

UTICAJ BRDSKO-PLANINSKIH VODOTOKA NA TRAKTORSKE PUTEVE/ VLAKE, STUDIJ SLUČAJA

IMPACT OF HILLY-MOUNTAIN WATERCOURSES ON SKID ROADS/TRAILS, CASE STUDY

Muhamed Bajrić¹, Amina Čaluk², Aldin Vranović¹, Vladimir Petković³

¹ Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet, Zagrebačka 20, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

² ŠPD „Srednjobosanske šume“/ŠGD „Šume Središnje Bosne“ d.o.o. Donji Vakuf, Slavne brdske brigade bb, 70220 Donji Vakuf, Bosna i Hercegovina

³ Univerzitet u Banjoj Luci, Šumarski fakultet, Stepe Stepanovića 75A, 78000 Banja Luka, Bosna i Hercegovina

*e-mail: m.bajric@sfsa.unsa.ba

Izvod

Bosna i Hercegovina ima primarno brdsko-planinski karakter, što uz odgovarajuće geološke prilike pogoduje nastanku brojnih vodenih tokova. Česta je situacija da se u okviru jednog šumskog odjeljenja nalazi po nekoliko potoka koje, radi potreba gospodarenjem šumama, presijeca primarna ili sekundarna mreža šumske transportne infrastrukture. Mrežu šumske transportne infrastrukture nije moguće položiti tako da se ista ne ukršta sa brdsko-planinskim vodotocima. Pozicije ukrštanja mogu biti jako osjetljiva mjesta, posebno ukoliko im se ne posveti odgovarajuća pažnja, tačnije, ukoliko se ne nađu tehnička rješenja koja će minimizirati mogućnost negativnog uticaja. Nerijetko se u šumarskoj operativi dešava da usljed loših tehničkih rješenja ukrštanja vodenih tokova i mreže infrastrukture dođe do intenziviranja erozionih procesa izazvanih negativnim djelovanjem vode. Također, i sama infrastruktura može negativno djelovati na prirodni tok, te kao posljedicu lošeg rješenja trase preusmjeriti isti traktorskim putem ili traktorskom vlakom. Sam način izgradnje traktorskih puteva/vlaka, pri čemu se izvode samo zemljani radovi bez izgradnje objekata za podužnu i poprečnu odvodnju površinskih i oborinskih voda, stvara optimalne predušlove za razvijanje erozionih procesa različitog intenziteta. Mjesta ukrštanja vodenih tokova i traktorskih puteva ili vlaka su posebno osjetljiva na erozione procese, što je, između ostalog, dokazano i u ovom radu, koji pokazuje da čak 80% pozicija ukrštanja ima značajan ili ekstremno uticaj.

Ključne riječi: hidrografska mreža, traktorski putevi/traktorske vlake, vodna erozija

1. UVOD I PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA / INTRODUCTION AND RESEARCH PROBLEM

Bosna i Hercegovina (BiH) ima pretežno brdsko-planinski karakter, sa kojim je često povezana i dobro razvijena hidrografska mreža. U gospodarenju šumama, odnosno izvođenju radova na iskorištavanju šuma, kao relativno čest problem javlja se negativan uticaj vodenih tokova na primarnu ili sekundarnu mrežu šumske transportne infrastrukture ili obrnuto. Nerijetko

se dešava da traktorski putevi ili traktorske vlake presijecaju vodotoke: u tom slučaju potrebno je pri projektovanju sekundarne mreže posvetiti posebnu pažnju mjestima ukrštanja vodotoka i traktorskih puteva/vlaka. Uz kišne oborine, koje često uzrokuju erozione procese na traktorskim putevima, loša rješenja na pozicijama ukrštanja sa brdsko-planinskim vodotocima su također

jedan od uzročnika erozionih procesa. Brojna istraživanja govore o negativnom uticaju vodne erozije na traktorske puteve, pri čemu se značajna količina materijala pokreće i često iste čini neupotrebljivim bez izvođenja značajnih građevinskih radova. O negativnom uticaju erozije i ozbiljnim oštećenjima tla na traktorskim putevima istraživanja su provodili brojni autori (među kojima i: Mehgatan & Kidd, 1972; Beneš, 1980; Rebula, 1991; Tomašić, 1998; Pičman & Pentek, 2001; Sasaki, 2004; Grace, 2006; Naghdi et al., 2009; Wade et al., 2012; Akbarimehr & Naghdi, 2012; Bajrić, 2012; Bagheri et al., 2013; Jourgholami et al., 2018; Jourgholami & Labelle, 2020). Erozijska je česta pojava kod svih neasfaltiranih puteva, posebno kod jakih kišnih nepogoda i puteva sa strmim nagibom (Wang et al., 2021). Jedna od najvećih prepreka za prirodni oporavak tla na traktorskim putevima jeste erozija (DeArmond et al., 2021). Dominantan uticajni faktor pojave erozije je površinski oticaj koji se javlja na traktorskim putevima/vlakama (Bajrić, 2012).

Kod već izgrađene mreže traktorskih puteva potrebno je gradnjom privremenih propusta obezbijediti kontrolisan protok površinskih i oborinskih voda. Pozitivan primjer izrade privremenih propusta na pozicijama ukrštanja je „Pilot projekat – Izvedbeni projekat u šumskom odjeljenju 61, gospodarska jedinica (GJ) „Kruščica“, šumskoprivredno područje/šumskogospodarsko područje (ŠPP/ŠGP) „Srednjobosansko“. Navedeni „pilot projekat“ je urađen u okviru zona sanitarne zaštite izvorišta vode za piće „Kruščica“, općina Vitez, u okviru kojeg su na pozicijama ukrštanja planirani, a kasnije i realizovani radovi ugradnje fleksibilnih cijevi, koje su u toku izvođenja radova efikasno propuštale vodu bez negativnih posljedica, te uklonjene nakon završetka radova na iskorištavanju šuma.

Poznata je činjenica da se prilikom izgradnje traktorskih puteva ili vlaka ne izrađuje kolovozna konstrukcija, kao ni objekti za odvodnju, pri čemu iste imaju i relativno velike uzdužne nagibe, što stvara predušlove za pojavu erozionih procesa uzrokovanih vodom (Bajrić, 2012). Za odvodnju površinske vode preporučuje se izvođenje poprečnog nagiba u smjeru padine, 4–6% (Sokolović, 2018). Međutim, praktični primjeri pokazuju da

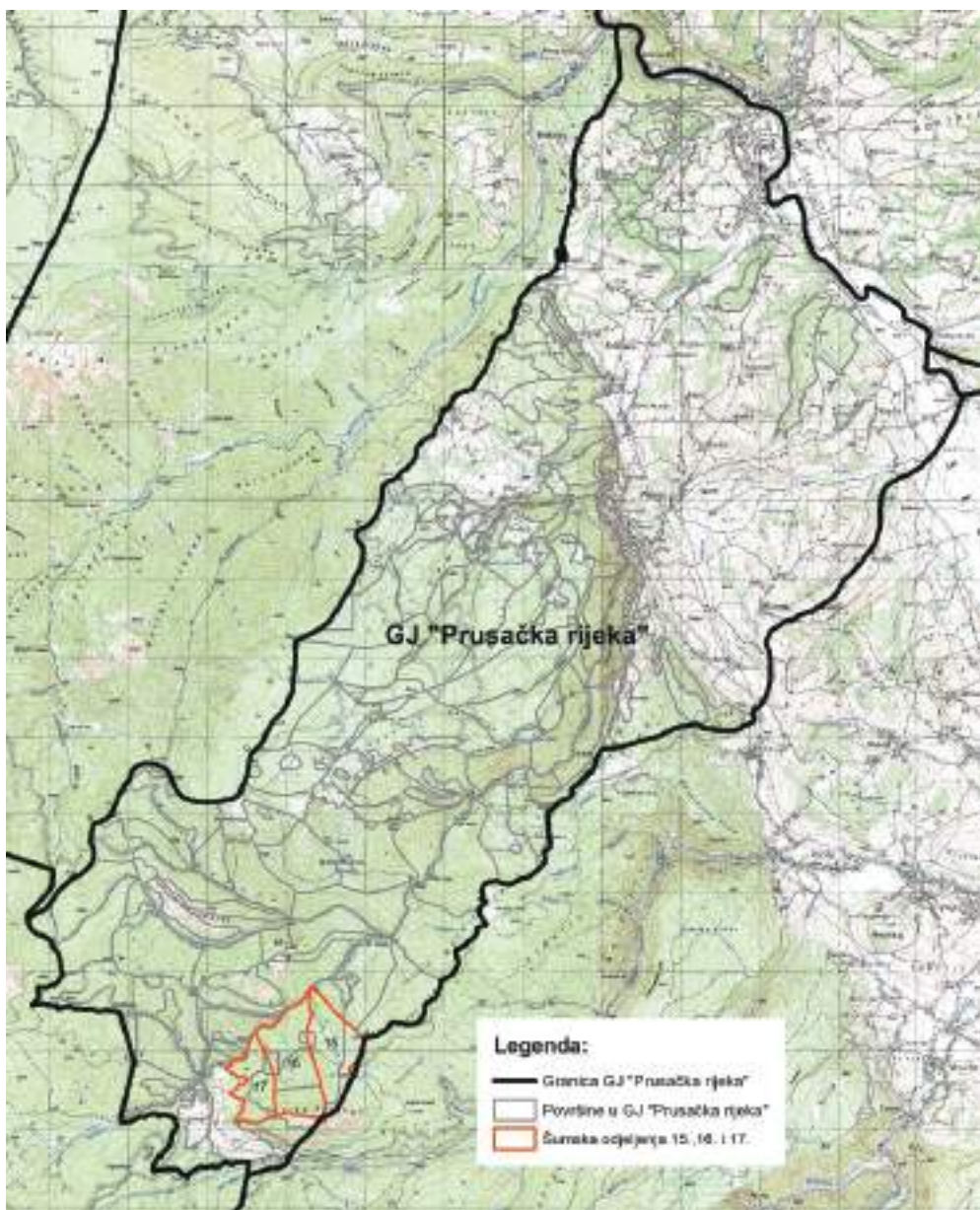
se ovaj efekat vrlo brzo izgubi zbog kolotruga koji nastaju usljed privlačenja drveta, što onemogućava poprečni oticaj. Sprečavanjem površinskog oticanja vode po traktorskom putu/traktorskoj vlaci smanjuje se i mogućnost pojave erozionih procesa. Nisu rijetki slučajevi da se kao posljedica eksploatacije šuma pojavi erozija zemljišta, čime se zamućuju vodni tokovi, ali i izvorišta koja u najvećem broju slučajeva predstavljaju osnovu za snabdijevanje stanovništva pitkom vodom (Bajrić et al., 2017). Upravo su pozicije ukrštanja traktorskih puteva/vlaka i vodnog toka čest uzrok mućenja planinskih potoka, koji imaju značajnu ulogu u snabdijevanju lokalnog stanovništva pitkom vodom. Erozioni procesi mogu predstavljati izražen problem ukoliko se sekundarnom mrežom ne postupa po načelima dobre prakse upravljanja šumskim resursima. Nakon završetka radova na eksploataciji šuma, traktorski putevi ili traktorske vlake se vrlo često ne upotrebljavaju do narednog turnusa sječa, što je u našoj operativi period dug deset godina. Mjere sanacije traktorskih puteva ili vlaka imaju dobar efekat na erozione procese. Tako npr. zatravljanje kao mjera sanacije smanjuje količinu erozije za 77% čak i kod jakih kišnih oborina (Wade, 2010). Također, izrada poprečnih kanala (vodenih barijera) ima dobar efekat pri kontroli površinske erozije (Bajrić, 2012; Bajrić & Sokolović, 2015). Suprotno pozitivnom učinku na kontrolu erozionih procesa nakon provedenih mjera sanacije, ukoliko se iste ne provode, dolazi do intenziviranja erozionih procesa, a često i formiranja jaružnih tokova (Sokolović & Bajrić, 2015). U nekim ekstremnim slučajevima erozioni procesi mogu biti izrazito jaki: prema istraživanjima (Bajrić, 2012), količina odnesenog materijala iznosi i do 2,7 m³/m, a kod ekstremnih slučajeva pojavljuju se privremeni bujični tokovi. U međuvremenu, ukoliko nije izvršena sanacija, izloženi su različitim uticajnim faktorima, među kojima se erozija tla ističe kao dominantan faktor. Očuvanje tla postaje sve izazovnije s globalnim klimatskim promjenama (Wang et al., 2021).

Cilj predmetnog istraživanja je utvrditi postojanje uticaja brdsko-planinskih vodotoka na traktorske puteve/traktorske vlake kroz analizu stanja na terenu u šumskim odjeljenjima sa razvijenom hidrografskom mrežom, nakon provedenih radova na eksploataciji šuma.

2. PODRUČJE ISTRAŽVANJA / STUDY AREA

Istraživanje je provedeno u državnim šumama opštine Donji Vakuf koje pripadaju ŠGP „Gornjevrasko”, koje je locirano u središnjem dijelu BiH. Konkretno područje rada je u GJ „Prusačka rijeka”, šumska odjeljenja 15, 16 i 17 (Slika 1). Najniža tačka područja je 516 m n.v. i nalazi se

na ušću Babina potoka u Vrbas, a najviša je kota „Nadkrstac” (2110 m n.v.). Visinski dijapazon rasprostranja ŠGP-a iznosi 1594 m. Istraživano područje odlikuje se i bogatom mrežom brdsko-planinskih vodotoka (Javno preduzeće „Bosanskohercegovačke šume”, 2013).



Slika 1. Područje istraživanja / Figure 1. Study area

3. MATERIJAL I METODE / MATERIAL AND METHODS

Na osnovu važeće šumskogospodarske osnove (ŠGO) i podataka za GJ „Prusačka Rijeka”, kao i podataka iz izvedbenih projekata analiziranih odjela, na terenu je izvršeno snimanje svih traktorskih puteva/vlaka. Cjelokupna sekundarna mreža šumske transportne infrastrukture (traktorski putevi i traktorske vlake) snimljena je pomoću GPS-a, te prenesena u GIS programsko okruženje (ArcMap 10.8.1). Ovim postupkom omogućena je detaljna analiza prostornog rasporeda i dužina.

Također, na osnovu prikupljenih i snimljenih podataka o sekundarnoj mreži predstavljenih u GIS-u, izvršeno je lociranje tački ukrštanja sa postojećim stalnim i privremenim vodotocima. Snimanje hidrografske mreže izvršeno je evidentiranjem svih površinskih tokova u tri analizirana odjela GJ „Prusačka Rijeka” i njihovim kartiranjem u GIS-u. Za krajnji rezultat analize hidrografske mreže izračunata je vrijednost gustine hidrografske mreže u km/km^2 , ukupno za sva analizirana šumska odjeljenja i pojedinačno za svako od njih.

Obračun gustine hidrografske mreže vrši se prema obrascu (Gavrilović, 1972):

$$D_u = \frac{\sum L_i}{A} (\text{km}/\text{km}^2)$$

- D_u – gustina hidrografske mreže (km/km^2);
- $\sum L_i$ – ukupna dužina svih tokova na posmatranom području (km);
- A – površina posmatranog područja (km^2).

Ocjena gustine hidrografske mreže izvršit će se prema kriteriju (Gavrilović, 1972):

- $D_u < 0,5 \text{ km}/\text{km}^2$, smatra se da je gustoća hidrografske mreže slaba;
- $D_u = 0,5$ do $1,0 \text{ km}/\text{km}^2$, srednja gustoća hidrografske mreže;
- $D_u = 1,0$ do $2,0 \text{ km}/\text{km}^2$, jaka gustoća hidrografske mreže;
- $D_u > 2,0 \text{ km}/\text{km}^2$, vrlo jaka gustoća hidrografske mreže.

Analiza pozicija ukrštanja hidrografske mreže sa sekundarnom mrežom šumske transportne infrastrukture (traktorskih puteva/vlaka) provedena je pomoću GIS aplikacije i terenskim snimanjem pozicija presijecanja pomoću GPS uređaja. Na mjestima presijecanja izvršena je procjena uticaja vodenog toka na traktorski put ili traktorsku vlaklu prema sljedećem kriteriju:

1. Nema uticaja (voda protiče na poziciji ukrštanja bez vidljivog negativnog uticaja);
2. Mali uticaj (voda protiče na poziciji ukrštanja sa neznatnim uticajem na traktorski put/traktorsku vlaklu);
3. Značajan uticaj (voda protiče na poziciji ukrštanja sa značajnim uticajem i vidljivim oštećenjima na traktorskom putu/traktorskoj vlaci);
4. Ekstreman uticaj (voda protiče na poziciji ukrštanja sa ekstremnim uticajem, kada je kretanje mehanizacije jako otežano ili je u potpunosti onemogućeno).

Također, na istim pozicijama ukrštanja, ali i na ukupnoj dužini traktorskih puteva ili vlaka izvršena je procjena suprotnog uticaja, tj. da li traktorski put/traktorska vlakla ima uticaj na prirodnu putanju oticanja površinskih i oborinskih voda. Na svim dionicama traktorskog puta/traktorske vlake, pomoću GPS uređaja izmjerene su dionice koje pripadaju određenoj definisanoj kategoriji. Procjena uticaja je izvršena prema sljedećem kriteriju:

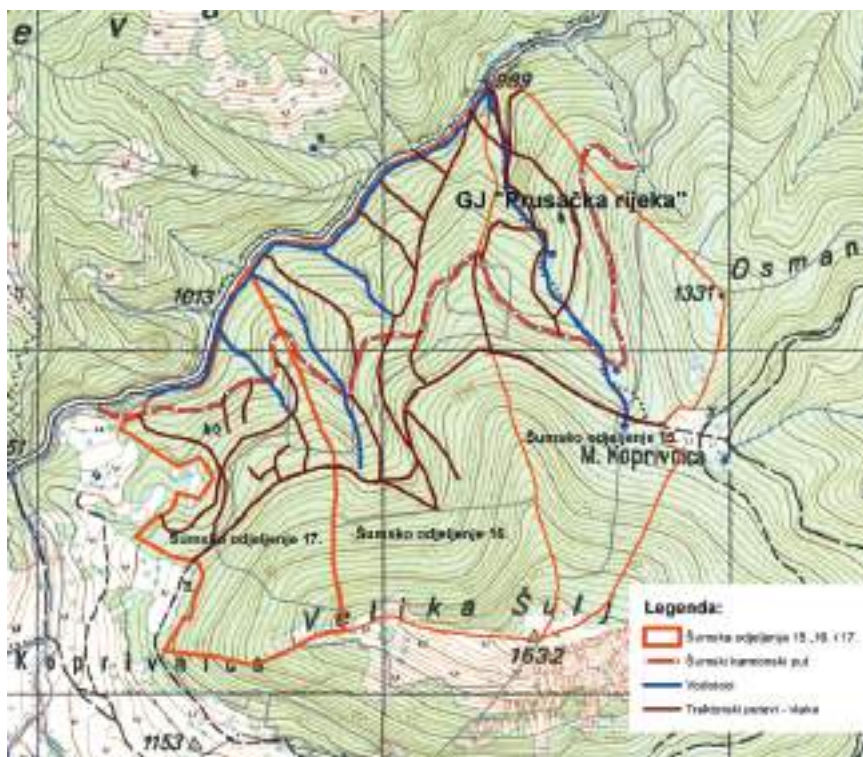
1. Nema uticaja – minimalan uticaj (voda u potpunosti otiče prirodnim putem);
2. Slab uticaj (voda samo djelomično mijenja prirodni tok);
3. Jak uticaj (jasno je uočljivo da voda, izuzev prirodnog pravca kretanja, ima promijenjen tok);
4. Vrlo jak uticaj (najveći dio prirodnog toka je promijenjen i voda samo djelomično teče prirodnim pravcem);
5. Ekstreman uticaj (traktorski put ili traktorska vlakla u potpunosti mijenja prirodnu putanju vodenog toka i voda otiče kolotrazima).

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA / RESULTS

4.1 Analiza traktorskih puteva/vlaka / Analysis of skid roads/trails

Na osnovu prikupljenih podataka na terenu o dužini traktorskih puteva ili vlaka i njihove obra-

de u GIS okruženje, dobijen je prostorni raspored traktorskih puteva/vlaka, kao i svih vodenih tokova stalnog karaktera koji su registrovani na terenu (Slika 2).



Slika 2. Traktorski putevi/traktorske vlake i vodotoci u području istraživanja / Figure 2. Skid roads/trails and watercourses in the study area

Podaci o površinama šumskih odjeljenja 15, 16 i 17 preuzeti su iz izvedbenih projekata (planski dokumenti). Terenskim snimanjem dobijeni su podaci o dužinama traktorskih puteva/vlaka

(Čaluk 2020), a pomoću GIS-a (ArcMap 10.8.1) podaci o minimalnim, prosječnim i maksimalnim uzdužnim nagibima. Dobijene i obračunate vrijednosti prikazane su u Tabeli 1.

Tabela 1. Pregled osnovnih podataka o traktorskim putevima/vlakama po šumskim odjeljenjima / Table 1. Overview of basic data on skid roads/trails and openness per compartment

	Površina (ha)	Dužina traktorskih puteva/vlaka (m)	Apsolutna otvorenost (m/ha)	Minimalni uzdužni nagib (%)	Maksimalni uzdužni nagib (%)	Prosječni uzdužni nagib (%)
Šumsko odjeljenje 15	63,2	3589	56,78	2	27	14
Šumsko odjeljenje 16	77,7	7440	95,75	3	29	17
Šumsko odjeljenje 17	40,9	2440	59,65	2	29	12
Ukupno	181,8	13 469	74,08			

Ukupna dužina svih traktorskih puteva i vlaka u tri analizirana šumska odjeljenja iznosi 13 469 m, na ukupnoj površini od 181,8 ha, što predstavlja prosječnu apsolutnu otvorenost od 74,08 m/ha.

4.2 Analiza hidrografske mreže / Analysis of hydrographic network

Provedenim analizama određena je ukupna dužina stalnih i privremenih vodotoka u sva tri odjela GJ „Prusačka Rijeka”.

Nakon prikupljenih i obrađenih terenskih podataka o hidrografskoj mreži u analiziranim šumskim odjeljenjima, dobijeni su podaci o ukupnoj dužini svih vodenih tokova po šumskim odjeljenjima, te gustoći hidrografske mreže prema obrascu Gavrilovića (Gavrilović, 1972), što je prikazano Tabelom 2.

Ukupna dužina vodenih tokova u sva tri šumska odjeljenja iznosi 3863,4 m (3,86 km), na ukupnoj površini za sva tri odjeljenja 181,8 ha, tj. 1,82 km² (Čaluk, 2020).

$$D_u = \frac{\sum L_i}{A} \left(\frac{km}{km^2} \right); \frac{3,86}{1,82} = 2,12 \left(\frac{km}{km^2} \right)$$

Na osnovu navedenih kriterija, za sva tri šumska odjeljenja možemo reći da se radi o vrlo jakoj gustoći hidrografske mreže (Gavrilović, 1972). Ovaj podatak može biti koristan kod planiranja sekundarne mreže i jasno nas upozorava da je neophodno posvetiti posebnu pažnju prilikom trasiranja, odabira mjesta ukrštanja vodotoka i traktorskog puta/traktorske vlake, te odabira najefikasnijeg načina zaštite.

Tabela 2. Analiza hidrografske mreže u šumskim odjeljenjima 15, 16 i 17 / **Table 2.** Analysis of hydrographic network in forest compartments

	Površina (km ²)	Dužina vodotokova u šumskom odjeljenju (km)	Gustoća hidrografske mreže (km/km ²)
Šumsko odjeljenje 15	0,632	1,13	1,78
Šumsko odjeljenje 16	0,777	1,91	2,45
Šumsko odjeljenje 17	0,41	0,82	2,02
Ukupno	1,82	3,86	2,12

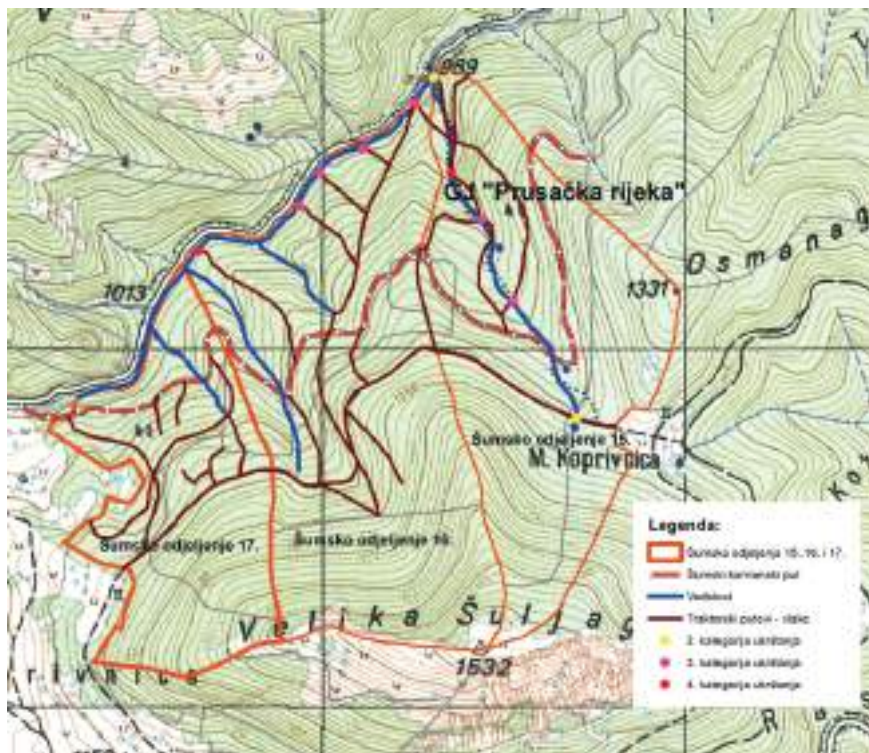
Analizirani podaci pokazuju da u sva tri šumska odjeljenja imamo jaku (šumsko odjeljenje 15) i vrlo jaku gustoću hidrografske mreže (šumska odjeljenja 16 i 17).

4.3 Analiza pozicija ukrštanja hidrografske mreže i šumske transportne infrastrukture / Analysis of crossing points of hydrographic network and forest traffic infrastructure

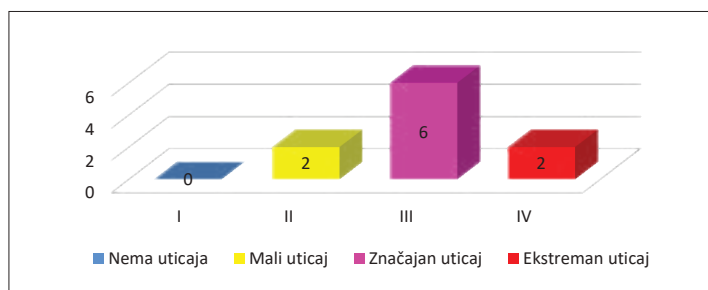
Na ukupnoj površini svih šumskih odjeljenja, te na cjelokupnoj dužini svih površinskih vodnih tokova, terenskim opservacijama evidentirano je 10 lokacija na kojima je došlo do presijecanja traktorskih puteva/vlaka i vodnih tokova. Pozicije presijecanja prikazane su na Slici 3.

U analiziranim odjeljenjima izvršena je procjena uticaja vodenih tokova na traktorske puteve/vlake, prilikom čega je ocijenjeno da od 10 evidentiranih ukrštanja hidrografske mreže i trak-

torskih puteva/vlaka nema ukrštanja ocijenjenih kategorijom 1, to jest da nema slučajeva gdje vodeni tok na poziciji presijecanja sa traktorskim putem/vlakom ne protiče, a da pri tome ne čini bilo kakvu deformaciju. Na dva mjesta ukrštanja ocijenjeno je da se radi o kategoriji 2, tačnije da vodeni tok djelomično deformiše traktorski put tako da dolazi do proširenja vodenog toka na poziciji ukrštanja. Kategorija 3 podrazumijeva da vodeni tok ima značajniji uticaj na traktorski put ili traktorsku vlak, pri čemu isti značajnije produbljuje i otežava prolazak šumske mehanizacije na tim pozicijama. Na dvije lokacije ocijenjeno je da se radi o kategoriji 4, tj. da je vodeni tok na poziciji ukrštanja ošteti traktorski put/traktorsku vlak u toj mjeri da prolazak šumske mehanizacije nije bezbjedan i da je tu poziciju ukrštanja potrebno sanirati (Slika 4). Primjeri za kategoriju 2 i 4 prikazani su na Slici 5.



Slika 3. Mjesta ukrštanja traktorskih puteva/vlaka sa hidrografskom mrežom / **Figure 3.** The crossing points of skid roads/trails with watercourses



Slika 4. Udio kategorija ukrštanja vodnih tokova i traktorskih puteva/vlaka / **Figure 4.** Share of categories of intersection watercourses and skid roads/trails

Analizirano pojedinačno po šumskim odjeljenjima, stanje je sljedeće:

- Šumsko odjeljenje 15 ima ukupno 5 pozicija presijecanja, od kojih je na dvije lokacije ocijenjeno da se radi o kategoriji 2, na dvije lokacije utvrđeno je postojanje kategorije 3, a na jednoj lokaciji kategorije 4.
- Šumsko odjeljenje 16 ima ukupno 5 pozicija ukrštanja, od kojih su četiri okarakterisane

kategorijom 3, a jedna tačka ukrštanja kategorijom 4. Na svih pet tački ukrštanja riječ je o istom stalnom vodotoku Prusačke rijeke, koja ujedno predstavlja i granicu šumskog odjeljenja.

- Šumsko odjeljenje 17 nema tačaka ukrštanja traktorskih puteva/vlaka sa površinskim vodama.



Slika 5. II i IV kategorija uticaja vodotoka na traktorski put i traktorsku vlaklu / **Figure 5.** II and IV Category of impact of watercourses on skid roads/trails

4.4 Analiza uticaja postojećih traktorskih puteva/vlaka na odvodnju površinskih i oborinskih voda / Analysis of impact of current skid roads/trails on the drainage of surface water and rainwater

Terenskim istraživanjima izvršena je procjena uticaja prostornog položaja sekundarne mreže šumske transportne infrastrukture (traktorskih puteva/vlaka) na prirodni pravac oticaja površinske vode prema definisanim kriterijima (I–V). U svakom od šumskih odjeljenja (15, 16 i 17), na svim traktorskim putevima/vlakama izvršena je kategorizacija uticaja traktorskih puteva ili vlaka na odvodnju oborinskih i površinskih voda prema pet različitih kategorija (Tabela 3).

Na ukupnoj dužini svih traktorskih puteva/vlaka, koja iznosi 13 469 m u sva tri šumska odjeljenja,

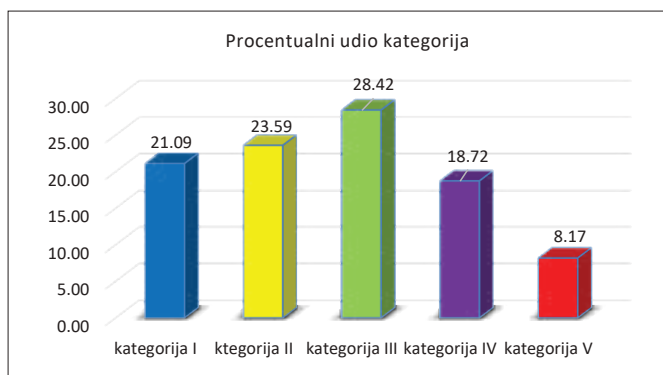
nakon terenskih snimanja (GPS-om) te prenošenja u GIS aplikaciju dobijeni su rezultati koji jasno pokazuju da traktorski putevi/vlake na ovom području imaju direktan uticaj na odvodnju površinskih i oborinskih voda.

Analizom podataka dobijena je procentualna zastupljenost pojedinih kategorija u odnosu na ukupnu dužinu svih traktorskih puteva/vlaka. Kategorija I zastupljena je sa 21,09% učešća u ukupnoj dužini svih traktorskih puteva/vlaka, kategorija II sa 23,59%, kategorija III sa 28,42%, kategorija IV sa 18,73% i kategorija V sa 8,17%. Analiza pokazuje da je najveće učešće kategorije III, dok najmanje učešće ima kategorija V (traktorski put/traktorska vlakla u potpunosti mijenja prirodnu putanju vodnog toka i voda otiče kolotrazima), što pokazuje Slika 7. Da postoji snažan uticaj izgrađene mreže traktorskih

Tabela 3. Udio kategorija uticaja traktorskih puteva/vlaka na odvodnju površinskih i oborinskih voda / **Table 3.** Share of categories of impact of skid roads/trails on the drainage of surface water and rainwater

Šumsko odjeljenje	Apsolutne dužine (m) po kategorijama					UKUPNO (m)
	I	II	III	IV	V	
15	856	999	563	570	601	3589
16	1070	1490	2900	1480	500	7440
17	915	688	365	472	0	2440
Ukupno	2841	3177	3828	2522	1101	13 469

puteva/vlaka na promjenu prirodnog pravca oticaja postojećih vodenih tokova, kao i odvodnju oborinskih voda, iskazano je kroz značajnu zastupljenost III, IV i V kategorije uticaja u ukupnoj dužini od 7451 m, odnosno 55,31% (Slika 6).



Slika 6. Relativni udio po kategorijama uticaja traktorskih puteva/vlaka na odvodnju površinskih i oborinskih voda u sva tri analizirana odjela zajedno / **Figure 6.** Relative share by categories of impact of skid roads/trails on surface water and rainwater drainage in all three analyzed compartments



Slika 7. Ekstreman uticaj traktorskog puta na odvodnju površinskih voda (kategorija V) / **Figure 7.** Extreme impact of skid roads on the drainage of surface water (category V)

5. DISKUSIJA I ZAKLJUČCI / DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Traktorski putevi/traktorske vlake su neizostavan segment u okviru gospodarenja šumama. Njihova dominantna uloga kada je riječ o sekundarnoj mreži šumske transportne infrastrukture, koja iznosi i preko 95% (Sokolović & Bajrić, 2011) ukupne sekundarne mreže, svakako zahtijeva posebnu pažnju u svim fazama, od planiranja do posteksploatacionog perioda, kada bi istu trebalo sanirati.

Faktor koji se izračunava na relativno jednostavan način, a koji jasno ukazuje da će prilikom trasiranja i izradnje mreže traktorskih puteva/vlaka izvjesno doći do značajnog broja presijecanja vodotokova, jeste gustina hidrografske mreže. Na istraživanom području, za sva tri šumska odjeljenja na kojima se vršilo istraživanje gustina hidrografske mreže u prosjeku iznosi 2,12 (km/km²), što prema kategorizaciji Gavrilovića (Gavrilović, 1972) predstavlja jako gustu hidrografsku mrežu. Rezultati provedenog istraživanja ukazuju na činjenice da se ovoj mreži ne posvećuje dovoljno potrebne pažnje, posebno u smislu regulisanja oticaja voda kao načinu najbezbednijeg prelaska preko planinskih potoka, koji su često veoma prisutni.

Analiza svih 10 utvrđenih pozicija ukrštanja vodenih tokova i traktorskih puteva ili vlaka jasno pokazuje da ni u jednom slučaju nije izgrađen odgovarajući privremeni propust za vodu. Pored toga što na pozicijama presijecanja nisu izgrađeni privremeni propusti, na cjelokupnoj mreži traktorskih puteva/vlaka nisu provedeni bilo kakvi radovi na sanaciji, odnosno konzervaciji istih. Ovakav pristup izgradnji i eksploataciji traktorskih puteva/vlaka omogućuje negativno uzajamno dejstvo vodenih tokova i sekundarne mreže šumske transportne infrastrukture. Naime, vodeni tok na mjestu presijecanja proširuje, produbljuje, a u ekstremnim slučajevima na poziciji ukrštanja u potpunosti onemogućuje kretanje mehanizacije. Također, i traktorski putevi i traktorske vlake često imaju negativan uticaj na prirodni oticaj planinskih potoka i odvodnju oborinskih voda, u smislu da se preusmjerava kolotrazima, te na taj način erodira zemljište i isto nosi u niže predjele. Navedeni

primjeri negativnog uticaja su registrovani u istraživanom području. I relativno veliki nagibi na kojima se grade traktorski putevi/traktorske vlake negativno utiču na količinu odnesenog materijala i dubinu kolotruga (Bagheri et al., 2013).

Rezultati prethodnih istraživanja drugih autora koji su se bavili sličnom problematikom također ističu snažan negativan uticaj oborinskih ili površinskih voda na intenziviranje erozionih procesa na traktorskim putevima/vlakama i odnošenje sedimenta u niže predjele. Neposrednu povezanost površinskog oticanja i intenziviranja erozionih procesa u svojim radovima opisali su: Mehgatan & Kidd, 1972; Beneš, 1980; Rebula, 1991; Tomašić, 1998; Pičman & Pentek, 2001; Sasaki, 2004; Naghdi et al., 2009; Wade et al., 2012; Akbarimehr & Naghdi, 2012; Bajrić, 2012; Bagheri et al., 2013; Sokolović & Bajrić, 2015; Jourgholami et al., 2020.

Izuzev nemarnog odnosa kada je riječ o pozicijama ukrštanja, ne pristupa se na odgovarajući način ni drugim dijelovima traktorskih puteva/vlaka. Tačnije, nakon završenih radova na eksploataciji šuma nisu registrovani bilo kakvi radovi na provođenju mjera sanacije. Postoje vrlo jednostavne i praktične mjere sanacije koje daju odlične rezultate, kao što su zatravljivanje, izrada poprečnih jaraka, vodene barijere, malčiranje (Wade, 2010; Bajrić, 2012; Bajrić & Sokolović 2015; Jourgholami et al., 2018). Nanošenje malča u značajnoj mjeri smanjuje površinski oticaj (Malvar et al., 2017).

Neodgovarajući pristup prilikom trasiranja traktorskih puteva/vlaka, kao i neprovođenje bilo kakvih mjera sanacije na istraživanom području imaju negativne efekte koji se uočavaju na pozicijama ukrštanja, gdje na 20% (2 od 10 pozicija) ima ekstremnan uticaj, te su traktorski putevi/traktorske vlake na tim mjestima bez mjera sanacije neupotrebljivi. Također, analiza uticaja promjene prirodnog pravca oticanja i uticaj oborinskih padavina pokazuju da se na 7451 m (55,31%) dužine traktorskih puteva ili vlaka nalaze duboki kolotrazi usljed negativnog uticaja površinskog oticanja. Ekstremni uticaj (kat-

egorija V) se javlja na dužini od 1101 m (8,17%), pri kojem je prirodni pravac oticanja potoka u potpunosti preusmjeren na traktorski put/traktorsku vlaklu.

Vrlo efikasan način rješavanja pozicija ukrštanja vodenih tokova i traktorskih puteva/vlaka su tzv. „fleksibilne cijevi“. Ovakvo rješenje je vrlo

učinkovito, prirodni pravac tečenja ostaje isti, voda se ne muti prilikom prelaska mehanizacija i nema negativnog međusobnog uticaja. Nakon završetka radova na eksploataciji šuma, „fleksibilne cijevi“ se uklanjaju sa pozicije ukrštanja i koriste ponovo na području gdje se vrše radovi (Bajrić et al., 2017).

Literatura / References

- Akbarimehr M., Naghdi R. (2012). Reducing erosion from forest roads and skid trails by management practices. *Journal of Forest Science* 58(4): 165–169.
- Bagheri I., Naghdi R., Jalali, A.M. (2013). Evaluation of factors affecting water erosion along skid trails. *Caspian Journal of Environmental Sciences* 11(2): 151–160.
- Bajrić M. (2012). *Razvoj erozionih procesa na traktorskim vlakama različitog uzdužnog nagiba*. Doktorska disertacija Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu: 154 str.
- 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: 5–14.
- Bajrić M., Lojo A., Musić J., Skopljak F. (2017). *Elaborat o gospodarenju šumama u zonama sanitarne zaštite izvorišta vode Kruščica, općina Vitez*. Vlada Srednjobosanskog kantona, Ministarstvo poljoprivrede, vodoprivrede i šumarstva – Kantonalna uprava za šumarstvo, Travnik: 117 str.
- Beneš J. (1980). *Určeni tehnicko – ekonomickych kriterii plânovâni výstavby lesni dopravní site*. Doktorska práce, VŠZ Brno: 198 str.
- DeArmond D., Ferraz J.B.S., Higuchi N. (2021). Natural recovery of skid trails: a review. *Canadian Journal of Forest Research* 51: 1–14.
- Čaluk A. (2020). *Uticaj hidrografske mreže na traktorske puteve – studij slučaja*. Magistarski rad, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu: 57 str.
- Gavrilović S. (1972). *Inžinjerin o bujičnim tokovima i eroziji*. „Izgradnja“, Beograd: 292 str.
- McFero J. G. III. (2006): A New Design to Evaluate Erosion and Sediment Control. U: *Proceedings, Environmental Connection 2006. Colorado Springs, CO*. International Erosion Control Association: 153–162.
- Javno preduzeće „Bosanskohercegovačke šume“ (2013). *Šumskogospodarska osnova za ŠGP „Gornjevrubasko“ (važnost 2014–2023. godina)* [Planski dokument]. Sarajevo: 388 str.
- Jourgholami M., Khajavi S., Labelle E.R. (2018). Mulching and water diversion structures on skid trails: Response of soil physical properties six years after harvesting. *Ecological Engineering* 123: 1–9.
- Jourgholami M., Labelle E.R. (2020). Effects of plot length and soil texture on runoff and sediment yield occurring on machine-trafficked soils in a mixed deciduous forest. *Annals of Forest Science* 77: 1–11.
- Malvar M.C., Silva F.C., Prats S.A., Vieira D.C.S., Coeleho C.O.A., Keizer J.J. (2017). Short-term effects of post-fire salvage logging on runoff and soil erosion. *Forest Ecology and Management* 400: 555–567.
- Meghatan W.F., Kidd W.J. (1972). Effects of Logging and Logging Roads on Erosion and Sediment Deposition from Steep Terrain *Journal of Forestry* 70(3): 136–141. doi:10.1093/jof/70.3.136
- Naghdi R., Bagheri I., Lotfalian M., Setodeh B. (2009). Rutting and soil displacement caused by 450C Timber Jack wheeled skider (Asalem forest northern Iran). *Journal of Forest Science* 55: 177–183.
- Pičman D., Pentek T. (2001). Uticaj privlačenja oblog drveta na oštećivanje traktorskih vlaka i naknadne erozijske procese. In: *Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama*. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Šumarski institut, Jastrebarsko, Zagreb: 555–563.
- Rebula E. (1991). Erozijska na vlakah. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 37: 53–81.
- Sasaki S. (2004). Impacts of skid road construction on soil erosion in Jozankei national forest, Japan. *Науковий вісник НЛТУ України* 14(3): 349–353.
- Sokolović Dž., Bajrić M. (2011). *Studija – Šumska transportna infrastruktura Federacije Bosne i Hercegovine*. Federalno ministarstvo poljoprivrede, vodoprivrede i šumarstva, Sarajevo: 79 str.

- Sokolović Dž., Bajrić M. (2015). Analiza mogućeg uticaja šumske transportne infrastrukture na razorno djelovanje brdsko-planinskih vodotoka. *Zbirka referata, Upravljanje rizicima od poplava i ublažavanje njihovih štetnih posljedica, ANU BIH*: 77–84.
- Sokolović Dž. (2018): *Šumska transportna infrastruktura*. Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu: 209 str.
- ŠPP/ŠGP „Srednjobosansko” (2014). *Izvedbeni projekat za šumsko odjeljenje 15, G.J. „Prusačka rijeka”* [Planski dokument]: 24 str.
- ŠPP/ŠGP „Srednjobosansko” (2014). *Izvedbeni projekat za šumsko odjeljenje 16, G.J. „Prusačka rijeka”* [Planski dokument]: 42 str.
- ŠPP/ŠGP „Srednjobosansko” (2014). *Izvedbeni projekat za šumsko odjeljenje 17, G.J. „Prusačka rijeka”* [Planski dokument]: 24 str.
- ŠPP/ŠGP „Srednjobosansko” (2019). *Izvedbeni projekat za šumsko odjeljenje 61, GJ „Kruščica”* [Planski dokument]: 43 str.
- Tomašić Ž. (1998). Erozija tla na pokusnoj traktorskoj vlaci različitih uzdužnih nagiba. *Mehanizacija šumarstva* 23(1): 15–24.
- Wade C.R. (2010). *Evaluation of Best Management Practices for Bladed Skid Trail Erosion Control and Determination of Erosion Model Accuracy and Applicability*. Master thesis, Blacksburg, VA: 118 str.
- 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): 191–197.
- Wang C., Liu B., Yang Q., Pang G., Long Y., Wang L., Cruise 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.

Summary

Numerous authors have written about the problems of the occurrence of erosion processes on primary and secondary forest traffic infrastructure, emphasizing their importance in the formation of sediment, as well as their negative impact on the watercourses near the both types of forest traffic infrastructure. Secondary forest traffic infrastructure may have an especially negative impact on watercourses. It is built with low technical criteria, so if not repaired, it is highly likely that it will become a source of sediment (Bajrić, 2012). Previous practical experience in the forestry in FB&H show that the rehabilitation of secondary forest traffic infrastructure is carried out only occasionally, or it is completely left out. Besides that, superficial approach to designing secondary forest traffic infrastructure in the conditions when a developed hydrological network is present may cause serious and negative consequences for watercourses. The introduction of forest mechanization in the phase of timber transportation increases the production of sediment from secondary forest traffic infrastructure. Meghatan and Kidd (1972) state that erosion is the most common phenomenon on the surface of secondary forest traffic infrastructure due to large longitudinal slope and the impact of the forest mechanization wheels.

This research shows that out of 10 intersections of secondary forest traffic infrastructure and watercourses there is a significant impact of watercourses that of forest mechanization on 6 intersections, while in 2 cases that impact is very significant and it is necessary to repair the secondary forest traffic infrastructure in order to enable the mechanization to pass safely. This research shows that out of 10 intersection positions of secondary forest traffic infrastructure and watercourses, at 6 we have a significant impact of water flow which makes it difficult for the mechanization to pass, while in 2 cases this impact is very pronounced and it is necessary to repair them in order to enable the mechanization to pass safely.

Out of the total length of 13,469 m of watercourses in the research area, secondary forest traffic infrastructure has a strong to extreme impact on 7,451 m (55.32%) of the watercourses. An extreme impact of secondary forest traffic infrastructure on watercourses has been registered on the length

of 1,101 m or 8.17% of the watercourses in the research area, on which there has been a complete change of the natural direction of water flow. The obtained results show that the no rehabilitation measures of secondary forest traffic infrastructure have been carried out in any of the three compartments which have been selected for the research. The focus of the results of this research is on the intersections between secondary forest traffic infrastructure and watercourses in the conditions of dense hydrological network, where it is necessary to construct temporary culverts. They are made of flexible plastic pipes. Quality solution for secondary forest traffic infrastructure crossings over hilly mountain watercourses minimizes the risk of the occurrence of erosion processes on secondary forest traffic infrastructure, which can cause ravine flows or its surfaces may become a torrent bed in extreme cases.

Key words: hydrological network, Skid roads/trails, water erosion.