

# RAŠČLAMBA TEHNIČKIH ZNAČAJKI I SUSTAVA ODVODNJE POSTOJEĆIH ŠUMSKIH CESTA RADI UTVRĐIVANJA POTREBE NJIHOVE REKONSTRUKCIJE – STUDIJA SLUČAJA ZA G.J. „BELEVINE“ NPŠO ZALESINA

THE ANALYSIS OF THE TECHNICAL FEATURES AND DRAINAGE SYSTEM FOR EXISTING FOREST ROADS IN ORDER TO ESTABLISH THE NEEDS OF THEIR RECONSTRUCTION – A CASE STUDY OF MU “BELEVINE” TRFC ZALESINA

PAPA, I., PENTEK, T.(C), NEVEČEREL, H., LEPOGLAVEC, K., ĐUKA, A., ŠAFRAN, B., RISOVIĆ, S.

## Sažetak

U Republici Hrvatskoj su važeće tehničke značajke za šumske ceste propisane u Tehničkim uvjetima za gospodarske ceste (*Šikić i dr. 1989*), a za potrebe ovoga rada su osuvremenjene Novim tehničkim značajkama za šumske prometnice (*Anon., 2015*). Za svaku su kategoriju šumske ceste definirane određene tehničke značajke koje u fazi planiranja treba dobro proučiti i uzeti u obzir, u fazi projektiranja ih treba strogo primjenjivati, a u fazi izgradnje, uz provedbu stručnog nadzora, precizno prenijeti na teren. Neke šumske ceste u Republici Hrvatskoj ne udovoljavaju niti tehničkim značajkama najniže definirane kategorije šumskih cesta, prilaznoj šumskoj cesti. Tehničke značajke takvih šumskih cesta bi, kada je to stručno opravdano, tehnički izvedivo, ekonomski isplativo i okolišno prihvatljivo, zbog sigurnosti odvijanja prometa, smanjenja troškova održavanja i minimiziranja negativnog utjecaja na okoliš, trebalo rekonstrukcijom uskladiti s propisanim tehničkim značajkama.

Istraživanja su provedena na sastavnicama primarne šumske prometne infrastrukture g.j. „Belevine“ u sastavu nastavno-pokusnog šumskog objekta Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zalesina. Sedam makadamskih šumskih cesta, ukupne duljine 7,031 km, izgrađeno je u razdoblju od 1968. do 1988. godine. Od izgradnje pa do danas, sve se šumske ceste redovito održavaju, a radovi održavanja su prevladavajuće usmjereni na popravak oštećenja kolničke konstrukcije i objekata odvodnje. Na šumskim su cestama, u okviru izrade detaljnog registra primarne šumske prometne infrastrukture, izmjerene odabrane tehničke značajke (širina kolnika, širina bankine, uzdužni nagib nivelete i poprečni nagib kolnika). Evidentirani su elementi sustava površinske i podzemne odvodnje (odvodni jarak, propust, most, procjednica i preljevica) te njihovo stanje, kao i položaj svih cestovnih objekata. Uspoređene su postojeće s propisanim tehničkim značajkama šumskih cesta u Republici Hrvatskoj.

Dr. sc. Ivica Papa, e-mail: papa@sumfak.hr, Prof. dr. sc. Tibor Pentek (c), e-mail: pentek@sumfak.hr, Doc. dr. sc. Hrvoje Nevečerel, e-mail: nevecere@sumfak.hr, Dr. sc. Kruno Lepoglavec, e-mail: lepoglavec@sumfak.hr, Dr. sc. Andreja Đuka, e-mail: aduka@sumfak.hr, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zavod za šumarske tehnike i tehnologije, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb, HRVATSKA

Dr. sc. Branimir Šafraan, e-mail: bsafraan@sumfak.hr, Prof. dr. sc. Stjepan Risović, e-mail: risovic@sumfak.hr, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zavod za procesne tehnike, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb, HRVATSKA

c) corresponding author

Na temelju izrađene studije slučaja za primarnu šumsku prometnu infrastrukturu g.j. „Belevine“, moguće je primjenom istovrsne metodologije rada utvrditi manjkavosti, u smislu nepoštivanja minimalnih propisanih tehničkih značajki, primarne šumske prometne infrastrukture bilo koje gospodarske jedinice gorskog reljefnog područja, te dati preporuke tehnološkog postupka rekonstrukcije.

**KLJUČNE RIJEČI:** šumska cesta, tehničke značajke, sustav odvodnje, rekonstrukcija šumske ceste, gorsko reljefno područje

## 1. UVOD I PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA INTRODUCTION AND RESEARCH PROBLEMS

Šumska prometna infrastruktura sastoji se od primarne i sekundarne šumske prometne infrastrukture. Primarnu šumsku prometnu infrastrukturu čine sve kategorije šumskih cesta, one javne ceste koje se mogu koristiti pri radovima u šumarstvu (to su najčešće javne ceste nižih kategorija – županijske i lokalne ceste) te nerazvrstane ceste (slika 1). Sekundarnu šumsku prometnu infrastrukturu čine sekundarne šumske prometnice: traktorski putovi i traktorske vlake za sustave pridobivanja drva kod kojih se drvo kreće po tlu (izvoženje ili vuča drva) i žične linije za sustave pridobivanja drva kod kojih se drvo kreće po zraku (iznošenje drva) (Pentek i dr., 2011). Sekundarna šumska prometna infrastruktura za sustave pridobivanja drva kod kojih se drvo privlači po tlu a koja se treba graditi (traktorski putovi) je, sa stajališta primarnog transporta drva, posebno značajna na strmim terenima koji obiluju površinskim preprekama (Solgi i dr., 2014). Naghdi i Solgi (2014) kao glavne

utjecajne čimbenike oštećivanja sekundarnih šumskih prometnica navode: udio trenutne vlage tla, klizanje kotača, količinu privlačenoga drva, i broj traktorskih turnusa.

Uspostavljanje optimalnog šumskog transportnog sustava na terenu te njegovo kasnije upravljanje, provodi se kroz četiri uvijek prisutne i dvije ponekad prisutne radne faze (Pentek i dr., 2006; Pentek, 2012). Šumske ceste (Péterfalvi i dr., 2015) moraju biti planirane, projektirane i izgrađene s ciljem što ekonomičnijeg sekundarnog transporta drvnih sortimenata uz minimiziranje njihova negativnog utjecaja na okoliš.

Šumske ceste i traktorski putovi predstavljaju one sastavnice šumske prometne infrastrukture koje se u šumi grade. Podloga za izgradnju šumskih cesta su glavni projekti koji moraju biti izrađeni u suglasju s važećim tehničkim uvjetima. Samo takvi glavni projekti šumskih cesta, uz stručni nadzor pri postupku gradnje, jamče kvalitetne šumske objekte niskogradnje, koji tijekom predviđenog razdoblja trajanja, uz redovito održavanje, mogu obnašati sve svoje funkcije.



**Slika 1.** Sastavnice šumske prometne infrastrukture  
**Figure 1** The components of forest traffic infrastructure

### 1.1. Rekonstrukcija šumskih cesta – *Reconstruction of forest roads*

Jedna od faza koje se u životnom ciklusu pojedine šumske ceste može pojaviti je i njena rekonstrukcija. Rekonstrukcija šumskih cesta najčešće se provodi zbog potrebe usklađenja jednog ili više konstruktivnih elemenata šumske ceste s propisanim tehničkim uvjetima ili standardima. Razlozi potrebe rekonstrukcije šumske ceste mogu biti različiti.

Najčešći razlozi za rekonstrukciju šumskih cesta (Anon., 2000) su: 1. projektirana trasa ili kolnička konstrukcija šumske ceste mora se poboljšati kako bi zadovoljila postojeće ili buduće prometno opterećenje i strukturu prometa; 2. pokosi nasipa i iskopa pokazuju znakove raspadanja i prijete urušavanjem; 3. objekti površinske i podzemne odvodnje zahtijevaju značajna popravke, poboljšanja ili zamjenu; 4. prijelazi preko vodotoka zahtijevaju značajne popravke, poboljšanja ili zamjenu; 5. moraju se zadovoljiti zahtjevi za sigurnim prometovanjem i 6. ostali nezadovoljavajući elementi šumske ceste koji zahtijevaju značajna poboljšanja.

Ryan i dr. (2004) navode kako troškovi rekonstrukcije nisu zanemarivi, te u većini slučajeva iznose 30 do 70 % ukupnih troškova izgradnje nove šumske ceste na istome području. Pritom autori radovima na rekonstrukciji šumskih cesta smatraju: povećanje širine kolnika, promjenu materijala kolničke konstrukcije (kolničkog zastora) na određenoj dionici te zamjenu postojećeg sustava odvodnje i/ili značajnog broja propusta.

Postoji nekoliko zadataka koje rekonstrukcija šumskih cesta mora ispuniti (Anon., 2000): 1. poboljšanje postojećih šumskih cesta kako bi zadovoljavale sadašnje i buduće potrebe umjesto izgradnje novih šumskih cesta (tamo gdje je to tehnički moguće, ekonomski isplativo i okolišno prihvatljivo); 2. ispravljanje postojeće nezadovoljavajuće situacije; 3. zadovoljenje trenutno važećih tehničkih uvjeta i standarda gradnje i 4. sprječavanje/smanjenje šteta na okolišu.

Grace i Clinton (2006) pišu o problemu identifikacije onih šumskih cesta koje su kritične i zahtijevaju rekonstrukciju, a na kojim će se navedeni postupak rekonstrukcije isplatiti s obzirom na visinu troškova rekonstrukcije te istovremeno smanjenje štetnog utjecaja na okoliš i dodatnih koristi od njihove uporabe. Kriteriji za identifikaciju razlikuju se ovisno o tome jesu li to šumske gospodarske ceste namijenjene ponajprije za transport drva te pristup strojeva i radnika šumi ili su to šumske ceste koje se primarno koriste za turističke i rekreativne svrhe.

Coulter i dr. (2006) naglašavaju potrebu za korištenjem AHP (analitički hijerarhijski proces) metode višekriterijskog odlučivanja pri rekonstrukciji i održavanju šumskih cesta. Svake se godine u održavanju i rekonstrukciji šumskih cesta ulažu značajna financijska sredstva, a u praksi se vrlo često koriste jednokriterijske analize koje mogu biti subjektivne, odnosno uključivati samo one kriterije koji odgovara-

ju korisniku. Autori smatraju kako bi AHP metoda pružila dosljedan i nepristran pristup rangiranju investicija u izgrađenu mrežu primarne šumske prometne infrastrukture prema važnosti, te odgovarajući alat za određivanje isplativosti rekonstrukcije šumskih cesta.

Za rekonstrukciju šumske ceste potrebno je izraditi glavni projekt, koji osim propisanog sadržaja za gradnju novih građevina sadržava također dokaze da je građevina, odnosno njezin dio, primjerena za rekonstrukciju kao cjelina (dokaz o prikladnosti građevine za rekonstrukciju). Dokaz o prikladnosti građevine za rekonstrukciju sastoji se od: 1. opisa tehničkog stanja postojećeg dijela građevine koja se rekonstruira s provjerom udovoljavanja bitnih zahtjeva za građevinu, 2. snimke postojećeg stanja koja obuhvaća cjelokupnu zonu zahvata rekonstrukcije u odgovarajućim mjerilima (situacija s ucrtanim svim postojećim građevinama, postojeći uzdužni presjek i karakteristični poprečni presjek te druge pojedinosti kada je to potrebno, ovisno o vrsti rekonstrukcije građevine) (Anon., 2015).

Rekonstrukcija ne mora obuhvatiti čitavu duljinu trase šumske ceste, već samo neke njezine dijelove, dok se oni ostali mogu izmjestiti ili staviti izvan uporabe (Swift i Burns, 1999).

### 1.2. Tehničke značajke šumskih cesta u Republici Hrvatskoj – *Technical features of forest roads in the Republic of Croatia*

Tehničke značajke šumskih cesta u Republici Hrvatskoj su propisane u Tehničkim uvjetima za gospodarske ceste (Šikić i dr., 1989). Pentek i dr. (2007) daju sažeti prijedlog novih tehničkih uvjeta kod kojih je temeljni kriterij kategorizacije šumskih cesta prometno opterećenje, a definiraju horizontalne i vertikalne sastavnice, elemente kolničke konstrukcije te cestovne objekte različitih kategorija šumskih cesta.

U okviru Pravilnika o provedbi Mjere M04 „Ulaganja u fizičku imovinu“, Podmjere 4.3. „Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju ili prilagodbu poljoprivrede i šumarstva“, Operacije 4.3.3. „Ulaganje u šumsku infrastrukturu“ iz Programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje od 2014. do 2020.g., u prilogu IV. „Tehničke značajke šumskih prometnica“ prihvaćen je prijedlog dopune važećih Tehničkih uvjeta za gospodarske ceste (Šikić i dr., 1989). U Pravilniku se navodi „Za projektiranje šumskih prometnica (spojnih cesta, šumskih cesta i traktorskih putova) se, u okviru navedene mjere, podmjere i operacije iz Programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020., primjenjuju Tehnički uvjeti za gospodarske ceste (Šikić i dr., 1989), ukoliko nisu u suprotnosti sa ovdje navedenim tehničkim značajkama primarnih i sekundarnih šumskih prometnica (u daljnjem tekstu Nove tehničke značajke šumskih prometnica)“.

Za očekivati je da će tehničke značajke šumskih prometnica koje je, pri financiranju izgradnje i rekonstrukcije, prihva-

**Tablica 1.** Elementi poprečnog presjeka, tlocrtni i visinski elementi različitih kategorija šumskih prometnica u Republici Hrvatskoj (Anon., 2015)  
**Table 1** Elements of the cross section, ground plan and elevation elements of different forest roads categories (Anon. 2015)

Kategorija prometnice Forest road category	Elementi poprečnog presjeka Cross section elements		Tlocrtni elementi Ground plan elements		Visinski elementi Elevation elements	
	Š <sub>k</sub> – širina kolnika (m) Pavement width (m) Š <sub>b</sub> – širina bankine (m) Road shoulder width (m)	2 prometna traka Two traffic lanes 1 prometni trak One traffic line	R <sub>min</sub> – najmanji polumjer horizontalne krivine (m) Minimal radius of horizontal curve (m)	d <sub>max</sub> – najveći razmak između mimoilaznica (m) The largest distance between passing by areas (m)	R <sub>min</sub> – najmanji polumjer vertikalne krivine (m) Minimal radius of vertical curve (m)	d <sub>max</sub> – najmanji razmak između vertikalnih krivina suprotnog smjera (m) The minimum distance between vertical curves of opposite direction (m)
Spojna cesta (SC) Connecting forest road	Š <sub>k</sub> = 4,50-5,00 m Š <sub>b</sub> = 0,75-1,00 m		RT = 150 m BT = 40 (30) m PT = 30 (20) m Z = 15 (12) m za R ≤ 100 m projektirati prijelazne krivine For R ≤ 100 m designing transitional curve	Mimoilaznice se ne izvode There is no need for passing by areas	RT = 2000 m BT = 1000 m PT = 1000 m	RT/BT/PT = 50 m
Glavna šumska cesta (GŠC) Main forest road	Š <sub>k</sub> = 4,50-5,00 m Š <sub>b</sub> = 0,75-1,00 m		RT = 70 (50) m BT = 40 (30) m PT = 30 (20) m Z = 15 (12) m	Mimoilaznice se ne izvode There is no need for passing by areas	RT = 1000 m BT = 600 m PT = 600 m	RT/BT/PT = 40 m
Sporedna šumska cesta (SŠC) Side forest road	Š <sub>k</sub> = 4,50-5,00 m Š <sub>b</sub> = 0,75-1,00 m		RT = 30 m BT = 20 (18) m PT = 20 (18) m Z = 12 m	d <sub>max</sub> ≤ 300 m	RT = 800 m BT = 500 m PT = 500 m	RT/BT/PT = 35 m
Prikladna šumska cesta (PŠC) Access forest road			RT = 20 m BT = 20 (16) m PT = 20 (16) m Z = 12 (10) m	d <sub>max</sub> ≤ 400 m	RT = 600 m BT = 400 m PT = 400 m	RT/BT/PT = 30 m
Glavni traktorski put (GTP) Main skid trail			RT = 20 m BT = 18 (15) m PT = 18 (15) m Z = 10 (8) m	Mimoilaznice se izvode prema potrebi d <sub>max</sub> = 150 – 300 m Passing by areas are optional	RT = 600 m BT = 300 m PT = 300 m	RT/BT/PT = 25 m
Sporedni traktorski put (STP) Side skid trail			RT = 20 m BT = 15 (12) m PT = 15 (12) m Z = 10 (8) m	Mimoilaznice se izvode prema potrebi d <sub>max</sub> = 150 – 300 m Passing by areas are optional	RT = 400 m BT = 200 m PT = 200 m	RT/BT/PT = 15 m

RT – ravničasti (nizinski) teren – Lowland area  
 BT – brdoviti (prigrorski) teren – Hilly area

PT – planinski (gorski) teren – Mountainous area  
 Z – zaokretnica (serpentina) – Serpentine

( ) – iznimna vrijednost (može se upotrijebiti samo u iznimnim, opravdanim slučajevima uz detaljno obrazloženje u tehničkoj dokumentaciji) – Exceptional value (can be used only in exceptional, justified cases with a detailed explanation in the technical documentation)

tila Europska unija (Nove tehničke značajke šumskih prometnica u kombinaciji s važećim Tehničkim uvjetima za gospodarske ceste) uskoro postati i standard u Republici Hrvatskoj. Stoga su se i istraživanja u ovome radu temeljila na opisanom standardu (tablica 1).

### 1.3. Kategorizacija šumskih cesta u Republici Hrvatskoj (Šikić i dr., 1989) – Forest road categorization in the Republic of Croatia (Šikić et al. 1989)

Prema Tehničkim uvjetima za gospodarske ceste (Šikić i dr., 1989), sastavnice unutar mreže šumskih gospodarskih cesta razvrstavaju se prema slijedećim kriterijima: 1. prema značenju na: spojne ceste, glavne šumske ceste, sporedne šumske ceste i prilazne šumske ceste (slika 2); 2. prema prometnom opterećenju (izraženom u bruto tonama dnevno) na: šumske ceste za srednje teško prometno opterećenje (500 do 2500 bruto tona dnevno), na šumske ceste za lako prometno opterećenje (100 do 500 bruto tona dnevno) i na šumske ceste za neznatno prometno opterećenje (< 100 bruto tona dnevno); 3. prema veličini i učestalosti transporta drvnoga obujma na: šumske ceste 1. reda, šumske ceste 2. reda i šumske ceste 3. reda; 3. prema konfiguraciji terena na: ravničarske šumske ceste, prigrorsko-brdske šumske ceste i planinske (gorske) šumske ceste.

- ⇒ **Spojne ceste** tijekom cijele godine povezuju mrežu šumskih gospodarskih cesta s mrežom javnih cesta i s njima čine cjelokupnu prometnu mrežu gospodarskih cesta širega šumskoga područja.
- ⇒ **Glavne šumske ceste** prolaze kroz veće šumsko područje i na taj način povezuju šumski kompleks sa spojnim ili izravno s javnim cestama.
- ⇒ **Sporedne šumske ceste** odvajaju se od glavne šumske ceste i ulaze u pojedine dijelove većeg šumskog kompleksa ili otvaraju manji šumski kompleks.

**Prilazne šumske ceste** odvajaju se od glavnih ili sporednih šumskih cesta, prolazeći kroz šumski kompleks do pojedinih većih ili manjih šumskih radišća.

## 2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA I METODE RADA RESEARCH GOALS AND WORKING METHODS

### 2.1. Ciljevi istraživanja – Research goals

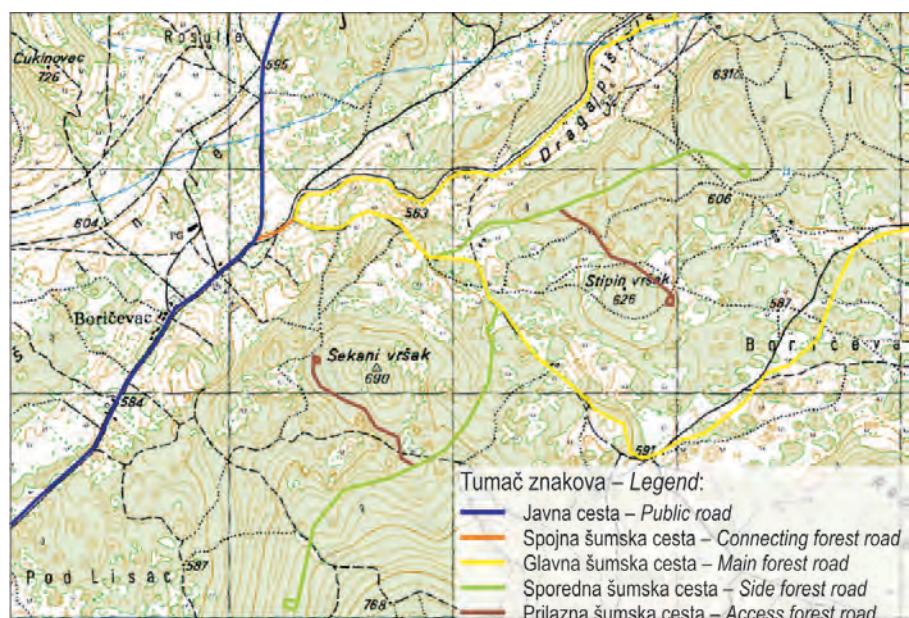
Ciljevi provedenog istraživanja su:

- ⇒ izmjera i raščlamba odabranih tehničkih značajki šumskih cesta te usporedba s propisanim tehničkim značajkama u Republici Hrvatskoj (Šikić i dr., 1989; Anon, 2015)
- ⇒ evidentiranje i raščlamba elemenata sustava površinske i podzemne odvodnje; cestovnih objekata i procjena građevinskih kategorija materijala,
- ⇒ definiranje tehnološkog postupka rekonstrukcije šumskih cesta u cilju dostizanja propisanih tehničkih značajki i optimizacije sustava odvodnje („nulto“/optimalno stanje).

### 2.2. Metode rada – Working methods

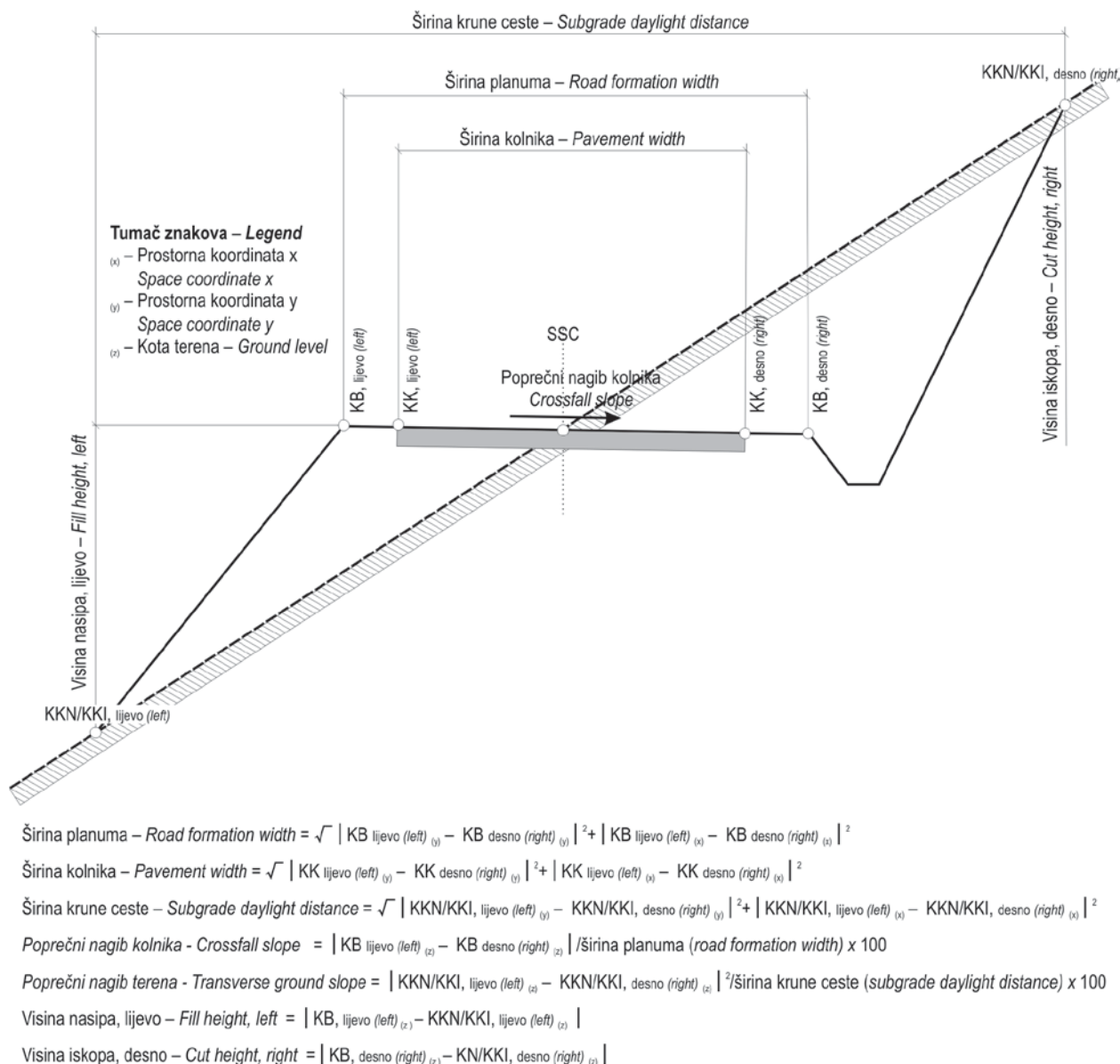
2.2.1. Izmjera i raščlamba odabranih tehničkih značajki šumskih cesta te usporedba s propisanim tehničkim značajkama u Republici Hrvatskoj (Šikić i dr., 1989; Anon, 2015) – *Measurement and analysis of selected forest roads' technical features and comparison with the current technical features in the Republic of Croatia (Šikić et al. 1989; Anon. 2015)*

Na terenu su, u okviru uspostave detaljnog registra primarne šumske prometne infrastrukture, za svaku od sedam šumskih cesta u g.j. „Belevine“, na svakoj mjernoj plohi dužine 20,00 m, sukladno novorazvijenoj metodologiji uspostave detaljnog registra primarne šumske prometne infra-



**Slika 2.** Podjela šumskih cesta prema kriteriju značenja (Šikić i dr., 1989)

**Figure 2** Forest road categorization according to significance criterion (Šikić et al. 1989)



**Slika 3.** Shematski prikaz izmjere i načina izračuna širine kolnika, širine planuma, širine krune šumske ceste, poprečnog nagiba kolnika, poprečnog nagiba terena te visine nasipa i/ili dubine iskope na pojedinoj mjernoj plohi (Papa, 2014)

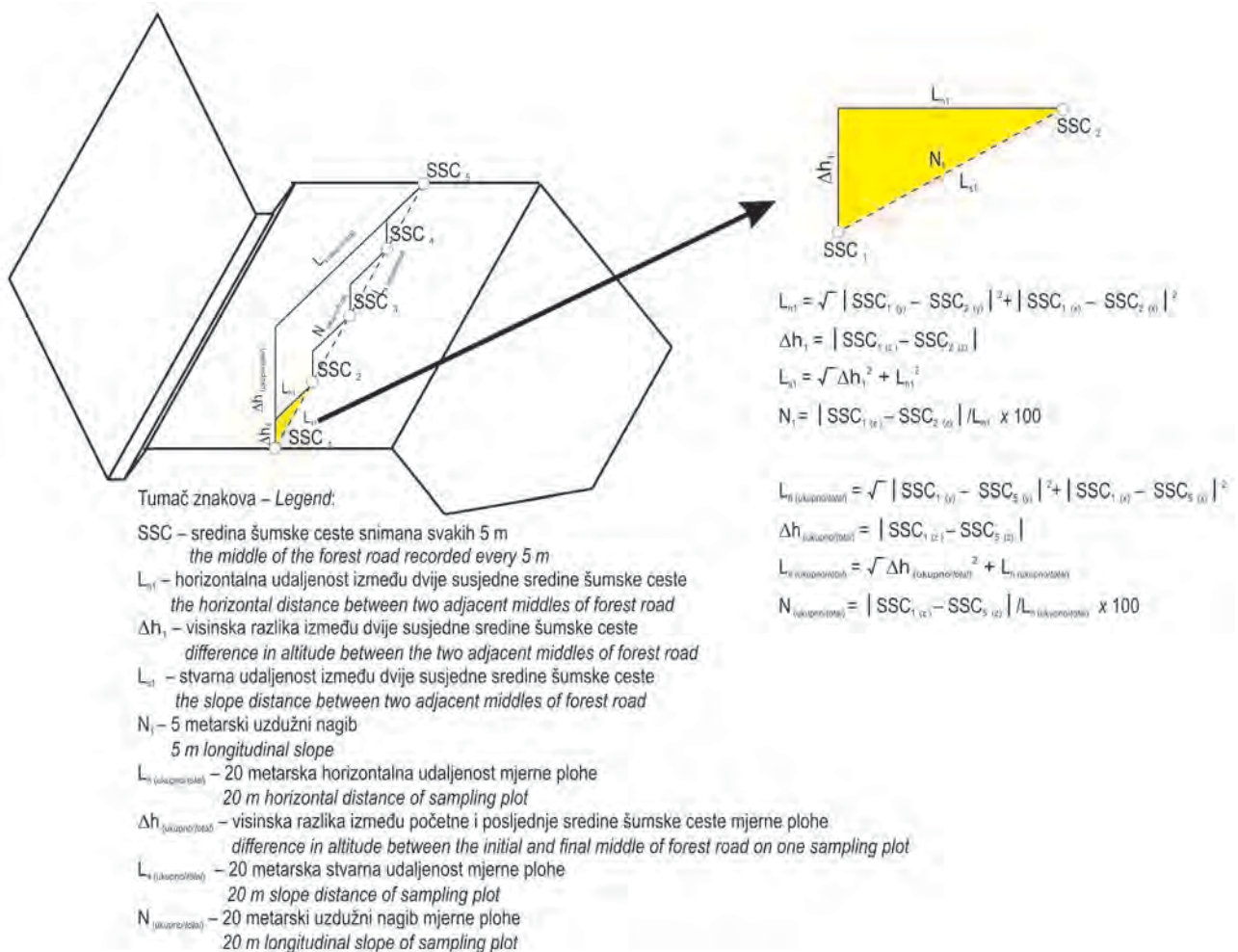
**Figure 3** Survey scheme and the calculation method for the pavement width, road formation width, subgrade daylight distance, crossfall slope, terrain cross slope and fill and/or cut height on the sampling plot (Papa 2014)

strukture (Papa i dr., 2015), izmjerene/izračunate sljedeće odabrane tehničke značajke: širina kolnika, širina bankine, uzdužni nagib nivelete i poprečni nagib kolnika (slike 3 i 4).

Šumske ceste „587 B1 001“, „587 B1 004“ i „587 B1 006“ su, prema kriteriju značenja (Šikić i dr., 1989) kategorizirane kao glavne šumske ceste, šumske ceste „587 B2 002“, „587 B2 003“ i „587 B2 007“ pripadaju u kategoriju sporednih šumskih cesta, a šumska cesta „587 B3 005“ prilazna je šumska cesta. Zbog osnovnih značajki prometa koji se odvija navedenim šumskim cestama (prometno opterećenje, frekvencija i struktura prometa), značajki g.j. „Belevine“ (površina, položaj, oblika), značajki šumskih sastojina (na-

mjena šuma, način gospodarenja, godišnji etat), nema potrebe i ne bi bilo opravdano izvoditi šumske ceste sa dva prometna traka. Stoga će se na šumske ceste „587 B1 001“, „587 B1 004“ i „587 B1 006“ primjenjivati tehničke značajke koje vrijede za sporedne šumske ceste, a za ostale mjerene šumske ceste tehničke značajke koje vrijede za kategoriju prilaznih šumskih cesta.

Kao minimalna širina kolnika (koja je kod obje kategorije šumskih cesta jednaka) za kategoriju sporednih šumskih cesta referentna će vrijednost biti gornja (4,00 m), a za kategoriju prilaznih šumskih cesta donja (3,50 m) granica dozvoljenog intervala (3,50 – 4,00 m). Na isti će se način uči-



Slika 4. Shematski prikaz izmjere i načina izračuna uzdužnog nagiba nivelete (5 m i 20 m) (Papa, 2014)

Figure 4 Survey scheme and the calculating method for the slope of vertical alignment (5 m and 20 m) (Papa 2014)

нити разлика између ширине банклина; на спoredним це шумским cestama minimalna ширина банклина бити 0,75 m, а на prilaznim шумским cestama 0,50 m (dozvoljeni interval ширине банклина и за sporedne и за prilazne шумске ceste износи 0,50 – 0,75 m).

Najveći dozvoljeni uzdužni nagib nivelete за sporedne šumske ceste u gorskom (planinskom) području износи 10 % (12 %), а за prilazne шумске ceste 12 % (15 %). U ovome će се radu koristiti vrijednosti od 10 % за sporedne и od 12 % за prilazne шумске ceste, jer се vrijednosti najvećeg dozvoljenog uzdužnog nagiba nivelete могу koristiti samo u iznimnim, opravdanim slučajevima и njihova се примјена, u tehničkoj dokumentaciji, мора detaljno obrazložiti; dakle су те vrijednosti maksimalnog dozvoljenog uzdužnog nagiba nivelete iznimka, а не pravilo. Najmanji dozvoljeni uzdužni nagib nivelete за sve kategorije шумских cesta износи 0,50 %.

Poprečni nagib kolnika, važan zbog poprečne odvodnje vode s kolnika šumske ceste, ovisi o kategoriji šumske ceste,

uzdužnom nagibu nivelete те radijsu horizontalne krivine. Najmanja dopuštena vrijednost за sporedne и prilazne makadamske шумске ceste износи 3 %, а najveća dopuštena vrijednost 6 %.

### 2.2.2. Evidentiranje i raščlamba elemenata sustava površinske i podzemne odvodnje; cestovnih objekata i procjena građevinskih kategorija materijala – Recording and analysis of ground and underground drainage elements; road facilities and assessment of construction material categories

Za svaku је sastavnicu primarne шумске prometne infrastrukture g.j. „Belevine“, по mjernim plohama evidentiran prostorni raspored и postojeće stanje elemenata sustava površinske и podzemne odvodnje: odvodnog jarka, propusta, mosta, procjednice и preljevnice. Jarci и propusti су osim за mjernu plohu vezani и uz stranu (lijeva, desna) шумске ceste (kod propusta strana ceste obilježava položaj uljevnog dijela propusta). Evidentiran је položaj svih cestovnih objekata и ostalih elemenata шумске ceste, а на svakoj су mjer-

**Tablica 2.** Metodologija procjene postojećeg stanja elemenata površinske i/ili podzemne odvodnje, cestovnih objekata i ostalih elemenata šumske ceste (Papa i dr., 2015)

**Table 2** The assessment methodology of the current state for ground and/or underground forest roads drainage system elements, road facilities and other elements of forest roads (Papa et al. 2015)

Elementi sustava površinske i/ili podzemne odvodnje šumske ceste – <i>Elements of ground and/or underground forest roads drainage system</i>		
Red. br. Ord. No.	Vrsta – <i>Type</i>	Stanje (kategorija) – <i>Current state (category)</i>
1.	Odvodni jarak – <i>Side ditch</i>	• Ne postoji – <i>Does not exist</i> (0)
2.	Cijevni propust – <i>Pipe culvert</i>	• Postoji ali ne obnaša svoju funkciju – <i>Exists but it is out of function</i> (1)
3.	Most – <i>Bridge</i>	• Postoji i djelomično obnaša svoju funkciju – <i>Exists and it is partly functional</i> (2)
4.	Procjednica – <i>Cross-ditch</i>	• Postoji i u potpunosti obnaša svoju funkciju – <i>Exists and it is fully functional</i> (3)
5.	Preljevnica – <i>Ford</i>	
Cestovni objekti i ostali elementi šumske ceste – <i>Road facilities and other elements of forest roads</i>		
Red. br. Ord. No.	Vrsta – <i>Type</i>	Stanje (kategorija) – <i>Current state (category)</i>
1.	Potporni zid – <i>Retaining walls</i>	
2.	Obložni zid – <i>Revetment walls</i>	
3.	Mimoilaznica – <i>Passing by area</i>	
4.	Okretaljka – <i>Turning point</i>	• Ne postoji – <i>Does not exist</i> (0)
5.	Pomoćno stovarište – <i>Landing</i>	• Postoji – <i>Exists</i> (1)
6.	Traktorski put/traktorska vlaka <i>Skid road/skid trail</i>	
7.	Deponij – <i>Disposal area</i>	
8.	Građevinska kategorija materijala (ABC kategorizacija) <i>Construction material category (ABC categorization)</i>	• Čvrsti kameni materijali – <i>Hard stones</i> (A) • Polučvrsta kamenita tla – <i>Semi-hard stone soils</i> (B) • Sitnozrnata vezana (koherentna) tla – <i>Fine grained (Coherent) soils</i> (C)

noj plohi procijenjene i građevinske kategorije materijala ABC metodologijom (Anon., 2001; Anon., 2008).

Za procjenu je postojećeg stanja elemenata površinske i podzemne odvodnje, cestovnih objekata i ostalih elemenata šumske ceste, korištena metodologija razvijena unutar cjelokupne metodologije izrade detaljnog registra primarne šumske prometne infrastrukture, a prikazana u tablici 2 (Papa i dr., 2015).

U Republici Hrvatskoj Opći tehnički uvjeti za radove na cestama (Anon. 2001), opisuju tri osnovne građevinske kategorije materijala: A, B i C. A kategorija odnosi se na sve čvrste materijale, koji zahtijevaju miniranje kod cijelog iskopa. Podrazumijeva sve vrste čvrstih i vrlo čvrstih kamenih tala kompaktnih stijena (eruptivnih, metamorfnih i sedimentnih) u zdravom stanju, uključujući i moguće tanje slojeve rastresitog materijala na površini, ili takve stijene s mjestimičnim gnijezdima ilovače i lokalnim trošnim ili zdrobljenim zonama. U ovu se kategoriju ubrajaju i tla koja sadrže više od 50 % samaca većih od 0,5 m<sup>3</sup>, za čiji je iskop također potrebno miniranje.

Pod materijalom kategorije B podrazumijevaju se polučvrsta kamenita tla u kojima je potrebno djelomično miniranje, dok se ostatak iskopa obavlja strojnim radom. Toj skupini materijala pripadaju flišni materijali, uključujući i rastresiti materijal, homogeni lapori, trošni pješčenjaci i mješavine lapora i pješčenjaka, većina dolomita (osim vrlo

kompaktnih), raspadnute stijene na površini u debljim slojevima s miješanim raspadnutim zonama, jako zdrobljeni vapnenac, sve vrste škriljaca, neki konglomerati i slični materijali.

C kategorija uključuje sve materijale koji se mogu kopati izravno, uporabom pogodnih strojeva (buldozer, bager, ili skrejper), odnosno one materijale koje nije potrebno minirati. U ovu kategoriju ubrajaju se sitnozrnata vezana (koherentna) tla kao što su gline, prašine, prašinate gline (ilovače), pjeskovite prašine i les, krupnozrnata nevezana (nekoherentna) tla kao što su pijesak, šljunak odnosno njihove mješavine, prirodne kamene drobine – siparišni ili slični materijali, mješovita tla koja su mješavina krupnozrnatih nevezanih i sitnozrnatih vezanih materijala.

### 2.2.3. Definiranje tehnološkog postupka rekonstrukcije šumskih cesta u cilju dostizanja propisanih tehničkih značajki i optimizacije sustava odvodnje („nulto“/optimalno stanje) – *Defining the technological process of forest roads reconstruction in order to reach valid technical features and optimization of drainage systems (“zero”/optimal state)*

Na svakoj su mjernoj plohi, prema shematskim prikazima na slikama 3 i 4, izmjerene osnovne sastavnice četiri poprečna presjeka na međusobnoj udaljenosti od po 5,00 m. U poprečnim su presjecima procijenjene građevinske kategorije materijala.



Usporedbom postojećih, s propisanim tehničkim značajkama šumskih cesta po mjernim plohama uvidjela su se mjesta (dionice) šumske ceste na kojima je trebalo provesti radove rekonstrukcije.

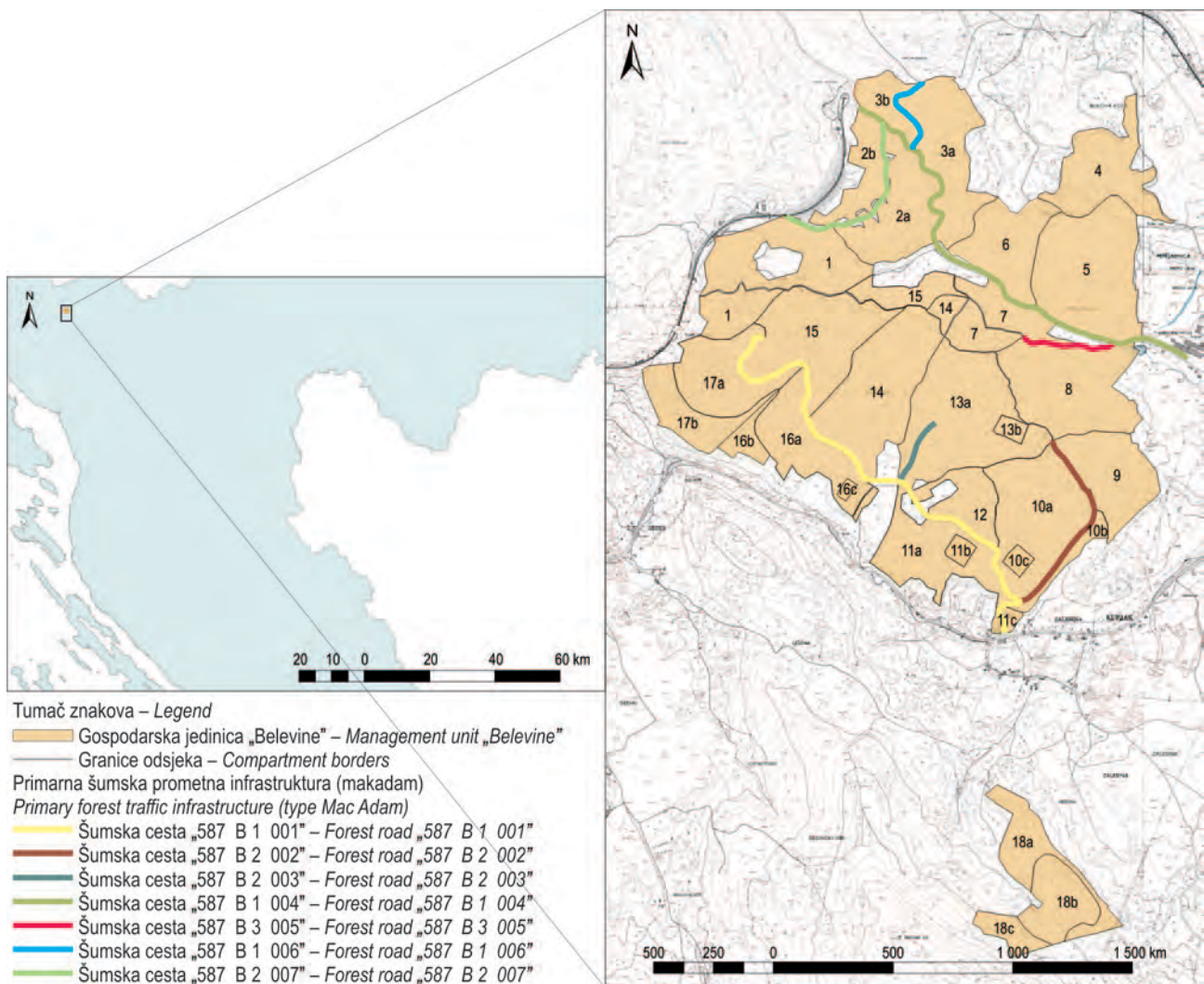
Optimizacija sustava površinske i podzemne odvodnje sastoji se od izvedbe novih elemenata odvodnje na mjestima gdje nedostaju, a za njima postoji potreba, te od sanacije već postojećih elemenata odvodnje, koji ne obnašaju svoju funkciju ili ju djelomično obnašaju.

Pri odabiru su metode sanacije oštećenja kamene makadamske kolničke konstrukcije, zbog utvrđenih vrsta i stupnjeva oštećenja, moguće četiri slučaja: 1. NPO – nema potrebe za sanacijom (ne postoje oštećenja na površini kolnika); 2. MPKK – metoda popravka kolnika krpanjem (0 – 10 % oštećene površine kolnika uz uvjet da se kao vrsta oštećenja kolnika ne pojavljuje vegetacija); 3. MPKP – metoda popravka kolnika poravnavanjem (10 – 100 % oštećene površine kolnika na mjernim plohamu gdje se kao vrsta oštećenja ne pojavljuje otvorena površina, te na mjernim

plohamu postotne oštećenosti kolnika < 10 % gdje se kao vrsta oštećenja kolnika pojavljuje vegetacija, uz uvjet debljine kolničke konstrukcije od najmanje 5 cm); 4. MPKRM – metoda popravka kolnika razastiranjem materijala (10 – 100 % oštećene površine kolnika na mjernim plohamu gdje se kao vrsta oštećenja pojavljuje otvorena površina i ako je debljina kolničke konstrukcije manja od 5 cm).

### 3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA RESEARCH AREA

Istraživanje je provedeno u g.j. „Belevine“, jednoj od triju gospodarskih jedinica u sastavu nastavno pokusnog šumskog objekta Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zalesina. U prebornim šumama gorskog reljefnog područja g.j. „Belevine“ nalazi se sedam šumskih cesta ukupne dužine 7,031 km, koje su u ovom istraživanju predstavljale pokusni poligon (slika 5). Od ukupno 7,031 km šumskih cesta 6,479 km ulazi u obračun primarne klasične otvore-



Slika 5. Zemljopisni položaj područja istraživanja s registrom primarne šumske prometne infrastrukture

Figure 5 Geographic position of the research area with primary forest traffic infrastructure register

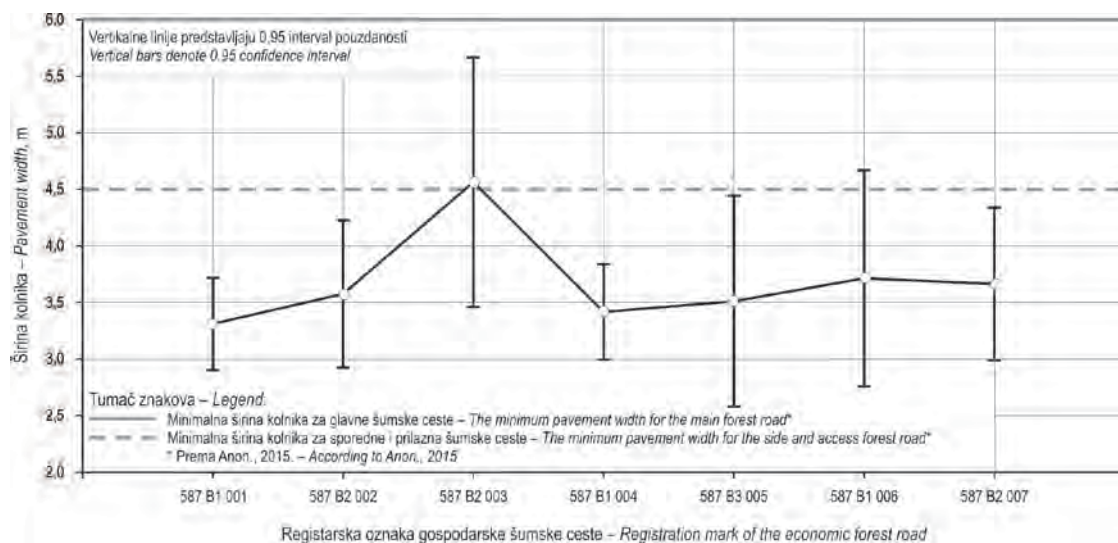
nosti koja za g.j. „Belevine“ iznosi 22,04 km/1000 ha (23,51 km/1000 ha bez Dedinskog vrha).

G.j. „Belevine“ nalazi se na području Gorskog kotara na 45°26' zemljopisne širine i 14°53' zemljopisne dužine istočno od Greenwicha. Površina gospodarske jedinice, zajedno s pripadajućim dislociranim Dedinskim vrhom (18,40 ha; odsjeci 18a, 18b i 18c), iznosi 293,94 ha. Od toga je 283,20 ha obraslo, 5,88 ha je neobraslo, dok je 4,86 ha šumskoga tla neplodno.

Reljef je blago valovit i lepezasto izbrazdan. Ističu se dvije gorske glavice, tri manje zaravni, te jedna uska dolina koja

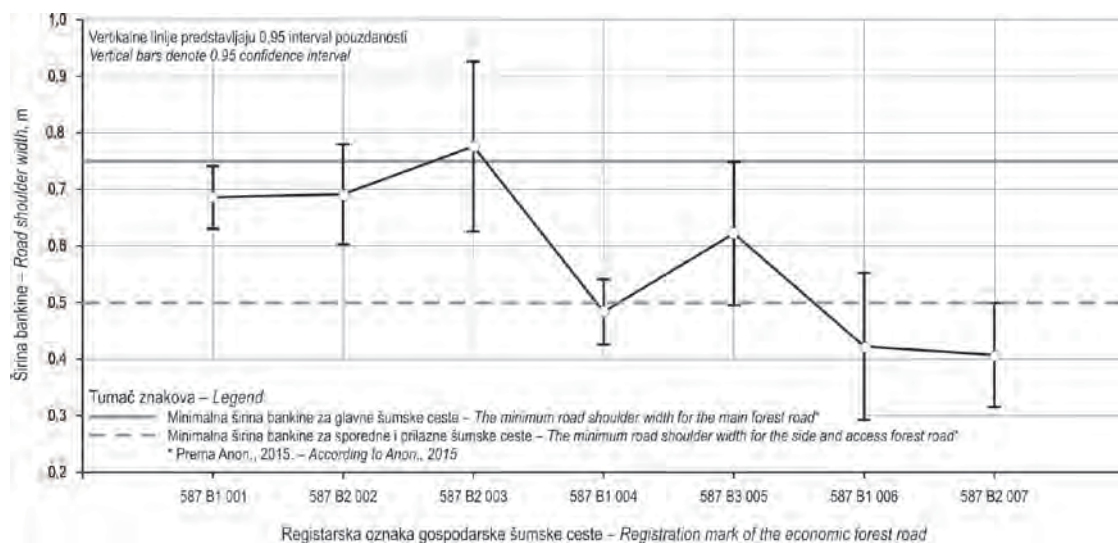
se provlači sjeveroistočnim dijelom odjela 7. Preostali se dio gospodarske jedinice prostire po blagim padinama izbrazdanim mnoštvom korita brdskih potočića, koji mikroreljefu daju specifičnu plastičnost. G.j. „Belevine“ leži na nadmorskoj visini od 720 do 870 m. Padine su najvećim dijelom blagih do umjereno strmih strana (inklinacija do 20 °). Samo su strane korita povremenih brdskih potoka strme do vrlo strme, jer su potoci tijekom vremena usjekli duboka korita u debele naslage tla.

U najvećem dijelu g.j. „Belevine“ matični supstrat je izgrađen od permkarbonskih (paleozojskih) naslaga crnih



**Slika 6.** Grafički prikaz analize varijance za tehničku značajku širina kolnika šumskih cesta u g.j. „Belevine“ te usporedba s propisanom širinom kolnika (Anon., 2015)

**Figure 6** Variance analysis for technical feature of forest roads – pavement width, in MU “Belevine”, compared to obligatory pavement width (Anon. 2015)



**Slika 7.** Grafički prikaz analize varijance za tehničku značajku širina bankine šumskih cesta u g.j. „Belevine“ te usporedba s propisanom širinom bankine (Anon., 2015)

**Figure 7** Variance analysis for technical feature of forest road – shoulder width, in MU “Belevine”, compared to obligatory forest road shoulder width (Anon. 2015)

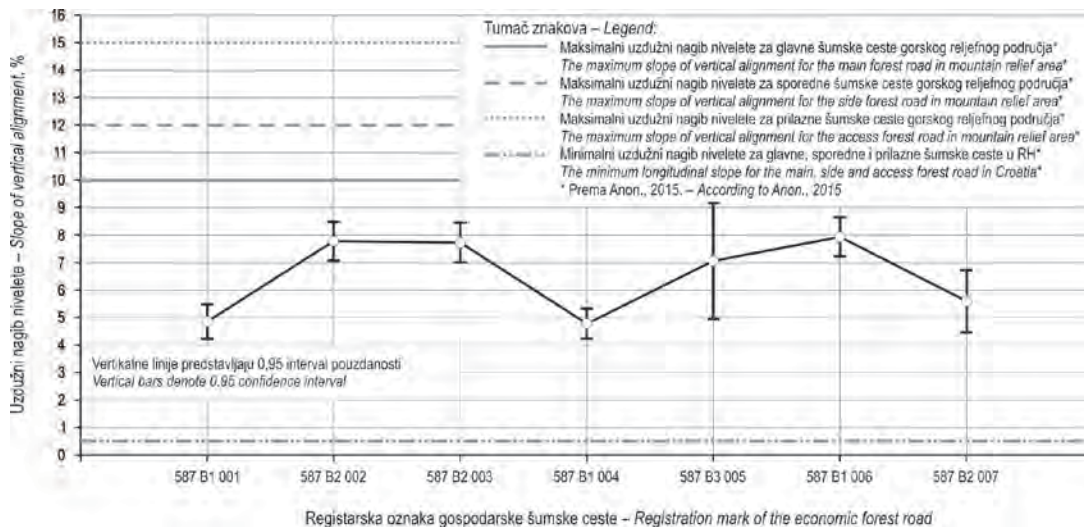
brusilovaca, rdastih škrljevaca, pješčenjaka i konglomerata. Geološka podloga omogućila je neobično jaku hidrografiju, tj. razvoj vodene mreže s obiljem izvora i vodotoka. Obilni izvori i jaki vodotoci uzrokuju u reljefu paleozojske podloge mnogobrojne dublje ili pliće jarke strmih strana sklonih odronjavanju. Sastojine gospodarske jedinice „Belevine” prostiru se na sedimentima paleozoika odnosno na podzolima, kiselim smeđim tlima i smeđim podzolastim tlima (Anon., 2009).

Prema Köppenovoj klasifikaciji klimatskih područja Republike Hrvatske g.j. „Belevine“ i pripada klimatskome tipu Cfsbx.

## 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA S RASPRAVOM RESEARCH RESULTS WITH DISCUSSION

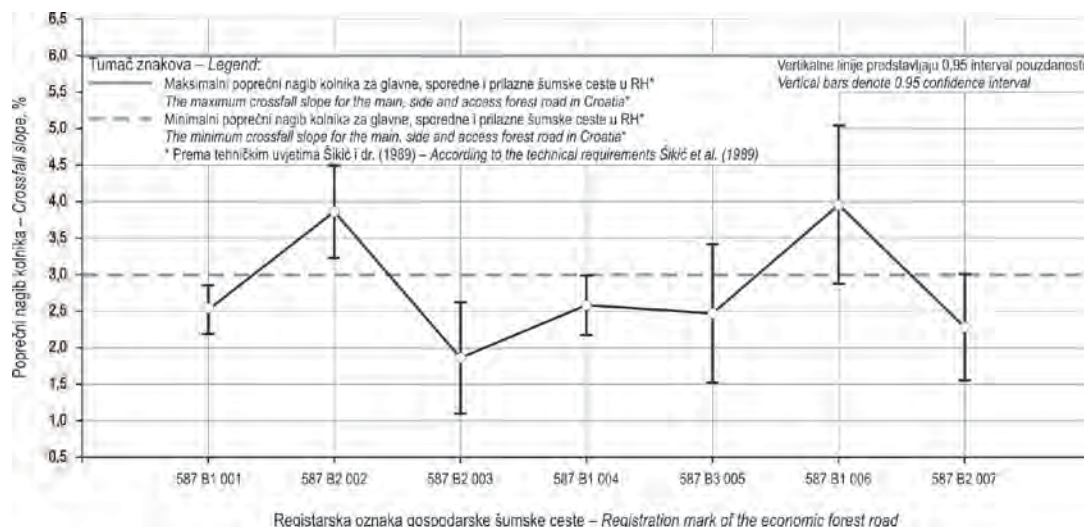
### 4.1. Izmjera i raščlamba odabranih tehničkih značajki šumskih cesta te usporedba s propisanim tehničkim značajkama u Republici Hrvatskoj (Šikić i dr., 1989; Anon., 2015) – Measurement and analysis of selected forest roads technical features and comparison with valid technical features in the Republic of Croatia (Šikić et al. 1989; Anon. 2015)

Na slikama 6–9 je, za svaku odabranu tehničku značajku šumske ceste, prikazana analiza varijance izmjerenih vrijednosti te referentnih, propisanih vrijednosti.



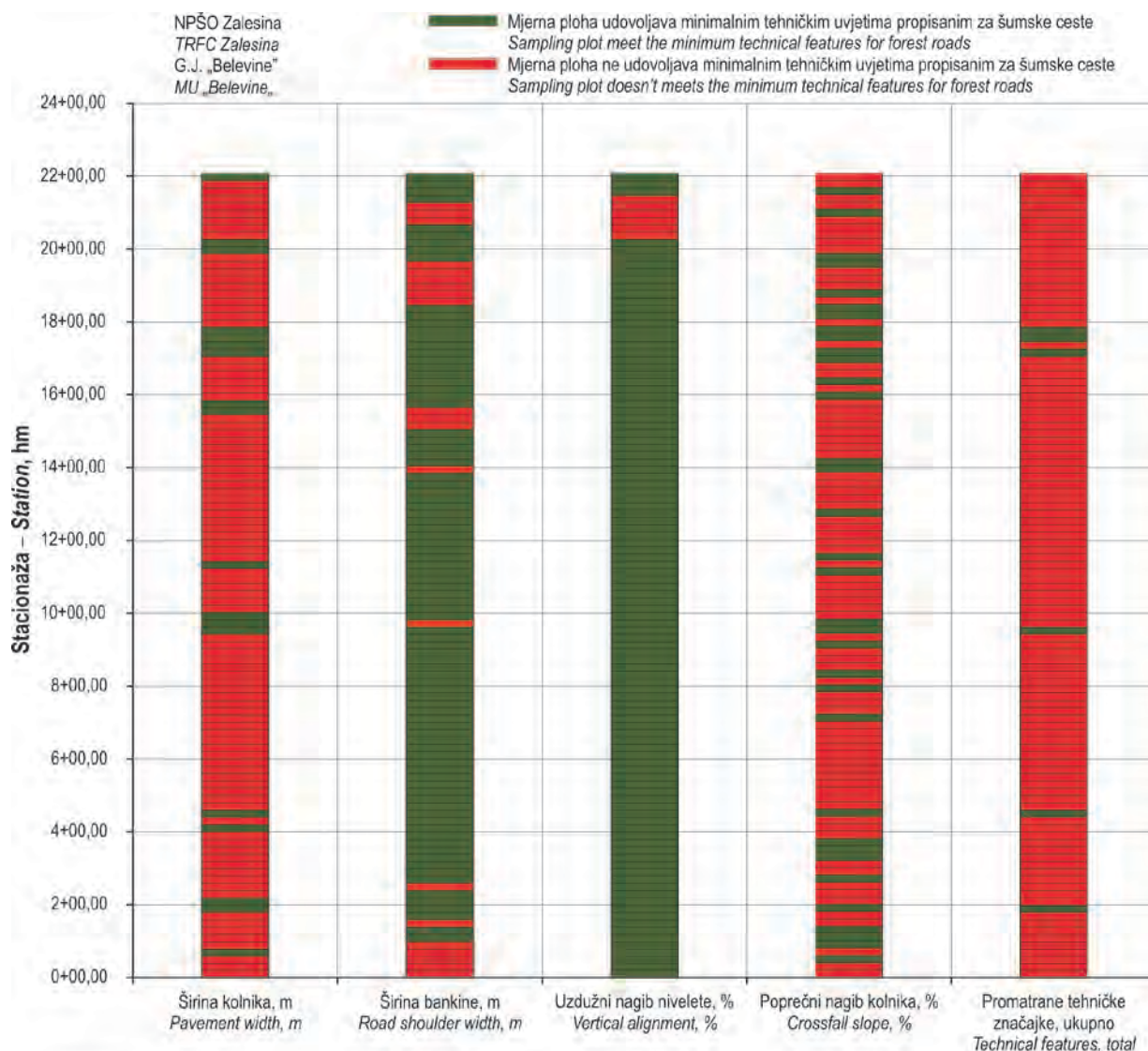
**Slika 8.** Grafički prikaz analize varijance za tehničku značajku uzdužni nagib niveleta (minimalni i maksimalni) šumskih cesta u g.j. „Belevine”, te usporedba s propisanim uzdužnim nagibom niveleta (minimalni i maksimalni) (Anon., 2015)

**Figure 8** Variance analysis for technical feature of forest road – vertical alignment (min. and max.), in MU “Belevine”, compared to obligatory vertical alignment of forest road (min. and max.) (Anon. 2015)



**Slika 9.** Grafički prikaz analize varijance za tehničku značajku poprečni nagib kolnika (minimalni i maksimalni) u g.j. „Belevine”, te usporedba s propisanim poprečnim nagibom kolnika (minimalni i maksimalni) (Šikić i dr., 1989)

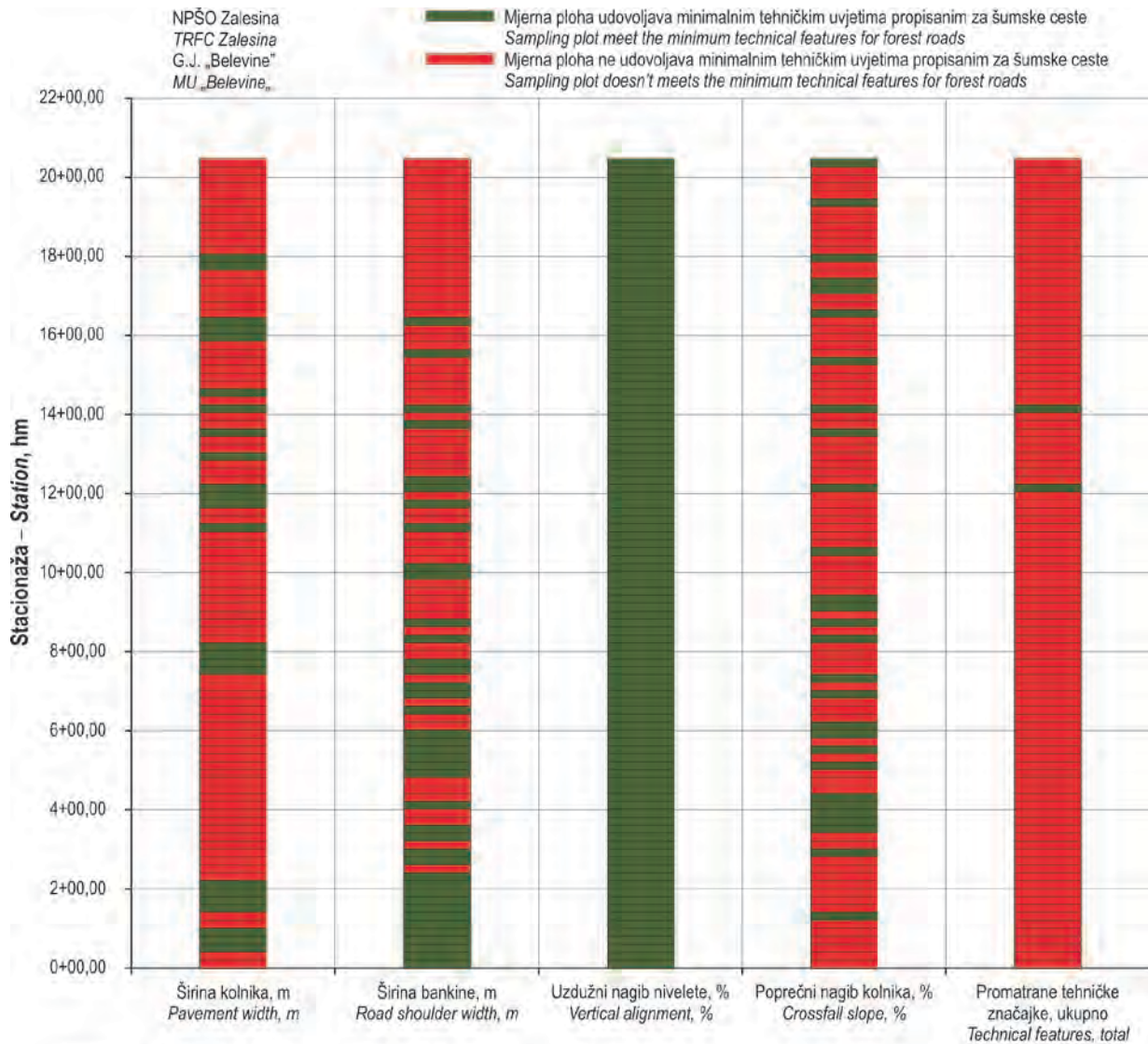
**Figure 9** Variance analysis for technical feature of forest road – crossfall slope (min. and max.), in MU “Belevine”, compared to obligatory crossfall slope of forest road (min. and max.) (Anon. 2015)



Na šumskoj cesti „587 B1 001“ duljine 2 207,48 m izmjereno je 110 mjernih ploha, a srednje vrijednosti izmjerenih tehničkih značajki jesu: <i>On the forest road "587 001 B1" length 2 207.48 m it was measured 110 sampling plots and the mean value of the measured technical features are:</i>	
Aritmetička sredina širine kolnika 3,31 m <i>The mean value of the pavement width is 3.31 m</i> Aritmetička sredina širine bankine 0,67 m <i>The mean value of the road shoulder width is 0.67 m</i>	Aritmetička sredina uzdužnog nagiba nivelete 4,85 % <i>The mean value of the vertical alignment is 4.85 %</i> Aritmetička sredina poprečnog nagiba kolnika 2,52 % <i>The mean value of the Crossfall slope is 2.52 %</i>
Uspoređujući gore navedene tehničke značajke svake mjerne plohe na šumskoj cesti „587 B1 001“ sa važećim tehničkim značajkama dolazi se do spoznaje da minimalne tehničke značajke vezane uz: <i>Comparing the above mentioned characteristics of each sampling plot of the forest road "587 001 B1" with the current technical features for forest road we are coming to the conclusion that the minimum technical features related to:</i>	
Širinu kolnika zadovoljava 18 ploha odnosno 16,36 % <i>Pavement width meets 18 sampling plots or 16.36%</i> Širinu bankine zadovoljava 89 ploha odnosno 80,91 % <i>Road shoulder width meets 89 sampling plots or 80.91%</i>	Uzdužni nagib nivelete zadovoljavaju 104 plohe odnosno 94,55 % <i>Vertical alignment meets 104 sampling plots or 94.55%</i> Poprečni nagib kolnika zadovoljavaju 34 plohe odnosno 30,91 % <i>Crossfall slope meets 34 sampling plots or 30.91%</i>
Ako se uspoređuju sve tehničke značajke mjernih ploha dolazi se do još nepovoljnijih podataka: <i>Comparing all measured technical features of the measuring surface with the current one leads to more unfavorable data:</i>	
6 ploha odnosno 5,45 % ploha zadovoljavaju sve tehničke značajke <i>6 sampling plots or 5.45% plots meets all technical features</i> 31 ploha odnosno 28,18 % ploha zadovoljava tri tehničke značajke <i>31 sampling plots 28.18% plots meets three technical features</i> 57 ploha odnosno 51,82 % ploha zadovoljava dvije tehničke značajke <i>57 sampling plots 51.82% plots meets two technical features</i>	14 ploha odnosno 12,73 % ploha zadovoljava samo jednu tehničku značajku <i>14 sampling plots 12.73% plots meets one technical feature</i> 2 plohe donosno 1,82 % ploha koja ne zadovoljava niti jednu tehničku značajku <i>2 sampling plots 1.82% plots doesn't meet any technical features</i>
Prema Anon., 2015. – According to Anon., 2015	

**Slika 10.** Usporedba izmjerenih s propisanim tehničkim značajkama šumskih cesta u Republici Hrvatskoj za mjerne plohe na šumskoj cesti „587 B1 001“

**Figure 10** Comparison of measured technical features on sampling plots of forest road "587 B1 001" to obligatory technical features of forest roads in the Republic of Croatia



Na šumskoj cesti „587 B1 004“ duljine 2 046,62 m izmjerene su 102 mjerne plohe, a srednje vrijednosti izmjerenih tehničkih značajki jesu: On the forest road "587 001 B4" length 2 046.62 m it was measured 102 sampling plots and the mean value of the measured technical features are:	
Aritmetička sredina širine kolnika 3,42 m The mean value of the pavement width is 3.42 m	Aritmetička sredina uzdužnog nagiba nivelete 4,78 % The mean value of the vertical alignment is 4.78 %
Aritmetička sredina širine bankine 0,48 m The mean value of the road shoulder width is 0.48 m	Aritmetička sredina poprečnog nagiba kolnika 2,58 % The mean value of the Crossfall slope is 2.58 %

Uspoređujući gore navedene tehničke značajke svake mjerne plohe na šumskoj cesti „587 B1 004“ sa važećim tehničkim značajkama dolazi se do spoznaje da minimalne tehničke značajke vezane uz: Comparing the above mentioned features of each sampling plot of the forest road "587 001 B4" with the current technical features for forest road we are coming to the conclusion that the minimum technical features related to:	
Širinu kolnika zadovoljavaju 24 plohe odnosno 23,53 % Pavement width meets 24 samling plots or 23.53%	Uzdužni nagib nivelete zadovoljavaju sve plohe Vertical alignment meets all samling plots
Širinu bankine zadovoljava 40 ploha odnosno 39,22 % Road shoulder width meets 40 samling plots or 39.22%	Poprečni nagib kolnika zadovoljava 28 ploha odnosno 27,45 % Crossfall slope meets 28 samling plots or 27.45%

Ako se uspoređuju sve tehničke značajke mjernih ploha dolazi se do još nepovoljnijih podataka: Comparing all measured technical features of the measuring surface with the current one leads to more unfavorable data:	
2 plohe odnosno 1,96 % ploha zadovoljavaju sve tehničke značajke 2 sampling plots or 1.96% plots meets all technical features	38 ploha odnosno 37,26 % ploha zadovoljava samo jednu tehničku značajku 38 sampling plots 37.26% plots meets one technical feature
24 plohe odnosno 23,53 % ploha zadovoljava tri tehničke značajke 24 sampling plots 23.53% plots meets three technical features	ne postoji ploha koja ne zadovoljava niti jednu tehničku značajku There is no sampling plot that doesn't meets any technical features
38 ploha odnosno 37,26 % ploha zadovoljava dvije tehničke značajke 38 sampling plots 37.26% plots meets two technical features	

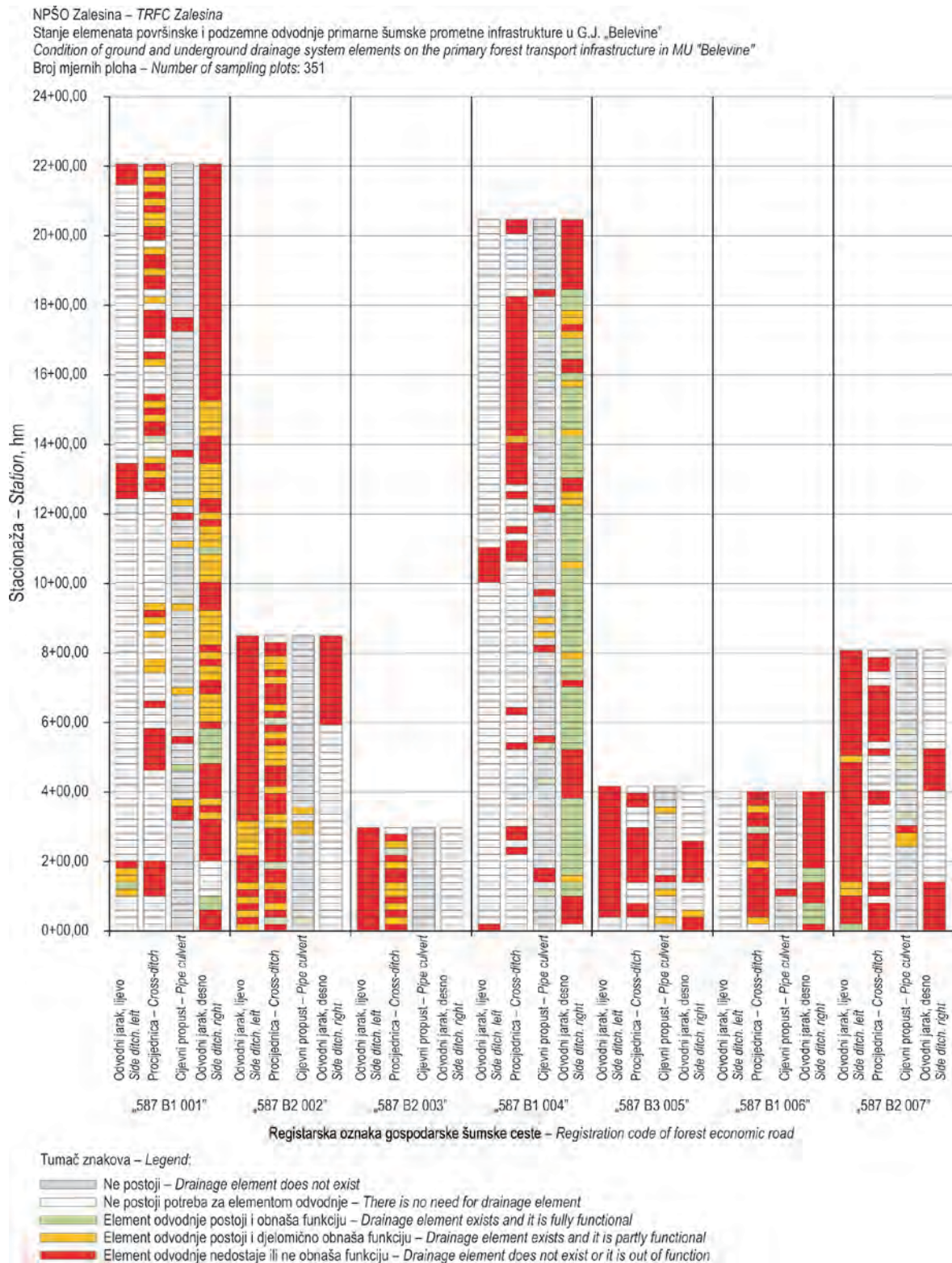
Prema Anon., 2015. – According to Anon., 2015

**Slika 11.** Usporedba izmjerenih s propisanim tehničkim značajkama šumskih cesta u Republici Hrvatskoj za mjerne plohe na šumskoj cesti „587 B1 004“

**Figure 11** Comparison of measured technical features on sampling plots of forest road "587 B1 004" to obligatory technical features of forest roads in the Republic of Croatia

Za dvije je najduže šumske ceste u g.j. „Belevine“, „587 B1 001“ duljine 2207,48 m i 587 B1 004“ duljine 2046,62 m, prikazana usporedba postojećih odabranih tehničkih zna-

čajki s propisanim vrijednostima istih tehničkih značajki u Republici Hrvatskoj (Anon, 2015) za svaku mjernu plohu (slike 10 i 11).



**Slika 12.** Prostorni raspored i postojeće stanje elemenata površinske i podzemne odvodnje po mjernim plohama primarne šumske prometne infrastrukture g.j. „Belevine“

**Figure 12** The spatial distribution and current state of ground and underground drainage system elements on sampling plots of primary forest traffic infrastructure MU “Belevine”

## 4.2. Evidentiranje i raščlamba elemenata sustava površinske i podzemne odvodnje; cestovnih objekata i procjena građevinskih kategorija materijala – *Recording and analysis of ground and underground drainage elements; road facilities and assessment of construction material categories*

U tablici 3 su, prvo na razini pojedine šumske ceste, a zatim i na razini čitave gospodarske jedinice, objedinjeni podaci o elementima površinske i podzemne odvodnje.

## 4.3. Potreba rekonstrukcije šumskih cesta zbog usklađenja postojećih s propisanim tehničkim značajkama te optimizacija sustava površinske i podzemne odvodnje – *The need for forest roads reconstruction in order to reach valid technical features and optimization of ground and underground drainage systems*

Uočena je potreba rekonstrukcije svih šumskih cesta istraživanoga područja. Rekonstrukcijom šumskih cesta nastoji se zbog sigurnosti odvijanja prometa, smanjenja troškova

njihova održavanja i minimiziranja negativnog utjecaja na okoliš, postojeće tehničke značajke uskladiti s važećim tehničkim značajkama šumskih cesta u Republici Hrvatskoj. Rekonstrukcija će se provesti na onim dijelovima šumskih cesta gdje je to stručno opravdano, tehnički izvedivo, ekonomski isplativo i okolišno prihvatljivo, a obuhvatit će i popravak oštećenja kolnika radi dovođenja kompletne primarne šumske prometne infrastrukture g.j. „Belevine“ u tzv. „nulto“/optimizirano stanje (stanje vrlo blisko onomu nakon dovršetka izgradnje i provedene primopredaje radova, a prije puštanja šumskih cesta u uporabu).

### 4.3.1. Tehnološki postupak rekonstrukcije šumskih cesta – *The technological process of forest roads reconstruction*

Osim vrijednosti pojedinih tehničkih značajki šumskih cesta, odnosno njihova odstupanja od propisanih istoznačnica, što utječe na vrstu i količinu radova koje će u postupku rekonstrukcije šumske ceste trebati izvršiti, vrlo su važne i procijenjene građevinske kategorije materijala na pojedinoj mjernoj plohi. Vrsta i količina radova u kombinaciji s građevinskom

<p>Trapezni odvodni jarak – Trapezoid side ditch</p> <p>Poprečni nagib kolnika Crossfall slope</p>	<p>Ne postoji – Does not exist, 0</p> <p>Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of the management forest road 587 B1 004</p> <p>Stacionaža – Station 03+80,00 – 04+00,00 hm</p>	<p>Postoji ali ne obnaša svoju funkciju Exists but it is out of function, 1</p> <p>Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of the management forest road 587 B1 002</p> <p>Stacionaža – Station 03+00,00 – 03+20,00 hm</p>	<p>Postoji i djelomično obnaša svoju funkciju Exists and it is partly functional, 2</p> <p>Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of the management forest road 587 B1 004</p> <p>Stacionaža – Station 10+40,00 – 10+60,00 hm</p>	<p>Postoji i u potpunosti obnaša svoju funkciju Exists and it is fully functional, 3</p> <p>Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of the management forest road 587 B1 004</p> <p>Stacionaža – Station 03+60,00 – 03+80,00 hm</p>
<p>Cijevni propust – Pipe culvert</p> <p>Sloj pijeska – Sand layer: 10</p>	<p>Ne postoji – Does not exist, 0</p> <p>Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of the management forest road 587 B3 005</p> <p>Stacionaža – Station 01+40,00 – 01+60,00 hm</p>	<p>Postoji ali ne obnaša svoju funkciju Exists but it is out of function, 1</p> <p>Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of the management forest road 587 B3 005</p> <p>Stacionaža – Station 01+00,00 – 01+20,00 hm</p>	<p>Postoji i djelomično obnaša svoju funkciju Exists and it is partly functional, 2</p> <p>Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of the management forest road 587 B2 003</p> <p>Stacionaža – Station 00+20,00 – 00+40,00 hm</p>	<p>Postoji i u potpunosti obnaša svoju funkciju Exists and it is fully functional, 3</p> <p>Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of the management forest road 587 B2 002</p> <p>Stacionaža – Station 00+20,00 – 00+40,00 hm</p>
<p>Procjednica – Cross-ditch</p> <p>Usjek – Cut</p> <p>Procjednica Cross-ditch</p> <p>Tok oborinske vode – The flow of rain water</p>	<p>Ne postoji – Does not exist, 0</p> <p>Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of the management forest road 587 B1 001</p> <p>Stacionaža – Station 21+00,00 – 21+20,00 hm</p>	<p>Postoji ali ne obnaša svoju funkciju Exists but it is out of function, 1</p> <p>Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of the management forest road 587 B1 001</p> <p>Stacionaža – Station 15+00,00 – 15+20,00 hm</p>	<p>Postoji i djelomično obnaša svoju funkciju Exists and it is partly functional, 2</p> <p>Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of the management forest road 587 B2 003</p> <p>Stacionaža – Station 00+20,00 – 00+40,00 hm</p>	<p>Postoji i u potpunosti obnaša svoju funkciju Exists and it is fully functional, 3</p> <p>Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of the management forest road 587 B2 002</p> <p>Stacionaža – Station 01+80,00 – 02+00,00 hm</p>
<p>Detalj – Detail</p> <p>Nasip – Fill</p> <p>Stroj – Machine</p> <p>Trup ceste The road structure</p>	<p>Ne postoji – Does not exist, 0</p> <p>Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of the management forest road 587 B1 001</p> <p>Stacionaža – Station 21+00,00 – 21+20,00 hm</p>	<p>Postoji ali ne obnaša svoju funkciju Exists but it is out of function, 1</p> <p>Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of the management forest road 587 B1 001</p> <p>Stacionaža – Station 15+00,00 – 15+20,00 hm</p>	<p>Postoji i djelomično obnaša svoju funkciju Exists and it is partly functional, 2</p> <p>Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of the management forest road 587 B2 003</p> <p>Stacionaža – Station 00+20,00 – 00+40,00 hm</p>	<p>Postoji i u potpunosti obnaša svoju funkciju Exists and it is fully functional, 3</p> <p>Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of the management forest road 587 B2 002</p> <p>Stacionaža – Station 01+80,00 – 02+00,00 hm</p>

Slika 13. Kategorije stanja elemenata površinske i podzemne odvodnje (odvodni jarak, propust, procjednica) na mjernim ploham

Figure 13 Current state categories of ground and/or underground drainage system elements (side ditch, pipe culvert, cross-ditch) on the sampling plots

**Tablica 3.** Rekapitulacija prostornog rasporeda i postojećeg stanja elemenata površinske i podzemne odvodnje po šumskim cestama i gospodarskoj jedinici

Table 3 Recapitulation of spatial distribution and current state of ground and underground drainage system elements for individual forest road and entire management unit

Gospodarska jedinica Management unit	Registrarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of economic forest road	Ovodni jarak, lijevo Side ditch, left				Procjednice Cross-ditch				Cijevni propust Pipe culvert				Ovodni jarak, desno Side ditch, right			
		Ne postoji i ne postoji potreba, % Does not exist and it is not required, %	Postoji i obnaša funkciju, % Exists and it is fully functional, %	Postoji i djelomično obnaša funkciju, % Exists and it is partly functional, %	Postoji ali ne obnaša funkciju ili ne postoji, a postoji potreba, % Exist but it is out of function or it does not exist and it is required, %	Ne postoji i ne postoji potreba, % Does not exist and it is not required, %	Postoji i obnaša funkciju, % Exists and it is fully functional, %	Postoji i djelomično obnaša funkciju, % Exists and it is partly functional, %	Postoji ali ne obnaša funkciju ili ne postoji, a postoji potreba, % Exist but it is out of function or it does not exist and it is required, %	Ne postoji, % Does not exist, %	Postoji i obnaša funkciju, % Exists and it is fully functional, %	Postoji i djelomično obnaša funkciju, % Exists and it is partly functional, %	Postoji ali ne obnaša funkciju ili ne postoji, a postoji potreba, % Exist but it is out of function or it does not exist and it is required, %	Ne postoji i ne postoji potreba, % Does not exist and it is not required, %	Postoji i obnaša funkciju, % Exists and it is fully functional, %	Postoji i djelomično obnaša funkciju, % Exists and it is partly functional, %	Postoji ali ne obnaša funkciju ili ne postoji, a postoji potreba, % Exist but it is out of function or it does not exist and it is required, %
„Belevinek	„587 B1 001“	88,18	0,91	2,73	8,18	50,91	0,91	16,36	31,82	88,18	0,91	4,55	6,36	4,55	7,27	29,09	59,09
	„587 B2 002“	0,00	0,00	20,93	79,07	2,33	6,98	30,23	60,47	90,70	2,33	6,98	0,00	69,77	0,00	0,00	30,23
	„587 B2 003“	0,00	0,00	0,00	100,00	6,67	6,67	40,00	46,67	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	„587 B1 004“	94,12	0,00	0,00	5,88	61,76	0,00	0,98	37,25	85,29	5,88	1,96	6,86	0,98	62,75	9,80	26,47
	„587 B3 005“	9,52	0,00	0,00	90,48	42,86	0,00	0,00	57,14	80,95	0,00	14,29	4,76	57,14	0,00	4,76	38,10
	„587 B1 006“	100,00	0,00	0,00	0,00	5,00	5,00	15,00	75,00	95,00	0,00	0,00	5,00	0,00	25,00	0,00	75,00
	„587 B2 007“	0,00	2,50	7,50	90,00	52,50	0,00	0,00	47,50	80,00	12,50	5,00	2,50	67,50	0,00	0,00	32,50
<b>Prosječne vrijednosti Average values</b>		41,69	0,49	4,45	53,37	31,72	2,79	14,65	50,84	88,59	3,09	4,68	3,64	42,85	13,57	6,24	37,34

kategorijom materijala utječu na odabir najpogodnije tehnologije rada te oblikuju konačnu cijenu rekonstrukcije.

Prema dosadašnjim rezultatima polučanima ovim istraživanjem, rekonstrukciju šumskih cesta g.j. „Belevine“ treba usmjeriti ka proširenju kolnika i proširenju bankina, profiliranju planuma i postizanju potrebnog poprečnog nagiba kolnika, popravcima kolničke konstrukcije te sanaciji postojećih i izvedbi novih elemenata površinske i podzemne odvodnje. Uzdužni nagibi nivelete šumske ceste (i minimalni i maksimalni) su u suglasju s propisanim vrijednostima pojedine kategorije šumske ceste te neće biti predmet zahvata rekonstrukcije.

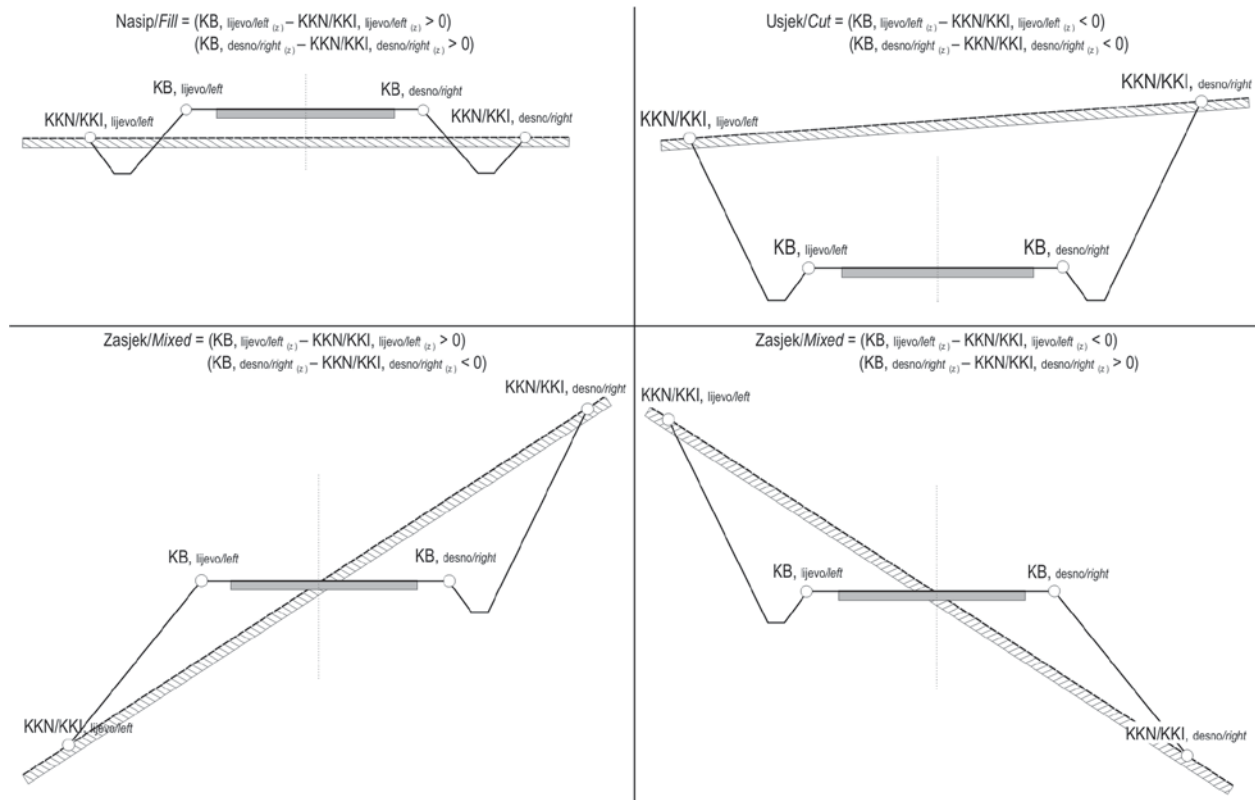
Izgled poprečnog presjeka šumske ceste na pojedinoj mjernoj plohi je vrlo važan element pri planiranju radova rekonstrukcije šumskih cesta. Pri određivanju vrste poprečnog presjeka korišteni su shematski prikazi i pripadajući matematički izrazi prikazani na slici 14.

Promatrajući zajedno sve šumske ceste g.j. „Belevine“, sukladno pretpostavci, najčešći je poprečni presjek zasjek (mješoviti poprečni presjek koji se sastoji od iskopnog i od nasipnog dijela u različitim omjerima) koji je najpovoljniji poprečni presjek na nagnutim terenima.

Prema učestalosti pojavljivanja slijedi poprečni presjek nasipa koji se javlja pri prijelazu trasa šumskih cesta preko dolaca i vrtača, pri konkavnim vertikalnim krivinama različitih smjerova uzdužnog nagiba nivelete najčešće uzrokovanih dubljim koritima privremenih vodotokova, te pri promjeni položaja (strane) iskopnog i nasipnog dijela poprečnog presjeka zasjeka. Nasip kao poprečni presjek, ukoliko se pri izvedbi koriste kvalitetni materijali i odgovarajuća tehnologija gradnje, a sve je popraćeno i elementima površinske i podzemne odvodnje, nije problematičan sa stajališta kasnijeg održavanja, odnosno mogućnosti nastanka oštećenja.

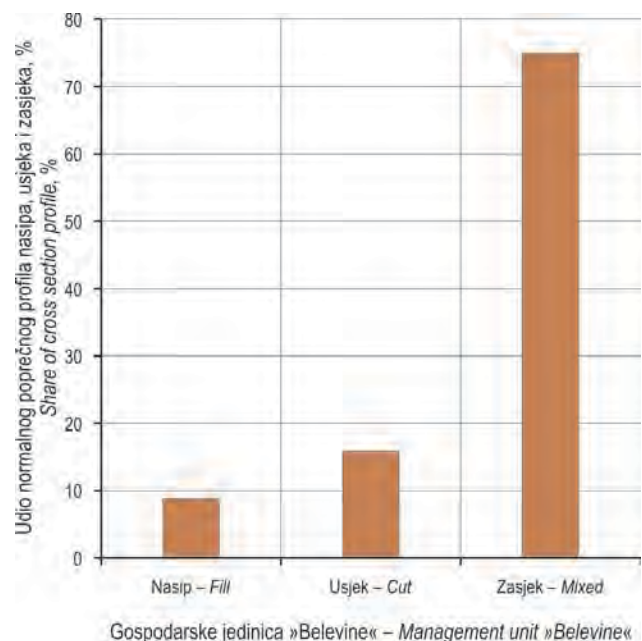
Na istraživanim se šumskim cestama rijetko pojavljuje poprečni presjek usjeka (slika 15). To je dobro, jer sa stajališta održavanja šumskih cesta poprečni presjek usjeka predstavlja najveći izazov i potencijalnu opasnost pojave različitih oštećenja, poglavito ukoliko objekti površinske i podzemne odvodnje nisu kvalitetno izvedeni. Poprečni presjek usjeka najčešće se javlja na nagnutim terenima u sljedećim slučajevima: kod prijelaza trase šumske ceste preko prijevoja ili sedla, pri karakterističnom izgledu reljefa (udoline ispred i iza uzvisina), i kod nemogućnosti horizontalnog razvijanja trase šumske ceste oko zatvorenih i uskih grebena, te kod





**Slika 14.** Način određivanja vrste karakterističnog poprečnog presjeka mjerne plohe te izračuna karakterističnih sastavnica poprečnog presjeka  
**Figure 14** Method of determining and calculating the characteristic of cross-section profile on sampling plot

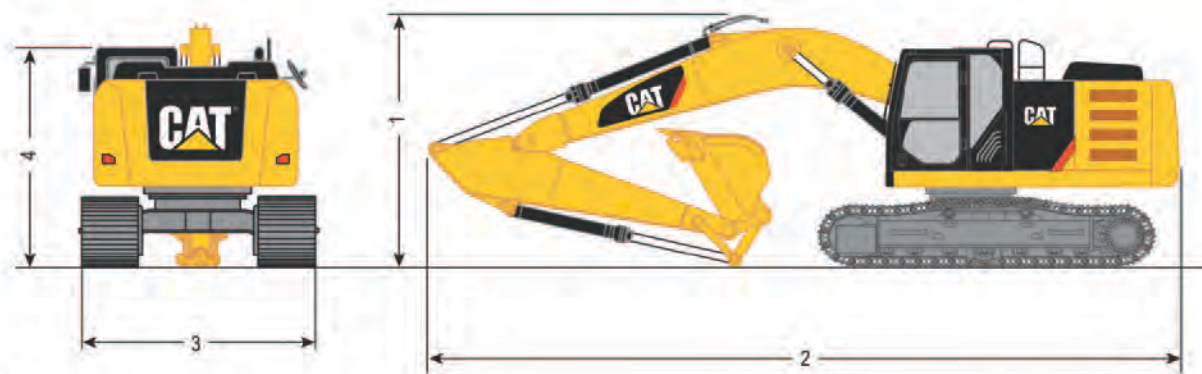
ostalih specifičnih slučajeva. Kada je moguće treba izbjegavati projektiranje poprečnog presjeka usjeka, a kada to nije moguće, bilo bi dobro umjesto klasičnog usjeka, i po cijenu nešto većih radova na donjem ustroju, predvidjeti zasjek u punom presjeku/iskopu. Ukoliko je izvedba usjeka neizbježna, odvodnja mora biti kvalitetno riješena, a kod dubljih usjeka na rizičnim dionicama šumske ceste (veći i duži uzdužni nagibi nivelete) treba izvesti zaštitne obodne jarke. Kao najpogodnija tehnologija rada za rekonstrukciju šumskih cesta je odabran bager tehničkih značajki kao Caterpillar R2.9B1 koji će po potrebi biti opremljen hidrauličnim čekićem za rad u težim građevinskim kategorijama materijala (slika 16). U normalnom poprečnom presjeku zasjeka, koji je najčešći poprečni presjek na šumskim cestama istraživanog područja, povećanje širine kolnika i bankina se zbog stabilnosti buduće šumske ceste uvijek treba izvoditi prema iskopnoj strani zasjeka. Višak materijala u iskopu se kamionima uzdužno transportira do najbližeg spoja rekonstruirane šumske ceste i traktorskog puta koji se na nju spaja. Materijal iz iskopa poslužit će za izgradnju pomoćnih stovarišta, na nasipnoj strani, uz spojne, završne, dijelove traktorskog puta. Tako se izbjegava odvoz viška materijala na deponij, uređuju se pomoćna stovarišta uz traktorske putove, proširuju se i uređuju spojni dijelovi traktorskog puta i šumske ceste koji poprimaju funkciju T okretaljki (to



**Slika 15.** Postotni udio različitih vrsta poprečnih presjeka na šumskim cestama g.j. „Belevine“

**Figure 15** Share of cross section profiles on forest roads in MU "Belevine"

će u budućnosti smanjiti oštećenja na šumskim cestama koja nastaju uslijed izlaska skidera s tovarom na šumsku cestu).



Dimenzije bagera – Excavator dimensions:

- 1 Visina stroja – Height, 3 020 mm
- 2 Dužina stroja – Length, 9 530 mm
- 3 Širina stroja – Width, 2 800 mm
- 4 Visina kabine – Cabin height, 2 950 mm

Osnovne značajke bagera – Basic characteristics of excavator:

- Zapremina radnog tijela, 0,8 m<sup>3</sup> – Bucket capacity, 0.8 m<sup>3</sup>  
 Doseg ruke, 5,7 m – Boom reach, 5.7 m

Izvor – Source: www.witraktor.fi

**Slika 16.** Shematski prikaz, dimenzije i osnovne značajke bagera Caterpillar R2.9B1

**Figure 16** Scheme, dimensions and basic features of Caterpillar R2.9B1 excavator

#### 4.3.2. Tehničke značajke i način izvođenja (rekonstrukcija) elemenata sustava površinske i podzemne odvodnje – Technical features and construction (reconstruction) methods of ground and underground drainage systems

Ovodni jarci su trapeznog oblika, dubine 30 cm i širine dna jarka 30 cm, a uzdužni nagib odvodnih jaraka prati

uzdužni nagib nivelete šumske ceste. Kod uzdužnog nagiba odvodnih jaraka većeg od 8 %, u B i C građevinskoj kategoriji materijala, dno i stranice odvodnog jarka treba učvrstiti (obložiti) kamenom, nekim drugim vezivnim materijalom ili ugradnjom tipskih betonskih elemenata kako ne bi došlo do erozije i odnošenja materijala (Šikić i dr., 1989).

**Tablica 4.** Razmak između procjedinica, ovisno u uzdužnom nagibu nivelete šumske ceste (Potočnik, 2007)

**Table 4** Distance between cross-ditches according to vertical alignment of forest road (Potočnik, 2007)

Uzdužni nagib nivelete – Vertical alignment, %	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16
Udaljenost između procjedinica – Distance between cross-ditches, m	72	56	48	44	40	36	32	28	26	23

**Tablica 5.** Elementi optimiziranog sustava površinske i podzemne odvodnje

**Table 5** The elements of optimized ground and underground drainage systems

Gospodarska jedinica Management unit	Registarska oznaka gospodarske šumske ceste Registration mark of economic forest road	Ovodni jarak, lijevo Side ditch, left				Procjedinice Cross-ditch		Cijevni propust Pipe culvert		Ovodni jarak, desno Side ditch, right			
		Sanacija, m Repairing, m		Izgradnja, m Building, m		Sanacija, kom. Repairing, pcs.	Izgradnja, kom. Building, pcs.	Sanacija, m Repairing, m	Izgradnja, m Building, m	Sanacija, m Repairing, m		Izgradnja, m Building, m	
		Klasični, m Classic, m	Obloženi, m Lined, m	Klasični, m Classic, m	Obloženi, m Lined, m					Klasični, m Classic, m	Obloženi, m Lined, m	Klasični, m Classic, m	Obloženi, m Lined, m
„Belevine”	„587 B1 001”	0	0	160	20	18	9	5	7	600	40	1 140	160
	„587 B2 002”	100	80	220	460	13	3	3	0	0	0	200	60
	„587 B2 003”	0	0	160	140	6	0	0	0	0	0	0	0
	„587 B1 004”	0	0	100	20	1	15	2	7	100	100	480	60
	„587 B3 005”	0	0	220	160	0	7	3	1	20	0	40	120
	„587 B1 006”	0	0	0	0	3	4	0	1	0	0	120	180
	„587 B2 007”	40	20	500	220	0	9	2	1	0	0	180	80
<b>»Belevine« ukupno »Belevine« total</b>		<b>140</b>	<b>100</b>	<b>1 360</b>	<b>1 020</b>	<b>41</b>	<b>47</b>	<b>15</b>	<b>17</b>	<b>720</b>	<b>140</b>	<b>2 160</b>	<b>660</b>

Propusti su betonski cijevni propusti odgovarajućeg promjera, sa uljevnim (prikupište) i izljevnim (slapište) dijelom izvedenim od betona i obloženim kamenom.

Procjednice, elementi površinske odvodnje na makadamskim šumskim cestama uzdužnog nagiba nivelete jednako i većeg od 5 % izvodi se kao poprečni otvoreni odvodni jarci na planumu šumske ceste pod kutom od 30° u

odnosu na os šumske ceste. Razmak između procjednica (tablica 4) ovisi o uzdužnom nagibu nivelete šumske ceste (Potočnik, 2007).

#### 4.3.3. Tehničke značajke i način sanacije (rekonstrukcija) kolničke konstrukcije – *Technical features and construction (reconstruction) methods of pavement structure*

**Tablica 6.** Oštećenost kolničke konstrukcije i predložene metode sanacije kamene kolničke konstrukcije na razini pojedine šumske ceste i čitave g.j. „Belevine“

**Table 6** Damage of road formation and proposed repair methods for the gravel pavement structure on the level of individual forest road and for the entire MU „Belevine“

Registarska oznaka gospodarske šumske ceste <i>Registration mark of economic forest road</i>	Stacionaža <i>Station</i>	Broj mjernih ploha <i>Number of sampling plot</i>	Prosječna oštećenost planuma <i>The average damage of road formation</i>	Udio pojedine metode popravka <i>The share of the repair methods</i>
	hm	kom.	%	%
„587 B1 001“	22+07,48	110	13,46	NPO 2,73 % MPKK 38,18 % MPKP 45,45 % MPKRM 13,64 %
„587 B2 002“	8+50,55	43	18,80	NPO 2,33 % MPKK 25,58 % MPKP 53,49 % MPKRM 18,60 %
„587 B2 003“	2+98,76	15	17,58	NPO 6,67 % MPKK 26,67 % MPKP 66,67 % MPKRM 0,00 %
„587 B1 004“	20+46,62	102	15,55	NPO 8,82 % MPKK 30,39 % MPKP 25,49 % MPKRM 35,29 %
„587 B3 005“	4+17,47	21	41,01	NPO 0,00 % MPKK 9,52 % MPKP 76,19 % MPKRM 14,29 %
„587 B1 006“	4+02,40	20	12,48	NPO 5,00 % MPKK 30,00 % MPKP 20,00 % MPKRM 45,00 %
„587 B2 007“	8+07,86	40	24,31	NPO 2,50 % MPKK 7,50 % MPKP 72,50 % MPKRM 17,50 %
<b>»Belevine« ukupno »Belevine« total</b>	70+31,14	351	17,73	NPO 4,01 % MPKK 23,98 % MPKP 51,40 % MPKRM 20,62 %

NPO nema potrebe za popravcima (ne postoji oštećenje na površini planuma) – *No need for repair (no damage on road formation)*

MPKK metoda popravka kolnika krpanjem (0 – 10 % oštećene površine planuma ako se kao vrsta oštećenja planuma ne pojavljuje vegetacija) – *Method of pavement repair by mending (0 – 10% of of damaged road formation if no vegetation is present)*

MPKP metoda popravka kolnika poravnanjem (10 – 100 % oštećene površine planuma na mjernim ploham gdje se kao vrsta oštećenja ne pojavljuje otvorena površina te na mjernim ploham postotne oštećenosti planuma < 10 % gdje se kao vrsta oštećenja planuma pojavljuje vegetacija, uz uvjet debljine kolničke konstrukcije od 5 cm) – *Method of pavement repair with aligning (10 – 100% of damaged road formation on sampling plots with no opened areas and on sampling plots with road formation damage up to 10% where vegetation presence is the damage, with the condition that pavement construction has 5 cm in thickness)*

MPKRM metoda popravka kolnika razastiranjem materijala (10 – 100 % oštećene površine planuma na mjernim ploham gdje se kao vrsta oštećenja pojavljuje otvorena površina i ako je debljina kolničke konstrukcije tanja od 5 cm). – *Method of pavement repair with material outspreading (10 – 100% of damaged road formation on sampling plots with opened areas and if pavement construction has no 5 cm thickness)*

## 5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA CONCLUDING REMARKS

Sve odabrane tehničke značajke šumskih cesta g.j. „Belevine“, u manjoj ili većoj mjeri, odstupaju od propisanih/referentnih vrijednosti.

Aritmetičke sredine širine kolnika i širine bankina na šumskim cestama „587 B1 001“, „587 B1 004“ i „587 B1 006“ (kategoriziranim kao glavne šumske ceste s potrebnim tehničkim značajkama sporednih šumskih cesta) iznose 3,31 m i 0,67 m; 3,42 m i 0,48 m odnosno 3,71 m i 0,42 m te su značajno manje od propisanih 4,00 m za širinu kolnika i 0,75 m za širinu bankine. Aritmetičke sredine širine kolnika i širine bankina na šumskim cestama „587 B2 002“, „587 B2 003“ i „587 B2 007“ (kategoriziranim kao sporedne šumske ceste s potrebnim tehničkim značajkama prilaznih šumskih cesta) iznose 3,58 m i 0,69 m; 4,56 m i 0,78 m, odnosno 3,66 m i 0,41 m, a šumskoj cesti „587 B3 005“ (kategoriziranoj kao prilazna šumska cesta i s potrebnim tehničkim značajkama prilaznih šumskih cesta) 3,51 m i 0,62 m; su generalno, u suglasju s referentnim vrijednostima (3,50 m za širinu kolnika i 0,50 m za širinu bankine).

Interesantno je zamijetiti da sve šumske ceste kategorizirane kao sporedne i prilazne (s potrebnim tehničkim značajkama sporednih šumskih cesta) imaju veću aritmetičku sredinu širine kolnika od šumskih cesta kategoriziranih kao glavne (s potrebnim tehničkim značajkama prilaznih šumskih cesta). To se tumači dinamikom primarnog otvaranja šuma istraživanog područja. Naime, šumske ceste „587 B1 001“, i „587 B1 004“ su prve šumske ceste izgrađene u g.j. „Belevine“, izgrađene u doba slabije razvijene tehnologije gradnje šumskih cesta, drukčijih tehničkih značajki šumskih transportnih sredstava i tehničkih uvjeta za šumske ceste.

Najmanji dozvoljeni uzdužni nagib nivelete nije bio problematičan niti na jednoj mjernoj plohi istraživanih šumskih cesta. Dakle, sa stajališta uzdužnog nagiba, a po pitanju učinkovite odvodnje vode s kamene kolničke konstrukcije, nema kritičnih dionica šumskih cesta. Najveći dozvoljeni uzdužni nagibi nivelete evidentirani su samo na kraćim dionicama šumskih cesta i u vrijednostima neznatno većim od dozvoljenih, odnosno u okvirima iznimnih, opravdanih slučajeva koji se u tehničkoj dokumentaciji moraju detaljno obrazložiti (u gorskom/planinskom području za sporedne šumske ceste do 12 %, a za prilazne šumske ceste do 15 %).

Korekcija, odnosno smanjenje bitno većih uzdužnih nagiba nivelete u dozvoljene okvire, ukoliko bi uopće bila moguća na postojećoj trasi šumske ceste bez njezina izmještanja, zahtijevala bi obimne građevinske radove, veliko zadiranje u okoliš te investiranje značajnih financijskih sredstava.

Zabilježene vrijednosti poprečnog nagib kolnika, koji je u kombinaciji s uzdužnim nagibom nivelete, vrlo važan čimbenik odvodnje vode s kolnika šumske ceste (zbog vrste

kolničke konstrukcije istraživanih šumskih cesta – kamena kolnička konstrukcija bez veznog zastora, nužna je brza i učinkovita odvodnja vode s površine kolnika radi izbjegavanja razmakanja gornjeg ustroja, donjeg ustroja i eventualno posteljice šumske ceste te posljedično smanjenja nosivosti kolničke konstrukcije i nastanka mogućih oštećenja) te jamac dugovječnih i kvalitetnih šumskih cesta prihvatljivih troškova održavanja, bile su nezadovoljavajuće na velikoj većini mjernih ploha. Radovima rekonstrukcije poprečni nagib kolnika šumskih cesta treba dovesti u optimalno stanje (između 3 i 6 % za prilazne i sporedne šumske ceste kamene kolničke konstrukcije).

Ne postoji niti jedna šumska cesta na kojoj ne bi trebalo intervenirati u objekte površinske i podzemne odvodnje u smislu njihova osposobljavanja za potpuno obnašanje funkcije ili za njihovu kompletnu izvedbu (slika 12). Za objekte površinske odvodnje, odvodne jarke i procjednice je osim kategorije stanja postojećih elemenata odvodnje (postoji ali ne obnaša funkciju, postoji i djelomično obnaša funkciju, postoji i obnaša funkciju) definirana i potreba izgradnje novih objekata površinske odvodnje (slika 13 i tablica 3). Za propuste, objekte podzemne odvodnje je definirana kategorija stanja postojećih cijevnih propusta. Budućim će istraživanjima biti obuhvaćeno utvrđivanje pozicije i dimenzija novih cijevnih propusta, koje u cilju optimizacije sustava podzemne odvodnje treba izgraditi.

Evidentirano je 45 betonskih cijevnih propusta. Na čak 53,37 % mjernih ploha s lijeve strane i 37,34 % mjernih ploha s desne strane šumskih cesta odvodni jarci ne postoje, a za njima postoji potreba; također na 50,84 % mjernih ploha postoji potreba za izgradnjom novih procjednica. S obzirom na razvijenost hidrografije u okruženju šumskih cesta, te postojeće klimatske i geološko-pedološke značajke g.j. „Belevine“, s ciljem umanjavanja negativnog utjecaja vode na šumsku cestu, treba čim skorije izvesti propuste, odvodne jarke i procjednice odgovarajućeg oblika, dimenzija i vrste.

Želi li se sustav površinske odvodnje optimizirati (tablica 5) treba izvesti ukupno 3520 m klasičnih i 1680 m obložениh odvodnih jaraka na sedam šumskih cesta u g.j. „Belevine“ te popraviti 860 m klasičnih odvodnih jaraka, od čega 240 m treba prevesti u obložene odvodne jarke. Potrebno je izvesti 47 novih te sanirati 41 postojeću procjednicu.

Kamena kolnička konstrukcija šumskih cesta je u dobrom stanju i ne zahtijeva nikakvu intervenciju na 4,01 % mjernih ploha. Na 23,98 % mjernih ploha kolnik se može popraviti metodom krpanja, jer se oštećenja na površini planuma pojavljuju s učestćem do 10 %, a među vrstama oštećenja ne pronalazimo vegetaciju. Najveći dio mjernih ploha, njih 51,40 %, pri popravku kolničke konstrukcije zahtijeva metodu popravka kolnika poravnavanjem (oštećenost površine planuma je od 10 % na više uz dodatni uvjet

da se kao vrsta oštećenja planuma ne pojavljuje otvorena površina ili je oštećenost površine planuma manja od 10 % ,ali se kao vrsta oštećenja pojavljuje vegetacija; sve uz zadovoljenje uvjeta debljine kolničke konstrukcije od 5 cm) Na 20,62 % mjernih ploha primjenjiva je isključivo najskuplja metoda popravka kolnika, metoda razastiranja materijala (tablica 6). Naravno, rezultate istraživanja treba promatrati u kontekstu stanja kolničke konstrukcije prije provedbe radova rekonstrukcije. Prije navedeni i opisani radovi rekonstrukcije utjecat će i na potrebu obuhvatnijeg zahvata popravka, rekonstrukcije ili izvedbu potpuno nove kolničke konstrukcije.

U budućim bi se istraživanjima preporučenom tehnološkom postupku rekonstrukcije šumske cestovne mreže g.j. „Belevine“, odnosno njezinom dovođenju u tzv. „nulto“/optimizirano stanje, trebalo pridružiti i analizu pripadajućih troškova.

## 6. LITERATURA REFERENCES

- Anon., 2000: Forest roads manual. Oregon department of forestry, State forest program, 207 str.
- Anon., 2001: Metodologija izrade i provedbe katastra šumskih i protupožarnih prometnica na području „Hrvatskih šuma“, p.o. Zagreb (DIR-01/2001-1762), 8 str.
- Anon., 2008: Izmijenjena i dopunjena metodologija izrade Registra šumskih cesta (DIR-01-2008-1705/01), 7 str.
- Anon., 2009: Program gospodarenja šumama s posebnom namjenom, Nastavno pokusni šumski objekt Zalesina, Gospodarska jedinica „Belevine“ 2010–2019. Šumarski fakultet, Zagreb, 72 str.
- Anon., 2015: Pravilnik o provedbi Mjere M04 „Ulaganja u fizičku imovinu“, Podmjere 4.3. „Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju ili prilagodbu poljoprivrede i šumarstva“, Operacije 4.3.3. „Ulaganje u šumsku infrastrukturu“ iz Programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014 – 2020, prilog IV. „Tehničke značajke šumskih prometnica“. Obrazac za izradu elaborata učinkovitosti mreže šumskih prometnica – primarne šumske prometne infrastrukture. »Narodne novine«, broj 30/15, 24 str.
- Coulter, E.D., Coakley, J., Sessions, J., 2006: The analytic hierarchy process: a tutorial for use in prioritizing forest road investments to minimize environmental effects. *International Journal of Forest Engineering* 17(2): 51–69.
- Grace, J.M., Clinton, B.D., 2006: Forest road management to protect soil and water. American society of agricultural and biological engineers (ASABE) annual meeting presentation, 14 p.
- Naghdi, R., Solgi, A., 2014: Effects of Skidder Passes and Slope on Soil Disturbance in Two Soil Water Contents. *Croatian journal of forest engineering*. 35 (1): 73-80.
- Papa, I., 2014: Modeli održavanja šumskih cesta na različitim reljefnim područjima. Doktorska disertacija, Zagreb, 284 str.
- Papa, I., Pentek, T., Lepoglavec, K., Nevečerel, H., Poršinsky, T., Tomašić, Ž., 2015: Metodologija izradbe detaljnog registra primarne šumske prometne infrastrukture kao podloge za planiranje i optimizaciju radova održavanja šumskih cesta. *Šumarski list* 139 (7–8): 311–328.
- Pentek, T., Pičman, D., Nevečerel, H., 2006: Uspostava optimalne mreže šumskih cesta na terenu – smjernice unapređenja pojedine faze rada. *Glasnik za šumske pokuse, posebno izdanje* 5: 647–663 str.
- Pentek, T., Nevečerel, H., Poršinsky, T., Horvat, D., Šušnjar, M., Zečić, Ž., 2007: Quality planning of forest road network – precondition of building and maintenance cost rationalisation. *Proceedings of Austro 2007 – FORMEC'07 Meeting the needs of tomorrow forests: new developments in forest engineering*, October 7 – 11, Wien – Heiligenkreuz, Austria, CD ROM.
- Pentek, T., Pičman, D., Nevečerel, H., Lepoglavec, K., Papa, I., Potočnik, I., 2011: Primarno otvaranje šuma različitih reljefnih područja Republike Hrvatske. *Croatian journal of forest engineering*. 32 (1): 401-416.
- Pentek, T., 2012: Skripta iz kolegija Šumske prometnice. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 373 str.
- Péterfalvi, J., Primusz, P., Markó, G., Kisfaludi, B., Kosztka, M., 2015: Evaluation of the Effect of Lime-Stabilized Subgrade on the Performance of an Experimental Road Pavement. *Croatian journal of forest engineering*. 36 (2): 269-282.
- Potočnik, I., 2007: Skripta iz predmeta Gozdne prometnice. Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani, 221 str.
- Ryan, T., Phillips, H., Ramsay, J., Dempsey, J., 2004: Forest Road Manual. COFORD, Ireland 170 str.
- Swift, L.W., Burns, R.G., 1999: The three R's of roads. *Journal of Forestry* 97 (8): 40–44.
- Solgi, A., Najafi, A., Sadeghi, S.H., 2014: Effects of traffic frequency and skid trail slope on surface runoff and sediment yield. *International Journal of Forest Engineering* 25(2): 171-178.
- Šikić, D., Babić, B., Topolnik, D., Knežević, I., Božičević, D., Švabe, Ž., Piria, I., Sever, S., 1989: Tehnički uvjeti za gospodarske ceste. Znanstveni savjet za promet Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Zagreb, 78 str.

## Summary

Technical features of forest roads in the Republic of Croatia are presented in Technical Conditions for Economic Roads (Šikić et al., 1989). Pentek et al. (2007) gave a proposal of new technical conditions in which the basic criterion of categorization of forest roads is traffic load. According to the Regulations (Anon. 2015), in Annex IV. “Technical conditions of forest roads”, the proposal of improvements to the existing Technical Conditions for Economic Roads is accepted (Šikić et al., 1989) (Table 1).

The objectives of the research are: 1. Measurement and analysis of selected technical features of forest roads and comparison with the current technical conditions in the Republic of Croatia (Šikić et al., 1989; Anon, 2015), 2. Recording and analysis of ground and underground drainage elements; road facilities and assessment of construction material categories and 3) Definition of technological process for reconstruction of forest roads in order to achieve current technical conditions and optimization of drainage systems (“zero”/optimal state).

In the field, in the framework of the establishment of a detailed registry of primary forest traffic infrastructure, for each of the seven forest roads in MU “Belevine”, on each sampling plot of 20.00 m length, according to a newly developed methodology for the establishment of a detailed registry of primary forest traffic infrastructure (Papa et al. 2015), were measured/calculated the following selected technical features: pavement width, shoulder width, longitudinal alignment gradient and pavement cross fall slope (Figure 3 and 4).

Forest roads “587 B1 001”, “587 B1 004” and “587 B1 006” were, according to the criterion of Šikić et al. (1989), categorized as main forest roads, forest roads “587 B2 002”, “587 B2 003” and “587 B2 007” belong to the category of side forest roads and forest road “587 B3 005” is an access forest road (Figure 5). Due to the traffic characteristics on mentioned forest roads, characteristics of MU “Belevine” and of forest stands, it would not be justified to construct forest roads with two lanes; therefore on forest roads „587 B1 001“, „587 B1 004“ and „587 B1 006“ will apply technical specifications that apply to side forest roads, and for other forest road technical characteristics that are valid for the category of access forest roads.

As a minimum width of pavement for the category of side forest roads reference value will be 4.00 m, and for the category of access forest roads 3.50 m. Side forest road minimum width of shoulders is 0.75 m and for the access forest road is 0.50 m. Maximum longitudinal alignment gradient for side forest roads is 10%, and for the access forest roads 12%. The minimum permitted vertical alignment gradient for all categories of forest roads is 0.50%. The minimum value of pavement cross fall slope for side and access macadam forest roads amounts to 3%, and the maximum permitted value of 6%.

For each component of the primary forest traffic infrastructure in MU “Belevine”, by measuring surfaces, the spatial distribution and the current state of elements of the ground and underground drainage: drainage ditch, culverts, bridges, cross ditches and fords was recorded. The position of all road facilities and other elements of forest roads were recorded. For each sampling plot, according to the schematic representation in Figure 2, the basic components of four transverse sections at a distance of 5.00 m were recorded. The cross-sections were evaluated according to material categories. In assessing the current state of the elements of ground and underground drainage, road facilities and other elements of forest roads, used methodology developed within the whole methodology of a detailed registry of primary forest traffic infrastructure is shown in Table 2 (Papa et al. 2015).

Studies have been conducted on the components of the primary forest traffic infrastructure in MU “Belevine” within the Training and Research Forest Centre Zalesina, Faculty of Forestry, University of Zagreb. Seven macadam forest roads, of the total length 7.031 kilometers, were built in the period from 1968 to 1988. From construction to the present day, all the forest roads were regularly maintained, and maintenance was predominantly focused on repairing damages of road construction and drainage facilities.

Figures 6, 7, 8 and 9 are show the analysis of variance of measured and reference (prescribed) values for each selected technical features of forest roads. For two longest forest roads in MU “Belevine”, “587 B1 001” length 2207.48 m and “587 B1 004” length 2046.62 m, a comparison of selected current technical features to prescribed values of the same features of the Republic of Croatia (Anon, 2015) for each sampling plot (Figure 10 and 11) was done. All the selected technical features of forest roads in MU “Belevine”, to a lesser or greater extent, deviate from the prescribed/reference values. It is interesting to note that all forest roads categorized as side and access (with the necessary technical features of the side forest roads) have a higher mean value of the pavement width than those categorized as main roads (with the necessary technical features of the access forest roads). This is explained by the dynamics of the primary forest opening of the study area. The forest road “587 B1 001” and “587 B1 004” are the first forest roads built in MU “Belevine”, in time of less developed construction technology, different technical characteristics of forest transport vehicles and during the validity of different technical requirements for forest roads.

The smallest permitted vertical alignment gradient is not a problem at any of the sampling plots of the researched forest roads. The maximum longitudinal gradients were recorded only on shorter sections of forest roads and values were slightly higher than allowed, or in the framework of exceptional justified cases which in the technical documentation must be explained in detail (in hilly/mountainous area for side forest roads up to 12%, and for access forest roads up to 15%). The reported values for pavement cross-slope values were unsatisfactory on most of the sampling plots. Reconstruction of pavement cross fall slope should lead to optimal state (between 3 and 6% for the access and side forest macadam roads).

The spatial distribution and the existing state of the ground and underground drainage system elements on sampling plots of primary forest traffic infrastructure is shown in Figure 12. Table 3 shows first at the level of individual forest road and then at the level of entire management unit integrated information about ground and underground drainage system elements. There is no forest road on which intervention in the objects of ground and underground drainage system elements (in terms of enabling them to be fully functional) is unnecessary.

For the ground drainage system to be optimized, the total of 3520 m classic and 1680 m lined drainage ditches on seven forest roads in MU "Belevine" should be constructed, as well 860 m classic drainage ditches, of which 240 m translated into lined drainage ditches should be repaired. It is necessary to construct 47 new and repair 41 existing cross-ditches. 45 concrete pipe culverts were recorded. With regard to the developed hydrograph conditions close to forest roads, existing climatic and geological features of soil in MU "Belevine", and with the aim of diminishing/reduce the negative impact of water on forest roads, pipe-culverts, drainage ditches and cross-ditches of the right shape, size, and type should be constructed. The elements of an optimized system of ground and underground drainage, along forest roads as well as and for the entire MU "Belevine" are given in Table 5.

Damaged road construction and the proposed method of repairing macadam pavement structure at the level of individual forest roads and for the entire MU "Belevine", are shown in Table 6. Macadam pavement structure of forest roads is in good condition and does not require any intervention on 4.01% of sampling plots. At 23.98% of sampling plots, pavement can be repaired with mending method. Most of sampling plots (51.40%) show that repair pavement method should be aligning, and for 20.62% of sampling plots the most expensive method of pavement repair – material outspreading is necessary.

In future studies it is recommended that to the technological process of reconstruction of forest road network in MU "Belevine", and it is bringing to so-called "zero"/optimized state, analysis of associated costs should be included.

---

**KEY WORDS:** forest road, technical features, drainage system, reconstruction of forest roads, mountainous relief area