

Dynamics of development of erosion processes on skid roads – skid trails of different longitudinal inclination

Dinamika razvoja erozionih procesa na traktorskim putevima – vlakama različitog uzdužnog nagiba

Muhamed Bajrić^{1,*}, Dževada Sokolović¹, Adnan Hodžić², Jelena Knežević¹, Jusuf Musić¹

¹ Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu

² ŠGD "Hercegobosanske šume" d.o.o. Kupres

ABSTRACT

Skid roads form the secondary network of forest transport infrastructure. These are temporary facilities whose primary role is to attract forest wood assortments with the help of tractors or animals to the truck road. Erosion of forest roads and skid roads/trails is one of the most significant problems in forest management, due to its ability to cause adverse effects on the environment. Sediment transported to streams from forest roads and skid roads/trails lead to negative consequences for water quality and aquatic life. During the construction of skid roads/trails, no track construction is made, as well as drainage facilities, and they also have relatively large longitudinal slopes, which creates preconditions for the occurrence of erosion processes caused by surface runoff. In all cases, erosion processes of different intensities were registered at the investigated localities, where the amount of material removed ranged from 1.278 m³, or 0.0116 m³/m to 5.313 m³, or 0.0483 m³/m. Also, the investigated correlation relationship for the linear model between the volume of the removed material and the length of the skid roads of different slopes ranged from $r = 0.29$ (weak correlation) to $r = 0.79$ (very strong correlation).

Keywords: water erosion, skid roads/trails, tracks, mechanization, longitudinal slope.

INTRODUCTION – Uvod

Traktorski putevi/vlake su najčešći način sekundarnog otvaranja šuma u BiH. Iako su današnji zahtjevi društva prema šumarstvu različiti i često sa izraženim kritičkim stavovima, pa i kada je u pitanju mreža šumskih komunikacija, potreba za gradnjom kako primarne tako i sekundarne mreže stalno je prisutna (Bajrić, 2012). Gotovo u svim slučajevima gradnje i eksploatacije traktorskih pu-

teva/vlaka dolazi do pojave erozionih procesa različitog intenziteta. Aktivnosti na sječi šuma mogu uzrokovati oštećenja i poremećaj tla kroz zbijanje, stvaranje kolo-traga i miješanje tla. Također utiču na strukturu i funkcije tla te na produktivnost šuma (Toivio et al, 2017).

Traktorski putevi/vlake su privremeni objekti koji se izgrađuju prvenstveno radi eksploatacije osnovnog šumskog resursa – drveta. Za gradnju traktorskih puteva/

* Corresponding author: Muhamed Bajrić, Šumarski fakultet, Univerzitet u Sarajevu m.bajric@sfsa.unsa.ba

vlak u šumarstvu BiH ne izrađuju se posebni projekti, već predstavljaju sastavni dio Izvedbenih projekata koji se rade na nivou pojedinačnih šumskih odjeljenja (Bajrić, 2012). Gradnjom traktorskih puteva/vlaka se narušava prirodna stabilnost površinskih slojeva zemljišta, a vrlo često dolazi do narušavanja i samog matičnog supstrata čime se stvaraju preduslovi za početak djelovanja erozijskih procesa

Prilikom izgradnje traktorskih puteva/vlaka ne izrađuje se kolovozna konstrukcija, kao ni objekti za odvodnju, pri čemu iste imaju i relativno velike uzdužne nagibe, što stvara preduslove za pojavu erozijskih procesa uzrokovanih vodom (Bajrić, 2012, Bajrić i Sokolović, 2015, Bajrić i drugi, 2021). Privlačenje drveta traktorom je najštetnije za površinu tla, posebno ako su traktorski putevi/vlake izgrađene buldozerom (Byblyuk et al, 2010). Osnovni zadatak traktorskih puteva/vlaka je da omogućiti kretanje šumske mehanizacije pri privlačenju drveta.

Korištenje mehanizacije omogućuje visoku produktivnost ali također može ozbiljno oštetiti šumsko tlo (Cambi et al, 2015). Gaženjem tla, njegova se gustoća više ili manje povećava, a propusnost za vodu zbog eliminacije krupnih pora smanjuje (Krpan i drugi, 1993). Sječa šuma je praćena negativnim uticajem koji se najčešće odlikuje zbijanjem tla kao posljedica kretanja mehanizacije (Cambi et al, 2015; Picchio et al, 2020; Jourgholami et al, 2021). Zbijanje gornjeg sloja tla i izmjena morfologije tla ključni su neposredni učinci sječe šuma koja se provodi upotrebom teške opreme, a posebno izraženi kroz formiranje kolotruga. Također ista ima dramatične posljedice u smislu oticanja i erozije najplodnijeg dijela tla (Cambi et al, 2015). Ozbiljniji negativan uticaj na tla u šumama uzrokovan je uvođenjem teške mehanizacije u sektor šumarstva. Ovi poremećaji tla povećavaju uticaj kišnih kapi na golo mineralno tlo, smanjuju brzinu infiltracije, odvajaju čestice tla i ubrzavaju površinski oticaj (Jourgholami et al., 2021). Veće razmjere negativnog uticaja na tlo imaju mehanizovana sredstva koja izvlačenje drveta vrše neposredno po tlu, kao što su skideri (Picchio et al, 2020). Kretanje skidera uzrokuje nastanak kolotruga i pomjeranje tla zbog slabe strukture u gornjim slojevima traktorskih puteva/vlaka (Eliasson, 2005). Kada se proces privlačenja odvija preko istog mjesta, nosi se mineralno tlo i formiraju se kanali osjetljivi na eroziju koji mogu uzrokovati ozbiljne probleme tokom obilnih padavina (Turk & Yildiz, 2019). Vodna erozija uzrokuje ozbiljna oštećenja, posebno na kolotrazima traktorskih puteva/vlaka (Naghdi et al, 2012). Erozijska na traktorskim putevima/vlakama je potencijalno više zabrinjavajuća nego sa šumskih kamionskih puteva jer isti imaju niže standarde izgradnje (Vinson et al, 2017). Jedna od najvećih prepreka za prirodni

oporavak tla na traktorskim putevima je erozija (DeArmond et al, 2021). Nakon padavina oticanje vode u kolotrazima uzrokuje eroziju tla, usljed čega se stvaraju i nose sedimenti (Naghdi et al, 2010, Bajrić, 2012). Erozijska je česta pojava kod svih neasfaltiranih puteva, posebno kod jakih kišnih nepogoda i puteva sa strmim nagibom (Wang et al, 2021). Osim taloženja, rizici povezani s kretanjem sedimenta, mogu uzrokovati degradaciju kvalitete vode transportom sedimenta u potoke (Grace, 2006). Šumski kamionski putevi i traktorski putevi/vlake mogu uzrokovati značajno povećanje površinskog oticanja i prinosa sedimenta, posebno kad su tla ogoljena i uz visoku frekvenciju kretanja mehanizacije (Solgi et al, 2019), pri čemu se negativan efekat smanjuje uz izgradnju objekata za preusmjeravanje površinskih voda (Solgi et al, 2021). Ukoliko se traktorski putevi/vlake ne saniraju nakon završenih radova na eksploataciji šuma skoro je izvjesno intenziviranje erozijskih procesa (Bajrić, 2012). Erodiranje kolotruga se nastavlja nakon završetka radova na sječi, formiraju se kanali koji ubrzavaju eroziju, što uzrokuje teške i skupe radove sanacije (Wade et al, 2012).

Projektovanje traktorskih puteva/vlaka uz odgovarajuće standarde smanjuje štete na tlu (Naghdi et al, 2010; Bagheri et al, 2012).

O značaju proučavanja erozijskih procesa na traktorskim putevima/vlakama jasno ukazuju brojne studije i naučno-istraživački radovi koji su provedeni od strane više istraživača (Meghatan and Kidd, 1972; Jeličić 1983, 1990; Rebula 1991; Krpan i drugi, 1993; Tomašić, 1994; Pičman i Pentek 2001, Sasaki 2004, Eliasson 2005; Bajrić 2012, 2015, 2021; Grace 2006; Grushecky et al, 2007; Elliot et al, 2009; Naghdi et al, 2012; Bagheri et al., 2012; Turk & Yildiz, 2019; Solgi et al., 2019; DeArmond et al, 2021; Jourgholami et al, 2021 i drugi istraživači).

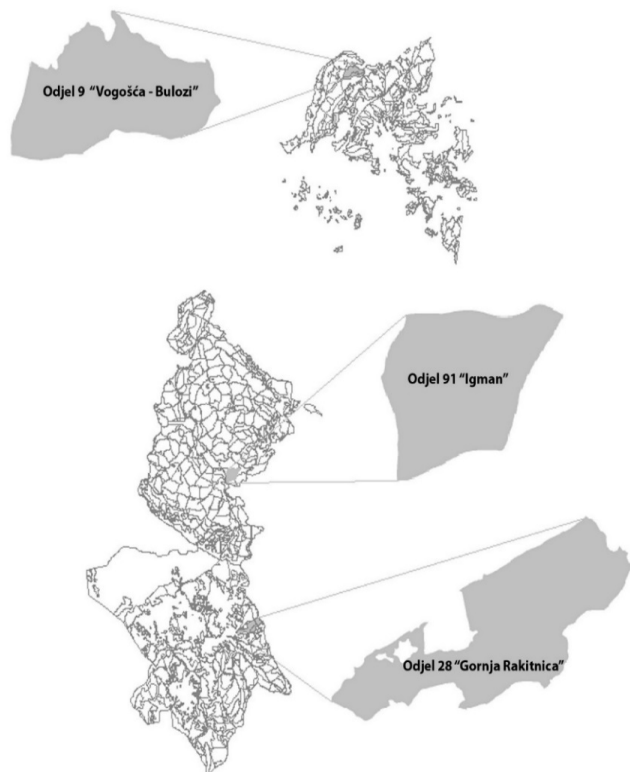
Cilj rada je da problematiku pojave erozijskih procesa na traktorskim putevima/vlakama aktualizira i naglasi značaj iste u okviru šumarske operative BiH u kojoj dominira ovakav vid sekundarnog transporta.

STUDY AREA - Područje istraživanja

U svrhu provođenja predviđenih terenskih istraživanja, postavljene su eksperimentalne plohe na traktorskim putevima/vlakama u tri šumska odjela koji se nalaze na području kojim gospodari KJP "Sarajevo šume" – Sarajevo. Odabrani lokaliteti se odlikuju specifičnostima kroz izraženu orografiju terena, bogatstvo prirodnim mješovitim šumama, relativno veliki raspon nadmorskih visina na kojima se nalaze, izražena hidrografska mreža (odjeljenja 9 i 28), kao i različitosti geološke i pedološke

podloge. Položaj odabranih odjela u gospodarskim jedinicama prikazan je na slici 1.

Istraživanje je izvršeno na sljedećim lokalitetima: GJ “Vogošća – Bulozi”, Odjeljenje 9, GJ “Gornja Rakitnica”, Odjel 28, GJ “Igman”, Odjel 91.



Slika 1. Položaj lokaliteta istraživanja unutar gospodarskih jedinica

Figure 1. Location of research sites within economic units

Šumsko odjeljenje 9, ima površinu od 67,2 ha i sastoji se iz dva odsjeka, pripada brdskoj šumi bukve i hrasta kitnjaka sa običnim grabom. Nalazi se na nadmorskoj visini 790 do 1250 m, sa nagibom terena 25 – 85% (prosječni nagib terena iznosi 49,4%). Ukupna dužina traktorskih puteva/vlaka iznosi 4.390 m odnosno (65,3 m/ha). Preovladavajuće ekspozicije terena su južna, jugoistočna i jugozapadna. Zemljište je distrični smeđi kambisol (distrični kambisol), a matični supstrat čine kisele silikatne stijene u vidu lapora, rožnjaka i verfenskih pješčara, fliševi (Izvedbeni projekat za šumsko odjeljenje 9, 2008).

Šumsko odjeljenje 28, ima površinu od 64,3 ha i sastoji se od tri odsjeka. U šumskom odjeljenju najveću površinu zauzimaju šume bukve i jele sa smrčom na dubokim smeđim zemljištima na jurskom flišu (dvije trećine od ukupne površine). Odjel 28 se nalazi na nadmorskoj visini 1190 do 1600 m, sa nagibima terena od 10% u donjim dijelovima odjela i preko 100% na gornjoj granici odjela (srednji

nagib je 45,5%) . Ukupna dužina traktorskih puteva/vlaka iznosi 3.003 m (46,7 m/ha). Preovladavajuće ekspozicije u odjelu su zapadne, sjeverozapadne i sjeverne. Zemljište je distrični smeđi kambisol (distrični kambisol), a matični supstrat karakteriše heterogenost matičnog supstrata gdje se mogu evidentirati krečnjaci, dolomiti, jurski fliš (Izvedbeni projekat za šumsko odjeljenje 28, 2008).

Šumsko odjeljenje 91, ima površinu od 45,1 ha i sastoji se od jednog odsjeka kojeg čine šume jele i smrče i smrče (jele) na krečnjačkim i krečnjačko-dolomitnim zemljištima. Nadmorske visine u odjelu 91 kreću se između 1.200 i 1.400 m, sa nagibima terena od 10% u donjim dijelovima do 45% u srednjim i gornjim dijelovima odjeljenja (srednji nagib je 28,3%). Ukupna dužina traktorskih puteva/vlaka iznosi 2.750 m (61,0 m/ha). Preovladavajuće ekspozicije su zapadne i sjeverozapadne. Kada je riječ o zemljištu razvijeno je smeđe tlo na krečnjaku i dolomitu (kalkokambisol), a matični supstrat krečnjaci i dolomiti, sa dijelovima morenskog nanosa (Izvedbeni projekat za šumsko odjeljenje 90, 2008).

MATERIALS AND METHODS – Materijal i metode

Za predmetno istraživanje, odabrani su traktorski putevi/vlake koji su novoizgrađeni. Postavljene su eksperimentalne plohe u tri šumska odjeljenja. U svakom od šumskih odjeljenja odabrane su po tri dionice od 110 m, različitih uzdužnih nagiba (< 10%, 10 – 20% i preko 20%).

Na svim dionicama je izvršeno ukupno pet turnusa (faza snimanja) snimanja, na poprečnim profilima međusobnog razmaka od po 5 m. Za snimanje na poprečnim profilima je korištena nivelmanska letva koja je pomoću libele postavljena u horizontalni položaj, a zatim je na svakih 20 cm, mjereno vertikalno odstojanje od letve do nivoa terena (slika 2). Na svim eksperimentalnim ploham i pri svakom turnusu snimanja izvršeno je snimanje detaljnog nivelmana, pri čemu su sve tačke osigurane bočno uz trasu traktorskog puta/vlake kako bi se pri narednom turnusu snimanja osiguralo da se snimanje vrši na istoj poziciji (slika 3).

Prvo snimanje u svim slučajevima izvršeno je neposredno nakon izgradnje traktorskih puteva/vlaka, a prije početka radova na sječi i izvozu šumskih drvnih sortimenata. Dobiveni podaci su tretirani kao nulto, odnosno početno stanje. Drugi turnus snimanja proveden je neposredno nakon završetka radova na sječi i privlačenju šumskih drvnih sortimenata. Naredna tri turnusa snimanja su provedena u približno jednakim razmacima (4 – 5 mjeseci). Snimanje podataka je vršeno 4 – 5 dana nakon kišnog događaja.



Slika 2. Postupak snimanja vertikalne udaljenosti od letve do tla

Figure 2. Procedure for recording the vertical distance from the batten to the ground



Slika 3. Bočno osiguranje tačke snimanja

Figure 3. Side securing of the recording point

Sve tačke su osigurane na sredini snimljenog profila pobijanjem kočica (dužine 10 – 15 cm i oko 3 cm promjera) do nivoa terena, na osovini traktorskog puta/vlake.

Za potrebe istraživanja, snimljene su po tri dionice traktorskih puteva/vlaka u sva tri istraživana šumska odjeljenja. Snimanje je izvršeno u pet faza (turnusa snimanja). Na svakoj od odabranih dionica snimljena je dužina od 110 m, odnosno snimani su profili na 5 m distance. Snimljena su po 22 profila na svim dionicama, a na svakom od profila izmjereno je 15 ordinata (udaljenost od horizontalne letve do tla) za potrebe obračunavanja površina odnesenog materijala. Ukupno je u toku snimanja izvršeno mjerenje 14.850 ordinata.

Pored mjerenja koja su izvršena na svim profilima za sve ogleadne plohe prikupljeni su podaci o prosječnom uzdužnom nagibu, prosječnoj širini i azimutu.

Obračun dobivenih podataka izvršen je na način da su na osnovu snimljenih vertikalnih odstojanja od nivelmanske letve do nivoa terena, u aplikaciji AutoCAD nacrtani su poprečni profili i u odnosu na početno “nulto” stanje izračunate površine odnesenog materijala na tom

poprečnom profilu. Nakon obračuna površina, izvršen je izračun zapremina odnesenog materijala. Obračun zapremina vršen je u svim slučajevima u odnosu na početno, odnosno “nulto” stanje, po fazama snimanja (FII – FI, FIII – FI, FIV – FI i FV – FI), a zatim je izvršen obračun razlika zapremine odnesenog materijala između pojedinih faza snimanja. Nakon obračuna razlika zapremine odnesenog materijala, svi podaci predstavljeni su kroz statistički model kao pokazatelj jačine linearne veze promjenljivih x – dužine traktorskog puta/vlake i y – zapremine odnesenog materijala.

RESULTS AND DISCUSSION - Rezultati i diskusija

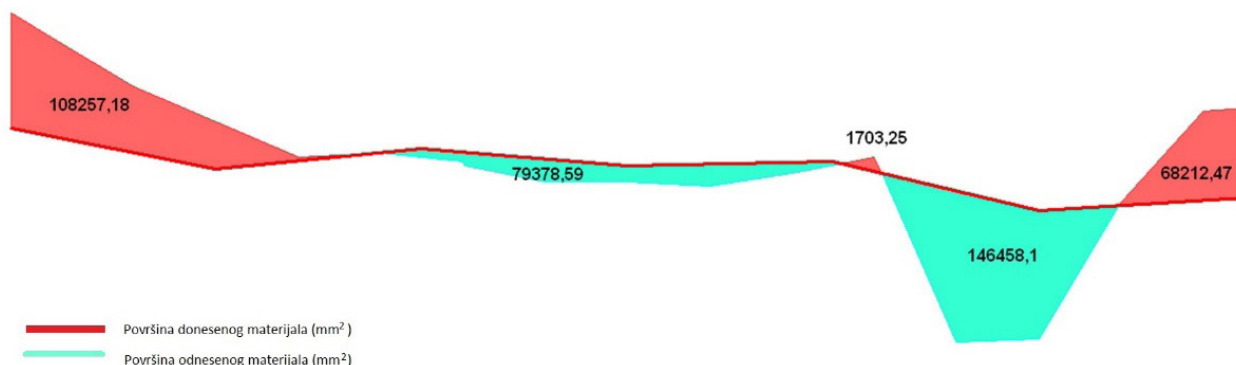
Kao posljedica provođenja radova na eksploataciji šuma (sječa, izrada i izvoz šumskih drvnih sortimenata), na istraživanim lokalitetima u svim slučajevima došlo je do pojave erozionih procesa na traktorskim putevima/vlakama. Krajnji rezultat provedenih analiza predstavljen je grafičkim prikazima, kao zavisnost zapremine odnesenog materijala (y osa) i dužine eksperimentalne plohe (x osa). Svi podaci su prikazani po pojedinačnim područji-

Tabela 1. Pregledna tabela osnovnih elemenata eksperimentalnih ploha

Table 1. Overview table of basic elements of experimental plots

	Šumsko odjeljenje 9			Šumsko odjeljenje 28			Šumsko odjeljenje 91		
	< 10%	10 – 20%	> 20%	< 10%	10 – 20%	> 20%	< 10%	10 – 20%	> 20%
Azimut eksp. ploha (°)	48	31	335	102	178	53	172	135	107
Prosječni nagib (%)	8,04	17,49	25,84	9,08	18,04	31,19	6,64	16,01	26,05
Prosječna širina (m)	3,75	3,40	3,35	3,90	3,25	3,40	3,70	3,80	3,40

Primjer izgleda poprečnog profila obrađenog u AutoCAD-u, prikazan je na slici 4.



Slika 4. Primjer izgleda poprečnog profila obrađenog u AutoCAD-u
 Figure 4. An example of the layout of a cross-section processed in AutoCAD

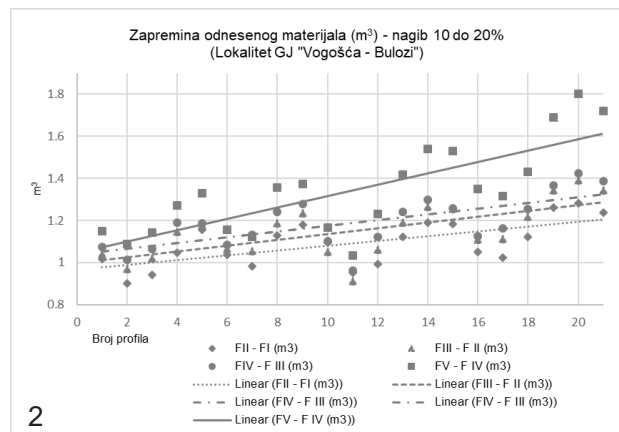
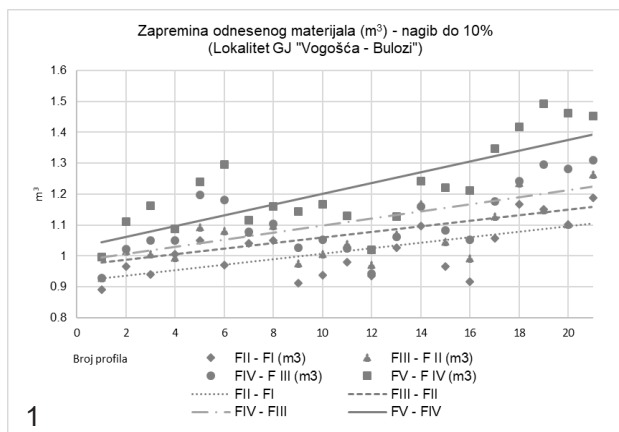
ma i karakterističnim nagibima (nagib do 10%, nagib 10 – 20% i nagib preko 20%) za slučajevodnošenja materijala za sve tri lokacije na kojima su postavljene eksperimentalne plohe kroz grafikone 1-9. Pored odnošenja materijala procesom erozije, na većini analiziranih profila došlo je do pojave donosa materijala, a najčešći razlog bio je bočno osipanje sa usječenog dijela profila.

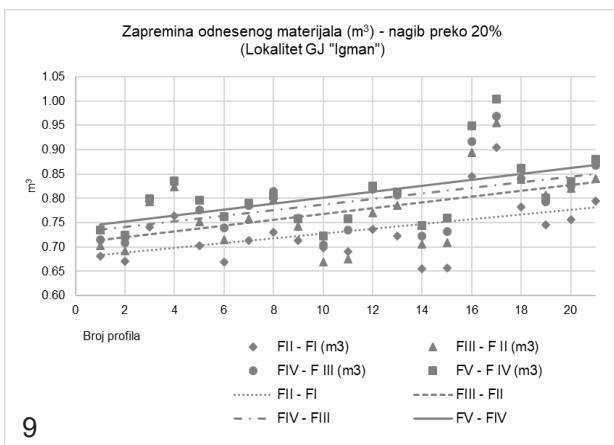
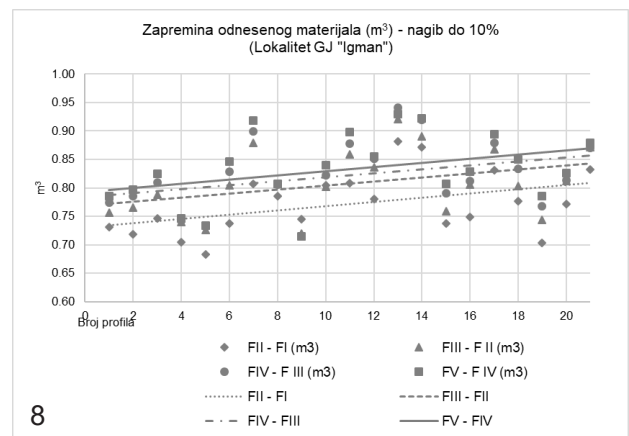
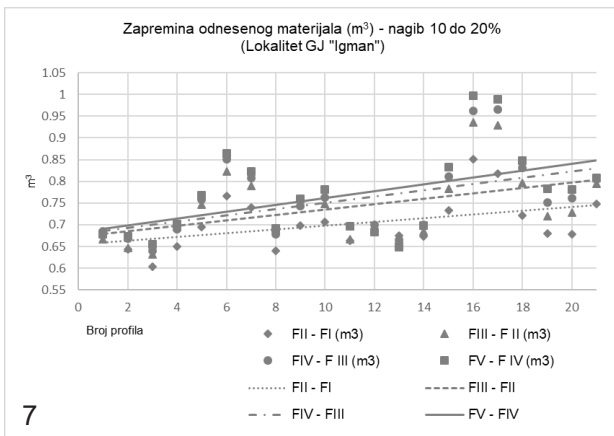
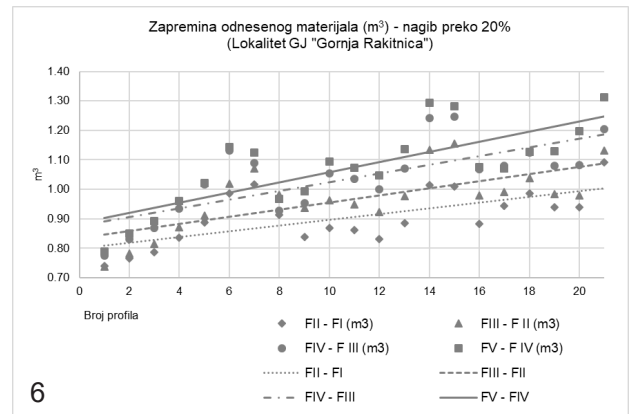
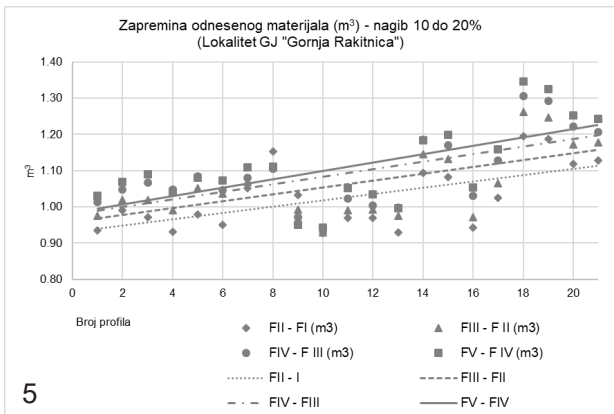
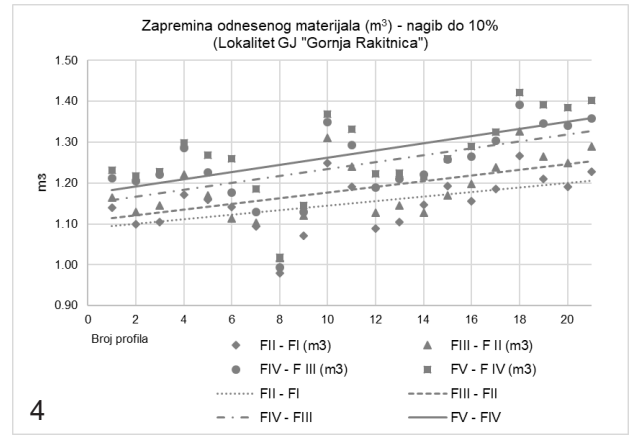
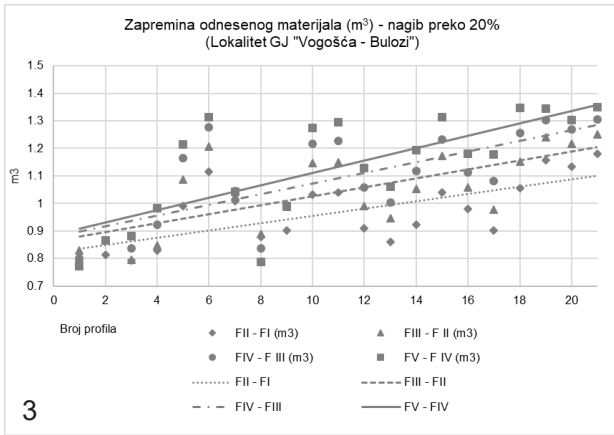
U radu nisu prikazani rezultati o zapreminama odnesenog materijala za razliku FII – FI iz razloga što se u tom periodu vršilo intenzivno kretanje mehanizacije uz privlačenje drveta, tako da u ovoj fazi pored erozionih procesa imamo i snažan uticaj mehanizacije na sabijanje, premještanje i druge procese koji nisu direktno vezani za eroziju zemljišta.

Intenzitet erozionih procesa na svim postavljenim eksperimentalnim ploham nije bio isti, razlikuje se od slučaja do slučaja, i zavisao je od brojnih faktora koji su u manjoj ili većoj mjeri uticali na sam proces erozije. Pokazala se kao opravdanom pretpostavka da će erozioni

proces biti izraženiji na traktorskim vlakama koje se grade pomoću mehanizacije, iz razloga što su iste uglavnom locirane na strmijim terenima gdje nije bilo moguće izvršiti samo prosijecanje linije privlačenja, već su se morali izvesti i određeni građevinski zahvati. Neposredno nakon što su građevinskom mehanizacijom izvršeni radovi na izgradnji trase traktorskog puta, primjećena je pojava erozionih procesa, u formi osipanja materijala sa usječenog dijela.

Analizom dobijenih grafika koji pokazuju količinu odnesenog materijala za određene nagibe po dužini traktorskih puteva, može se uočiti da na određenim profilima, na samom početku imamo značajno veće površine koje pri kasnijem obračunu zapremine daju veće podatke. Ova pojava je rezultat ekscenčnih situacija kod transporta drveta kada dolazi do intenzivnijeg propadanja točkova mehanizacije u tlo čime se povećava površina mjerena za odneseni materijal. Ipak se analizom može uočiti trend povećanja odnesenog materijala od viših ka nižim dijelovima traktorskog puta, kao i nešto





Grafikoni 1 – 9. Prikaz dinamike zapremine odnošenja materijala na istraživanim lokalitetima

Graphs 1 - 9. Presentation of the dynamics of the volume of material transport at the investigated localities

Tabela 2. Zapremina odnesenog materijala po fazama snimanja i lokalitetima

Table 2. The volume of removed material by recording phases and localities

Redni broj	Lokalitet snimanja	Nagib (%)	Razlike zapremine (FIII – FII)	Razlike zapremine (FIV – III)	Razlike zapremine (FV – FIV)	Ukupno (m ³)
1.	GJ “Vogošća – Bulozii”, Odjeljenje 9	do 10%	1.084	0.889	2.277	4.250
2.		10 do 20%	1.239	0.832	3.242	5.313
3.		preko 20%	1.547	1.032	0.892	3.471
4.	GJ “Gornja Rakitnica”, Odjeljenje 28	do 10%	0.703	1.231	0.586	2.519
5.		10 do 20%	0.752	0.649	0.372	1.773
6.		preko 20%	1.307	1.487	0.759	3.552
7.	GJ “Igman”, Odjeljenje 91	do 10%	0.748	0.313	0.217	1.278
8.		10 do 20%	0.819	0.357	0.233	1.409
9.		preko 20%	0.870	0.415	0.295	1.580

intenzivniji erozioni procesi na strmijim traktorskim putevima. Izuzetak je istraživano područje šumskog odeljenja 9, gdje su na analiziranoj dionici nagiba 10 – 20% utvrđeni najintenzivniji erozioni procesi, što je vjerovatno uslovljeno kontinuirano prisutnim površinskim oticajem vode koja uzrokuje erozione procese. Analizom tabele 2, može se konstatovati da je količina odnesenog materijala za pomenuti nagib 5,313 m³, odnosno 0,0483 m³/m. Također, na istom lokaliteu, čest površinski oticaj evidentiran je i na trasi nagiba manjoj od 10% što je u konačnom uzrokovalo odnošenje materijala u posmatranom periodu od ukupno 4,25 m³ ili 0,0386 m³/m. Najniži intenzitet erozionih procesa zabilježen je u šumskom odjeljenju 91, gdje je registrova-

na ukupna količina odnesenog materijala 1,278 m³, odnosno 0,0116 m³/m. Također za isti lokalitet je karakteristično da je registrovan niži intenzitet erozionih procesa, što se može objasniti karakteristikama matične podloge (krečnjak) koja je jako vodopropustljiva što utiče na niži intenzitet površinskog oticaja koji ima presudan uticaj na erozione procese traktorskih puteva/vlaka.

Također u šumskom odjeljenju 28, na istraživanoj dionici nagib 10 – 20% evidentirana je niža količina erodiranog nagiba u odnosu na dionicu manjeg nagiba što se može objasniti pojavom prirodnog obrastanja koje je imalo uticaj na usporavanje površinskog oticaja (slika 5).



Slika 5. Prirodno obrastanje traktorskog puta (foto original)

Figure 5. Natural overgrowth of the tractor road (original photo)



Slika 6. Bočno osipanje materijala na traktorski put

Figure 6. Lateral shedding of material on the tractor road

Tabela 3. Analiza varijanse sa parametrima regresije za odneseni materijal

Table 3. Analysis of variance with regression parameters for the taken material

Zavisnost zapremine odnesenog materijala i dužine traktorskog puta/vlake								
Lokalitet	Nagib (%)	Faze snimanja	Suma kvadrata (total)	Varijansa	F - odnos	"p" vjerovatnoća	r	r ²
Šumsko odjeljenje 9	Do 10%	F III - FII	0,1498	0,06300	13,79	0,0015	0,65	0,42
		F IV - FIII	0,2423	0,10181	13,77	0,0015	0,65	0,42
		FV - FIV	0,2840	0,14504	19,84	0,0003	0,71	0,51
	10 – 20%	F III - FII	0,3254	0,14736	15,73	0,0008	0,67	0,45
		F IV - FIII	0,5562	0,28331	19,73	0,0003	0,71	0,51
		FV - FIV	0,9970	0,61861	31,06	0,0000	0,79	0,62
	Preko 20%	F III - FII	0,4109	0,20130	18,25	0,0004	0,70	0,49
		F IV - FIII	0,5562	0,28331	19,73	0,0003	0,71	0,51
		FV - FIV	0,7320	0,39410	22,16	0,0002	0,73	0,54
Šumsko odjeljenje 28	Do 10%	F III - FII	0,1233	0,03700	8,15	0,0101	0,54	0,30
		F IV - FIII	0,1761	0,05509	8,65	0,0084	0,56	0,31
		FV - FIV	0,1856	0,05982	9,03	0,0073	0,57	0,32
	10 – 20%	F III - FII	0,1799	0,06911	11,85	0,0027	0,62	0,38
		F IV - FIII	0,2088	0,08341	12,64	0,0021	0,63	0,40
		FV - FIV	0,2041	0,08839	14,52	0,0012	0,66	0,43
	Preko 20%	F III - FII	0,2376	0,11329	17,31	0,0005	0,69	0,47
		F IV - FIII	0,2164	0,06309	7,82	0,0115	0,54	0,29
		FV - FIV	0,2502	0,02088	1,73	0,2040	0,29	0,08
Šumsko odjeljenje 91	Do 10%	F III - FII	0,0657	0,00948	3,21	0,0894	0,37	0,14
		F IV - FIII	0,0734	0,00957	2,85	0,1077	0,36	0,13
		FV - FIV	0,0754	0,00745	2,08	0,1652	0,31	0,10
	10 – 20%	F III - FII	0,1395	0,03023	5,26	0,0335	0,46	0,22
		F IV - FIII	0,1635	0,04010	6,18	0,0224	0,49	0,24
		FV - FIV	0,1981	0,04757	6,00	0,0241	0,49	0,24
	Preko 20%	FIII - FII	0,1090	0,02724	6,33	0,0210	0,50	0,25
		FIV - FIII	0,0960	0,02503	6,71	0,0180	0,51	0,26
		FV - FIV	0,1025	0,02909	7,53	0,0129	0,53	0,28

Međusobna zavisnost (prikazana kao linearna) zapremine odnesenog materijala (V_0) i uzdužnog nagiba za istraživane lokalitete izražena je kroz koeficijente determinacije (r^2) i koeficijent korelacije (r), preko kojih se izražava jačina korelacione veze. Također je izvršena analiza varijanse (ANOVA) kako bi se utvrdila postojanost jačine veze ("p"-vjerovatnoća) posmatranih elemenata (Tabela 3).

Na osnovu provedenih analiza, uočljivo je da dolazi do povećanja zapremine odnesenog materijala po pojedinačnim profilima sa povećanjem udaljenosti od početne tačke mjerenja. Ova zavisnost je na nekim od istraživanih ploha lako uočljiva, što pokazuju koeficijenti deter-

minacije i korelacije (npr. **Šumsko odjeljenje 9** za nagib 10 – 20% i posljednju fazu snimanja), vrijednost koeficijenta determinacije iznosi $r^2 = 0,62$, a koeficijenta korelacije $r = 0,79$ (vrlo jaka korelacija). Najslabija korelaciona veza je registovana u šumskom odjeljenju 28, za nagib preko 20% pri posljednjoj fazi snimanja gdje je $r^2 = 0,08$ i $r = 0,29$ (slaba korelacija). Najjača korelaciona veza se može pojasniti pojavom vodotoka na eksperimentalnoj plohi, gdje usljed povećane brzine kretanja (brzina vode se povećava u slučaju konstantnog nagiba i povećanja dužine dionice kojom teče voda), voda postaje razornija, sa većom energijom što dovodi do povećanja količine erodiranog materijala. Najniža korelaciona veza se može objasniti izraženim bočnim osipanjem ma-

terijala sa usiječenog dijela vlake na poprečne profile (slika 5). Sve vrijednosti koeficijenta determinacije (r^2) i koeficijenta korelacije (r), za vrijednosti zapremine odnesenog materijala naspram mjerodavnih nagiba terena, date su u tabeli 3.

Analizom tabele 3, može se zaključiti da u najvećem broju slučajeva vrijednost koeficijenta korelacije (r) leži u granici između 0,4 – 0,7, što predstavlja značajnu povezanost između uzdužnog nagiba traktorskog puta i povećanja zapremine odnesenog materijala sa udaljenošću od početne tačke.

Za analizu je kao zavisno promjenljiva odabrana zapremina odnesenog materijala (po fazama FIII - FII, FVI – FIII, FV – FIV), a kao nezavisno promjenljiva dužina eksperimentalne plohe (m). Odabrani model funkcije je linearni ($Y = a + b \cdot X$).

Nivoi korelacije definisani su prema Čabaravdić (2017) gdje se navodi Roemer – Orphalova skala koja pokazuje nivo korelacije kako slijedi: manje od 0,1 – nema korelacije, 0,11 – 0,25 jako slaba, 0,26 – 0,40 slaba, 0,41 – 0,50 srednja, 0,51 – 0,75 jaka, 0,76 – 0,90 vrlo jaka, preko 1 potpuna.

CONCLUSIONS – Zaključak

Erozioni procesi su redovna pojava na traktorskim putevima/vlakama, a njihov intenzitet uslovljen je brojnim faktorima. Obzirom na pojednostavljen način izgradnje pri kojem se izvodi samo široki otkop bez objekata za odvodnju, čest pratilac na ovoj vrsti komunikacija su erozioni procesi. Samo kretanje šumske mehanizacije po traktorskim putevima/vlakama izaziva niz procesa koji se ogledaju u zbijanju, premještanju, "istiskanju" tla, formiranju kolotruga i sličnim procesima. Sve pobrojano dovodi do površinskog oticanja koji ima najveći uticaj za nastanak i razvoj erozionih procesa.

Na svim istraživanim lokalitetima došlo je do pojave erozionih procesa čiji je intenzitet bio različit. Intenzitet erozionih procesa na traktorskim putevima/vlakama zavisna je od brojnih faktora čiji međusobni kompleksan uticaj uz mikroklimatske faktore koji su vezani za različite lokalitete istraživanja uzrokuje pojavu erozije.

Prilikom konkretnih istraživanja dobiveni su rezultati koji potvrđuju navode i drugih autora koji ovu vrstu komunikacija posebno ističu kada su u pitanju erozioni procesi u šumarstva. Erozijska pojava je utvrđena na svim istraživanim dionicama pri čemu su najveće vrijednosti registrovane u šumskom odjeljenju 9, u ukupno količini od 5,313 m³, odnosno 0,0483 m³/m, dok su najniže vrijednosti registrovane u šumskom odjeljenju 91,

gdje je registrovana ukupna količina odnesenog materijala 1,278 m³, odnosno 0,0116 m³/m. Najviše registrovane vrijednosti su vezane za kontinuirano prisustvo površinskog oticaja koje je imalo presudan uticaj za razvoj intenzivnih erozionih procesa. Za najniže vrijednosti je vezana visoka vodopropustljivost matičnog supstrata (krečnjak) koji je imao značajan uticaj na smanjenje površinskog oticaja.

Međusobna zavisnost zapremine odnesenog materijala i dužine traktorskih puteva/vlaka na različitim uzdužnim nagibima utvrđena je linearnim statističkim modelom pri čemu su dobijene vrijednosti koeficijenta korelacije u rasponu od $r = 0,29$ (slaba korelaciona veza) do $r = 0,79$ (vrlo jaka korelaciona veza).

REFERENCES – Literatura

- Bagheri, I., Naghdi, R., Moradmam Jalali, A. (2012). Evaluation of Factors Affecting Water Erosion along Skid Trails (Case study; Shafarood Forest, Northern Iran), Caspian Journal of Environmental Sciences, Vol. 11 No.2, pp. 151-160.
- Bajrić, M. (2012). Razvoj erozionih procesa na traktorskim vlakama različitog uzdužnog nagiba, Disertacija, Sarajevo, no 1 - 163.
- Bajrić M., Sokolović Dž. (2015). Rehabilitation of a secondary network of forest traffic infrastructure (skid roads – skid trails). Bulletin of the Faculty of Forestry, Special issue on the occasion of the international symposium "Forest engineering of Southeast Europe - state and challenges" Belgrade: pp. 5-14.
- Bajrić, M., Čaluk, A., Vranović, A., Petković, V. (2021). Uticaj brdsko-planinskih vodotoka na traktorske puteve/vlake, studij slučaja, Glasnik Šumarskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci, No-31 (2021), 41-53.
- Byblyuk, N., Styranivsky, O., Korzhov, V., Kudra, V. (2010). Timber harvesting in the Ukrainian carpathians: Ecological problems and methods to solve them, Journal of forest science, 56(7), pp. 333-340.
- Cambi, M., Certini, G., Neri, F., Marchi, E. (2015). The impact of heavy traffic on forest soils: A review, Forest Ecology and Management 338 (2015), 124–138.
- Čabaravdić, A. (2017). Biometrika u šumarstva i hortikulturi, Šumarski Fakultet Univerziteta u Sarajevu, pp 1 – 235.
- DeArmond D., Ferraz J.B.S., Higuchi N. (2021). Natural recovery of skid trails: a review. Canadian Journal of Forest Research 51: 1-14.

- Eliasson, L. (2005). Effect of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction. *Silva Fennica*. 39(4), pp. 549-557.
- Elliot, W.J., R. B. Foltz, R.B. and P.R. Robichaud, P.R. (2010). Recent findings related to measuring and modelling forest road erosion, 18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009, 4078-4084.
- Grace III, J. McFero. (2006). A New Design to Evaluate Erosion and Sediment Control, Source: In: Proceedings, Environmental Connection 2006. Colorado Springs, CO: International Erosion Control Association: 153-162.
- Grushecky, S. T., McGill, D. W., Grafton, W., Edwards, J., Tager, L. (2007). Reclamation of Skid Roads with Fiber Mats and Native Vegetation: Effects on Erosion, Proceedings of the 15th Central Hardwood Forest Conference, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station: 116-121.
- Jeličić, V. (1983). Šumske ceste i putevi, SIZ odgoja i usmjerenog obrazovanja šumarstva i drvne industrije SRH, Zagreb, str. 1-193.
- Jeličić, V. (1990). Detaljno otvaranje šuma traktorskim putevima, Savjetovanje – Pale.
- Jourgholami, M., Karami, S., Tavankar, F., Lo Monaco, A., and Picchio, R. (2021). Effects of Slope Gradient on Runoff and Sediment Yield on Machine-Induced Compacted Soil in Temperate Forests, *Forests* 2021, 12, 49, pp. 1-19.
- Krpan, A.P.B., Ivanović, Ž., Petreš, S. (1993). Fizičke štete pri privlačenju drva, *Šumarski list CXVII*, 23, str. 23-31.
- Meghatan, W. F., Kidd, W.J. (1972). Effects of logging and logging roads on erosion on sediment deposition from sheep terrain, Učinky težba a lescest na erozi a usazovani z lesniko uzemi ve svahu. *Journal Forest*, str. 136-141.
- Naghdi, R., Bagheri, I., Basiri, R. (2010). Soil disturbances due to machinery traffic on steep skid trail in the north mountainous forest of Iran. *Journal of Forestry Research*. 21(4), 497-502.
- Picchio, R., Mederski, P.S., Tavankar, F. (2020). How and How Much, Do Harvesting Activities Affect Forest Soil, Regeneration and Stands? *Current forestry reports* 6 (2), pp. 115-128.
- Pičman, D., Pentek, T. (2001). Uticaj privlačenja oblog drveta na oštećivanje traktorskih vlaka i naknadne erozijske proces. *Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama*, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Šumarski institut, Jastrebarsko, Zagreb, pp. 555-563.
- Rebula, E. (1991). Posljedice gradnje vlaka u šumi, Zagreb, *Mehanizacija šumarstva*, god. 16, br. 1-4, str. 3-10.
- Sasaki, S. (2004). Impacts of skid road construction on soil erosion in Jozankei national forest, Japan, *Науковий вісник*, 2004, вип. 14.3, Лісова інженерія: техніка, технологія і довкілля, pp. 349-353.
- Solgi, A., Naghdi, N., Labelle, E.R., Behjou, F.K., Hemmati, V. (2019). Evaluation of Different Best Management Practices for Erosion Control on Machine Operating Trails, *Croatian Journal of Forest Engineering* 40 (2019) 2, pp. 319-326.
- Solgi, A., Naghdi, R., Zenner, E.K., Behjou, F.K., Vatani, L. (2021). Effectiveness of Erosion Control Structures in Reducing Soil Loss on Skid Trails, *Croatian Journal of Forest Engineering* 42 (2021) 3, pp. 501-514.
- ŠPP/ŠGP "Igmansko" (2008). Izvedbeni projekat za šumsko odjeljenje 90, G.J. "Igman". [Planski dokument]: 26 str.
- ŠPP/ŠGP "Trnovsko" (2008). Izvedbeni projekat za šumsko odjeljenje 28, G.J. "Gornja Rakitnica". [Planski dokument]: 42 str.
- ŠPP/ŠGP "Bistričko" (2008). Izvedbeni projekat za šumsko odjeljenje 9, G.J. "Vogošća Bulozi". [Planski dokument]: 38 str.
- Turk, Y., Yildiz, M. (2019). The effects of wood chips and slash usage on skid trail sheet erosion caused by log skidding using a farm tractor, *Šumarski list*, 5-6 (2019): pp. 241-249.
- Toivio, J., Helmisaari, H.S., Palviainen, M., Lindeman, H., Ala-Illomäki, J., Sirén, M., Uusitalo, J. (2017). Impacts of timber forwarding on physical properties of forest soils in southern Finland *Forest Ecology and Management*, Volume 405 pp. 22-30.
- Tomašić, Ž. (1994). Utjecaj uzdužnog nagiba traktorske vlake na promjenu prodornog otpora tla uslijed sabijanja čestica podloge kotačima traktora i vučenim teretom. Zagreb, *Mehanizacija šumarstva*, god. 19, br. 4, pp. 233-246.
- Vinson, J.A., Barrett, S.M., Aust W.M., Bolding, M.C. (2017). Suitability of Soil Erosion Models for the Evaluation of Bladed Skid Trail BMPs in the Southern Appalachians, *Forests* 2017, 8, 482, pp. 1-18.

Wade C.R., Chad M.B., Aust M.W., Lakel III A.W. (2012). Comparison of five erosion control techniques for Bladed skid trails in Virginia. *Southern Journal of Applied Forestry* 36(4): pp. 191-197.

Wang C., Liu B., Yang Q., Pang G., Long Y., Wang L., Cruse M.R., Dang W., Xin Liu X., Wang E. (2021). Unpaved road erosion after heavy storms in mountain areas of northern China. *International Soil and Water Conservation Research*. doi:10.1016/j.iswcr.2021.04.012., pp. 1-9.

SUMMARY

The paper investigates the phenomenon of soil erosion on skid roads/trails. The aim was to discover how and to what extent different longitudinal slopes can influence the occurrence of erosion processes. For this purpose, a total of nine experimental plots were set up at three different sites. The length of the plots was 110 m, and at all localities, the research was carried out on different longitudinal slopes (up to 10%, 10 - 20% and over 20%) over the observed period of approximately two and a half years. The research focused on determining the volume of material removed and the dynamics of the development of erosion processes observed in phases (shifts) between recordings.

Forests are the most effective natural factor in protecting land from erosion, and if they are managed on the principles of sustainable management, the so-called “normal” erosion usually occurs. However, as it is necessary to build a relatively dense network of skid roads/trails for different phases of management, it makes them susceptible to more intensive erosion processes. If we take into account that they were built with very low criteria (technical elements) and without the existence of facilities that would ensure the drainage of surface and rainwater, and can be built with a large longitudinal slope, it creates optimal preconditions for the development of intensive erosion process.

The conducted research has obtained results that clearly show that erosion processes occur frequently, of varying intensity depending on the factors that prevail for a given locality.

The value of the volume of the removed material ranges from 1.278 m³, ie 0.0116 m³/m to 5.313 m³, or 0.0483 m³/m. The obtained minimum value of the volume of the removed material can be related to the strong water permeability of the parent substrate (limestone), which affects the reduction of surface runoff, as well as shallow soils that are formed on it. When it comes to the maximum value of the volume of removed material, which is 5.333 m³ or 0.0483 m³/m, it can be related to the continuous occurrence of surface runoff that causes surface sapping and removal of material from the skid roads/trails.

The performed statistical analyzes (through a linear model) indicate different correlations of investigated influencing factors (volume of transported material and length of skid roads/trails on different longitudinal slopes). The obtained correlation values range from $r = 0,29$ (weak correlation) to $r = 0,79$ (very strong correlation).

