

KOLIKO SMO BLIZU EKOLOŠKI PRIHVATLJIVOJ UPORABI MEHANIZACIJE U ŠUMARSTVU?

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY USE OF MACHINERY IN
FORESTRY – A SOAP BUBBLE OR A NEAR FUTURE

Ivan MARTINIĆ*

SAŽETAK: Šumske su ekološke sustave izloženi dugotrajnoj degradaciji uslijed djelovanja strojeva kojima se mehaniziraju raznovrsni radovi u gospodarenju šumama. Ovo je djelovanje ponajviše ograničeno na tlo, a tek kod nekih radova i na vegetaciju. Postoji suglasnost o tome da je obavljanje šumskih radova bez oštećivanja okoliša neprovjedivo, bez obzira na sve mјere zaštite. Zbog stalnog dodira s tлом te poglavito zbog kretanja po sastojini, najveća oštećenja uzrokuju vozila. U radu se razmatraju negativni ekološki učinci zbog oštećivanja sastojine, posebno ona djelovanja koja za posljedicu imaju smanjenje prirasta šumske biomase, ali i kvalitete drva. Posebno se raspravlja o metodama utvrđivanja veličine štetnog djelovanja i načinima iskaza obujma oštećenja. S tim u vezi navode se rezultati istraživanja pri najvažnijim šumskim radovima: sjeći, izradi i privlačenju drva te pri gradnji šumskih pro-metnica. Značajna se pozornost posvećuje mjerama za izbjegavanje ili smanjenje oštećenja preporučenima od ECE/FAO/ILO/ grupe koja se bavi utjecajem mehaniziranja šumskih radova na tlo. Iskazane mјere smanjenja oštećivanja uključuju tehničko-tehnološke, radno-organizacijske, izobrazbene i ekonomski čimbenike. U radu se raspravlja o temama koje bi trebale biti predmetima dalnjih istraživanja. Pri tom se naglašeno očekuju rješenja koja se odnose na mјere popravljanja oštećenoga tla, kriterije izbora odgovarajućih strojeva i tehnike te razvoj tehnologije privlačenja drva prihvatljive sa stanovišta okoliša. Od svih zadaća osobito se izdvajaju one o potreboj suglasnosti svih interesnih strana – države, vlasnika šuma, djelatnika u šumarstvu, proizvođača opreme i drugih - kako bi se oštećivanje i nepovoljni ekološki učinci ograničili na okolišu prihvatljivu razinu i time se dugoročno osigurali ekonomski i ekološki povoljni rezultati gospodarenja šumskim ekosustavima.

Ključne riječi: šumarstvo, šumski radovi, strojevi, ekologija, oštećivanje šuma.

1. UVOD – Introduction

Šezdesetih godina ovoga stoljeća započela je značajnija zamjena ručnoga rada i rada životinja u šumarskoj djelatnosti radom strojeva. Razlozi za uočljivo

brzi razvoj mehaniziranih postupaka u šumarstvu bili su brojni: npr. rad na otvorenom prostoru, značajan utjecaj meteoroloških uvjeta na radne postupke, oduševan utjecaj stanja tla na odvijanje radova, težak i opasan rad u rokovima koji su ograničeni vremenski i tehnološki zbog bioloških i drugih uvjeta i dr.

Dok je, npr., rasadnička proizvodnja gotovo u potpunosti mehanizirana, sječa, izrada i transport drva

* Ivan Martinić, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za organizaciju i ekonomiku u šumarstvu,
Svetosimunska c. 25, HR - 10 000 Zagreb, Hrvatska
ivan.martinić@kr.tel.hr

značajno su mehanizirani na različitim razinama. Uzgajanje šuma traži zbog svojih bioloških i drugih raznolikosti znatno veći napor, ali i znanje sudionika u procesu mehaniziranja. Mnoge norme, preporuke, razredbeni prijedlozi, ispitne liste i drugi spisi olakšavaju strategije izbora, uporabe, promicanja i davanja odrednica za nove generacije strojeva.

Pokušaji ubrzane mehaniziranosti šumskih radova u mnogo su slučajeva značili preuzimanje rizika uporabe tehnike, čiji utjecaj nije bio poznat, bilo na radnika-ru-

kovatelja, bilo na okoliš. Kako to navodi Sever (1997) "uz česti čovjekov strah pred nepoznatim, u ovom slučaju tehnikom i inženjerstvom koje je svakodnevno donosilo nova začudujuća i moćnija radna sredstva pogonjena sve snažnijim i bremenitijim (masenijim) strojevima i uređajima, stvarala se nerijetko odbojnost, pa i neprihvaćanje ponuđenih rješenja. Kad kada je to dovodilo do mnogih zaostajanja i kojeg desetljeća u prihvaćanju ponuđenih rješenja mehaniziranih postupaka!".

1.1. UTJECAJ MEHANIZIRANJA ŠUMSKIH RADOVA NA OKOLIŠ Impact of mechanizing forest operations on environment

Kod uporabe mehanizacije pri šumskim radovima, nekoliko je nepodijeljenih mišljenja:

1. Svaka primjena strojeva u mehaniziranim postupcima zasigurno svojim djelovanjem opterećuje okoliš; jednom je to emisija štetnih tvari u atmosferu i/ili u tlo, gaženje i sabijanje tla, buka i vibracije, koje osim na rukovatelja strojem djeluje i na faunu;
2. uvijek su moguće nesreće ili incidenti s teškim posljedicama za radnike i okoliš i sl.;
3. iako mehanizirani postupci i nisu onečistači koji bi na šumske ekosustave djelovali u toj mjeri kao industrijski ili urbani, obveza je šumara (i šumarstva) trajno pratiti i izvještavati o ugrožavanju i mogućim okolišnim promjenama uslijed mehaniziranja šumskih poslova;
4. devedesete su godine donijele sve više zahtjeva za ocjenom ekološke sastavnice šumskih postupaka, radnih sredstava i drugih čimbenika, njihovim vrednovanjem glede veće ili manje prihvatljivosti za okoliš. Za strojeve s ekološki prihvatljivim učincima na okoliš, u inozemnoj se stručnoj literaturi često dodjeljuje atribut *environmentally friendly* ili *nature closely*.

Načela općeprihvaćene ideje potrajnog gospodarenja šumom postavila su nove kriterije za ocjenu uspjehnosti radnih procesa u šumarstvu. Pri tomu se kao najviši cilj postavlja uvjet minimalno mogućeg ili prihvatljivog stupnja oštećenja ukupnosti šumskih sastojina: tla, vode i vegetacije.

U ranim osamdesetim upozoravano je (npr. Matić 1983) kako daljnja uporaba novih tehnologija i strojeva u šumi mora uzeti u obzir potencijalne negativne ekološke učinke koje ta primjena izaziva, te ih usporediti s ekonomskim pokazateljima. Nadalje pokazalo se da je veličinu šteta iskazanu smanjenom proizvodnošću šuma ili ugrožavanjem drugih koristi (npr. u zaštiti od erozije, reguliranju vodnog režima i dr.) teško procijeniti, dok posljedice šteta ostaju godinama pa i desetljećima.

Švugdje gdje se u šumarstvu uporabljaju strojevi i oprema za pridobivanje drva ili druge radove kao što je npr. priprema staništa za pomlađivanje postoji znatan rizik oštećenja šumskog ekosustava. Šumsko je stanište izloženo ozbiljnoj dugotrajnoj degradaciji uslijed djelovanja strojeva na tlo kojima se mehaniziraju šumski radovi. Od svih strojeva kojima se mehaniziraju radovi u šumarstvu, vozila zbog stalnog dodira s tlom te poglavito zbog kretanja po sastojini, uzrokuju najveća oštećenja. Ipak, ovo je djelovanje ponajviše ograničeno na tlo, a tek kod nekih radova i na vegetaciju. Najkritičnijim se drže oštećenja od mehanizacije u mladim šumama, gdje više nego u starijim sastojinama utječu na daljnji razvoj i trajnost ukupnih ekoloških funkcija šuma.

Negativni ekološki učinci zbog oštećivanja sastojine uporabom strojeva pri šumskim radovima predmet su mnogobrojnih istraživanja, rasprava i različitih ocjenjivanja. Isto su tako različita mišljenja, rezultati istraživanja i mjere koje se poduzimaju u svrhu smanjenja oštećenja.

Autori koji su proučavali navedenu problematiku suglasni su da ne postoji mogućnost obavljanja šumskih radova bez oštećivanja okoliša bez obzira na sve mjere zaštite. Oštećivanje sastojine ovisi o nizu različitih čimbenika, od kojih su najznačajniji radne metode, vrste uporabljenih strojeva, njihove karakteristike i način korištenja, značajke terena, sastojinske prilike te odnos svih sudionika u šumarskoj proizvodnji prema šumskim radovima i šumi.

Ozbiljnost problema raste s upozoravajućim spoznajama o nerijetkim slučajevima gdje štete premašuju troškove privlačenja drva, a u nekim slučajevima i vrijednost dobivenog drva (Kulušić 1990). Oštećenja preostalih stabala pri sjeći u mladim sastojinama, zbog većeg broja polomljenih i izvaljenih stabala imaju znatno teže posljedice nego ona tijekom privlačenja drva (Martinić 1992).

2. VRSTE I OBUJAM NEPOVOLJNIH EKOLOŠKIH UČINAKA

Kind and extent of ecologically harmful impacts

Obujam oštećenja u uskoj je vezi s izborom radnih sredstava (strojeva i opreme), kakvoćom organizacije rada, pogodnošću radnih metoda konkretnim terenskim uvjetima te kakvoćom radne tehnike izvoditelja šumskih radova. Poznato je da kod privlačenja drva obujam oštećivanja raste s većom snagom strojeva, većom mehaniziranošću rada i većim duljinama privlačenih sortimenata. Manja i slabija sredstva privlačenja uzrokuju manje oštećivanje sastojine (Sishiuchi & Satomura, 1994; Martinić 1993).

Većina istraživača drži da je broj mehanički oštećenih stabala dobar pokazatelj ukupnog oštećenja sastojine. Takve se štete mogu razmjerno jednostavno i točno odrediti. Isto tako su i posljedice poznatije u odnosu na one pri oštećivanju pomlatka ili tla. Oštećivanje

pomlatka smatra se ipak manje važnim, a određivanje obujma oštećenja i sagledavanje posljedica oštećivanja tla povezano je s brojnim teškoćama i nepoznanicama (Južnić 1984, Tomanić i dr. 1989, Zdjelar 1990, Martinić 1991).

Pri utvrđivanju obujma oštećivanja sastojine uporabom mehanizacije pri određenome šumskom radu, najčešće su postavljeni sljedeći ciljevi:

- 1) utvrditi ukupno oštećivanje sastojine iskazano postotkom oštećenih stabala,
- 2) analizirati strukturalna obilježja nastalih oštećenja,
- 3) uočiti radnje i postupke koji uzrokuju oštećivanje,
- 4) dati ocjenu primjerenosti radne metode i uporabljenih radnih sredstava s obzirom na veličinu i strukturu oštećivanja.

2.1. NEKI REZULTATI OŠTEĆIVANJA STANIŠTA PRI ŠUMSKIM RADOVIMA

Some results of damaging forest stands at forest operations

Prema mnogim autorima (npr. Martinić 1992, Sever 1997) odnos tla i vegetacije nasuprot strojevima najčešće treba pratiti na najvjijednjem dijelu stabla, deblu i korijenju uz panj. Da bi se ustanovio stupanj utjecaja strojeva treba utvrditi broj oštećenih stabala po hektaru, odnos oštećenja različitih vrsta drveća, vrste oštećenja (oguljenost kore, ozljede debla, lom debla, korijena, grane...). Važan je podatak veličina oštećenja koja se iskazuje u razredima prema ploštini oštećenosti. Dubina oštećenja je važna zbog mogućih gubitaka pri razvrstavanju sortimenata. Svakako je važno mjesto oštećenja, npr. korijen, perac ili deblo. Izvor oštećenja je važan čimbenik u svrhu uklanjanja uzroka, npr. oštećenja pri sjeći i izradi, privlačenju drva, krojenju sortimenata, kresanju itd.

U opsežnim istraživanjima oštećivanja stabala pri sjeći, izradi i privlačenju drva u proredama mlađih sastojina Martinić (1991) je primijenio metodu koja je omogućila analizu strukturalnih obilježja oštećenja. To je uključilo: gospodarsku važnost i lokaciju oštećenih stabala, uzrok, vrstu i mjesto oštećenja, veličinu oštećenja kore i stanje oštećenoga stabla. Za utvrđivanje oštećenja u sastojini su izlučene i trajno obilježene primjerne plohe (50×50 m), čija je ukupna površina činila približno 10% ukupne površine. Oštećenja su na stablima utvrđena nakon završenog rušenja, izrade i privlačenja drva. U navedenim istraživanjima sjeća i izrada drva obavljena je motornim pilama lančanicama Stihl 038 AVE i Echo 650 EVL, snage motora 3 kW, duljine vodilice 40 cm i mase od 6 do 7,5 kg, a privlačenje drva



Slika 1. Oštećenje stojecog stabla kod privlačenja drva traktorom
Figure 1. Damage of a standing tree inflicted by machinery during skidding

adaptiranim velikoserijskim traktorom Zetor 6945, snage motora 47,5 kW i ukupne mase približno 3650 kg. Traktor je bio opremljen naletnom daskom i dvobubanjskim vrtlom Igland Compact 5000/2H. Za vrijeme privlačenja traktori nisu imali na kotačima lance. Nalaz je pokazao da je pri sjeći, izradi i privlačenju drva bilo je oštećeno 8,2% preostalih stabala ili svako 12. stablo. Najčešća oštećenja bila su prignječena ili oguljena kora stabla (tablica 1 i 2).

Tablica 1. Vrste oštećenja na stablu, prema Martiniću 1992
Table 1. Kind of damage on the tree, by Martinić, 1992

| Vrsta oštećenja – Kind of damage | % |
|---|-----|
| Oguljena kora – Peeled bark | 48 |
| Zgnječena kora – Crushed bark | 37 |
| Lom i/ili izvala stabla – Overturned tree | 13 |
| Lom grana – Broken branches | 2 |
| Ukupno – Total | 100 |

Privlačenje drva bilo je nešto češći uzrok oštećivanja (53,2%) nego sjeća i izrada drva (46,8%). Testiranjem Z-testom utvrđeno je da takva razlika u pogledu uzroka oštećenja nije statistički značajna. Velik broj oštećenih stabala uzrokovani sjećem i izradom (46,8%) posljedica je velikoga broja zapelih stabala. 53,2% svih oštećenja bilo je uzrokovano sredstvom privlačenja, vučnom užadi ili vučenim teretom.

Tablica 2. Mesta oštećenja na stablu, prema Martiniću 1992
Table 2. Position of damage on the tree, by Martinić, 1992

| Mjesto oštećenja – Position of damage | % |
|---------------------------------------|-----|
| Žilište – Root collar | 71 |
| Deblo – Stem | 20 |
| Krošnja – Crown | 5 |
| Korijen – Root | 4 |
| Ukupno – Total | 100 |

Isti autor zaključuje da pri zadanoj radnoj tehnologiji veličina štete i struktura oštećenja ovise ponajprije o tome da li je i koliko radnik osposobljen i motiviran da pri radu što manje ošteće stabla, pomladak i šumsko tlo. Podseća se da sjekač kroz obuku svladava tehniku usmjerjenog obaranja kojom se smanjuje broj zapelih i oštećenih stabala, dok traktorist može izborom smjera privlačenja vrtlom i pažljivom vožnjom pri vuči drvnih sortimenata izbjegći brojna oštećenja.

Kod privlačenja adaptiranim velikoserijskim traktorom IMT 558 u šumi bukve starosti 30-60 godina



Slika 2. Lakša degradacija tla na traktorskoj vlaki
Figure 2. Minor soil degradation on skidding roads

utvrđen je udio oštećenih stabala u iznosu 9,4% pri sortimentnoj metodi i 22,8 % pri debalnoj metodi (Južnić 1984).

Pri sjeći i privlačenju drva u proredama sastojina utvrđeno je 7% oštećenih stabala pri privlačenju adaptiranim velikoserijskim traktorom IMT 558; 6,9% adaptiranim velikoserijskim traktorom IMT 535; 8,7-9,6% s Timberjackom 205; 10,4% s Kockumom 821; 7%, oštećenih stabala pri privlačenju konjskom spregom (Krivec 1975). Isti je autor pri sjeći, izradi i privlačenju drva na Pohorju u bukovim sastojinama starosti 50-60 godina utvrdio 15% oštećenih stabala kod privlačenja s konjskom spregom; 25,9% s adaptiranim traktorom i 14,5% sa zglobnim traktorom.

Istraživanje šteta na pomlatku kod izvlačenja debala zglobnim traktorom s hidrauličnim kliještima (engl. *clam bunk skidder*) Ösa 260 obavljeno je u nizinskim šumama hrasta lužnjaka i poljskog jasena (Kulaš 1979). Nakon provedenih mjerena na primjernim prugama utvrđeno je kako uporaba ovoga stroja u dvije inačice, po paralelnim vlastama i slobodnim kretanjem sjećinom, ne uzrokuje značajnije štete na pomlatku.

Za određivanje veličine štete pri četiri metode gradnje traktorskih vlastaka Zdjelar (1990) je utvrdio postotak oštećenih stabala za pojedine metode gradnje po kategorijama terena i zonama udaljenosti od vlastake (dvije zone uz padinu i 6 zona niz padinu). Širina pojedine zone bila je 5 m, a zone su se pružale lijevo i desno paralelno s osi vlastake. Obujam oštećivanja u pojedinoj zoni izračunat je kao omjer broja oštećenih stabala i ukupnog broja stabala. Pri tomu su zbrojena sva oštećena stabla u istoj zoni, bez obzira na težinu i oblik oštećenja. Pokazalo se da se tijekom gradnje traktorskih vlastaka ošteće, ovisno o primjenjenoj tehnologiji od 2% do 27% stabala (tablica 3). Kao pokazatelj obujma oštećenja izračunat je *broj oštećenih stabala na 100 m vlastake*. Broj oštećenih stabala ovisio je o metodi gradnje i o broju stabala po 1 ha.

Prema istraživanjima Rebule (1991) u Sloveniji se zbog izgradnje traktorskih vlaka i privlačenja drva oštećeju oko 15% stabala. Pritom se trajno gubi 2% do 8% proizvodne površine, a vrijednost sastojine smanju-

je se oko 2%. Na 1/3 oštećenih stabala su velike štete, koje umanjuju uporabnu vrijednost takvih stabala. Stabla s velikim oštećenjima imaju manji debljinski prirast.

Tablica 3. Obujam oštećivanja stabala pri najvažnijim šumskim radovima, prema Martiniću 1993

Table 3. Volume of damage at most frequent forest operations, by Martinić 1993

| Vrsta šumskoga rada Forest operations | Udio oštećenih stabala* Portion of damaged trees, % |
|---|--|
| Sječa i izrada drva – Felling | 3 - 5 |
| Privlačenje drva traktorima – Skidding | 5 - 15 |
| Izgradnja traktorskih vlaka Construction of tractor's trails | 3 - 27 |

* uključena varijabilnost radnih metoda i tehnika
include variations of work methods and techniques

3. EKOLOŠKA SASTAVNICA SUSTAVA VOZILO – TLO Ecological frame of vehicle-soil system

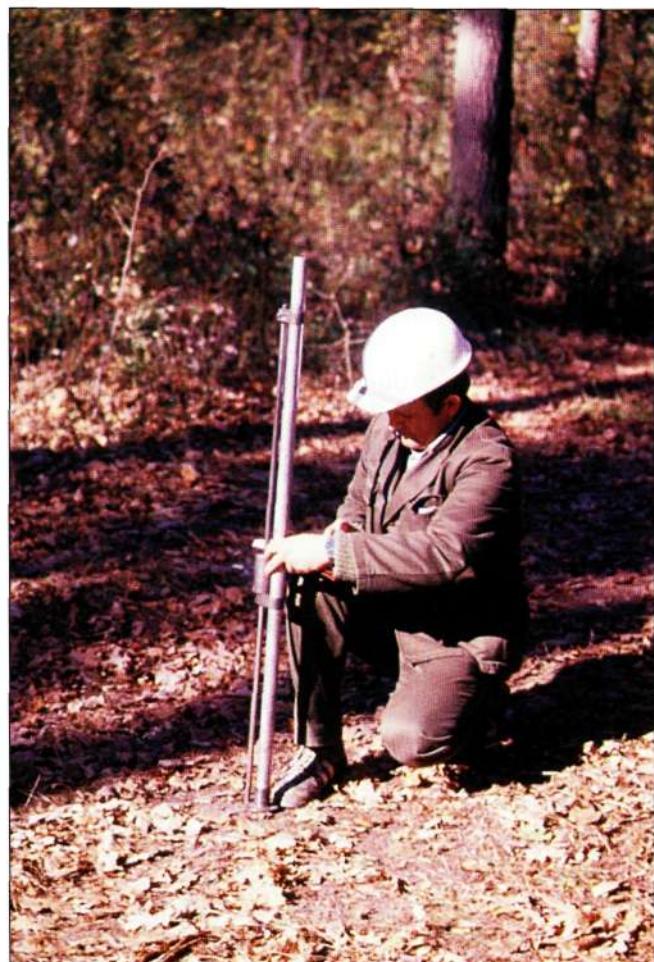
Odnos stroja i stabla uz koje se kreće važan je radi utvrđivanja povezanosti geometrije vozila, projektiranih putova/vlaka, šteta na podzemnim dijelovima stabla, prepoznatljivih šteta na tlu i vegetaciji. Pri tomu su najčešće štete: gaženje tla, sabijanje tla, premještanje površinskog sloja šumskoga tla, površinska erozija tla, ispiranje hraniva u tlu, utjecaj na mikroorganizme u tlu, promjene mikroreljefa, kemije i fizike tla, zagađivanje tla, promjena ekosustava i dr.

Nekoliko je često ponavljanih činjenica koje se ističu u vezi ekoloških učinaka pri mehaniziranju šumskih radova:

- strojevi sami po sebi ne oštećuju tlo; štete nastupaju u određenoj tehnologiji i uvjetima rada,
- mehaniziranje šumskih radova ne može se zaustaviti niti pokrenuti u suprotnom smjeru, štete se pribrajaju; ukoliko se ne mogu izbjegći, treba ograničiti površinu na kojoj se koncentriraju,
- zasada nema normiranih parametara za određenje oštećenja tla, pa je otežano uspoređivanje znanstvenih informacija,
- čimbenici staništa (nosivost tla, sabijenost...) i radni čimbenici (intenzitet prometa, dodirni tlakovi...) u najvećoj mjeri određuju potencijalni gubitak prirasta šumske vegetacije (stabala i pomlatka),
- mehanička obrada tla može tek djelomično smanjiti negativno djelovanje strojeva na tlo.

Kao posljedica kretanja vozila po šumskoj sastojini razlikuju se dva osnovna pojma:

- *gaženje tla*, definirano kao površina po kojoj se kreće vozilo u odnosu na ukupnu površinu sastojine i



Slika 3. Procjena sabijenosti šumskoga tla penetrometrom
Figure 3. Evaluation of soil compaction by means of penetrometer

- *sabijanje tla*, određeno kao njegova obujamna deformacija (G a m e d a i dr. 1987, H o r v a t 1994).

Osim uobičajenog sabijanja tla prolaskom vozila šumskim tlom nastaju i druga djelovanja: premještanje tla, utjecaj na eroziju, gubitak naslaga te oštećenje stabala i pomlatka.

Poznata su neka djelovanja deformacija tla na vegetaciju i vodni režim:

- posljedica sabijanja tla je smanjenje prirasta šumske biomase, ali i kvalitete drva,
- rast drveća na tlu obnovljene vlake doseže 80% rasta na nedirnutom staništu,
- klizanje kotača važan je čimbenik u povećanju negativnog djelovanja vozila na tlo.

Dok se na gaženja tla, osim nekim značajkama vozila, najviše može utjecati pripremom rada i drugim organizacijskim mjerama, na sabijanje tla odlučujući utjecaj imaju upravo značajke vozila i stanje tla.

Svi su istraživači ove problematike suglasni o postojanju izražene ovisnosti između veličine štete od sabijanja tla i težine (mase) vozila. No, i mnogi drugi čimbenici djeluju na veličinu štete, bilo u pozitivnom ili negativnom smislu, uključujući čimbenike staništa poput savitljivosti i čvrstoće tla pri određenim vremenskim uvjetima, proizvodnih čimbenika kao što su intenzitet prometa, tlaka uporabljenе opreme na podlogu, oblik strojeva i radne metode. Provedena su mnoga vrijedna istraživanja s mnogih stajališta u raznim zemljama, od strane pedologa, šumara ili stručnjaka drugih struka.

Osnovna su pitanja koja se proučavaju u svrhu istraživanja vozila na tlu (F r o e h l i c h 1989):

- 1) kod koje razine oštećenja dolazi do smanjenja prirasta drveća,
- 2) koje se promjene događaju u tlu određene mokrine pri prolasku nekog vozila,
- 3) koje mogućnosti postoje za povećanje proizvodnosti oštećenoga tla,
- 4) koje su značajke vozila najvažnije za oštećivanje tla te kako konstruirati šumsko vozilo da bi se smanjilo to oštećivanje,
- 5) kolike su gospodarske posljedice oštećivanja.

Postoje pokušaji kvantificiranja graničnog oštećivanja tla. Pri tomu se graničnim sabijanjem tla smatra ono gdje je ukupni prostor pora smanjen za 10 %. U istome radu F r o e h l i c h (1989) zaključuje da povećanje gustoće tla njegovim sabijanjem, dakle obujamna deformacija tla, značajno utječe na rast biljaka.

H u n t e r (1991) iznosi da sabijanje tla ne smanjuje prirast biljaka samo po sebi, već da zbog pogoršanoga zračno-vodnog režima dolazi do smanjenja hranidbe biljaka, a time i slabijeg prirasta.

S m i t h i dr. (1989) istraživali su posljedice primjene strojeva na šumskim radovima u brdsko-planinskom

području. Procijenili su smanjenje prirasta po 1 ha na 10% bez udjela traktorskih izvoznih putova, ali pribrojivši štete zbog pripreme staništa i mehanizirane sadnje. Isti autori iznose da je kod privlačenja na sloju dubokoga snijega, oštećivanje tla bilo značajno manje.

H i l d e b r a n d (1989) je mjereći veličinu pora u tlu nakon prolaska vozila kod privlačenja ustanovio da je sabijanje tla veće ako je tlo bilo vlažnije te ako je vozilo imalo uže gume i privlačilo veći teret. Isti autor naglašava da bi povremeno smrzavanje tla bilo jedino djelotvorno u procesu vraćanja tla u ranije stanje, ali u umjerenoj zoni ovaj proces ne zahvaća tlo dovoljno duboko. Bujanje i smanjenje obujma tla zbog promjena njegove mokrine vrlo je ograničeno u tlima lagane i srednje gradije, uzrokujući da obnova konačno ovisi o biološkim procesima u tlu. Polazeći od postavke da tip pneumatika (gume) i njegov tlak neznatno utječu na sabijanje vlažnih tala, inzistira se na smanjenju oštećenja ponajprije kretanjem vozila po putovima i privlačnim vlakama.

K a i r i u k s t i s i S a k u n a s (1989) su zamijetili veće oštećivanje glinovitih vrsta tala na radu sa specijal-



Slika 4. Nepovratna degradacija tla na traktorskoj vlaci
Figure 4. Irreversible destruction of soil on skidding roads

nim gusjeničnim šumarskim vozilima. Najveće se oštećivanje događa kod prvog prolaza vozila. Nakon višekratnog prolaska traktora utvrđeno je bitno proširenje traktorske vlake, tako da su na kraju vozila pregazila gotovo 50% sastojinske površine.

Abel (1989) smatra da se u pristupu konstruiraju novih specijalnih šumarskih vozila treba okrenuti potpuno novim idejama, bez oslanjanja na izvornik – poljoprivredni traktor.

Koelen (1989) predlaže uvođenje središnjeg sustava punjenja guma kao jednu od mogućnosti za smanjenje dodirnoga tlaka. Nadalje zamjećuje da su traktorski putovi izgrađeni na suhome tlu znatno otporniji na sabijanje od onih gdje vozilo prvotno prolazi u uvjetima povećane mokrine.

Warkotich i dr. (1994) zapažaju da oblik korijenova sustava može značajno djelovati na utjecaj sabijanja na prirast biljke.

Shishiochi i Satomura (1994) zamjećuju da je oporavak tla na "prirodoj" vlaci brži nego na onoj gdje su obavljeni zemljani radovi odnošenjem 0,3 do 2,0 m površinskog sloja. U prvom slučaju je nakon 11-13 godina utvrđen prirast biljaka 20% manji od kontrolnoga, a u drugom slučaju 40% manji.

Horvat (1994) zaključuje da u granično nepovoljnim uvjetima tla treba zaustaviti prometanje vozilima ako im značajke ne odgovaraju trenutnim okolnostima. Prema istom autoru granični kriterij kretanja vozila po šumskome tlu sadržava veličinu sabijanja tla i nastanka kolotraga, kao i uvjet granične energijske potrošnje.

Određivanje samoga oštećenja šumskog tla dosada je u svijetu rijetko obavljano, jer je takva mjerena teš-

ko provesti i jer daju nesuglasne rezultate. Budući da ne postoje uobičajeni vodići i kriteriji za takve studije, rezultatima istraživanja nedostaje usporedivost te je teško izvesti punu korist iz razmjene informacija. Znanje o tome koje sile strojeva može podnijeti šumski ekosustav još je vrlo ograničeno. Nedostatak bitnih činjenica na ovome području zahtijeva daljnja istraživanja.

Sever i Horvat (1981) drže da je, s obzirom na vrlo složenu strukturu tla te na raznovrsna fizičko-mehanička svojstva, postavljanje teorijskog modela ponašanja tla u dodiru s voznim sustavom vozila gotovo nemoguće.

Raspravljujući o oporavku oštećenoga šumskoga tla *Horvat* (1995) navodi kako svaki ekosustav pa tako i šumsko tlo ima sposobnost ustaljenja i prilagodljivosti. Ako u njemu postoje 'sile za samooporavak', tada će doći do prirodnoga oporavka tla, a ljudsko je uplitanje nepotrebno. Pod tim 'silama' smatraju se fizikalni procesi u tlu izazvani vlaženjem i sušenjem, bujanjem i stisnjavanjem, smrzavanjem i odmrzavanjem, isto kao i djelovanje bioloških čimbenika – faunom šumskog tla, djelovanjem sadnica i korijenja.

Höfle (1994) i cijeli niz drugih autora smatraju da je prirodni oporavak sabijenog tla predugi proces te da zbog toga treba obaviti mehaničku obnovu oštećenoga tla.

Uz nepobitno djelovanje vozila tijekom privlačenja na sabijanje tla, pa i na prirast biljaka treba iznijeti mišljenje *Wästerlunda* (1989) da se dobrom organizacijom, izborom odgovarajućeg stroja te dobrom obukom rukovatelja, oštećenja mogu svesti na približno 5% u odnosu na ustanovljenih 10 do 15%.

4. STRATEGIJA SPRJEČAVANJA I SMANJENJA OŠTEĆIVANJA

Strategy for avoiding and decreasing damage

Nakon što se spoznalo da je neprikladna primjena strojeva u šumarstvu, više negoli samo mehaniziranje šumskih radova po sebi, glavni uzrok oštećivanja šumskog staništa, u zemljama razvijenog šumarstva provode se mjere njegova smanjivanja.

Poznate su brojne mjere sprječavanja i smanjenja obujma oštećivanja sastojine uzrokovanih strojevima, npr. unapredavanjem njihove konstrukcije, promjenom tehnologije i metoda rada i sl. Postoje i načini vraćanja proizvodnosti tla nakon njihova oštećenja. Opseg je ostvarivih mjera ograničen s ekonomskom i tehničkom stvarnošću šumskih radova.

Među ostalima mogućnostima su i ograničenje mehaniziranih operacija na jasno određene smjerove (tzv. privlačne vlake), provođenje uputa u pogledu značajki upotrebljene opreme, odlaganje radova za vrijeme nepovoljnih vremenskih uvjeta i slično. Nadalje, smanjenje rizika oštećenja moguće je postići prikladnom izo-

brazbom i obukom na svim razinama, kao rukovoditelja radova, tako i rukovatelja strojevima.

Vrlo se učinkovitom mjerom pokazalo kartiranje šumskih sastojina s obzirom na pogodnost staništa za primjenu pojedinog tipa mehanizacije koje je provedeno u većini zemalja razvijenog šumarstva (skandinavske zemlje, Češka, Njemačka).

Neke od preporuka ECE/FAO/ILO/ grupe koja se bavi utjecajem mehaniziranja šumskih radova na tlo, odnose se na sljedeće mjere za izbjegavanje ili smanjenje oštećenja:

- pravilan izbor strojeva za privlačenje drva. Pri tomu su najznačajniji dimenzije, masa i snaga stroja, te način korištenja stroja pri radu,
- gdje god je to moguće, izbjegavati kretanje strojeva unutar sastojine te planski graditi infrastrukturu za privlačenje drva,



Slika 5. Mnoge značajke suvremene mehanizacije usmjerenе су na smanjenje negativnih utjecaja

Figure 5. Many characteristics of contemporary machinery are designed in such a fashion that decreases commonly harmful impacts

- dodatno se mora poboljšati rad s postojećom i dosad razvijenom opremom,
- ulaganje u obrazovanje i obuka svih sudionika u šumarskoj proizvodnji: planera, voditelja radova, rukovatelja strojeva dalekosežno je najučinkovitija mјera za smanjenje oštećivanja,
- manji kotači bili bi preporučljiviji za šumarske skidere da ne postoji problem prepreka. Vozila s takvim kotačima moraju obilaziti prepreke poput stijena, panjeva i sl., a ne prelaziti ih,
- usporedbom različitih pogonskih sustava prednost se daje izravnoj mehaničkoj transmisiji za pogon vozila i hidrostaticnom pogonu agregata.

Nadalje se u uputama ECE/FAO/ILO/ grupе preporuča istraživačkim institutima i istraživačima da veću pozornost posvete razmjeni znanja i usmjeravanju spoznaja i rezultata posebno prema šumarskoj praksi. Povezano s tim istraživačke teme obuhvatile bi:

- mjere popravljanja oštećenoga tla,
- metode izbora odgovarajućih strojeva i tehnike, s kojim će se njihov negativni utjecaj na šumsko tlo držati na minimumu,
- unapređenje uputa i kriterija za razvoj novih strojeva s manje štetnim djelovanjem na okoliš,

razvoj tehnologije privlačenja drva prihvatljivih sa stanovišta okoliša.

Kao izraz potrebe za sustavnim prikupljanjem i razmjenom informacija i iskustava na nacionalnoj i međunarodnoj razini, značajnom među znanstvenicima, proizvođačima opreme i praktičarima, ista je grupa uzela u zadaću osnivanje interdisciplinarnoga tima specijalista sa zadatkom da: (1) izradi pregled literature o štetama od strojeva na šumsko tlo, te prikupi pojedinačne rezultate, (2) utvrdi metode popravljanja tla poslije oštećenja radom strojeva, trajno prikuplja različite informacije o opremi i metodama za određenje sabijanja tla i dinamičkih opterećenja strojeva na tlo.

Od nadležnih državnih institucija očekuje se potpora u ostvarenju sljedećih mјera:

- razvoj visoko kvalitetne opreme s manjim negativnim utjecajem na šumske ekosustave, posebno na tlo,
- poticanje istraživanja te uvođenja u praksu strojeva i tehnologija podobnih kako s ekološkog i biološkog, tako i ekonomskog i tehničkog gledišta,
- međudisciplinarni pristup istraživanjima i rješavanju problema,
- obrazovanje i obuka na svim razinama usmjerene smanjenju oštećenja tla,
- ekonomski i socijalno prihvatljiv način stvaranja veće odgovornosti za vrijednosti okoliša,
- razvoj zemljopisno-informacijskog sustava (GIS - Geographic Information System) kao pomoć planiranju u upravljanju šumom, uključujući i šumske rade.

Bitna se uloga u istraživanjima i međunarodnoj razmjeni rezultata pri rješavanju problema oštećenja tla strojevima određuje IUFRO-u, međunarodnom savezu šumarskih istraživačkih organizacija.

Da bi se prijedlozi mјera ostvarili, neophodna su međustrukovna istraživanja te povezivanja bioloških i tehničkih znanosti, dugoročno planiranje s predviđanjem prilagodbe promjenama tehnike i tehnologije, kao i biološkim spoznajama, stečena iskustva ugraditi u buduću praksu, stalnim nadzorom dopunjavati postojeće stanje novim spoznajama, razvijati svijest o opravdanosti poduzetih mјera pri provedbi strategije.

5. ZAKLJUCCI – Conclusion

Šuma je kao složeni ekološki sustav izložena ozbiljnoj dugotrajnoj degradaciji zbog uporabe strojeva i opreme kojima se u redovitom gospodarenju šumama mehaniziraju raznovrsni radovi. Najkritičnijim se drže ona oštećenja mehanizacije, koja najviše utječe na razvoj i trajnost ekoloških funkcija šuma.

Obujam oštećenja u uskoj je vezi s izborom strojeva i opreme, stupnjem organizacije rada, pogodnošću radnih metoda, kakvoćom radne tehnike izvoditelja šumskih radova te naglašeno terenskim uvjetima. Kod privlačenja drva obujam oštećivanja raste s većom snagom strojeva, većom mehaniziranošću rada i većim du-

Ijinama privlačenih sortimenata. Manja i slabija sredstva privlačenja uzrokuju manje oštećivanje sastojine.

Dosadašnja istraživanja obujma oštećivanja i ekoloških učinaka pri uporabi šumske mehanizacije obuhvatila su sječu, izradu i privlačenje drva te gradnju šumskih cesta i traktorskih vlaka primjenom više radnih tehnologija i metoda i u različitim terenskim uvjetima. Uz mnoge pojedinačne rezultate u tim se istraživanjima ističe:

- mehaniziranje je radova pri šumskim radovima neizbjješno i nije suprotstavljeno načelima održivoga razvoja šumskega resursa,
- strojevi sami po sebi ne oštećuju tlo; štete nastupaju u određenoj tehnologiji i uvjetima rada,
- ukoliko se štete ne mogu izbjegići, treba ih raznovrsnim mjerama svesti u prihvatljive okvire
- vrlo se učinkovitom mjerom pokazalo kartiranje šumskih sastojina s obzirom na pogodnost staništa za primjenu pojedinog tipa mehanizacije,
- u nedostatku normiranih pokazatelja oštećivanja i transparentnih mjerila ekoloških učinaka, uspoređivanje je znanstvenih informacija otežano,

Najvažnije mjere za sprječavanje i smanjenje obujma oštećivanja uzrokovanih strojevima odnose se na:

- unapređivanje konstrukcije strojeva,
- pravilan odabir strojeva u pogledu vrste, dimenzija, mase i snage, te način korištenja pri radu,
- poboljšanje radnih tehnologija i metoda rada,

- planska gradnja infrastrukture za privlačenje drva,
- ograničenje mehaniziranih operacija na određene smjerove
- izbjegavanje kretanja strojeva unutar sastojine, posebno na nenosivim tlima,
- odlaganje radova za vrijeme nepovoljnih vremenskih uvjeta
- podizanje kakvoće rada s postojećim strojevima i opremom,
- dodatna izobrazba i obuka na svim razinama,
- uključivanje strategije smanjivanja oštećivanja u ciljeve upravljanja poduzećem.

Šumarski stručnjaci upućuju se na trajno obnavljanje tla nakon nastanka šteta te jasnim zahtjevima tehnologa olakšati gradnju odgovarajuće mehanizacije.

Istraživačke se institute upućuju da veću pozornost istraživanju: (1) mjera popravljanja oštećenoga tla, (2) kriterijima izbora okolišu 'neškodljivih' strojeva i tehnike, razvoju tehnologije privlačenja drva prihvatljive sa stanovišta okoliša.

Državna se potpora očekuje kroz poticanje: (1) međudisciplinarnog pristupa istraživanjima i rješavanju problema, (2) obrazovanja i obuke usmjerene smanjenju oštećenja tla na svim razinama, (3) veće odgovornosti za vrijednosti okoliša, (4) razvoja zemljopisnog informacijskog sustava (GIS - Geographic Information System) kao pomoć planiranju u upravljanju šumom, uključujući i šumske radove.

LITERATURA – Literature

- Abbeels, P. F. J., 1989: Forest machine design and soil damage reduction. Proceedings of the ECE/FAO/ILO/IUFRO seminar on the Impact of mechanization of forest operations to the soil, 195-224, Louvain-la-Neuve 1989.
- Froehlich, H. A., 1989: Soil damage, tree growth, and mechanization of forest operations. Proceedings of the ECE/FAO/ILO/IUFRO seminar on the Impact of mechanization of forest operations to the soil, 77-86, Louvain-la-Neuve 1989.
- Gameda, S., Raghavan, G. S. V., Mc Keys, E., 1987: Stress-density relationships under various compactive loads. Proceedings of 9th ISTVS International conference, Vol. 1, 119-126, Barcelona 1987.
- Hildebrand, E. E., 1989: The influence of soil compaction on soil functions in forest sites. Proceedings of the ECE/FAO/ILO/IUFRO seminar on the Impact of mechanization of forest operations to the soil, 149-164, Louvain-la-Neuve 1989.
- Höfle, H. H., 1994: Restoration of disturbed soil. Interactive seminar and workshop "Soil, tree, machines interaction", 1-21, Feldafing 1994.
- Horvat, D., 1994: Penetrometar – mjerilo za procjenu sabijenosti šumskoga tla. Meh. šumar. 19 (1994) 3, 161-171.
- Horvat, D., 1995: Prirodni oporavak šumskoga tla 10 godina nakon izvoženja drva forvarderom. Meh. šumar. 20 (1995) 3, 129-135.
- Hunter, A. G., 1991: Soil-vehicle interaction /C/. Journal of Terramechanics, 28, (1991) 4, 297-308.
- Južnić, B., 1984: Poškodbe pri sečnji in spravilu lesa v bukovih drogovnjakih. Biotehniška fakulteta, VTOZD Gozdarstvo, str. 75, Ljubljana 1984.
- Kairiukstis, L., Sakunas, Z., 1989: Impact on soil of machinery used for cutting and reforestation. Proceedings of the ECE/FAO/ILO/IUFRO seminar on the Impact of mechanization of forest

- operations to the soil, 133-147, Louvain-la-Neuve 1989.
- Kooleen, A. J., 1989: Strategies to avoid or to reduce detrimental impacts: working techniques for avoiding damage. Proceedings of the ECE/FAO/ILO/IUFRO seminar on the Impact of mechanization of forest operations to the soil, 235-248, Louvain-la-Neuve 1989.
- Krivec, A., 1975. Racionalizacija delovnih procesov v sečnji in izdelavi ter spravljenju lesa odvisnosti od delovnih pogojev in poškodb. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo pri Biotehniški fakulteti, str. 58, Ljubljana 1975.
- Kulaš, J., 1979: Štete na pomlatku kod izvlačenja debala clam bunk skidderom Ōsa 260. Meh. šumar. 3 (1979) 219-222.
- Kulušić, B., 1990: Karakteristike šumskega terena kot indikatorji izbora tehnologije privlačenja dreves. Meh. šumar. 15 (1990) 3-4, 63-68.
- Martinić, I., 1991: Oštećenje sastojine pri obaranju stabala, izradi i privlačenju drva. Šum. list CXV, (1991) 1-2, 33-47.
- Martinić, I., 1992: Interakcije metoda rada, radnih uvjeta i proizvodnosti rada pri sjeći i izradi drva u proredama sastojina. Glas. šum. pokuse, 28 (1992), 133-178.
- Martinić, I. 1993: Neke činjenice u vezi sa šumskim radovima. Glas. šum. pokuse, posebno izdanje 4 (1993), 321-330.
- Matić, S., 1983: Šuma i mehanizacija. Zbornik savjetovanja "Šumarska mehanizacija u teoriji i praktiki" Opatija 1983, str. 37-46.
- Rebula, E., 1991: Posljedice gradnje vlaka u šumi. Meh. šumar. 16 (1991) 3, 161-171.
- Rebula, E., 1999: Kašnjenje kod uvodenja visoke tehnologije pri dobivanju sortimenata u Sloveniji – uzroci kašnjenja te izgledi njihovoga otklanjanja / Delays in introducing high technology into producing assortments in Slovenia – Reasons for delay and chances for their removal. Zbornik sažetaka IUFRO konferencije "Iskrslji problemi iskoristavanja šuma i promjena tehnologija na kraju stoljeća" / Emerging Harvesting Issues and Technology Transition at the End of the Century, Opatija.
- Sever, S., Horvat, D., 1981: Utjecaj nekih karakteristika tla na prohodnost vozila te prijedlog za njihovo proučavanje kod izrade klasifikacije šumskega terena. Meh. šumar. 6 (9-10): 287-299.
- Sever, S., Goglia, V., Pičman, V., Horvat, D., Risović, S., 1989: Osovinska opterećenja i dodirni tlakovi vozila na privlačenju i prijevozu drva iz proreda. Meh. šumar. 14 (5): 217-226.
- Sishiuchi, M., Satomura, Y., 1994: Influence of tractor logging on soil surface condition and the growth of planted seedlings. Interactive seminar and workshop "Soil, tree, machines interaction", 1-6, Feldafing 1994.
- Smith, R. B., Krag, R. K., Senyk, J. P., 1989: Soil disturbance and impacts on tree growth resulting from forestry operations in mountain terrain. Proceedings of the ECE/FAO/ILO/IUFRO seminar on the Impact of mechanization of forest operations to the soil, 113-132, Louvain-la-Neuve 1989.
- Tomanić, S., Vondra, V., Martinić, I., 1989: Oštećivanje sastojina pri šumskim radovima. Meh. šumar. 14 (1989) 3-4, 65-72.
- Warkotch, P. W., Huysten, L. Van, Olsen, G. J., 1994: Soil compaction damage, root growth, yield losses in eucalyptus grandis plantations in Zululand, South Africa. Interactive seminar and workshop "Soil, tree, machines interaction", 1-22, Feldafing 1994.
- Wästerlund, I., 1989: Effect of damage on the newly thinned stand due mechanized forest operations. Proceedings of the ECE/FAO/ILO/IUFRO seminar on the Impact of mechanization of forest operations to the soil 1989, 165-177, Louvain-la-Neuve 1989.
- Zdjelar, M., 1990: Utjecaj metoda gradnje traktorskih vlaka na proizvodnost i ekonomičnost rada, oštećivanje stabala i naprezanje radnika. Meh. šumar. 15 (1990) 1-2, 3-26.

SUMMARY: Forest ecosystems are exposed to longterm degradation due to forest machinery used in various operations in forest management. Meritory subjects agree on the fact that performing forest operations without inflicting damage to environment is not conductible, being so even when all imaginable safety precautions are applied. On account of constant pressure on soil structure and principally because of machinery movement in forest stands, predominant damage is done by vehicles. This impact is mainly re-

stricted to soil, and only randomly related to vegetation. In paper are discussed adverse environmental impacts of damaged forest stands on vegetation and water balance, the consequence of that damage being the decrease of forest biomass production as well as quality of that biomass (i.e. wood). Paper particularly deals with methods of establishing the extent of various deteriorating impacts and (also with) ways of damage degree expression. In that light, some results of research on most important forest operations (felling, bucking, skidding, forest roads construction) are quoted. Precaution measures and measures for reducing the degree of damage to forest stands encompass technical-technological, work-organizational and economic factors. Respectable attention is given over to / dedicated to measures for avoiding or decreasing damage recommended by ECE/FAO/ILO group that deals with impact of forest mechanization on soil structure. Paper confers on topics that should be subjected to further examination. However, solutions that relate to measures for retrieving devastated soil, criteria of adequate machinery choice and technique as well as development of skidding technology that are environmentally acceptable are eagerly expected. Particularly accentuated are these tasks dealing with / concerning consent of all interested parties (state, forest owners, forest workers, equipment manufacturers and others) in order to reduce damaging and harmful ecological impacts to environmentally acceptable level and thus provide for / ensure long-term economic and ecologically favourable results of forest ecosystem management.

Keywords: forestry, forest operations, machines, ecology, forest damage, soil damage.