelj mehaničkih značajki tla, a ponajprije za procjenu čvrstoće (nosivosti) tla, često se upotrebljava otpor prodiranja konusa u tlo, koji je određen kao odnos sile potrebne za utiskivanje konusa u tlo i površine baze konusa. Mjerni rezultat iskazuje se SI jedinicama za tlak (kPa ili MPa), iako se često u literaturi susreću stare anglo-američke jedinice (psi, bar). Mjerila za određivanje prodirne značajke tla nazivaju se penetrometri.

Otpor prodiranja konusa mijenja se s dubinom prodiranja u tlo. Krivulja prodirne značajke tla sadrži detaljne podatke o procjeni čvrstoće tla u ovisnosti o dubini prodiranja konusa, prouzročene uslojenošću

– proslojcima (pod)horizontata određene vrste tla. Na izmjerene vrijednosti otpora prodiranja utječu i značajke korištenih penetrometara: dimenzije i kut konusa, materijal od kojih je konus izrađen, ali i brzina utiskivanja konusa u tlo. Utjecaj granulometrijskoga sastava i trenutne mokrine tla na tijek prodirnih značajki tla prikazuje slika 3.

U praktičnoj primjeni upotrebljava se normirana vrijednost mjerenja otpora prodiranja konusa (ASAE



**Slika 3.** Penetracijske značajke  
**Figure 3** - Penetration curves

**Tablica 2.** Raščlamba razreda čvrstoće tla prema projektu EcoWood (Owende i dr. 2002, Ward i Owende 2003)

**Table 2** - EcoWood soil strength classification (Owende et al. 2002, Ward & Owende 2003)

Čvrstoća (nosivost) tla Soil strength		Parametri čvrstoće tla Soil strength parameters			Dopušteno opterećenje tla Allowed soil bearing capacity
		Konusni indeks	Modul elastičnosti	Otpor tla na smicanje	
Razredi	Opis čvrstoće tla	Cone Index	Modul E	Shear strength	NGP, kPa
Classes	Soil strength descriptions	CI, kPa	E, MPa	$\tau$ , kPa	NGP, kPa
1	Čvrsto tlo Strong soil	> 500	> 60	> 60	> 80
	Osrednje čvrsto tlo Average soil	300 - 500	20 - 60	20 - 60	60 - 80
3	Meko tlo Soft soil	< 300	< 20	< 20	40 - 60
	Vrlo meko tlo Very soft soil	< 300	< 20	< 20	< 40

EP542 1999) na dubini tla od 15 cm nazvana konusni indeks (CI). Ista norma preporučuje primjenu konusnoga indeksa pri procjeni prohodnosti terena i kretnosti vozila te kao parametar koji služi u modelima WES vučnih značajki vozila.

Pogodnost empirijske metode određivanja nosivosti tla potvrđuje i razredba terena za izvođenje šumskih radova prema projektu EcoWood, koja poklanja posebnu pažnju okolišno djelotvornomu pridobivanju drva na osjetljivim tlima. Ta razredba terena daje prvu raščlambu razreda nosivosti šumskoga tla na osnovi mjernih parametara čvrstoće tla i dopuštenoga opterećenja vozila na tlo (tablica 2). Pri tome su konusni indeks, modul elastičnosti tla i posmična čvrstoća tla zbog svoje lake mjerljivosti prenosnim uređajima na terenu odabrani za parametre procjene razreda čvrstoće tla. Također ova opisna razredba nosivosti šumskoga tla preporučuje uporabu izraza nominalnoga tlaka vozila na podlogu (Mellgren 1980) radi određivanja pogodnosti primjene pojedinih vrsta i tipova vozila za privlačenje drva ovisno o граничном dopuštenom dodirnom tlaku na tlo pojedinoga razreda čvrstoće tla (Ward i dr. 2003).

### 3. Dodirni tlak – Contact pressure

Dodirni je tlak vozila s tlom omjer težine i površine oslonca vozila s tlom. Dodirni tlak na površini

tla moguće je neposredno mjeriti pomoću mjerila tlaka postavljenih na površinu gume (Horvat 1993). Također je moguće neposredno mjeriti rasprostiranje tlaka u dubinu tla primjenom mjernih pretvornika (dinamometarskih sklopova poznate površine) koji se ukopavaju u tlo na različitim dubinama (Sever i Horvat 1990). Sever i Horvat za nedostatak navedene metode navode spoznaju da se pri ukopavanju krutih kućišta mjernih pretvornika u šumsko tlo narušava njegova prirodna uslojenost i struktura, ali i da se ukopani mjerni sustav u tlu ponaša kao kruti sloj.

Posredna metoda utvrđivanja dodirnoga tlaka (proračun) zasniva se na poznavanju opterećenja pojedinoga kotača vozila, odnosno dodirne površine kotača i tla.

#### 3.1. Opterećenje kotača – Wheel load

Podaci o raspodjeli opterećenja između osovina i kotača vozila za privlačenje drva najčešće nisu neposredno dostupni iz prospektnoga materijala njihovih proizvođača. Izučavanje međudjelovanja vozila i tla nameće potrebu za njihovim poznavanjem, odnosno mjerenjem (slika 4) te izračunavanjem.

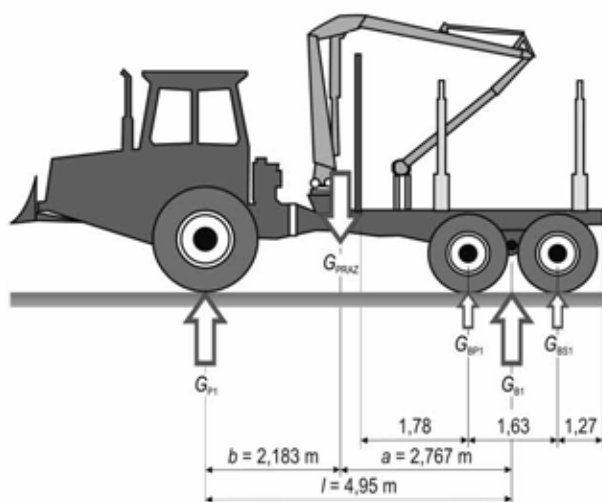
Valja naglasiti da se dinamički raspored opterećenja po mostovima bitno razlikuje za vozila koja privlače drva s jednim krajem oslonjenim na tlo (skideri, nadograđeni poljoprivredni traktori s vitlom) od onih koja voze drvo (forvarderi, traktorske ekipeže).

Zbog veće složenosti opterećenja pogonskih mostova skidera uzrokovanoga načinom vezanja tereta i većom raznolikošću terena zbog raznih načina gradnje traktorskih vlaka, neravnina i nagiba u tom se slučaju (Šušnjar 2005) opravdano može govoriti o sustavu vozilo – teret – teren. Iz tih je razloga za ovu raščlambu odabran forvarder kod kojega je dinamička raspodjela vertikalnih opterećenja nešto jednostavnija – kretanje pretežno po ravnom terenu te



**Slika 4.** Mjerni lanac - **Figure 4** - Measurement chain

A) Neopterećeni forvarder Timberjack 1710B  
Unloaded forwarder Timberjack 1710B



Određivanje horizontalne udaljenosti težišta od prednje, odnosno stražnje osovine forvardera

Rezultati vaganja (Horvat i dr., 1999):

Težina neopterećenog vozila  $G_{\text{PRAZ}} = 179,6 \text{ kN}$  (18304 kg)

Opterećenje prednje osovine  $G_{P1} = 100,4 \text{ kN}$  (10232 kg)

Opterećenje stražnje (bogi) osovine  $G_{B1} = 79,2 \text{ kN}$  (8072 kg)

Opterećenje prednje osovine bogija  $G_{BP1} = 39,2 \text{ kN}$  (3994 kg)

Opterećenje stražnje osovine bogija  $G_{BS1} = 40,0 \text{ kN}$  (4078 kg)

zbog  $G_{BP1} \approx G_{BS1}$  pretpostavlja se da je  $G_{BP1} = G_{BS1} = G_{B1}/2$

Iz uvjeta  $G_{P1} + G_{B1} = G_{\text{PRAZ}}$  i  $l = a + b$  te uz postavljanje jednadžbe momenata oko prednje osovine  $S M_a = 0$

$$G_{\text{PRAZ}} \cdot b - G_{B1} \cdot l = 0$$

$$G_{\text{PRAZ}} \cdot b = G_{B1} \cdot l$$

slijedi da je:

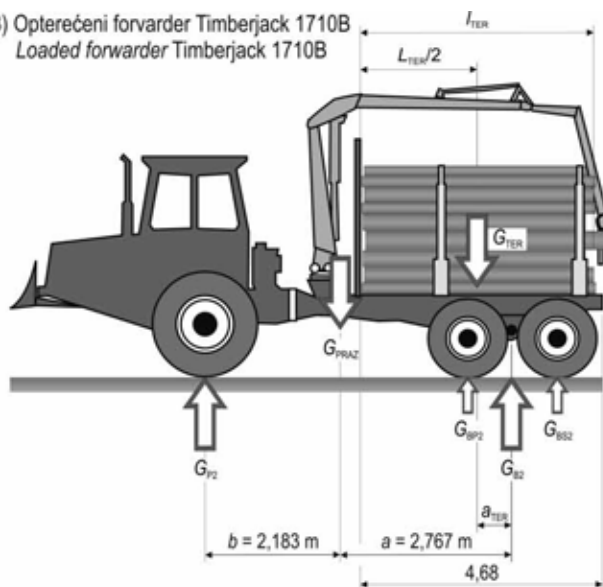
Udaljenost između položaja točke težišta i prednje osovine

$$b = (G_{B1} \cdot l) / G_{\text{PRAZ}} \text{ te}$$

Udaljenost između položaja točke težišta i stražnje osovine

$$a = l - b$$

B) Opterećeni forvarder Timberjack 1710B  
Loaded forwarder Timberjack 1710B



Određivanje osovinskih opterećenja za opterećeni forvarder uz ograničenja  $G_{\text{TER}} < 17\,000 \text{ kg}$  i  $l_{\text{TER}} < 6 \text{ m}$

Pretpostavke:

a) tovar je forvardera (oblo drvo) pravilna prizma težine ( $G_{\text{TER}}$ ) i duljine ( $l_{\text{TER}}$ ) kojoj je udaljenost težišta od stražnje osovine

$$|a_{\text{TER}}| = [4,68 - (1,63/2) - 1,27] - l_{\text{TER}}/2$$

b) opterećenje je prednjeg i stražnjeg bogija stražnje osovine jednako, tj.  $G_{BP2} = G_{BS2} = G_{B2}/2$

Iz uvjeta  $G_{P2} + G_{B2} = G_{\text{PRAZ}} + G_{\text{TER}}$  te uz postavljanje jednadžbe momenata oko stražnje osovine  $S M_a = 0$

$$G_{\text{PRAZ}} \cdot a \pm G_{\text{TER}} \cdot a_{\text{TER}} - G_{P2} \cdot l = 0$$

$$G_{\text{PRAZ}} \cdot a \pm G_{\text{TER}} \cdot a_{\text{TER}} = G_{P2} \cdot l$$

slijedi da je:

$$\text{Opterećenje prednje osovine } G_{P2} = (G_{\text{PRAZ}} \cdot a \pm G_{\text{TER}} \cdot a_{\text{TER}}) / l$$

$$\text{Opterećenje stražnje osovine } G_{B2} = G_{\text{PRAZ}} + G_{\text{TER}} - G_{P2}$$

Napomena - moment tereta oko stražnje osovine poprima

smjer  $+ G_{\text{TER}} \cdot a_{\text{TER}}$  u slučaju  $l_{\text{TER}} < 5,2 \text{ m}$  odnosno,

$- G_{\text{TER}} \cdot a_{\text{TER}}$  u slučaju  $5,2 \text{ m} < l_{\text{TER}} < 6 \text{ m}$

**Slika 5.** Teorijski pristup proračuna osovinskih opterećenja natovarenoga forvardera

**Figure 5** - Theoretical approach to axle load calculation of loaded forwarder

ovisnost raspodjele opterećenja nekoga forvardera samo o veličini tovara drva te tek djelomično o dobroti njegova slaganja u tovarni prostor.

Koristeći se KWF-ov metodološkim pristupom (Hauck 2002, Weise 2002, Weise i Nick 2003), Poršinsky (2005) na osnovi podataka mjerenja osovinskih opterećenja neopterećenoga forvardera Timberjack 1710B (Horvat i dr. 1999) i izmjerom osnovnih dimenzija vozila izračunava udaljenosti točke težišta od prednje i stražnje osovine neopterećenoga forvardera, odnosno raspodjele osovinskih opterećenja u ovisnosti o masi i dimenzijama natovarene oblovine u tovarni prostor forvardera (slika 5) za slučaj vozila u mirovanju na ravnom terenu.

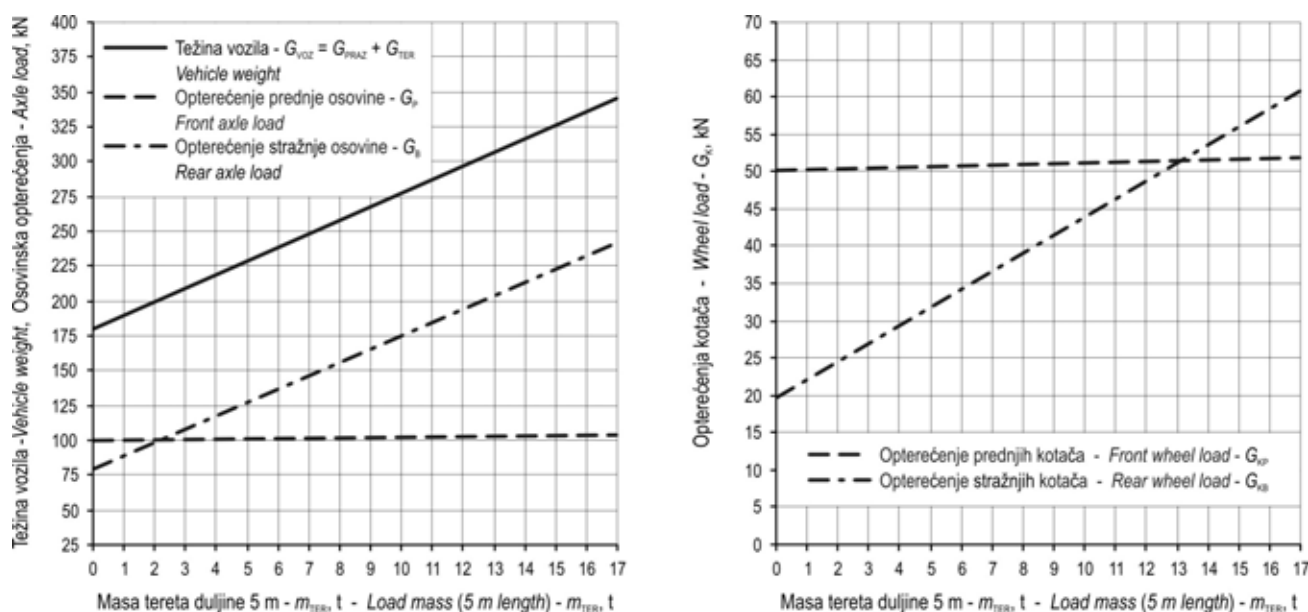
Primjenom jednadžbi prikazanih na slici 5 procijenjena su osovinska opterećenja i opterećenja ko-

tača forvardera Timberjack 1710B ovisno o masi natovarenoga tereta duljine 5 m (slika 6).

Ovisno o težini i duljini natovarene oblovine u tovarni prostor forvardera, rast će ukupna težina vozila. Pri tome je znakovit porast opterećenja na stražnjoj, odnosno beznačajan porast opterećenja na prednjem mostu, što dovodi do premještanja točke težišta od prednje ka stražnjoj osovini. Usporedba krivulje raspodjele osovinskih opterećenja i opterećenja kotača pokazuje iste zakonitosti.

### 3.2. Dodirna površina – Contact area

Oblik i veličina dodirne površine kotača i tla, uz raspodjelu tlaka na njoj, djeluje na raspodjelu naprezanja u tlu. U računanju teorijske raspodjele najčešće se koristi njezin pravokutni, eliptični ili kružni oblik.



Slika 6. Ovisnost osovinskih opterećenja i opterećenja kotača o masi tereta – forvarder Timberjack 1710B

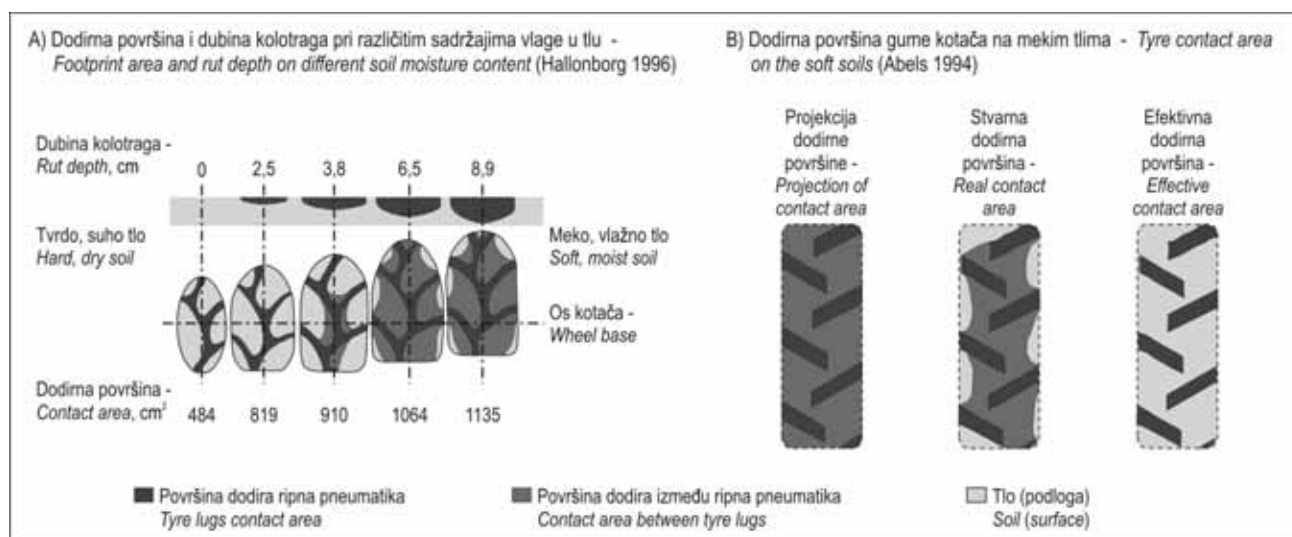
Figure 6 - Dependence of axle and wheel load on loaded mass – Timberjack 1710B Forwarder

Hallonborg (1996) navodi da je sa stajališta kretanja šumskih vozila najzanimljiviji eliptični oblik dodirne površine. Horvat (1993) smatra da razvoj i primjena guma na šumarskim vozilima imaju trend ka vrlo širokim gumama, s odnosom promjera i širine manjim od 2, pa one imaju oblik valjka. Time će, uz primjenu radialnih guma, pravokutni oblik dodirne površine biti sve zanimljiviji za proučavanje kretnosti šumskih vozila.

Abbels (1994) ističe da se stvarni oblik dodirne površine gume razlikuje od teorijskoga (projekcija

površine dodira) na mekim tlima, dok pri kretanju po tvrdom tlu guma dodiruje podlogu samo na reb-rima, što bitno povećava dodirni tlak (slika 7B). Ronai (1983) utvrđuje da je tlak neposredno ispod rebara gume kotača na dodirnoj površini s tlom tri do pet puta veći u odnosu na tlak koji se javlja između rebara. Isti autor navodi da su mjerenja pokazala da se taj utjecaj gubi na dubini između 7 i 10 cm, ovisno o značajkama tla.

Postoje različite metode mjerenja površine dodira, koje se općenito zasnivaju na utiskivanju kotača



Slika 7. Problem dodirne površine gume – Figure 7 - Problem of tyre contact area

**Tablica 3.** Pregled najčešće primijenjenih izraza za izračunavanje dodirnoga tlaka vozila na tlo\*

**Table 3** - Review of formula commonly used for calculating vehicle's contact pressure on soil\*

Nominalni tlak na podlogu - <i>Nominal ground pressure</i> (Mellgren 1980) Nominalni tlak kotača - <i>Wheel nominal ground pressure</i> $NGP = \frac{G_k}{r \cdot b} \Rightarrow A = r \cdot b$
Nominalni tlak polugusjenice - <i>Semitrac nominal ground pressure</i> $NGP = \frac{G_b}{b \cdot (1,25 \cdot r + l)} \Rightarrow A = b \cdot (1,25 \cdot r + l)$
Dodirni tlak kotača - <i>Wheel contact pressure</i> (Dwyer 1984) $p = \frac{G_k}{b \cdot d} \cdot \sqrt{\frac{h}{\delta}} \cdot \left(1 + \frac{b}{2 \cdot d}\right) \Rightarrow A = \frac{b \cdot d}{\sqrt{\frac{h}{\delta}} \cdot \left(1 + \frac{b}{2 \cdot d}\right)}$
Srednja vrijednost najvećega tlaka - <i>Mean maximum pressure</i> (Larminie 1988) Kotačna vozila na glinovitom tlu - <i>Wheeled vehicle on fine-grained cohesive soil</i> $MMP = \frac{K \cdot G_{voz}}{2 \cdot m \cdot b^{0,85} \cdot d^{1,15} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{h}}} \Rightarrow A = b^{0,85} \cdot d^{1,15} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{h}}$
Gusjenična vozila na glinovitom tlu - <i>Tracked vehicle on fine-grained cohesive soil</i> $MMP = \frac{1,26 \cdot G_{voz}}{2 \cdot m \cdot c \cdot b \cdot \sqrt{d \cdot b_p}} \Rightarrow A = b \cdot \sqrt{d \cdot b_p}$
Dodirni tlak kotača - <i>Wheel contact pressure</i> (Silversides i Sundberg 1989) $p = 1,111 \cdot p_i \Rightarrow A = \frac{0,9 \cdot G_k}{p_i}$
Ograničavajući konusni indeks - <i>Limited cone indeks</i> (Maclaurin 1997) Kotačno vozilo - <i>Wheeled vehicle</i> $p = \frac{1,85 \cdot G_{voz}}{2 \cdot m \cdot b^{0,8} \cdot d^{0,8} \cdot d^{0,4}} \Rightarrow A = b^{0,8} \cdot d^{0,8} \cdot \delta^{0,4}$

\* Oznake u skicama slike 8 odgovaraju oznakama u ovoj tablici - *Symbols used in Figure 8 correspond to symbols in this Table*

različitim opterećenjima u tlo poznatih značajki. Pri tome se nakon odizanja kotača rubovi dodira označuju bojom, a dodirna se površina najčešće utvrđuje metodom planimetriranja.

Saarilahti (2002f) pregledom literaturnih navoda prikazuje i uspoređuje tridesetak modela izračuna dodirne površine kotača i tla, od kojih se većina zasniva na teorijskim pristupima prikazanim na slici 8.

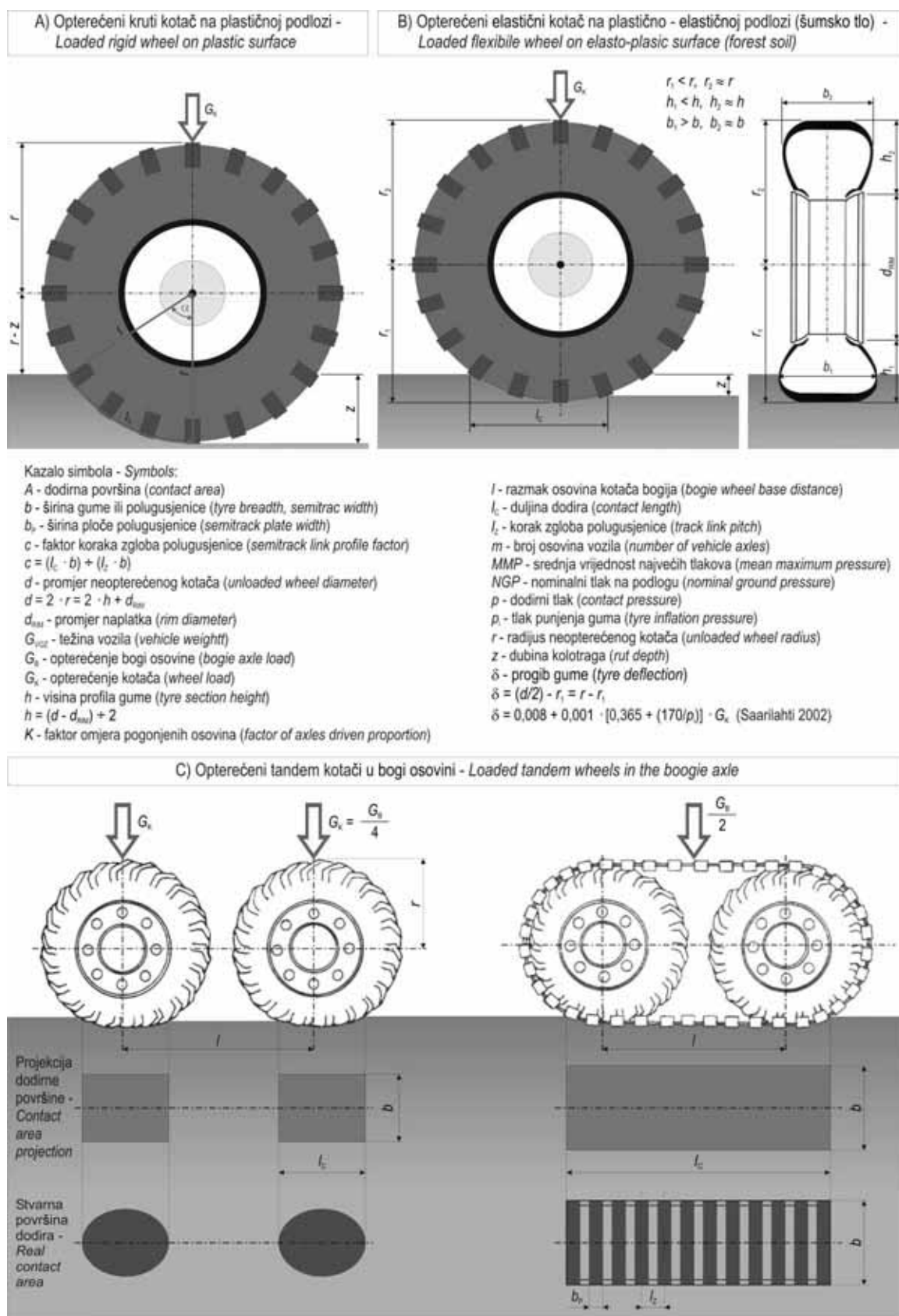
Na slučaju krutoga kotača na plastičnoj podlozi (slika 8A) zasniva se teorija nominalnoga tlaka vozila na podlogu (Mellgren 1980), koja dodirnu površinu

kotača s tlom ( $A$ ) izračunava kao umnožak polumjera kotača ( $r$ ) i širine gume ( $b$ ). Taj pristup poistovjećuje duljinu dodira kotača i plastične podloge ( $l_c$ ) s polumjerom kotača ( $r$ ) uz propadanje kotača u tlo od 30 cm (Saarilahti 2002f) ili 15 % od promjera kotača (Mellgren 1980). Pojednostavljenije računanja dodirne površine, tj. aproksimacija duljine dodira opterećenoga kotača uz dubinu kolotruga od 30 cm s polumjerom kotača, teorijski ograničava široku uporabu ovoga modela. Osnovna zamjerka aproksimacije duljine dodira kotača s tlom leži u tome što je održiva samo, uz navedeno propadanje kotača, u slučaju kada je kut između početka i kraja dodira kotača s podlogom 1 rad ( $\approx 57,3^\circ$ ), a radijus kotača treba iznositi 0,653 m. U stvarnosti je  $NGP$  granični dodirni tlak kotača na tlo, koji on može razviti u uvjetima smanjene nosivosti tla te se ne može rabiti za usporedbu pogodnosti dvaju različitih kotača u različitim uvjetima stanja tla. Prednost je ovoga parametra njegova jednostavnost, a nedostaci su zanemarivanje utjecaja progiba gume opterećenoga kotača pri kretanju, tlaka punjenja guma, neovisnost o značajkama tla te precjenjivanje utjecaja uporabe širih guma (Saarilahti 2002).

Slučaj opterećenoga elastičnoga kotača na elastično-plastičnoj podlozi najbolje opisuje dodir kotača vozila sa šumskim tlom (slika 8B), pri čemu je elastičnost gume i šumskoga tla poseban problem. Elastičnost gume kotača posljedica je deformiranja gume opterećenoga kotača, dok plastično-elastične značajke šumskoga tla ovisе o čimbenicima koji utječu na njegovu nosivost.

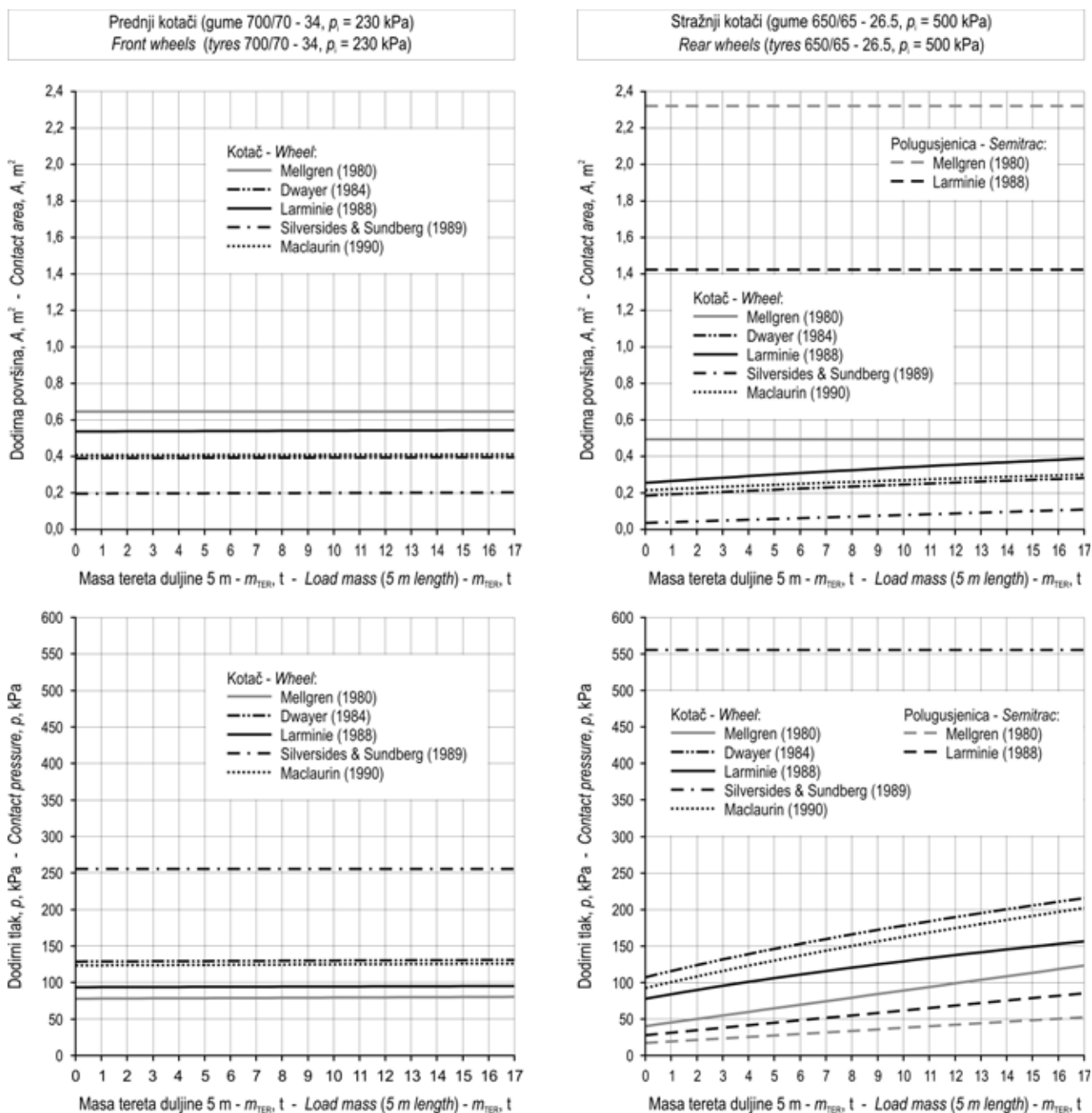
Deformacije elastičnoga opterećenoga kotača očituju se u smanjenju polumjera (progib gume) i visine profila kotača te u povećanju širine kotača u odnosu na opterećeni kruti kotač. Saarilahti (2002f) određuje progib gume kao razliku polumjera neopterećenoga kotača (opterećenoga krutoga kotača) i polumjera opterećenoga elastičnoga kotača. Kad se raspolovi vodoravnom simetralom elastični opterećeni kotač, navedene su deformacije značajno izražene u području donje polovice gume kotača. Pri manjem tlaku punjenja guma zrakom progib utječe na veličinu površine dodira. Punjenjem iznad određenoga kritičnoga tlaka guma se kotača počinje ponašati kao kruti kotač. Pod stalnim tlakom punjenja guma zrakom i stalnim opterećenjem kotača površina dodira ovisi o čimbeniku koji utječe na nosivost koherentnoga tla – trenutnoj vlažnosti.

Saarilahti (2002g) smatra da su opterećenja kotača kod vozila koja se rabe u poljoprivredi ili u vojne svrhe stalne vrijednosti, zbog čega se progib guma kotača najčešće iskazuje kao empirijska stalnica određenoga tipa vozila. Isti autor navodi da se pri privlačenju drva forvarderima progib gume ko-



Slika 8. Teorijski pristupi problemu dodira kotača s tlom - Figure 8 - Theoretical approach to the problem of wheel - soil contact





**Slika 9.** Utjecaj mase utovarene oblovine na dodirnu površinu i tlak forvardera Timberjack 1710B  
**Figure 9.** - Influence of loaded roundwood mass on contact area and contact pressure - Timberjack 1710B Forwarder

tača mijenja ovisno o masi natovarene oblovine u tovarni prostor vozila. Zbog važnosti utjecaja progiba gume na veličinu dodirne površine kotača i tla navedeni autor preporučuje pri izračunu dodirnoga tlaka forvardera na tlo primjenu izrazâ koji u sebi sadrže progib gume. Za izračun vrijednosti progiba forvarderskih guma ističe pogodnost empirijskoga izraza koji za nezavisne varijable koristi opterećenje kotača te tlak punjenja guma zrakom (slika 8).

Radi poboljšanja kretnosti forvardera prilikom prelaženja površinskih prepreka terena te zbog nepovoljne preraspodjele osovinskih opterećenja natovarenoga vozila proizvođači forvardera već dulje vrijeme umjesto klasične osovine konstruiraju vozila s bogi osovinama, kod kojih su po dva kotača smještena jedan blizu drugoga u tzv. tandemskom rasporedu. Šesterokotačni forvarderi izvode se sa stražnjom bogi osovinom vozila, dok je kod osmero-

kotačnih i prednja i stražnja osovina u bogi izvedbi. U slučaju ograničene nosivosti šumske podloge na kotače bogi osovine montiraju se polugusjenice radi poboljšanja kretnosti forvardera te iz okolišnih razloga zbog smanjenja dodirnoga tlaka na šumsko tlo (slika 8C).

U literaturi postoji velik broj istraživanja dodirne površine gume kotača vozila i tla te istraživanja tlaka dodirne površine gume. Stoga su u daljnjem prikazu odabrani izrazi autora koji su najčešće citirani u literaturi koja se bavi problemima kretanja vozila tijekom privlačenja drva (tablica 3).

Poznavanjem morfoloških značajki forvardera Timberjack 1710B, značajki prednjih i stražnjih guma (dimenzije, tlak punjenja zrakom), dimenzija korištene polugusjenice, te podataka procjene raspodjele opterećenja među osovina i kotačima forvardera i progiba guma, ovisno o promjeni mase utovarene oblovine, otvorena je mogućnost izračuna dodirne površine i dodirnoga tlaka ovoga forvardera i tla. Pri tome su primijenjeni stohastički izrazi više navedenih autora (tablica 3) radi procjene pogodnosti primjene pojedinoga izraza pri privlačenju drva forvarderom. Poznavanje promjena dodirnoga tlaka u odnosu na masu utovarene oblovine u forvarder omogućuje izbor vozila za privlačenje drva te planiranje tereta, što u krajnosti treba ukloniti razloge prekomjernoga zbijanja tla (Sever i Horvat 1990).

Analizu utjecaja mase utovarene oblovine u tovarni prostor forvardera na vrijednosti dodirne površine i dodirnoga tlaka ispod prednjih i stražnjih kotača vozila, odnosno ispod polugusjenice kotača stražnje bogi osovine prikazuje slika 9. Ispod prednjih kotača forvardera uočava se neovisnost vrijednosti dodirne površine i dodirnoga tlaka o povećanju mase utovarene oblovine, što je posljedica raspodjele osovinskih opterećenja forvardera Timberjack 1710B. Za razliku od kotača prednje osovine, dodirna površina ispod stražnjih kotača forvardera, izračunata izrazima koji u sebi sadrže progib gume kotača, raste s povećanjem mase utovarene oblovine, dok su vrijednosti dodirne površine polugusjenica stalne. Porast dodirnoga tlaka ispod stražnjih kotača, odnosno polugusjenica, posljedica je potpune preraspodjele opterećenja utovarene oblovine na stražnju osovina forvardera.

Usporednim prikazom izraza za dodirni tlak navedenih autora izračunate su promjene dodirne površine i dodirnoga tlaka, ovisno o masi utovarene oblovine na primjeru forvardera Timberjack 1710B, iz kojih je uočljivo da:

- utjecaj tlaka punjenja guma u modelu Silver-sides i Sundberg (1989) dovodi do podcjenjivanja dodirne površine ispod kotača odnosno precjenjivanja vrijednosti dodirnoga tlaka,

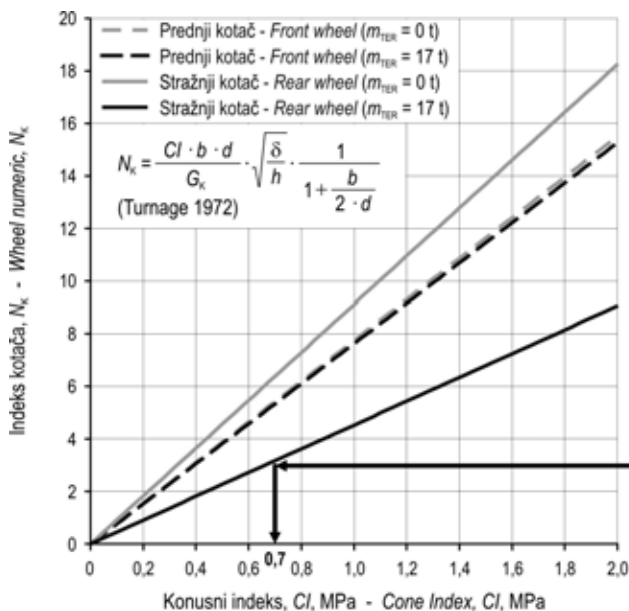
- model nominalnoga tlaka (Mellgren 1980) precjenjuje dodirnu površinu kotača i tla te time podcjenjuje vrijednosti dodirnoga tlaka,
- između modela koji pokazuju krivulje najmanjih i najvećih vrijednosti dodirne površine i dodirnoga tlaka uočava se poklapanje modela Dwayera (1984) i Maclaurina (1997), kojima su bliske srednje vrijednosti najvećega tlaka vozila izračunate Larminievom (1988) modelom,
- kod polugusjenica precjenjuje se dodirna površina primjenom modela nominalnoga tlaka (Mellgren 1980) zbog korištenja površine projekcije polugusjenice na tlo, čime model srednjih vrijednosti najvećega tlaka gusjeničnih vozila (Larminie 1988) postaje pogodniji za uporabu jer dodirnu površinu računa na osnovi širine pojedine ploče polugusjenice, odnosno koraka zgloba gusjenice.

Na osnovi navedenih spoznaja teško je donijeti sud koji je od prikazanih izraza najpogodniji za određivanje dodirnoga tlaka ispod različitih vozničkih sustava strojeva za privlačenje drva. Svakako da izrazi Maclaurina (1990) i Dwajera (1984) zaslužuju mjerne provjere na terenu, a do tada bi se unatoč svim svojim nedostacima proračunsko određivanje dodirnoga tlaka trebalo zasnivati na općeprihvaćenom nominalnom tlaku vozila na tlo, koji je svoje mjesto osigurao i u zadnjim operativnim razredbama terena za izvođenje šumskih radova.

#### 4. Indeks kotača kao parametar okolišne prihvatljivosti – *Wheel numeric as environmental sound timber extraction parameter*

Metoda WES procjene kretnosti vozila zasniva se na indeksu kotača, tj. međudjelovanju jednoga kotača vozila i tla, čime se primjenjivost metode WES ograničava samo na slučaj jednakih dimenzija guma kotača i jednake raspodjele opterećenja po kotačima vozila. U slučaju različitih dimenzija prednjih i stražnjih kotača, odnosno nejednake raspodjele opterećenja između prednje i stražnje osovine vozila, za procjenu kretnosti vozila po metodi WES koristi se tzv. referentni kotač. Saarilahti (2002d) definira referentni kotač kao kotač vozila s najnižom vrijednošću indeksa kotača.

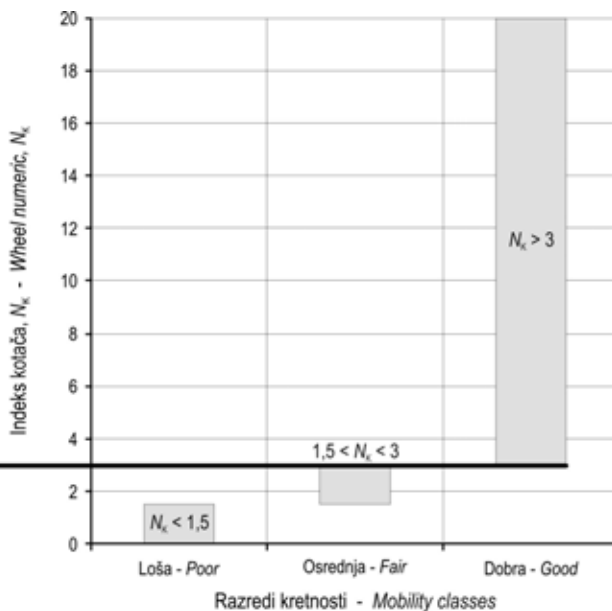
Ovisnost indeksa kotača prednje i stražnje osovine forvardera Timberjack 1710B za slučajeve nenatovarenoga ( $m_T = 0$  t) i nominalno ( $m_T = 17$  t) natovarenoga vozila o konusnom indeksu tla prikazuje slika 10. Analizirajući navedenu ovisnost uočljivo je da su prednji kotači referentni u slučaju nenatovarenoga



**Slika 10.** Ovisnost indeksa kotača forvardera o konusnom indeksu  
**Figure 10.** - Dependence of forwarder wheel numerics on cone index

forvardera, dok kod nominalno natovarenoga referentni postaju stražnji kotači.

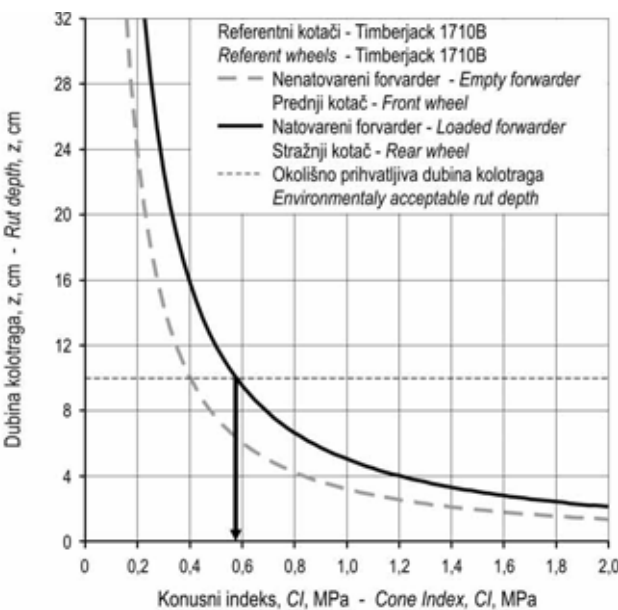
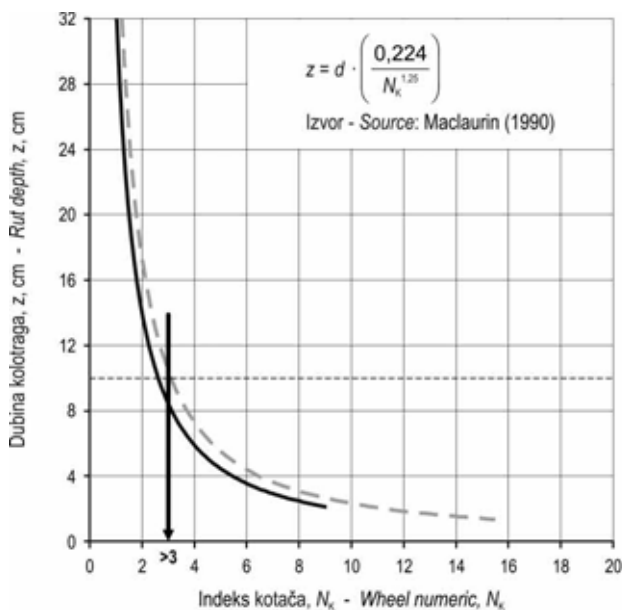
Na osnovi indeksa kotača Saari-lahti (2002e) procjenjuje kakvoću kretnosti vozila, raščlanjujući je u tri razreda (slika 11). Ako se za granični indeks kotača izabere 3 kao najmanja vrijednost dobre kretnosti (slika 11), tada se zapaža da tlo u tom slučaju treba imati konusni indeks od najmanje 0,7 Mpa (slika 10).



**Slika 11.** Razredba kretnosti vozila temeljem indeksa kotača  
**Figure 11.** - Vehicle mobility classification according to wheel numeric

Postavlja se pitanje da li sa stanovišta potrajnoga gospodarenja šumama ovakvo ocjenjivanje kretnosti vozila treba biti smjernica kojoj treba težiti jer jasno ne izražava posljedičnost privlačenja drva.

Međutim, čvrsta povezanost indeksa kotača i dubine kolotraga (slika 2) otvara mogućnost primjene indeksa kotača kao parametra koji opisuje okolišnu prihvatljivost privlačenja drva. Pri tome



**Slika 12.** Utjecaj indeksa kotača i konusnoga indeksa na dubinu kolotraga - referentni kotači forvardera Timberjack 1710B  
**Figure 12** - Influence of wheel numeric and cone index on rut depth - Referent wheels of Timberjack 1710B forwarder

dubinu kolotruga do 10 cm kao okolišno prihvatljivu preporučuje protokol EcoWood za djelotvorno pridobivanje drva na osjetljivim šumskim tlima (Owende i dr. 2002).

Za procjenu okolišne prihvatljivosti privlačenja drva forvarderom Timberjack 1710B upotrijebljen je model ovisnosti dubine kolotruga koji kao ulazni parametar koristi Turnageov indeks kotača (Maclaurin 1990). Ovisnosti su prikazane s obzirom na indeks kotača, odnosno konusni indeks tla (slika 12). Pri tome je kao kriterij okolišne prihvatljivosti postavljeno međudjelovanje vozila i tla (indeks kotača) odnosno nosivost tla (konusni indeks) kod kojih se indeksa sijeku krivulje procjene dubine kolotruga s okolišno referentnom dubinom kolotruga (10 cm).

Iz slike 12 se zapaža da za nenatovareni forvarder Timberjack 1710B, kojemu su referentni kotači prednje osovine, indeks kotača mora iznositi 3,1, odnosno konusni indeks tla mora iznositi 400 kPa. Za nominalno natovareni forvarder (17 t oblovine), kada kotači stražnje osovine postaju referentni, indeks kotača mora iznositi 2,6, a konusni indeks mora imati vrijednosti iznad 575 kPa.

Iz toga se može zaključiti da su granične vrijednosti indeksa kotača koje definiraju mobilnost dovoljno dobre – zahtijevaju tlo konusnoga indeksa od barem 0,7 MPa, što je oštiji kriterij od onoga dobivenoga prema graničnoj dubini kolotruga od 10 cm, kada je dovoljna granična nosivost tla definirana konusnim indeksom od 0,6 MPa.

## 5. Zaključak – Conclusion

Indeks kotača definiran kao odnos između konusnoga indeksa tla i tlaka ispod kotača vozila, odnosno definiran kao faktor koji obuhvaća nosivost tla s jedne strane i karakteristike djelovanja kretnoga sustava vozila na tlo preko vertikalnoga opterećenja, dimenzija i elastičnih značajki kotača, dobro je polazište za ocjenu okolišne pogodnosti kotačnih šumskih vozila za privlačenje drva.

Granična vrijednost indeksa kotača koja definira dobru kretnost vozila pokazala se i »oštrijim« kriterijem od one koja određuje graničnu dubinu kolotruga.

Temeljni mjeriteljski problem pri određivanju vrijednosti ovoga parametra – mjerenje tlaka ispod kotača vozila – može se zadovoljavajuće riješiti primjenom nekoga od poluempirijskih izraza. Pri tome se izrazi Dwayera (1984) i Maclaurina (1997) čine najpovoljnijima.

Prema tomu jednostavnim *in situ* mjerenjem penetracijske značajke tla (konusni indeks) te primjenom neprekomjerno kompliciranih poluempirijskih

izraza može se relativno brzo ocijeniti okolišna pogodnost nekoga šumskoga kotačnoga vozila.

Prijelaz iz raščlambe sustava kotač – tlo u sustav vozilo – teren može se djelomično riješiti primjenom »referentnoga« kotača, ali i dalje ostaje značajan utjecaj dinamičke raspodjele vertikalnih opterećenja, pogotovo za vozila koja, poput skidera, vuku teret jednim krajem oslonjenim na tlo. Zbog toga je istraživanje dinamike opterećenja skidera važan i trajan znanstvenoistraživački zadatak. Pri tome treba kazati da je današnji stupanj razvoja mjerne opreme, koji omogućuje bežični prijenos mjernih signala s vozila do mjesta prikupljanja, znatno olakšao mjeriteljski problem ovakvih istraživanja u eksploatacijskim uvjetima.

Osim ovih istraživačkih napora, a radi što sveobuhvatnije analize dobrote indeksa kotača kao parametra kojim se može procijeniti okolišna pogodnost šumskih vozila za privlačenje drva, daljnje kvantitativno povezivanje istraživanja djelovanja vozila na tlo i sastojinu i indeksa kotača važna je zadaća.

## 6. Literatura – References

- Abeels, P. F. J., 1994: Mechanization of the forest operations and impacts on the environment. Interactive seminar and workshop »Soil, tree, machines interaction«, Feldafing, Germany, 1 – 24.
- ASAE, 1999: Soil Cone Penetrometer (ASAE S313.3 FEB99), ASAE Standards 2000, 831 – 833.
- ASAE, 1999: Procedures for Using and Reporting Data Obtained with the Soil Cone Penetrometer (ASAE EP542 FEB99), ASAE Standards 2000, 986 – 989.
- Anttila, T., 1998: Predicting the rut formation in forest soils by use of the WES method. Department of Forest Resource Management University of Helsinki, Publications, 17: 1 – 53.
- Baladi, G. Y., 1987: Terrain evaluation for off-road mobility. Proceedings of 9th ISTVS International Conference, Barcelona, 1: 1 – 19.
- Bekker, M. G., 1960: Off-the-road locomotion, The University of Michigan Press, 1 – 215.
- Dwyer, M. J., 1984: Computer models to predict the performance of agricultural tractors on heavy draught operations. Proceedings of the 8th International ISTVS Conference, August 6 – 10, 1984, Cambridge, England, Volume 3: 933 – 952.
- Hallonborg, U., 1996: Super ellipse as tyre-ground contact area. Journal of Terramechanics, 33 (3): 125 – 132.
- Hauck, B., 2002: Volle Ladung in der Prüfarbeit! KWF Forsttechnische Informationen, 1 + 2: 1 – 3.
- Hetherington, J. G., 2001: The applicability of the MMP concept in specifying off-road mobility for wheeled and tracked vehicles. Journal of Terramechanics, 38 (2): 63 – 70.

- Horvat, D., 1993: Prilog proučavanju prohodnosti vozila na šumskom tlu. Disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 1 – 234.
- Horvat, D., 1994: Penetrometar – mjerilo za procjenu sabijenosti šumskoga tla (Penetrometer – measuring device for estimation of forest soil compaction). *Mehanizacija šumarstva*, 19 (3): 161 – 171.
- Horvat, D., V. Goglia, S. Sever, 1999: Izvješće o istraživanju nekih tehničkih značajki forvardera Timberjack 1410 i Timberjack 1710. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1 – 19.
- Larminie, J. C., 1988: Standards for the mobility requirements of military vehicles. *Journal of Terramechanics*, 25 (3): 171 – 189.
- Maclaurin, E. B., 1990: The use of mobility numbers to describe the in-field tractive performance on pneumatic tyres. Proceedings of the 10th International ISTVS Conference, August 20 – 24, 1990, Kobe, Japan, Volume 1: 177 – 186.
- Mellgren, P. G., 1980: Terrain Classification for Canadian Forestry. Canadian Pulp and Paper Association, 1 – 13.
- Owende, P. M. O., J. Lyons, R. Haarlaa, A. Peltola, R. Spinelli, J. Molano, S. M. Ward, 2002: Operations protocol for Eco-efficient Wood Harvesting on Sensitive Sites. Project ECOWOOD, Funded under the EU 5th Framework Project (Quality of Life and Management of Living Resources) Contract No. QLK5-1999-00991 (1999 – 2002), 1 – 74.
- Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710B pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske (Efficiency and Environmental Evaluation of Timberjack 1710B Forwarder on Roundwood Extraction from Croatian Lowland Forests). Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1 – 170.
- Ronai, Đ. M., 1983: Teorija kretanja van tvrdih puteva. Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, 1 – 324.
- Saarilahti, M., 2002a: Soil interaction model. Project deliverable D2 (Work package No. 1) of the Development of a Protocol for Ecoefficient Wood Harvesting on Sensitive Sites (ECOWOOD). EU 5th Framework Project (Quality of Life and Management of Living Resources) Contract No. QLK5-1999-00991 (1999 – 2002), 1 – 87.
- Saarilahti, M., 2002b: Dynamic terrain classification – Modelling of the seasonal variation of the trafficability on forest sites. Soil interaction model, Appendix Report No 1, 1 – 22.
- Saarilahti, M., 2002c: Evaluation of the WES-method in assessing the trafficability of terrain and the mobility of forest tractors – Part 1: WES mobility models. Soil interaction model, Appendix Report No 2, 1 – 39.
- Saarilahti, M., 2002d: Evaluation of the WES-method in assessing the trafficability of terrain and the mobility of forest tractors – Part 2: Comparison of the different WES-models. Soil interaction model, Appendix Report No 3, 1 – 28.
- Saarilahti, M., 2002e: Evaluation of the WES-method in assessing the trafficability of terrain and the mobility of forest tractors – Part 3: Interpretation and application of results. Soil interaction model, Appendix Report No 4, 1 – 15.
- Saarilahti, M., 2002f: Modelling of the wheel and tyre, 1. Tyre and soil contact – Survey on tyre contact area and ground pressure models for studying the mobility of forest tractors. Soil interaction model, Appendix Report No 5, 1 – 43.
- Saarilahti, M., 2002g: Modelling of the wheel and tyre, 2. Tyre stiffness and deflection – Survey on tyre deflection models for studying the mobility of forest tractors. Soil interaction model, Appendix Report No 6, 1 – 15.
- Saarilahti, M., 2002h: Modelling of the wheel and tyre, 3. Tyre/soil models for predicting rut formation and soil compaction – Survey on soil deformation models for studying the mobility of forest tractors. Soil interaction model, Appendix Report No 7, 1 – 19.
- Saarilahti, M., 2002i: Modelling of the wheel and soil, 4. Forest soil properties – Survey on forest soil properties and soil compaction for studying the mobility of forest tractors. Soil interaction model, Appendix Report No 8, 1 – 37.
- Sever, S., D. Horvat, 1990: Sabijanje tla pri izvoženju i vuči drva teškim traktorima (Soil compaction at wood hauling and wood skidding with heavy-duty tractors). *Glasnik za šumske pokuse*, 26, Šumarski fakultet Zagreb, 519 – 546.
- Silversides, C. R., U. Sundberg, 1989: Operational Efficiency in Forestry – Volume 2: Practice. Kluwer Academic Publishers – Forest Sciences, Dordrecht/Boston/Lancaster, 1 – 169.
- Šušnjar, M., 2005: Istraživanje međusobne ovisnosti značajki tla traktorske vlake i vučne značajke skidera (Interaction between soil characteristics of skid trail and tractive characteristics of skidder). Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1 – 146.
- Ward, S. M., J. Lyons, 2000: The development of an operations protocol for wood harvesting on sensitive sites. Proceedings of International conference »Thinnings: A valuable forest management tool«, September 9–14, 2001, IUFRO Unit 3.09.00 & FERIC & Natural Resources Canada & Canadian Forest Service, CD, 1 – 12.
- Ward, S. M., P. M. O. Owende, 2003: Development of a protocol for eco-efficient wood harvesting on sensitive sites. Proceedings of the 2nd International Scientific Conference »Forest and Wood-Processing Technology vs. Environment – Fortechenvi Brno 2003«, May 26 – 30, 2003, Brno, Czech Republic, Mendel University of Agriculture and Forestry Brno & IUFRO WG 3.11.00, 473 – 482.
- Wästerlund, I., 1994: Forest response to soil disturbance due to machine traffic. Interactive seminar and workshop »Soil, tree, machines interaction«, Feldafing, Germany, 1 – 23.
- Weise, G., 2002: Was kann der Rückezug wirklich? KWF Forsttechnische Informationen, 1 + 2: 4 – 6.
- Weise, G. L. Nick, 2003: Determining the performance and the environmental impact of forest machines – Classification numbers and performance diagrams. Proceedings of Austro2003 – High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain, October 5 – 9, 2003, Schlaegel, Austria, University of Natural Resources and Applied Life Sciences Vienna, CD-ROM, 1 – 10.

---

**Abstract**

---

**Wheel Numeric as Parameter for Assessing Environmental Acceptability of Vehicles for Timber Extraction**

*This paper presents the research of possibilities of use of wheel numeric, as a satisfying parameter that describes the environmental acceptability of interaction between vehicle wheels and soil in off-road timber extraction.*

*The wheel numeric is a non-dimensional parameter (factor), which describes the interaction between the loaded wheel and soil, and its intent is to calculate arithmetically the number by which the capability of a vehicle's mobility is assessed regardless of the consequences, based on vehicle geometric values, mass distribution, dimensions and pneumatic stiffness. This parameter can be easily measured/calculated by simple on-site measurement of soil cone index and by use of semi-empiric expressions for contact pressure.*

*The analysis of the ratio between wheel numeric and rut depth, which can be easily measured and represents the most conspicuous consequence of the vehicle's adverse effects on soil, showed that the wheel numeric is a sufficiently good parameter for its assessment and therefore also for the assessment of the environmental acceptability.*

*In order to get a better understanding of this problem, the basic components of the wheel numeric as well as models of different authors for their calculation are exemplified by a 17-ton forwarder Timberjack 1710B.*

*The deficiency of the use of semi-empiric expressions for the calculation of wheel/soil contact pressure, as well as insufficient level of understanding of the dynamic distribution of vertical loads of a forest vehicle in different terrain conditions, especially in timber skidding, require further research in this direction.*

**Key words:** *vehicles for timber extraction, wheel numeric, environmental acceptability*

---

**Adresa autora – Authors address:**

Doc. dr. sc. Tomislav Poršinsky  
Izv. prof. dr. sc. Dubravko Horvat  
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Svetošimunska 25, 10000 Zagreb  
porsinsky@sumfak.hr  
horvat@sumfak.hr