

GDK 375 : 114.5

## VPLIVI TRANSPORTA LESA NA TLA GOZDNEGA PREDELA PLANINA VETRH

Robert ROBEK\*

### *Izveček*

Pri gradnji gozdnih prometnic in pri transportu lesa nastajajo v gozdu poškodbe tal, ki se v času in prostoru spreminjajo. Na primeru ekološko občutljivega predela lesnoproizvodnih gozdov (463 ha), je avtor analiziral vrsto in obseg obstoječe poškodovanosti tal vzdolž grajenih prometnic. Skupna površina motenih tal ne presega 5% površine predela, pri čemer največji delež površinskih motenj pripada neprimerno zgrajenim odsekom gozdnih cest. Delež površin motenih tal vzdolž traktorskih vlak je znatno, vpliv opuščenih prometnic pa zanemarljiv. Povprečna površina motenih tal na normalnih sekcijah je pomemben parameter za presojo vplivov obstoječih in načrtovanih odsekov gozdnih prometnic na tla. Za primerljivi ploskvi v predelu je avtor analiziral stopnjo zbitosti tal pri spravilu lesa po brezpotju z goseničnim traktorjem in z večbobskim žičnim žerjavom s stolpom. Dokazan je bil vpliv traktorskega spravila na padec poroznosti tal in analiziran vpliv dinamičnih obremenitev tal pri traktorskem spravilu lesa.

*Ključne besede: transport lesa, gozdne prometnice, motnje tal, poroznost tal, presoja vplivov na okolje*

## WOOD TRANSPORT IMPACTS ON SOIL IN MOUNTAINOUS FOREST DISTRICT (PLANINA VETRH)

### *Abstract*

Soil damages are inevitable consequence of communication construction in forests and vehicle/load movement on the forest soils. They vary in time and accumulate along the communications. In the case study of mountainous forest district (463 ha), the author has analysed the types and amount of the disturbed soil area along visible communications. The total disturbed area does not exceed 5% of the whole district area. The majority of the disturbances are located along critical subsections on the forest roads, although the share of the disturbances along skidding trails is also important. Impacts along abandoned trails are insignificant. Average disturbed area is considered an important parameter for environmental impact assessment of the existing and planned constructed communications. Besides, the soil compacting along nonconstructed communications has been analysed for crawled tractor skidding and cable yarding on two plots in comparative natural conditions. Changes in total porosity have been proved significant for tractor skidding and the impacts of the tractor dynamic stresses have been analysed.

*Key words: wood transport, forest communication, soil disturbances, soil porosity, environment impact assessment*

---

\* mag., dipl.inž.gozd., GIS, Večna pot 2, 61000 Ljubljana, SLO

**KAZALO**

1	UVOD.....	57
2	IZHODIŠČA IN STROKOVNE PODLAGE ZA PROUČEVANJE VPLIVOV TRANSPORTA LESA NA TLA.....	58
2.1	Izhodišča.....	58
2.2	Značilnosti gozdnih tal.....	59
2.3	Transport lesa.....	61
2.4	Model poškodb tal vzdolž grajenih prometnic.....	62
2.5	Model poškodb tal vzdolž negrajenih prometnic.....	63
3	PREGLED OBJAV.....	64
3.1	Proučevanje poškodb tal pri gradnji prometnic.....	64
3.2	Poškodbe tal vzdolž negrajenih prometnic.....	66
3.3	Vrednotenje poškodb tal pri transportu lesa.....	68
4	RAZISKOVALNE DOMNEVE.....	69
5	RAZISKOVALNI OBJEKTI IN METODE DELA.....	70
5.1	Gozdni predel Planina Vetrh.....	70
5.2	Raziskovalne ploskve.....	72
5.3	Popis poškodb površja tal vzdol prometnic z metodo stratificiranega vzorčenja sekcij.....	73
5.4	Metode proučevanja zbitosti tal pri spravilu lesa po brezpotju.....	76
6	REZULTATI.....	79
6.1	Spremembe površja tal vzdolž prometnic.....	79
6.2	Povprečna površina motenih tal vzdolž grajenih prometnic.....	86
6.3	Zbijanje tal pri spravilu lesa po brezpotju.....	92
6.4	Ocena obsega skupne poškodovanosti površja tal zaradi transporta lesa v predelu.....	98
7	RAZPRAVA.....	99
7.1	Poškodovanost tal predela Planina Vetrh.....	99
7.2	Ocena metodološkega pristopa pri vrednotenju poškodb tal, povezanih s transportom lesa.....	102
8	SKLEP.....	104
9	POVZETEK.....	105
	SUMMARY.....	108
	VIRI.....	111

## 1 UVOD

Živimo in delujemo v obdobju, ki ga zaznamuje spoznanje o kritičnem onesnaževanju naravnega okolja. To velja tudi za gozdove v Sloveniji, ki jih obremenjujejo številni negativni vplivi različnih dejavnosti, med katerimi je tudi gozdarstvo. Gospodarjenje z gozdovi pri nas temelji na ekoloških osnovah in na načelu trajnosti vseh funkcij gozdov, kar pa ne more preprečiti poškodb gozdov pri izvajanju načrtovanih ukrepov.

Transport lesa je sestavni del gospodarjenja z gozdovi in tista gozdarska dejavnost, ki povzroča številne poškodbe v gozdovih. Je množičen pojav, saj se odvija v večini naših gozdov skozi vse leto, ob zelo spremenljivih naravnih pogojih. S transportom lesa je neločljivo povezano odpiranje gozdnega prostora. Pri tem nastajajo številne poškodbe tal pri gradnji gozdnih prometnic in po njej. Poškodbe tal so tesno povezane s poškodbami drevja in ostale vegetacije ter z motnjami živalskega sveta. Mehaniziran transport lesa poteka v naših gozdovih že preko dvajset let, današnje motnje se pridružujejo negativnim vplivom preteklih tehnologij.

Gozdni prostor je celota, ki zahteva celovito obravnavo negativnih vplivov povezanih s transportom lesa. Čeprav prihaja tudi do sprememb ostalih sestavin naravnega okolja, smo za naš predmet proučevanja izbrali tla, ki so temeljni substrat življenja gozda in kulturne krajine ter dragocen in kratkoročno neobnovljiv naravni vir. Njihovo uničevanje ima lahko usodne posledice na delovanje gozdnega ekosistema in na zagotavljanje socialnih funkcij gozdov.

Skrb za varovanje tal pri nas ni formalno vgrajena v načrtovalne in izvedbene postopke pri gradnji gozdnih prometnic in pri transportu lesa, saj ne vemo kaj meriti, niti kakšne so mejne vrednosti sprejemljivih poškodb tal. Da bi presegli sedanjo raven varovanja tal pri odpiranju gozdov in transportu lesa, smo opredelili naslednje cilje raziskave:

- Celovito analizirati spremembe mehanskih lastnosti tal izbranega gozdnega predela, ki so neposredna ali posredna posledica dejavnosti, povezanih s transportom lesa.
- Opredeliti kriterije poškodovanosti tal in oceniti obseg skupne poškodovanosti tal v predelu.

- Podrobno proučiti posledice pri nas uveljavljenih načinov spravila lesa po brezpotju.

## 2 IZHODIŠČA IN STROKOVNE PODLAGE ZA PROUČEVANJE VPLIVOV TRANSPORTA LESA NA TLA

### 2.1 Izhodišča

Da bi dosegli kar najbolj celovito obravnavo problema, smo oblikovali ciljem prilagojen način obravnave transporta lesa in poškodb tal, ki temelji na naslednjih treh izhodiščih:

#### 1. Vsak premik gozdnih lesnih sortimentov povzroča poškodbe tal.

To velja v celoti za načine transporta lesa, ki smo jih srečali na predelu, kjer smo vplive proučevali. Čeprav poznamo tudi načine transporta lesa, ki povzročajo zanemarljive poškodbe tal v gozdu (spravilo s helikopterji), ti v Sloveniji nimajo pomembnejše vloge. Tako smo zagotovili celovito in enakovredno obravnavo vseh faz transporta lesa.

#### 2. Poškodbe tal pri transportu lesa se kopičijo vzdolž prometnic.

Domnevamo, da poškodbe tal pri transportu lesa niso slučajnostno razporejene v prostoru, pač pa se kopičijo na prometnici in ob njej. Trditev skoraj gotovo velja za tiste vrste poškodb, ki smo jih obdelali v raziskavi, ni pa rečeno, da velja za vse poškodbe tal nasploh. Problem proučevanja poškodb tal v prostoru smo pretvorili na problem proučevanja poškodb tal vzdolž gozdnih prometnic.

#### 3. Skupna poškodovanost tal danega predela se sčasoma spreminja.

Transport lesa poteka v naših gozdovih že toliko časa, da bi morale spremljajoče poškodbe tal popolnoma spremeniti njihovo podobo. Ker temu ni tako, domnevamo, da imajo poškodbe tal v gozdu 'omejeni vek trajanja'. Po drugi strani so regenerativne sposobnosti gozdnih ekosistemov omejene, zato je mogoče pretekle vplive transporta lesa v prostoru prepoznati in jih obravnavati kot poškodbe. Izhodišče je bila osnova za hkratno proučevanje vplivov obstoječega in opuščenega omrežja gozdnih prometnic.

Pri vplivih transporta lesa na okolje gre za posledice interakcij med tehnološkimi in naravnimi sistemi, pri čemer je ta odnos v koreninah

konflikten in izključujoč. Bistvo gozda je namreč zmanjševanje pretokov energije, snovi in informacij (zakon lokalnosti), medtem ko je temeljna značilnost vsakega transporta prav njihovo pospeševanje (ROBEK 1991). To je tudi pravi vzrok vseh poškodb tal, povezanih s transportom lesa v gozdu. Omenjega nasprotja ne bo mogoče odpraviti, potrebno pa ga je omiliti s prilagajanjem tehnoloških sistemov naravnim. Predpogoj za tako prilagajanje je poznavanje zakonitosti posameznih sistemov, v našem primeru gozdnih tal in transporta lesa.

## 2.2 Značilnosti gozdnih tal

Delovanje pedogenetskih procesov v razmerah gozdne vegetacije vodi v oblikovanje gozdnih tal, ki se od njivskih ločijo predvsem po svojih morfoloških lastnostih. Pri tem mislimo na trajno pokritost površja s plastjo organskih snovi ter na zgradbo in zaporedje talnih horizontov. Pri gradnji gozdnih prometnic in pri transportu lesa prihaja v glavnem do mehanskih vplivov na tla, zato se najprej spreminjajo morfološke lastnosti površja in fizikalne lastnosti talne notranjosti. Spremenljivost tal v prostoru opisujemo z morfološkimi lastnostmi. Notranja morfologija zajema določanje vrste in zaporedje talnih horizontov, pri čemer je pomembna barva talnega horizonta, njegova tekstura in struktura ter vrsta drugih lastnosti. Z vidika poškodb tal pri transportu lesa je pomembnejša zunanja morfologija, kjer nas zanimajo reliefne značilnosti, skeletnost ter živi in mrtvi pokrov vegetacije. Pri skeletnosti ločimo skalovitost in kamnitost. V besedilu uporabljamo samo izraz kamnitost tal, v katerega vsebinsko vključujemo tudi delež površinske skalovitosti. Oba skupaj predstavljata sterilno in nerodovitno podlago gozdnih tal, ki je lahko naravna ali pa umetna. Naravno stanje gozdnih tal je pokritost površja s plastjo organskega horizonta ter določenega deleža kamnitosti.

Rodovitnosti gozdnih tal je v veliki meri odvisna od fizikalnih lastnosti posameznih horizontov. S fizikalnega vidika so tla heterogen večfazni sistem. Med fizikalnimi lastnostmi so za rodovitnost tal pomembne zlasti navidezna in prava gostota tal, granulometrijska sestava mineralnega dela tal, skupna poroznost tal, kapilarna in nekapilarna poroznost ter sposobnost vpivanja, zadrževanja in prevajanja vode. Izmed naštetih lastnosti je najpreprosteje

določati navidezno gostoto tal (gostota neporušenih tal, Bulk density, Lagerungsdichte), ki je razmerje med maso tal, posušenih pri 105°C, in njihovo prostornino v neporušenem stanju. Predstavlja povprečno gostoto trdne faze tal in vsote praznih prostorov, ki jih lahko zapolnita talna raztopina in zrak. Navidezna gostota nepoškodovanih tal je odvisna od strukture tal, vsebnosti organske snovi v tleh ter od vsebnosti skeleta in njegovega porekla. Najbolj neposredna sprememba talnih lastnosti po njihovi zunanji obremenitvi je ravno sprememba navidezne gostote tal posameznih horizontov. Za razliko od navidezne gostote predstavlja prava gostota tal gostoto izključno trdne faze tal, ki jo sestavljata mineralni in organski del. Prava gostota tal se spreminja v odvisnosti od sestave trdne faze tal, predvsem od razmerja med mineralnimi in organskimi sestavinami v tleh. Relativna razlika med pravo in navidezno gostoto nam predstavlja volumenski odstotek praznih prostorov v trifaznem kompleksu trdna snov-voda-zrak, ki jo imenujemo tudi skupna poroznost. Tako določena skupna prostornina por je izračunana količina. Odvisna je od parametrov, ki določajo navidezno in pravo gostoto. Skupna poroznost gozdnih tal se giblje od 25-75 volumenskih odstotkov tal (vol.%).

Sama skupna poroznost ne pove dovolj o naravi praznih prostorov, pomembna je struktura praznih prostorov, glede na njihovo velikost in medsebojno povezanost. Govorimo o diferencialni poroznosti, od katere je v bistveni meri odvisna intenziteta in način zadrževanja vode v tleh, oziroma njeno gibanje. Velikost praznih prostorov posredno opredeljujemo s pF vrednostmi, ki predstavljajo silo, s katero je voda vezana v teh prostorih. Ločimo velike medprostore ter velike, srednje in male pore. Prvi dve tvorita nekapilarno poroznost tal, slednji dve kapilarno poroznost, obe skupaj pa skupno poroznost tal. V nekapilarnih porah voda odteka navzdol že zaradi gravitacijskih sil. V srednjih porah se voda giblje pod vplivom kapilarnih sil in to v različnih smereh. Voda, ki se nahaja v velikih in srednjih porah, je rastlinam dostopna voda. V malih porah in na površini delcev je voda vezana z elektrostatskimi silami in rastlinam ni dostopna.

Poroznost nepoškodovanega površinskega sloja gozdnih tal je rezultat razmerja med procesi, ki želijo tla zbiti, in tistimi procesi, ki jih rahljajo. V povezavi z zračno-vodnimi lastnostmi zato govorimo o dveh ravnotežnih stanjih (HILDEBRAND 1991). Prvo se imenuje statično ravnotežje tal

(Statischegleichgewicht). To se vzpostavi med sesedanjem mineralnih delcev zaradi lastne teže, descendentnih tokov vode in obtežitve z višje ležečimi delci na eni strani ter strižno odpornostjo med delci na drugi strani. Zaradi visoke biološke aktivnosti in kontinuiranih energetskih vložkov v obliki organske snovi se v tleh razvijajo strukturni agregati z razvejanim sistemom sekundarnih por znotraj in med strukturnimi agregati. Nastala gobasta struktura je v ravnotežju tedaj, ko so razpadajoče organske snovi v ravnotežju z novonastajajočimi. Takrat je doseženo tudi ravnotežno stanje tal glede prepustnosti za vodo in je zato razmerje med velikimi, srednjimi in malimi porami za dano teksturo tal optimalno. Govorimo o pedogenem ravnotežju tal (Fließgleichgewicht). Pedogeno ravnotežje ohranja skupno poroznost na mnogo višji ravni kot samo statično ravnotežje. Vsaka sprememba poroznosti povzroča spremembe pri gibanju vode v tleh. Zmanjševanje poroznosti gre najprej na škodo velikih por, zato je zmanjšan gravitacijski odtok vode. Voda v tleh začne zastajati. Razmerje med zrakom in vodo postaja neprimerno za rast. Zmanjšuje se rodovitnost tal.

### 2.3 Transport lesa

Sodobno pojmovan transport lesa v gozdu razumemo kot proces mehaniziranega koncentriranja in premeščanja bolj ali manj dodelanih lesnih sortimentov od mesta nastanka do roba gozda po prometnicah različnih vrst. Sestavljajo ga tri prvine: tovor, transportno sredstvo in prometnica ter poteka v treh fazah: zbiranje, vlačenje in prevoz.

Transport lesa je tista dejavnost, ki določa količino in vrsto gozdnih prometnic. Vse dimenzije gozdnih prometnic in njihova struktura so podrejene zahtevam pri posameznih fazah transporta lesa. Gozdne prometnice so edina prvina transporta lesa, ki ostaja v gozdnem prostoru tudi po končanem transportu. Ob ponovnem prihodu v gozd ne uporabimo vseh prejšnjih prometnic, zato v zvezi z nekaterimi gozdnimi prometnicami upravičeno govorimo, kot o odpadku pri transportu lesa. Z vso odgovornostjo je potrebno razmišljati o količini in razgradljivosti tega odpadka. Nove tehnologije pridobivanja lesa pogosto zahtevajo drugačne prometnice ali pa njihovo rekonstrukcijo, kar oboje vodi v nove poškodbe tal, ki se v prostoru kopičijo. Poškodbe tal pri transportu lesa in gradnji

gozdnih prometnic moramo obravnavati povezano, sam izraz transport lesa pa vsebuje tudi pripadajočo infrastrukturo. Ker se vplivi transporta lesa na tla kopičijo vzdolž prometnic, je analiza prometnic v prostoru pomemben del analize poškodb tal pri transportu lesa.

Racionalen transport lesa s poljubne površine je praktično vedno sestavljen iz transporta po grajenih in negrajenih prometnicah različnih vrst, ki se med seboj ločijo tudi po vrsti poškodb tal. Med prve smo uvrstili ceste in grajene vlake, med druge pa vse površine gozdnih tal, ki so bile tekom transporta lesa neposredno ali posredno spremenjene. Prikazana delitev gozdnih prometnic je bila podlaga za oblikovanje modelov poškodb tal in za pripravo metodike zbiranja podatkov o poškodbah tal pri transportu lesa.

#### 2.4 Model poškodb tal vzdolž grajenih prometnic

Pri vsaki grajeni prometnici, ne glede na njeno kakovost izgradnje, z gradbenimi posegi prilagajamo naravno okolje možnostim gibanja ciljnega transportnega sredstva. Pri oblikovanju telesa prometnice prihaja do zavestnega premeščanja zemeljskih mas in drobljenja matične podlage, pri čemer se spreminjajo fizikalne lastnosti ter zunanja in notranja morfologija tal na in ob prometnici. Tla na odkopni brežini izgubijo svoje zgornje horizonte in pravimo, da so to obglavljena tla (dekapitirana). Površje odkopnih brežin sestavljajo neposredno po gradnji razgaljeni organsko-mineralni horizonti in velik delež površinske kamnitosti. Naravna tla na nasipni brežini so zasuta z razrahljanimi in premešanimi tlemi odrinjenega materiala. Pravimo, da so tla na telesu prometnice antropogenizirana. Imajo spremenjeno zunanjo in notranjo morfologijo ter bistveno spremenjene fizikalne lastnosti. Zaradi nenadzorovanega prečnega odriva materiala in miniranja na trasi prometnice prihaja do poškodb tal tudi na obeh straneh prometnice. Spremenjena je zunanja morfologija površja tal, vendar mnogo manj kot na telesu prometnice. Transportna sredstva povzročajo dodatne poškodbe tal, ki se kopičijo predvsem na cestišču. Po končanih gradbenih in ureditvenih delih se začne proces naravne regeneracije tal. Pravimo, da se po določenem času prometnica 'vraste' v naravno okolje. To se zgodi v večini primerov, vendar ne vedno. Z gradnjo sproženi naravni procesi so lahko progresivni ali regresivni. Govorimo o neželjenih snovno-energetskih



pretokih. Pri progresivnih pretokih se površina in količina tal v premeščanju sčasoma povečuje, namesto da bi se umirjala. Edino smiselno proučevanje poškodb tal vzdolž grajenih prometnic je analiza sprememb zunanje morfologije tal, ki je posredni pokazatelj smeri in intenzitete sedanjih naravnih procesov v tleh vzdolž prometnice.

## 2.5 Model poškodb tal vzdolž negrajenih prometnic

Gibanje transportnega sredstva in /ali bremena brezpotju povzroča statične in dinamične obremenitve tal. Masa transportnega sredstva, povečana za del mase bremena, povzroča statični pritisk na tla, ki je odvisen od vrste in površine naležne ploskve. Pomembnejši vir obremenitev tal zaradi transportnega sredstva predstavljajo pri mehaniziranem spravilu dinamične obremenitve. Premikanje lastne mase in mase bremena zahteva prenos obodne sile na tla. Z večanjem obodne sile narašča delež drsenja, katerega neposredna posledica je kopanje tal. Podoben učinek daje tudi pospeševanje in zaviranje, vožnja v krivinah in vožnja po strmini. Vsako vožnjo spremljajo vibracije stroja in sunki vozila, ki se prenašajo v tla. Posledica tega je, da se statični pritiski v času in prostoru močno spreminjajo. Obremenitvam zaradi transportnega sredstva se pridružujejo še obremenitve zaradi gibanja bremena, ki imajo izrazito dinamičen značaj.

Reakcijske sile v tleh hkrati sprejemajo celoten kompleks obremenitev in rezultat so deformacije tal, ki vedno nastopajo povezano. Prevladujejo plastične deformacije v najširšem smislu, ki jih je mogoče razdeliti v tri vsebinsko različne skupine poškodb tal:

- **PREMEŠANA TLA** so rezultat mešanja tal organskih horizontov z organsko - mineralnim delom tal brez večjih horizontalnih premikov. Če se pojavljajo brez ostalih poškodb tal, imajo lahko pozitivne učinke na kaljenje in rast mladih rastlin.
- **RAZMETANA TLA** so posledica nekontroliranih dinamičnih obremenitev tal, pri katerem prihaja do opaznejših horizontalnih premikov talne mase. Rezultat je razgaljen organsko-mineralni horizont, ki lahko postane žarišče erozijskih procesov.
- **PLASTIČNE DEFORMACIJE TAL** v ožjem smislu zajemajo zbijanje tal in viskozno tečenje, oziroma zablatenje. Pri zbijanju prihaja do rušenja

strukturnih agregatov in zmanjševanja nekapilarne poroznosti. Rezultat je povečana navidezna gostota in višja nosilnost tal. V primeru nasičenosti tal z vodo so vse pore zapolnjene, zato prihaja do plastičnega preoblikovanja tal brez sprememb navidezne gostote tal. Pravimo, da tla tečejo. Ker so gozdna tla vedno malo vlažna, zbijanje in zablatenje nastopata hkrati, obseg posameznega procesa pa je odvisen od vlažnosti tal in uporabljene tehnologije.

### 3 PREGLED OBJAV

#### 3.1 Proučevanje poškodb tal pri gradnji prometnic

Po splošnem prepričanju predstavlja cestni promet in njemu pripadajoča infrastruktura danes enega največjih onesnaževalcev naravnega okolja. Glede na prevladujoči delež cestnega prometa in njegove negativne vplive je po svoje razumljivo, da je problematika ekologije in varovanja okolja doživela svoj prvi vzpon ravno v obdobju največjega razmaha avtomobilskega prometa in izgradnje cest v šestdesetih let tega stoletja. Sprva je šlo za zmanjševanje motečih vplivov pri vožnji in zmanjševanje že povzročenih poškodb okolja z metodami biotehničnega inženirstva (SCHEUTER 1991). Vzporedno se je razvijala druga pot, ki je temeljila na podmeni, da je potrebno poškodbe okolja preprečevati že v fazi načrtovanja transportnih tokov in prometnic. Prav na primeru projektiranja cest so v svetu izpopolnili načrtovalski postopek, ki se imenuje Environmental Impact Assesment (EIA) in ga pri nas prevajajo kot 'presoja vplivov na okolje' (PVO). PVO je danes v Evropi standardiziran sistem postopkov pri načrtovanju posegov v prostor, ki vsebuje med drugim tudi študijo o vplivih na okolje, v kateri so podani ekološki in drugi vidiki posledic posega v okolje (ŠUBIC 1990). Navkljub številnim pomanjkljivostim (ŠUBIC 1991), se PVO uveljavlja tudi pri nas. Pričakovati je, da bomo morali načela PVO upoštevati tudi pri načrtovanju odpiranja gozdov in pridobivanju lesa, saj zavzemajo gozdne prometnice največji delež dolžin infrastrukturnih objektov v gozdnem prostoru prav gozdne prometnice (DOBRE 1985). Ker je prometa, ki izvira iz gospodarjenja z gozdovi malo (DOBRE 1993), so težišča problema negativnih vplivov grajenih prometnic povezana s količino

prometnic, z neprimernim načinom njihovega polaganja v prostor in s tehnologijo njihove gradnje.

Problem količine gozdnih prometnic je hkrati osnovni ekonomski problem odpiranja gozdnega prostora, katerega rešitev se je dolgo iskala v optimalni gostoti cest in optimalni gostoti vlak. Ni naš namen, da bi na tem mestu odpirali vse pomisleke glede teorije in (zlo)rabe teh kazalcev v praksi. V povezavi s poškodbami tal pa je potrebno opozoriti, da optimalne gostote ne upoštevajo poškodb okolja, niti ne prispevajo k hkratnemu obravnavanju vseh grajenih prometnic v prostoru, zato bo potrebno njihovo težo in pomen pri bodočem odpiranju gozdnega prostora ponovno opredeliti.

Drugi problem je polaganje prometnic v prostor. V gozdarstvu uveljavljeni postopek ne temelji na PVO, ampak gre za tehniko neposrednega trasiranja na terenu s pomočjo ničelnice in kardinalnih točk trase. Zaradi svoje prilagodljivosti dejanskim terenskim razmeram daje postopek z vidika zmanjševanja poškodb tal dobre rezultate, zlasti kadar je dopolnjen z analizo variant tras. Pri polaganju gozdne prometnice v prostori je mogoče uporabiti tehnologijo prostorsko informacijskih sistemov (SHIBA 1992), vendar le če imamo na voljo količinske kazalce poškodovanosti sestavin gozdnega ekosistema.

Tretji vir poškodb tal vzdolž grajenih prometnic je izvedba gradbenih del. Nemogoče je pričakovati, da bo tehnologija rešila vse napake preteklih dveh nivojev, lahko pa znatno spremeni obseg poškodb tal s primerno operativno pripravo dela, z uporabo primerne mehanizacije in tehnike dela pri izdelavi planuma ter z ureditvijo okolice prometnice.

Kljub vsem naštetim ukrepom je pri gradnji prometnic v gozdu naravno ravnotežje tal podrti, nastale površine in talne gmote pa predstavljajo prostor za delovanje naravnih sil, katerih posledice se kažejo v masovnih premikih tal in v eroziji tal.

Masovni premiki tal je skupno ime za različne pojave, ki so vezani na bolj ali manj hitro premeščanje večjih količin talnih mas. Grajene prometnice so vir nestabilnih področij v tleh, ki se pojavljajo v odkopni in v nasipni brežini ter okrog cevnih propustov. Do porušitev prihaja zaradi namočenosti

tal ali zaradi obremenitev vozišča. Za ameriške razmere (AMARANTHUS in sod. 1985) je bila ugotovljena povprečna pogostost pojavljanja masovnih premikov vzdolž gozdnih cest vsakih 4.3 leta/400 ha, pri čemer je bilo 3/4 vseh zdrsov na naklonih terena nad 70%. Masovni premiki puščajo dolgotrajne posledice na rodovitnosti tal, so tehnični problem in zelo slaba reklama za gozdarstvo (MEGAHAN 1990). Površje tal na drsinah je pogosto razgaljeno in vir progresivne erozije.

Erozija tal je geomorfološki proces, ki je naravni ali izzvan s človekovimi posegi. Posebej nevarni so izzvani, občasni in napredujoči erozijski procesi (PINTAR 1987). Prav ti najpogosteje spremljajo zemeljska dela v gozdu. Uspešnost umirjanja erozijskih procesov je odvisna od naravnih danosti, vrste prometnic in uporabljenih tehnik (BURROUGHS, KING 1989). Erozija vozišč je poleg ekološkega tudi tehnični problem (BITENC 1990). REBULA (1991) ugotavlja, da erozijo na vlaki pospešujejo vsi dejavniki, ki povečujejo hitrost in količino vode. Promet dodatno povečuje erozijo, zlasti kadar gre za spravilo navzgor. Za preprečevanje erozije tal pri traktorskem spravilu lesa na erodibilnih terenih svetuje spravilo po zmrznjenih tleh in po označenih negrajenih vlakah do največjih naklonov, ki jih zmore traktor.

### 3.2 Poškodbe tal vzdolž negrajenih prometnic

Analize površin poškodovanih tal so pogostejše pri spravilu lesa. Novejše raziskave poročajo o 20% - 40% razgaljene površine delovišča pri traktorskem spravilu lesa (SMITH in sod. 1989). Spravilo lesa z žičnimi napravami lahko povzroča do 20% razgaljenost mineralnih tal (STANDISH in sod. 1988). Površinskim poškodbam tal se pri spravilu lesa po brezpotju pridružuje še uničenje strukture tal in zbijanje tal z vsemi posledicami.

Raziskave s področja zbijanja tal in njenih posledic spremljajo mehaniziranje transporta lesa v svetu že od sredine šestdesetih let (DYRNESS 1965). Sprva so se s tem problemom ukvarjali predvsem v ZDA, pač zaradi primata v dinamiki mehaniziranja spravila lesa. Kasneje so se jim pridružile skandinavske dežele, kjer je mehaniziranje potekalo v pogojih izredno nizke nosilnosti tal. Številna proučevanja o posledicah zbijanja tal v sedemdesetih letih je mogoče glede na pristop in cilje razvrstiti na dve veliki skupini:

edafska in pedološka proučevanja (GARDNER CHONG 1988). Cilji prve skupine raziskav so bili usmerjeni v ugotavljanje neposrednih posledic zbijanja tal na rast dreves in donos sestojev. Druga skupina raziskav je poskušala pojasniti posledice zbijanja z velikostjo sprememb talnih lastnosti. Za razliko od sprememb talnih lastnosti, ki jih ni težko dokazovati, so ostale relacije med zbitostjo in padcem prirastka nejasne in še danes niso zadovoljivo pojasnjene (STANDISH in sod. 1988, STEWARD in sod. 1988).

Rezultati raziskav so povzročili spremembe na tehničnem in tehnološkem področju transporta lesa. Prilagojenost vozil za spravilo lesa v gozdu se je izboljšala, tehnološki postopki so bili modificirani. Žal pa se poškodovanost tal ni zmanjšala, ravno nasprotno. Zaradi omenjenih izboljšav se je uvajanje mehanizacije pospešilo, kar je v drugi polovici osemdesetih let povzročilo renesanso raziskav poškodb tal pri spravilu lesa. Rezultate novejših proučevanj eko-fizioloških posledic zbitosti tal lahko strnemo v naslednje ugotovitve:

Poškodovana tla se nahajajo po obremenitvi v stanju deformiranega ravnotežja. Kontinuiteta por je prekinjena praviloma že po prvi vožnji (RAINER 1992). S stopnjevanjem voženj po isti kolesnici se stopnjujejo tudi poškodbe tal, kar pripelje do znatnega zmanjšanja količine kisika v tleh (SCHAK-KIRCHUER in sod. 1993). Dihanje korenin je ovirano, toksični produkti, ki nastajajo zaradi redukcijskih pogojev v tleh, povzročajo propad korenin. Povečan je odpor tal pri razraščanju korenin. Posledica tega je zmanjšana rast koreninske mase in ovirana rast rastlin (HILDEBRAND WILPERT 1992). Kadar je na voljo dovolj prostora za razvoj korenin, je zaznavanje neposrednih sprememb v rasti dreves zaradi zbijanja omejeno in ne daje konsistentnih rezultatov (CLAYTON in sod. 1987). Pogostejše so posredne spremembe, ki se pokažejo šele ob katastrofah (npr. vetrolom). Akutne poškodbe dreves, katerih posledica je sušenje drevja, so izrazitejše zaradi predhodnega stresa pri zbijanju tal (HILDEBRAND WILPERT 1992).

Regeneracija zbitih tal je reverzibilen, vendar dolgotrajen proces. Zbita tla tudi po desetih in več letih ne kažejo izboljšanja vodno-zračnih lastnosti, razen v zgornjih petih centimetrih (FROELICH in sod. 1985). Naravna regeneracija zbitih tal poteka z abiotskimi (zmrzovanje/taljenje,...) in

biotskimi dejavniki (deževniki,...), pri čemer slednji igrajo pomembnejšo vlogo. Poleg teh so bile razvite tudi različne metode regeneracije tal s tehničnimi ukrepi (oranje tal,...), ki niso primerne za naše naravne in tehnološke razmere. Tudi zmanjševanje pritiskov na tla s tehničnimi modifikacijami vozila (terra gume, hidrostatski pogoni) ne daje pričakovanih rezultatov (HILDEBRAND 1991). Pri spravilu lesa ostajajo na voljo predvsem preventivni ukrepi, ki sledijo naslednje načelo: *'Koncentriranje transportnih tokov na čim manjše število načrtovanih prometnic'*.

### 3.3 Vrednotenje poškodb tal pri transportu lesa

Vrednotenje sprememb tal predstavlja stopnjo, ko se do sprememb opredelimo s človeškimi merili, zato je vrednotenje vedno odsev vrednostnega sistema avtorja in časa, v katerem poteka. Najbolj pogosto je posredno ekonomsko vrednotenje poškodb tal preko padca prirastka lesa na drevesih vzdolž grajenih prometnic, ki je zelo nezanesljivo. Metoda je pri nas posebej priljubljena (TRAFELA 1986, STERLE 1991, REBULA 1993), rezultati pa se ujemajo s tujimi predvsem v končnem spoznanju (STANDISH in sod. 1988), ki je naslednje: *'Zveze v sistemu stroj-tla-drevo so preveč kompleksne, da bi jih bilo mogoče posplošiti, zato rezultati veljajo v glavnem za ploskve, kjer so potekali poskusi'*. Sodobno pojmovanje tal in gozdnega ekosistema je bistveno širše, zato so omenjene metode enostranske in pomanjkljive.

Novejši koncepti vrednotenja sprememb tal temelji na določanju obsega in stopnje sprememb posameznih talnih lastnosti, pri tem pa vsako odstopanje od stanja naravnih tal pojmuje kot motnjo. Težišče problema predstavlja izbor relevantnih lastnosti tal, njihovih merskih enot in mej dopustnih vrednosti. Posamezne države že imajo nacionalne standarde za dopustne motnje tal pri spravilu lesa. Dopustni obseg talnih poškodb za državne gozdove pacifiške severnozahodne regije sme znašati do 20% površine, s katere se spravlja les, pri čemer povprečno povečanje navidezne gostote ne sme preseči 15%, oziroma 10 % padca skupne poroznosti tal (Geist in sod. 1991).

#### 4 RAZISKOVALNE DOMNEVE

Značilnosti transporta lesa so pri nas v marsičem drugačne od tistih, ki jih navajajo rezultati tujih raziskav o negativnih vplivih transporta lesa na tla. Gostota grajenih prometnic pri nas je manjša in njihove dimenzije so skromnejše. Mase in moči domače mehanizacije so v povprečju skromnejše od tistih, katerih rezultate zbivanja tal navajajo tuje raziskave. Kaj vse to pomeni za stopnjo talnih poškodb v naših gozdovih, ne vemo.

Pomembnejše od potrjevanja škodljivih vplivov transporta lesa v naših gozdovih se nam zdi ustvarjanje pogojev za njihovo preprečevanje in zmanjševanje pri vsakdanjem delu v gozdu. Na podlagi naše 'filozofije' ter rezultatov tujih raziskav smo zasnovali naslednje domneve o poškodbah tal pri transportu lesa, katerih preverjanje naj bi odgovorilo na raziskovalne cilje in pripomoglo k usmerjanju bodočega dela na tem področju:

1. Največji delež talnih poškodb talnega površja izvira iz gradnje gozdnih vlak.
2. Povprečna površina motenih tal pri traktorskem spravlilu je v podobnih terenskih razmerah odvisna od vrste uporabljenega traktorja.
3. Skupna površina motenih tal vzdolž opuščenih prometnic je zanemarljiva.
4. Površino motenih tal vzdolž prometnic je mogoče ocenjevati in napovedovati.
5. Večina talnih poškodb pri traktorskem spravlilu lesa po brezpotju se zgodi že po prvih prehodih vozila, zato je omejevanje števila prehodov vozila nesmiselno.
6. Poškodbe tal pri traktorskem spravlilu se z globino hitro zmanjšujejo. Na globini 20 cm ni zaznavne zbitosti gozdnih tal.
7. Pri enakem številu prehodov traktorja prihaja na različnih naklonih terena do različnih dinamičnih obremenitev in različnih poškodb tal.
8. Pri spravlilu lesa z žičnimi napravami, pri katerih breme deloma ali v celoti drsi po tleh, ne prihaja do pomembnejše zbitosti površinskih horizontov gozdnih tal.
9. Z vidika stopnje talnih poškodb imajo v primerljivih naravnih razmerah žične naprave prednost pred spravlilom lesa s prilagojenim goseničnim traktorjem.

## 5 RAZISKOVALNI OBJEKTI IN METODE DELA

### 5.1 Gozdni predel Planina Vetrh

Preverjanje hipotez smo izvedli z dvema skupinama metod na enem gozdnem predelu, ki smo ga izločili v porečju Tržiške Bistrice. Zajema 463 ha lesnoproizvodnih gozdov in je primer ekološko občutljivega gozdnega ekosistema, brez omejitev pri gospodarjenju, z dolgo zgodovino vplivov transporta lesa na tla. Leži na osovitem pobočju Konjščice, v pasu 610-1650 m n.m.v. Značilna poteza mezoreliefa je skledasta uleklnina na pobočju s slikovitim imenom Javorše lonec. Dokončno in značilno podobo jarkastega reliefa dajejo predelu številni potočki ki se zlivajo v tri potoke: Krofov potok, Tesni jarek in Vetrnik. Klima je predapsko-alpska, z mrzlimi zimami in svežimi poletji. Pestra geološka osnova tvori raznoliko pedološko podlago, ki je osnova številnim gozdnim združbam. Za razliko od geološke in reliefne pestrosti je podoba gozdov precej enomerna in je posledica načina gospodarjenja z gozdovi po načelih maksimalne zemljiške rente v začetku tega stoletja. V predelu prevladujejo enodobni smrekovi sestoji, ki so nastali po obsežnih sečnjah pred drugo svetovno vojno z umetno sadnjo in setvijo smreke.

Prvi zapisi o lastništvu gozdov in izkoriščanju lesa v tem predelu segajo v 14. stoletje. Do leta 1873 so bili ti gozdovi last raznih tujih grofov in knezov, potem pa so postali last Kranjske industrijske družbe, ki je v njih uredila služnostne pravice. Leta 1891 jih je prodala finančniku iz Berlina, baronu Juliusu Freiherr von Bornu. Ta je omejil obseg služnostnih pravic v njih in se usmeril na intenzivno izkoriščanje gozdov in gojenje visoke divjadi. Gozdovi so ostali v lasti rodbine Born vse do leta 1945, ko so bili nacionalizirani. Gozdovi, ki jih zajema GGE Lom, so bili od zemljiške odveze razdrobljeni na zasebne parcele, katerih lastniki so krajanji Loma, vasice na južnem pobočju Konjščice.

Do razmaha izkoriščanja lesa je prišlo na prelomu stoletja, ko je dal baron Born leta 1895 zgraditi cesto od Tržiča do Jelendola in leta 1913 povezal še kraja Jelendol in Medvode z gozdno cesto in električno gozdno železnico. V tem času je nastalo v predelu omrežje številnih vlak, po katerih so v začetku nosili, kasneje pa s konji vlačili oglje. Leta 1923 je



začela v bližini predela obratovati gravitacijska žičnica na Mantovi, do katere so zgradili pravo omrežje konjskih vlak za živinski transport okroglega lesa. Do poti so hlode spravljali ročno po zemeljskih in lesenih drčah.

Kombinacija ročnega in animalnega spravila lesa je prevladovala vse do začetka šestdesetih letih, ko so se v predelu začeli pojavljati prvi traktorji goseničarji. Prehod tradicionalnih načinov transporta lesa na mehanizirane je bil v predelu zelo hiter. Delež konjskega spravila je začel naglo upadati in v družbenih gozdovih so s konjskim vlačanjem lesa povsem prenehali že leta 1964. Po letu 1970 so začeli uvajati zgibne traktorje, v zasebnih gozdovih pa se je uveljavilo traktorsko spravilo lesa s prilagojenimi kmetijskimi traktorji kolesniki. Spravilo lesa je potekalo skozi vse leto in ob vsakem vremenu. V predelu danes uporabljajo kmetijske, gosenične in zgibne traktorje ter različne naprave za žično spravilo lesa (Urus, Igland telescope,...).

Dinamika razvoja prevoza lesa ni bila tako pestra. V začetku stoletja so les vozili z vozovi. Že leta 1928 so uporabili tudi 3 tonski kamion, s pogonom na trdo gorivo. Krajši les so vozili z električno železnico do Jelendola, kjer so ga prekladali na vozove in kamione. Po letu 1945 je električni pogon železnice zamenjala dizelska lokomotiva. Gozdna železnica je prenehala obratovati leta 1946. Večino prevozov lesa so nato prevzeli kamioni. Danes vse prevoze lesa opravljajo s kamioni s polprikolicami.

Pripadajoče prometnice so nastajale tako, kakor je pihal veter pri razvoju transportnih sredstev. Večina cest in traktorskih vlak v predelu je bila zgrajena v zadnjih dvajsetih letih, pred letom 1988 in na klasičen način (miniranje, buldožer). To je bilo za našo raziskavo pomembno, saj obstoječa poškodbe tal predstavljajo normalno raven poškodb po končanem procesu naravnega 'vklapljanja' novogradenj v okolje. Traktorske vlake so v predelu gradili za določene vrste traktorjevin jih danes tako tudi uporabljajo.

## 5.2 Raziskovalne ploskve

Proučevanje sprememb fizikalnih lastnosti tal pri različnih načinih spravila lesa je potekalo na predhodno omejenih in pripravljenih raziskovalnih ploskvah znotraj predela Planina Vetrh. Drevesa na ploskvah so bila oštevilčena in skupaj z nastalimi prometnicami geodetsko posneta in računalniško izrisana na tematskih kartah v velikem merilu. Za potrebe te raziskave sta bili izločeni raziskovalni ploskvi št. 2 in št. 3.

### 5.2.1 Raziskovalna ploskev številka 2 (RP2)

Ploskev leži neposredno pod kamionsko cesto. Površina je 0.5 ha, povprečni naklon terena znaša 24%. Teren je valovit, z lomom na spodnji tretjini ploskve. Geološka podlaga je krušljiv kremenov konglomerat, ki ga pokrivajo srednje globoka distrična rjava tla. Tla so sveža in prekrita z debelejšo plastjo surovega humusa. Gozdna združba je Bazzanio-Piceetum. Sestoj je enomeren smrekov debeljak s posamično primesjo bukve. Na ploskvi je bilo pred posegom 742 dreves s povprečnim premerom 26 cm, po sečnji pa 463.

Spravilo lesa je potekalo navzgor do kamionske ceste. Opravljeno je bilo z večbobenskim žičnim žerjavom Igländ telescope, z vozičkom domače izdelave (kopija Sherpa U) in sistemom zbiranja v navezi. Pogon žične naprave je zagotavljal traktor Ursus, sortiranje ob kamionski cesti je bilo opravljeno s traktorjem Zetor. Organizacijska oblika je bila I+2. Žičnica in traktorja so bili v lasti kooperanta, ki je delo opravil v avgustu 1992.

### 5.2.2 Raziskovalna ploskev številka 3 (RP3)

Tretja raziskovalna ploskev je bila locirana 400 m od RP2 vzdolž iste kamionske ceste, na nadmorski višini 1200 m. Površina je znašala 0.28 ha, povprečni naklon terena pa 10%. Ploskev je bila izbrana na manjšem platoju in oddaljena od ceste 120 metrov. Geološka podlaga in gozdna združba sta enaki kot na RP2, tla pa so bolj suha, plitvejša in na robu ploskve prehajajo v distrični ranker. V smrekovem drogovnjaku s

povprečnim premerom 20 cm, je bilo pred sečnjo 483 dreves, intenziteta redčenja je znašala 34%.

Spravilo lesa je potekalo navzdol po negrajenih in vnaprej označenih vlakah na isto kamionsko cesto kot pri RP2. Izvedli so ga delavci Gozdnega gospodarstva Kranj z goseničnim traktorjem Fiat 665, opremljenim z dvobobenskim vitlom za zbiranje v navezi. Spravilo lesa je potekalo julija 1992. Organizacijska oblika je bila I+1, pri čemer je šlo za spravilo 4 metrskih sortimentov, ki so bili prej ročno zbrani v kupe.

### 5.3 Popis poškodb površja tal vzdolž prometnic z metodo stratificiranega vzorčenja sekcij

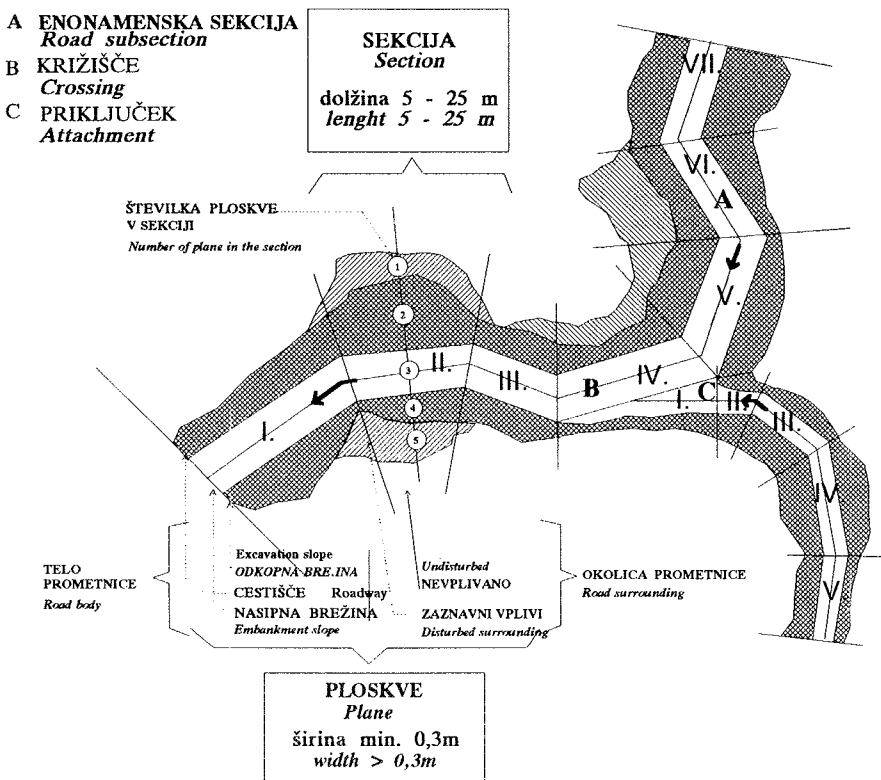
Analiza stanja površja tal vzdolž gozdnih prometnic je narekovala pripravo primerne karte predela in ažuriranje stanja prometnic na kartah. Izkazalo se je, da je v predelu preveč prometnic za podrobni popis površja tal, zato smo se odločili za uporabo vzorčnih metod. Ker v literaturi nismo zasledili primernih zgledov, smo se odločili za razvoj lastne metode vzorčenja poškodb površja tal vzdolž gozdnih prometnic. Pri tem je bilo potrebno oblikovati vzorčne enote, oblikovati znake površinskih motenj tal, določiti način njihovega ugotavljanja ter izbrati metodo vzorčenja in način izbora enot v vzorec.

#### 5.3.1 Oblikovanje in izbor vzorčnih enot

Proučevali smo pet različnih populacij grajenih gozdnih prometnic: ceste, vlake za kmetijske traktorje, vlake za gosenične traktorje, vlake za zgibne traktorje in opuščene poti. Vsaka izmed njih predstavlja zvezni linijski objekt pri katerih so poškodbe tal na različnih delih prometnice bistveno različne, zato smo jih za potrebe vzorčne analize razdelili na odseke, sekcije in ploskeve ter so shematsko prikazani na sliki 1.

Odsek prometnice je predstavljal del prometnice v dolžini do 500 m, ki ga je bilo mogoče nedvoumno razmejiti na karti in na terenu na podlagi naravne, transportne ali upravne meje. Sekcija je del prometnice in njene

okolice z enovitim značajem sprememb tal v dolžini 5-25 m. Na sliki 1 so označene z rimskimi številkami. Ploskev je del sekcije, ki je z vidika poškodb tal relativno homogena površina, z dolžino, ki je enaka dolžini sekcije in povprečno širino vsaj 0.3 m. Na sliki 1 so ploskve v sekcijah prikazane z različnimi šrafurami. Sekcija ima lahko do pet ploskev. To velja za vse enonamenske sekcije, ki na prometnicah prevladujejo. Sekcije na spojih dveh odsekov smo označevali na poseben način (B, C na sliki 1). Metoda ima majhno negativno sistematično napako pri določevanju površin nasipnih brežin, ki je bolj izrazita v ostrih zavojih. Napake ni mogoče odpraviti, možno pa jo je zmanjšati z izmero krajših dolžin sekcij v ostrih zavojih. Prikazani postopek členitve prometnic smo poimenovali metoda sekcij.



Slika 1: Situacija modela grajenih prometnic s prikazom sekcij in ploskev.

Figure 1: Situation of the sections and plots on the constructed communication model.

### 5.3.2 Oblikovanje znakov motenj površja tal

S kombinacijo merjenja dimenzij ploskev in ocenjevanja površinskih deležev različnih lastnosti zunanje morfologije tal v ploskvah smo želeli dobiti dejanske površine poškodovanega površja gozdnih tal v ploskvi, s katerimi bo mogoče ocenjevati povprečno in skupno poškodovanost površja tal vzdolž prometnic. Razlikovali smo tri osnovne znake: pokritost tal, dejanska kamnitost tal ter razgaljenost tal. Poleg treh osnovnih znakov površja tal smo določali odstotek naravne kamnitosti površja na nevplivanih tleh. Vsota površinskih odstotkov prvih treh znakov je 100, zato smo določevali samo pokritost in kamnitost, razgaljenost tal pa izračunavali. Izračunavali smo tudi odstotek spremenjene kamnitosti, ki je bil razlika med odstotkom naravne kamnitosti na nevplivani površini in dejanske kamnitosti v ploskvi. Odstotke smo na podlagi izmerjenih površin ploskev preračunali na dejanske površine.

Pri računanju dejanskih površin razgaljenih tal in sprememb površinske kamnitosti smo v dilemi, kateri izmed znakov bolje opisuje površinsko motnjo. Intuitivno bi odgovorili, da so hujša posledica razgaljena tla, kar pa ni vedno res. Na primer: pri izgradnji ceste v trdi hribini in na naklonih terena nad 50% dobimo zasek z majhno površino telesa prometnice in majhno razgaljenostjo organsko-mineralnega dela tal. Površinska kamnitost takega profila je nasprotno zelo velika zaradi cestišča, zaseka in nenadzorovanega odrida kamnine pri gradnji. Prednost bi dali spremembi kamnitosti, nasprotno pa bi postopali pri opisovanju posledic gradnje pobočne vlake na mehkih tleh. V večini primerov pomenita obe spremembi odmik od naravnega stanja tal na slabše, pri čemer se na splošno ni mogoče opredeliti o hierarhiji njunih pomembnosti. Poleg tega sta obe le zunanji posledici procesov v notranjosti tal, ki jih zaenkrat nismo sposobni ovrednotiti. Iz povedanega sledi, da je najbolje, da ju seštejemo in obravnavamo kot en znak, ki smo ga imenovali površina motenih tal. Povprečna površina motenih tal pomeni povprečno vrednost površin motenih tal po tekočem metru prometnice ( $m^2/m$ ) in je bila osnovni glavni izvedeni znak opisa tal vzdolž prometnic.

### 5.3.3 Metoda vzorčenja in način izbora vzorčnih enot

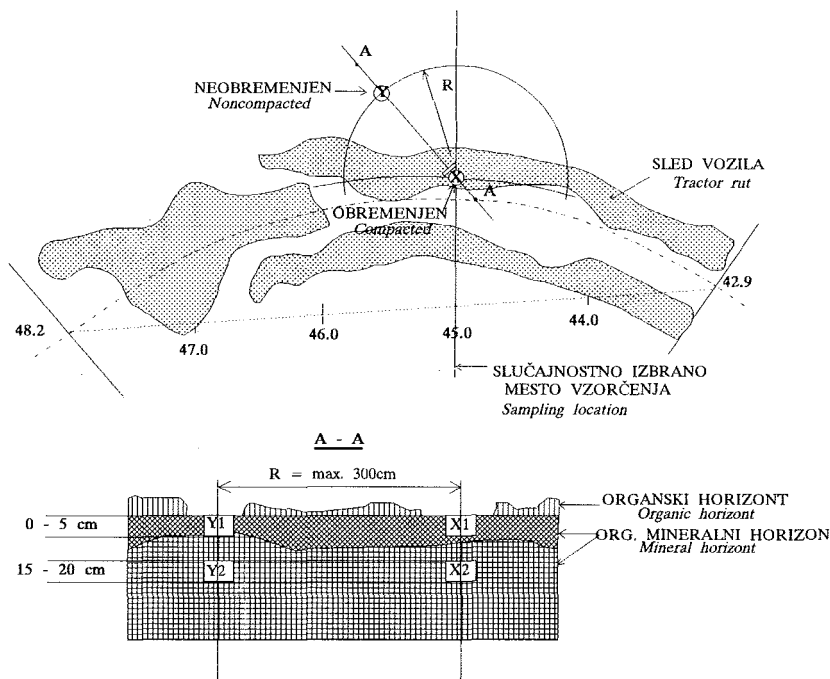
Da bi s čim manjšim vzorcem dobili zadovoljive vrednosti populacijskih parametrov obsega poškodovanosti tal vzdolž posameznih skupin prometnic in dobili dovolj podatkov za analize vplivnih dejavnikov, smo odsekov prometnic stratificirali glede na naklon terena. Karto kategorij naklonov terena smo izdelali z analognim postopkom.

S seštevanjem površin motenih tal ploskev v sekciji smo dobili površino motenih tal sekcije, ki je pomenila statistično skupinico na podlagi katerih smo z znanimi enačbami za stratificirano vzorčenje skupinic (KOTAR 1977) izračunavali intervalne vrednosti povprečne in skupne površine motenih tal vzdolž posamezne vrste prometnic. Metodo sekcij smo uporabili tudi pri popisu površinskih motenj na negrajenih prometnicah na raziskovalnih ploskvah, le da smo v tem primeru popisali vse prometnice.

## 5.4 Metode proučevanja zbitosti tal pri spravilu lesa po brezpotju

### 5.4.1 Metode terenskega dela

Z neposrednim spremljanjem delovnega procesa na raziskovalnih ploskvah smo dokumentirali nastajanje negrajenih prometnic. Vsak premik bremena ali vozila je bil tako zabeležen na karti. Skupno smo posneli 132 ciklusov spravila lesa z žičnim žerjavom s stolpom in 11 ciklusov spravila lesa z goseničnim traktorjem. Iz 'posnetkov' delovnega procesa je bilo mogoče določiti dolžine in položaj odsekov prometnic z določeno obremenitvijo. To je bila podlaga za izdelavo stratumov glede na število prehodov vozila in/ali bremena ter glede na naklon terena. V stratumu je bila lokacija profila za odvzem talnih vzorcev določena na slučajnosten način. Uporabljali smo metodo destruktivnega odvzema vzorcev v neporušenem stanju s pomočjo Kopetcky-jevih cilindrov, prostornine 100 cm<sup>3</sup> (RESULOVIČ 1971). Vzorce smo izkopavali v parih, na način, ki je prikazan na sliki 2.



Slika 2: Način izbora mesta za odvzem vzorcev tal.

Figure 2: Cylinder core sampling location determination on nonconstructed skid trails.

Kumulativna dolžina prometnic v posameznem stratumu je predstavljala zalogo vrednosti, znotraj katere smo s pomočjo slučajnostnih števil določili odvzemna mesta na kolesnici (položaj X). Izbirali smo vedno bolj obremenjeno kolesnico, kjer pa to ni bilo mogoče zanesljivo ugotoviti, je bil izbor slučajnosten. V radiju 100-300 cm od mesta odvzema obremenjenega vzorca smo poiskali neobremenjeno površino in vzeli talni vzorec iz enake globine kot obremenjen vzorec (položaj Y). Vzorce smo jemali iz globine 0-5 cm in 15-20 cm.

#### 5.4.2 Metode laboratorijskega dela

Izkopani talni vzorci so bili isti dan prenešeni v pedološki laboratorij, kjer smo jim določali izbrane fizikalne lastnosti. Navidezna gostota tal ( $\text{kg/m}^3$ ) je bila določena s tehtanjem absolutno suhega in neporušenega vzorca tal z

znanim volumnom na 0.1 g natančno (THUN in sod. 1955, s. 30-31; Ministarstvo šumarstva FNRJ 1950, s. 148).

Odstotek humusa smo določali posredno preko vsebnosti organskega ogljika v vzorcu, pri čemer smo za pretvorni faktor jemali sorazmernostno konstanto 1.724. Skupno vsebnost ogljika v tleh (organskega in mineralnega) smo določali s pomočjo naprave Carmhomat 8ADG po termičnem razkroju predhodno zmletega vzorca tal. Pri suhem sežigu talnega vzorca nastaja CO<sub>2</sub>, ki ga uvajamo v raztopino NaOH. Ogljik se ugotavlja konduktometrično, na osnovi razlik prevodnosti raztopine pred in po uvajanju nastalega CO<sub>2</sub> v raztopino. Količino ogljika odčitamo direktno na aparaturi (WÖSTHOFF 1982). Ker naši vzorci niso vsebovali karbonatov, ki bi pri sežigu povzročali navzočnost anorganskega CO<sub>2</sub>, je odčitana vrednost skupnega ogljika hkrati tudi vsebnost organskega ogljika (KRETZSCHMAR 1984, s. 374-395).

Momentalna vlažnost vzorca (masni % absolutno suhih tal) je predstavljala vlažnost vzorca v trenutku, ko se je začelo njegovo tehtanje v laboratoriju. Določali smo jo z razliko mase vzorca pri naravni vlažnosti in mase vzorca po sušenju pri 105°C (THUN in sod. 1955, s. 46; Ministarstvo šumarstva FNRJ 1950, s. 141).

Na izbranih talnih vzorcih smo določali tudi pravo gostoto tal. Uporabili smo dve standardizirani metodi. V pedološkem laboratoriju IGLG smo določali pravo gostoto v Guy-Lusacovih piknometrih z raztopino Xylola (KRETZSCHMAR 1984, s. 227-234; THUN in sod. 1955, s. 28-30). V pedoloških laboratorijih Visoke šole za kulturo tal na Dunaju smo istim vzorcem določali pravo gostoto z avtomatskim helijevim piknometrom.



## 6 REZULTATI

### 6.1 Spremembe površja tal vzdolž prometnic

#### 6.1.1 Tehnične značilnosti analiziranih sekcij

Poškodbe tal vzdolž grajenih prometnic so tesno povezane s količino grajenih prometnic v predelu. Ažurirane količine posameznih vrst prometnic so prikazane v preglednici 1. Pri prometnicah, ki so potekale po robu predela smo upoštevali polovico dolžin.

*Preglednica 1: Dolžine grajenih prometnic na predelu Planina Vetrh (stanje 1992).*

*Table 1: The length of constructed communications in Planina Vetrh forest district (situation 1992).*

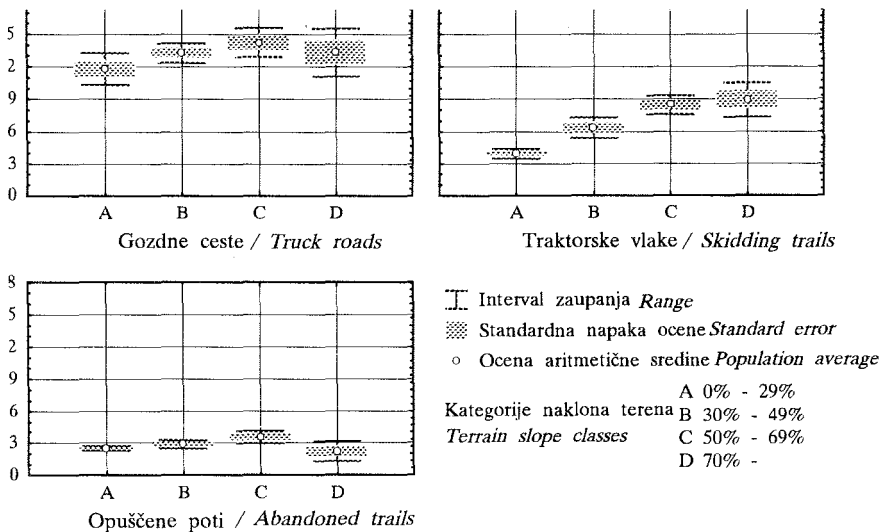
POPULACIJE / POPULATIONS			VZORCI / SAMPLES				
Vrsta prometnice <i>Type of communications</i>	Dolžina <i>Length</i> (m)	Število odsekov <i>No. of sections</i>	Dolžina <i>Length</i> (m)	Število odsekov <i>No. of sections</i>	Število sekcij <i>No. of subsections</i>	Število ploskev <i>No. of planes</i>	Stopnja vzorčenja <i>Sampling proportion</i>
Gozdne ceste <i>Truck roads</i>	9.779	53	1.738,9	11	112	380	17,8%
Vlake-kolesnik <i>Farm tractor trails</i>	4.253	35	817,4	9	63	194	19,2%
Vlake-goseničar <i>Crawled tra. trails</i>	4.859	39	1.064,1	10	70	174	21,9%
Vlake-zgibnik <i>Skidder trails</i>	6.915	51	852,1	9	62	196	12,3%
Opuščene poti <i>Abandoned trails</i>	9.910	98	1.248,1	16	111	254	12,6%
Skupaj / <i>Together</i>	35.716	276	5.720,6	55	418	1.198	

Skupna dolžina vseh prometnic v predelu je skoraj 36 km. Največ je traktorskih vlak, vplivi preteklih tehnologij pa se kažejo v veliki količini dobro vidnih opuščenih poti. Cestno omrežje sestavljajo dolinska cesta in tri etaže pobočnih cest, ki potekajo deloma po trasah nekdanjih konjskih vlak. Zanimiva je ugotovitev, da je danes v predelu podobna količina cest, kot je bila v dobi nemehaniziranega transporta animalnih vlak.

Pri gradnji prometnice zavestno oblikujemo telo prometnice, njegova oblika v prečnem profilu pa v marsičem določa značaj poškodb tal vzdolž

prometnic. Pri cestah prevladuje mešani profil in njegova izvedenka v strmih terenih - zasek. Ostale štiri vrste prometnic lahko z vidika oblike prečnega profila razdelimo v dve skupini. Prvo skupino predstavljajo vlake za kolesne traktorje, drugo vlake za goseničarje in opuščene poti. Prva skupina je bolj podobna cestam, druga pa ima več potez negrajenih prometnic.

Namen oblikovanja prečnega profila je zagotoviti vozno površino zadovoljive kakovosti z ozirom na predvideno obremenitev ciljnega transportnega sredstva in na ostale tehnične zahteve. V praksi prevladujejo vozišča z vozno koritnico, zato smo v analizi tehničnih značilnosti prometnic upoštevali celotno širino, ki jo je mogoče izkoristiti za vožnjo, in jo imenovali širina cestišča. Povprečna širina cestišč gozdnih cest je 5,1 m, traktorskih vlak 2,9 m in opuščenih poti 1,7 m. Razlike med širinami cestišč različnih vrst traktorskih vlak so statistično neznačilne. Rezultati vzbujajo dvom, da gre za različne vrste namenskih traktorskih vlak. Predpostavko o različnih populacijah traktorskih vlak smo ohranili tam, kjer je bilo to smiselno, drugje pa smo jih združili v eno skupino in jo preprosto imenovali 'traktorske vlake'.



Grafikon 1: Povprečne širine telesa grajenih prometnic v posameznih kategorijah naklona terena

Graph 1: Average widths of constructed communications in different terrain slope classes

Odvisnost povprečne širine telesa posameznih skupin grajenih od naklona terena prikazuje grafikon 1. Pri računanju širine telesa prometnice v prostoru smo uporabljali dejanske širine (merjene poševno po terenu) in ne tlorskih projekcij. Povprečna širina telesa prometnic narašča z naklonom terena. Z naklonom terena narašča tudi delež dolžin zasekov, kar povzroča skrajševanje širine telesa prometnice v zelo strmih terenih. Pojav je očiten pri vseh prometnicah na naklonih terena nad 70%. Vprašanje, ki se pri tem pojavlja, je naslednje: ali tudi poškodovanost tal sledi tej preprosti logiki geometije prečnega profila prometnice v prostoru?

## 6.1.2 Morfološke značilnosti površja tal vzdolž grajenih prometnic

### 6.1.2.1 Obseg in tip pokritosti tal

Naravno stanje površja gozdnih tal je kombinacija površin pokritih z organsko snovjo in določenega deleža površine naravne kamnitosti, medtem ko je povečana površinska kamnitost in razgaljenost organsko-mineralnih horizontov znak talnih motenj. Dejanska površina telesa prometnice ni edina površina na kateri so vidne motnje površja tal, prav tako pa te površine niso v celoti nerodovitne. Količinske rezultate pokritosti površja tal vzdolž vseh prometnic z vidnimi površinskimi motnjami prikazuje preglednica 2.

*Preglednica 2: Primerjava obsega pokritosti tal na površinah z vidnimi motnjami površja tal vzdolž grajenih gozdnih prometnic.*

Table 2: The structure of the surface coverage on visually disturbed soils along constructed forest communications.

Prometnice <i>Communications</i>	Površina pokritih tal <i>Covered surface</i>				Površina nepokritih tal <i>Uncovered surface</i>				Skupaj <i>Together</i>	
	Prometnica <i>Communication</i>		Okolica <i>Surrounding</i>		Prometnica <i>Communication</i>		Okolica <i>Surrounding</i>		m <sup>2</sup>	%
	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%		
Ceste <i>Truck roads</i>	7.572	10,8	11.205	16,0	14.908	21,3	8.404	12,0	42.890	60,1
Traktorske vlake <i>Skidding trails</i>	7.772	11,1	4.662	6,7	8.656	12,3	2.389	3,3	23.479	33,4
Opuščene poti <i>Abandoned trails</i>	3.016	4,3	671	1,0	615	0,9	192	0,3	4.494	6,5
Skupaj / <i>Together</i>	18.360	26,2	16.538	23,7	24.179	34,5	10.985	15,6	70.062	100,0

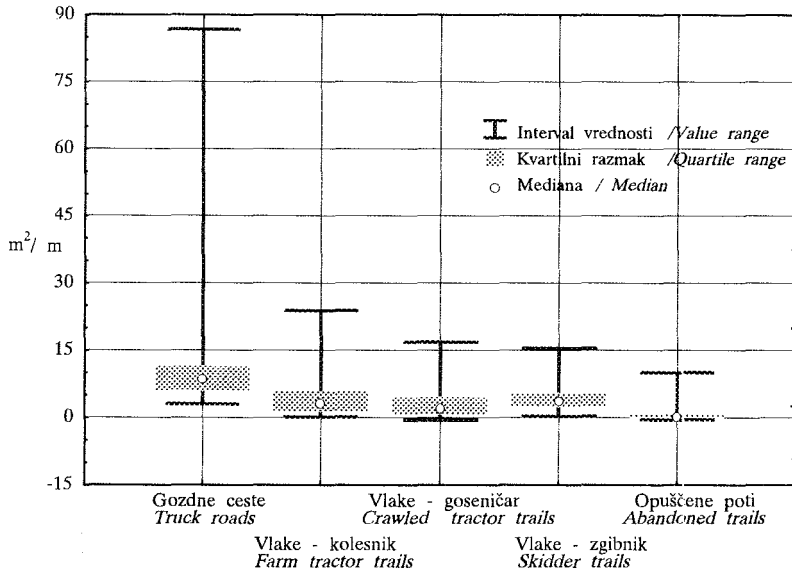
Od vseh analiziranih površin je bilo 50% pokritih z neko obliko organske snovi. Kar 60% vseh analiziranih površin je bilo vzdolž gozdnih cest, katerim pripada tudi največji delež nepokritih tal. Od 22.480 m<sup>2</sup> analiziranih površin tal na gozdnih cestah jih je kar 34% pokritih vsaj z opadom. Povedano drugače: na vsak tekoči meter ceste smo ugotovili povprečno 4,35 m<sup>2</sup> pokritih površin na telesu prometnice. Vzdolž traktorskih vlak je ta vrednost znašala povprečno 2,84 m<sup>2</sup>/m, na opuščenih poteh pa 2,42 m<sup>2</sup>/m. Pri tem smo se zavedali, da gre za antropogenizirana in zavestno močno spremenjena tla na telesu prometnice in da je podoba površja le en vidik kakovosti teh 'nenaravnih' tal.

Velik delež pokritih tal je znak umirjanja sproženih procesov premeščanja tal pri gradnji in znak revitalizacije proizvodne funkcije tal. Na njih sicer ne raste vegetacija, za katero bi lahko rekli, da je z vidika pridobivanja lesne substance pomembna, ima pa zato toliko večji ekološki pomen. Predstavlja nove habitate in je pomembna sestavina v prehrani živalske komponente gozda ter tako prispeva k večji biološki pestrosti v naših gozdovih.

Kdaj je gozdna prometnica del mnogonamenskega gozda in kdaj postane odpadek pri pridobivanju lesa ter tujek v gozdnati krajini, je odvisno od številnih dejavnikov. Nekatere izmed njih bomo prikazali v nadaljevanju.

#### *6.1.2.2 Površina motenih tal*

Porazdelitev znaka površina motenih tal v sekcijah je prikazana na grafikonu 2. Vzorci vseh vrst proučevanih prometnic imajo veliko variabilnost in močno desno asimetrično porazdelitev površin motenih tal.



**Grafikon 2:** *Frekvenčne porazdelitve površin motenih tal sekcij na grajenih prometnicah.*

*Graph 2: Frequency distribution of the disturbed surface area in sections along constructed communications.*

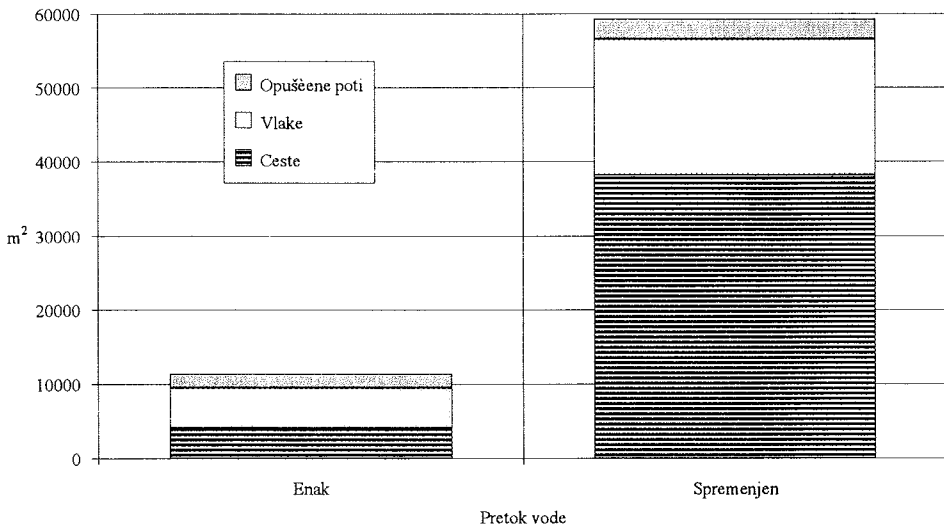
Očitno gre pri vseh vrstah prometnic za dve podpopulacije, ki se bistveno razlikujeta glede površine motenih tal. Ker to močno zmanjšuje možnosti korektno statistične obdelave z metodami parametrične statistike, hkrati pa se tam skriva bistvo problema negativnih vplivov transporta lesa po grajenih prometnicah na tla, je bilo potrebno problem rešiti. Pred tem pa moramo podrobneje spoznati še nekatere druge značilnosti površja tal vzdolž grajenih gozdnih prometnic.

### 6.1.2.3 *Procesi masovnega premeščanja tal vzdolž grajenih prometnic*

Površina motenih tal je le zunanja podoba z gradnjo sproženih naravnih procesov v notranjosti tal. Pri tem igra odločilno vlogo voda in to zaradi svoje mase, mobilnosti in kinetične energije ter z njo povezane razdiralne moči.

Pri analizi stanja tal na ploskvah v sekciji smo ocenjevali spremembe površinskega in talnega odtoka vode na podlagi kompleksne vizualne

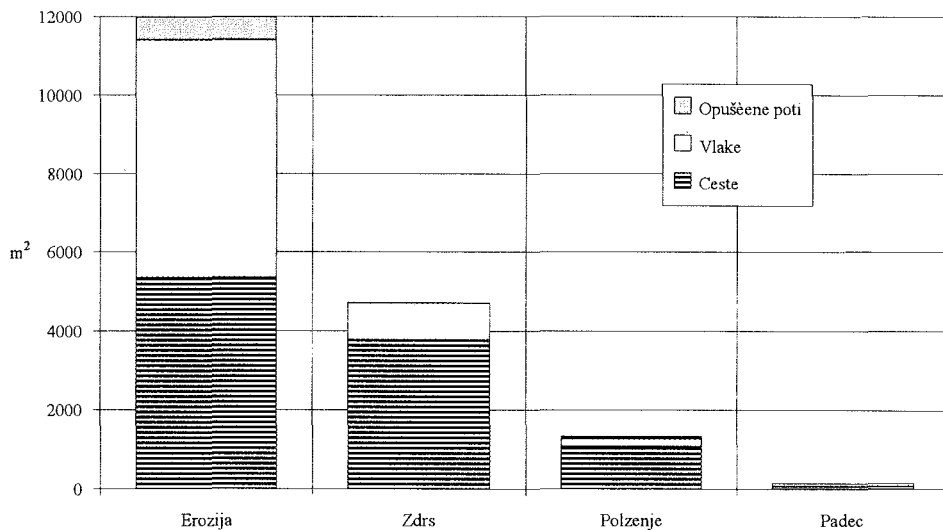
presoje. Spremembe površinskega odtoka smo ocenjevali na podlagi količine razgaljenih tal in stopnje izpranosti talnih delcev, spremembe vodnih razmer v tleh pa na podlagi vrste in pogostosti pritalne vegetacije. Strukturo površin, pri katerih se je po naši presoji spremenil vsaj en od dveh vrst pretoka, prikazuje grafikon 3. Kar 86% analiziranih površin je kazalo očitne spremembe vodnih razmer. Razlike med prometnicami so zelo velike in so posledica njihovih različnih dimenzij in količine v prostoru.



**Grafikon 3:** *Struktura površin analiziranih ploskev grajenih prometnic glede na vidne spremembe vodnih razmer v tleh.*

**Graph 3:** *The structure of the areas on constructed communications regarding obvious changes in water regime in soils.*

Posredne posledice sprememb vodnih razmer so procesi premeščanja talnih delcev, ki se kažejo v različnih oblikah površinske erozije in masovih premikih talnih gnot. Določanje površin tal v premeščanju je negotovo, ker se procesi prepletajo, poleg tega pa površina ne pove dovolj o kakovosti in intenziteti pojava. Pri popisu stanja tal na analiziranih sekcijah smo zato določali samo površino sekcij na katerih smo evidentirali posamezne procese premeščanja tal. Rezultati so prikazani na grafikonu 4.



*Grafikon 4: Struktura površin analiziranih ploskev z očitnimi procesi premeščanja tal.*

*Graph 4: Structure of the areas along constructed communications with obvious processes of mass movement.*

Najpogostejši procesi premeščanja tal vzdolž grajenih prometnic na predelu so različne oblike površinske erozije. Največ erodiranih tal je vzdolž traktorskih vlak, medtem ko je največji delež površin masovnih premikov tal pri gozdnih cestah. Vzdolž 1.739 m analiziranih odsekov gozdnih cest, 2.734 m traktorskih vlak in 1.248 m opuščenih poti smo zabeležili skupno 109 primerov masovnih premikov tal. Gre za veliko število majhnih površin v premeščanju, ki v večini primerov in v največjem deležu površin pripadajo gozdnim cestam. Med njimi je nekaj takih, ki so prave kritične točke negativnih vplivov transporta lesa na tla in na celotni gozdni prostor. To so prav tiste sekcije, ki so povzročale asimetrijo pri frekvenčnih porazdelitvah površine motenih tal. Tuja literatura jih označuje z izrazom 'hot spots', mi smo jih imenovali kritične sekcije.

#### 6.1.2.4 *Poškodovanost tal na kritičnih sekcijah grajenih prometnic*

Kritične sekcije niso množičen pojav, zato zahtevajo individualno obravnavo. Pri tem se pojavi vprašanje, kje je meja med kritičnimi sekcijami in normalnimi. Vprašanje ni nepomembno, saj je od njega odvisna natančnost ocene povprečne in skupne površine motenih tal v predelu. Razvrstitev sekcij na kritične in normalne je odvisna od namena razvrščanja, mi smo jo opravili na dva različna načina.

Za vsako sekcijo smo najprej izračunali standardizirane vrednosti površine motenih tal znotraj vzorca posamezne vrste prometnic, nato pa za vse vzorce izbrali eno vrednost 'z'. Vse sekcije, ki so presegle izbrano vrednost, smo opredelili kot kritične sekcije. Izbrali smo  $z = 2$  in dobili skupno 16 kritičnih sekcij. Postopek je omogočil dobro normalizacijo podatkov za nadaljne statistične obdelave, ni pa bil primeren za prepoznavanje najhujših žarišč negativnih vplivov transporta lesa v predelu. Tega smo opravili na podlagi absolutne vrednosti površine motenih tal v sekciji. Če smo za prag vzeli površino motenih tal  $200 \text{ m}^2$  v sekciji, smo dobili primeru trideset kritičnih sekcij, od katerih jih pretindvajset pripada cestam, ena vlakam za zgibnike, dve vlakam za goseničarje in dve vlakam za kolesne kmetijske traktorje. Od vseh analiziranih prometnic predstavljajo kritične sekcije 10% vseh dolžin prometnic in kar 38% vseh površin motenih tal. Površina motenih tal preko  $200 \text{ m}^2$  v sekciji je pomenila povprečno  $22 \text{ m}^2$  motenj po tekočem metru prometnice, kar gotovo zasluži pridevnik 'kritično'.

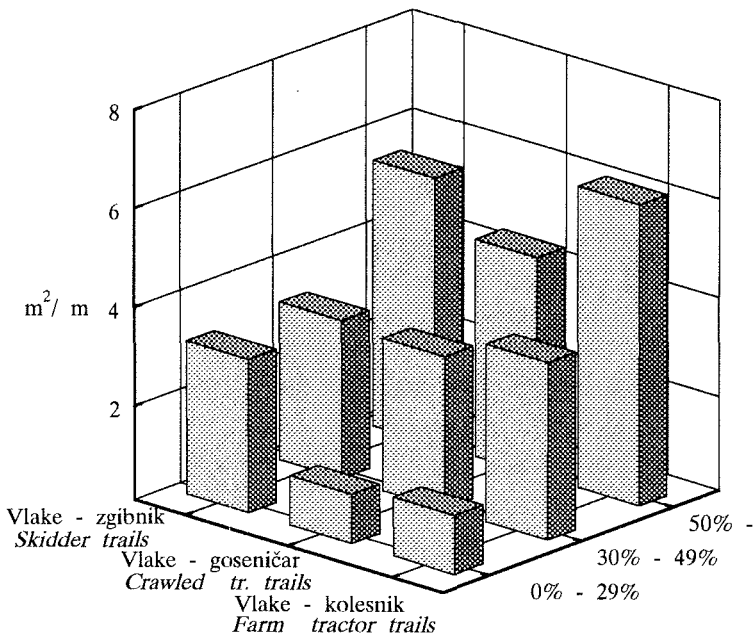
## 6.2 Povprečna površina motenih tal vzdolž grajenih prometnic

### 6.2.1 Povprečna poškodovanosti površja tal vzdolž grajenih vlak

Povprečna poškodovanost tal vzdolž posameznih vrst grajenih prometnic v predelu je pomemben pokazatelj negativnih vplivov transporta lesa na tla. Opredeljuje normalno raven poškodb tal s katero je potrebno realno računati, ko razmišljamo o spremembah omrežja grajenih prometnic v določenem prostoru.



Najprej smo se posvetili vprašanju povprečne poškodovanosti površja tal vzdolž traktorskih vlak, ki jih je v predelu največ in je za različne terene v predelu prikazana na grafikonu 5. Z naraščanjem naklona terena narašča povprečna poškodovanost tal pri vseh vrstah vlak. Najmanjše povprečne poškodbe tal so v vseh terenih vzdolž goseničarskih vlak. Povprečne poškodbe tal vzdolž vlak za kmetijske traktorje so v nižinah podobne tistim za goseničarje, medtem ko je povprečna poškodovanost tal na vlakah za zgibnike na podobnih terenih trikrat večja. Z naraščanjem naklona terena se najbolj stopnjuje povprečna poškodovanost tal na vlakah za kmetijske kolesne traktorje.



Grafikon 5: Povprečna površina motenih tal na različnih naklonih terena  
 Graph 5: The structure of the average disturbed on the different terrain slope classes

Razlike v povprečni površini motenih tal so statistično značilne samo za nižinski predel. Posteriorna analiza (SNK) je pokazala, da so statistično značilne razlike v povprečni površini motenih tal samo med vlakami za zgibnike in vlakami za goseničarje ( $P < 0.01$ ) ter vlakami za zgibnike in vlakami za kmetijske kolesnike ( $P < 0.05$ ). Domnevo o razlikah v

povprečni površini motenih tal pri različnih načinih traktorskega spravila lesa po grajenih vlakah smo tako delno potrdili samo za nižinske terene, za ostale kategorije naklonov terena z raziskavo nismo dokazali statistično značilnih razlik. V nadaljnjih analizah smo vse traktorske vlake obravnavali kot eno populacijo.

#### 6.2.1.1 *Ocena obstoječe povprečne površine motenih tal*

Že med testiranjem vzorčne metode sekcij smo ugotovili, da je postopek izračuna površine motenih tal razmeroma zamuden. Da bi ga poenostavili smo pri popisu ocenjevali tudi dejansko širino vidnih poškodb tal prečno na os prometnice. Izhajali smo iz domneve, da širši pas vidnih poškodb tal pomeni tudi večjo površino motenih tal, zato smo ta znak imenovali ocena vplivne širine transporta lesa na tla. Po končani izmeri vseh ploskev je bilo mogoče vplivno širino na sekciji tudi izračunati. Ti podatki so nam služili za testiranje kakovosti ocen vplivnih širin. Korelacijski koeficient je presegal vrednost 0,9 zato smo oceno vplivne širine uporabili za oceno povprečne površine motenih tal. Enačba multiple regresijske odvisnosti med površino motenih tal in izbranimi znaki je prikazana v preglednici 3.

S pomočjo štirih znakov nam je uspelo pojasniti 92% skupne variabilnosti znaka površina motenih tal za normalne sekcije. Na podlagi regresijske enačbe smo izračunali regresijske vrednosti površin motenih tal za posamezne sekcije. Za izmerjene in regresijske vrednosti površin motenih tal smo izračunali intervalne ocene povprečne površine motenih tal za posamezne stratume, nato pa izvedli t-teste za testiranje značilnosti razlik med dvema aritmetičnima sredinama za odvisne vzorce (izmera : regresija) znotraj posameznih stratumov. Preglednica 3 podaja poleg testa uporabnosti ocenjevanja površin motenih tal z oceno vplivne širine tudi končne rezultate povprečne površine motenih tal vzdolž posameznih skupin grajenih prometnic in kategorij naklonov terena na podlagi metode stratificiranega vzorčenja skupinic. Po pričakovanju je povprečna površina motenih tal največja vzdolž gozdnih cest, ki predstavljajo prometnice z največjimi dimenzijami antropogeniziranih tal v gozdu. Povprečna poškodovanost tal se z naraščanjem naklona terena stopnjuje pri vseh skupinah prometnic, kar ne sledi preprosti logiki geometrije prečnih profilov.

**Preglednica 3: Primerjava izmerjene in ocenjene povprečne površine motenih tal.**

Table 3: Calculated and estimated average disturbed surface area along constructed forest communications.

		Naklon terena / Terrain slope classes							
		0% - 29%		30% - 49%		50% - 69%		> 70%	
Skupina prometnic <i>Type of communications</i>	Vir podatkov <i>Source of data</i>	n	Površinske motnje m <sup>2</sup> /m <i>Surface disturbances</i>	n	Površinske motnje m <sup>2</sup> /m <i>Surface disturbances</i>	n	Površinske motnje m <sup>2</sup> /m <i>Surface disturbances</i>	n	Površinske motnje m <sup>2</sup> /m <i>Surface disturbances</i>
Ceste <i>Truck Roads</i>	Izmera <i>Measured</i>	32	7,89 ± 1,03	42	7,77 ± 0,82	18	9,86 ± 3,06	15	18,32 ± 4,37
	Regresija <i>Regression</i>		7,24 ± 1,09		7,42 ± 0,41		11,15 ± 3,26		15,70 ± 4,16
Vlake <i>Tractor trails</i>	Izmera <i>Measured</i>	69	1,85 ± 0,42	68	3,42 ± 0,49	33	5,46 ± 0,95	17	5,47 ± 1,26
	Regresija <i>Regression</i>		1,98 ± 0,42		3,52 ± 0,37		5,28 ± 0,65		5,95 ± 0,71
Opuščene poti <i>Abandoned trails</i>	Izmera <i>Measured</i>	51	0,41 <sup>B</sup> ± 0,17	32	0,29 <sup>C</sup> ± 0,13	24	0,37 <sup>C</sup> ± 0,18	4	0,86 ± 0,68
	Regresija <i>Regression</i>		0,20 <sup>B</sup> ± 0,19		0,86 <sup>C</sup> ± 0,30		1,33 <sup>C</sup> ± 0,32		1,46 ± 0,81
<b>Y = -2,692 + 0,313*X<sub>1</sub> + 0,884*X<sub>2</sub> + 0,057*X<sub>3</sub> + 0,045*X<sub>4</sub></b>									
X <sub>1</sub> Ocenjena vplivna širina <i>Estimated impacts width</i>	X <sub>2</sub> širina cestišča <i>Roadway width</i>	X <sub>3</sub> Naklon terena <i>Slope class</i>	X <sub>4</sub> Podolžni naklon vozišča <i>Roadway slope</i>						
Značilnost t - testov (odvisni vzorci): A (p < 0.05), B (p < 0.01), C (p < 0.001) <i>Significance of the t - tests (dependant samples)</i>									

S prikazanim postopkom nam je uspelo poiskati zvezo med preprosto oceno vplivne širine in površino motenih tal, ki je pomemben merljiv parameter obsega poškodovanih tal zaradi transporta lesa. Prikazana zveza je bližnjica pri ugotavljanju povprečne površine motenih tal vzdolž že zgrajenih prometnic, nas pa je bolj zanimala možnost napovedovanja motenih površin pri nadaljni gradnji prometnic v tem prostoru.

### 6.2.1.2 Napovedovanje povprečne površine motenih tal

Pri načrtovanju sprememb omrežja grajenih prometnic v predelu se bo potrebno v bodoče odločati med različnimi variantami posameznih tras. Pri

tem bo potrebno upoštevati tudi poškodbe tal, ki nastanejo pri normalni izgradnji prometnice. Naklon terena in širina cestišča načrtovane prometnice sta edina podatki o načrtovani prometnici, s katerima razpolagamo pred začetkom gradnje in sta imela značilen vpliv na površino motenih tal. Geološka podlaga in podolžni naklon prometnice nista imela značilnega vpliva pri napovedovanju povprečne površine motenih tal. Postopek izračuna je potekal podobno kot v prejšnjem poglavju, rezultati pa so prikazani v preglednici 4.

*Preglednica 4: Uspešnost napovedovanja povprečne površine motenih tal.*

*Table 4: The efficiency of the average disturbed surface area prediction.*

		Naklon terena / Terrain slope classes							
		0% - 29%		30% - 49%		50% - 69%		70% in več	
Skupina prometnic <i>Type of communications</i>	Vir podatkov <i>Source of data</i>	n	Površinske motnje m <sup>2</sup> /m <i>Surface disturbances</i>	n	Površinske motnje m <sup>2</sup> /m <i>Surface disturbances</i>	n	Površinske motnje m <sup>2</sup> /m <i>Surface disturbances</i>	n	Površinske motnje m <sup>2</sup> /m <i>Surface disturbances</i>
Ceste <i>Truck Roads</i>	Izmera <i>Measured</i>	32	7,89 ± 1,03	42	7,77 <sup>A</sup> ± 0,82	18	9,86 ± 3,06	15	18,32 <sup>B</sup> ± 4,37
	Regresija <i>Regression</i>		7,91 ± 0,80		8,58 <sup>A</sup> ± 0,49		9,20 ± 0,82		12,96 <sup>B</sup> ± 1,30
Vlake <i>Tractor trails</i>	Izmera <i>Measured</i>	69	1,85 ± 0,42	68	3,42 ± 0,49	33	5,46 ± 0,95	17	5,47 <sup>C</sup> ± 1,26
	Regresija <i>Regression</i>		1,90 ± 0,40		3,41 ± 0,51		5,45 ± 0,83		8,74 <sup>C</sup> ± 2,25
$Y = -3,5249 + 0,2892 * X_1 + 2,7354 * X_2 - 0,0570 * X_3$									
X <sub>1</sub> Kvadrat kategorije naklona terena <i>Square of slope class,</i>				X <sub>2</sub> širina cestišča <i>Roadway width ,</i>					
X <sub>3</sub> Kvadrat širine cestišča <i>Square of the roadway width</i>									
Značilnost t - testov (odvisni vzorci): A (p < 0.05), B (p < 0.01), C (p < 0.001) <i>Significance of the t - tests (dependant samples)</i>									

Z regresijo smo pojasnili 64% variabilnosti znaka površina motenih tal. Uspešnost napovedovanja povprečne površine motenih tal v posameznih kategorijah terena je znatno manjša od tiste pri njenem ocenjevanju. Razlike so statistično značilne v kategoriji naklonov nad 70% za obe skupini prometnic. V teh predelih nastajajo kompleksne motnje tal, ki jih ni mogoče dobro opisati samo s spremembami površja tal.

### 6.2.1.3 *Spremembe površja tal vzdolž negrajenih prometnic*

Sekundarne negrajene prometnice ter terciarne in kvartarne prometnice v gozdnem prostoru nastajajo in izginjajo z drugačno dinamiko kot grajene prometnice. Našteti prometnic je v gozdnem prostoru po dolžini ogromno. Poškodbe tal, ki nastajajo na vseh teh prometnicah pa so posledica samega prometa.

Ker so bile evidence o negrajenih prometnicah nezanesljive, smo nastajanje teh prometnic opazovali pri delovnem procesu spravila lesa z večbobenskim žičnim žerjavom s stolpom in pri spravilu z goseničnim traktorjem na raziskovalnih ploskvah. Zaradi majhne analizirane dolžine prometnic in male površine raziskovalnih ploskev, populacijskih parametrov nismo ugotavljali. Z metodo sekcij smo površinske motnje popisali dvakrat. Prvič smo jih popisali takoj po končanem spravilu lesa, drugič pa po letu in pol ter ocenili spremembo obsega poškodovanosti površja tal v času.

Iz kart potekov posameznih ciklusov spravila lesa smo zbrali podatke o dolžinah linij zbiranja lesa ter izračunali njihovo gostoto. Ta je na delovišču žične naprave (RP2) znašala 2.814 m/ha, na delovišču goseničnega traktorja (RP3) pa 1.508 m/ha. Pri zbiranju lesa nastajajo poškodbe površja tal, vendar je njihov površinski delež majhen. Ker so poškodbe tal nepravilnih oblik, metoda sekcij ni bila primerna za ugotavljanje površine motenih tal, zato smo na karte raziskovalnih ploskev vrisali samo situacije nastalih površinskih motenj. Površine motenih tal pri vlačanju lesa po negrajenih sekundarnih prometnicah smo določali z metodo sekcij. Gostota negrajenjih vlak na ploskvi je znašala 254 m/ha, gostota linij pri spravilu z večbobenskim žičnim žerjavom pa 395 m/ha. Povprečna površina motenih tal vzdolž goseničarske vlake je znašala 1,52 m<sup>2</sup> na tekoči meter nastale prometnice, na tleh pod linijo žične naprave 1,54 m<sup>2</sup>/m.

Skupno površino motenih tal na delovišču goseničnega traktorja smo ob drugem prihodu na ploskev ocenili na 20% tiste, ki je bila vidna neposredno po spravilu lesa. Tudi na negrajeni traktorski vlaki je bil opazen povečan vznik smrekovega semena glede na okolico vlake, vendar manj kot na RP2. Vidni so bili procesi površinske erozije na ravnem delu

nastale vlake in brazdaste erozije na priključku vlake na cesto. Vsi procesi premeščanja tal na ploskvi so bili regresivni.

Primerjava opisov površinskih poškodb tal pri dveh načinih spravila lesa v podobnih naravnih razmerah nakazuje, da ugotovljena površina motenih tal neposredno po spravilu lesa ni primeren znak za opisovanje poškodb tal in njihove dinamike, ki nastajajo pri transportu lesa po negrajenih prometnicah. Čeprav je bil obseg površinskih poškodb po končanem spravilu lesa zelo podoben, poteka regeneracija tal različno. Ali gre pri tem za različne poškodbe talne notranjosti, ki jih z znakom površina motenih tal nismo uspeli razločiti? Da bi dobili odgovore na zastavljena vprašanja, smo proučili spremembe talne notranjosti pri spravilu lesa na obeh ploskvah.

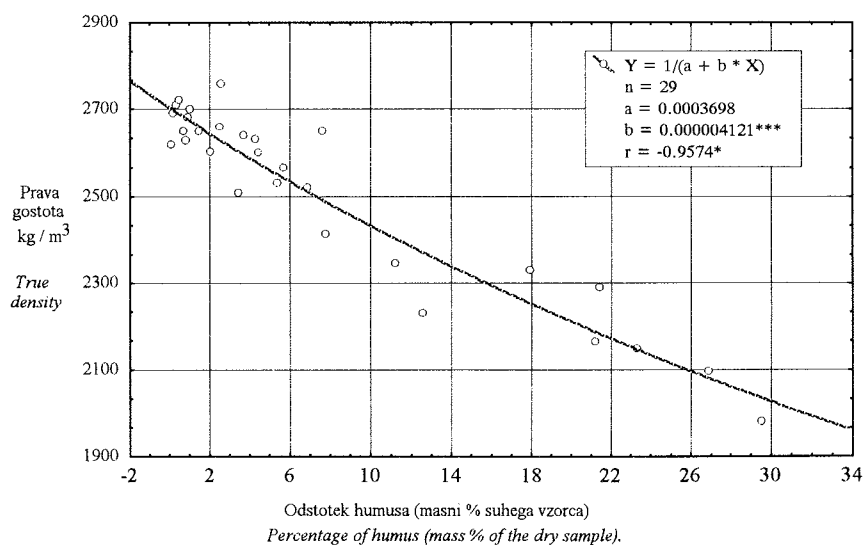
### 6.3 Zbijanje tal pri spravilu lesa po brezpotju

#### 6.3.1 Oblikovanje in testiranje metod za določanje zbitosti tal

Vzorcem tal smo pri testnih analizah določali samo navidezno gostoto, spremembe navidezne gostote po spravilu pa ugotavljali z malimi, neodvisnimi vzorci. Zaradi velike variabilnosti podatkov, sprememb povprečne navidezne gostote v zgornjih organsko-mineralnih horizontih nismo dokazali. Ob enem smo ugotovili, da so pomemben vir variabilnosti navidezni gostot vzorcev nepoškodovanih tal razlike v deležu organske snovi v tleh, kar je posebej izrazito na meji med organskim in organsko-mineralnim horizontom. Ugotovljene razlike med obremenjenimi in neobremenjenimi tlemi tako niso samo rezultat deformacij tal pri spravilu lesa, ampak tudi razlik v količini organske snovi v izkopanih vzorcih. Da bi izločili moteči vpliv organske snovi smo za kriterialni znak zbitosti tal izbral skupno poroznost, ki ima tudi svojo fiziološko vsebino.

Za izračun skupne poroznosti posameznega vzorca tal smo potrebovali podatke o pravih gostotah tal. Pri tem bi lahko uporabili kar povprečno vrednost gostote mineralnega dela tal, ki znaša približno  $2650 \text{ kg/m}^3$ . Na takšen način izračunana poroznost ne bi izločila spremenljivega vpliva organskih primesi v tleh in bi bila v svojem bistvu enaka navidezni gostoti. Pravo gostoto je bilo zato potrebno določiti za vsak vzorec posebej.

Vsakemu vzorcu smo poleg navidezne gostote določali v laboratoriju še odstotek humusa in momentalno vlažnost. Manjšemu številu zmletih vzorcev tal smo določili pravo gostoto s piknometrično metodo in raztopino xylola, ter poiskali zvezo med količino organske snovi in pravo gostoto tal. Preverjanje podatkov o pravih gostotah smo izvedli z avtomatskim helijevim piknometrom. Ker so bili rezultati zadovoljivi, smo dobljene podatke dopolnili s podatki v literaturi (Richard Beda 1953) in dobili odvisnost, ki jo prikazuje grafikon 6.

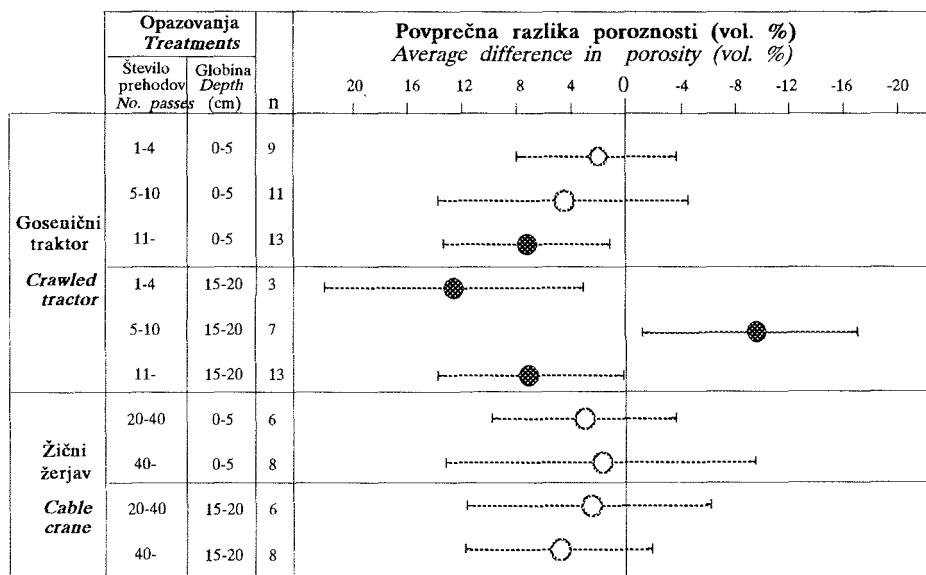


**Grafikon 6:** Odvisnost prave gostote tal od količine organskih primesi.  
**Graph 6:** The dependancy between true soil density and organic matter content.

Z naraščanjem odstotka humusa prava gostota degresivno pada. Ker smo želeli določiti pravo gostoto le v organsko-mineralnih horizontih, kjer odstotek humusa po definiciji ne presega 35%, smo dosegli zadovoljivo izravnavo empiričnih podatkov z degresivno krivuljo. Na podlagi odstotka humusa v tleh smo tako indirektno določali pravo gostoto tal, preko nje pa izračunavali skupno poroznost tal za vsak izkopani vzorec tal.

## 6.3.2 Spremembe poroznosti tal pri spravilu lesa po brezpotju

Poškodovanost tal pri spravilu lesa s prilagojenim goseničarjem (RP3) in z žičnim žerjavom (RP2) smo proučevali z odvisnimi vzorci tal. Rezultati so prikazani na grafikonu 7, ločeno glede na velikost obremenitve tal in globino izkopa vzorcev.



Grafikon 7: Povprečne razlike v poroznosti med parnimi vzorci tal (razlike vol. %).

Graph 7: Average differences in total porosity between dependant soil samples.

Krog označuje vrednost aritmetične sredine razlik v poroznosti znotraj posameznega opazovanja, kraki pa velikost njegove intervalne ocene za  $P < 0.05$ . Pobarvani krogi predstavljajo statistično značilne razlike med odvisnimi vzorci znotraj bloka na stopnji tveganja  $P < 0.05$ . Pri traktorskem spravilu so upoštevani prehodi praznega in polnega vozila. Pri spravilu z žično napravo smo upoštevali število vseh tistih ciklusov spravila, pri katerih je breme drselo po tleh, ne glede na maso ali število kosov v bremenu.

Osnovna značilnost rezultatov analiziranih vzorcev tal je velika variabilnost v razlikah poroznosti in razmeroma majhno odstopanje med stratumi. V večini



primerov gre za pozitivne vrednosti povprečnih sprememb poroznosti znotraj stratumov, torej za zmanjšanje poroznosti tal na prometnici in za slabšanje zračno-vodnih lastnosti po spravilu lesa. Govorimo o poškodbah tal, pri čemer je velikost razlik v skupni poroznosti med neobremenjenim in obremenjenim vzorcem merilo stopnje poškodovanosti tal. Razlike so bolj očitne pri traktorskem spravilu, kjer so rezultati tudi bolj nekonsistentni.

Na zbijanje tal povezano vplivajo številni naravni in tehnološki dejavniki. Naravnim dejavnikom se moramo pri spravilu lesa predvsem podrežati, tehnološke dejavnike pa moramo spreminjati v smeri zmanjševanja poškodb tal. Od kompleksa tehnoloških dejavnikov smo v nadaljevanju proučili vpliv načina spravila lesa in števila prehodov na stopnjo talnih poškodb. Uporabljali smo statistične metode iz vrednotenja večfaktorskih poskusov z namenom, da ugotovimo še morebitne vplive interakcij med proučevanimi dejavniki. Vsi dejavniki so imeli v raziskavi značaj fiksnih faktorjev. Osnovni kriterialni znak je bil volumski odstotek skupne poroznosti tal v odvzetem vzorcu tal. Izpeljali smo dodatni kriterialni znak - spremembo poroznosti, ki smo jo izračunavali kot razliko poroznosti med vzorcem nepoškodovanih in vzorcem obremenjenih tal na profilu.

#### *6.3.2.1 Vpliv načina spravila lesa in števila prehodov na zbitost tal*

Obseg in stopnja talnih poškodb sta odvisna od tega, ali spravljamo les s traktorji ali z žičnimi napravami. Primerjava zbitosti tal pri tehnoloških alternativah je bil eden od osrednjih ciljev tega dela naše raziskave, zato smo že pri izboru ploskev poskušali zagotoviti kar največjo možno podobnost v naravnih dejavnikih. Primerjave smo izvedli z vzorci, ki so bili odvzeti v globini 0-5 cm. Ker gre za različno naravo obremenjevanja tal, smo oblikovali stratuma pri obremenitvi na naslednji način: Stratum A je predstavljal malo obremenitev tal in je zajemal površine z 1-3 prehodov goseničarja, oziroma 20-40 prehodov bremena po tleh pri spravilu lesa z žičnico. Stratum B je predstavljal močno obremenjena tla, ki so bila posledica 10 in več prehodov goseničarja, oziroma 40 in več prehodov bremena po tleh pri spravilu z žičnico. Rezultate slučajnostnega dvofaktorskega poskusa s šestimi ponovitvami prikazuje preglednica 5.

*Preglednica 5: Primerjava sprememb poroznosti tal pri dveh načinih spravila lesa in pri dveh stopnjah obremenitve tal.*

*Table 5: Porosity variation after two frequency level of tractor skidding and cable yarding*

Tehnologija <i>Technology</i>	Žična naprava (RP2) <i>Cable crane</i>		Gosenični traktor (RP3) <i>Crawled tractor</i>				
Obremenitev <i>Loading</i>	A	B	A	B		Učinek faktorja <i>Effect of factor</i>	
$\bar{X}$ (vol.%)	2,92	-4,08	-1,08	2,77			
$\Sigma$	17,5	-24,5	-6,5	16,6			
	(1)	a	b	ab	$\Sigma$	$\bar{X}$	S.E.:
Obremenitev <i>Loading</i>	-1	1	-1	1	-18,9	-1,58	
Tehnologija <i>Technology</i>	-1	-1	1	1	17,1	1,43	$\pm 3,48$
Interakcija <i>Interaction</i>	1	-1	-1	1	65,1	5,43	
Vir variacije <i>Source of variation</i>	SQ <i>Sum of squares</i>		m <i>Degree of freedom</i>	s <sup>2</sup> <i>Mean square</i>		F	P
Obremenitev <i>Loading</i>	12,18		1	12,18		0,17	0,678
Tehnologija <i>Technology</i>	14,88		1	14,88		0,20	0,656
Interakcija <i>Interaction</i>	176,59		1	176,59		2,42	0,136
Napaka <i>Error</i>	1.459,71		20	72,99			

Povprečne spremembe poroznosti med traktorskim in žičnim pravilom niso statistično značilne. Ugotovitev ne potrjuje naše hipoteze, saj smo pričakovali, da bo povprečna stopnja poškodovanosti tal na RP3 značilno različna od tiste na RP2. Znak sprememba poroznosti ima veliko variabilnost in za dokazovanje razlik med tehnološkim alternativam ni primeren.

### 6.3.2.2 Vpliv naklona terena na stopnjo talnih poškodb

Domnevali smo, da povzročča naklon terena v povezavi s smerjo spravila lesa znatne spremembe statičnih pritiskov vozila na tla, s tem pa tudi različno stopnjo poškodb tal. Ploskev, na kateri smo proučevali vplive

goseničnega traktorja na tla, je bila omejena tako, da je pretežen del njene površine ležal na manjšem platoju, s katerega se je teren strmo spuščal proti kamionski cesti. Rob platoja je bil hkrati mesto, kjer so distrična rjava tla prehajala v distrični ranker z večjim deležem skeleta in s plitvejšimi koreninami dreves. Vzorce smo jemali iz dveh globin in uporabili znak sprememba poroznosti. Rezultate dvofaktorskega poskusa v delnih blokih prikazuje preglednica 6.

*Preglednica 6: Vpliv naklona terena na spremembo poroznosti (vol.%).*

*Table 6: The impact of the dynamic forces on the soil porosity variation (vol.%).*

	Naklon terena (N) <i>Terrain slope</i>	Globina vzorca (G) <i>Sampling depth</i>		$\bar{y}_N$		
	%	0-5 cm	15-20 cm			
Srednje vrednosti <i>Averages</i>	N < 5%	7,5	-8,3	-0,4	<i>s.e. (<math>\Delta\bar{y}_N</math>) = 4.06</i>	
	N > 25%	10,8	13,5	12,2	<i>s.e. (<math>\Delta\bar{y}_G</math>) = 4.31</i>	
	$\bar{y}_G$	9,2	2,6	5,9	<i>s.e. (<math>\Delta\bar{y}_{NiG}</math>) = 6.10</i>	
	Vir variacije <i>Source of variation</i>	SQ <i>Sum of squares</i>	m	$s^2$ <i>Mean square</i>	F	P
Analiza variance <i>Analysis of variance</i>	(N)	1.100,0	1	1.100,0	9,53	**
	$\epsilon_N$	1.385,8	12	115,5	0,89	
	(G)	302,9	1	302,9	2,32	
	(NG)	595,3	1	595,3	4,57	
	$\epsilon_{NiG}$	1.563,6	12	130,3		
	Skupaj <i>Together</i>	4.947,6	27			

Rezultati potrjujejo hipotezo o značilnih spremembah poroznosti tal zaradi dinamičnih obremenitev tal pri vožnji na nagnjenem terenu. Podrobnejša analiza je razkrila, da je na ploskvi prišlo do padca poroznosti površinskih horizontov tal na nagnjenem pobočju in do izrazitega povečanja poroznosti obremenjenih tal v globini 15-20 cm na ravnem terenu. To potrjujejo tudi rezultati na grafikonu 7. Proučevana prometnica je bila na meji med ravnim in nagnjenim delom terena speljana po drugačnih tleh, korenine okoliških dreves so bile plitvejše, tla so v globini 20 cm vsebovala delež skeleta. Razrahljanosti tal na prometnici v tem primeru ne gre enačiti z

izboljšanjem tal, temveč prej z dokazom, kako nepredvidljive spremembe poroznosti tal povzročata uporaba mehanizacije v gozdu.

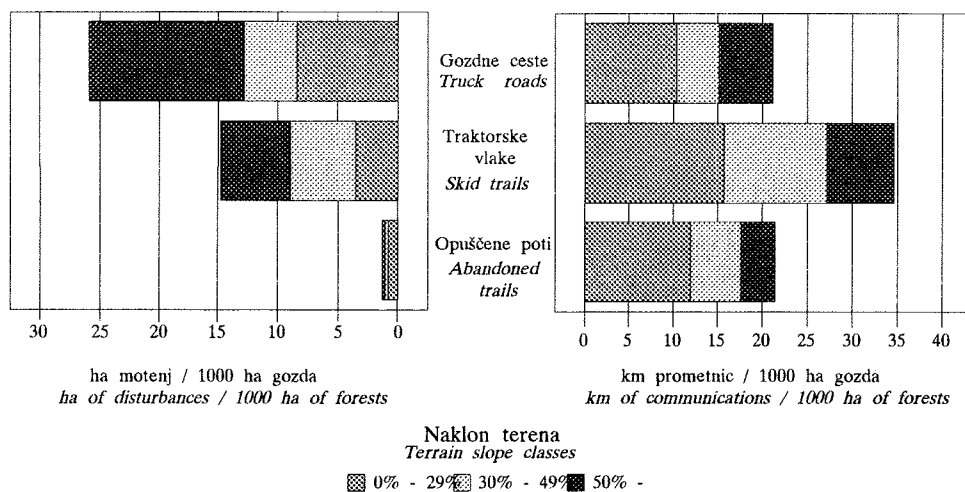
#### 6.4 Ocena obsega skupne poškodovanosti površja tal zaradi transporta lesa v predelu

##### 6.4.1 Obseg poškodovanosti površja tal vzdolž grajenih prometnic

Skupna poškodovanost površja gozdnih tal vzdolž grajenih gozdnih prometnic ne presega 5% vse površine gozdnega predela Planina Vetrh (463 ha). Največji delež pripada gozdnim cestam (19,9 ha  $\pm$  1,2 ha), sledijo pa traktorske vlake (4,4 ha  $\pm$  0,6 ha) in opuščene poti (0,3 ha  $\pm$  0,1 ha). Z vzorčnim popisom stanja tal vzdolž grajenih prometnic smo zavrnilo domnevo, da največji delež poškodb tal pripada traktorskim vlakam. Rezultati potrjujejo našo domnevo o zanemarljivem vplivu opuščenih konjskih poti na tla. Vrednosti skupne površine vsebujejo sistematično napako, saj smo površino motenih tal računali v dejanskih površinah, površino predela pa v površini tlorisne projekcije reliefa, vendar so razlike med njimi zelo majhne.

Bolj pomembna kot absolutne vrednosti skupne poškodovanosti površja tal so relativna razmerja med količinskimi in kakovostnimi vidiki odprtosti proučevanega predela. Prikazana so na grafikonu 8 in razkrivajo vse bistvene značilnosti gradnje gozdnih prometnic na tla.

V predelu prevladujejo po dolžini vlake, po skupni površini motenih tal pa gozdne ceste. Opuščene prometnice danes nimajo pomembnega vpliva na obseg poškodovanosti tal, ki je posledica transporta lesa. Relativno majhen delež cest na zelo strmih terenih je vir največjih poškodb površja gozdnih tal. Prikazani rezultati ostajajo nepopolna podoba poškodovanosti tal, ki so posledica transporta lesa v predelu, ker ne zajemajo poškodb površja tal na negrajenih prometnicah, niti sprememb talne notranjosti.



**Grafikon 8:** Primerjava količinskih in kakovostnih vidikov omrežja grajenih prometnic na predelu Planina Vetrh.

**Graph 8:** The comparison between qualitative and quantitative aspects of the constructed communications in the Planina Vetrh forest district.

## 7 RAZPRAVA

### 7.1 Poškodovanost tal predela Planina Vetrh

Gozdna tla vzdolž gozdnih prometnic na proučevanem predelu Planina Vetrh so na površju in v notranjosti poškodovana zaradi graditve prometnic, transporta lesa in zaradi izzvanih naravnih procesov premeščanja tal. Ugotovili smo, da skupna površina motenih tal vzdolž grajenih prometnic zajema 5% tlorisne površine proučevanega predela. Neposredne primerjave tega rezultata s tistimi, ki so dostopni v literaturi, ne moremo opraviti, ker slednje navajajo samo skupno tlorisno površino grajenih prometnic. KOCHENDERFER (1977) navaja za različno velike gozdne predele (do 50 ha) skupno površino cest, vlak in lesnih skladišč, ki zajema 7 - 10% površine terena. Ker je površina motenih tal na prometnici manjša od površine telesa prometnice, je naš rezultat realen.

Z raziskavo smo zavrnilo domnevo, da pripada največji delež površine motenih tal traktorskim vlakam, ki jih je na predelu po dolžini največ. Največja skupna površina motenih tal je bila ugotovljena vzdolž gozdnih cest, ki v predelu zavzemajo največjo površino. Opuščene konjske poti ne predstavljajo več pomembnih motenj površja gozdnih tal. Najresnejše probleme na cestah povzročajo masovni premiki tal in površinska erozija brežin, na vlakah pa razne oblike erozije vozišča.

Povprečne površine motenih tal vzdolž posameznih vrst traktorskih vlak se v podobnih terenskih razmerah značilno razlikuje samo v nižinskih terenih, kjer je najbolj neugodno stanje vzdolž vlak za zgibne traktorje. V ostalih kategorijah naklona terena razlik v povprečni površini motenih tal nismo dokazali. Povprečna površina motenih tal narašča z naklonom terena pri vseh skupinah grajenih prometnic.

Povprečna površina motenih tal veljajo za normalne sekcije, ki so opredeljene kot površine tal vzdolž prometnic, pri katerih ni izrazitih znakov izzvanih in progresivnih procesov premeščanja tal. Površina motenih tal na takih sekcijah je po določenem času in pri določenem naklonu terena rezultat uporabljene tehnologije izgradnje in procesov naravne revitalizacije površja gozdnih tal na prometnici in ob njej. Predstavljene vrednosti povprečne površine motenih tal veljajo za spremenljive geološke razmere in klasično tehnologijo gradnje ter za obdobje najmanj petih let po končani gradnji. Poleg normalnih sekcij je v predelu prisotno tudi določeno število kritičnih sekcij, za katere lahko rečemo, da so primeri neuspešnega polaganja prometnic v prostor (STUART / CARR 1989). Poleg ekoloških težav so pogosto vir tudi čisto tehničnih težav (neprevoznost). Kritične sekcije niso množičen pojav, zato jih moramo obravnavati individualno.

Poškodbam površja tal vzdolž grajenih prometnic se pridružujejo tudi poškodbe površja tal vzdolž negrajenih prometnic. Dolžina teh prometnic je lahko v gozdnem prostoru zelo velika. Poškodbe površja tal na negrajenih prometnicah nimajo dolge življenjske dobe. Pri spravilu lesa z večbobskim žičnim žerjavom s stolpom je praktično vsa površina motenih tal pod traso žične naprave izginila v dveh vegetacijskih dobah. Enaka ugotovitev velja za poškodbe vzdolž linij zbiranja na obeh ploskvah. Pri spravilu lesa z goseničnim traktorjem so bile po letu in pol še vidne poškodbe površja tal

na negrajeni vlaki. Kazale so se spremembe reliefa (kolesnice) in razgaljena tla z vidnimi znaki površinske erozije. Skupna površina motenih tal na posameznih ploskvah je bila precej pod pragom 20% površine delovišča, kolikor jih predpisujejo ameriški standardi za mejo dopustne površine motenih tal na delovišču (FROELICH 1989).

Rezultati skupne poškodovanosti površja tal niso celovita podoba poškodb tal pri transportu lesa v gozdu. Notranjost tal na grajenih prometnicah je v celoti antropogenizirana in je nenaravna. Prav tako so poškodbe površja tal na negrajenih sekundarnih prometnicah neresnična podoba fizikalnih sprememb v notranjosti tal.

Zbitost tal smo proučevali na dveh raziskovalnih ploskvah in pri dveh načinih spravila lesa. Potrdili smo hipotezo o škodljivem vplivu goseničnih traktorjev na gozdna tla. Vprašanje o mejnem dopustnem številu prehodov stroja po isti površini gozdnih tal ostaja odprto. Zaradi spremenljivih dinamičnih obremenitev tal ga bo težko, ali pa celo nemogoče doreči. Z omejevanjem števila traktorskih prehodov, zbitosti tal verjetno ne bi opazno zmanjšali, zato ga ne uvrščamo med pomembnejše vplivne dejavnike.

Proučevanje posledic dinamičnih obremenitev traktorja na tla pri različnih naklonih terena ni dalo konsistentnih rezultatov. Analiza poroznosti tal na različnih globinah je pokazala, da so dogajanja v globjih horizontih silno nepredvidljiva in odvisna od deleža skeleta in organskih primesi. Kakšno vlogo imajo pri tem koreninski pleteži in organska snov, je težko reči. Do podobnih ugotovitev prihajajo tudi drugje (WÄSTERLUND 1988).

Raziskava poškodb tal pri spravilu z žično napravo ni zavrnila domneve o neškodljivem vplivu tega načina spravila lesa. Povprečne spremembe poroznosti tal se značilno ne razlikujejo od nepoškodovanih tal, lokalno pa prihaja tako do izrazitega zbijanja kot tudi do rahljanja tal pri vlačanju bremena po tleh pod linijo trase. Hipotezo o nižji stopnji poškodovanosti tal pri uporabi večbobenskega žičnega žerjava pred prilagojenim goseničarjem v primerljivih naravnih razmerah poskus ni potrdil. Vzrok leži verjetno v veliki variabilnosti izvedenega rezultativnega znaka sprememba poroznosti tal in v premajhnem številu meritev.

Na podlagi zbranih podatkov in prikazanih rezultatov ugotavljamo, da je poškodovanost tal na predelu Planina Vetrh zaradi transporta lesa nadpovprečno visoka. Vzrok temu vidimo v stanju tal vzdolž prve etažne ceste na predelu. Ta je speljana po geološko izredno spremenljivih tleh in na naklonih terena nad 70%. Posledice so pričakovane. Vse analizirane sekcije na tej prometnici spadajo med kritične sekcije. Sanacija te prometnice bo nujna, zahtevala bo poglobljen študij in velika finančna sredstva. Z vidika zmanjševanja poškodb tal pri spravi lesa bo v bodoče potrebno delež goseničnih traktorjev bistveno zmanjšati in to na račun sprava z večbobenskim žičnim žerjavom navzdol ter s skrbnejšim vzdrževanjem vlak na mehkih terenih. Glede na obstoječo raven poškodb tal svetujemo zelo zadržano nadaljevanje odpiranja gozdov, predvsem s cestami. V težkih terenih je potrebno uporabiti najbolj kakovostno tehnologijo izgradnje. Taki odseki bodo dragi, zato naj bodo skrbno načrtovani. Posledice poceni in ne dovolj domišljene gradnje so v predelu že dovolj očitne.

## 7.2 Ocena metodološkega pristopa pri vrednotenju poškodb tal, povezanih s transportom lesa

Osnovni metodološki pristop pri našem obravnavanju poškodb tal je bil študij primera enega gozdnega predela. Na tak način smo uspeli razkriti celostnost problematike negativnih vplivov transporta lesa na tla in prikazati različno težo posameznih problemov. Celostnost ne pomeni obravnavo vseh problemov z enim 'metrom', temveč obravnavo problema v vsej njegovi resničnosti. Prepričani smo, da leži velik del problema negativnih vplivov transporta lesa na tla prav v dosedanji neceloviti obravnavi.

Z ugotavljanjem površin motenih tal vzdolž gozdnih prometnic smo analizirali poškodbe površja tal, ki se v predelu pojavljajo zaradi transporta lesa. Površina motenih tal se je izkazala kot primeren znak za določanje obsega sedanje poškodovanosti površja tal pri transportu lesa. Dokazali smo njeno uporabnost pri razvrščanju sekcij na normalne in kritične in pri ocenjevanju poškodovanosti tal na obstoječih in načrtovanih prometnicah.



Poškodbe površja tal vzdolž grajenih prometnic smo proučevali z vzorčno metodo. Metoda stratificiranega vzorčenja sekcij se je izkazala za potrebe raziskave kot primerna. Pri nadaljnjih analizah vplivov transporta lesa na tla svetujemo uporabo metod sistematičnega vzorčenja. Na tak način moremo pregledati stanje površja tal vzdolž vseh grajenih prometnic v predelu, hkrati pa lahko evidentiramo vse kritične sekcije. Pri tem bo potrebno izboljšati tudi metode razpoznavanja procesov premeščanja tal in posameznih oblik površinske erozije, ki je eden glavnih problemov negativnih vplivov transporta lesa na tla.

Poleg proučevanja obstoječe površine motenih tal bo v bodoče potrebno razviti tudi metode njenega napovedovanja na načrtovanih prometnicah. Prvi rezultati pri napovedovanju poškodovanosti površja gozdnih tal s pomočjo nekaterih podatkov o prometnici in terenu so spodbudni. Rezultati veljajo za obdobje pet in več let po gradnji, za klasično tehnologijo in brez posebnih ukrepov za ureditev brežin. Parametre regresijskih enačb bo potrebno preveriti v drugačnih terenskih in tehnoloških razmerah.

Poškodbe površja tal vzdolž negrajenih prometnic smo proučevali z metodo sekcij, ki se je izkazala kot primerna sekundarne negrajene prometnice, medtem ko je za ostale negrajene prometnice neprimerna. Poškodbe tal sicer nastajajo tudi na vrvnih linijah in na linijah zbiranja lesa, vendar so kratkotrajne in imajo majhen površinski obseg. Pri proučevanju poškodb površja tal na delovišču svetujemo popoln popis površin motenih tal na negrajenih sekundarnih prometnicah z metodo sekcij, in to neposredno po končanem spravilu lesa. V posameznih primerih je popis koristno dopolniti s proučevanjem sprememb zbitosti gozdnih tal na negrajeni vlaki.

Proučevanje zbitosti tal na raziskovalnih ploskvah s pomočjo spremljanja delovnega procesa se je izkazalo kot dobra, vendar delovno zelo intenzivna metoda dela. Rezultati raziskave so pokazali, da je uspešnost pri določanju stopnje poškodovanosti tal odvisna tudi od izbora rezultativnega znaka in uporabljenih metod dela. Menimo, da smo z obstoječo opremo dosegli najbolj korektne rezultate pri uporabi znaka skupna poroznost in z odvisnimi vzorci tal (SMITH WASS 1985). Za bodoče raziskave svetujemo globino odvzema vzorcev tal 5-10 cm, uporabo znaka nekapilarna poroznost in indirektno določanje prave gostote tal za vsak vzorec posebej. To velja

za koherentna tla, medtem ko za skeletna tla te metode niso primerne. Na skeletnih tleh bo potrebno pravo metodo šele izbrati (BOWELS 1992, LAUNDRE 1989). Ne priporočamo uporabe znaka navidezna gostota tal v močno humoznih horizontih tal, prav tako odsvetujemo uporabo znaka sprememba poroznosti. Metode, ki smo jih uporabljali v raziskavi niso primerne za vsakdanje preverjanje kakovosti izvedbe del pri gradnji prometnic in spravilu lesa. Za ta namen se razvijajo posebne metode in pripomočki (SCHLAGHAMERSKY 1991, WRONSKI 1994), ki pa zaenkrat ne dajejo uporabnih rezultatov.

## 8 SKLEP

Pričujoča raziskava je ena izmed mnogih študij negativnih vplivov človekovih dejavnosti na naravne ekosisteme. Odseva duha zahajajoče dobe človekove samozadostnosti in znanstvene vsevednosti. Nastala je v času, ko odkrivamo, da je ceno napredka posameznih panog pogosto plačevalo naravno okolje. Tudi v gozdarstvu je tako. Mehanizirano izkoriščanje in odpiranje gozdov je v sedemdesetih letih doživelo zlato dobo 'razvoja', ki je danes dokumentiran v okolju s poškodbami posameznih sestavin gozdnih ekosistemov, med katerimi so tudi poškodbe gozdnih tal.

Temelj našega pristopa k proučevanju in vrednotenju posledic transporta lesa na tla je bilo naravno stanje gozdnih tal. To je optimalno stanje, odmiki od tega stanja imajo zato avtomatično negativen predznak. Definirano je z morfološkimi, fizikalnimi, kemijskimi in biološkimi lastnostmi. Naš namen je bil poiskati čim manjše število preprosto merljivih lastnosti, ki bodo zadovoljivo opisovale poškodbe tal pri transportu lesa in omogočale njihovo zmanjševanje in preprečevanje. Tako zastavljen problem smo reševali s pomočjo študije primera. Izoblikovali in izbrali smo nekatere kazalce poškodovanosti tal, ki jih do sedaj pri nas nismo uporabljali za proučevanje negativnih posledic transporta lesa na tla. Osvojili smo metode njihovega določanja in jih testirali v realnih pogojih. V izbranem gozdnem predelu smo celovito proučili poškodbe tal vzdolž vseh vrst gozdnih prometnic ter podali oceno skupne poškodovanosti tal v predelu. Uporabljali smo različne metode in dokazali, da je večina negativnih vplivov transporta lesa

sorazmerno 'naravna', saj ne gre za kemijsko ali radiološko onesnaževanje, pač pa so posledica mehanskih obremenitev tal.

Ugotovljeni rezultati niso dokončen in popoln odgovor na vprašanje poškodb tal v proučevanem predelu proučevanja in še manj za druga okolja. Na podlagi zbranih rezultatov pa lahko bolje usmerimo naše nadaljnje delo na tem področju. Težišče dela na tem področju bo potrebno pri nas usmeriti na naslednje tri sklope problemov:

- Potrebujemo gozdarstvu prilagojen operativni postopek ocene vplivov na okolje pri vrednotenju različic načrtovanih grajenih prometnic, ki bo celovito obravnaval vse faze transporta lesa v predelu odpiranja.
- Potrebno bo razviti postopke zmanjševanja negativnih posledic že obstoječega omrežja gozdnih prometnic na posameznih kritičnih odsekih. Prav tako bo potrebno izdelati in uveljaviti preproste, vendar učinkovite postopke za preprečevanje poškodb tal pri spravilu lesa.
- Skrb za varovanje tal in vode bo potrebno aktivno vgraditi v operativno pripravo dela in nadzor pri izvedbi del v gozdarstvu.

Devetdeseta leta morajo biti čas streznitve. Transport lesa ostaja stvarnost v pretežni večini naših gozdov in prav je tako. Gozdne prometnice so lahko del mnogonamenskega gozda, če jih premišljeno načrtujemo, skrbno gradimo in redno vzdržujemo. Z našo raziskavo smo poskušali ustvariti pogoje za spreminjanje obstoječega stanja na bolje, čeprav se zavedamo, da bodo poškodbe tal tudi v bodoče spremljale gospodarjenje z gozdovi. Koliko jih bo in kakšen odnos bomo imeli do njih, je odvisno od nas. Ali pa nam bodo morali to povedati drugi?

## 9 POVZETEK

V raziskavi smo na podlagi študije primera proučevali mehanske poškodbe tal, ki nastajajo pri transportu lesa v gozdu in so posledica graditve prometnic, transporta lesa in izzvanih procesov premeščanja tal. Poškodbe tal smo proučevali vzdolž grajenih in negrajenih prometnic. Poškodbe tal vzdolž grajenih prometnic smo proučevali na primeru gozdnega predela Planina Vetrh (GGE Jelendol), ki zajema 463 ha lesnoproizvodnih gozdov. Poškodbe tal vzdolž negrajenih prometnic smo proučevali pri dveh načinih

spravila lesa na raziskovalnih ploskvah Gozdarskega inštituta Slovenije. Za proučevanje poškodb površja tal smo razvili svojo metodo, za proučevanje zbitosti tal pa smo uporabili standardizirane metode. Raziskava je dala naslednje ugotovitve:

1. Poškodbe površja tal predstavljajo zunanjo podobo fizikalnih in drugih sprememb talne notranjosti, sprememb pretoka vode ter so hkrati posreden kazalec procesov premeščanja tal. Obseg poškodovanega površja smo določali kot vsoto površin razgaljenih tal in spremenjene kamnitosti. Tako oblikovan znak smo imenovali površina motenih tal in je predstavljal oceno poškodb površja tal pri transportu lesa.
2. Za določanje površine motenih tal smo izdelali posebno metodo in jo poimenovali metoda sekcij. Metoda je primerna za določanje površine motenih tal vzdolž vseh grajenih prometnic in negrajenih sekundarnih prometnic. Tehnika stratificiranega vzorčenja sekcij je bila za potrebe raziskave zadovoljiva, za bodoče študije pa svetujemo uporabo tehnik sistematičnega vzorčenja.
3. Rezultati vzorčnega popisa površin motenih tal kažejo, da skupna površina motenih tal vzdolž grajenih gozdnih prometnic ne presega 5% celotne tlorisne površine predela. Največji delež površin motenih tal leži vzdolž gozdnih cest.
4. Od 5721 m analiziranih prometnic smo kar 40% površin motenih tal locirali na skupno 10% dolžin prometnic in trideset sekcij, od katerih je imela vsaka preko 200 m<sup>2</sup> motenih tal. Petindvajset sekcij je pripadalo cestam, ostalo pa vlakam. To so tako imenovane kritične sekcije, ki so primer izrazite degradacije naravnega okolja zaradi transporta lesa.
5. Povprečna površina motenih tal vzdolž različnih vrst traktorskih vlak je v podobnih terenskih razmerah podobna, razen v položnih terenih, kjer je površina motenih tal vzdolž vlak za spravilo lesa z zgibnimi traktorji trikrat večja kot pri ostalih vrstah traktorskih vlak.
6. Gozdni prostor obremenjujejo tudi opuščene gozdne prometnice. Delež skupne površine motenih tal vzdolž opuščenih poti je majhen in zanemarljiv, razen na posameznih kritičnih sekcijah na opuščenih poteh. Tam po tridesetih letih njihove nerabe procesi premeščanja tal ostajajo progresivni in vir degradacij naravnega okolja.
7. Površino motenih tal vzdolž grajenih prometnic je mogoče ocenjevati na podlagi preprostejših metod popisa sekcij. Prav tako je mogoče površino motenih tal na načrtovanih prometnicah napovedovati, če razpolagamo s

podatki o vrsti prometnice, predvideni širini cestišča in o situaciji poteka prometnice na karti. To je razlog, da uvrščamo znak površina motenih tal med pomembnejše količinske kazalce negativnih vplivov transporta lesa na gozdne ekosisteme.

8. Površine brežin in okolice telesa prometnic niso le prostor razritih in poškodovanih tal, temveč tudi specifičen biotop, na katerem potekajo sukcesije različnih oblik pionirske vegetacije. Približno 50% površin, na katerih so vidni negativni vplivi transporta lesa na tla, je pokrito z neko vrsto organske snovi. Predstavljajo svojevrsten vir biološke pestrosti v gozdnem prostoru.
9. Površina motenih tal ni primeren znak za proučevanje poškodb tal, ki nastajajo pri transportu lesa po negrajenih prometnicah. Pri tem načinu transporta lesa so resnejše poškodbe v notranjosti tal. So posledica obremenitev tal s statičnimi in dinamičnimi silami vozila in/ali bremena.
10. Poškodbe talne notranjosti smo ugotavljali s stopnjo spremenjenosti posameznih fizikalnih lastnosti tal. Uspešnost pri določanju zbitosti tal je odvisna tako od izbora kriterialnega znaka kot tudi od uporabljene metode pri njegovem določanju. Strokovno najbolj utemeljene rezultate smo dosegli z uporabo znaka skupna poroznost tal in z analizo odvisnih vzorcev tal v neporušenem stanju.
11. Dokazali smo zbitost tal v globini 0-5 cm v organsko-mineralnem horizontu tal pri spravilu lesa z goseničnim traktorjem.
12. Analizirali smo vpliv števila prehodov goseničnega traktorja, vpliv globine poškodb in vpliv dinamičnih obremenitev vozila na stopnjo spremenjenosti fizikalnih lastnosti tal. Večina dokazanih poškodb tal nastopa že po dvakratni uporabi iste negrajene vlake. Proučevanje posledic dinamičnih obremenitev in njihova odvisnost od globine tal ni dalo konsistentnih rezultatov.
13. Z raziskavo nismo dokazali zbitosti gozdnih tal pod traso žične naprave, čeprav so imeli posamezni vzorci poškodovanih tal znatno zmanjšano poroznost.
14. Primerjavo stopnje poškodovanosti tal med dvema alternativnima načinoma spravila lesa v podobnih terenskih razmerah smo opravili na dva načina. Neposredna primerjava stopnje zbitosti tal pri spravilu z goseničnim traktorjem in z večbobskim žičnim žerjavom s stolpom ni odkrila značilnih razlik med njima. Uporabljali smo znak razlika skupne poroznosti, ki je za te namene neprimeren in ga v bodočih raziskavah

odsvetujemo. Posredno smo razlike v stopnji poškodovanosti potrdili z rezultati proučevanja značilnosti razlik v poroznosti med poškodovanimi in nepoškodovanimi vzorci tal znotraj posameznega načina spravila lesa, kjer smo za traktorsko spravilo razlike dokazali, za žično spravilo pa ne.

## SUMMARY

The research is a presentation of mechanic soil damage study caused by wood transport in the forest and is based on case study. Soil damages are undesired consequence of communications construction, wood transport processes and mass movements, triggered off in the soil. Soil damages have been studied along constructed and nonconstructed forest communications. Surface soil damages along constructed communications have been examined in the Planina Vetrh (GGE Jelendol) forest district that comprises 463 hectares of commercial forests, whereas the research of soil damages along non-constructed communications have been done on the research plots within the area of the Planina Vetrh forest district. For the survey of surface soil disturbance a new method has been developed, whereas various standardized methods have been used in the soil compaction study. This work has given the following important results:

1. Soil surface damages are an visual appearance of physical and other soil changes, hydraulic conductivity changes and processes of mass movement. The amount of the soil surface damages has been defined as a sum of bare soil area and exposed mineral subsoil area. The parameter has been called the disturbed soil surface area and has represented the estimation of soil surface damages caused by wood transport.
2. To define the disturbed soil area, a new method has been developed. It has proved to be useful for defining the disturbed soil area along constructed and non-constructed secondary communications. The developed method of field sampling of the disturbed soil area on the sections has proved to be adequate for the research purposes, but it would have to be adapted if applied for Environmental impact assessment of the future opening up alternatives.
3. The results achieved by the field sampling inventory on the disturbed soil area show that the total disturbed soil area along constructed

- communications does not exceed 5 % of the entire area's ground plan. The largest part of the disturbed soil area is situated along forest roads.
4. 40 % of the disturbed soil areas have been found on mere 10 % of the all the examined communications' length (5721 m) and 30 sections. In each section over 200 m<sup>2</sup> of disturbed soil areas have been found, twenty-five of them being roads and the rest skidding trails. Those are the so called critical sections and are an example of an outstanding environment degradation due to wood transport.
  5. The average disturbed soil area along different types of tractor trails does not differ much in similar terrain conditions, except in gentle slopes where the disturbed soil area along skid trails is three times as large when used by skidders than in the case of using other types of tractors.
  6. Abandoned trails have an adverse effects upon the forest ecosystem as well, however the total disturbed soil area along abandoned trails is small and negligible. An exception are critical sections on abandoned trails where even after 30 years of being abandoned, mass movement is still present and causes degradation in the environment.
  7. The amount of the disturbed soil surface area along communications can be estimated by simpler methods of surface soil inventory. The extent of the disturbed soil area on planned communications can be estimated in advance if data on the type of communications, the presupposed roadway width and the situation of communications on the map are known. Therefore the disturbed soil area is regarded as a considerably important parameter of negative wood transport impacts upon the forest ecosystems.
  8. Road banks and the surrounding areas of communications do not only present an area of soil damage, but also a specific environment where a succession of pioneer vegetation can be found. The amount of such area is estimated at about 50 % of the whole area where surface soil disturbances can be found. The pioneer vegetation significantly contribute to the biological diversity in forests.
  9. The disturbed soil area is not an adequate parameter to be used in the research of soil damages, caused by wood transport along non-constructed communications. By such wood transport, more serious damages are caused deeper in the soil as a consequence of a vehicle's or load's static and dynamic forces.

10. The quantity of subsoil damages has been analysed by the changing degree of the soil's physical characteristics. The analyses have shown that the results of the subsoil damages vary also upon the chosen criterion and the method by which the criterion is determined. The most correct results have been achieved by using the parameter called total porosity and dependent undestructed soil samples.
11. It has been proved that porosity changes within the depth of 0 to 5 cm in the organic-mineral soil layer, due to wood skidding with a crawled tractor.
12. The analysis includes the impact of the number of times a track has been passed by a tractor, the impact of damage depth and the vehicle's dynamic load impact upon the soil's physical characteristics and their changes. The majority of the proved soil damages occurs already after the second use of the same non-constructed trail (four passages of a vehicle). Study of the dynamic load consequences and their dependence on the soil depth has not given consistent results.
13. The research has not proved porosity changes in the soils under the skyline during the cable yarding, although the total porosity of individual damaged soil samples has been considerably diminished.
14. Porosity changes as a result of two alternative ways of wood skidding in similar terrain conditions have been compared in two ways. The direct comparison of porosity changes, caused during the process of skidding by a crawled tractor and cable crane has pointed to no significant differences. The parameter used has been total porosity difference. It has been found inadequate for the porosity changes compression and it is not recommended to be used any further. Porosity changes have been confirmed indirectly by the significant results of the porosity differences between the damaged and non-damaged soil samples within a particular way of wood skidding. The differences have been proved to occur during tractor skidding, but not during cable yarding.



## VIRI

- AMARANTHUS, M. P./ RICE, R. M./ BARR, N. R./ ZIEMER, R. R., 1985. Logging and Forest Roads Related to Increased Debris slides in Southwestern Oregon.- *Journal of Forestry*, 4, s. 229-233.
- BITENC, B., 1990. Vpliv prometnic na gozd in gozdni prostor.- Raziskovalna naloga, Ljubljana, IGLG, 181 s.
- BOWLES, J. E., 1992. Engineering properties of soils and their measurement.- Fourth edition, Singapore, McGraw-Hill Book Company., 239 s.
- BURROUGHS, E. R./ KING, J. G., 1989. Reduction of Soil Erosion on Forest Roads.- Intermountain Research Station, USDA - Forest Service, General Technical Report INT - 264, 21 s.
- CLAYTON, J. L./ KELLOGG, G./ FORRESTER, N., 1987. Soil Disturbance - Tree Growth Relations in Central Idaho Clearcuts.- Intermountain Research Station, USDA - Forest Service , Research Note INT-372, 6 s.
- DOBRE, A., 1985. Obremenitev slovenskih gozdov z infrastrukturnimi objekti.- V: zbornik seminarja Tujki v gozdnem prostoru, Ljubljana, BF oddelek za gozdarstvo, s. 114-121.
- DOBRE, A., 1993. Prometna obremenitev gozdnih cest zaradi gospodarjenja z gozdom.- *GozdV*, 51, 1, s. 27-41.
- DORAN, J. W./ MIELKE, L. N., 1984. A Rapid Low-Cost Method for Determination of Soil Bulk Density.- *Soil Science Society of America Journal*, 48, 4, s. 717-719.
- DYRNESS, C. T., 1965. Soil surface Condition Following Tractor and High - lead logging in the Oregon Cascades.- *Journal of Forestry*, 4, s. 272-275.
- FROELICH, H. A./ MCNABB, D. H., 1984. Minimizing Soil Compaction in Pacific Northwest Forest.- V: Forest soil and Treatment Impacts. Proc. of Sixth North American Forest soil conference - June 1983, Knoxville, University of Tennessee, s. 159-192.
- FROELICH, H. A./ MILES, D. W. R./ ROBBINS, R. W., 1985. Soil Bulk Density Recovery on Compacted Skid Trails in Central Idaho.- *Soil Sci. of Am. Journal*, 49, 4, s. 1015-1017.
- FROELICH, H. A., 1989. Soil damage, Tree growth and Mechanization of Forest Operations.- V: Seminar on the Impact of Mechanization of Forest Operations on the Soil. Louvain - La - Neuve, 11 - 15 September 1989, ECE - FAO - ILO, 6 s.
- GARDNER, B. D./ CHONG, S. K., 1990. Hydrological responses of compacted forest soils.- Amsterdam, Elsevier Science Publishers B. V., *Journal of Hydrology*, 112, s. 327-334.

- GEIST, J. M./ MEURISSE, R. T./ MAX, T. A., 1991. Monitoring Forest Soil Properties to Maintain Productivity.- Intermountain Research Station, USDA - Forest Service, General Technical Report, INT-280, s. 90-94.
- GRAY, D. H./ LEISTER, A. T., 1989. Biotechnical slope protection and Erosion control.- Florida, Robert E. Krieger Publishing Company, 270 s.
- HILDEBRAND, E. E., 1991. Der Einfluss der Befahrung auf die Bodenfunktionen im Forststandart.- V: KWF - Bericht Nr 4. " Bodenschäden durch Forstmaschinen " , 21 - 23 September 1987 Gross - Umstadt, Deutschland, 2. ed. , 4, s. 35-50
- HILDEBRAND, E. E./ WILPERT, K., 1992. Bodenbelastung durch Befahrung.- Allgemeine Forst Zeitschrift, 9, s. 495-497.
- KOCHENDERFER, J. N., 1977. Area in Skidroads, Truck Roads and Landings in the Central Appalachians.- Journal of Forestry, 8, s. 507-508.
- KOTAR, M., 1977. Statistične metode. II. zvezek.- Ljubljana, BF.
- KRETZSCHMAR, R., 1984. Kulturtechnisch-Bodenkundliches Praktikum. Ausgewählte Laboratoriumsmethoden. Eine Anleitung zum selbständigen arbeiten an Böden. Institut für Wasserwirtschaft und Meliorationswesen der Christian - Albrechts - Universität Kiel. Kiel, s. 227-234 in s.374 - 395.
- LAUNDRE, J. W., 1989. Estimating soil Bulk Density with expanding Polyurethane foam.- USA, Soil Science., 147, 3, s. 223-224.
- MEGAHAN, W. F., 1991. Erosion and Site Productivity in Western - Montane Forest Ecosystems.- Intermountain Research Station, USDA - Forest Service, General Technical Report, INT-280, s. 146-156.
- MINISTARSTVO ŠUMARSTVA FNRJ., 1950. Priručnik za tipološko istraživanje i kartiranje vegetacije.- Ministarstvo šumarstva FNRJ. Zagreb, 1950. s. 141-148.
- PINTAR, J., 1987. Povirja voda.- Ljubjana, FAGG in Vodnogospodarski inštitut , s. 3-8.
- RAINER, H., 1992. Bodenschäden durch den Einsatz kleiner und grosser Vollernter?- Forsttechnische Informationen, 44, 3, s.17-20.
- REBULA, E., 1991. Erozija na Vlaki.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, BF oddelek za gozdarstvo in IGLG, 37, 30 s.
- REBULA, E., 1993. Vpliv vlak na priraščanje dinarskega jelovo-bukovega gozda.- GozdV, 51, 3, s. 120-132.
- RESULOVIČ, H., 1971. Uzimanje uzorka tla za određivanje vodno-fizičkih i fizičko-mehanskih svojstava tla.- Priručnik za ispitivanje zemljišta - knjiga V. Metode istraživanja fizičkih svojstava zemljišta. Beograd, s. 5-7.
- RICHARD, F./ BEDA, J., 1953. Methoden zur Bestimmung der Wasserbindung und der Porengrößen in natürlich gelagerten waldböden. XXIX. Band, 2. Heft. Zürich. s. 291-314.
- ROBEK, R., 1991. Gozdna tehnika in mnogonamenski gozd - jutri.- Seminarska naloga. 5 s.

- SCHACK-KIRCHUER, H./ HILDEBRAND, E.E./ WILPERT, K., 1993. Bodensauerstoffhaushalt unter Fahrspuren.- Allgemeine Forst Zeitschrift, 3, s. 118-121.
- SCHEUTER, B., 1991. European soil bioengineering in practice.- V: Workshop on biotechnical stabilization. The University of Michigan, Ann Arbor, August 21-23 1991, Ann Arbor, s. 147-160.
- SCHLAGHAMERSKY, A., 1991. Entwicklung von metoden und einfachen Geräten ...- Breicht, Fachhochschule Hildesheim / Holzminden Fachbereich Forstwirtschaft in Göttingen, Göttingen, 72 s.
- SHIBA, M., 1992. Optimisation of road layout in opening up of forests.- V: Proceedings of computer supported planning of roads and Harvesting workshop, August 26-28 1992, Feldafing, Germany, s. 1-12
- SMITH, R. B./ WASS, E. F., 1985. Some chemical and physical characteristics of skidroads and adjacent undisturbed soils.- Canadian Forestry Service-Pacific Forest Research Center, BC-X-261, 28 s.
- SMITH, R. B./ KRAG, R. K./ SENKY, J. P., 1989. Soil disturbance and Impacts on the growth resulting from Forestry operations in Mountainous Terrain.- V: Seminar on the Impacts of Mechanization of Forest operations on the Soil, Louvain - la - Neuve, 11 - 15 September 1989, Belgium, ECE / FAO / ILO, 14 s.
- SNEDECOR, G. W., 1971. Statistical Methods.- Sixth edition, Iowa USA, The IOWA State University press, 593 s.
- STANDISH, J. T./ COMMANDEUR, P. R./ SMITH, R. B., 1988. Impacts of forest harvesting on physical properties of soils with reference to increased biomass recovery-a review.- Canadian Forestry Service, Information Report, BC-X-301. Pacific Forestry Centre, s. 24.
- STERLE, J., 1991. Nekatere ugotovitve o vplivih traktorskih vlak na priraščanje gozdnih sestojev.- GozdV, 49, 4, s. 193-198
- STEWART, R./ FROELICH, H./ OLSEN, E., 1988. Soil compaction - an economic model.- Western Journal of Applied Forestry, 3, 1, s. 20-23.
- STUART, B. W./ CARR, J. L., 1989. Harvesting Impacts on Steep Slopes in Virginia.- V: 8th Central Hardwood Forest Conference, s. 67-81.
- ŠUBIC, I., 1990. Presoja vplivov na okolje.- Po evropski direktivi na področju cestnega gospodarstva.- Ljubljana, Elektroprojekt, 58 s.
- ŠUBIC, L., 1991. Varstvo okolja pri planiranju cest.- V: Povzetek referata na cestarskih dnevih 91, Bled 6 - 7 November 1991, 4 s.
- THUN, R.; HERRMANN, R.; KNICKMANN, E., 1955. Die Untersuchung von Böden. Radebeul und Berlin, s. 25-46.
- TRAFELA, E., 1986. Vpliv izgradnje gozdnih prometnic na proizvodnjo v gozdu.- Magistrsko delo. Ljubljana, BF, 87 s.

- WRONSKI, E. B./ HUMPHREYS, N., 1994. A method for evaluating the cumulative impact of ground-based logging systems on soils.- *Journal of forest engineering*, 5, 2, s. 9-20.
- WÖSTHOFF., 1982. Gasanalysen-Messanlage. Typ: "CARMHOMAT 8 ADG".  
Gebrauchsanleitungen.- Wösthoff GmbH, Messtechnik, Bochum.