

GDK 383.6:116.28:116.5

EROZIJA NA VLAKAH

Edvard REBULA*

Izvleček

V delu raziskujemo erozijo na vlakah na apneni in flišni podlagi. Podani so podatki o količini izpiranja na različnih vlakah. Na izpiranje vplivajo geološka podlaga, nagib pobočja, naklon vlake, dolžina toka vode po vlaki, tip omrežja vlak in njegova trdota, višina profila vlake v pobočju in obraslost.

Ključne besede: vlaka, erozija na vlaki, povzročitelji erozije

SKID TRAILS AND EROSION

Edvard REBULA*

Abstract

Erosion on skid trails constructed on limestone and flysch was studied, and soil loss from different skid trails was measured. Factors determining erosional processes like nature of the parent rock, slope gradient, skid trail gradient, length of waterflow along a skid trail, type of skid trail and their firmness, height of slope profile, and overgrowing were examined.

Key words: skid trails, erosion on skid trails, causes.

* Dr., dipl.inž., redni profesor, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo
61000 LJUBLJANA, Večna pot 83

PREDGOVOR

Pričujoča raziskava je del raziskovalnega projekta "RACIONALIZACIJA PRIDOBIVANJA LESNE SUROVINE", ki smo ga izvajali v letih 1986-1990 na Oddelku za gozdarstvo Biotehniške fakultete. Projekt so financirala gozdna gospodarstva.

Raziskovali smo na območjih Gozdnega gospodarstva Postojna in Zavoda za pogozdovanje in melioracijo krasa v Sežani. Pri delu so pomagali spec. Franci FURLAN, dipl.inž, Janez ANTONČIČ, dipl.inž, Sašo TROŠT, dipl.inž., Vojko TELIČ, gozd. tehnik in Danilo ŠTEFANČIČ, gozd. tehnik.

Kabinetno obdelavo smo opravili na Oddelku za gozdarstvo. Računalniško obdelavo sta opravila Igor POTOČNIK, dipl.inž. in Leonarda GODLER. Tekst in grafikone je uredila Jelka MALNAR. Vsem sodelavcem najlepša in iskrena zahvala za njihovo vestno delo.

1 UVOD - PROBLEMATIKA IN CILJ RAZISKAVE

Racionalizacija dela v gozdu, zlasti preprečevanje prehitrega zapiranja škarij stroškov in cene lesa, je povzročila mehaniziranje gozdnega dela. Stroškovnim vidikom so se pozneje pridružili še ergonomski, kjer je izpopolnjen stroj nadomestil delo človeka in živali ter olajšal naporno gozdno delo. Ta prizadevanja, ki so se pri nas začela v začetku šestdesetih let, so privedla do zamenjave ročne žage z motorno že v nekaj letih - do sredine 60-tih let. Mehaniziranje spravila lesa je potekalo počasneje. Spravilo z žičnimi žerjavi je v glavnem nadomestilo ročno spravilo, živali (konje) v gozdu pa so v glavnem zamenjali traktorji. Ta proces je bil v družbenih gozdovih v glavnem končan v prvi polovici sedemdesetih let, v zasebnih gozdovih pa nekaj let pozneje.

Zamenjava ročne z motorno žago v bistvu ni spremenila vpliva sečnje na gozd. Sekač je le zamenjal manj učinkovito orodje s hitrejšim in priročnejšim, tehnologija dela pa je ostala v bistvu enaka

Popolnoma drugače pa je učinkovalo mehaniziranje spravila in prestavitve nekaterih opravil sečnje - krojenje, prežagovanje, lupljenje - od panja ob cesti v gozdu ali na skladišče zunaj gozda. Sortimentno metodo so zamenjale metode mnogokratnikov, poldebena, debelna in celo drevesna metoda. Spravilo olupljenih in delno osušenih sortimentov s konji je zamenjalo strojno spravilo surovega (svežega) lesa v lubju. Naštete spremembe niso nastale le pri tehnologiji dela, temveč so bistveno spremenile tudi vpliv sečnje in spravila na gozd - na preostalo drevje v sestoji in na gozdna tla. Kažejo se v drugačni poškodovanosti drevja in tal. Poškodb drevja je navadno več in so hujše (večje odrgrnine, polomljena drevesa ipd.). O tem je veliko raziskav v inozemstvu (starejših) in tudi pri nas (mlajše). Vse primerjajo poškodovanost drevja in njene posledice - škode - in vpliv na sestoj pri spravilu s konji in različnimi načini strojnega spravila. Tudi poškodbe tal so hujše, že na videz. Še težje pa so zaradi njihovega dolgotrajnega in raznovrstnega

(vpliv na življenje v tleh, vodni režim, erozijo ipd.) delovanja. Problem je tu še hujši, ker imajo zaradi različnosti sestojev (rastnost, starost, drevesne vrste ipd.) in tal (vrsta tal, geološka podlaga, tekstura, struktura in kemizem tal ipd.) enaki vzroki (rane, poškodbe) zelo različne posledice. O vsem tem je čedalje več spoznanj, ki nastajajo tudi zaradi potreb strojne industrije. Ta vsekakor želi graditi stroje, ki bi naredili v gozdu čimmanj škode in bi bili sprejemljivi za gozdarje in ekologe.

Pričujoča raziskava se ukvarja le z delčkom našete problematike - z vlakami. Cilj raziskave je ugotoviti spremembe na zgrajeni vlaki, ki nastanejo kot posledica uporabe (vlačenje s traktorji), delovanja atmosferilij predvsem padavin ter izpiranja. Namen raziskave je ugotoviti velikost sprememb na vlaki, količino odnešene hribine in dejavnike, ki to povzročajo.

Pred nadaljnjo obravnavo je treba na kratko opredeliti funkcije vlak, zaradi katerih jih pravzaprav moramo graditi. Gradimo jih v glavnem iz dveh razlogov:

1. Da omogočimo dostop traktorjev na površine, ki jih sicer ne bi dosegli in da povečamo hitrost vožnje. Tako povečujemo učinkovitost traktorjev.
2. Zaradi zniževanja škod v gozdu, tako odrgnin na drevesih kot zbijanja in ranjevanja tal. Tako v bistvu koncentriramo škode na vlaki, in ob njih, ki bi sicer nastajale na vsej površini. V tem smislu je vlaka pomembna tudi kot orientacija sekaču za smer podiranja drevja in nadaljnjega spravila.

Prvo funkcijo dosegamo z gradnjo (vkopavanjem) ali le s presekovanjem vlak, drugo pa tudi samo z obeleževanjem (določanjem) smeri, po katerih bo traktor vozil. Pri ocenjevanju posledic pa navadno vidimo le posledice prve funkcije, zanemarimo ali pa premalo upoštevamo drugo. O vrednosti druge funkcije pri nas ni raziskav, ker na srečo skoraj nimamo takih delovišč, kjer so s traktorji vozili po vsej površini.

Vse primerjave o učinkih (škodah, koristih, gospodarnosti ipd.) mehaniziranega spravila bi morale upoštevati tudi učinke vlak. Pri tem ni bistveno ločiti korist od prve in druge funkcije vlak. Bistveno pa je vedeti, da bi bila učinkovitost spravila s traktorji veliko slabša, če ne bi obeleževali in gradili vlak. Uporaba traktorjev je tako vezana na gradnjo vlak. Pri tem ni edina alternativa traktor (torej vlaka !) da ali ne, pomembnejša je presoja kakšne in koliko vlak.

2 ZBIRANJE PODATKOV, NJIHOVA OBDELAVA IN OBJEKTI RAZISKAVE

Za doseg postavljenega cilja, ugotoviti spremembe na vlaki, kot posledico vlačanja lesa in delovanja vode smo izmerili in opisali veliko število prečnih profilov na različnih vlakah. Pri tem smo postopali na dva načina:

2.1 Merjenje prečnih profilov

Izbrali smo tipični prečni profil. "Tipičnost" se je nanašala na njegov položaj glede na podolžni in prečni nagib vlake, kamenitost oz. blatnost vlake in nagib pobočja. Ob profilu smo označili (zakoličili) trajno izhodiščno točko (reper). Nato smo podrobno (na vsakih 0,1 m) izmerili višino (ordinato). Spremembe v profilu smo spremljali daljši čas (dve leti - 1988 in 1989). V tem času smo vsak profil izmerili 3 krat. Prvič smo merili takoj po izgradnji vlak, drugič po končanem spraviu in tretjič približno leto dni po končanem spraviu.

Vsak profil smo tudi opisali oziroma ugotovili značilnosti za katere smo predvidevali, da bi lahko vplivale na spremembe (erozijo) v profilu. Opisali oziroma ocenili smo naslednje znake:

- nadmorsko višino profila,
- nadmorsko višino vrha pobočja (hriba) nad profilom,
- vrh delovišča nad profilom.

Iz teh podatkov smo računali:

- višinske razlike profila do vrha pobočja oziroma delovišča,
- nagib pobočja v profilu,
- vzdolžni naklon vlake, in sicer 20 m nad in pod profilom.

Negativni vzponi so pomenili vlačenje navzdol, pozitivni pa vlačenje navzgor oziroma protivzpone.

Na karti (iz sečnospravnega načrta) smo določili tudi dolžino vlake in omrežja vlak nad profilom.

V vsakem profilu smo določili še:

- tip omrežja vlak (vzporedne, listaste in omrežje),
- tip vlake, kjer smo označili, če so vlake padnične, slojnične ali prečne in ali je vzpon enakomeren (sprememba naklona vlake do 5 %), neenakomeren oziroma če so na vlaki protivzponi.

Določili smo tudi geološko podlago. V bistvu smo tu imeli le dva vzorca (stratuma). Prvi je bil na sivem krednem apnencu z vložki triadnega dolomita, drugi na flišu. Ocenili smo tudi trdoto vlake. Tu je mišljena kakovost vlake v profilu glede na njeno sestavo. Ločili smo:

- trdo podlago; profil je prek 60 % v skali oziroma je na površini vlake prek 60 % vraščene skale;
- srednje trdo podlago; profil je 30-60 % v skali oziroma je na vlaki toliko kamenja,
- mehko podlago; na površini je do 30 % kamenja,
- zemljeno podlago; v profilu ni kamenja.

Za vsak profil smo ocenili, koliko voženj bo (je) šlo skozenj pri spravilu lesa prve sečnje.

Profil smo opisali pri prvem merjenju, to je pred spravilom.

Merili smo na dveh deloviščih. Prvo je bilo v revirju Leskova dolina, oddelek 19 na severnem pobočju Snežnika na nadmorski višini 980 do 1200 m. Podlaga je kredni apnenec. Drugo delovišče je bilo v Brkinih, revir Odilina odd. 112 in 113 v Šmagurju. Nadmorska višina je 430 - 550 m. Podlaga je fliš.

Na vsakem delovišču smo merili 15 profilov.

Obdelava izmerjenih podatkov je dala zanimive rezultate, vendar nismo mogli ugotoviti zanesljivih zvez med merjenimi podatki. Tak način merjenja in spremljanja večjega števila profilov zahteva veliko dela, ki ni v sorazmerju s pričakovanimi rezultati.

Zato smo v začetku leta 1990 izdelali drugo metodo in po njej izmerili in opisali veliko število profilov na apneni in flišni podlagi.

2.2 Opisovanje prečnih profilov

Najvažnejša razlika od prejšnjega načina dela (merjenje prečnih profilov) je ta, da smo vsak profil po stopnji izpranosti (erozije) in obraslosti uvrstili v eno od petih kategorij.

Po stopnji erozije so bile kategorije naslednje:

- 1 Ni erozije. Erozijska (odnašanje, izpiranje) ni opazno.
- 2 Majhna erozija. Kolesnice ali površina vlake so razbrazdane. Vodni tokovi (žlebovi, strugice) so komaj opazni.
- 3 Srednja erozija. Na kolesnicah so oblikovani vodni tokovi, opazni so plitvi, jarki po katerih teče voda.
- 4 Močna erozija. Kolesnici sta že izprani in sta jarek (vodni tok, žleb). Jarki so na dolgih potezih, deloma globoki. Izprano je velikokrat do podlage.

- 5 Zelo močna erozija. Vlaka je že toliko izprana in erodirana, da ni moč več zaznati kolesnic, ampak je le en sam (globok) jarek.

Po stopnji obraslosti smo prav tako ločili 5 stopenj, in sicer:

1. Obrasel je cel profil, ali je pokrit s steljo.
2. Dobra obraslost. Profil je nad 60% obrasel ali pokrit s steljo.
3. Srednja obraslost. Profil je okoli polovice površine (40--60%) obrasel ali pokrit s steljo.
4. Slaba obraslost. Profil je manj kot 40 % površine obrasel ali pokrit s steljo.
5. Ni obrasel: profil je gol.

Namesto dolžine vlak nad profilom smo merili razdalje od profila do izliva (iztoka) vode z vlake nad profilom. Merili smo razdaljo toka vode po vlaki do profila. Izliv smo ugotovili z opazovanjem vlake.

Vse druge znake (nadmorsko višino, naklone in strmine ter tip omrežja vlak in geološko podlago) smo izmerili in opisali kot pri prvem načinu.

Samo delo je potekalo takole: Izbirali smo strmejša delovišča. Iz karte v sečnospravnem načrtu smo izbrali poljubno vlako. Pri tem smo težili, da smo izbirali različne vlake po pobočju (grebenske, slojnične, padnične, prečne) in čim daljše. Na vlaki smo sistematično na 35-40 dvojnih korakov (odvisno od strmine na horizontalni razdalji približno 50 m) določili profil in ga opisali ter izmerili potrebne znake.

Sečišča smo izbrali tako, da smo zajeli daljše razdobje po pravilu oziroma po izgradnji vlak (2-8 let).

Da bi lahko ugotovili količino izprane (odnešene) hribine z vlak smo za vsako kategorijo izpiranja izmerili na različnih mestih po 6 (na flišu) oziroma 5 (na apnencu) prečnih profilov. Izbirali smo taka mesta profilov, kjer smo lahko ugotovili kakšen je bil položaj (profil) vlake takoj po izgradnji. Predpostavljali smo, da je bila površina vlak ravna in smo tako merili le vdolbine (kolesnice, jarke) pod to ravnino.

Tudi ta način raziskave smo izvedli na dveh geoloških podlagah.

1. Na apnencu, v revirjih Leskova dolina (odd. 1, 4, 5, 10, 11) in Snežnik (odd. 46, 48, 50).
2. Na flišu v revirju Dletvo - odd 1, 2 in 4.

Vse izmerjene podatke smo vpisovali v posebne smemalne liste. Na apnencu smo izmerili in opisali 164 profilov, na flišu pa 116.

2.3 Obdelava podatkov

Podatke iz snemalnih listov smo računalniško obdelali.

Narisali smo prečne profile in izračunali njihovo površino. Iz razlik površin med posameznimi merjenji smo sklepali o velikosti erozije.

S korelacijsko in regresijsko analizo smo iskali vplive izmerjenih dejavnikov na velikost erozije in obraslost profila oziroma medsebojne povezave znakov. Zlasti nas je zanimal vpliv naslednjih dejavnikov na erozijo oziroma obraslost profila:

H – višinska razlika profila in vrha pobočja,

X₃ – nagib pobočja,

X₆ – naklon vlake,

X₇ – dolžina pod izlivom,

X₁₁ – kakovost (trdota) podlage.

Na podlagi opisanih značilnosti profilov smo oblikovali različne stratume in raziskovali kakovosti znotraj stratumov.

Ker je delovanje posameznih znakov med seboj povezano (interakcija), smo z metodo delne in multiple korelacije ugotavljali vpliv posameznega dejavnika in njihov skupni vpliv.

3 UGOTOVITVE RAZISKAVE

3.1 Velikost erozije na vlakah

Na sliki 1 so narisani (povprečni) prečni profili za posamezne stopnje erozije na flišu in apnencu. Tu so tudi podatki o površini posameznega profila in o razlikah med profili.

Profil 1. stopnje še ne predstavlja erozije. Njegova oblika nastane zaradi zbijanja podlage pod kolesi traktorja in bremena. Vidimo, da se tako profil zniža za okoli 0,2 m². Zbijanje je enako na apnencu in flišu.

V 2. stopnji se profil poglobi še za okoli 0,1 m². Podatki kažejo, da je poglobitev na apnencu nekaj večja kot na flišu. Gre verjetno za napako vzorca, ker ni logične razlage, da bi bila erozija na apnencu večja. Ta poglobitev je že erozija in lahko ugotovimo, da je v 2. stopnji odnešeno z vsakega dolžinskega metra vlake 0.10 - 0.12 m³ materiala.

Tudi še v 3. stopnji je stanje na flišu in apnencu enako. Tu je voda odnesla z vsakega metra vlake že skoraj $1/4 \text{ m}^3$ materiala. Erozijska je tu za 100 - 120 % večja kot v stopnji 2.

V 4. stopnji nastanejo velike razlike na apnencu in flišu.

Na apnencu nastaja ta oblika erozije bolj izjemoma. Pojavlja se le na globokih, zemljenih (neskeletnih) tleh v žlebovih in na ravninicah. Nagib vlake je razmeroma majhen. Taka oblika profila vlake ne nastaja zaradi odnašanja zemlje, kot posledice izpiranja, ampak zaradi vožnje po mehkih, zemljenih tleh, ko so razmočena in imajo premajhno nosilnost.

Kolesnici se poglobita zaradi vgrezavanja koles traktorja. Tu gre deloma za zbijanje tal, deloma pa za izpodrivanje zemlje s kolesi traktorja. Zato tu ni tako velika erozija kot jo izkazujejo številke na sliki 1.

5. stopnje erozije na apnencu nismo našli.

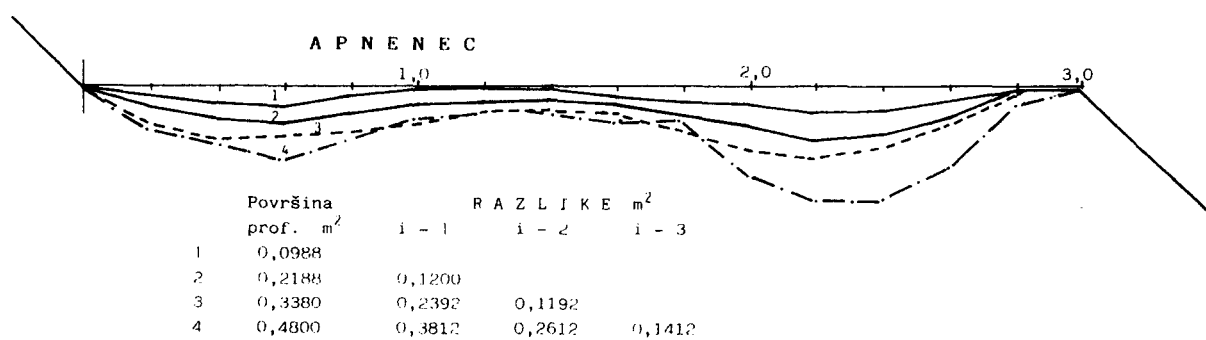
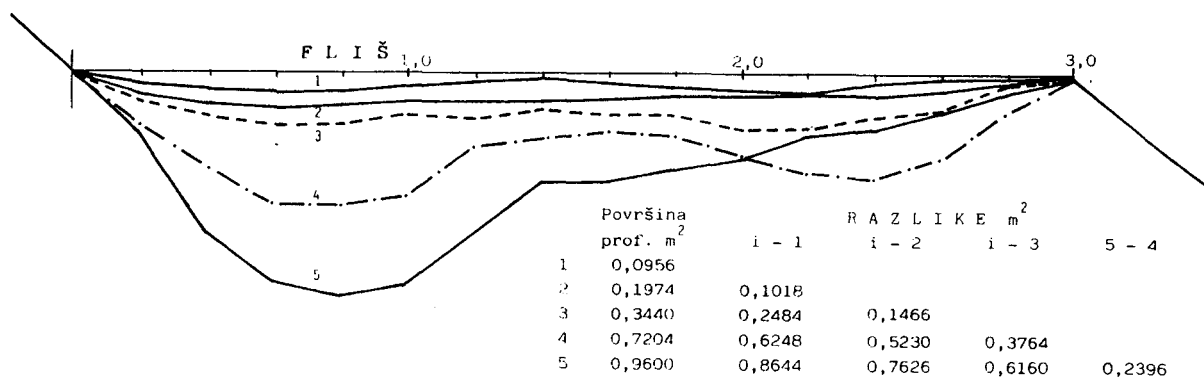
Iz podatkov merjenja prečnih profilov, podatkov iz najbolj erodiranih profilov, lahko sklepamo, da je maksimalna erozija na apnencu okoli $0.3 - 0.55 \text{ m}^3$ materiala na 1 m vlake. Ko voda odnese mehkejšo (drobnejšo) frakcijo, se erozija zaustavi in profil stabilizira v obliki, ki smo jo označili za 3. ali 4. stopnjo.

Na flišu in verjetno tudi na vseh drugih mehkih in nepropustnih podlagah poteka proces erozije drugače. Kolesnici postaneta odvodna jarka in se poglobljata. V 4. stopnji je erozija že nad $0,6 \text{ m}^3$ materiala na 1 m vlake. Zaradi napredujoče erozije se kolesnici združita v eno korito. Tako nastane 5. stopnja, kjer je odneseno že 0.86 m^3 zemljine z 1 m vlake.

Erozija se na mehkih (hitro razpadajočih) podlagah zaustavi le začasno, ko voda odnese gornji, mehkejši prepereli del in ga izpere do trdnejše podlage. V bistvu se erozija le upočasni. Ko podlaga preperi jo voda sproti odnaša. Edini način zaustavitve erozije je preprečitev pretoka vode po vlaki. Tako se profil obraste in stabilizira. Obraščanje profila gre na flišu hitro, če ga ne ovira pregost sklop krošenj ali prepogost promet (spravilo) po vlaki.

Opisano stanje je nekako povprečje spreminjanja profila vlake in doseže najvišje stopnje le izjemoma. Običajno se vzpostavi ravnotežje že v 1. ali 2. kategoriji profila in spiranje obmiruje.

Na žalost pa nam navedeni podatki zelo malo ali nič ne povedo o skupni ali povprečni eroziji na neki površini ali celo na neki vlaki. Nekoliko prispevajo k osvetlitvi te problematike podatki v razpredelnici 1. Tu je prikazano število opisanih profilov v vsaki stopnji erozije in obraslost ter njihov delež.



Slika 1 Prečni profil vlak po strminah erozije

Razpredelnica 1 Frekvence profilov in njihovi deleži po stopnji erozije in obraslosti

Podlaga	Stopnja	Erozija		Obraslost	
		štev.	delež %	štev.	delež %
Apnenec	1	58	35	63	39
	2	70	43	54	33
	3	25	15	30	18
	4	11	7	15	9
	5			2	1
	Skupaj	164	100	164	100
Fliš	1	19	16	23	20
	2	34	29	31	27
	3	29	25	31	26
	4	16	14	22	19
	5	18	16	9	8
	Skupaj	164	100	116	100

Povprečna stopnja erozije v vzorcu je 1,93 na apnencu, na flišu pa 2,83.

Povprečne stopnje erozije in pa deleži v vzorcu kažejo, da je erozija na apnencu majhna, na flišu pa srednja. Na flišu je znatno večja. Tudi obraslost je na flišu slabša kot na apnencu.

Pri čitanju razpredelnice 1 in gornjih povprečij pa je treba upoštevati, da smo analizirali najbolj strme oddelke (površine) in še tu izbirali bolj strme vlake. Če to upoštevamo, je povprečna stopnja erozije še znatno nižja.

Spreminjanje profila vlake je svojstveno za vsak profil. Razvidno je iz posameznih tipičnih profilov na flišu (ŠMAGURJE) oziroma apnencu (LESKOVA DOLINA). Profili pomenijo:

- 1 - takoj po izgradnji,
- 2 - po opravljenem prvem spraviu (1988),
- 3 - približno leto dni po spraviu (1989).

Vidimo, da se profili različno spreminjajo. Spremembe nam kažejo številke o odnešeni ali nasuti (označeni s +) hribini v m². Ker so spremembe na notranji (ob bregu) zunanji strani vlake različne, smo prikazali spremembe ločeno za notranji del vlake (do širine 1,2) označen z N in zunanji del vlake (Z) ter vsoto sprememb za cel profil. Številke pomenijo razlike med merjenjem.

Študij podatkov merjenja profilov, primerjave različnih merjenj, in analiza narisanih profilov nam dajejo naslednje ugotovitve:

1. Razlike v oblikovanju profila vlake na apnencu oziroma flišu so zaradi spravila in erozije velike. Na apnencu skoraj ni spiranja, pogosto je celo zasipavanje, premik hribine je velikokrat le prečen. Na flišu je opazno odnašanje hribine.
2. Profil se v glavnem preoblikuje ob vlačanju. Vtisnejo se kolesnice in hribina odrine na rob vlake. Pozneje se profil le malo spreminja. To v celoti velja za apnenec, na flišu pa le tam, kjer ni velikega nadaljnega izpiranja.
3. Na notranji (ob bregu) strani vlake prihaja pogosto do nasipanja. Vzroka sta dva: posipovanje brežine in nariv hribine, ki ga povzroča breme na traktorju. Izpiranje je močnejše na zunanji strani vlake.
4. Povprečja spiranja oziroma zasipanja (označimo s +), ki smo jih ugotovili pri merjenju po 15 profilov na apnencu oziroma flišu, so prikazana v razpredelnici 2.

Razpredelnica 2 Količina odnešene oziroma nasute hribine

Podlaga	Razlika meritev	Del vlake		
		Notranji do 1,2 m	Zunanji nad 1,2 m	Skupaj
		m ² profila ali m ³ /m vlake		
Apnenec	1-2	+0,0142	+0,0720	+0,0862
	1-3	+0,0278	+0,0708	+0,0986
	2-3	+0,0136	0,0012	+0,0124
Fliš	1-2	0,0040	0,0758	0,0798
	1-3	+0,0120	0,1298	0,1178
	2-3	+0,0160	0,0540	0,0380

V razpredelnici vidimo, da gre na apnencu v povprečju za neznatno zasipavanje profilov. Rezultat je jemati kot slučajno napako, ki je nastala zaradi položaja izbranih profilov. Sicer pa je tudi zasipavanje treba jemati kot erozijo, saj je bil ta material od nekod nanesen. Izvor materiala je nekje višje na vlaki in se je tu le akumuliral.

Na flišu gre očitno za spiranje. Del razlike med prvim in drugim merjenjem gre zagotovo na račun zbivanja kolesnic pod bremenom traktorja. Ugotovljena erozija je zelo podobna (celo nekaj manjša) eroziji ugotovljeni v prvi stopnji (brez erozije), ki smo jo ugotovili pri metodi popisov (obdelana v začetku tega poglavja). Tako kaže velikost izpiranja v bistvu razlika med 2. in 3. merjenjem. Ugotovimo lahko, da je velikost izpiranja 1 m³ zemljine z vsakih 25 do 30 m vlake ali okoli 4 m³ s 100 m vlak v letu dni. To velja za okoliščine, ko ni bilo izrednih nalivov in koncentracij vode na vlaki, ki bi odnesla celo vlako.

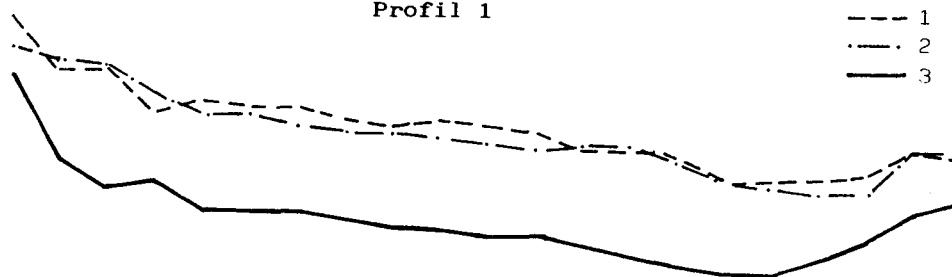
Navedene številke in skice profilov kažejo velikost erozije v posameznem, konkretnem primeru. Iz njih je težko sklepati o velikosti erozije na neki opredeljeni površini.

ŠMAGURJE

Md = 1:25

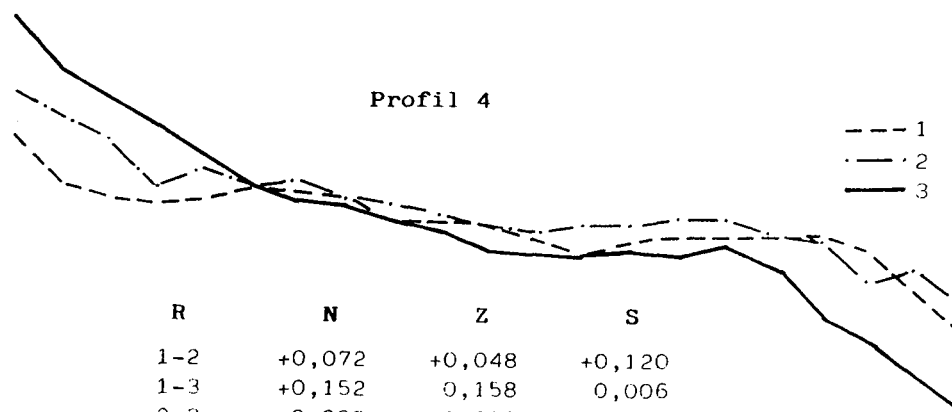
Mh = 1:10

Profil 1



R	N	Z	S
1-2	0,006	0,038	0,044
1-3	0,183	0,465	0,648
2-3	0,177	0,427	0,694

Profil 4



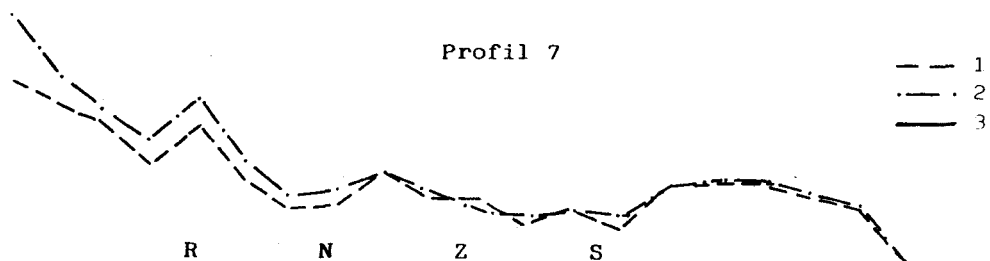
R	N	Z	S
1-2	+0,072	+0,048	+0,120
1-3	+0,152	0,158	0,006
2-3	+0,080	0,206	0,126

ŠMAGURJE

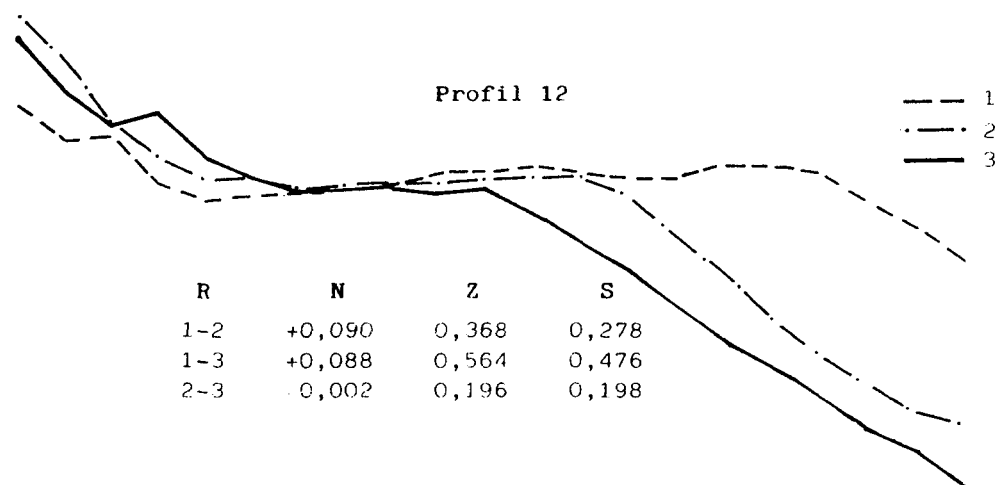
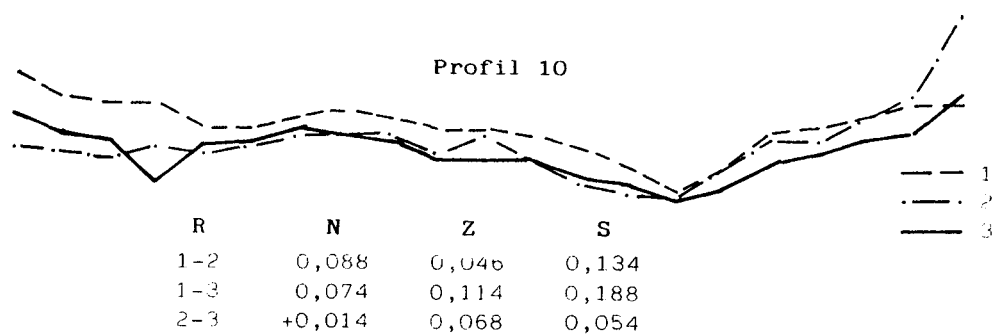
Md = 1:25

Mh = 1:10

Profil 7



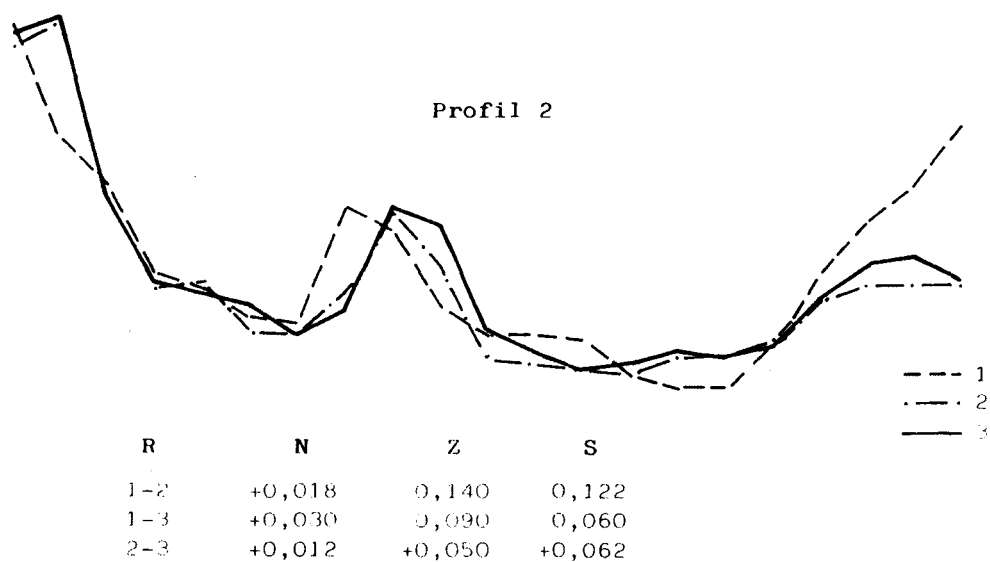
R	N	Z	S
1-2	+0,066	+0,020	+0,086
1-3	+0,016	0,008	0,008
2-3	0,050	0,028	0,078



LESKOVA DOLINA

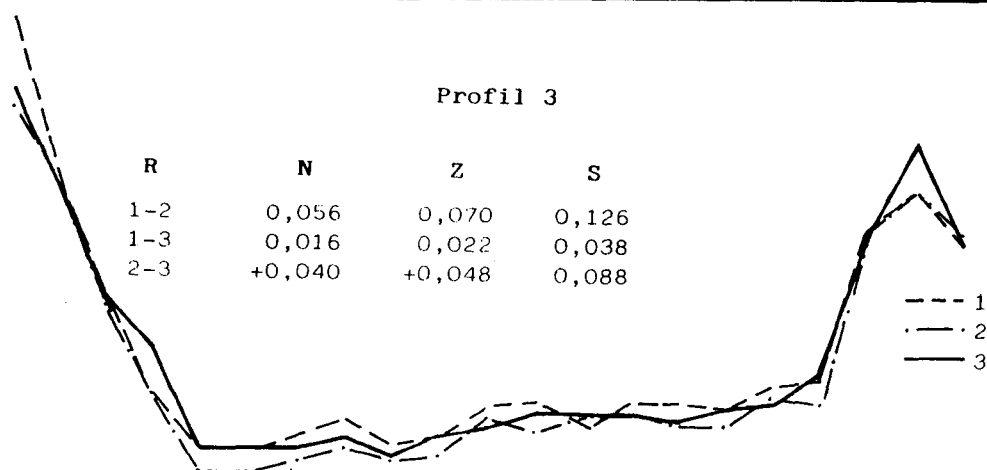
Md = 1,25

Mh = 1:10



Profil 3

R	N	Z	S
1-2	0,056	0,070	0,126
1-3	0,016	0,022	0,038
2-3	+0,040	+0,048	0,088



--- 1
- · - 2
— 3

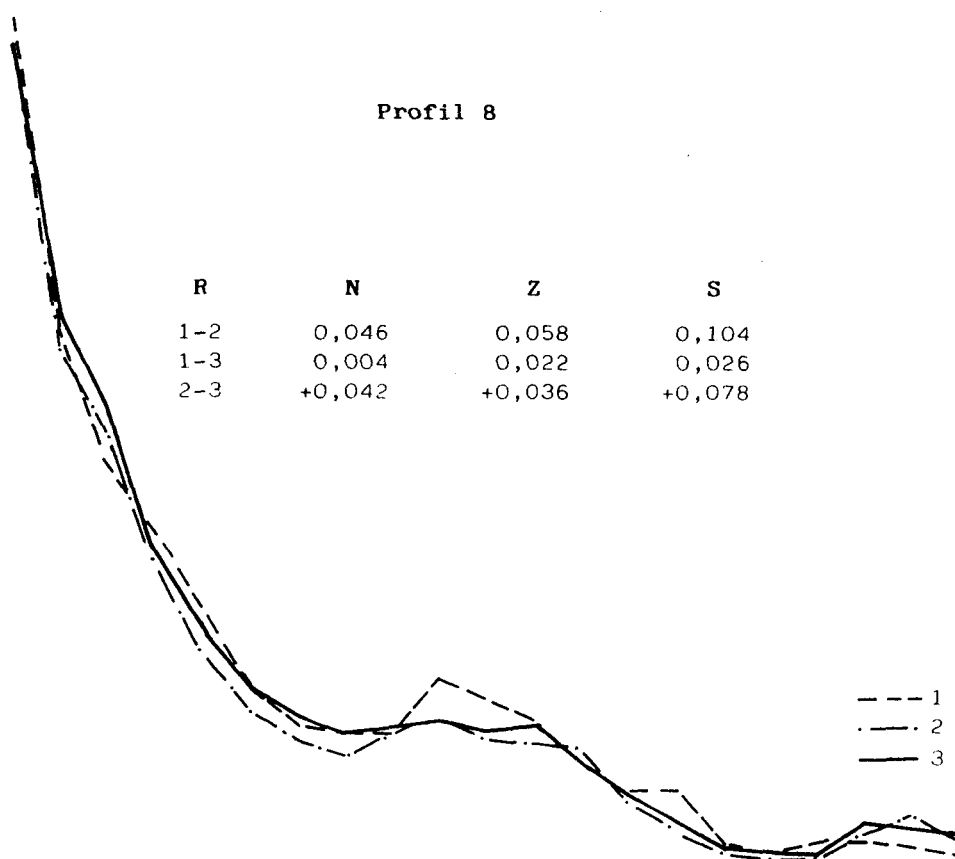
LESKOVA DOLINA

Md = 1:25

Mh = 1:10

Profil 8

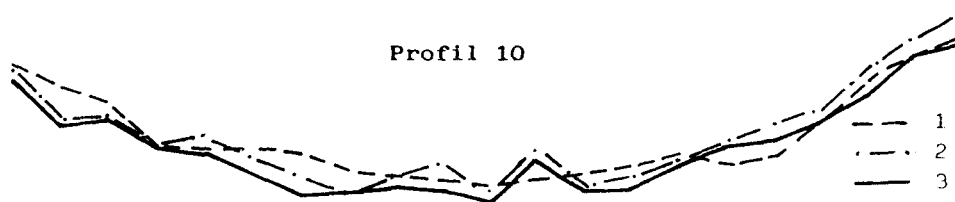
R	N	Z	S
1-2	0,046	0,058	0,104
1-3	0,004	0,022	0,026
2-3	+0,042	+0,036	+0,078



--- 1
- · - 2
— 3

Profil 10

R	N	Z	S
1-2	0,016	+0,030	+0,014
1-3	0,038	0,042	0,080
2-3	0,022	0,072	0,094



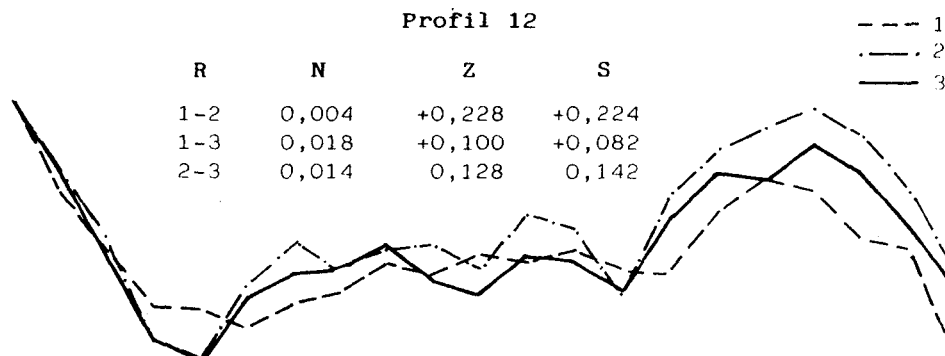
--- 1
- · - 2
— 3

LESKOVA DOLINA

Md = 1,25

Mh = 1,10

Profil 12



3.2 Dejavniki, ki vplivajo na erozijo in obraslost

Pri proučevanju vlak smo izmerili ali graduirali (ovrednotili) in popisali (razvrstili v določene stopnje ali razrede) naslednje dejavnike:

- geološko podlago,
- relativno višino profila glede na vrh položaja,
- vzdolžni naklon vlake,
- dolžino vlake od profila do izliva vode z vlake nad profilom,
- tip omrežja vlak,
- tip vlake, glede na položaj v pobočju in glede na smer vlačjenja,
- trdoto vlake - kakovost vozišča vlake glede na delež kamenja v profilu,
- starost vlake.

Vsi obravnavani dejavniki značilno vplivajo na erozijo in obraslost vlak. Nekatere smo lahko ovrednotili, druge pa smo lahko le ocenili. Vsi dejavniki so tudi v različnih medsebojnih zvezah. Zato prihaja do močnih interakcijskih učinkov in je interpretacija delovanja posameznega dejavnika otežena pa tudi omejena.

3.2.1 Vpliv geološke podlage

Profile smo merili in popisovali na apnencu in flišu, pozneje smo pregledali še nekatere vlake na dolomitih

Geološka podlaga značilno vpliva na erozijo na vlakah. Erozija na flišu je veliko večja kot na apnencu. Dolomit je nekje v sredini. Vzroki za te razlike so:

- vrste in globine tal na različnih podlagah,
- propustnost tal in podlage za vodo,
- odpornost podlage na delovanje atmosferilij.

Podrobneje so razlike med flišno in apneno podlago prikazane v tabelah in grafikonih, kjer obravnavamo vpliv drugih (podrobnih) dejavnikov.

3.2.2 Vpliv omrežja vlak in položaja vlake v terenu

Velikosti teh dejavnikov nismo merili. Analiza pa kaže naslednje.

- Erozija narašča s povezanostjo vlak. Manjša je pri vzporednih vlakah, večja pri listastemu sistemu vlak in največja, če so vlake v omrežju.
- Slojnične in padnične vlake so večkrat vzporedne. Prečne vlake pa so večkrat povezane v omrežje.
- Na apnencu so vlake bolj vzporedne in več je padničnih na vrhu pobočij (konveksna pobočja), na flišu pa je takih vlak več pri dnu. V tem pogledu so vlake na dolomitih bolj podobne tistim na apnencu.
- V strmem svetu je več prečnih in slojničnih vlak, v ravnem in položnejšem pa več padničnih.

Na apnencu smo ugotovili značilen vpliv teh dejavnikov. V primerjavi z vzporednimi vlakami je erozija na vlakah v žilnatem sistemu večja za 17 %, na mrežnem sistemu pa celo za 28 %. Prav tako je v primerjavi s padničnimi vlakami erozija na prečnih vlakah večja za 19 % na slojničnih pa za 32 %. Teh odvisnosti na flišu nismo ugotovili.

Te podatke pa je treba jemati previdno. Očitno gre za interakcijo med tipom omrežja vlak (padnične - vzporedne - prečne in slojnične - listnate ipd.) ter trdoto in strmino vlak in položaj. Bolj strme vlake in na strmejših pobočjih so bolj trde. Zato je tu erozija manjša.

Vpliv teh dejavnikov ni posebno velik, ker vpliva posredno s tem, koliko ti dejavniki lahko skoncentrirajo vodo. To pa je v veliki meri odvisno od prečnega profila vlake oziroma od možnosti odtoka vode z vlake.

Na flišu (in najbrž tudi na drugih nepropustnih podlagah) je na daljših pobočjih, kjer so vlake v terasah, treba opozoriti, da voda z zgornjih vlak teče po pobočju na spodnje in se tu skoncentrira. Take koncentracije vode povzročajo veliko erozijo pri sorazmerno majhnih naklonih vlak.

Podatki tudi kažejo, da je erozija na protivzponih (kjer traktor vlače breme navzgor) nekoliko večja kot na enakih strminah pri vlačanju navzdol. To kaže na delovanje koles (drsenje, kopanje) pri maksimalnih obremenitvah in na vpliv prometa na erozijo, kar bomo posebej obravnavali pri vplivu relativne višine profila v pobočju.

3.2.3 Trdota vlake

Trdota vlake - sestav vozišča vlake glede na delež kamnja in drobnejših frakcij - je v veliki meri odvisna od podlage in naklona pobočja. Ker smo opisovali zatečeni profil, je kakovost opisanega profila odvisna tudi od dotedanje uporabe (izrabe) vlake in erozije.

Na apnencu smo ugotovili značilno korelacijo med trdoto vlake in stopnjo erozije. Mehkejše vlake so bolj erodirane. Na flišu te korelacije nismo zasledili ali pa je celo negativna. Rezultat pa je tak, ker so najbolj izprane mehke vlake, le da je precej teh vlak izpranih že do trde podlage in so tako v naših popisih opisane kot "trde".

Ponazoritev vpliva trdote vlake in geološke podlage je podana v diagramu 1. Na diagramu vidimo:

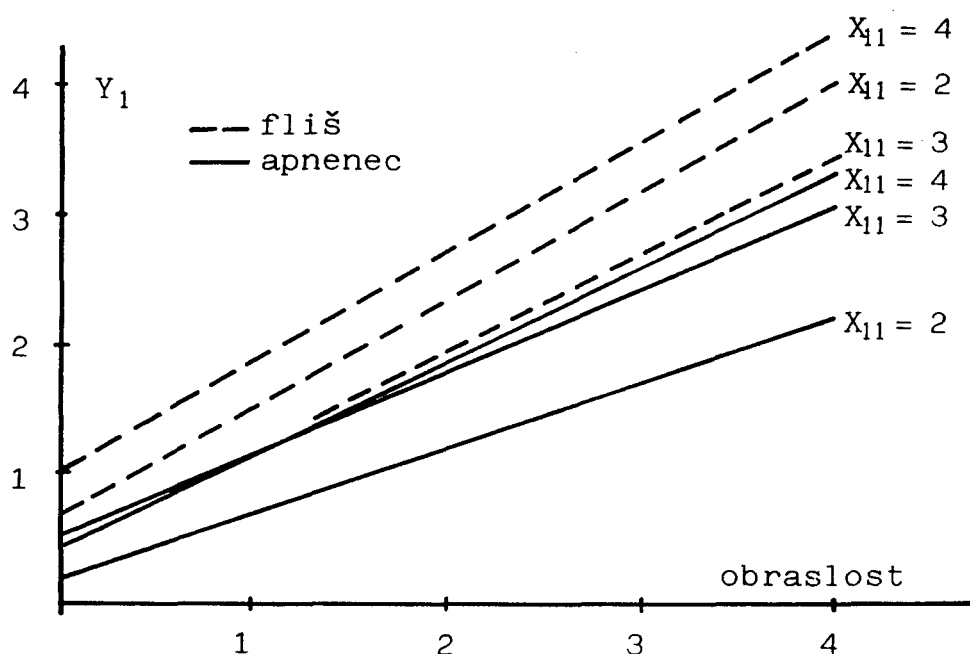


Diagram 1 Stopnja erozije (y_1) v odvisnosti od obraslosti po podlogah in trdotah vlak

- pri enaki obraslosti vlake in ostalih povprečnih pogojih je erozija na flišu veliko večja kot na apnencu,
- erozija narašča s padanjem trdote (večja številka pri X_{11}) vlake.

Na apnencu je v primerjavi s trdo podlago ($X_{11} = 1$) erozija na srednje trdi podlagi ($X_{11} = 2$) večja za 17 %, na mehki podlagi ($X_{11} = 3$) za 29 % in na zemljeni podlagi ($X_{11} = 4$) za 38 %.

3.2.4 Vpliv relativne višine profila na erozijo

Z relativno višino smo označili višinsko razliko med profilom in vrhom pobočja. Ta podatek na nek način kaže višino možne koncentracije vode v določenem profilu.

Analiza kaže slabo pozitivno korelacijo med relativno višino in stopnjo erozije. Kaže, da je erozija nekoliko večja v nižjih profilih. Na flišu je to bolj izrazito. Na apnencu je to opazno le na mehkih podlagah.

O vzrokih za take ugotovitve lahko le domnevamo. Ker spravljajo pretežno navzdol so nižji profili bolj obremenjeni s prometom. Kolesnice se bolj poglobljajo. Menimo, da je to glavni vzrok večje erozije na nižjih profilih.

3.2.5 Vpliv starosti vlake na erozijo

Predpostavljali smo, da je erozija na starejših vlakah večja. To predpostavko smo potrdili le delno, in sicer le na flišu.

Večina profilov se po končanem spravilu hitro stabilizira. Vzpostavi se nekako ravnotežje med količino in hitrostjo vode ter podlago - površjem vlake. To ravnotežje se kaže v debelini (velikosti) kamenja na vlaki. Profil se nato obraste in obmiruje. To v popolnosti velja za profile na trdi podlagi.

Pri profilih na mehki podlagi (zemlja, preperina) in ob zadostnem padcu pa največkrat že prvi dovolj velik naliv odnese vlako do podlage. Nato erozija obmiruje ali se vsaj zelo upočasni (na flišu).

Vse navedeno velja le, če obravnavamo "starost vlake" po zadnjem spravilu. Če pa gledamo na starost vlake absolutno je zadeva drugačna. Za to obravnavo kaže prikazati dva modela:

1. Promet po vlaki je stalen - vsakoleten. Tak primer je velikokrat v zasebnih gozdovih. Je pa čedalje pogostejši tudi v državnih gozdovih, kjer vsako leto pobirajo slučajne pripadke. Tu se vlaka ne stabilizira. Običajno že nekaj voženj skozi profil, zlasti v mokrem vremenu, pretrga komaj obrasel zeliščni sloj ali napadlo steljo. Erozija se nadaljuje. Zato so trajne vlake lahko le na trdih podlagah, ko voda ne more izpirati. Na mehkih podlagah pa nastaja pomembna erozija tudi pri majhnih naklonih vlake. Zlasti je to izrazito, če vlake niso odvodnjavane.
2. Promet na vlaki poteka periodično. Tu se profil po prenehanju spravila obraste in stabilizira. Tako vzdrži do naslednje sečnje. Na trdih podlagah (apnenci, največkrat tudi dolomiti) ostane tako vlaka uporabna brez popravil tudi za naslednje sečnje. Take vlake so trajne.

Na mehkih podlagah (fliš, zemljene vlake), kjer je erozija razdrila vlako pa morajo vlako pred naslednjo uporabo popraviti. Običajno z buldožerjem poravnajo vozišče tako, da razširijo (odrinejo) brežine vlake in zasujejo kolesnice ali jarek. S tem pa ponovno razrahljajo že (največkrat) stabilizirano hribino in erozija začne ponovno le nekoliko globlje. Tako iz vlak nastajajo jarki. Erozija je tu stalna in progresivna, zlasti ko se vlaka poglobi in po njej ob vsakem dežju teče voda.

3.2.6. Vpliv strmine pobočja

Strmina pobočja vpliva na erozijo na vlakah. Na flišu z večjim nagibom pobočja erozija raste, na apnencu pa pada. Ugotovitev je na flišu logična, na apnencu pa nekoliko preseneča. Verjetno to nastaja zaradi interakcije "trdote" vlake, ko so na strmejših pobočjih vlake trše in je zato na njih erozija manjša.

Nagib pobočja vpliva tudi na potek in obraslost vlak enako kot na erozijo. Analiza podatkov kaže, da so strmejša pobočja na vznožju hribov, da so na strmejših pobočjih tudi vlake bolj strme in bolj povezane v omrežja.

Vpliv strmine pobočja na erozijo ponazarja diagram 2.

Na diagramu 2 vidimo, da je erozija na položnih pobočjih apnenca ali fliša skoraj enaka, da pa je na strmih pobočjih razlika zelo velika. Na strmih flišnatih pobočjih (verjetno tudi na drugih nepropustnih podlagah) je erozija na vlakah nekajkrat večja kot na apnenčastih (propustnih) pobočjih.

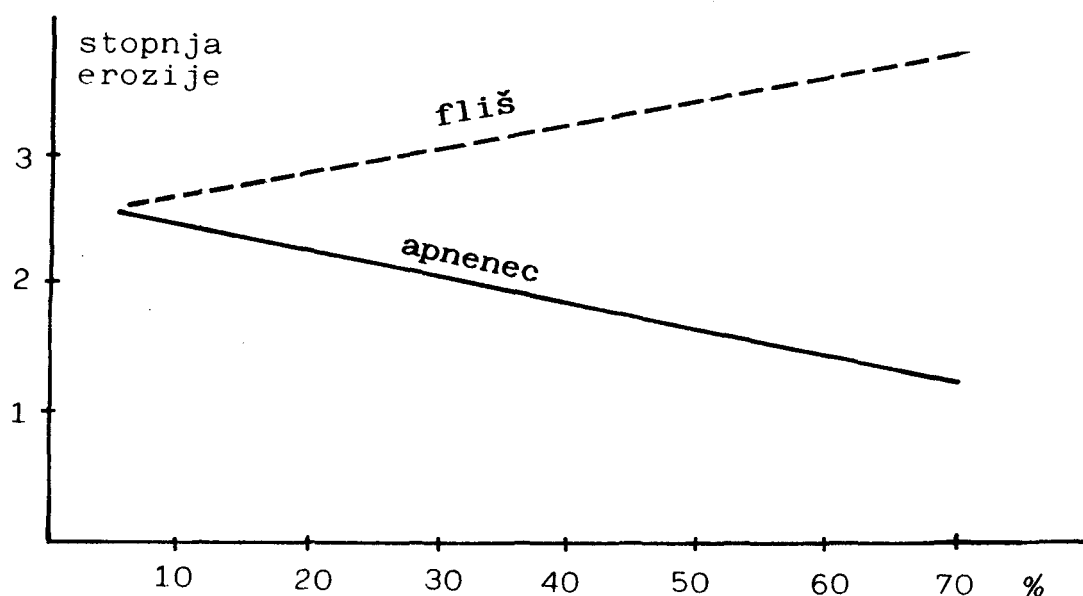


Diagram 2 Vpliv strmine pobočja na erozijo

3.2.7 Vpliv na klona vlake na erozijo

Naklon vlake vpliva na erozijo. Na flišu je ta vpliv zelo izrazit. Kljub temu je korelacija erozije z obraslostjo vlake ($I=0,72$), strmino pobočja ($I=37$) in dolžino toka vode po vlaki ($I=0,30$) večja kot korelacija erozije in naklona vlake ($I=0,28$). Naklon vlake vpliva tudi na obraslost vlake, zato je skupni vpliv naklona velik.

Na apnencu je vpliv naklona vlake na erozijo majhen. Največkrat niti nismo mogli ugotoviti statistično značilne korelacije med naklonom vlake in stopnjo erozije.

Vpliv naklona vlake na stopnjo erozije vlake smo prikazali na diagramu 3. Prikazano je povprečje za fliš in apnenec.

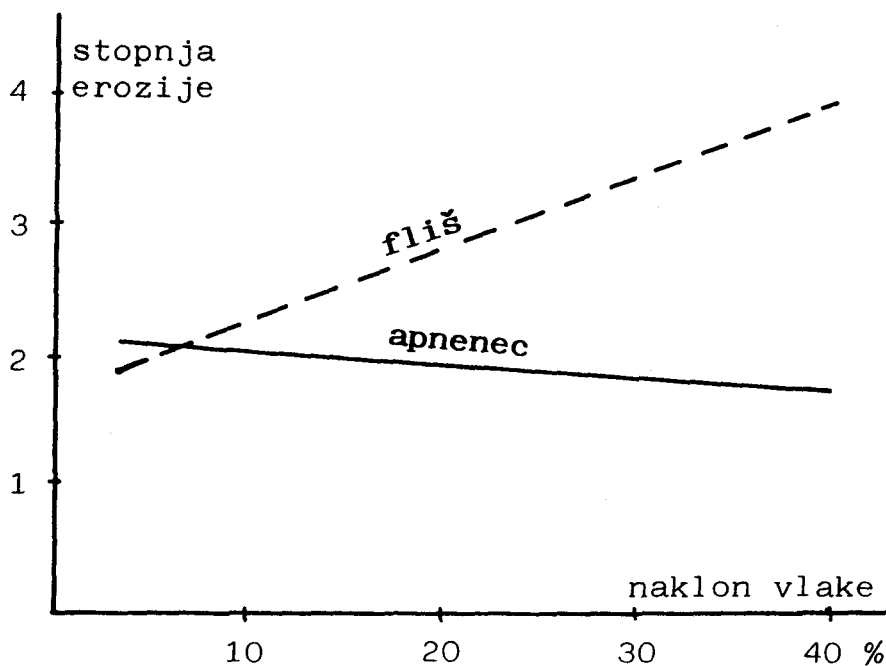


Diagram 3 Vpliv naklona vlake na erozijo

Na diagramu 3 vidimo, da erozija na flišu z večjim naklonom vlake hitro naraste. Podrobnejše analize kažejo, da je na mehkih vlakah regresija še strmejša, na trdih pa položnejša. Pri velikih naklonih je erozija tudi na trših vlakah velika.

Na apnencu se erozija z naklonom vlake le malo spreminja. Z večjim naklonom celo pada. Vzrok je verjetno isti (trdota vlak), kot smo ga navedli pri obravnavi vpliva strmine pobočja.

Pri obravnavi vpliva naklona vlake na erozijo smo poizkusili ugotoviti, pri kakšnem naklonu se erozija začne. Ugotavljali smo tudi krivuljne regresije. Te so zelo iztegnjene in je korelacija nižja kot pri linearnih, zato so bili naši poskusi neuspešni in z našo metodo nismo dobili zadovoljivega odgovora na ta vprašanja. Vzrok za to je množica dejavnikov in njihovih interakcij, ki v podobnih okoliščinah delujejo različno.

3.2.8 Vpliv dolžine toka vode po vlaki

V povprečju teče voda po vlaki nekaj nad 100 m daleč. Ta razdalja je na flišu (113 m) in apnencu (105 m) skoraj enaka. Z večjo razdaljo toka vode narašča erozija. Hitrost naraščanja nam ilustrirata regresiji na diagramu 4.

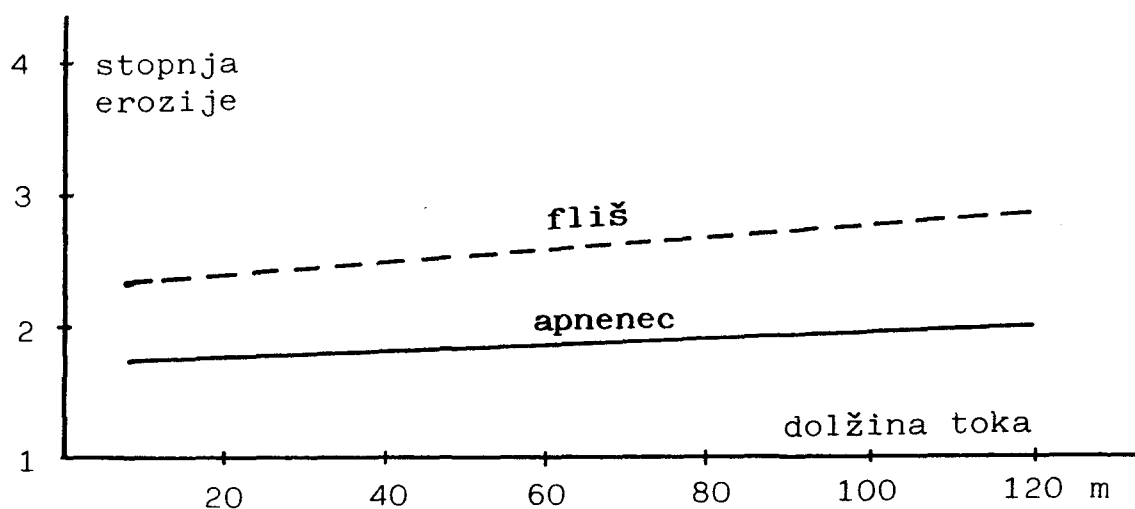


Diagram 4 Vpliv dolžine toka po vlaki na erozijo

Vidimo, da na flišu narašča erozija hitreje - približno 0,5 stopnje na 100 m razdalje. Na apnencu je to komaj 0,2/100 m. Korelacija med velikostjo erozije in dolžino toka je največja od vseh analiziranih dejavnikov, vendar je tudi ta razmeroma šibka ($R = 0,4 - 0,6$).

3.2.9 Obraslost in erozija

Stopnja obraslosti je v tesni korelaciji ($I=0,7 - 0,9$) s stopnjo erozije in je skoraj enaka (glej diagram 1), s tem da mali eroziji (st. 1) ustreza popolna obraslost (st. 1).

Vpliv obraslosti (intenziteta obraslosti, vrsta kulture ipd.) na erozijo oziroma izpiranje z neke površine je splošno znan. Erozijska je funkcija obraslosti.

Na vlaki gre proces drugače. Ob gradnji vlake razgalimo tla in zdrobimo ali vsaj razrahljamo zemljo. Z vožnjo po vlaki napravimo kolesnici in koriti in s tem ustvarimo pogoje za erozijo. Z gradnjo vlake pa smo obenem "obdelali" površino in največkrat ustvarili ugodnejše pogoje za rast na vlaki kot pa na "neobdelani" površini pred gradnjo vlake. Vlaka se začne obraščati in se v splošnem zelo hitro obraste. Obraslost vlake kaže, da se je profil umiril in se je erozija končala ali se je vsaj zelo zmanjšala.

Oba procesa potekata hkrati, vzporedno in v nekem smislu konkurenčno. Nanju vplivajo isti dejavniki. Tudi istosmerno. Zato je na vlaki težko presojati kaj je vzrok in kaj posledica. Dokler se profil ne ustali, se tudi ne more obrasti. Ko pa je obraščen je zagotovo bolj odporen proti eroziji.

Povzamemo lahko, da sta tako stopnja erozije kot obraslost profila kazalca delovanja različnih dejavnikov in bolj odvisna od le-teh kot pa drug od drugega.

4 RAZPRAVA

KOSTADINOV (1985) označuje erozijo kot spiranje in spodrivanje zemljišča in včasih tudi geološke podlage pod vplivom površinskega odtekanja vode. Odvisna je od klime (vrsta, količina in intenziteta padavin, temperatura, vetrovi), reliefa vegetacije, geološke podlage, antropogenih in drugih vplivov.

Erozijo na vlakah kaže obravnavati kot globinsko, jarkasto (brazdasto) erozijo. Začne se z brazdo, malim jarkom, kolesnico, ki ostane za traktorjem. Kako daleč se bo omrežje vlake spremenilo in koliko se bo približalo hudourniškem povirju, je odvisno od vrste dejavnikov. Nekatere od njih smo obravnavali v tej raziskavi.

Z erozijo odnaša voda zemljo in drug material, katerega odpornost je manjša od erozijske sile vode. To je eden od pogojev erozije. Zemlja oziroma material (hrbina) mora biti v takem stanju (odkrit, preperel, zrahljan, razdrobljen), da je njegova odpornost zmanjšana. Na vlakah to dosežemo največkrat že z izgradnjo vlake. Odpornost delcev tal proti odnašanju narašča s kubom njihovega premera, sorazmerno z njihovo gostoto in obratnosorazmerno z naklonom podlage.

Erozijska sila vode narašča (KOSTADINOV 1985) sorazmerno z njeno količino, hitrostjo in gostoto. Eksaktne in enovite zveze (obrazca) med temi količinami zaradi različnih oblik in gostot delcev, načina prenosa (lebdeči in vlečeni ipd.) ni, zato je mnogo izkustvenih obrazcev, ki ustrezajo določenim opredeljenim okoliščinam. Po enem takih obrazcev (AIRY - po Kostadinovu 1985) narašča masa delca, ki ga voda lahko premika, (vleče) s šesto potenco hitrosti vode ($M = av^6$).

Hitrost vode je odvisna od naklona in ovir na poti (gola, gladka površina, različne vrste in intenzivnosti obraslosti, stelja ipd.). Ker so ovire ob višjih vodah relativno manjše, vpliva na hitrost vode posredno tudi količina. Prav tako pa tudi hitrost odtekanja vpliva na količino (koncentracijo) vode v določenem profilu, kjer se voda zbira s širšega območja. O tej problematiki je veliko literature s hudourniškega področja (JEVTIĆ 1962, KONSTANTINOV 1985, 1988 in dr.).

Na količino vode vpliva največ klima, geološka podlaga, v veliki meri pa tudi gozd. Najpomembnejša komponenta varovalne vloge gozda je ravno njegova sposobnost zadrževanja odtoka vode. To je celoten splet dejavnikov, ki odločajo o eroziji na vlakah.

Njihovo delovanje smo osvetlili tudi v naši raziskavi. Ugotovili smo zveze in značilne vplive dejavnikov kot so nagib pobočja in vlake, ki sta v bistvu povzročitelja hitrosti vode. Dolžina toka vode po vlaki (razdalja pod izlivom) je v bistvu kazalec količine vode. Vpliv kamenin je nazorno ugotovljen v razliki med apnencem in flišem. Pokazali smo tudi vpliv tipa omrežja vlak in položaj vlake v svetu. Vpliv vseh teh dejavnikov je v skladu s predvidevanji in naravnimi zakonitostmi. V naši raziskavi smo ovrednotili (kvantificirali) te dejavnike pa tudi obseg erozije, kot vsoto delovanja vseh dejavnikov.

V hudourništvu (KOSTADINOV 1985, 1988) pa tudi v drugih raziskavah o eroziji in koroziji zemljišča in hribine (GAMS 1967, KOLBENZEN 1979, KRANJC 1982), ugotavljajo in prikazujejo obseg erozije drugače. Največkrat kot količino plavine, ki jo voda v določenem časovnem obdobju (sekunda, leto) odnese z določene površine (porečje, km², ha). O tem imajo podatke za vse naše vodotoke. Poznajo tudi vzroke in dejavnike, ki na to vplivajo, le da je vpliv teh dejavnikov opredeljen v nekakem povprečju za obravnavano območje, običajno porečje. Tudi s takimi raziskavami ugotavljajo vpliv gradnje prometnic v gozdu (cest in vlak) na erozijo v nekem območju. Podatki takih raziskav kažejo, da primarno in sekundarno odpiranje gozda lahko nekajkrat poveča erozijo (LÖFLER 1974, CHERNYSHOV 1981, KREŠL 1978 in dr.).

Večina prizadevanj pri raziskovanju vpliva kolesa (zbijanja, trganja, poškodovanja) na tla je v novejšem času posvečena spremembam v tleh in vzrokom (dejavnikom) teh sprememb. Eden od ciljev teh raziskav je tudi ugotavljanje zakonitosti - zvez med vzrokom in posledico - ki bi služile pri konstruiranju novih strojev za delo v gozdu, ki bi bili za gozd bolj prizanesljivi pa kljub temu še vedno gospodarni. Te raziskave obravnavajo drugačno dimenzijo problema, kot naša.

Eden od ciljev naše raziskave je bil tudi ugotovitev najnižjih naklonov vlake, pri katerih erozije še ni ali pa je zanemarljiva. Gre za določitev največjega dopustnega naklona vlake v danih okoliščinah. O tem je v literaturi veliko podatkov (npr. DOLEŽAL 1984).

Na podlagi naše raziskave bi težko dali preprost recept o največjih dopustnih vzponih vlak. Na apnencu praktično omejitve vzponov zaradi erozije niso potrebne. Podlaga za to trditev ni v tem, da na apnencu ni erozije, pač pa v tem, da na apnencu zaradi lastnosti podlage (vertikalni odtok vode) ne prihaja do koncentracij vode. Erozijo tu povzroča le kolo traktorja in le izjemoma (na daljših zemeljskih vložkih, ki pa so praviloma položni) voda.

Na nepropustnih podlagah (fliš) je zadeva drugačna. Tu nastopa lahko velika erozija tudi pri majhnih naklonih vlake - okoli 5 %. Gre za vzajemno delovanje naklona vlake (hitrosti vode) in njene koncentracije. Tako smo ugotavljali veliko erozijo (celo 5. stopnje) na slojnični vlaki, ki je bila pod na novo posajeno površino in skoraj nobene erozije na razmeroma strmih grebenastih vlakah. Tudi dejstvo, da je erozija večja v "spodnjih tokih" vlak, ki so velikokrat položnejše kot zgoraj, govori o prevladujočem vplivu koncentracije (količine) vode. V takih ugotovitvah je vprašljivo omrežje položnih in vzporednih pobočnih vlak, ki so druga nad drugo. Te vlake so vedno vkopane.

Prestrezajo vodo s pobočja. Voda nekaj časa teče po njih in se nato, navadno kot manjši potok, zlije na sosednjo spodnjo vlako.

V takih pogojih je vsekakor najpomembnejše preprečevanje koncentracije vode na vlaki. Zlasti je to pomembno v klimatih z obilnimi padavinami in kjer so običajni pogosti nalivi z veliko intenziteto padavin.

Koncentracijo vode na vlakah preprečujemo na različne načine, najučinkoviteje s smiselnim trasiranjem vlak.

Tako razmišljanje pa nas vodi k spravi po padničnih vlakah, ki niso vkopane - so na vrhu, do maksimalnih zmogljivosti traktorja. Drugi pogoj pa je delo v takem vremenu (zmrzlo, suho), ko je nosilnost tal dovolj velika in ne nastajajo kolesnice. To je ideal, ki ni nikoli popolnoma dosegljiv. Res pa je, da tak koncept pelje k veliko manjšemu obsegu gradnje (kopanja) vlak. In res je tudi, da delo v najslabših pogojih (mokro, blato) ne daje primernih učinkov in je nesorazmerno drago.

5 POVZETEK

Na flišni (Brkini, Dletvo) in apneni (Leskova dolina, Snežnik) podlagi smo ugotavljali erozijo na traktorskih vlakah in dejavnike, ki jo povzročajo. Erozijo smo ugotavljali na dva načina:

1. Z večkratnim merjenjem izbranih istih prečnih profilov v obdobju 2 let po izgradnji vlake in spravila lesa.
2. S popisovanjem in merjenjem velikega števila (skoraj 300) profilov na različnih vlakah. Vlake smo izbirali tako, da smo čim bolj zajeli pestrost reliefa, tal in geološke podlage. Upoštevali smo tudi starost vlake.

Raziskava je dala naslednje najzanimivejše ugotovitve.

1. Na velikost erozije na vlakah najbolj vpliva geološka podlaga s svojo trdoto (erodibilnostjo) in vodopropustnostjo. Razlika med erozijo na flišu in apneni podlagi so velike. Kažejo se v velikosti, intenzivnosti in obliki erozije. Maksimalna erozija na apnencu je 0,30-0,35 m³ hribine na 1 m vlake. Na apnencu se vzpostavi ravnotežje in erozija preneha. Na flišu smo izmerili maksimalno erozijo skoraj 0,9 m³ odnešene hribine z 1 m vlake. Erozija se tu ne zaustavi temveč upočasni, ko spere do trde podlage.
2. Preoblikovanje profila vlake se začne z vožnjo po njej. Vtisneta se kolesnici, breme (hlodi) pušča za seboj sled. V tej fazi se hribina premika prečno. Posuje se brežina in vlaka se zasipa. Odnášanje materiala z erozijo še ni opazno.

V nadaljevanju se začne erozija. Opazne so brazde in kratki vodni tokovi. V tej fazi odnese voda z vlake 0,10 - 0,12 m³ materiala z 1 m vlake oziroma 0,10 - 0,12 m² profila

vlake. V naslednji stopnji se kolesnici spremenita v vodotoka. Voda teče po kolesnicah že v daljših (do 100 m) potegih. V tej fazi voda odnese že okoli $0,25 \text{ m}^2$ profila.

Če se ne vzpostavi ravnotežje med odpornostjo podlage in erozijsko silo vode, kar je običajno povsod na apnencu, na flišu pa le če odvedejo vodo z vlake, se erozija nadaljuje. Kolesnici se poglabljata, končno se združita in na vlaki nastane le en jarek.

3. Erozijsko povečujejo vsi dejavniki, ki povečujejo hitrost in količino vode na vlaki. Hitrost povečuje vzdolžni naklon vlake in posredno tudi količina vode. Količina vode pa povečuje intenziteta in dolžina padavin, nepropustnost geološke podlage, vlažnost kakovost tal, naklon pobočij, tip omrežja vlak, obraslost tal, predvsem pa dolžina toka vode po vlaki in še drugi faktorji.

V naši raziskavi smo ugotovili značilne korelacije med erozijo in večino zgoraj naštetih dejavnikov. Bolj izrazite so te povezave na flišu. Na apnencu so zaradi pretežno vertikalnega odtoka vode korelacije bolj zamegljene.

Zaradi pogoste medsebojne interakcije dejavnikov, ki različno vplivajo na hitrost ali količino vode (n.pr. prečna ali slojnična vlaka zmanjšuje hitrost, povečuje pa količino vode) je interpretacija vpliva posameznega dejavnika otežena.

Raziskava dopušča domnevo, da na erozijsko odločnejše vplivajo dejavniki, ki povečujejo količino in koncentracijo vode. To je zlasti dolžina toka vode po vlaki. Zaradi prevladujočega vpliva količine vode je najmanjša erozija na vzporednih vlakah, večja pa na prečnih in slojničnih, čeprav so manj strme od padničnih.

4. Promet po vlaki veča erozijo. Erozija je večja na vlakah, kjer vlačijo navzgor. Zlasti pa vpliva na erozijsko pogostost prometa (stalna, vsakoletna raba vlake), ki preprečuje, da bi se vlaka obrasla in tako stabilizirala.

5. Zaradi interakcije hitrosti in količine vode ni možno določiti maksimalnih dopustnih vzponov vlak glede na erozijo. Kjer ni koncentracij vode (kras, grebenske vlake) so lahko vzponi neomejeni. Na nepropustnih podlagah in ob velikih koncentraciji vode (žilnato omrežje vlak) pa je lahko največja erozija že pri padcih 5-8 %.

6. V običajnih okoliščinah, zlasti na apnencu se vlaka hitro (1-2 leti) stabilizira (uravnoteži) in obraste. Zato je največji del (okoli 90-95 % - ocena) vlak obraslih in umirjenih. Erozijske tu ni.

7. Najučinkovitejši ukrep proti eroziji na vlaki je tako delo pri katerem ne odkrivamo in rahljamo hribine (gradnja vlak) ter onemogočamo koncentracijo vode (zgrajene vlake, kolesnice). V tej luči je smotrnejše do maksimalnih vzponov trasirati vlake, ki jih ni treba graditi (vkopavati). Delo v suhem ali mrzlem vremenu, ko imajo tla večjo nosilnost, preprečuje nastanek kolesnice.

SUMMARY

SKID TRAILS AND EROSION

The extent of erosion on skid trails running on flysch (Brkini, Dletvo) and limestone (Leskova dolina, Snežnik) and factors that affect this process were studied. Two methods were used for this purpose:

1. Repeated measurement of the same selected transverse profiles in the course of two years after the construction of skid trails and their utilization for skidding.
2. Description and measurement of a great number (almost 300) of profiles of different skid trails, which were selected so as to include, as much as possible, the diversity of relief, soil and parent rock. The age of skid trails was also taken into account.

The most interesting findings of the study are as follows.

1. The extent of erosion occurring on a skid trail depends mainly upon the degree of firmness of parent rock (its erodibility) and upon its waterholding capacity. There is a significant difference between erosion on flysch and limestone with regard to its extent, intensity and type. Maximum extent of erosion on limestone is $0.30-0.35 \text{ m}^3$ of soil loss per 1 m of skid trail.

When this level is reached, equilibrium is established and erosion comes to a halt. On flysch, however, the maximum erosion was found to be almost 0.9 m^3 of soil loss per 1 m of skid trail, and even then the process did not stop; it only slowed down when hard terrain was reached.

2. The profile of a skid trail starts changing as soon as logging traffic begins. The skid trail becomes rutted and marks are imprinted by loads (logs). At this stage, soil is shifted sideways to cover the slope and fill up the skid trail. Erosional process is not yet evident.

Erosion sets in when furrows and short waterflows appear. At that time water shifts away $0.10-0.12 \text{ m}^3$ of material per 1 m of skid trail, or $0.10-0.12 \text{ m}^2$ of its profile. Then the two ruts change into two waterflows that can be as long as 100 m. By this stage water has shifted away about 0.2 m^2 of the profile.

If an equilibrium between the resistance of parent rock to erosion and the erosive action of water is established, as is usually the case with limestone, then erosion comes to a halt. On flysch, however, erosional process continues, unless water is removed from the skid trail. The two ruts become increasingly deeper until they join to form a ditch.

3. Erosion is affected by all agents that increase the velocity and volume of water along a skid trail. The velocity is dependent upon the gradient of a skid trail and, indirectly, on the volume of water, which is in turn affected by the intensity and duration of precipitation, water holding capacity of soil, humidity and quality of soil, slope gradient, type of skid trail network, soil cover, and particularly by the length of waterflow along a skid trail.

The results of this study indicate a characteristic correlation between erosion and most of the aforementioned factors. The correlation is more significant on flysch than on limestone, as water runs off, in the main, vertically in the latter case.

There is a frequent interaction of these factors, which have a diverse effect on the velocity or volume of water. For example, a transverse type of skid trail decreases the velocity of water but increases its volume. Therefore, an identification of the effect of individual agents encounters some problems.

Within the context of this study, however, it is assumed that erosion is, to a greater extent, affected by agents that increase and concentrate the volume of water and hence determine the length of waterflow along a skid trail. Because the volume of water is the crucial factor, skid trails that run parallel to the slope are subjected to erosional processes to a much lesser extent than transverse skid trails although the latter are less steep than the former.

4. The extent of erosion correlates with the use of a skid trail. It is greater on trails used for uphill skidding, and especially it is affected by the frequency of traffic (permanent, every year), which makes it impossible for a skid trail to become overgrown and, hence, stabilized.

5. On account of the interaction between the velocity and volume of water, the maximum permissible gradient of a skid trail as regards erosion cannot be determined. If there is no concentration of water (karst, mountain ridges), there is no gradient limit. If the ground is impermeable and if there is a high concentration of water (a branched network of skid trails), erosion can attain its highest level even on a slope with a gradient of 5-8 %.

6. Under normal circumstances, and particularly on limestone, a skid trail normalizes quickly, that is in 1-2 years, as it becomes overgrown. Therefore, most of them (approx. 90-95 %) are overgrown and their condition is stabilized. There is no erosion there.

7. The most efficient measure to be taken to limit erosional processes on skid trails is to ensure that soil is neither uncovered nor loosened (when a skid trail is built) and to prevent any concentration of water (on established skid trails and on ruts). It is recommended that skid trails be laid out on a maximum gradient and that they run, if possible, on the surface without destroying the upper layer of the soil. If work is carried out in dry or cold weather when soil carrying capacity is relatively high, then the formation of ruts is averted.

REFERENCE

- BECKER, G. in sod., 1986. Bodenkultur und Wurzelschäden durch Befahren von Waldbeständen. *Der Forst.v.Holzwirt* 41,14.
- CHERNYSHOV, V.V., 1981. Mechanized methods of establishing forest stands on slopes in USSR. XVII Kongres IUFRO, Kyoto.
- DŽEKOVIĆ, V., 1986. Istraživanje morfološkog razvoja malih vodotoka u prirodnom stanju i uslovima izvedene regulacije. Magistrsko delo, Šumarski fakultet Beograd.
- DOLEŽAL, B., 1984. Štete u šumi izazvane primenom mehanizacije. Jugosl. privr. šumarski centar, Beograd.
- GAMS, I., 1967. Faktorji in dinamika korozije na karbonatnih kameninah slovenskega dinarskega in alpskega krasi. *Geografski vestnik*, Ljubljana, 38, s. 11-68.
- GÖTZ, R., 1985. Waldbodenzerstörung durch moderne Rucketechnik und Möglichkeiten der Gegensteuerung. *AFZ* 40-41, s. 1083.
- HASSAN, A.E., 1988. Mjerni postupci pri istraživanju šumskih zglobnih traktora. Predavanje, polikopija Šumarski fakultet, Zagreb.
- HILDEBRAND, E.E., WIEBEL, M., 1982. Bodenpflegliche Breitreifen ?
- HILDEBRAND, E.E., WIEBEL, M., 1986. Zur Bedeutung des Bodenschaden durch Befahrung. *AFZ* 25-26 s. 617-622.
- HORVAT, D., 1990. Predviđanje vučnih karakteristika šumskog zglobnog traktora - skidera. *Mehanizacija šumarstva* 15, s. 113-119, Zagreb.
- KARDELL, L. in sod., 1978. Massnahmen gegen Gleisbildung und Reisig bei der Holzernte in Erholungswäl. *Forsttehn.Inform.* 30,6.
- KOLBENZEN, M., 1979. Transport hribinskega materiala po potokih vzhodnega in jugovzhodnega Pohorja kot posledica erozije tal. *Geografski vestnik* 51, s. 73-82.
- KOSTADINOV, S., 1985. Istraživanje režima nanosa u bujični tokovima zapadne i jugoistočne Srbije. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet, Beograd.
- KOSTADINOV, S., 1988. Hidrološke karakteristike jednog bujičnog poplavnog talasa. *Glasnik Šumarskog fakulteta Beograd*, s. 37.
- KRANJC, A., 1982. Erozija v porečju Pivke. *Geografski vestnik* 54, s. 9-17.

- KRAPFENBAUER, A. 1977. Der forstliche Standort und dessen Belastbarkeit. Allg. Forstztg. 88, s. 332-335.
- KREŠL, J., 1978. Vpliv lesni dopravi site na vodni režim lesa. Lesnictvo 24, s. 567-580 (po Forstl.Umschau 22,1979,1).
- KRPAN, A.P.B., 1983. Utjecaj vlage tla na prohodnost traktora v nižinskim šumama Posavine. Mehanizacija šumarstva v teoriji i praksi, Zagreb.
- LÖFLER, H., 1974. Funktionen und Möglichkeiten der Walderschliessung. Forstwis. Ctbl., 3, s. 135-142.
- MRAZK, K., 1981, Vysledky vyzkumu vodniho režimu lesnich pud. Lesnictvi 27,8, s. 727.
- REBULA, E., 1978. Vlake v gozdu. Gozdarski vestnik 36, s. 372-386.
- SCHWARZ, O., 1979. Abfluss und Bodenabtrag im Wald. Allg. Forst.v. Jagdztg. 150,9.
- SEVER, S., 1980. Istraživanje nekih eksploatacijskih parametara traktora kod privlačenja drva. Disertacija, Šumarski fakultet, Zagreb.
- TUŽINSKY, L., 1978. Prispevok k otazke vplivu lesneho porostu na dynamiku podnej vlhkosti a vodny režim pody. Lesnicki časopis 24,4.
- WÄSTERLUND, I., 1988. Skelet šumskog tla ograničavajući činitelj prijenosa sila sa šumarskih strojeva na podlogu. Predavanje, polikopija, Šumarski fakultet, Zagreb.
- ZDJELAR, M., 1990. Utjecaj metoda gradnje traktorskih vlaka na proizvodnost i ekonomičnost rada, oštećivanja stabala i naprezanje radnika. Mahanizacija šumarstva, Zagreb, 15, s. 3-29.