Sabijanje tla pri izvoženju i vuči drva teškim traktorima

Sever, Stanislav; Horvat, Dubravko

Source / Izvornik: **Glasnik za šumske pokuse: Annales pro experimentis foresticis, 1990, 26, 519 - 546**

Journal article, Published version
Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:804433

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-20**

Repository / Repozitorij:

University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology

Dubravko Horvat

UDK 630*377.49

Izvorni znanstveni članak

STANISLAV SEVER & DUBRAVKO HORVAT

SABIJANJE TLA PRI IZVOŽENJU I VUČI DRVA TEŠKIM TRAKTORIMA

SOIL COMPACTION AT WOOD HAULING AND WOOD SKIDDING WITH HEAVY-DUTY TRACTORS

Prispjelo 31. XII. 1988.

Prihvaćeno 7. VI. 1989.

Istraživanje gaženja šumskog tla i njegova sabijanja započelo je s počecima mehaniziranja radova u eksploataciji šuma. Svrha ovih istraživa-nja bila je određenje postotka gažene površine, dubine kotačnih tragova, ili penetrometarske karakteristike tla u kolotečini, posebno u slučajevima preopterećenja podloge. U radu se opisuje laboratorijsko-terenska metoda mjerenja sabijanja tla za dva načina privlačenja drva: vuče drva zglobnim traktorima i njegova izvoženja forvarderima. Kao mjerni sustav upotrijebljena je jednostavna jedinstvena greda sa 6 ili 10 mjernih pretvornika, relativno jednostavne građe i upotrebe. Uz određenje sabijenosti tla uzrokovano kotačima vozila istraživani su i preraspodjela opterećenja traktorskih osovina, promjena tlaka po širini traga kotača i dr.

Ključne riječi: sabijanje tla, zglobni traktor, forvarder

UVOD – INTRODUCTION

Nagli rast razine mehaniziranosti radova eksploatacije šuma započeo je sedamdesetih godina. Na početku ovoga perioda mnogi transportni strojevi u šumarstvu nisu odgovarali svojoj namjeni. Nesumnjivo su veliki iznosi djelujućih sila traktora na privlačenju drva uzrokovali duboke kolotečine, sabijanje tla i oštećivanje korijenja stabala, a loša organizacija

rada visok postotak gažene površine. Znanje o tome koje sile može podnijeti podloga sastojine još je ograničeno. Pritom je poznavanje mogućeg nošenja tereta kotača, ili njihove tzv. flotacije (B e k k e r, 1956, 1960), često traženi parametar za izbor i planiranje rada šumskih traktora. Zahtjev za većim nošenjem i prohodnošću traktora uobičajeno je tumačen potrebom za manjim propadanjem, manjim pritiskom i klizanjem kotača, a time za većom dodirnom ploštinom i manjim dodirnim tlakom. Tehnički problemi za puno zadovoljenje takvih zahtjeva još su nesavladivi. Pritom se predlagalo da se mogućnost nošenja vozila izvan putova, njihove »flotacije«, definira s nosivošću tla.

Rast snage i mase traktora u šumarstvu pratio je i rast dimenzija njihovih pneumatika. Veća nosivost upotrebljavanih guma premala je da se i bez povećanja tlaka zraka u zračnicama podnesu veća opterećenja, kako su to za razvoj traktora u poljoprivredi ustanovili B o l l i n g & S o e h n e (1982). Pritom povećanje širine guma mnogo više povećava nosivost negoli njezin promjer ili tlak zraka. To je bilo razlogom da je srednji tlak u dodirnoj površini gume i tla posljednjih 30 godina ostao gotovo stalnim, čak je i nešto smanjen. No, svaki novi prolaz traktora po istom tragu uzrokuje dalje sabijanje tla.

U šumarstvu Hrvatske za sredstva na privlačenju drva I g r č i ć (1988) iznosi podatke da je od 1970. do 1986. godine porastao broj traktora za 3,71 puta, a snaga traktora 1,43 puta; od prosječne snage od 37,1 kW ona je porasla na 53,1 kW. Za čitav period uvođenja traktora na radovima privlačenja drva od 1964. do 1986. godine T o m i č i ć (1988) iznosi za najveće šumsko gospodarstvo SRH ŠG »Mojica Birta« iz Bjelovara da je broj traktora u tom periodu porastao 26,7 puta, a snaga pogonskog motora 1,8 puta. Prosječna snaga je od 1964. godine porasla s tadašnjih 30 kW po traktoru na 54 kW 1987. godine. Sve navedeno uzrokovalo je prije opisane pojave višekratnog prolaza traktora po šumskim vlakama i sječini, gaženje i sabijanje tla.

Pri proučavanju sustava vozilo-tlo šumarstvo značajno interesira utemeljena informacija o gaženju i sabijanju tla. Dok gaženje prvenstveno ovisi o primijenjenoj tehnologiji i metodi rada, organiziranosti i pripremi rada, upotrijebljenim sredstvima rada i sl., sabijanje tla u prvom redu ovisi o vozilu, stanju i svojstvima tla, nošenom ili vučenom teretu i dr.

U eksploataciji šuma opasnost sabijanja potpovršine tla je realna, posebno pri upotrebi teške opreme i dinamičkom opterećenju uzrokovanom vučenim ili nošenim teretom. Gaženje tla se iskazuje u postotku površine po kojoj su se kretali traktori, u odnosu na ukupnu ploštinu na kojoj se radi. Sabijanje je mnogo složenija pojava i, ovisno o svrsi istraživanja, utvrđuje se npr. dubina kolotečine, izgled profila traga kotača, tlak dodirne površine kotača i tla, tlak na različitoj dubini ispod traga kotača itd., a sve u ovisnosti o osovinskom opterećenju vozila, transportiranom teretu, dinamičkom opterećenju, klizanju i sl.

Sabijanje tla je proces koji nastaje upotrebom mehaničkih sredstava koja uzrokuju međusobno slaganje (sabijanje) čestica tla (B e k k e r, 1973; citat M c l e a n a, J o k s i m o v i ć, 1977. i dr.). Kao posljedica toga nastaje smanjenje obujma pora ispunjenih zrakom. U eksploataciji šuma sabijanje

tla nastaje kao posljedica kretanja traktora, vuče tereta, pri pripremi radilišta i dr. Dok je pri kretanju vozila ili vožnje tereta forvarderima, prikolicama i sličnim sredstvima tlo sabijano kotačima ili gusjenicama, pri vuči drva različito je za njegovu vuču po tlu ili vuču s jednim podignutim krajem. Drvo vučeno po tlu gura tlo ili ga okreće kao pri oranju (buldozing effect, plowing), dok pri njegovoj vuči s jednim podignutim krajem dio oslonjen na tlo sabija podlogu poput vučene podignute grede (rutting, gouging).

Šumarski i strojarski stručnjaci s teramehaničarima i srodnim istraživačima traže odgovore na mnoga pitanja o čvrstoći šumskoga tla, o njegovoj nosivosti, odreznoj čvrstoći i dr. U radu su se tražili, među ostalim, odgovori na sljedeća pitanja:

- kako se odnose tlakovi u tlu ispod kotača utvrđenih poznatim metodama i novim mjernim sustavom;
- koliki su tlakovi ispod vučenoga drva;
- kako se mijenjaju tlakovi po širini kotača;
- kakva je promjena tlakova po dubini ispod traga kotača i dr.

Odgovori na ta pitanja trebaju pomoći pri izradi klasifikacije šumskih terena, pri određenju kakav traktor treba izabrati u odnosu na raspoloživu snagu, kakav traktor primijeniti u odnosu na način prijenosa sila na podlogu, npr. formule kotača 4 x 2 ili 4 x 4, 6 x 6 ili 6 x 4 itd.

PREGLED DOSADAŠNJIH RADOVA – REVIEW OF PREVIOUS WORK

Načini predskazanja performansi vozila koja se kreću izvan putova i podaci za tipove terena zahtijevaju različite razine pristupa: empirijski, analitički, numerički itd. Traženje podataka, jednostavna tvorba zakona ili njihovo složeno ustanovljavanje ostvaruje se teorijskim prilazom ili eksperimentalnim metodama i mjerenjima. Ovakva istraživanja sabijanja tla poznata su u poljoprivredi, građevinarstvu i u vojsci, bilo da su provođena u laboratorijima, kao terenska istraživanja ili laboratorijsko-eksperimentalna u terenskim uvjetima.

Dugo se za potrebe određenja svojstava tla u vezi s njegovim sabijanjem upotrebljavao tzv. nominalni tlak podloge – NTP (engl. Nominal Ground Pressure – NGP) (L a r m i n i e, 1988). Ovakav činitelj se određuje iz omjera težine koja otpada na oslonac vozila ravnomjerno podijeljena na ravnu plohu, koja je za gusjenice jednaka umnošku njihove širine i duljine koja se oslanja na tlo. Za kotačne traktore postoje dva oblika NTP; proizvođači guma uzimaju u obzir dodirnu površinu gume na tvrdoj podlozi. To je pogodno za uspoređivanje opterećenja koje djeluje na pneumatik na tvrdoj podlozi, ali ne i za opterećenje mekane podloge. Realnija je vrijednost NTP koja uzima u obzir približnu ploštinu gume u takvoj dubini kolotečine da ona uzrokuje zaustavljanje vozila (kotača). U vojne svrhe se kao mjerilo tlaka na tlo upotrebljava konusni indeks vozila (Vehicle Cone Index – VCI). Srednje vrijednosti najvećih tlakova – SNT (Mean Maximum Pressure – MMP) utvrduju se mjerenjem stvarnih tlakova ispod

vozila. Vršni iznosi najvećih tlakova pod kotačem mogu se ustanoviti za svaki kotač vozila koji nosi različiti teret. SNT za kotačne traktore temelji se i na poznavanju klasifikacije tla. Proučavajući uvjete prohodnosti vojnih vozila L a r m i n i e (1988), uz ostalo, daje granične vrijednosti tlaka vozila na podlogu. To svojstvo svrstava u tzv. glavne faktore. Srednje vrijednosti najvećih ustanovljenih tlakova na podlogu za vozila, uvjetno usporediva s onima kakva se upotrebljavaju u šumarstvu, iznose nekoliko stotina kilopaskala (kPa). U prilogu svog rada L a r m i n i e (1988) pod naslovom »Sustav srednjega najvećeg tlaka za određenje tlaka vozila na podlogu« (»The Mean Maximum Pressure System for Vehicle Ground Pressure«) navodi da propadanje kotača vozila u tlo dovodi do povećanja otpora gibanju. Upravo je to, uz ostale faktore, i dovelo do gradnje šumskih traktora većih specifičnih masa (kg/kW); npr. 1 kg mase zglobnih traktora nosi bitno manji iznos jedinične snage pogonskog motora od poljoprivrednih traktora (S e v e r, 1980, 1984). Dijelom se to može objasniti nesavršenošću konstrukcije šumskih traktora, a dijelom gradnjom s većim faktorima sigurnosti zbog bitno otežanih uvjeta rada na privlačenju drva. Uz rad pri najpovoljnijim faktorima prianjanja ovi traktori moraju s povećanjem adhezijskog opterećenja osigurati rad i pod izričito nepovoljnim terenskim uvjetima, uz znatno sabijanje tla. Prijedlog za standardizaciju nazivlja iz ovog područja daje R o n a i (1987).

Za potrebe klasifikacije terena za šumarstvo Kanade (M e l l g r e n, 1980), Švedske (A n o n., 1969) i nekih drugih evropskih zemalja autori su se usredotočili na tri glavna činitelja koji djeluju na prohodnost vozila pri kretanju izvan putova: 1. čvrstoću podloge, 2. neravnosti terena, 3. nagib terena. Svi navedeni sustavi klasifikacije šumskih terena međusobno su usporedivi.

Nažalost, izuzetno je teško utvrditi čvrstoću tla na jednostavan, dovoljno točan način, zbog složenosti tla, brzih promjena njegove mokrine, promjene slojeva tla i zbog skeleta korijenja od postojeće vegetacije.

Bevametar (Bekker Value Meter) kao znanstveno temeljeni mjerni sustav zahtijeva velik broj mjerenja i matematičkih analiza, što je teško izvedivo u eksploataciji šuma. To je bilo razlogom traženja metoda koje daju jednostavnije praktične informacije o čvrstoći tla, kao podlozi po kojoj se kreću vozila.

M e l l g r e n (1980) navodi da neopterećeni čokerni zglobni traktor sa standardnim gumama i preporučenim tlakom zraka u zračnici ima ocijenjeni tlak u tragu 30...60 kPa na prednjim kotačima i 17...40 kPa na stražnjim. Kao posljedica toga može se zaključiti da se tlak zglobnih traktora na podlogu može upotrebljavati za procjenu prosječno djelujuće stvarne čvrstoće tla na mekim terenima. Pritom se izražava kao ocijenjeni tlak u tragu kotača. Ta je tvrdnja bila i vodilja u traženju parametara koji dovoljno jasno opisuju čvrstoću tla za potrebe klasifikacije terena u šumarstvu, ocjenu primijenjenosti određenih strojeva i sl.

Naravno, u praktičnom provođenju šumarskih operacija čvrstoća tla može se procijeniti s dovoljnom točnosti i pogledom (vizualno), temeljeno na tipičnim fitocenozama, površinskim naslagama, teksturi tla i vlage itd. (H e d s t r o m, 1985).

Remećenje tla sa stvaranjem kolotečina, prebacivanjem tla, njegovim guranjem i drugim djelovanjem nastaje i kao posljedica vuče drva po tlu i s jednim podignutim krajem (C a l v e r t & G a r l i c k i, 1968; G a r l i c k i & C a l v e r t, 1967). Posljeci su pritom znatni za različite položaje vučenoga drva, posebno njegova guranja tla ili stvaranja tragova; oni su signifikantno veći kada se vuče drvo po tlu debljim krajem naprijed u usporedbi s vučom vrhom naprijed. Tzv. oranje tla uzrokovano je nepravilnim oblikom vučenoga tereta u dodiru s podlogom. Stvaranje traga opisuje premještanje tla tik ispred dodirne točke tereta i podloge.

Izreka Bekkera prema W ä s t e r l u n d u (1988) da je sustav tlo-vozilo u šumarstvu novo područje koje zahtijeva posebna rješenja često se potvrđuje u praksi i znanosti. B e k k e r (1973) ustvrđuje da se nosivost tla smanjuje sa smanjenjem debljine površinskoga skeletnog šumskog sloja.

Mnogi projekti imaju u šumarstvu za cilj određenje sabijanja i odrezne čvrstoće šumskoga tla te analize tražnje koje komponente tvore svojstvo njegove čvrstoće.

U različitim radovima o navedenoj problematici nalazimo informacije o utjecajnim činiteljima koji djeluju na sabijanje tla, posljedicama i kontroli sabijanja tla, ali rijetko o šumskoj podlozi. Malo je znanih mjerenja čvrstoće u slojevima šumskoga tla.

B e k k e r (1956) tumači raspodjelu opterećenja ispod kotačnog zglobnog vozila, kakvi su zglobni traktori i forvarderi, kako bi se moglo planirati njihovo kretanje, stabilnost, upravljivost, posebno u uvjetima kada stabilnost i upravljivost postaju kritičnima, napose na nagnutom terenu, pri visokim preprekama, pri znatnoj brzini kretanja izvan putova i dr.

R o n a i (1986) ustvrđuje da je sabijanje tla neizbježan, neželjen efekt uzrokovan opterećenjem kotača, gusjenica i sl. opterećenja, odnosno složenoga djelovanja vodoravnog i uspravnog opterećenja. Vanjske sile se pojavljuju kao posljedica nekog sporednog djelovanja, npr. kretanja vozila, nosača tereta, samog tereta i sl. R o n a i (1983) navodi da je sabijanje tla izrazito veće pri većim opterećenjima, bez obzira na to što su dodirni tlakovi jednaki. Kao parametre sabijanja tla R o n a i (1986) navodi sljedeće činitelje: dubinu traga, ploštinu poprečnoga presjeka traga kotača, konusni indeks, gustoću tla, profil sabijene zone u tragu kotača, raspodjelu gubitaka energije između kotača i tla itd., što sve uzrokuje smanjenje prinosa, odnosno razvoj pomlatka na takvoj podlozi. Ujedno se iznosi da je sabijanje funkcija tlaka zraka u pneumatiku, dinamičkog opterećenja, vučne sile, prenesenog okretnog momenta, frekvencije vrtnje kotača, brzine kotača, mokrine, utvrđuje se kao veća ili manja najveća dubina traga, kao profil traga, obujam traga, kao oblik i dimenzije sabijene zone, rast gustoće tla, penetrometarska karakteristika traga itd. Pritom se konstatira dinamičko opterećenje, tip i dimenzije pneumatika, postotak klizanja, vrsta podloge i dr.

K r i ž n a r (1970) nabraja najutjecajnije činitelje u domeni fizičkih svojstava koja odlučuju i o sabijenosti tla: struktura i granulometrijski sastav tla, gustoća tla, gustoća tvrdih čestica, vodopropusnost, mokrina, tvrdoća tla.

R o n a i & K l i n a r (1977) navode da dodirna površina i oblik pneumatika umnogome ovise o tlaku zraka u zračnici. Uz manji tlak zraka eliptičniji je oblik dodirne površine, manja dubina otiska, veća naležuća ploština.

B e k k e r (1963) uspoređuje distribuciju opterećenja s geometrijom mosta, nazvavši ga nekom vrstom mosne geometrije tla, uz pitanje dubine kolotečine i iznosa klizanja pogonskih kotača. Preporuka je da se ne bira traktor s tlakom na podlogu preko ca. 1 bar (14 p. s. i.). H o r v a t (1980) daje istovremeni pregled mjerenih pritisaka za 3 dubine i presjeka traga kotača.

B o j a n i n (1980), L o e f f l e r (1979), S e v e r & H o r v a t (1981) i dr. smatraju da klasifikacija šumskih terena postaje potreba razvoja oruđa i strojeva, te navode da nosivost tla smatraju neki autori kao terenski činitelj (izražava se u Pa – paskal, iako nema općepriznate metode određenja).

T a y l o r & B u r t (1987) istraživali su tlak u tlu kao funkciju dubine, za stalni dinamički teret ili neto trakciju i mokrinu. Na dubini od 15 do 50 cm smatraju tlak tla ovisnim o ukupnom teretu, a neovisnim o jediničnom pritisku ispod gume na površini tla.

M a k k o n e n (1988) prenosi kriterije za proračun tlaka otiska kotača i gusjenica prema »Klasifikaciji terena za kanadsko šumarstvo« (M e l l g r e n, 1980). Prema toj klasifikaciji šumsko tlo se dijeli u 5 grupa s obzirom na stanje mokrine i daje se dozvoljeni nominalni granični tlak kotača na podlogu, npr. 1 – vrlo dobro tlo (dobro osušeno) s dozvoljenim tlakom preko 200 kPa, 2 – dobro tlo (osušeno) s tlakom 70...200 kPa, 3 – srednje tlo (svježe) s 40...70 kPa, 4 – loše tlo (vlažno) 20...40 kPa i 5 – vrlo loše tlo (vrlo vlažno) do 20 kPa. Prema tom kriteriju rijetko se standardno opremljeni traktori mogu upotrebljavati preko treće grupe terena.

Ovim problemima se bavi i Å k e r m a n (1975).

TEORETSKI PRISTUP – THEORETICAL APPROACH

Optimalni omjer vučne sile i težine vozila, manje klizanje vozila, veća korisnost traktora, dobra mehanička pokretljivost, zadovoljavajući teret, potrošnja goriva, sposobnost savladavanja uspona, raspon mogućeg djelovanja, nepropadanje kotača u podlogu, vrijeme održavanja, troškovi itd. mogu se utvrditi za određeni način eksploatacije. Svi ti parametri uzeti zajedno tvore pokazatelj definiran kao prometnost ili prohodnost terena, odnosno pokretljivost (voznost, hodnost) vozila.

Doslovno značenje riječi prohodnost terena, prometnost tla, prometljivost označuje sposobnost tla da podnosi i dozvoljava promet vozila.

Pri proračunu normalnog tlaka i linija njihova istoga iznosa (izobara) takve linije mogu biti nacrtane u bezdimenzijskom obliku (B e k k e r, 1956). Iskustva s pneumaticima pokazuju da dodirna ploština može biti pretpostavljena u eliptičkom obliku, posebno na mekim podlogama. S ö h n e (1983) daje raspodjelu tlakova po dodirnoj ploštini podloge kao rezultat okomitog tereta i vučne sile. Svim tim problemima bavi se teramehanika kao mehanika mekih podloga, pa tako i raspodjelom pritisaka u tlu, duž dodirne površine kotača s podlogom.

Matematičke metode teže čvrstim relacijama za određenje distribucije tlakova ispod kotača, te imaju samo aproksimativni karakter (R o n a i, 1983). Realna slika može se dobiti samo eksperimentom i mjerenjima, za čime se težilo i u ovom radu, unatoč mnogim pojednostavljenjima i približenjima. Sve rečeno za koherentna poljoprivredna tla vrijedi još izraženije i za šumsko tlo; eventualni poremećaji u njemu u obliku praznina, pukotina, velikih gruda, skeleta korijenja i sl. samo još više potenciraju potrebu eksperimentalnog istraživanja svojstava tla, posebno na mekoj podlozi. Proračunsko određenje dodirnoga tlaka pneumatika i podloge sreće se u klasifikacijama šumskih terena kao ulazni pokazatelj za određenje njihove prohodnosti, obično izražen kao omjer normalne sile i dodirne ploštine, te se odatle zaključuje mogući stupanj sabijenosti tla. B o l l i n g & S ö h n e (1983) daju rezultate računski dobivenog tzv. školjkastoga dijagrama u obliku balona za razna statička opterećenja i vuču oruđa, a na temelju opsežnih proračunskih programa i stvorene računske metode za utvrđivanje rasprostranjenosti tlakova ispod kotača vozila.

M i k k o n e n & W u o l i j o k i (1975) navode izraze za tlak i ploštinu dodira pneumatika poput nekih u klasifikacijama šumskih terena Kanade i drugih zemalja, ili proizvođača strojeva, s tumačenjem mogućih grešaka.

F r i s k (1973) povezuje osovinsko opterećenje s tlakom na podlozi za forvardere i kamione, te izvodi uvjete za dimenzioniranje šumskih prometnica, čime se bavi i rad kolektiva autora (1989). Tako teški forvarder formule kotača 6 x 6 uzrokuje na podlogu ispod prednjih kotača dimenzija 18,4–34 tlak od 91 kPa, ili 72 kPa za dimenzije 23,5–25, uz opterećenje mosta s teretom 7 t. Bogie most ispod poluprikolice opterećen s teretom od 6,5 t uzrokuje tlak od 155 kPa, ili 68 kPa u slučaju upotrebe gusjenica.

Razni autori se razlikuju po načinu određenja tlakova ispod kotača vozila. Različit je i način djelovanja sila; zglobni traktori osim vertikalnoga opterećenja poput onog kod forvardera ostvaruju i vodoravnu vučnu silu. Poslije proračunskog određenja sila pri konstruiranju vozila (konstrukcijski pritisci i tlakovi) opterećenje mostova određuje se za izgrađeno vozilo vaganjem (statički teret) ili pod stvarnim opterećenjem (kinematički, dinamički pritisci i tlakovi).

Proizvođači bez obzira na dalje istraživanje svog proizvoda obično iskazuju dodirnu ploštinu iz dimenzija pneumatika te je jednoliko opterećuju teretom. Tako M e l l g r e n (1980) za šumske traktore upotrebljava standardni ocijenjeni dodirni tlak kao usporedno obilježje svojih proizvoda s konkurentskima. Korisnici upotrebljavaju takve parametre da bi izabrali pravi stroj i gume za pojedini teren. Danas ne postoje jedinstvene, standardizirane metode proračuna dodirnog tlaka jugoslavenskih proizvođača traktora i drugih vozila koja se kreću izvan putova, iako je to važna karakteristika za utvrđivanje performansi traktora. Standardno utvrđeni proračunski dodirni tlak vozila potreban je pokazatelj za klasifikaciju terena za potrebe jugoslavenskog šumarstva.

Srednji tlak podloge definiran je kao omjer pritiska tereta i projekcije dodirne ploštine na koju djeluje (vidi formulu za tlak podloge).

Standardni ocijenjeni dodirni tlak za pneumatike je prema navedenome uobičajeno definiran jednadžbom $p = F/A$, pri čemu znademo

da raspored naprezanja u slučaju opterećenja tla silom na nekoj ploštini nije istolik. Veličina naprezanja se mijenja od točke do točke, što znači da su normalna naprezanja pod kotačima izražena kao limes omjera normalne komponente F_n sile F koja djeluje na ravnu plohu ploštine A, dakle da je:

$$p = \lim_{A \to 0} \frac{F_n}{A} \left[\frac{\partial F}{\partial A} \right]_n$$

Ukoliko se sila F, koja okomito djeluje na ploštini A, jednoliko porazdijeli na čitavu ploštinu A, onda se tlak p može definirati prije danom jednadžbom kao:

$$p = \frac{F}{A}$$

što je definicija srednjega ili prosječnoga tlaka, s kojom se vrijednošću radi i pri određenju dodirnoga tlaka vozila. Za kotače ocijenjeni tlak će iznositi:

$$p = \frac{G}{R \cdot B} \ldots \text{Pa}$$

a za gusjenice:

$$p = \frac{G}{B(1.25 \cdot R + L)} \ldots \text{Pa}$$

gdje su: p – standardni dodirni tlak, Pa
G – pritisak na kotač/gusjenicu, N
R – polumjer neopterećenog kotača/gusjenice, m
B – širina neopterećenog kotača/gusjenice, m
L – razmak između osi kotača/lančanika, m

Osim toga se predviđa standardna dubina propadanja kotača u iznosu od 15 % ukupnoga promjera pneumatika pri određenju dodirne ploštine A.

L a r m i n i e (1988) daje formule za srednju vrijednost najvećeg tlaka (SNT) različitih vozila;

1. *Temeljne formule*

a) Gusjenična vozila

$$p_{SNT} = \frac{1.26 \cdot G}{2 \cdot m \cdot c \cdot b\,(t \cdot d)^{0.5}} \ldots \text{kPa}$$

gdje su: G – težina vozila, kN
m – broj osovina
d – promjer lančanika kotača, m
b – širina gusjenice, m
t – korak zgloba gusjenice, m
c – faktor profila zgloba gusjenice: površina/t·b

b) Kotači na fino granuliranom glinastom tlu

$$p_{SNT} = \frac{K \cdot G}{2 \cdot m \cdot b^{0.85} \cdot b^{1.15} \cdot (\delta/h)^{0.5}} \ldots \text{kPa}$$

gdje su: G – težina vozila, kN
m – broj osovina
d – promjer neopterećene gume, m
b – širina neopterećene gume, m
δ/h – progib guma na tvrdoj podlozi, %
K – faktor omjera pogonjenih kotača (tablica 1).

Ukoliko je diferencijal blokiran, ekvivalentni SNT se određuje:
4 x 2 vozilo; SNT x 0.98
4 x 4 vozilo; SNT x 0.97

Tab. 1. Faktori omjera pogonjenih kotača K – Factors of axles driven proportion K

Broj osovina – Number of axles	Omjer pogonjenih kotača – Proportion of axles driven						
	1	3/4	2/3	3/5	1/2	1/3	1/4
2	3.65	–	–	–	4.4	–	–
3	3.9	–	4.35	–	–	5.25	–
4	4.1	4.4	–	–	4.95	–	6.05
5	4.32	–	–	4.97	–	–	–
6	4.6	–	5.15	–	5.55	6.2	–

2. *Sekundarne formule*

a) Kotači na suhom grubom tarnom pijesku

$$p_{SNT} = \frac{S \cdot T \cdot G}{2 \cdot m \cdot b^{1.5} \cdot d^{1.5} \cdot \delta/h} \ldots \text{kPa}$$

gdje su: S – stalnica proporcionalnosti (zasada uzeti S = 0.60)
T – faktor rebara pneumatika;
1 za glatke gume
1.4 za cestovne gume
2.8 za cestovne gume posebnog profila
3.3 za vozila izvan putova

b) Gumena gusjenica s pneumaticima

$$p_{SNT} = \frac{0.50 \cdot G}{2 \cdot m \cdot b \cdot (d \cdot \delta)^{0.5}} \ldots \text{kPa}$$

δ – progib guma na tvrdoj podlozi, m
Ostale oznake kao u slučaju a)

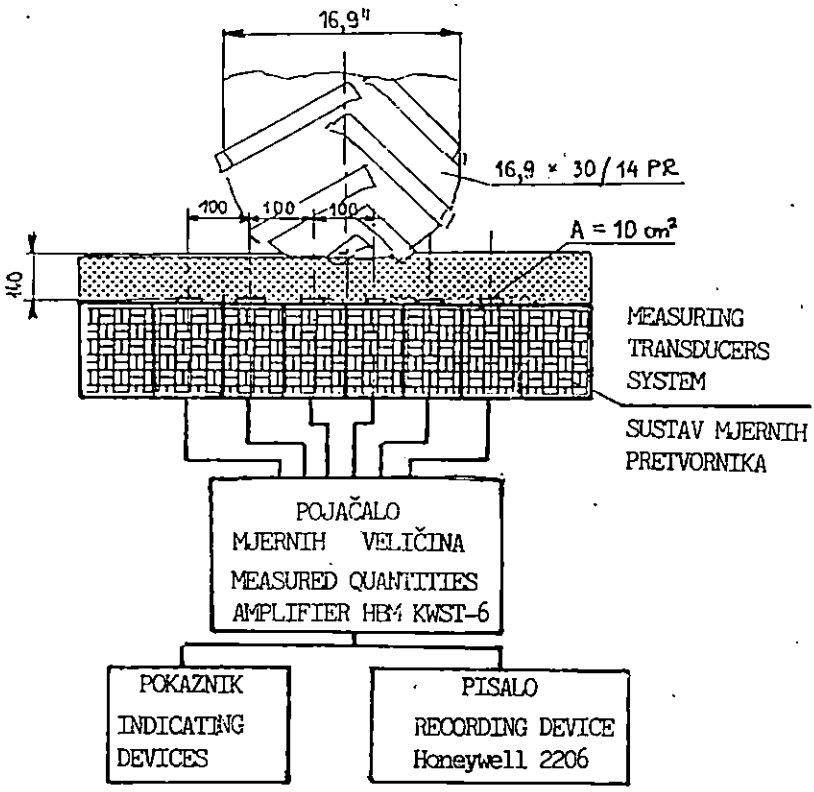
c) Kotači raznih dimenzija s različitim brojem osovina (finozrnata tla)

$$p_{SNT} = \frac{K}{2 \cdot m} \left[\frac{G_1}{b_1^{0,85} \cdot d_1^{1.15} (\delta/h)^{0.5}} + \ldots + \frac{G_i}{b_i^{0.85} \cdot d_i^{1.15} \cdot (\delta/h)^{0.5}} \right]$$

gdje broj 1 označuje prvu osovinu, a i i-tu osovinu; ostale oznake vrijede kao za kotačna vozila.

METODA RADA, OBJEKT ISTRAŽIVANJA I MJERILA – PROCEDURES, EQUIPMENT, AND APPARATUS

Da bi se odredio tlak ispod kotača šumskih traktora, tražena je neka karakteristična osnova za provođenje poljskog eksperimenta sabijanja tla. Smatrano je prednošću upotreba laboratorija na mjestu odvijanja tehnološkoga procesa privlačenja drva, gdje je moguće održavanje uvjeta blis-

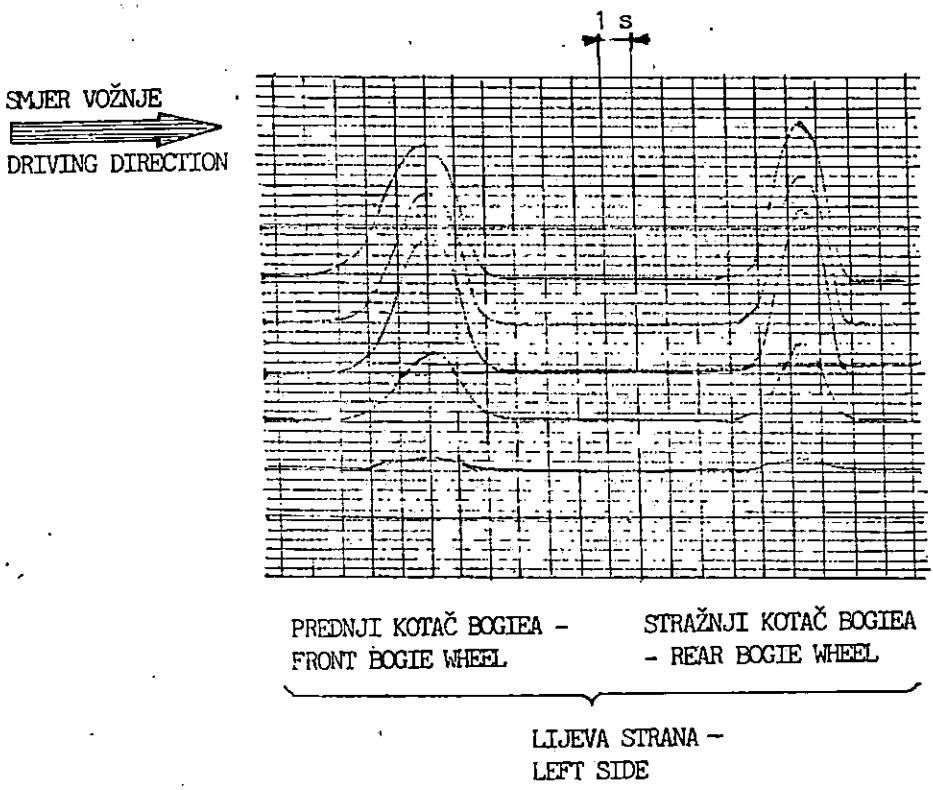


Sl. – Fig. 1. Shematski prikaz mjernog lanca za mjerenje tlaka u tlu – Shematic review of the measuring chain for measurement of soil pressure

kih onima koji vladaju u stvarnoj eksploataciji vozila. Najveći tlakovi, njihove srednje vrijednosti, prosječni tlakovi u dodirnoj ploštini, tlakovi u podtlu na različitim dubinama i dr. trebalo je određivati u dodirnoj plohi i na različitim dubinama ispod traktorskoga kotača s pneumaticima pri različitim vertikalnim i vučnim silama.

Dok se u dodirnoj plohi morao određivati pritisak na svaki kotač vaganjem, a dodirna ploha proračunavati ili odrediti pokusom, tlak u podtlu je mjeren na dubinama gdje je prestajao utjecaj rebara. Na mekim podlogama se to dešavalo na 2...10 cm ispod površine (R o n a i, 1983; P i r i a, 1977 a i b i dr.), dakle, tu se može očekivati izjednačenje tlaka i prestanak utjecaja površine rebara, što je odredilo dubinu ugradnje mjernih pretvornika. Inače je tlak ispod rebara i 3...5 puta veći na tvrdim podlogama od onoga u prostoru između njih.

U tražnji mjernog sustava za određenje tlaka u podtlu koji bi se mogao racionalno primijeniti i u šumarstvu, a zadovoljio bi uvjete dosizanja traženih informacija, kao podobni se izabrao sustav poznat iz sličnih istraživanja u poljoprivredi (P i r i a, 1989; 1977 a i b i dr.). Višekratnim prolazom, uobičajeno 3 puta, definiran je u ovim istraživanjima srednji tlak kao prosječna vrijednost za cijelu naliježuću ploštinu pneumatika.



Sl. – Fig. 2. Zapis oscilografa promjene tlaka po širini kotača – Oscillograph record of pressure change on tyre width

Na slici 1. prikazan je upotrijebljeni mjerni sustav. Ovisno o širini pneumatika primijenjen je sustav od 6 ili 10 mjernih pretvornika sile, sa stalnom aktivnom ploštinom pretvornika od 10 cm^2 na razmaku 100 mm. Da bi se pri prijelazu vozila pretvarači zadržali na istoj dubini, ugrađeni su u čvrsto kućište visine 125 mm, duljine 700 ili 1100 mm. Upravo je takva povezanost pretvornika u čvrsto kućište glavna mana izabranoga mjernog sustava, jer pri polaganju u tlo uzrokuje narušavanje njegove strukture, te djeluje poput čvrstog tabana na oranom tlu, pomoćnom šumarskom stovarištu i sl. Uz osiguranu ponovljivost mjerenja i dobivanja usporedivih rezultata mjerni sustav se u terenskim uvjetima lagano ugrađuje na različitim dubinama ispod mjesta prolaza kotača. Njegovo je umjeravanje jednostavno.

Drugačije mjerne postupke navode Larminie (1988), Littleton & Hetherington i dr. (1987).

Mjerna nesigurnost je pri vaganju kolnim vagama ili nezavisnim vagama za svaki kotač iznosila ± 2,5 %.

Kao sredstva rada upotrebljavani su strojevi III. generacije za privlačenje drva, zglobni traktor i forvarder. Pri kretanju zglobnog traktora tlak je mjeren samo na dubini od 14 cm, uz istovremeno određenje uspravne sastavnice sile u užetu od 8,5 kN i vodoravne vučne sile od 3,25 kN. Forvarder je vozio teret koji je varirao u skladu s planom pokusa. Podaci za gume i njihovo stanje dani su u sljedećem poglavlju. Ostali činitelji istraživanja, kao što su neto trakcija, brzina vožnje, unutarnji tlak guma i dr., držani su stalnima.

Dijelom je statistička obrada mjernih podataka obavljena tako da se zasnivala na grafičkom prikazu izvornih podataka.

Sa zapisa mjerne trake uzimane su samo najveće vrijednosti tlaka (pritiska) stvorenog dirigiranim pokusom za različita stanja traktora (prazan/opterećen), različito opterećenje, trenutno stanje tla i dr. (slika 2).

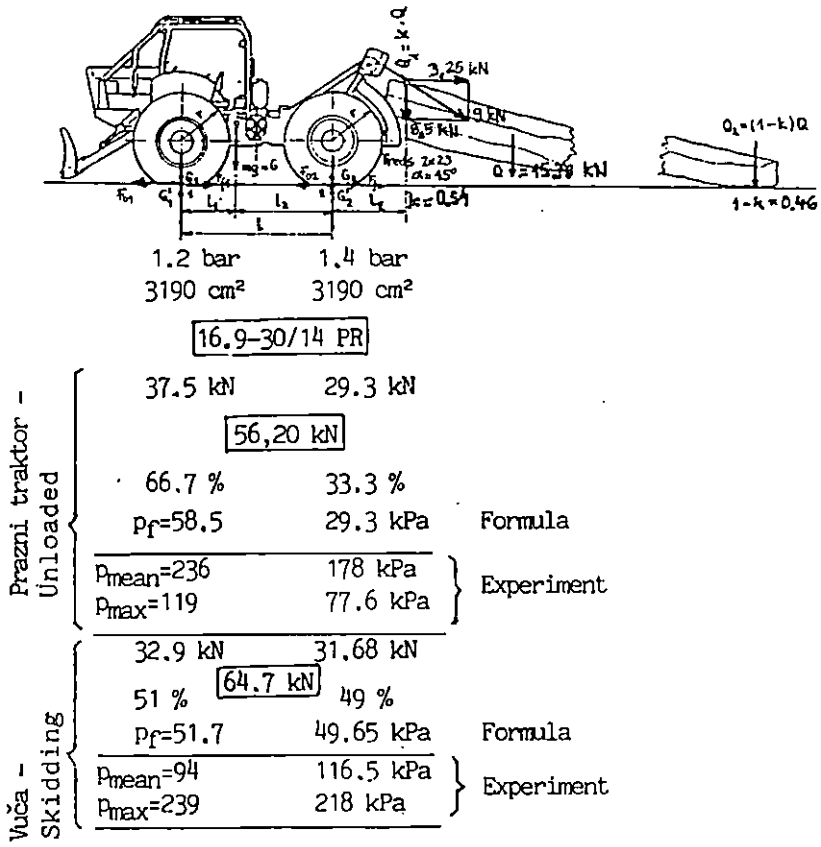
REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA – RESULTS OF THE EXPERIMENT AND DISCUSSION

Opis ispitivanoga traktora – Description of the tractor investigated

Kao predmet ispitivanja izabrana su dva karakteristična specijalna šumska traktora III. generacije: zglobni traktor srednje kategorije i teški forvarder.

Na slici 3. prikazana su osovinska opterećenja ispitivanoga zglobnog traktora, ostvarene sastavnice sila na užetu te drugi parametri značajni za proučavanje sabijanja tla, tlakova u podtlu, dodirnog tlaka i dr. U ovom slučaju je tlak u podtlu mjeren na dubini od 14 cm jer pri vuči drva jednim krajem obješenim o uže drugi uzrokuje stvaranje traga u tlu te bi mogao oštetiti pretvornike.

Ispitivani teški forvarder formule kotača 6 x 6 prikazan je na slici 4. Uz svojstva pneumatika, proračunske dodirne ploštine i dr. na crtežu su dana osovinska opterećenja (lijeva i desna strana vozila) za prazno i maksimalno (nazivno) opterećeno vozilo.



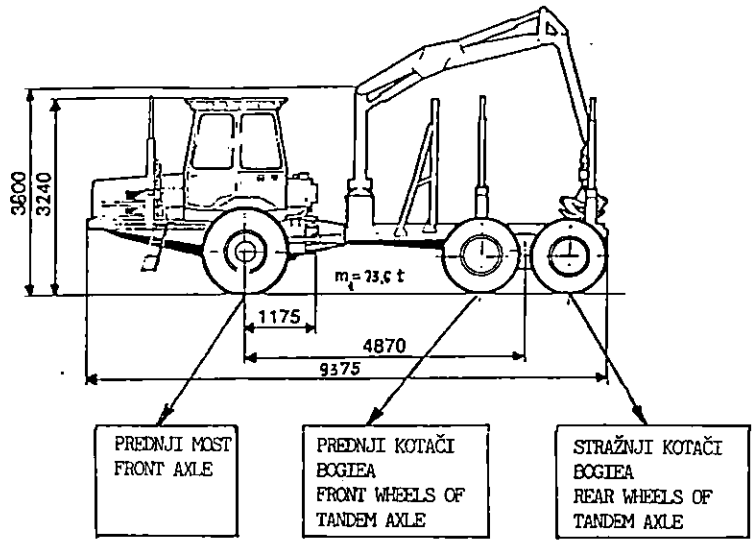
Sl.–Fig. 3. Neke karakteristike ispitivanoga zglobnog traktora formule 4 x 4 — Some characteristics of the investigation 4 x 4 wheel formula skidder

Neka svojstva tla — Characteristics of investigated soil

Uz određenje granulometrijskog sustava tla i njegova mehaničkog otpora utvrđivana je i njegova mokrina.

Na vlaci na kojoj se radilo zglobnim traktorom uz relativnu mokrinu tla od 48 % utvrđene su granične vrijednosti mehaničkoga otpora od oko 5 MPa. Prema B e k k e r u (1979) tlo je prema penetrometarskoj karakteristici svrstano u istovrsno tlo. Granične vrijednosti sila utiskivanja iznosile su 104 N. Iz granulometrijskoga sastava tla ono se može označiti kao ilovača, a prema klasifikaciji Biroa za tlo SAD-a ilovača s 14,8 % gline, 37 % pijeska i 48,2 % praha.

Na stazi gdje je ispitivan forvarder radilo se o istovrsnom srednje čvrstom tlu čija je penetrometarska karakteristika prikazana na slici 5, a promjena relativne mokrine po dubini na slici 6.

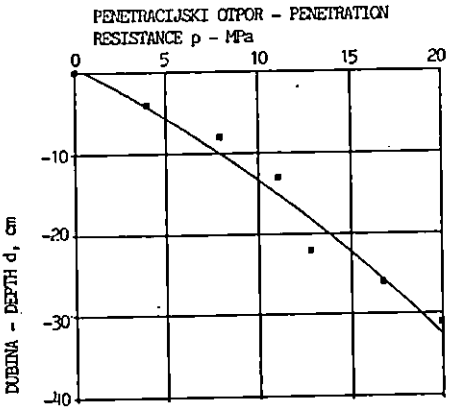


	18.4-34/14 PR	17.5-25/16 PR	
	3850 cm²	2990 cm²	
Prazan - Empty	76 kN	34.6 kN	36 kN
	98.7 kPa	57.7 kPa	60.2 kPa
Opterećen - Loaded	76.5 kN	103 kN	91.5 kN
	99.3 kPa	172.2 kPa	153 kPa

Sl. – Fig. 4. Teški forvarder formule kotača 6 x 6; karakterstike kotača i dodirni tlakovi – Heavy-duty forwarder of the 6 x 6 wheel formula; wheel characteristics and footprint ground pressure

Rezultati eksperimentalnog utvrđivanja tlaka u podtlu – Results of experimental subsoil pressure measuring

Uvodno su prikazani neki zadaci eksperimentalnoga određenja tlaka u podtlu, mijenjanje opterećenja po širini gume u ovisnosti o promjeni opterećenja vozila, traženje najvećih tlakova u središnjoj zoni pneumatika, promjene tlaka u različitim horizontima i dr. Osim promjenom nošenoga tereta preraspodjela opterećenja mostova uzrokovana je i različitim prihvaćanjem tereta, te promjenom omjera vodoravne i uspravne sastavnice sile u vučnom užetu uzrokovanog promjenom otpora privlačenja. Time se mijenja i pritisak jer se vertikalna komponenta tereta u svom punom iznosu kod zglobnih traktora pribraja vertikalnom opterećenju stražnjega mosta, teret se klati na užetu uzrokujući stalno dopunsko opterećenje, što sve djeluje na promjenu pritisaka i uzrokovanih tlakova ispod kotača vozila i u tlu. Poznavanje takvih promjena i zakonitosti njihova ponašanja omogućuje planiranje tereta koji osigurava podjednako opterećenje mostova, podoban izbor traktora, stvaranje kriterija klasifikacije terena i dr. U krajnosti sve to treba ukloniti razloge ekstremnog zbijanja tla.



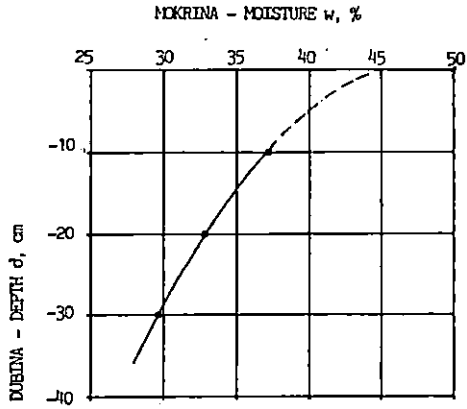
$y = Ax^2 + Bx + C$

A = -0.026 cm/MPa²

B = -1.14 cm/MPa

C = 0.69 cm

Sl. – Fig. 5. Penetrometarska karakteristika ispitivanoga tla – Conepenetrometer characteristics of investigated soil



$y = Ax^2 + Bx + C$

A = -0.094 cm

B = 8.94 cm

C = 212.6 cm

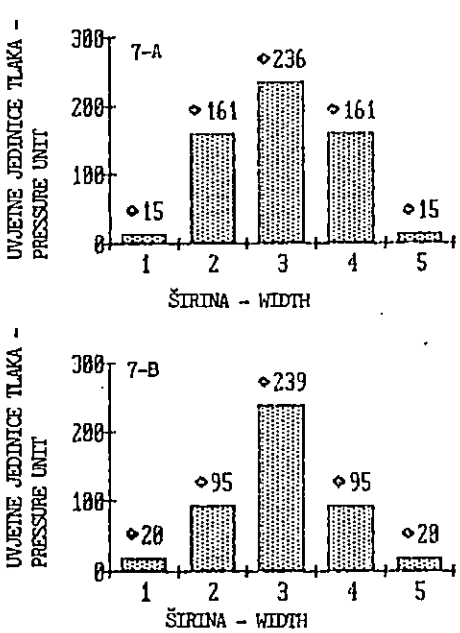
Sl. – Fig. 6. Promjena mokrine na ispitivanim horizontima – Moisture content changing at three investigated horizons

Na slici 7 – A i B prikazani je tlak utvrđen opisanim mjernim sustavom na dubini od 14 cm ispod kotača skidera. Slika 7 – A prikazuje 5 utvrđenih najvećih vrijednosti tlaka po širini traga na razmaku od po 100 mm pri kretanju traktora bez tereta. U ovom slučaju je najveći tlak u središnjoj zoni za oko 47 % veći od onoga do njega, a beznačajan je na udaljenosti od 20 cm lijevo i desno od središnje zone. Vješanjem i vučom tereta prednji most se rasterećuje. Dok u središnjoj zoni tlak ostaje približno isti, u zonama do nje on iznosi tek 40 % maksimalnoga tlaka, što je tipičan pokazatelj njegova rasterećenja. Tlak je izvan ukupne širine od 30 cm zanemariv. Iako je mjerni sustav umjeren i moguće je iskazivanje jedinica tlaka, npr. u našem slučaju u kPa, na osi y su iskazane tzv. uvjetne jedinice tlaka da ne bi došlo do zabune i usporedbe s rezultatima dobivenima nekim drugim načinima i mjernim sustavima s kojima oni nisu usporedivi.

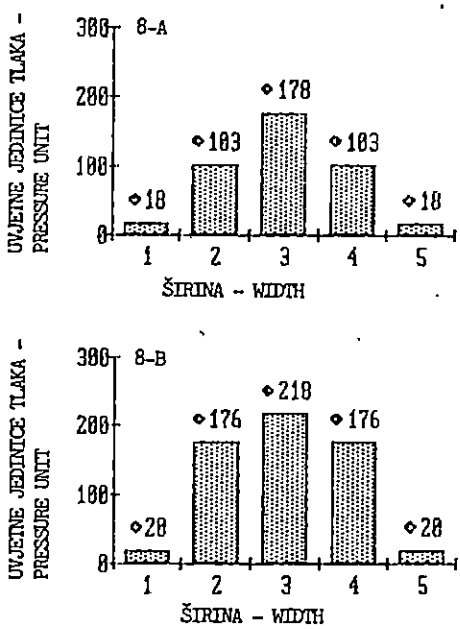
Sve rečeno vrijedi i za sve druge dijagramske iskaze i rezultate mjerenja opisanim sustavom.

Na slici 8 A i B prikazani su identični dijagrami za stražnji most zglobnog traktora; slika A za neopterećen (prazan) traktor i slika B za traktor tijekom vuče tereta kao na slici 7-B.

Stražnji most rasterećenoga traktora u središnjoj zoni uzrokuje najmanji tlak. Zone uz središnju opterećene su s 58 % iznosa toga tlaka. Vješanjem i vučom trupaca maksimalni tlak raste za 22 %, dok se u zonama do njega povećao do iznosa od 81 % najvećega iznosa. U krajnjim zonama nije došlo do značajnije promjene tlaka. U tablici 2. dani su ostali podaci u vezi s opterećenjem mostova traktora opisanih na slikama 7. i 8.



Sl. – Fig. 7. Prikaz mjernih rezultata tlaka po širini traga praznog/punog prednjeg mosta zglobnog traktora – Results of measuring the pressure upon the width of the unloaded/loaded front axle skidder's track (rut)



Sl. – Fig. 8. Prikaz mjernih rezultata tlaka po širini traga praznog/punog stražnjeg mosta zglobnog traktora – Results of measuring the pressure upon the width of the unloaded/loaded rear axle skidder's track

Kako je prije opisano, istraživanje tlaka u podtlu pri prolazu forvardera provedeno je na tri horizonta: na 10, 20 i 30 cm dubine ispod kotača. Pritom su mijenjana tri različita vožena tereta: najveći od 12.45 t (slučaj A), srednji 8.62 t (slučaj B) i najmanji 4.07 (slučaj C). Iskazani rezultati utvrđeni su nakon trokratnog prolaza preko mjernog sustava lijevom i desnom stranom vozila te iskazani kao srednje vrijednosti.

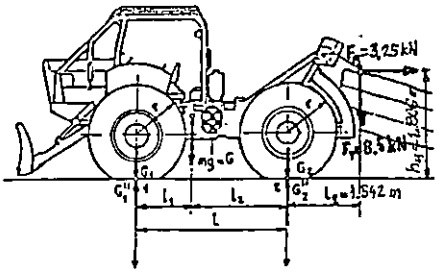
Na slici 9 A, B i C prikazani su rezultati utvrđenih tlakova na dubini od 10 cm, sve za prednji kotač forvardera, te prednji i stražnji kotač bogiea.

Prednjem kotaču je pri smanjenju pritiska za oko 31 % smanjen i maksimalni tlak za približno 16 %, a tlak bočne zone za oko 31 %, za koliko je smanjen voženi teret. Pri daljem rasterećenju vozila na oko trećinu početnog tereta najveći tlak središnje zone prednjega kotača dosegao je prvotnu vrijednost (povećao se oko 1 %), dok je bočno ostao približno isti kao pri teretu B (tlak je porastao za oko 2 %).

Prednji kotač bogiea pokazuje izričite promjene tlaka s promjenom pritiska. Kod njega smanjenje tereta za 31 % uzrokuje smanjenje maksimalnoga tlaka za 12 %, a tlakova do središnje zone za 44 %! Pri trostrukom smanjenju tereta (slučaj C) maksimalni tlak je spao na 52 % onoga u slučaju A, a u pokrajnoj zoni na 34 % iznosa pri najvećem teretu. U perifernoj zoni tlakovi su se neznatno mijenjali; u slučaju A i B su podjednaki, dok pri najmanjem teretu opadaju na 58 % početnoga.

Tab. 2. Neki podaci u vezi ispitivanog zglobnog traktora korišteni pri obradi rezultata mjerenja ($F_H = 3.2$ kN; $F_V = 8.5$ kN; $F = 9.81$ kN; $g \approx 10$ m/s^2) – Some data in connection of the investigated skidder used at data processing ($F_H = 3.2$ kN; $F_V = 8.5$ kN; $F = 9.81$ kN; $g \approx 10$ m/s^2)

Veličina – Quantity	Prednji most – Front axle		Stražnji most – Rear axle	
	Prazan – Empty	Opterećen – Loaded	Prazan – Empty	Opterećen – Loaded
Postotak težine G traktora – % of tractor weight G	66.7	51	33.3	49
Tlak zraka u zračnici – Inflation pressure, bar	1.2	1.2	1.4	1.4
Teret po mostovima – Axles load, kg	3750	3299	1870	3168
Teret po kotaču – Wheel load, kg	1875	1649.5	935	1584
Dimenzije guma – Tyre size	16.9–30/14 PR		16.9–30/14 PR	
Proračunska ploština dodira – Calculated footprint area, cm^2	3190	(3190)*	3190	(3190)
Tvornički iskazan srednji tlak – Manufacturer's mean pressure, kPa	58.5	51.7	29.3	49.65
Srednji mjerni tlak – Measuring mean pressure, kPa	(119)	(94)	(77.6)	(116.5)
Maksimalni izmjereni tlak – Maximum measured pressure, kPa	(236)	(239)	(178)	(218)



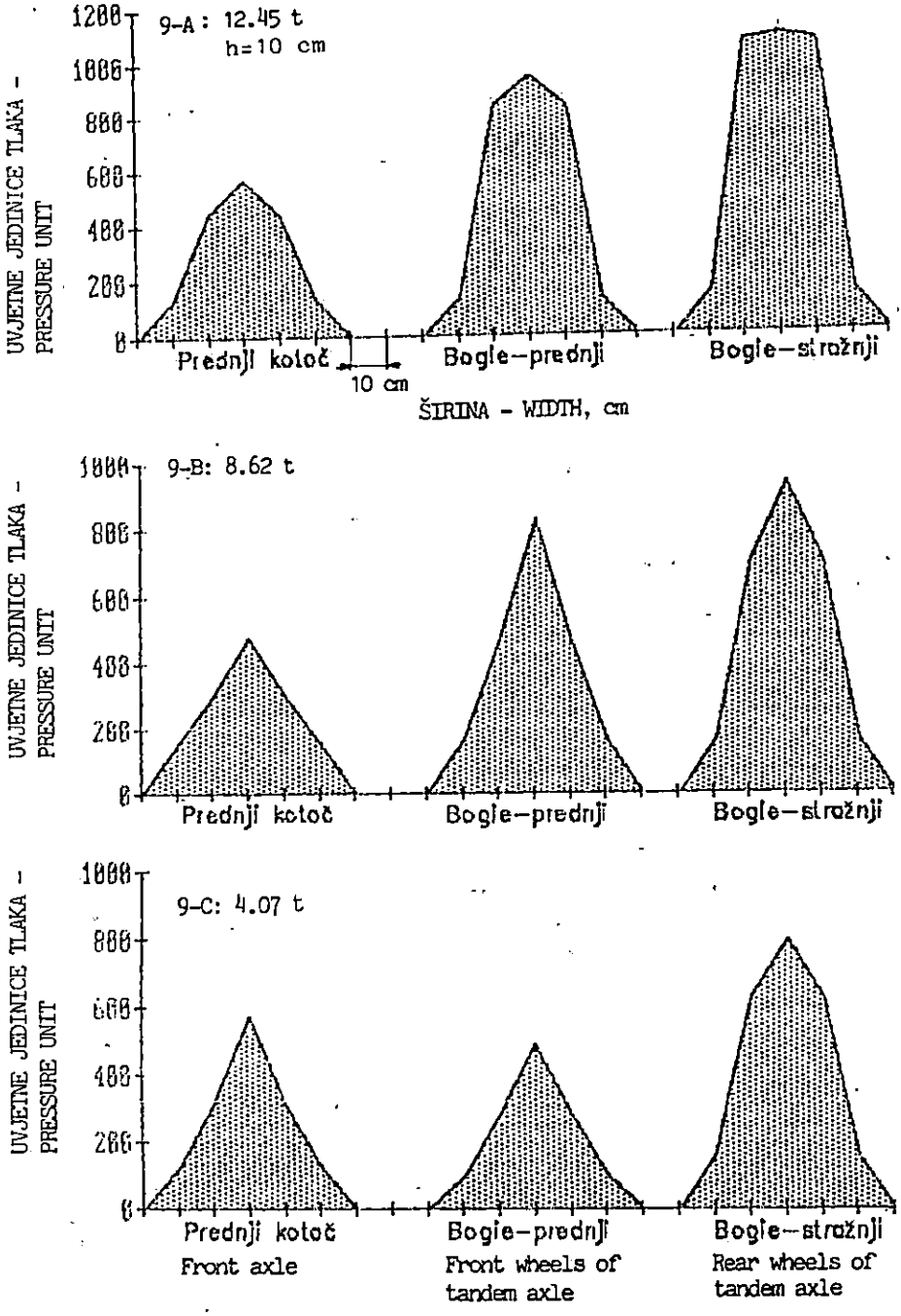
$$G_1'' = \frac{G \cdot l_2}{l} - \frac{F_H \cdot h_H}{l} - \frac{F_V \cdot l_V}{l} = \underline{32.99} \text{ kN}$$

$$G_2'' = \frac{G \cdot l_1}{l} + \frac{F_H \cdot h_H}{l} + \frac{F_V \cdot l_V}{l} = \underline{31.68} \text{ kN}$$

$$\text{gdje je: } \left.\begin{aligned} l_2 &= \frac{G_1 \cdot l}{G} = 1.56 \text{ m} \\ l_1 &= \frac{G_2 \cdot l}{G} = 0.78 \text{ m} \end{aligned}\right\} \; l = l_1 + l_2 = 2.34 \text{ m}$$

Prazan Empty	37.5	18.7 kN
Vuča Skidding	32.99	31.68 kN

*( ) – uvjetne vrijednosti – Conditional values



Sl.–Fig. 9. Tlak po širini traga kotača na dubini od 10 cm – Pressure width distribution of forwarder's wheels on 10 cm horizon

Stražnji kotač bogiea pokazuje drugačije promjene tlaka u podtlu na dubini od 10 cm. Najveći tlak je oko 14 % veći nego na prednjem kotaču bogiea. Pri najvećem opterećenju tlak je gotovo izjednačen po cijeloj širini traga od 20 cm (razlika je oko 2 %), dok s rasterećenjem tlak u zoni do središnje opada; u slučaju B za 34 %, u slučaju C za 41 %. Bočna zona 20 cm lijevo i desno od središnje ostaje gotovo nepromijenjenog tlaka. Posebno je velika razlika tlaka na dubini od 10 cm prednjeg i stražnjeg kotača bogiea za najmanji teret; razlika je 39 %.

Iz rezultata raspodjele tlakova se vidi značajan utjecaj tereta na preraspodjelu opterećenja po mostovima i prihvaćenog opterećenja od strane prednjih i stražnjih kotača bogiea. Na ovo zadnje posebno utječe duljina trupaca mnogo više i od iznosa pritisaka.

Na dubini od 20 cm iz rezultata istraživanja prikazanih na slici 10 A, B i C mogu se pratiti slične promjene tlaka utvrđenog i za manju dubinu podtla. Najveći tlakovi prednjeg kotača podjednaki su za dva veća tereta, s time da s povećanjem tereta zahvaćaju veću širinu pneumatika, dok rastu za oko 40 % pri rasterećenju u slučaju C. Maksimalni tlakovi u središnjoj zoni prednjeg bogie kotača ne smanjuju se tako značajno od slučaja A do C (A:B:C = 1:0.97:0.87), odnosno za stražnji kotač taj odnos iznosi 1:0.73:0.67. Po širini kotača se ovdje za bogie uočavaju razlike u opadanju tlaka izvan središnje zone od one na 10 cm dubine.

Povećanjem dubine mjerenja tlakova na 30 cm tlakovi se još više izjednačuju. Na slici 11 0, A, B i C, na prvom dijagramu 11-0 prikazan je i tlak praznoga forvardera. Najveći tlakovi prednjega kotača razlikuju se od onih najmanjih za prazno vozilo tek 14 % (najveći je za vozilo bez tereta kada je prednji most opterećen tek vlastitom težinom). Tek nešto je veća razlika (16 %) tlakova u zonama do središnje. I u tom je slučaju stražnji kotač bogiea opterećeniji od prednjega, što pokazuju i veći tlakovi. Za oba bogiea vrijedi da su po širini od 20 cm tlakovi podjednaki, s manjim padom u odnosu na najveće nego što je to bilo na manjim dubinama.

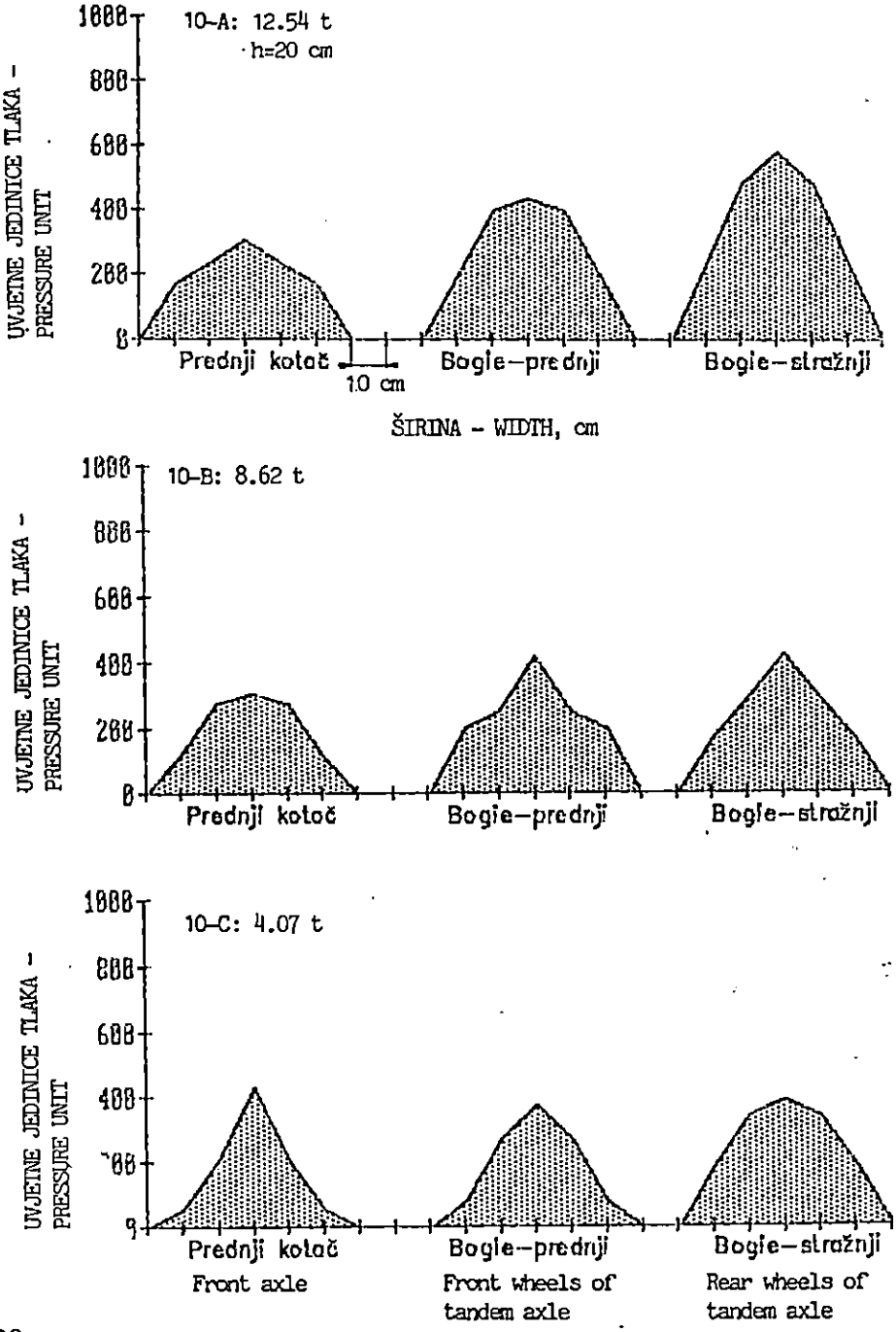
Na slici 12-A, B i C prikazan je sumarni dijagram promjene (pada) maksimalnoga tlaka u podtlu na dubinama 10, 20 i 30 cm, za tri vrste voženoga tereta (-o- 12.45 t; -+- 8.62 t; "*" 4.067 t), te prednji kotač forvardera i prednji i stražnji kotač bogiea. Dok se za prednji kotač forvardera može govoriti o jednolikom padu tlaka za cijelo promatrano područje dubina, za kotače bogiea je pad do dubine od 20 cm izrazitiji od pada između 20 i 30 cm. Određeno odstupanje je vidljivo na prednjem kotaču bogiea za najmanji teret.

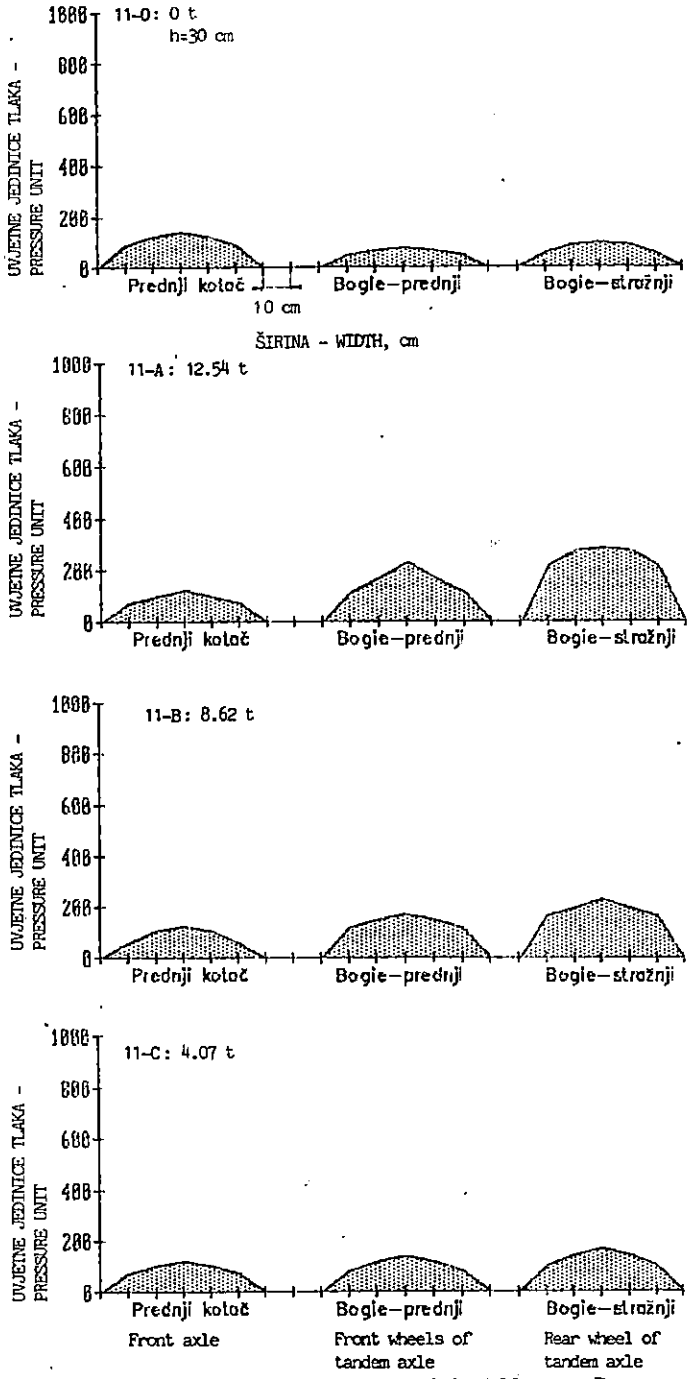
Načini smanjenja zbijanja tla — Methods of reducing soil compaction

Iskustvo šumarstva i drugih grana koje upotrebljavaju vozila na tlu slabe nosivosti pokazalo je neke putove i načine kako se može smanjiti sabijanje tla. Dio spoznaja iz citiranih radova potvrđen je i vlastitim istraživanjima.

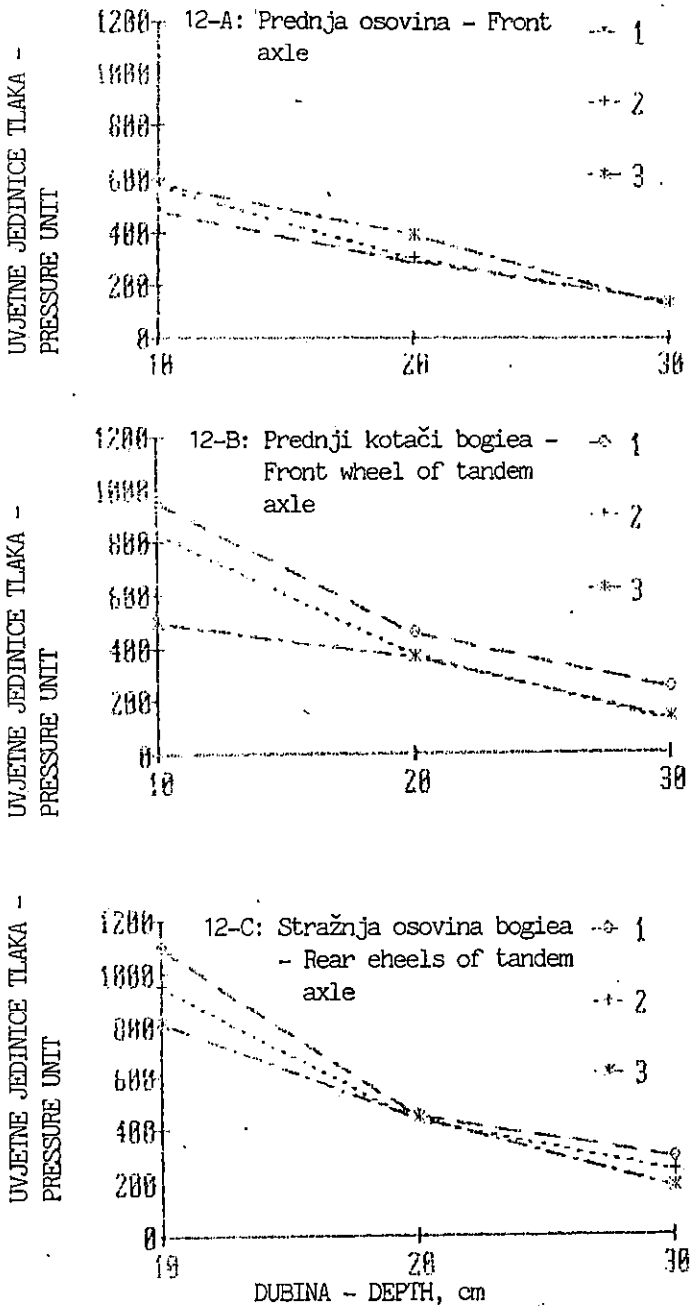
Na zbijanje tla može se utjecati izborom sredstava rada, pripremom rada, provođenjem tehnološkog procesa i dr.

Sl. – Fig. 10. Tlak po širini traga kotača na dubini od 20 cm – Pressure width distribution of forwarder's wheels on 20 cm horizon





Sl. – Fig. 11. Tlak po širini traga kotača na dubini od 30 cm – Pressure width distribution of forwarder's wheels on 30 cm horizon



Sl. – Fig. 12. Ovisnost tlaka podtla o dubini, za tri različita tereta forvardera – Relationship between subsoil surface pressure and depth, for three different forwarder loads Nr. 1 – 12.45 t; Nr. 2 – 8.62; Nr. 3 – 4.07 t

I z b o r sredstva kreće od temeljnog opredjeljenja — za vuču drva ili njegovo izvoženje, dakle za traktore s vitlom, kliještima ili nekim drugim načinom prihvata drva i podizanja jednoga kraja tijekom vuče, ili pak za traktore sa ponajprije poluprikoličnim tovarnim prostorom za prihvat cijeloga tereta i njegovo izvoženje, uz savladavanje otpora vožnje. Sigurno je da je energetički gledano najneprihvatljiviji način vuča čitava tereta drva po tlu (prikupljanje vitlom, vuča životinjskom snagom i dr.). Svaki od tri temeljna načina privlačenja drva uzrokuje različito zbijanje tla bilo teretom ili voznim sustavom traktora. Naravno da je sljedeći bitan element izbora odluka o izboru vozila s kotačima ili gusjenicama, odnosno kotača u pojedinačnom rasporedu, tandem rasporedu (tzv. bogie), kotača s lancima ili (polu)gusjenicama itd. Budući da su kotačni traktori najbrojnija sredstva rada na privlačenju drva u našoj zemlji, sljedeći bitan činitelj pri njihovu izboru su dimenzije pneumatika. Razvojem pneumatika nove generacije u uvjetima povećanog zbijanja tla upotrebljavaju se gume povećane nosivosti, redovno pneumatici veće širine (N o v a k, 1988; J a n o s, 1988; H a s s - e n p f l u g e, S e i f e r t & S e u f e r t, 1989. i dr.). Uz manje sabijanje tla primjenom takvih guma u uvjetima povećane vlažnosti i smanjene nosivosti tla porastao je njihov učinak, smanjena je jedinična potrošnja goriva, povećana djelotvornost sredstava rada i dr. Od ostalih elemenata izbora traktora za privlačenje drva u vezi sa sabijanjem tla važan je izbor njegova pogona (u prednosti su traktori s pogonom na sve kotače), izbora automatičke blokade diferencijala, vozila s povoljnom specifičnom masom, odabirom podobnog traktora za određeni posao (proreda, dovršni sijek i dr.).

Sljedeći bitan element prethodnih radnji koje smanjuju sabijanje tla jest priprema rada sa svojim projektom otvaranja, određenjem izvoznih putova različitih kategorija i dr. Između ostaloga projektom se predviđa i brojnost prolaza vozila po istom putu, ali s težnjom za što manjim brojem prolaza po sastojini, predviđanjem određene ploštine za potrebe privlačenja i dr. (S a u d e r & W e l l b u r n, 1987). Pritom će se paziti da gustoća prometnica i vlaka nije ista za vuču, izvoženje drva, privlačenje žičarom ili neki drugi način, da ovisi o izabranom sredstvu rada, njegovim svojstvima, da ovisi o terenu i sl., te može iznositi 4...5 % ploštine sječine. S a u d e r n et al. (1987) i S a u d e r n & W e l l b u r n (1987) spominju istraživanja o gaženoj površini te navode da se pri ljetnom privlačenju s traktorom s gornjim kliještima (grapple skidder) gazi 27,1 % ukupne površine za potrebe vlaka, prometnica i stovarišta, a za ljetno privlačenje s vučom po tlu 8,3 % površine itd.

Da bismo uopće smjeli započeti rad na tlu povećane vlažnosti, mora se poznavati njegova mokrina te donijeti odluka o tome može li se u danim uvjetima privlačiti ili ne može. Pri rastu mokrine nakon određene granice ne smije započeti privlačenje ni pod kakvim uvjetima. Tako M a k k o - n e n (1988) navodi klasifikaciju čvrstoće tla s obzirom na mokrinu tla i dozvoljeni nominalni dodirni tlak (v. pregled radova).

Ukoliko nemamo drugih mogućnosti utvrđivanja stanja tla, npr. prije opisanim mjerenjem mokrine, penetrometarskom karakteristikom ili npr. upotrebom bevametra i davanja složene karakteristike tla, može se

primijeniti neki praktični način provjere, npr. test rukom, proba lopatom i sl., te empirijski utvrditi mogućnost rada. Mnogi takvi poljski (terenski) pokusi pomažu nam u svakodnevnim odlukama raditi/ne raditi određenim sredstvom rada na privlačenju drva u određenim uvjetima.

Kada se ipak mora privlačiti drvo i pri nepovoljnim uvjetima stanja tla, sa stanovišta zahtjeva manjeg zbijanja tla treba izvlačiti manje terete, težiti ravnomjernijoj podjeli tereta po mostovima traktora itd.

Rast razine mehanizacije uzrokuje i rast broja upotrebljavanih strojeva u šumarstvu. S time raste i brojnost prolaza vozila u sastojini, što može povećati zbijanje površine tla, oštećivati korijenje. Duboki kolotrazi kotača posebno su česti na traktorskim vlakama. Rezultat tog oštećenja (zbijanja tla) jest smanjenje prirasta, smanjenje kvalitete drva, infekcija korijenja i kore. U kolotragu je tlo sabijeno i korijenje ispod njega je ili oštećeno ili presječeno. Nema preporuka za odgovarajući tlak podloge, vučnu silu, broj prolaza vozila itd. u praktičnoj primjeni traktora na privlačenju drva.

ZAKLJUČAK – CONCLUSIONS

Da bi se vidjelo djelovanje ukupnog tereta privlačenog drva i traktora na ujednačeno tlo, tražen je način eksperimentalnog utvrđivanja svojstava tla, posebno njegova sabijanja.

Primijenjeni mjerni sustav uz ostali mjerni postupak daje informacije o pritisku i tlaku ispod kotača šumskih traktora i poput »konusnog indeksa« CI pri penetrometriranju daje relativne pokazatelje.

Za postavljanje mjerila sile povezanih u gredu na određenu dubinu ispod kotača neminovno je razaranje obujma tla iznad njega, što je slučaj i pri drugim poznatim metodama, ali u manjoj mjeri zbog manjih dimenzija mjernih pretvornika. U vezi s iznesenim može se ustvrditi da primijenjena metoda nije usporediva s drugim sličnim istraživanjima, ali je usporediva sama sa sobom, te nedvojbeno daje rezultate za ocjenu generalnog trenda distribucije tlakova u tlu, njihova intenziteta i karakterističnih zona.

S rastom dinamičkog opterećenja za sve je profile sabijene zone rasla širina s povećanim tlakom. Intenzitet tlaka je u određenoj zoni po profilu u funkcijskoj vezi s intenzitetom deformacija, odnosno sa stupnjem sabijenosti tla.

Sloj s povećanom tvrdoćom, poput tabana u poljoprivredi, sreće se na traktorskim vlakama i pomoćnim stovarištima, gdje postoji višekratni prolaz vozila. To je razlogom da se pri projektiranju tehnološkoga procesa namjenjuje dio šumske površine za potrebe kretanja strojeva, kao što se to npr. radi u šumskim rasadnicima sa stalnim tragovima između gredica, projektiranim vlakama itd. Za rast biljaka jednako je štetan jedan prolaz vrlo velikoga opterećenja kotača kao i višekratni prolaz s manjim opterećenjem kotača. Navedenu spoznaju treba uzeti u obzir pri izboru kategorije traktora, a time i određenog broja prolaza vozila po istom tragu.

Primijenjeno istraživanje je pokazalo da je tlak pri izvoženju drva forvarderima na 3 određene točke ispod dodirne površine tla ovisno o dodirnoj pritiskivanoj ploštini i ukupnom teretu, a kod zglobnog traktora i ostvarenoj vučnoj sili, odnosno njezinim sastavnicama.

S porastom šumarske opreme i po dimenzijama i masi, što izaziva povećanje vučnih sila, klizanja i drugih energetskih veličina, konstruktori strojeva su povećavali dimenzije guma, posebno njihove širine, zadržavši jedinično opterećenje dodirne površine približno stalnim, a zbijanje tla snošljivim. Međutim, rast opterećenja mostova vozila uzrokuje rast sabijanja tla u bilo kojem profilu podtla, uzrokujući signifikantni rast sabijanja.

Istraživani sustav daje upotrebljive i ponovljive rezultate neophodne za projektiranje otvaranja šumskih predjela, izbor vozila, davanje elemenata za gradnju šumskih prometnica. Nisu usporedivi s drugim rezultatima dobivenih drugačijom mjernom metodom. U toku su usporedna istraživanja koja će utvrditi odnos opisane metode s drugim poznatima. Upotreba mjernoga sustava je jednostavna. Pretpostavlja poznavanje osovinskoga opterećenja mostova.

LITERATURA – REFERENCES

Åkerman, R., 1975: The Kockum 850 Forwarder. Skogsarbeten teknik No. 2 E 1975 (Translation from Swedish issue No. 2 1975, Stockholm) p. 5.

Anon, 1969: Terrain Classification for Swedish Forestry. Skogsarbeten, Report NR 9, Stockholm, p. 12.

Bekker, M. G., 1956: Theory of Land Locomotion. The Mechanics of Vehicle Mobility. Ann Arbor, pp. 1-522.

Bekker, M. G., 1960: Off-the-Road Locomotion. Research and Development in Terramechanics. Ann Arbor, pp. 1-220.

Bekker, M. G., 1963: Die Mechanik der Geländefahrt. Landtechnische Forschung 13 H. 3, pp. 70-78.

Bekker, M. G., 1973: Vedenie v teoriju sistem mestnost'-mašina. Mašinostroenie, Moskva, prijevod: Introduction to Terrain-Vehicles Systems, The University of Michigan Press, Ann Arbor, 1969, pp. 1-520.

Bolling, I., W. Söhne, 1983: Pritisak na tlo teških traktora i vozila (prijevod iz Landtechnik, februar 1982), Agrotehničar, 19, br. 2, str. 7-9.

Bojanin, S., 1980: Problemi klasifikacije šumskih terena. MŠ, 5 (5-6), str. 176-187.

Calvert, W. W., A.M. Garlicki, 1968: Tree-length Orientation and Skidding Forces. Pulp & Paper Magazin of Canada, June 21, pp. 1-4.

Frisk, Å., 1973: Larger payloads from low ground surface pressure? Skogsarbeten teknik, No. 3 E 1973, translation from Swedish issue No. 7 1973, Stockholm, pp. 1-4.

Garlicki, A. M., W.W. Calvert, 1967: Effect of Tree-Length Orientation On Skidding Forces. FPJ Technical Note, Forest Products Journal, Vol. 18, No. 7, pp. 37-38.

Hassenpflug, H., G., i dr., 1989: Širim gumama i manjim pritiskom protiv zbijanja tla. Agrotehničar, 25, 1, str. 44-45; preneseno iz Agraf-Übersicht, 4/85.

Hedstrom, W. E., 1985: Forest Transportation Systems. Forest Soil Engineering. University of Maine, Crono, Maine, pp. 1-55.

Horvat, D., 1980: Istraživanje utjecaja udvajanja kotača na njihovu korisnost. Zbornik radova savjetovanja »Aktualni problemi mehanizacije u poljoprivredi«, Šibenik, str. 91-104.

Igrčić, V., 1988: Stanje mehanizacije u šumarstvu SR Hrvatske krajem 1986. godine, Biblioteka mehanizacije, prilog MŠ, 13 (3-4), str. 1-77.

Janos, Z., 1988: Razvoj pneumatika u poljoprivredi sa stajališta očuvanja tla. Agrotehničar, 24, 1, str. 41-45.

Joksimović, M., 1977: Uticaj gaženja zemljišta različitim traktorima u predsetvenoj pripremi na prinos šećerne repe (The influence of the soil compacting with various tractor types, during the presowing period), IX International Symposium Yugoslav Society for Agricultural Techniques »Agricultural Technique in the Agroindustrial Complex«, Novi Sad, str. 660-668.

Kolektiv autora, 1988: Tehnički uvjeti za gospodarske ceste. Znanstveni savjet za promet, JAZU, Zagreb, str. 1-76.

Križnar, M., 1970: Uporedenje vučnih svojstava traktora u odnosu na način prenošenja vučne sile na podlogu. Zbornik radova simpozija »Mehanizacija u poljoprivredi«, Zagreb, str. 13-33.

Larminie, J. C., 1988: Standards for the mobility requirements of military vehicles. Journal of Terramechanics, Vol. 25, No. 3, pp. 171-189.
Littleton, I., J. G. Hetherington, 1987: The study of parameters which affect tracked vehicle ground pressures on dry sand. Proceedings, Volume I 9th International conference ISTVS, Barcelona, pp. 213- 220.
Löffler, H., 1979: Forsttechnische Geländeklassifikation. Forsttechnische Informationen, 31, 12, pp. 89-92.
Makkonen, I., 1988: Review of Forwarders, Woodlot technology, TN- 123, December, pp. 1-12.
Mellgren, P. G., 1980: Terrain classification for Canadian Forestry. Canadian Pulp and Paper Association, Montreal, 13 p., W.S.I. 2840.
Mikkonen, A., A. Wuolijoki, 1975: Pikatestausten suoritusteknikka. Metsäteho Review, 9/1975, 5 p.
Novak, W. P., 1988: Downsizing Skidders with High-Flotation Tires. TN- 113, January, FERIC, Pointe Claire-Canada, 6p.
Piria, I., 1977 a: Efekti sabijanja tla traktorskim kotačima. Zbornik radova »Aktualni problemi mehanizacije poljoprivrede«, Poreč, str. 1- 24.
Piria, I., 1977 b: Kako postići što manje sabijanje tla traktorskim kotačima. Agrotehničar, 13, br. 2, str. 18-23.
Piria, I., 1989: Opterećenje podloge djelovanjem radnih i transportnih tehničkih sredstava koja se primjenjuju u poljoprivredi, str. II-24, Studija kao podloga za »Tehnički uvjeti za gospodarske ceste«, Znanstveni savjet za promet JAZU, Zagreb.
Ronai, Đ., I. Klinar, 1977: Analiza ponašanja kontaktne površine točka poljoprivredne traktorske prikolice u černozemu. IX International Symposium Yugoslav Society for Agricultural Technique »Agricultural Technique in the Agroindustrial Complex«, Novi Sad, str. 644-657.
Ronai, Đ. M., 1983: Teorija kretanja van tvrdih puteva. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Institut za mehanizaciju, Novi Sad, str. 1-324.
Ronai, Đ. M., 1986: Sabijanje zemljišta kao posljedica kretanja točka. Institut za mehanizaciju, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, str. 1-227.
Ronai, Đ. M., 1987: Predlog za standardizaciju terminologije iz oblasti teramehanike i vozila visoke prohodnosti. JUMV informacije, Beograd, maj-august, str. 6-8, I. deo; JUMV informacije, Beograd, septembar-decembar, str. 8-11, II. deo.
Sauder, E. A., G.V. Wellburn, 1987 a: Studies of Yarding Operations on Sensitive Terrain, Queen Charlotte Islands, B. C. FERIC Special Report Number SR-43, Vancouver, 45 p.
Sauder, E. A., R.K. Krag & G.V. Wellburn, 1987 b: Logging and Mass Wasting in the Pacific Northwest with Application to the Queen Charlotte Islands, B. C.: A Literature Review. FERIC Special Report Number SR- 45, Vancouver, 26 p.
Sever, S., 1980: Istraživanja nekih eksploatacijskih parametara traktora kod privlačenja drva. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Zagreb, str. I-XVI i 1-301.
Sever, S., D. Horvat, 1981: Utjecaj nekih karakteristika tla na prohodnost vozila te prijedlog za njihovo proučavanje kod izrade klasifikacije šumskih terena. Referat na 8. sastanku Sekcije za iskorišćivanje šuma Zajednice šumarskih fakulteta i instituta za šumarstvo i drvnu industriju SFRJ, Skopje, str. 1-13, i MŠ, 6 (1981) 9-10, 287-299.
Sever, S., 1984: Istraživanja nekih eksploatacijskih parametara traktora pri privlačenju drva (Investigation of some tractors exploitation parameters at wood skidding). Glas. šum. pokuse, Vol. 22, pp. 183-303, knjiga 22.
Söhne, W., 1983: Razvoj i granice razvoja poljoprivredne tehnike na primjeru poljoprivrednog traktora i kombajna. Agrotehničar, 19, 10, str. 5- 15.
Taylor, J. H., E.C. Burt, 1987: Total Axle Load Effects on Soil Compaction. Journal of Terramechanics, Vol. 24, No. 3, pp. 179-186.
Tomić, B., 1986: Razvoj mehanizacije, tehnologije i organizacije rada u iskorišćivanju šuma u Šumskom gospodarstvu »Mojica Birta« u Bjelovaru. Šum. list, CX, 1-2, 29-44.
Wästerlund, I., 1988: Strength Components in the Forest Floor Restricting Maximum Tolerable Machine Forces. Zbornik radova JUKEM 13, str. 579-585.

Adresa autora:

Šumarski fakultet
Sveučilišta u Zagrebu
Katedra za drvnoindustrijsko i
šumarsko strojarstvo
41001 Zagreb, pp. 178.

Sever, S. & D. Horvat: Sabijanje tla pri izvoženju i vuči drva teškim traktorima. Glas. šum. pokuse 26:519–546, Zagreb, 1990.

Original scientific paper

STANISLAV SEVER & DUBRAVKO HORVAT

SOIL COMPACTION AT WOOD HAULING AND WOOD SKIDDING WITH HEAVY-DUTY TRACTORS

Conclusions

The work with new measuring device was used to answer the following questions:

- What is the relation between the pressures in the soil under wheels, established by the known methods and the suggested measuring system?
- How high are the pressures under the skidded wheel?
- How is the pressure changed along the wheel width?
- What is the pressure change like as to the depth under wheel rut, etc.?

The increase of power and volume of the tractor in forestry has been proportional to the increase of their tyre dimensions. The increased bearing load of the used tyres is too low to bear greater loads without the increase of air pressure, as was established for the development of tractor in agriculture, where the increased tyre width significantly increased the tyre width significantly inreases the loading capacity when compared to the increase of the tyre diameter or inflation pressure. This is why the mean pressure on the contact surface of tyre and ground has remained nearly unchanged for the last thirty years, or has even been slightly reduced. However, every new passage of the tractor along the same track will cause further soil compaction.

At studying the vehicle-soil system, forestry is extremly interested in the established information on soil treading and compaction. Treading primarily depends on the applied technology and work method, the degree of organization and preparation of the work, and the used means, whereas compaction depends in the first place on the vehicle, state and property of the soil, and whether the load is being hauled or skidded.

Soil compaction is a process resulting from the usage of mechanical means that cause reciprocal settling of soil particles. The consequence is a reduction of the pore volume filled with air. At forest exploitation, soil compaction is a result of the moving of the tractor, haulage, site preparation, etc.

Commonly, the soil compaction will be considerably higher under higher loads, regardless of equal contact pressure. Rut depth, wheel rut cross-section surface, cone index, soil density, compacted soil profile in wheel rut, distribution of energy loss between wheels and soil, etc. are all common parameters of soil compaction.

Investigation of forest site treading and soil compaction started with the beginning of the logging mechanization. The goals of this research were the percentage of the wheel rut area, rut depth and cone penetrometer test at the wheel track, especially for the overloaded ground.

The paper deals with lab-terrain methods of measuring soil compaction by two kinds of wood transport: skidding of wood with skidders and hauling with forwarders. A simple compact beam with 6 or 10 measuring transducers, uncomplicated to use, was used as a measuring system. Besides finding the soil compaction by vehicle wheels, the investigation was carried out by overloading of tractor axles, changing of pressure per tyre width, etc.

Skidding machines of 3rd generation were used: skidders and forwarders. At investigating the skidders, the pressure was measured at a depth of 14 cm at a horizontal skidding component of 3.25 kN and a vertical component of 8.5 kN.

The pressure in the middle zone of skidder tyre was 37 % higher than the one in end zones. By suspension and hauling of the load, the front axle is unloaded; the maximum pressures remain nearly the same, while the ones in the nearby zones drop to about 40 % of the highest amount. On the rear axle of the skidder were established reverse phenomena to the ones on the front axle; the empty rear axle was considerably underloaded, and by skidding of the load it became loaded and showed the properties of a front empty axle.

The investigation of the pressure in subsoil at transport of the load by forwarder was carried out on three horizons: 10 cm, 20 cm, and 30 cm deep. At this the loads were changed, 12.45 t, 8.62 t and 4.07 t. The wheel of the forwarder can be refered to as an even decrease of the pressure for the whole observed depth area, while the bogie wheel has a decrease to the depth of 20 cm as more distinguished than the one at greater depth.

Minimization of soil compaction is influenced by choice of tractor and tyres, preparation and organization of work, technological processes in forest exploitation, etc. The applied measuring system yields information on the pressure and weight under the wheels of forest vehicles, though only relative indices.

The research showed generally that the pressure at hauling by forwarders, as measured in three points, depends on the contact plane and total load, under contact soil surface; with skidder, it also depends on the effected skidding force.