

# Utjecaj poprečnog nagiba terena na volumen zemljanih radova pri izgradnji šumskih cesta na strmim terenima

---

Validžić, Dino

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:697659>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-02**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE  
ŠUMARSKI ODSJEK  
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ ŠUMARSTVO  
SMJER: TEHNIKA, TEHNOLOGIJA I MENADŽMENT U ŠUMARSTVU**

**DINO VALIDŽIĆ**

**UTJECAJ POPREČNOG NAGIBA TERENA NA VOLUMEN  
ZEMLJANIH RADOVA PRI IZGRADNJI ŠUMSKIH CESTA NA  
STRMIM TERENIMA**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, 2021.**

**FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE SVEUČILIŠTA U  
ZAGREBU**

**ŠUMARSKI ODSJEK**

**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ  
TEHNIKA, TEHNOLOGIJA I MENADŽMENT U ŠUMARSTVU**

**UTJECAJ POPREČNOG NAGIBA TERENA NA VOLUMEN  
ZEMLJANIH RADOVA PRI IZGRADNJI ŠUMSKIH CESTA NA  
STRMIM TERENIMA**

**DIPLOMSKI RAD**

Diplomski studij:		Tehnike, tehnologije i menadžment u šumarstvu
Predmet:		Projektiranje šumskih prometnica
Ispitno povjerenstvo:	1. (mentor)	doc. dr. sc. Ivica Papa
	2. (član)	prof. dr. sc. Tibor Pentek
	3. (član)	izv. prof. dr. sc. Hrvoje Nevečerel
Student:		Dino Validžić
JMBAG:		0068227081
Datum odobrenja teme:		4. lipnja 2021.
Datum predaje rada:		13. listopada 2021.
Datum obrane rada:		15. listopada 2021.

**Zagreb, listopad, 2021.**

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov:	Utjecaj poprečnog nagiba terena na volumen zemljanih radova pri izgradnji šumskih cesta na strmim terenima
Autor:	Dino Validžić
Mjesto izradbe:	Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave:	Diplomski rad
Mentor:	doc. dr. sc. Ivica Papa
Godina objave:	2021.
Opseg:	70 str., 18 slika, 13 tablica i 96 navoda literature
Ključne riječi:	šumske ceste, poprečni nagib terena, radna kota, površina iskopa, površina nasipa
Sažetak:	<p>Zemljani radovi (radovi na donjem ustroju) predstavljaju najveći trošak pri izgradnji šumskih cesta na strmim terenima te čine i do 80 % ukupnih troškova izgradnje, što naravno uvelike ovisi o konfiguraciji terena, umješnosti projektanta pri postavljanju osovinskog poligona te polaganju nivelete u crtani uzdužni profil terena. Cilj je ovoga rada bio je temelju podataka koji su prikupljeni za sve pojedinačne profile duž 8 trasa šumskih cesta projektiranih tijekom 2018. godine u šumariji Korenica, g.j. Trovrh-Kik, ustanoviti postoji li međusobni utjecaj poprečnoga nagiba terena i vrijednosti radne kote na površine iskopa, površine nasipa, širinu trupa šumske ceste odnosno u kojoj mjeri navedene nezavisne (prediktorske) varijable utječu na zavisne (kriterijske) varijable.</p>

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Title:	The impact of transverse cross terrain slope on the volume of earthworks in construction of forest roads on steep terrain
Author:	Dino Validžić
Thesis performed at:	Faculty of Forestry and Wood Technology, University of Zagreb
Publication Type:	Master's thesis
Supervisor:	Assist. Prof. Ivica Papa, PhD
Publication year:	2021
Volume:	70 pages, 18 figures, 13 tables, and 96 references
Key words:	Forest roads, cross terrain slope, depth of carriareway, cut area, fill area
Abstract:	<p>Earthworks (works on the lower structure) represent the highest cost in the construction of forest roads on steep terrains and make up to 80% of the total construction costs, which of course largely depends on the terrain configuration, the skill of the designer in setting the vertical alignment to a vertical terrain configuration. The aim of this work was based on the data collected for all individual profiles along 8 routes of forest roads designed during 2018 in the forestry office Korenica, Management unit Trovrh-Kik, to determine whether there is a mutual influence of the cross section slope of the terrain and the value of the depth of carriageway on the cut and fill surfaces, subgrade daylight distance or to what extent these independent (predictor) variables affect the dependent (criterion) variables.</p>

„Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojega rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima osim onima, koji su u njemu navedeni.“

Zagreb, 13. listopada 2021 godine

---

*vlastoručni potpis*

Dino Validžić

## KAZALO SADRŽAJA

1. UVOD.....	1
2. PROBLEMATIKA.....	3
2.1. Cestovna prometna infrastruktura u Republici Hrvatskoj.....	3
2.2. Uloga šumske prometne infrastrukture .....	3
2.3. Podjela šumske prometne infrastrukture .....	4
2.4. Konstruktivni elementi šumskih cesta.....	7
2.4.1. Konstruktivni elementi ceste u tlocrtu .....	7
2.4.2. Konstruktivni elementi ceste u nacrtu.....	9
2.4.3. Konstruktivni elementi ceste u poprečnom presjeku.....	11
2.5. Uspostavljanje optimalne mreže primarne šumske prometne infrastrukture .....	12
2.5.1. Planiranje .....	12
2.5.2. Projektiranje.....	14
2.5.3. Izgradnja i nadzor šumskih cesta .....	17
2.6. Tipski ili normalni poprečni presjeci .....	22
2.6.1. Metode izračuna površina bez crtanja poprečnih presjeka .....	24
2.6.2. Metode izračuna površina pomoću crtanih poprečnih presjeka.....	25
2.7. Parametri procjene kvantitete i kvalitete mreže primarne šumske prometnice.....	27
2.7.1. Gustoća mreže šumskih prometnica .....	27
2.7.2. Relativna otvorenost šuma .....	32
2.7.3. Srednja udaljenost privlačenja drva .....	35
3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA.....	38
4. CILJEVI I METODE ISTRAŽIVANJA .....	42
4.1. Ciljevi istraživanja.....	44
4.2. Metode istraživanja .....	44
4.2.1. Obrada terenskih podataka u programu Microsoft Excel 2016 .....	46
4.2.2. Analiza podataka u programu Statistica .....	48

5. REZULTATI .....	49
5.1. Rezultati višestrukog uspoređivanja odnosno post-hoc testa .....	49
5.1.1. Rezultati post-hoc testa prosječnih poprečnih nagib terena analiziranih šumskih cesta	49
5.1.2. Rezultati post-hoc testa visina radne kote analiziranih šumskih cesta .....	50
5.1.3. Rezultati post-hoc testa površina iskopa analiziranih šumskih cesta.....	52
5.1.4. Rezultati post-hoc testa površina nasipa analiziranih šumskih cesta.....	53
5.1.5. Rezultati post-hoc testa širine trupa analiziranih šumskih cesta.....	54
5.2. Rezultati modela regresijske analize .....	57
6. ZAKLJUČCI .....	59
7. LITERATURA .....	62



## KAZALO SLIKA

<b>SLIKA 1.</b> ELEMENTI ŠUMSKE CESTE U TLOCRTU .....	8
<b>SLIKA 2.</b> ELEMENT CESTE U NACRTU .....	10
<b>SLIKA 3.</b> POPREČNI PRESJEK ŠUMSKE CESTE .....	11
<b>SLIKA 4.</b> TIPIČNI POPREČNI PRESJECI ŠUMSKIH CESTA (PENTEK 2012A) .....	23
<b>SLIKA 5.</b> IZRAČUN POVRŠINE NASIPA BEZ CRTANJA POPREČNIH PRESJEKA .....	24
<b>SLIKA 6.</b> IZRAČUN POVRŠINE USJEKA BEZ CRTANJA POPREČNIH PRESJEKA .....	25
<b>SLIKA 7.</b> RAČUNANJE POVRŠINE NASIPA POMOĆU CRTANIH POPREČNIH PRESJEKA .....	26
<b>SLIKA 8.</b> RAČUNANJE POVRŠINE ISKOPA POMOĆU CRTANIH POPREČNIH PRESJEKA .....	26
<b>SLIKA 9.</b> SHEMATSKI PRIKAZ PRIMARNE RELATIVNE OTVORENOSTI (IZVOR: JANEŠ 2021) .....	33
<b>SLIKA 10.</b> PRIKAZ PROSTORNOG RAZMJETAJA ANALIZIRANIH ŠUMSKIH CESTA U GOSPODARSKOJ JEDINICI TROVRH – KIK .....	43
<b>SLIKA 11.</b> GRAFIČKI PRIKAZ CRTANIH POPREČNIH PROFILA 8 – 11 ŠUMSKE CESTE „MARIČIČA VRH“ .....	45
<b>SLIKA 12.</b> ULAZNI / IZRAČUNATI PARAMETRI NA PRIMJERU PODATAKA SA CRTANOG POPREČNOG PROFILA 10 ŠUMSKE CESTE „MARIČIČA VRH“ .....	46
<b>SLIKA 13.</b> GRAFIČKI PRIKAZ LSD TESTA PROSJEČNIH POPREČNIH NAGIB TERENA S OBZIROM NA ANALIZIRANU ŠUMSKU CESTU .....	50
<b>SLIKA 14.</b> GRAFIČKI PRIKAZ RAZLIKA U VRIJEDNOSTIMA VISINA RADNIH KOTA.....	51
<b>SLIKA 15.</b> GRAFIČKI PRIKAZ LSD POVRŠINE ISKOPA S OBZIROM NA ANALIZIRANU ŠUMSKU CESTU .....	53
<b>SLIKA 16.</b> GRAFIČKI PRIKAZ LSD POVRŠINE NASIPA S OBZIROM NA ANALIZIRANU ŠUMSKU CESTU .....	54
<b>SLIKA 17.</b> GRAFIČKI PRIKAZ LSD ŠIRINE TRUPA CESTE S OBZIROM NA ANALIZIRANU ŠUMSKU CESTU .....	56
<b>SLIKA 18.</b> UTJECAJ PROSJEČNOG POPREČNOG NAGIBA TERENA NA ŠIRINU TRUPA CESTE I POVRŠINE ISKOPA/NASIPA ŠUMSKIH CESTA .....	60

## KAZALO TABLICA

<b>TABLICA 1.</b> ELEMENTI POPREČNOG PRESJEKA, TLOCRTNI I VISINSKI ELEMENTI RAZLIČITIH KATEGORIJA ŠUMSKIH PROMETNICA (NN 106/2015, 65/17, 77/17).....	6
<b>TABLICA 2.</b> HORIZONTALNO RAZVIJANJE TRASE ŠUMSKE CESTE .....	9
<b>TABLICA 3.</b> MINIMALNA KLASIČNA TE PLANIRANA OTVORENOST ZA 2020. PO RELJEFNIM PODRUČJIMA.....	28
<b>TABLICA 4.</b> REGISTAR POSTOJEĆE PRIMARNE ŠUMSKE PROMETNE INFRASTRUKTURE GJ TROVRH – KIK (SVIH ŠUMSKIH CESTA TE ONIH JAVNIH I NERAZVRSTANIH CESTA KOJE SE MOGU KORISTITI PRI ODRŽIVOM GOSPODARENJU ŠUMAMA) .....	41
<b>TABLICA 5.</b> STACIONAŽA I BROJ ANALIZIRANIH POPREČNIH PROFILA PO ANALIZIRANOJ ŠUMSKOJ CESTI.....	42
<b>TABLICA 6.</b> PRIKAZ OČITANIH/ANALIZIRANIH PODATAKA NA PRIMJERU NORMALNIH POPREČNIH PROFILA 8 – 11 ŠUMSKE CESTE “MARIČIĆA VRH” .....	47
<b>TABLICA 7.</b> REZULTATI LSD TESTA PROSJEČNIH POPREČNIH NAGIB TERENA S OBZIROM NA ANALIZIRANU ŠUMSKU CESTU .....	49
<b>TABLICA 8.</b> REZULTATI LSD TESTA VISINA RADNE KOTE S OBZIROM NA ANALIZIRANU ŠUMSKU CESTU.....	51
<b>TABLICA 9.</b> REZULTATI LSD POVRŠINE ISKOPA S OBZIROM NA ANALIZIRANU ŠUMSKU CESTU	52
<b>TABLICA 10.</b> REZULTATI LSD POVRŠINE NASIPA S OBZIROM NA ANALIZIRANU ŠUMSKU CESTU .....	53
<b>TABLICA 11.</b> REZULTATI LSD ŠIRINE TRUPA CESTE S OBZIROM NA ANALIZIRANU ŠUMSKU CESTU .....	55
<b>TABLICA 12.</b> OVISNOST POVRŠINE ISKOPA O VRIJEDNOSTIMA PROSJEČNOG POPREČNOG NAGIBA TERENA ODNOSNO VISINAMA RADNE KOTE.....	57
<b>TABLICA 13.</b> OVISNOST POVRŠINE NASIPA O VRIJEDNOSTIMA PROSJEČNOG POPREČNOG NAGIBA TERENA ODNOSNO VISINAMA RADNE KOTE.....	58

# 1. UVOD

Gospodarenje šumama je nemoguće bez neophodne i optimalne otvorenosti mreže šumskih prometnica. To je uzorkovano razvojem šumarstva, intenzivnijem i potrajnijem gospodarenju šumama te uvođenjem sve većeg stupnja mehaniziranih radova u šumi. Šumski ekosustav je vrlo dinamičan i zbog toga proizlazi da je za gospodarenje šumskim ekosustavom nužna dodatna izgradnja šumskih prometnica tj. otvaranje novih šumskih područja i njihovo prilagođavanje u već postojeću šumsku prometnu infrastrukturu. Kako bi uspostavili optimalnost mreže primarne šumske prometnice na terenu vrlo je važno istu obaviti kroz slijedeće 4 obavezne radne faze: planiranje, projektiranje, izgradnja uz nadzor i održavanje. Nije moguće dostići svaku slijedeću fazu rada unutar navedenog slijeda, bez kvalitetno odrađene prethodne faze rada (Pentek i dr. 2007). Izgradnja šumske prometne infrastrukture na strmim i nagnutim terenima je vrlo zahtjevan, često u vidu teških građevinskih kategorija materijala i velikih poprečnih nagiba terena. Da bih se mogla postići odgovarajuća kvaliteta donjeg ustoja potrebno je primijeniti takvu tehnologiju izgradnje buduće šumske ceste koja će dati najbolju kvalitetu izgradnje šumskih prometnica uzimajući cijelo vrijeme minimizaciju troškova. Površine iskopa i nasipa rastu proporcionalno sa povećanjem poprečnog nagiba terena odnosno povećanjem vrijednosti radne kote. Pri izradi normalnog poprečnog profila nasipa dolazi do manjka zemljanih masa a kod normalnog poprečnog profila usjeka dolazi do viška u volumenu zemljanih masa što ne predstavlja ekonomičan način gradnje kojem težimo (Pičman, 1998). Izgradnja šumske ceste kod kojih dominira normalni poprečni profil zasjeka najisplativiji je i okolišno najprihvatljiviji način gradnje zbog minimalnog obujma zemljanih masa koje se na takvim dionicama javljaju, odnosno zbog bočne kompenzacije zemljorada koja je cjenovno i okolišno najprihvatljivija. Vrlo često, na vrlo strmim terenima, zbog velikih duljina u nožicama nasipa odnosno vrlo teške ili gotovo nemoguće dostatne stabilizacije nasipne strane normalni se poprečni profili izvode u vidu usjeka ili zasjeka u punom presjeku. Povećanjem vrijednosti radne kote (razmaka između kote terena i kote nivelete) povećavaju se količine nasipa (manjak materijala) odnosno količine iskopa (višak materijala) te dolazi do uzdužnog transporta, materijal se iz pozajmišta dovozi na mjesta gdje postoji manjak materijala na trasi tj. odvozi, sa mjesta gdje postoji višak materijala na trasi, u unaprijed predviđene deponije. S ciljem izjednačavanja količina zemljanih radova odnosno minimiziranja troškova izgradnje, cilj svakog projektanta je navedene količine svesti na minimum pravilnim uklapanjem nivelete.

Volumen zemljanih radova kod gradnje šumske ceste prvenstveno ovisi o poprečnom nagibu terena, visini radne kote, širini planuma šumske ceste odnosno širini trupa ceste. Trošak gradnje donjeg ustroja šumske ceste u direktnoj je ovisnosti sa volumenom zemljanih masa odnosno trošku nastalom tijekom njihova iskapanja, transporta. Imajući u vidu varijabilnost poprečnog nagiba terena, različite razrede kategorija materijala na pojedinim dionicama šumskih cesta konačna količina zemljoradova, te troškovi vezani uz njihovu ugradnju mogu biti definirani tek nakon prikupljenih i obrađenih terenskih podataka odnosno nakon snimljenih i analiziranih poprečnih nagiba terena u svakom profilu na trasi promatrane šumske ceste (Sokolović,2015). Zemljani radovi predstavljaju glavnu komponentu troškova u izgradnji šumskih cesta, čineći više od 80 % ukupnih troškova izgradnje šumskih cesta na strmim terenima. Contreras (2012) navodi kako je neobično važno definirati optimalan razmak između profila na trasi šumske ceste jer povećanjem razmaka između poprečnih profila opada točnost procjene volumena zemljanih radova.

## **2. PROBLEMATIKA**

### **2.1. Cestovna prometna infrastruktura u Republici Hrvatskoj**

U Hrvatskoj se za radove na gospodarenju šuma, osim šumske prometne infrastrukture, koristi i ona javna. Pritom se u najvećoj mjeri koriste javne ceste, koje služe za daljinski transport drva različitim inačicama kamiona i kamionskih skupova, koji u odnosu na druge oblike sekundarnog transporta drva prevladava u hrvatskom šumarstvu. Zakon o cestama (NN 84/11, 18/13, 22/13, 54/13, 148/13, 92/14 i 110/19) definira javne ceste kao javno dobro u općoj upotrebi u vlasništvu Republike Hrvatske, te ovisno o njihovom društvenom, prometnom i gospodarskom značenju, razlikuje sljedeće četiri kategorije: autoceste (ukupna duljina: 1.570,10 km), državne ceste (6.584,60 km), županijske ceste (9.788,40 km) i lokalne ceste (8.964,30 km). Za navedene kategorije javnih cesta nije poznat podatak o njihovom utjecaju na otvaranje šuma.

Osim navedenih kategorija javnih cesta, prema Zakonu o cestama (NN 84/11, 18/13, 22/13, 54/13, 148/13, 92/14 i 110/19) i Zakonu o sigurnosti prometa na cestama (NN 67/08, 48/10, 74/11, 80/13, 158/13, 92/14, 64/15, 108/17, 70/19 i 42/20), postoji i kategorija nerazvrstanih cesta, koja je određena kao površina koja se koristi za promet vozilima po bilo kojoj osnovi i koja je dostupna većem broju raznih korisnika te koje svatko može slobodno koristiti na način i pod uvjetima određenim navedenim zakonima (seoski, poljski i šumski putovi, putovi na nasipima za obranu od poplava, pristupne ceste i prostori parkirališta, benzinskih crpki i sl.).

### **2.2. Uloga šumske prometne infrastrukture**

Šumske ceste imaju višekriterijske funkcije (Jeličić 1983, Šikić i dr. 1989), između koji je po brojnim autorima ipak najvažnija ona gospodarska, budući da je mreža šumskih cesta presudna za održivo gospodarenje šumskim resursima (Demir 2007, Gumus i dr. 2008, Hayati i dr. 2013, Heinemann 2017). Šumska prometna infrastruktura sastoji se od primarne (šumske ceste, protupožarne prosjeke s elementima šumske ceste) i sekundarne (traktorski put, traktorska vlaka i žična linija) šumske prometne infrastrukture (NN 68/18, 115/18, 98/19, 32/20).

Primarna šumska prometna infrastruktura neophodan je element pri gospodarenju šumama, budući da omogućava izravan pristup šumskom području, te transport ljudi i dobara (Heinemann 2021). Primarna šumska transportna infrastruktura sačinjena je od mreže šumskih i javnih cesta, ali i plovnih vodotoka, uz čije se rubove smještaju pomoćna stovarišta (Epstein i dr. 2007). Pomoćna

stovarišta su prirodne ili posebno uređene pogodne površine uz sastavnice primarne šumske transportne infrastrukture, predstavljaju točku promjene sredstva transporta drva uslijed završetka privlačenja te početka daljinskoga transporta drva, a osnovna namjena im je skladištenje drva, tj. drvnih proizvoda (Bumber 2011). Pri primjeni stablovne, deblovne ili poludeblovne metode izradbe drva, kao i metode iveranja (ili izradba svežnjeva šumskoga ostatka) pred pomoćna stovarišta postavljaju se još veći zahtjevi glede površine i unutarnje organizacije kretanja izvršitelja, strojeva i drva, jer ona postaju mjesto potpune ili djelomične izradbe drva.

Glavna svrha primarne šumske prometne infrastrukture je transport drva, odnosno drvnih sortimenata (daljinski transport), a potom i obavljanje drugih, mnogobrojnih šumarskih radova poput uzgajanja, uređivanja i zaštite šuma, itd (Kuonen 1983, Dietz i dr. 1984, Toscani i dr. 2020). White (2010) navodi da je učinkovita mreža šumskih prometnica temeljni preduvjet za racionalno i kvalitetno gospodarenje šumom i šumskim tлом, omogućujući putovanja (radi obavljanja mnogobrojnih šumskih radova), izvoženje drvnih sortimenata, pristup šumi radi rekreacije i obrazovanja te pristup šumi u svrhu zaštite od požara.

Boston (2016) pod gospodarskim koristima podrazumijeva pridobivanje drva, bilja i gljiva, dok pod socijalnim benefitima šumskih cesta navodi olakšani pristup za potrebe lova, nadzora šuma i životinja, kao i olakšanog pristupa krajobrazu svih onih koji koriste šumske ceste. Potočnik (1996) prilikom analiziranja stanja u Sloveniji, dolazi do spoznaje kako se tamošnje šumske ceste koriste za 15 funkcija, od kojih je glavna upotreba za potrebe šumarstva, a potom dolaze druge, socijalno orijentirane namjene, poput primjerice pristupa selima, pristupa za potrebe lova, pristup vikendicama, turističke funkcije i druge. U Hrvatskoj, Pentek (2010) šumsku prometnu infrastrukturu vidi kao neophodni element pri suvremenom, intenzivnom, integriranom, racionalnom, ekološki osviještenom te na principima potrajnosti prihoda i bioraznolikosti vrsta zasnovanom gospodarenju šumama.

### **2.3. Podjela šumske prometne infrastrukture**

Šumske ceste su građevinski objekti koji trajno omogućuju promet motornim vozilima radi izvršenja zadataka predviđenih gospodarskim osnovama (Pičman 2007). Prilikom planiranja i projektiranja šumskih cesta treba voditi računa o prostornom položaju buduće šumske ceste, odnosno uskladiti postupak uspostave optimalne mreže šumskih prometnica s perspektivnim planom izgradnje prometnica za otvaranje šumsko-gospodarskog područja, vodeći računa o

ekologiji prostora, zaštiti prirode kao i o planiranju javne mreže cesta (Šikić i dr. 1989). Isti autor prema vrsti prometa šumsku prometnu infrastrukturu dijeli na:

- ✓ Primarne šumske prometnice – šumske ceste. To su trajni građevinski objekti koji omogućavaju stalan promet motornih vozila i omogućavaju izvođenje zadataka predviđenih planom gospodarenja (uzgojni radovi, uređivanje šuma, transport drva, ...).
- ✓ Sekundarne šumske prometnice – traktorski putovi i traktorske vlake čija svrha je primarni transport drva, tj. pomicanje drva od mjesta sječe (panja) do pomoćnog stovarišta.

Prema pravilniku o provedbi mjere M04 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz Programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 106/2015, 65/17, 77/17), primarne šumske prometnice dijele se na:

- ✓ spojne ceste (ŠC)
- ✓ glavne šumske ceste (GŠC)
- ✓ sporedne šumske ceste (SŠC)
- ✓ prilazne šumske ceste A (PŠCA)
- ✓ prilazne šumske ceste B (PŠCB).

Navedeni pravilnik propisuje i elemente poprečnih presjeka, tlocrta te visinske elemente (tablica 1) kojih se treba pridržavati prilikom projektiranja šumskih cesta. Značenja oznaka u tablici su sljedeća: RT – ravničasti (nizinski) teren, BT – brdoviti (prigorski) teren, PT – planinski (gorski) teren, Z – zaokretnica (serpentina), () – iznimna vrijednost (može se upotrijebiti samo u iznimnim, opravdanim slučajevima uz detaljno obrazloženje u tehničkoj dokumentaciji).

**Tablica 1. Elementi poprečnog presjeka, tlocrtni i visinski elementi različitih kategorija šumskih prometnica (NN 106/2015, 65/17, 77/17)**

Kategorija prometnice	Elementi poprečnog presjeka		Tlocrtni elementi		Visinski elementi			
	š <sub>k</sub> – širina kolnika (m) š <sub>B</sub> – širina bankine (m)		R <sub>Hmin</sub> – najmanji polumjer horizontalne krivine (m)	d <sub>max</sub> – najveći razmak između mimoilaznica (m)	n <sub>max</sub> – najveći uzdužni nagib (%)	R <sub>Vmin</sub> – najmanji polumjer vertikalne krivine (m)		d <sub>max</sub> – najmanji razmak između vertikalnih krivina suprotnog smjera (m)
	2 prometna traka	1 prometni trak				konveksna	konkavna	
Spojna cesta (SC)	š <sub>k</sub> =,50-5,00 m š <sub>B</sub> =,75-1,00 m		RT =50 m BT =0 (30) m PT =0 (20) m Z =5 (12) m za R ≤ 100 m projektirati prijelazne krivine	mimoilaznice se ne izvode	RT = % BT = (8) % PT = (10) % za R ≤ 25 m = % na mostovima = %	RT =000 m BT =000 m PT =000 m	RT =500 m BT =00 m PT =00 m	RT/BT/PT =0 m
Glavna šumska cesta (GŠC)	š <sub>k</sub> =,50-5,00 m š <sub>B</sub> =,75-1,00 m		RT =0 (50) m BT =0 (30) m PT =0 (20) m Z =5 (12) m	mimoilaznice se ne izvode	RT = % BT = (8) % PT = (10) % za R ≤ 25 m = % na mostovima = %	RT =000 m BT =00 m PT =00 m	RT =00 m BT =00 m PT =00 m	RT/BT/PT =0 m
Sporedna šumska cesta (SŠC)	š <sub>k</sub> =,50-5,00 m š <sub>B</sub> =,75-1,00 m	š <sub>k</sub> =,50-4,00 m š <sub>B</sub> =,50-0,75 m	RT =0 m BT =0 (18) m PT =0 (18) m Z =2 m	d <sub>max</sub> ≤ 300 m	RT = % BT = (10) % PT =0 (12) %	RT =00 m BT =00 m PT =00 m	RT =00 m BT =00 m PT =00 m	RT/BT/PT =5 m
Prilazna šumska cesta A (PŠCA)		š <sub>k</sub> =,50-4,00 m š <sub>B</sub> =,50-0,75 m	RT =0 m BT =0 (16) m PT =0 (16) m Z =2 (10) m	d <sub>max</sub> ≤ 400 m	RT = % BT =0 (12) % PT =2 (15) %	RT =00 m BT =00 m PT =00 m	RT =00 m BT =00 m PT =00 m	RT/BT/PT =0 m
Prilazna šumska cesta B (PŠCB)		š <sub>k</sub> =,00-3,50 m bankine se u pravilu ne izvode (može se izvesti bankina širine 0,25 m)	RT =0 m BT =0 (16) m PT =0 (16) m Z =2 (10) m	d <sub>max</sub> ≤ 400 m	RT = % BT =0 (12) % PT =2 (15) %	RT =00 m BT =00 m PT =00 m	RT =00 m BT =00 m PT =00 m	RT/BT/PT =0 m



Kategorija prometnice	Elementi poprečnog presjeka		Tlocrtni elementi		Visinski elementi			
	š <sub>k</sub> – širina kolnika (m) š <sub>B</sub> – širina bankine (m)		R <sup>H</sup> min – najmanji polumjer horizontalne krivine (m)	d <sub>max</sub> – najveći razmak između mimoilaznica (m)	n <sup>a</sup> max – najveći uzdužni nagib (%)	R <sup>V</sup> min – najmanji polumjer vertikalne krivine (m)		d <sub>max</sub> – najmanji razmak između vertikalnih krivina suprotnog smjera (m)
	2 prometna traka	1 prometni trak				konveksna	konkavna	
Glavni traktorski put (GTP)		š <sub>k</sub> =,50- 4,00 m	RT =0 m BT =8 (15) m PT =8 (15) m Z =0 (8) m	mimoilaznice se izvode prema potrebi d <sub>max</sub> =50-300 m	RT = % BT =2 (15) % PT =5 (18) %	RT =00 m BT =00 m PT =00 m	RT =00 m BT =50 m PT =50 m	RT/BT/PT=5 m
Sporedni traktorski put (STP)		š <sub>k</sub> =,00- 3,50 m	RT =0 m BT =5 (12) m PT =5 (12) m Z =0 (8) m	mimoilaznice se izvode prema potrebi d <sub>max</sub> =50-300 m	RT = % BT =0 (25) % PT =0 (25) %	RT =00 m BT =00 m PT =00 m	RT =00 m BT =00 m PT =00 m	RT/BT/PT=5 m

## 2.4. Konstruktivni elementi šumskih cesta

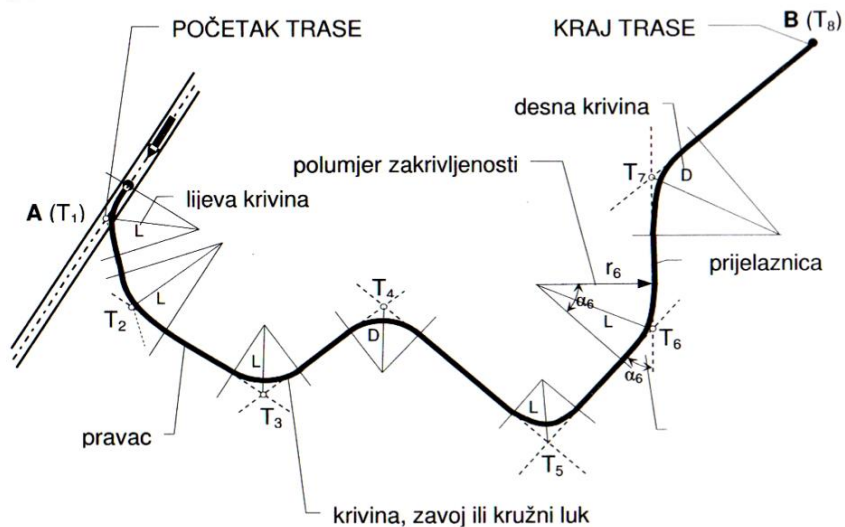
Konstruktivne elemente ceste možemo podijeliti na (B.C. Ministry of Forests 2002, Pičman 2007):

- ✓ Elemente ceste u tlocrtu- horizontalna projekcija
- ✓ Elementi ceste u nacrtu- vertikalni presjek
- ✓ Poprečni presjek okomit na os ceste

### 2.4.1. Konstruktivni elementi ceste u tlocrtu

Horizontalna projekcija šumske ceste predstavlja tlocrt šumske ceste u njezinoj osi, tj. linijom koja prolazi sredinom ceste i dijeli je na dva jednaka dijela osim u krivinama u kojima se primjenjuje proširenje. Naziva se situacijski ili položajni nacrt. Sastavni elementi ceste u tlocrtu su (Gregory 2013):

- ✓ Pravaca
- ✓ Kružnih krivina ili lukova
- ✓ Prijelaznih krivina ili prijelaznica.



**Slika 1.** Elementi šumske ceste u tlocrtu

Najpoželjniji oblik cesta je linijski odnosno pravocrtni, međutim zbog karakteristika terena i propisa o projektiranju to nije uvijek moguće, zbog čega su na određenim područjima potrebni kompromisi u vidu horizontalnih skretanja (Bowers i Garland 2012). Na tim mjestima uklapaju se kružni lukovi koji s obzirom na smjer kretanja vozila mogu biti desni (D) ili lijevi (L), gledajući od početka trase nove šumske ceste.

Mreža šumskih cesta nizinskog područja ima uglavnom pravilan oblik (veliki broj dugačkih pravaca i mali broj zavoja), usporedne šumske ceste se nalaze na približno jednakoj udaljenosti, prolaze postojećim prosjekama i zatvaraju površine pravilnog oblika (Pentek i dr. 2016). U brdskom području se mreža šumskih cesta sastoji od tzv. etažnih, gotovo paralelnih i po slojnicama položenih šumskih cesta te između njih dijagonalnih, spojnih šumskih cesta (mali broj pravaca, veći broj krivina i smanjenje njihovih polumjera zakrivljenosti). Za mrežu šumskih cesta gorskog/planinskog područja autori navode da ovisno o stupnju razvijenosti hidrografske mreže poprima oblike slične opisanima za brdsko (prigorsko) reljefno područje, što znači da šumske ceste imaju dodatno smanjene dužine pravaca sa značajnim povećanjem broja zavoja.

**Tablica 2.** Horizontalno razvijanje trase šumske ceste

Kategorija šumske ceste	Sredstvo transporta	Prometon opterećenje	Broj prom. traka	Širina kolnika	Širina bankine	Širina planuma	Minimalni radijus		Razmak mimoilaznica
		Brutto t./god.					Kružni luk	Serpentina	
I	Kamion sa prikolicom	>80.000	2	7,00	1,00	9,00	50	12	-
II	Kamion sa prikolicom	60.000-80.000	2 (1)	6,00	0,75	7,50	40	12	- (300)
III	Kamion sa prikolicom	40.000-60.000	1	5,00	0,50	6,00	20	10	400
IV	Kamion sa prikolicom	<40.000	1	4,00	0,50	5,00	18	10	500

Pri projektiranju šumskih cesta treba između protusmjernih (suprotnih) horizontalnih krivina treba osigurati sljedeće najmanje duljine međupravaca (prijelaznih poteza) radi vitoperenja i promjene širine kolnika (NN 65/2017, NN 84/2018):

- ✓ na glavnim šumskim cestama 20 (15) m
- ✓ na sporednim šumskim cestama 15 (10) m i
- ✓ na prilaznim šumskim cestama A i prilaznim šumskim cestama B 10 (8) m.

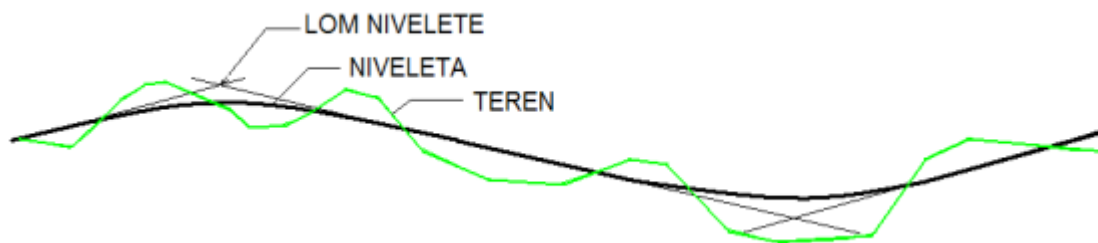
Prema potrebi se, u iznimnim slučajevima, na mjestima gdje je to opravdano, mogu koristiti manje duljine međupravaca (prijelaznih poteza) između protusmjernih (suprotnih) horizontalnih krivina, odnosno spojene („S“) protusmjerne (suprotne) horizontalne krivine.

#### 2.4.2. Konstruktivni elementi ceste u nacrtu

Prema Penteku (2012) nacrt šumske ceste predstavlja uzdužni presjek šumske ceste po njezinoj osi. Osnovni element nacrta odnosno uzdužnog presjeka šumske ceste je nagib ceste odnosno niveleta (Petković i dr. 2014). Niveleta je presječnica osi ceste i vertikalne plohe koja prolazi kroz os ceste (Kobasić 2013), a njom se definira razlika između visina ceste. Niveleta može biti:

- ✓ nezaobljena: predstavlja projektirani prikaz vertikalnog razvijanja trase šumske ceste, a nastaje uklapanjem budućeg vertikalnog oblika šumske ceste u postojeću uzdužnu konfiguraciju terena.
- ✓ zaobljena: konačan oblik prihvaćenog rješenja trase šumske ceste u smislu njenog vertikalnog razvijanja, a nastaje zaobljavanjem prijelomnih točaka nivelete vertikalnim krivinama i transformacijom izlomljene linije u zaobljenu liniju pogodnu za prometovanje vozila.

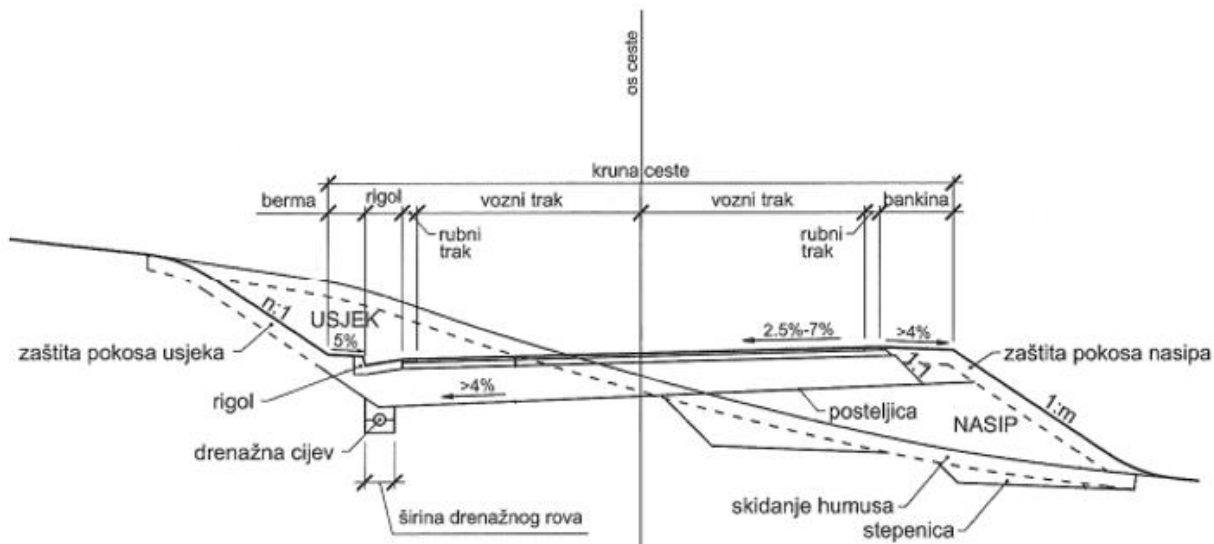
Niveleta šumske ceste sastoji se od pravaca i vertikalnih lomova – kružnih lukova (Kobasić 2013). Kod nivelete šumske ceste pravac može biti označen s (+), što predstavlja uspon nivelete, ili s (-), što predstavlja pad nivelete gledano u smjeru kretanja vozila od početne do završne točke.



**Slika 2.** Element ceste u nacrtu

Značajke šumskih prometnica u Republici Hrvatskoj definirane su Pravilnikom o provedbi mjere M04 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz Programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 106/2015, 65/17, 77/17). Navedeni pravilnik uz ostalo, propisuje i elemente poprečnih presjeka, tlocrta te visinske elemente kojih se treba pridržavati prilikom projektiranja šumskih cesta. Značenja oznaka u tablici su sljedeća: RT – ravničasti (nizinski) teren, BT – brdoviti (prigorski) teren, PT – planinski (gorski) teren, Z – zaokretnica (serpentina), () – iznimna vrijednost (može se upotrijebiti samo u iznimnim, opravdanim slučajevima uz detaljno obrazloženje u tehničkoj dokumentaciji) (tablica 1).

### 2.4.3. Konstruktivni elementi ceste u poprečnom presjeku



**Slika 3.** Poprečni presjek šumske ceste

Prema Penteku (2012) poprečni presjek šumske ceste dobije se presjekom potpunog tijela šumske ceste ravninom okomitom na uzdužnu os šumske ceste. Poprečni presjek prikazuje veličinu i oblik zemljanog trupa, cestovno zemljište, gornji i donji ustroj šumske ceste i manje cestovne objekte. U sastavnicama glavnog/ izvedbenog projekta šumske ceste poprečni presjek možemo pronaći u dva priloga a to su Normalni poprečni presjeci i Poprečni presjeci.

Normalni ili tipski poprečni presjeci crtaju se za sve tipove poprečnih presjeka koji se nalaze na trasi šumske ceste (nasip, usjek, zasjek, galerija, stepenica, potporni zid, obložni zid, propust, mimoilaznica, okretnica, procjednica, preljevnica). Normalni poprečni presjeci sadrže zajedničke podatke i elemente cijele ceste za proizvodnu terensku liniju. Osim elemenata potrebnih za trasiranje, normalni poprečni presjeci prikazuju osnovnu projektnu koncepciju ceste, odnosno tipska rješenja za donji i gornji ustroj šumske ceste. U normalnim presjecima ucrtavaju se i kotiraju : širina planuma, dimenzije kolnika i bankine, posteljica, odvodni jarci, nagibi pokosa nasipa i iskopa za određenu kategoriju zemljišta, debljina kolnika i svi ostali elementi važni za izvođenje šumske ceste.

Poprečnim presjekom definirane su dimenzije. Oblik i površina donjeg ustroja na svim mjestima gdje se mijenja odnos zaobljene nivelete prema terenu, a teren lomi u smjeru pružanja i poprečno. Na temelju crtanih poprečnih presjeka, na terenu se obavlja obilježavanje, građenje zemljanog

trupa i kolničkih konstrukcija gornjeg ustroja kao i građenje manjih objekata. Svaki poprečni presjek treba imati broj i oznaku profila, oznaku stacionaže, kotu terena i kotu nivelete, dubinu iskopa, potpornih zidova, obložnih zidova, temelja zidova, stepenica, odvodnih jaraka te duljine planirane kosine nasipa i planirane kosine iskopa.

## **2.5. Uspostavljanje optimalne mreže primarne šumske prometne infrastrukture**

Uspostavljanje optimalne mreže primarnih šumskih prometnica na terenu provodimo kroz slijedeće sveprisutne faze rada (Pentek i dr. 2005):

- ✓ planiranje,
- ✓ projektiranje,
- ✓ izgradnja s nadzorom i
- ✓ održavanje.

### **2.5.1. Planiranje**

Šumska transportna mreža temeljni je preduvjet za moderno, racionalno, tehnološki napredno, ekonomično, ekološki orijentirano i okolišno pogodno gospodarenje šumskim ekosustavom (Pentek i dr. 2012, Tavankar i dr. 2015, Laschi i dr. 2016, Tavankar 2018, Picchio i dr. 2018).

Za postojanje kvalitetne mreže šumskih prometnica neophodno je prije projektiranja i izgradnje šumskih cesta provesti opsežni postupak planiranja, odnosno odlučivanja gdje će se buduća šumska cesta najbolje uklopiti u prostor te na taj način omogućiti obavljanje radnih zadataka predviđenih planom gospodarenja (Picchio i dr. 2018).

Planiranje šumskih prometnica je prva, inicijalna, nezaobilazna i najvažnija faza rada pri uspostavljanju najbolje moguće mreže šumskih prometnica na terenu (Pentek 2002). Upravo kvalitetno planirana, projektirana, izgrađena te održavana mreža šumskih prometnica omogućuje unaprjeđenje, odnosno povećanje učinka postojećih sustava pridobivanja drva, ali i primjenu najpogodnijih suvremenih sustava pridobivanja drva (Kühmaier 2010, Magagnotti i dr. 2012, Marchi i dr. 2014). Planiranje izgradnje šumskih cesta uključuje određivanje njihove buduće lokacije, pri čemu treba voditi računa o zaštićenim područjima, gustoći postojeće mreže šumskih

prometnica, željenim sustavima pridobivanja drva te ostalim brojnim ciljevima i ograničenjima (Acar i dr. 2017, Picchio i dr. 2018, Zhang i dr. 2020).

Osnovni uvjet pri planiranju šumskih prometnica je smanjenje negativnih utjecaja planirane ceste na šumski ekosustav (Bertolotto i dr. 2016), pri čemu prednosti koje se njihovim planiranjem, projektiranjem i izgradnjom mogu dobiti nadilaze njihove negativne utjecaje (Acar i dr. 2017). Vođeni tom idejom prilikom planiranja i izgradnje šumskih prometnica, iste treba smatrati sastavnim dijelom šumskog ekosustava (tehnički dio ekosustava) te provesti odgovarajuće analize njihovog utjecaja na okoliš, kako bi se donijela ispravna odluka o projektiranju i gradnji (Lugo i Gucinski 2000).

Prema razini na kojoj se planiranje provodi te složenosti postupka planiranja, kao i vremenskom razdoblju za koje se provodi planiranje, te s obzirom na veličinu otvaranog područja, planiranje šumskih prometnica se dijeli na sljedeće tri razine (Forsberg i dr. 2005, Karlsson i Rönnqvist 2005, D'Amours i dr. 2008, Pentek i dr. 2014):

1. strategijsko ili globalno,
2. taktičko ili generalno,
3. operativno ili lokalno.

Strategijsko planiranje je planiranje na najvišoj razini, dugoročnog je karaktera te podrazumijeva donošenje odluka za velika prostorna područja (Bouchard i dr. 2017). Planiranje izgradnje šumskih prometnica na strategijskoj razini podrazumijeva otvaranje šuma na razini države odnosno na razini reljefnog područja, pri čemu je neophodno odrediti ciljanu gustoću i ukupnu dužinu šumskih prometnica koju želimo postići (Krč i dr., 2013). Prema Penteku i dr. (2014) svrha strategijskog planiranja je: 1. Određivanje reljefnih područja na temelju postojećih stanišnih i sastojinskih parametara; 2. Definiranje postojeće i ciljane klasične otvorenosti svakog pojedinog reljefnog područja; 3. Utvrđivanje smjernica budućih aktivnosti otvaranja šumskih područja te definiranje modela otvaranja pojedinog reljefnog područja; 4. Predlaganje pogodnih sustava pridobivanja drva unutar pojedinih reljefnih područja temeljem stanišnih značajki te stupnja otvorenosti pojedinog područja.

Srednja razina planiranja naziva se taktičko planiranje, s kojim se planiraju detaljniji postupci i radovi, poput planiranja prometnica na razini pojedine gospodarske jedinice (Bouchard i dr. 2017).

Taktičko planiranje predstavlja svojevrstan nastavak strategijskog planiranja s detaljnijim uvažavanjem stanišnih i sastojinskih prilika (Andersson 2005), a traje od 2 do 5 godina (Alonso-Ayuso i dr. 2020). Pri planiranju šumskih prometnica, rezultat ove razine planiranja je studija otvaranja šuma (Pentek i dr. 2014) koja se može odnositi na primarne i/ili sekundarne šumske prometnice pojedine gospodarske jedinice, a koja omogućuje: sustavno, plansko, odnosno kontrolirano otvaranje šuma (Krč i Beguš 2013); racionalizaciju troškova izgradnje šumskih prometnica; sustavno plansko i kontrolirano održavanje i popravak šumskih prometnica (Karlsson i dr. 2006, Pellegrini i dr. 2013, Talebi i dr. 2015); planiranje, kontrolu i racionalizaciju radova pridobivanja drva; smanjenje negativnog utjecaja šumskih prometnica i radova pridobivanja drva na šumski okoliš i dr.

Najniža razina planiranja je operativno planiranje, koje prethodi fazi projektiranja šumskih prometnica, stoga za cilj ima provjeriti opstojnost idejnih trasa šumskih cesta definiranih studijama otvaranja šuma (Bont i Heinimann 2012, Contreras i dr. 2012, Craven i Wing 2014). Pentek (2002) u sklopu ove faze planiranja govori o prijenosu točaka lomnih kutova idejnih trasa šumskih cesta na teren (prijenos točaka definiranih u GIS-u na teren pomoću GPS uređaja). Navedenim postupkom stvara se svojevrsni nulti poligon, odnosno nulta linija, koji se nakon rekognosciranja terena prevodi u operativni te konačno osovinski poligon.

### **2.5.2. Projektiranje**

Nakon faze planiranja, kojom se predlažu moguće inačice trase šumske ceste s obzirom na prethodno zadane kriterije optimalnosti te postojeću mrežu šumskih prometnica, a prije same izgradnje šumske ceste, se pristupa njenom projektiranju. Projektirati određenu šumsku cestu znači osmisliti je, opisati, te računski i grafički prikazati kako bi se na osnovi navedenih projektnih podataka mogla izvršiti gradnja. S izgradnjom se može započeti tek kada je glavni projekt kompletno izrađen i prihvaćen.

Korlaet (1995) pišući o projektiranju javnih cesta, navodi kako se radi o složenoj i odgovornoj zadaći koja se provodi u nekoliko faza: izrada studije, izrada idejnog te naposljetku izrada glavnog projekta. Studije služe za ocjenu određene inačice ceste na temelju podataka prikupljenih na terenu. Idejni projekt sadrži položajni nacrt, uzdužni presjek, karakteristične i normalne poprečne presjeke, skice cestovnih objekata, izračun zemljanih radova i približan grafički raspored masa,



okvirni predmjer radova i troškovnik s ukupnom cijenom izgradnje te tehnički opis. Na temelju idejnog projekta se izrađuje glavni ili izvedbeni projekt, koji razrađuje i obuhvaća sve faze izgradnje ceste do najsitnijih detalja, na način i na razini koja osigurava izvođaču radova sve potrebne tehnološke, organizacijske i financijske pretpostavke i uvjete za učinkovitu i sigurnu gradnju.

Jurušić (2008) ističe da prostorno planiranje šumskih cesta treba uskladiti i s planom izgradnje cestovne mreže za otvaranje cijeloga šumskogospodarskog područja kao i s planovima prostornog uređenja jedinica lokalne i regionalne samouprave, vodeći računa o ekologiji prostora, zaštiti prirode i potrebama gustoće šumskih i javnih cesta na tome području.

Prema Krameru (2001) cilj je projektiranja šumsku cestu uklopiti u okolni teren tako da na najučinkovitiji način povezuje željene točke, ali uz najmanju moguću količinu zemljanih radova i minimiziranje budućih negativnih utjecaja na okoliš i potreba za održavanjem, uzimajući u obzir nagib i razvedenost terena, stabilnost tla, te ograničavajuće čimbenike kretnosti vozila, kao što su polumjer zakretanja i nagib.

Već se u fazi projektiranja mogu provoditi smjernice koje će kasnije umanjiti mogućnost nastanka oštećenja na izgrađenim šumskim cestama te troškove njihova održavanja. Tako Aruga i dr. (2005) u svom istraživanju opisuju kombinaciju programa optimizacije profila šumskih cesta s metodama predviđanja površinske erozije i taloženja sedimenta u okolna vodna tijela. Kombinirajući program projektiranja šumskih cesta s digitalnim modelom reljefa u visokoj rezoluciji, mogu se dobiti relativno precizni prikazi tijela (prizme) ceste, te na temelju odabranih smjernica i tehničkih značajki objekata odvodnje odrediti njihovi najpovoljniji prostorni razmaci. Na ovaj se način ne smanjuju samo oštećenja šumskih cesta, već i njihov nepovoljan utjecaj na okoliš.

U Hrvatskoj se prema Penteku (2012b) projektiranje šumskih cesta sastoji od dva segmenta, a to su prikupljanje općih i tehničkih podataka koji predstavljaju osnovu za izradu projektnog elaborata, te trasiranje (terenska izmjera) buduće šumske ceste i izrada projekta (uredska obrada podataka i ispis rezultata). Opći podaci koji se prikupljaju u prvom segmentu su ekonomske prirode, dok oni tehnički obuhvaćaju geometrijske, geološke, geodetske, hidrološke, geofizičke, katastarske, biološke i ostale podatke. Drugi segment projektiranja objedinjuje sve terenske i

uredske poslove trasiranja, izradu investicijskog programa, te idejnog i glavnog projekta šumske ceste.

Kod projektiranja šumskih cesta se mogu primijeniti dva postupka, skraćeni, koji podrazumijeva izradu idejnog i glavnog projekta, te puni ili kompletan postupak, koji, uz dva prethodno navedena, obuhvaća i izradu generalnog projekta. Idejni projekt sadrži rješenje idejnih trasa šumskih cesta zajedno s orijentacijskim troškovnikom te tehničkom i ekonomskom studijom najpovoljnije inačice nulte linije. Generalni projekt nastaje na temelju idejnog, ali sadrži realnije tehničke i ekonomske pokazatelje o budućoj šumskoj cesti od istog. Obuhvaća tahimetrijsko snimanje oko operativnog poligona idejne trase te izradu slojničkog plana. Konačan rezultat projektiranja je glavni ili izvedbeni projekt koji čini osnovu za početak gradnje, jer sadrži sve podatke potrebne za izvođača radova.

Pri projektiranju se postupak trasiranja cesta može izvršiti na dva različita načina:

- ✓ neposredno ili direktno trasiranje,
- ✓ posredno ili indirektno trasiranje.

#### **2.5.2.1. Neposredno ili direktno trasiranje**

Ova se metoda rada primjenjuje kod trasiranja šumskih cesta, a temelji se na pretpostavci da je završena faza planiranja, koja donosi veći broj inačica nulte linije (najmanje tri) na šumskogospodarskim slojničkim zemljovidima mjerila 1:5 000 ili 1:10 000. To je tzv. idejna trasa, odnosno idejni projekt šumske ceste.

Faza trasiranja šumske ceste započinje rekognosciranjem (upoznavanjem, istraživanjem) terena, nakon čega se sve inačice nulte linije prenose na teren (pomoću padomjera krećući se od jedne do druge kardinalne točke na budućoj trasi šumske ceste) i propisno obilježavaju kolčićima. Sljedeći korak je odabrati najbolju inačicu nulte linije, tj. onu koja se najbolje uklopila u teren te kvalitetno povezala sve kardinalne točke na trasi buduće šumske ceste. U praksi se vrlo rijetko radi o cjelovitoj inačici jedne nulte linije, već se ona optimalna dobije kombinacijom dijelova različitih inačica. Nakon što se uklone oznake (kolčići) nepotrebnih (dijelova) nultih linija, pristupa se uklapanju operativnog a zatim i osovinskog poligona, koji je određen poligonim točkama ili tjemanima.

Kod trasiranja šumskih cesta se velik dio radova obavlja na terenu, uključujući samo rekognosciranje terena, prenošenje inačica nulte linije nastalih kao rezultat faze planiranja na teren s pravilnom obilježbom istih, odabir najpovoljnije inačice nulte linije i njena obilježba, uklapanje osovinskog poligona, iskolčavanje i nivelacija glavnih i detaljnih točaka horizontalnih kružnih lukova, međutočaka i detaljnih točaka, stacioniranje profila, snimanje poprečnih presjeka te konačna obilježba i osiguranje profila. Pritom se najčešće koristi klasična metoda izmjere pomoću teodolita, nivelira i padomjera, iako se za izmjeru mogu primijeniti i suvremene metode koje podrazumijevaju korištenje geodetske ili totalne radne stanice. Nakon postavljanja i obilježbe trase buduće šumske ceste na terenu, na temelju prikupljenih podataka se u uredu izrađuje glavni ili izvedbeni projekt.

#### **2.5.2.2. Posredno ili indirektno trasiranje**

Ovaj se način projektiranja najčešće primjenjuje kod trasiranja javnih cesta. Kao i kod prethodno opisane metode, i ovdje se, na slojničkim zemljovidima odgovarajućeg mjerila, buduća trasa ceste predstavlja većim brojem inačica nulte linije. Nakon toga se vrši rekognosciranje terena te prikupljanje podataka koji nisu ucrtani ili označeni na kartama (npr. vrtače, močvare, klizišta i dr.).

Zatim ponovno slijedi rad u uredu, odnosno odabir najpovoljnije inačice nulte linije na zemljovidu i određivanje poligonog vlaka potrebnog za geodetsku izmjeru na terenu. Nakon toga se pristupa iskolčavanju operativnog poligona i tahimetrijskoj izmjeri ili u novije vrijeme korištenju aerofotosnimaka, kako bi se u uredu mogao izraditi slojni plan na kojem se ucrtavaju poligonska tjemena i detaljna trasa buduće ceste sa svim propisanim tehničkim elementima i podacima potrebnim za njeno iskolčenje na terenu. Trasa se zatim prenosi na teren, obavlja se nivelacija točaka te konačna obilježba i osiguranje profila. Naposljetku se u uredu izrađuje glavni ili izvedbeni projekt ceste.

#### **2.5.3. Izgradnja i nadzor šumskih cesta**

Nakon faze projektiranja slijedi faza izgradnje koja predstavlja najveći trošak u cjelokupnom procesu nastanka nove šumske ceste. Prilikom izgradnje za javne je ceste, prema članku 23. Zakona o cestama (NN 84/11, 22/13, 54/13, 148/13, 92/14, 110/19), potrebno ishoditi lokacijsku i građevinsku dozvolu. S druge strane šumske ceste smatraju se jednostavnim građevinama i za njihovu gradnju, prema članku 4. Pravilnika o jednostavnim i drugim građevinama i radovima (NN

112/17, 34/18, 36/19, 98/19, 31/20), nije potrebno ishoditi lokacijske i građevinske dozvole, već glavni projekt koji je potvrdilo mjerodavno upravno tijelo.

Budući da se nastoji što više smanjiti udaljenost privlačenja te kamionima omogućiti približavanje izrađenom drvu, u današnje je vrijeme potreba za izgradnjom šumskih prometnica povećana. S druge se strane povećavaju svijest i potreba za zaštitom okoliša te nameću sve strože smjernice za okolišno prihvatljivo gospodarenje, koje se odnose i na izgradnju šumskih prometnica. Pentek (2002) ističe kako je izgradnja šumske ceste opravdana ako su koristi koje možemo polučiti za njezinog vijeka trajanja veće od troškova izgradnje, održavanja i štetnih posljedica gradnje na šumski ekosustav.

Avdibegović i dr. (2010) naglašavaju da se gradnjom šumskih cesta i otvaranjem šuma stvaraju pretpostavke za uspješnije gospodarenje šumama, za njihovu bolju zaštitu i očuvanje, kao i za povećanje vrijednosti individualnih šumskih posjeda, a time i prihoda koji se na njima ostvaruju. Isti autor ističe da je dovoljno gusta i pravilno raspoređena mreža šumskih cesta osnovni preduvjet za intenzivno gospodarenje šumama, a time i za pravilan uzgoj šuma i kompleksno iskorištavanje drvne zalihe i sporednih šumskih proizvoda. Isto tako, primarna i sekundarna mreža šumskih prometnica s odgovarajućim tehničkim karakteristikama omogućuje učinkovit rad u šumarstvu primjenom moderne mehanizacije. Povezanost pojedinoga šumskoga kompleksa sa središtima prodaje ili prerade drva omogućuje brže i učinkovitije pojavljivanje šumskih proizvoda na tržištu. Gradnjom novih šumskih cesta smanjuju se troškovi proizvodnje šumskih sortimenata, osobito troškovi privlačenja, pa isplativo može biti i pridobivanje, na tržištu, manje vrijednog drva. Nadalje autor naglašava i važnost gradnje šumskih cesta za infrastrukturno povezivanje ruralnih područja. Gradnjom šumskih cesta ne omogućuje se samo lakši pristup šumi, već se i znatno unapređuju uvjeti života u ruralnim područjima. Zbog blizine šumoposjeda mjestu stanovanja, gradnja šumskih komunikacija zapravo znači infrastrukturno otvaranje ruralnih područja, što ima veliko sociološko značenje i u velikoj mjeri objašnjava spremnost šumoposjednika na suradnju u gradnji i održavanju šumskih prometnica.

Litzka i Haslehner (1995) smatraju da bi holističke i interdisciplinarnе metode izgradnje šumskih cesta u potpunosti trebale zamijeniti rješenja koja su u cijelosti tehnološki orijentirana. Svoje navode potkrjepljuju sljedećim tvrdnjama:

- ✓ svaki se utjecaj na okoliš mora svesti na minimum,
- ✓ kasnija korekcija loše planiranih, projektiranih i izgrađenih šumskih cesta s ciljem postizanja njihove okolišne prihvatljivosti je gotovo nemoguća,
- ✓ neobazrivi i nestručno vođeni postupci pri izgradnji šumskih cesta mogu poništiti sve pozitivne učinke i najpomnije isplanirane trase šumske ceste,
- ✓ nepoželjne posljedice i štete počinjene na okolišu se rijetko mogu naknadno (kasnije) ublažiti, i to uz vrlo visoke troškove.

Glavne dijelove ceste, kao građevinskog objekta, prema Šikiću i dr. (1989) čine temeljno tlo, nasip, posteljica i kolnička konstrukcija, pri čijoj se izgradnji koriste prirodni ili poboljšani materijali. Prema Hayu (1996) je kod izgradnje šumskih cesta preporučljivo koristiti lokalne materijale, koji će u estetskom pogledu omogućiti stapanje šumske prometnice s okolnim područjem.

U Hrvatskoj se (Pentek 2012a) izgradnja šumskih cesta obavlja kroz sljedeće faze rada:

- ✓ provedba postupka javnog nadmetanja i odabir najpovoljnijeg ponuđača,
- ✓ sklapanje ugovora o izvođenju radova,
- ✓ izrada zapisnika o primopredaji radilišta,
- ✓ obnova građevinskog iskolčenja osi trase šumske ceste,
- ✓ izvedba radova izgradnje šumske ceste,
- ✓ stalan i povremen nadzor radova,
- ✓ izrada zapisnika o primopredaji radova.

Radovi na samoj izgradnji šumske ceste se mogu podijeliti u nekoliko skupina, ovisno o njihovoj svrsi i elementima šumske ceste na koje se odnose. Pripremni radovi uključuju površinsko čišćenje terena, koje se odnosi na sječu stabala i krčenje sloja grmlja te uklanjanje nastalog materijala izvan područja zahvata, te skidanje humusa i vađenje panjeva na trasi buduće šumske ceste.

Radovi na donjem ustroju ili zemljani radovi obuhvaćaju iskop materijala, izradu nasipa bočnim prebacivanjem materijala, izjednačenje zemljanih masa i njihov transport, otvaranje pozajmišta i deponiranje materijala, uređenje temeljnog tla i primjenu postupaka za poboljšanje njegove nosivosti, profiliranje planuma te valjanje posteljice.

Po završetku zemljanih radova se pristupa izgradnji gornjeg ustroja, odnosno kolničke konstrukcije. Radovi na gornjem ustroju uključuju nabavku, utovar, transport i ugradnju kamenog materijala te valjanje kolničke konstrukcije. U ovoj fazi radova je potrebno voditi računa o značajkama temeljnog tla te predviđenom prometnom opterećenju, radi odabira pogodnih materijala. Iako je prometno opterećenje šumskih cesta periodično i privremeno, znatnim se dijelom sastoji od teških vozila s velikim opterećenjima.

Razlikuju se dodatno radovi na objektima površinske i podzemne odvodnje, betonski i kameni radovi koji obuhvaćaju izgradnju potpornih i obložnih zidova, te ostali radovi, koji se općenito odnose na prijevoz strojeva potrebnih pri samoj izgradnji.

Metode i tehnologije koje se primjenjuju tijekom izgradnje šumskih cesta je potrebno prilagoditi reljefnom području. Prema Penteku (2012a) na nizinskom se području primjenjuje izgradnja dozerima i bagerima, dok su za prigorsko-brdske i planinske predjele pogodniji i ekološko prihvatljiviji bageri Winkler (1998). Sedlak (1996) ističe da je na strmim terenima gdje poprečni nagib terena prelazi 40 % obavezna upotreba bagera opremljenog hidrauličkim čekićem.

Spaeth (1996) navodi kako su bageri, zajedno s buldozerima ukoliko je potrebno, moguće i prihvatljivo, najpogodnije sredstvo izgradnje šumskih cesta na terenima nagiba većeg od 50 %, te ekološki osjetljivim područjima gdje bi planum ceste trebao biti što uži. Prema organizaciji FAO (1998) uporaba bagera na brežuljkastim terenima ne samo da u potpunosti može zamijeniti buldozere u izgradnji ceste, već i poboljšati njenu kvalitetu smanjenjem štetnih utjecaja na okoliš. Na strmim terenima predstavljaju zasad jedini izvedivi i isplativi način izgradnje. Izgradnja ceste bagerima s hidrauličnim čekićem obuhvaća sljedeće faze:

- ✓ micanje trupaca sa trase šumske ceste,
- ✓ uklanjanje površinskog, organskog (humusnog) sloja sa trase šumske ceste,
- ✓ iskop temeljnog rova za potporni zid nasipa i izrada potpornog zida,
- ✓ izvedba nasipa materijalom iz iskopa,
- ✓ profiliranje planuma i pokosa iskopa.

Poršinsky (2011) navodi kako normalni poprečni profil zasjeka, gdje se pola profila nalazi u iskopu, a pola u nasipu), predstavlja najpovoljnije rješenje izvedbe šumske prometnice na nagnutim terenima, jer se sav iskopani materijal iz iskopne strane normalnog poprečnog profila

zasjeka prebacuje se na nasipnu stranu zasjeka (metoda bočnog nadomještanja zemljanih masa). Na ovaj se način izbjegava uzdužni transport materijala te moguća potreba otvaranja deponija ili pozajmišta materijala tijekom same izgradnje.

Šušnjar (2011) nabroja nekoliko prednosti izgradnje šumskih prometnica na nagnutim terenima primjenom bagera s hidrauličnim čekićem:

- ✓ ušteda materijala potrebnog za izgradnju nasipa (poradi kraćih nožica nasipa i izbjegavanja rasipanja materijala niz padinu, ali i zbog mogućnosti izvedbe dijela tijela šumskih protupožarnih cesta u nasipu),
- ✓ osigurava se stabilnost kosina nasipa,
- ✓ izbjegava se veće oštećivanje stabala s donje strane ceste,
- ✓ preventivno se djeluje na erozivne procese,
- ✓ iz uporabe se u potpunost izbacuje primjena eksploziva.

Pentek (2012a), uz reljef, nabroja i ostale čimbenike koji utječu na odabir tehnologija gradnje:

- ✓ reljefne značajke terena na kojem se radovi izvode,
- ✓ građevinske kategorije materijala na trasi šumske ceste,
- ✓ ekonomski pokazatelji,
- ✓ raspoloživost strojeva i opreme,
- ✓ važeći zakonski propisi u domeni šumarstva, graditeljstva te zaštiti prirode i okoliša.

Isti autor (2012a) navodi i nekoliko razina kontrole i nadzora radova na izgradnji šumskih cesta. Voditelj gradilišta je odgovoran za svakodnevni nadzor strojara, te dnevno vođenje građevinske knjige i dnevnika. Njega svakodnevno kontrolira nadzorni inženjer, te po potrebi glavni nadzorni inženjer. Konačnu (završnu) kontrolu radova obavlja povjerenstvo za primopredaju radova.

Aulerich (1996) ističe važnost nadzora prilikom izgradnje šumskih cesta ističući negativne posljedice izostanka istog:

- ✓ izgradnja ceste nije sukladna projektu,
- ✓ poduzimanje nepotrebnih dodatnih radnji da bi se postigla strukturna stabilnost,
- ✓ nepridržavanje projekta može dovesti do izgradnje ceste upitne stabilnosti.

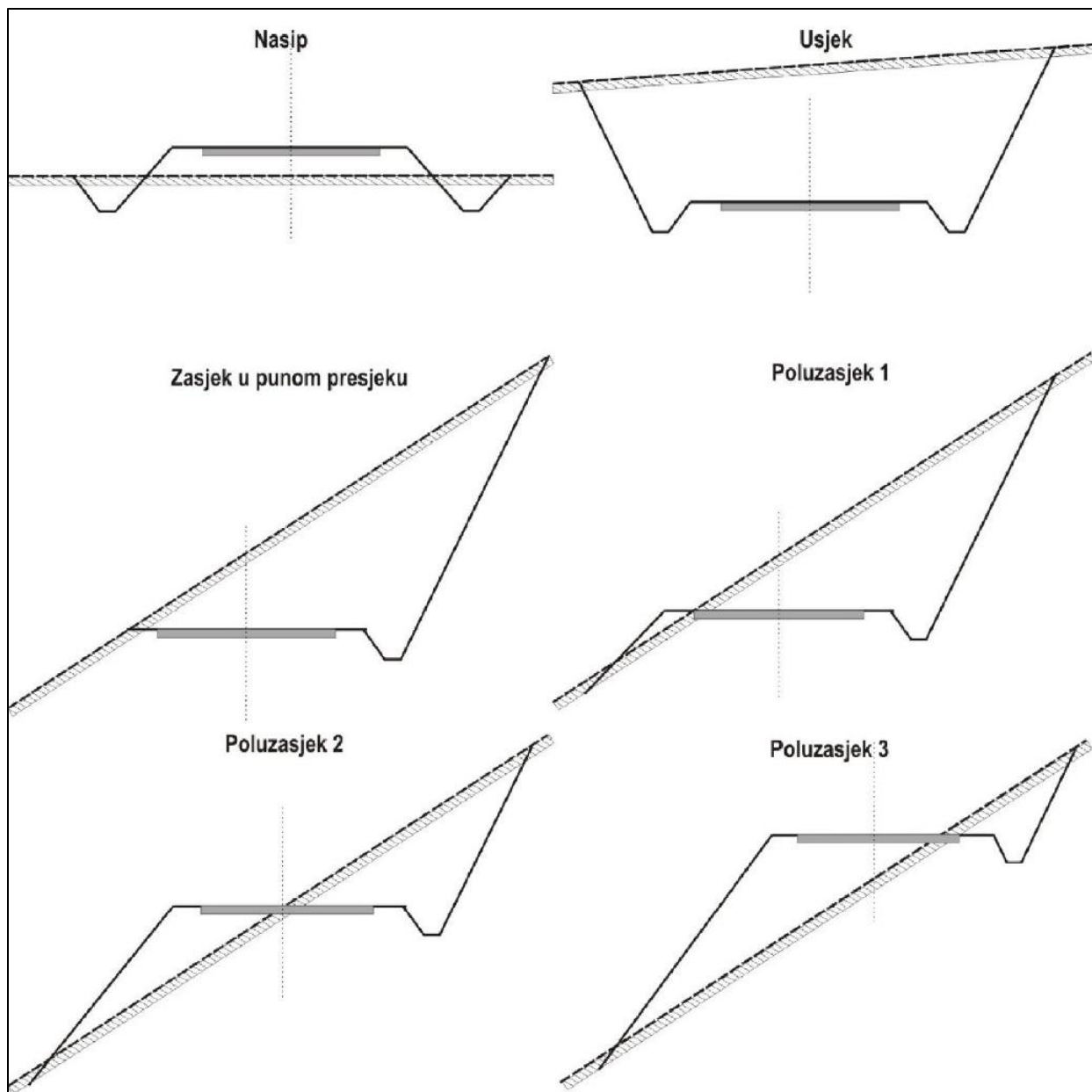
Vladinim propisima i uputstvima u Oregonu (2000) se projektanti upućuju na obavljene terenske kontrole radova kako bi bili sigurni da se izvoditelj pridržava svih specifikacija navedenih u projektu te odgovorili na njegova eventualna pitanja. Za izgradnju šumskih cesta u normalnim uvjetima se preporuča minimum od dvije kontrole tjedno, dok je za izgradnju u kritičnim uvjetima (strmi tereni, močvarna ili zaštićena područja) kontrolu potrebno vršiti svakodnevno. Projektant vrši i završnu inspekciju šumske ceste, u zakonskom roku od 10 dana, po dovršetku svih radova.

## **2.6. Tipski ili normalni poprečni presjeci**

S obzirom na reljefne značajke područja kojim prolazi trasa šumske ceste, (Pičman 2007, Pentek 2012a) tipski ili normalni poprečni presjeci mogu biti izvedeni u nekoliko različitih oblika:

- ✓ nasip je građevinski objekt izgrađen slojevitim nasipanjem određenih (zemljanih ili kamenih) materijala i sabijanjem slojeva odgovarajućim strojevima i oruđem, kod kojeg je kota nivelete planuma šumske ceste viša od kote terena,
- ✓ usjek je građevinski objekt izrađen iskopom ili je usječen u prirodno tlo, kojeg karakterizira kota nivelete planuma šumske ceste niža od kote terena,
- ✓ zasjek u punom presjeku je građevinski objekt u cijelosti usječen u teren, s time da je jedna strana (donja) otvorena, dok je poluzasjek jednim dijelom u usjeku, a drugim u nasipu.





**Slika 4.** Tipični poprečni presjeci šumskih cesta (Pentek 2012a)

### 2.6.1. Metode izračuna površina bez crtanja poprečnih presjeka

Površine nasipa i usjeka izračunate ovom metodom ne daju dovoljnu točnost za izradu glavnog/izvedbenog projekta ali su korisne za:

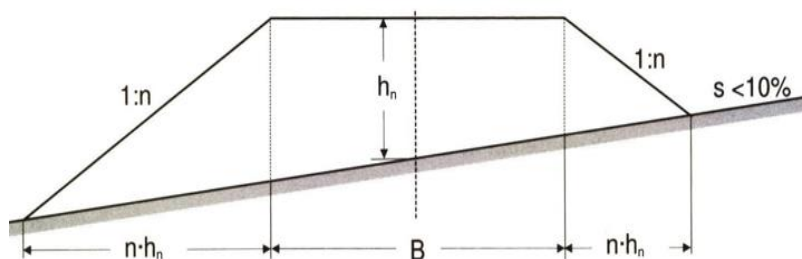
- ✓ izradu idejnog projekta,
- ✓ orijentacijsko određivanje volumena zemljanih radova i okvirnog predmjera radova,
- ✓ izradu studije primarnog otvaranja šuma (investicijskog programa izgradnje šumskih cesta).

Ova se metoda može koristiti ako su zadovoljeni slijedeći uvjeti:

- ✓ poprečni nagib terena je relativno malen ( $s \leq 10\%$ ),
- ✓ ukupna širina kolnika ( $B$ ), širina kolnika u nasipu ( $B_n$ ) i širina kolnika u usjeku ( $B_u$ ) su konstantne,
- ✓ stalni su nagibi kosina nasipa i usjeka (iskopa/otkopa).

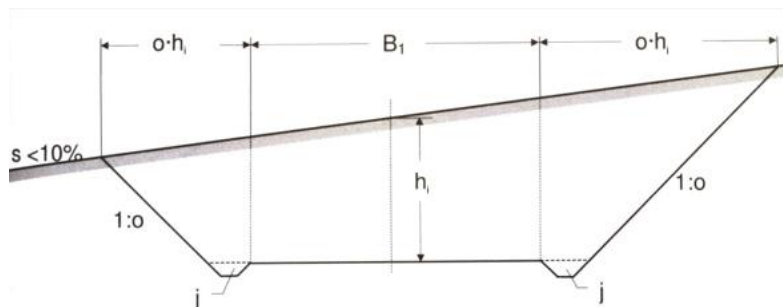
Kod ispunjavanja navedenih uvjeta površina poprečnog presjeka ovisi isključivo o visini nasipa ( $h_n$ ) ili visini (dubini) iskopa ( $h_i$ ), a izračunava se na osnovu slijedećih formula:

$$F_n = B \cdot h_n + n \cdot h_n^2,$$



**Slika 5.** Izračun površine nasipa bez crtanja poprečnih presjeka

$$F_o = B_1 \cdot h_i + o \cdot h_i^2 + 2j \quad (\text{izraz 1})$$



**Slika 6.** Izračun površine usjeka bez crtanja poprečnih presjeka

gdje je:

$F_n$  – površina nasipa,  $m^2$

$F_o$  – površina otkopa, iskopa ili usjeka,  $m^2$

$B$  – širina planuma, m

$h_n$  – visina nasipa, m

$h_i$  – visina otkopa, m

$n$  – nagib nasipa (1:n)

$o$  – nagib otkopa(1:o)

$j$  – površina otkopa odvodnog jarka,  $m^2$

$s$  – nagib terena, %

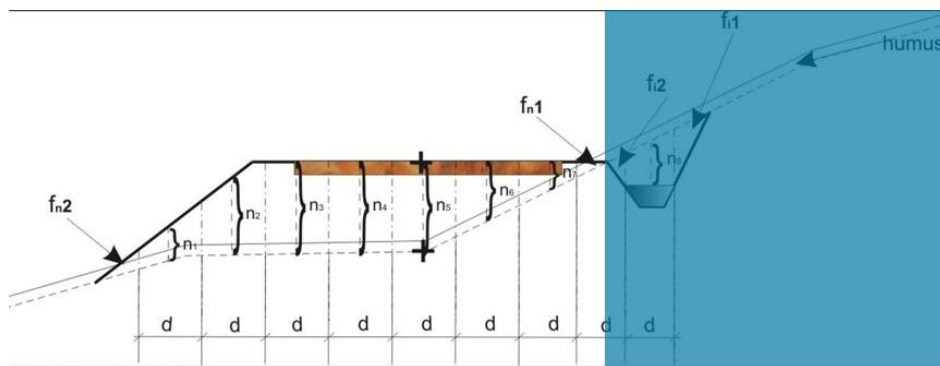
### 2.6.2. Metode izračuna površina pomoću crtanih poprečnih presjeka

Ova se metoda koristi za izračun površina poprečnih presjeka za potrebe izrade glavnog/izvedbenog projekta. Poprečni se presjeci na milimetarskom papiru najčešće crtaju u mjerilu 1:100. Vertikalne linije punih centimetara dijele poprečni presjek u niz pojaseva koji se promatraju kao trapezi istih visina od 1 cm. Računanje površine poprečnog presjeka temelji se na izračunu površina niza trapeza jednakih osnovica uz sumiranje površina po dva trokuta na rubovima poprečnog presjeka. Praktičan se rad svodi na određivanje visine svakog trapeza pomoću šestara, a greška koja se javlja pri opisanoj metodi izračuna površina poprečnih presjeka iznosi 0,5% (Pentek 2012).

Površina nasipa:

$$F_n = N = \sum_l^n (n) * d \quad (\text{izraz 2})$$

$$F_n = f_{n1} + \sum_l^n (n) * d + f_{n2} \quad (\text{izraz 3})$$



**Slika 7.** Računanje površine nasipa pomoću crtanih poprečnih presjeka

gdje je:

$F_n$  – površina nasipa

$n_n$  – visina n-tog trapeza

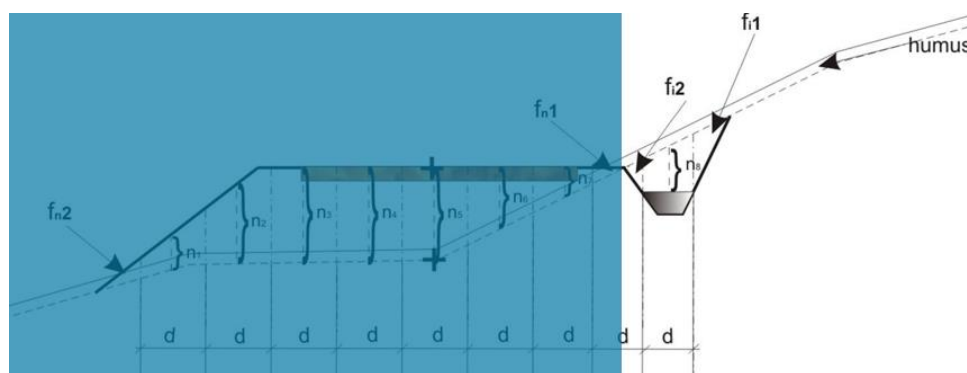
$d$  – dužina osnovice svih trapeza

$f_{n1}$  I  $f_{n2}$  – površine trokuta

Površina iskopa:

$$F_i = I = \sum_l^n (i) * d \quad (\text{izraz 4})$$

$$F_i = f_{i1} + \sum_l^n (i) * d + f_{i2} \quad (\text{izraz 5})$$



**Slika 8.** Računanje površine iskopa pomoću crtanih poprečnih presjeka

gdje je:

$F_i$  – površina iskopa

$i_n$  – visina n-tog trapeza

$d$  – dužina osnovice svih trapeza

$f_{i1}$  I  $f_{i2}$  – površine trokuta

## **2.7. Parametri procjene kvantitete i kvalitete mreže primarne šumske prometnice**

Postojanje optimalne mreže cjelokupne šumske prometne infrastrukture jedan je od osnovnih preduvjeta suvremenog, kvalitetnog, integriranog, racionalnog te na potrajnosti prihoda i bioraznolikosti vrsta utemeljenog gospodarenja šumskim ekosustavom (Gumus i dr. 2008, Pentek 2012, Laschi 2019). Kvalitetu i kvantitetu mreže šumske prometne infrastrukture je, zbog svoje kompleksnosti, teško prikazati samo jednim kriterijem. Iz tog razloga, mnogi autori (Pentek 2002, Bumber 2011, Hayati i dr. 2012, Enache i dr. 2013, Lepoglavec 2014, Krumov 2019) koriste neke (ili sve) od sljedećih parametara procjene kvalitete i kvantitete mreže šumskih prometnica:

- ✓ gustoća mreže šumskih prometnica (klasična otvorenost)
- ✓ postotak dostupne površine (relativna otvorenost)
- ✓ srednja udaljenost privlačenja drva
- ✓ međusobni razmak šumskih cesta.

Suvremeno gospodarenje šumskim resursima dovodi do povećane potrebe za primarnim i sekundarnim šumskim prometnicama, pri čemu izgradnja novih primarnih šumskih prometnica za cilj ima smanjenje srednje udaljenosti privlačenja drva (Zhixian i Zhili 1997) te, u konačnici, troškova pridobivanja (privlačenja) drva (Hayati i dr. 2012).

### **2.7.1. Gustoća mreže šumskih prometnica**

Gustoća mreže šumskih prometnica ili klasična otvorenost je parametar procjene kvantitete mreže šumskih prometnica. Predstavlja duljinu šumskih prometnica po jedinici šumske površine. Prema pravilniku o provedbi mjere M04 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz Programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 106/2015, 65/17, 77/17), gustoća mreže šumskih prometnica može biti primarna i sekundarna, a iskazuje se u km/1000 ha, odnosno m/ha. Gustoća mreže primarnih šumskih prometnica (primarna klasična otvorenost) određuje se za primarnu šumsku prometnu infrastrukturu, a iskazuje se u km/1000 ha ukupne šumske površine.

Pentek (2002) razlikuje pet osnovnih inačica gustoće cesta (primarne klasične otvorenosti):

- ✓ Postojeća – izračunava se za postojeću (stvarnu) mrežu primarne šumske prometne infrastrukture određenoga šumskoga područja, najčešće gospodarske jedinice.
- ✓ Minimalna potrebna – određuje se za veće šumsko područje, u većini slučajeva je vezana uz reljefno područje, koristi se pri strategijskom planiranju šumsko-gospodarskim područjem kao minimalni cilj koji u zadanom razdoblju, radi racionalnijega gospodarenja šumom, treba dostići.
- ✓ Planirana – određuje se također za veće šumsko područje (reljefno područje), a služi kao smjernica u definiranom razdoblju pri strategijskom planiranju šumskogospodarskim područjem i pri izradi perspektivnih planova izgradnje primarnoga šumskoga transportnoga sustava.
- ✓ Ciljana – definira se najčešće za područje gospodarske jedinice i predstavlja konačan cilj primarnoga otvaranja određenoga šumskoga područja; usko je povezana s metodama i postupcima pridobivanja drva te morfološkim značajkama reljefa u konkretnoj gospodarskoj jedinici; koristi se u okviru taktičkoga planiranja i izrada studija primarnoga otvaranja šuma.
- ✓ Optimalna – izračunava se primjenom jednoga od poznatih metoda optimizacije primarne šumske prometne infrastrukture, povezana je s površinom gospodarske jedinice i najčešće počiva na modelu minimalnih ukupnih troškova pridobivanja drva.

Hodić i Jurušić (2011) definiraju minimalnu te planiranu otvorenost za 2020. po reljefnim područjima (Tablica 3).

**Tablica 3.** Minimalna klasična te planirana otvorenost za 2020. po reljefnim područjima

Reljefno područje	Minimalna klasična otvorenost 2011.	Planirana (ciljana) klasična otvorenost 2020.
Nizinsko područje	10,00	13,00
Prigorsko-brdsko područje	15,00	20,00
Planinsko područje	20,00	25,00
Krško područje	10,00	15,00

Općenito s obzirom na konfiguraciju terena pri otvaranju šuma možemo govoriti o nizinskom području, prigorsko-brdskom području te planinskom i krškom reljefnom području. Vrlo je važno pravilno opisati područje u kojem se otvara šuma jer je za svako od navedenih područja, općenito gledajući, određen karakterističan oblik prostornoga razmještaja mreže šumskih prometnica koji

se, prilagođava stvarnim prilikama na terenu (Pičman i Pentek 2005). Pičman i dr. (2006) kao osnovne značajke otvaranja šuma pojedinih reljefnih područja navode:

- ✓ Nizinska područja, najčešće se otvaraju usporednim šumskim cestama, koje se nalaze na jednakoj međusobnoj udaljenosti, a prolaze postojećim prosjekama i zatvaraju površine pravilnih oblika.
- ✓ Krški tereni, koji nemaju izražene grebene i strme padine – postupak se otvaranja izvodi zatvorenim linijama šumskih cesta, međutim, oblici su površina obrubljeni zatvorenim linijama nepravilnoga oblika.
- ✓ Prigorsko-brdska područja, sa širim i strmijim padinama – znakovito je projektiranje tzv. etažnih šumskih cesta, koje su približno usporedne i položene po slojnicama. Između etažnih cesta grade se dijagonalne ceste koje ih spajaju.
- ✓ Planinska područja, s razvijenom hidrografijom – značajno je da trase šumskih cesta slijede vodotoke i imaju oblik žila ili perastoga lišća. Na kraju doline šumske prometnice poprimaju oblik lepeze.

Gustoća šumskih cesta najčešće se iskazuje na razini gospodarske jedinice koja predstavlja suvislu zaokruženu površinu šuma, sličnih orografskih (reljefnih), te sastojinskih značajki, ali i načina gospodarenja šumom (Bumber 2011). Gustoća cesta je brojčani podatak koji ne govori o kvaliteti prostornoga rasporeda primarnih prometnica šumskoga područja, već samo o njihovoj količini, stoga se na osnovi ovog parametra ne može dovoljno pouzdano opisati funkcionalnost te provesti ocjena postojećeg ili unaprijeđenog (poboljšanog, razvijenog) primarnog šumskog transportnog sustava (Pentek i dr. 2004). Zbog toga autor navodi da je, radi boljeg razumijevanja stvarne vrijednosti gustoće cesta, ovaj parametar otvaranja šuma uvijek nužno prikazivati u kombinaciji sa srednjom udaljenosti privlačenja drva. Sličnog je razmišljanja i Šikić (1989) koji u Tehničkim uvjetima za gospodarske ceste navodi da za ocjenu gustoće cesta, odnosno otvorenosti šumskoga područja ne postoje jedinstvena mjerila. Autor nadalje ističe da prometnica (ili njeni dijelovi) otvara šumu samo ako utječe na smanjenje udaljenosti privlačenja drva, uz uvjet da je s nje moguć utovar drva (daljinskog transporta).

Pravilnik o provedbi mjere M04 Ulaganja u fizičku imovinu, podmjere 4.3. Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva, tipa operacije 4.3.3. Ulaganje u šumsku infrastrukturu iz Programa ruralnog razvoja Republike

Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 106/15, 65/17, 77/17) propisuje i razlikuje osnovne te posebne kriterije za provedbu analize gustoće postojeće i unaprijeđene mreže šumskih prometnica, koji su prikazani u nastavku.

### **Osnovni/eliminacijski kriterij**

Šumska, javna ili nerazvrstana cesta, odnosno njezina pojedina dionica, koja se uzima u obzir pri obračunu gustoće primarne šumske prometne infrastrukture, mora zadovoljavati ove osnovne/eliminacijske podkriterije:

- a. ima izgrađenu kolničku konstrukciju (gornji ustroj)
- b. u većoj mjeri ispunjava bitne minimalne tehničke značajke nužne za prijevoz drva solo kamionom
- c. ne postoji prometnom signalizacijom regulirano ograničenje osovinskog prometnog opterećenja manje od 10 tona i ukupnog prometnog opterećenja manje od 26 tona
- d. do ceste se može privlačiti drvo pri čemu se šumska vozila neće kretati po nešumskom zemljištu (poljoprivredno zemljište, urbanizirano zemljište i sl.)

### **Posebni/prostorni kriteriji**

1. Šumska, javna ili nerazvrstana cesta, odnosno njezina pojedina dionica, koja se može koristiti pri održivom gospodarenju šumama, a poglavito za utovar šumskih drvnih proizvoda, koja čitavom svojom duljinom prolazi kroz šumu i/ili preko šumskog zemljišta i koja šumu otvara dvostrano, uzima se u obračun gustoće primarne šumske prometne infrastrukture čitavom svojom duljinom (100% duljine) .
2. Šumska, javna ili nerazvrstana cesta, odnosno njezina pojedina dionica, koja se može koristiti pri održivom gospodarenju šumama, a poglavito za utovar šumskih drvnih proizvoda, koja čitavom svojom duljinom prolazi kroz šumu i/ili preko šumskog zemljišta i koja šumu, zbog različitih ograničenja, otvara jednostrano, uzima se u obračun gustoće primarne šumske prometne infrastrukture s polovicom svoje duljine (50% duljine) .
3. Šumska, javna ili nerazvrstana cesta, odnosno njezina pojedina dionica, koja se može koristiti pri održivom gospodarenju šumama, a poglavito za utovar šumskih drvnih proizvoda, koja prolazi granicom gospodarske jedinice ili granicom većeg šumskog kompleksa (grupa odjela/odsjeka), koja je predmet zahvata primarnog otvaranja šuma (dalje: granica), ili najviše



do 250 m udaljenosti od granice s njene vanjske ili najviše do 125 m udaljenosti od granice s njene unutarnje strane, a čija trasa generalno prati smjer pružanja granice, uzima se u obračun gustoće primarne šumske prometne infrastrukture s polovicom svoje duljine (50% duljine).

4. Šumska, javna ili nerazvrstana cesta, odnosno njezina pojedina dionica (minimalne duljine 500 m), koja se može koristiti pri održivom gospodarenju šumama, a poglavito za utovar šumskih drvnih proizvoda, koja dolazi do granice gospodarske jedinice ili većeg šumskog kompleksa (grupa odjela/odsjeka) koja je predmet zahvata primarnog otvaranja šuma (dalje: granica) pod približno pravim kutom ( $90^\circ, \pm 20^\circ$ ) i na granici završava, uzima se u obračun gustoće primarne šumske prometne infrastrukture s duljinom od 250 m. Ukoliko je duljina spomenute sastavnice primarne šumske prometne infrastrukture manja od 500 m, ista se uzima u obračun otvorenosti s polovicom svoje duljine. Ukoliko predmetna sastavnica primarne šumske prometne infrastrukture ne završava na granici već ulazi u područje zahvata primarnog otvaranja šuma, na nju se, unutar spomenute granice primjenjuju ostali opći i posebni kriteriji određivanja gustoće primarne šumske prometne infrastrukture.
5. Šumska, javna ili nerazvrstana cesta, odnosno njezina pojedina dionica, koja se može koristiti pri održivom gospodarenju šumama, a poglavito za utovar šumskih drvnih proizvoda, koja dolazi blizu granice gospodarske jedinice ili granice većeg šumskog kompleksa (grupa odjela/odsjeka) (dalje: granica) koja je predmet zahvata primarnog otvaranja šuma pod približno pravim kutom ( $90^\circ, \pm 20^\circ$ ), ali završava s vanjske strane granice, uzima se u obračun gustoće primarne šumske prometne infrastrukture s duljinom od 250 m umanjenu za polovicu udaljenosti njezina završetka od granice.

Radi lakšeg poimanja prethodno navedenih te definiranih kriterija (osnovni/eliminacijski i posebni/prostorni) Poršinsky i dr. (2017) pojašnjavaju njihovu primjenu na primjeru nekoliko najčešćih slučajeva određivanja gustoće primarne šumske prometne infrastrukture.

Bumber (2011) navodi da unatoč postojanju Pravilnika o uređivanju šuma, koji je u Republici Hrvatskoj podzakonski akt, osobe zadužene za izradu planova gospodarenja (uređivači) unatoč tome, često gustoću cesta iskazuju prema nautcima Tehničkih uvjeta za gospodarske ceste, na koje su s vremenskim odmakom od dvadesetak godina, Pentek i dr. (2011) dali kritički osvrt s obzirom na neke nedorečenosti, te navode potrebu za boljim definiranjem sljedećih stavki:

- ✓ Duljine šumskih ili javnih cesta, koja se uzima u obračun otvorenosti (je li to ukupna duljina cesta ili samo proizvodna duljina cesta, tj. ona duljina koja smanjuje srednju udaljenost privlačenja drva).
- ✓ Neproizvodne duljine cesta (dio ceste na kojoj nije moguć utovar drva, dio ceste od koje se ne može odvajati mreža sekundarnih šumskih prometnica, dio šumske ceste koji prolazi privatnim šumoposjedima, dio šumske ceste koji prolazi zemljištem koje nije šumsko itd.).
- ✓ Kategorije javnih cesta koje se mogu uzeti u obračun otvorenosti.
- ✓ Vrste šumskih radova čije izvođenje javne ceste moraju omogućavati ako ulaze u obračun otvorenosti (svi radovi u šumarstvu, privlačenje drva, daljinski transport i dr.).
- ✓ Površine šumskoga područja koja se uzima u obračun (ukupna površina, proizvodna površina ili obrasla površina).

### **2.7.2. Relativna otvorenost šuma**

Postotak dostupne površine, odnosno relativnu otvorenost kao pojam, možemo smatrati jednim od najvažnijih parametara za ocjenu kvalitete i kvantitete stupnja otvorenosti šuma, a koju je uveo Backmund (1966). Postotak dostupne površine najjednostavnije rečeno predstavlja omjer omeđenih površina (*eng. buffer*) oko sastavnica šumske prometne infrastrukture (dvostruka širina ciljane srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva) i ukupne površine šuma. Otvorenim se smatra omeđeno područje oko sastavnica mreže šumskih prometnica.

Relativna otvorenost (Pentek 2002), za razliku od klasične otvorenosti, daje dobar uvid u stvarnu učinkovitost mreže šumskih prometnica. Ona prikazuje postotni udio otvorene površine u odnosu na ukupnu površinu analiziranih gospodarskih jedinica. Također, pruža dobar uvid u prostorni raspored šumskih prometnica kao i jednostruko, odnosno višestruko otvorena područja (Parsakhoo 2016). Temeljem toga omogućeno je jednostavno utvrđivanje otvorenih i neotvorenih površina koje projektantu olakšavaju smještanje nultih linija budućih šumskih cesta u neotvorene površine istraživanog područja.

Kod određivanja relativne otvorenosti, oko sastavnica mreže šumskih prometnica postavljaju se omeđene površine čija je širina pojasa otvaranja jednaka razmaku između šumskih cesta (Parsakhoo 2016). Drugi autori (Hayati i dr. 2017, Đuka i dr. 2017) navode da širina omeđene površine ovisi i o brojnim utjecajnim čimbenicima. Izračun relativne otvorenosti vrši se prema sljedećem izrazu:

$$E = \frac{A_{otv}}{A_{uk}} \times 100 = \frac{\sum l \cdot e}{A_{uk}} \quad (\text{izraz 6})$$

Gdje je:

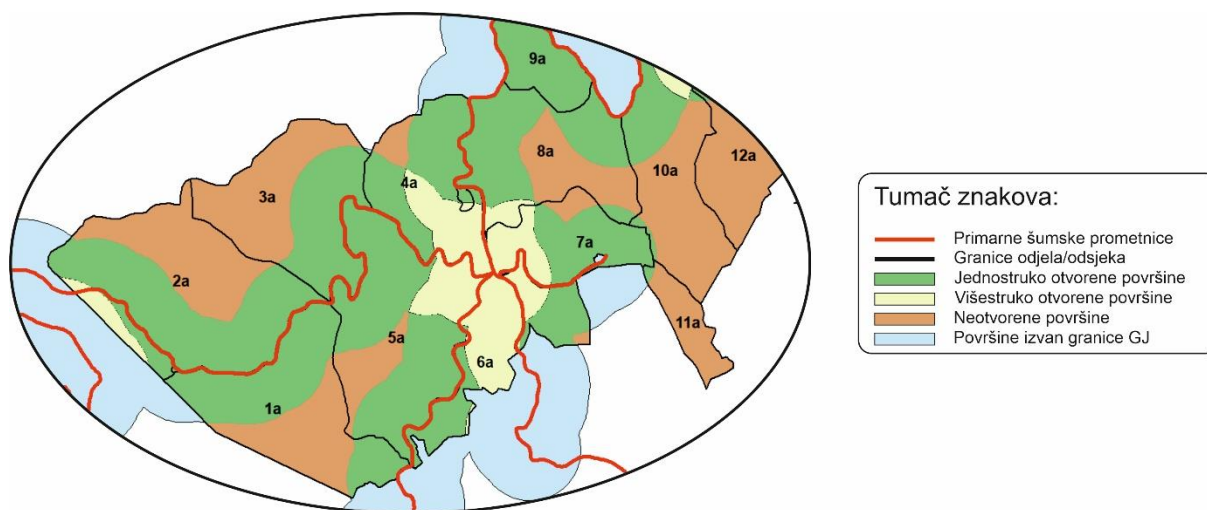
$E$  – relativna otvorenost, %

$A_{otv}$  – otvorena šumska površina, ha

$A_u$  – ukupna šumska površina, ha

$\sum l$  – ukupna duljina šumskih cesta, m

$e$  – razmak između šumskih cesta, m



**Slika 9.** Shematski prikaz primarne relativne otvorenosti (Izvor: Janeš 2021)

Primarna relativna otvorenost se na temelju udjela dostupne šumske površine za definiranu ciljanu geometrijsku udaljenosti privlačenja drva, u spomenutom Pravilniku o provedbi mjere M04, klasificira u sljedeće razrede stupnja otvorenosti:

- ✓ nedovoljna (dostupno < 55% šumske površine)
- ✓ slaba (dostupno od 55 do 65% šumske površine)
- ✓ dobra (dostupno od 65 do 75% šumske površine)
- ✓ jako dobra (dostupno od 75 do 85% šumske površine)
- ✓ izvrsna (dostupno > 85% šumske površine).

Dodatno, primarna relativna otvorenost se u kombinaciji s koeficijentom učinkovitosti postojeće mreže primarne šumske prometne infrastrukture koristi za detaljniju analizu kvalitete prostornog

rasporeda, tj. učinkovitosti postojeće mreže primarne šumske prometne infrastrukture ili njene pojedine sastavnice. Koeficijent učinkovitosti predstavlja odnos zbroja ploština površina koje su otvorene s dvije ili više cesta i ukupne ploštine omeđenih površina. Ovaj parametar izražava kakvoću rasporeda šumskih prometnica u prostoru, odnosno prikazuje koliki postotak omeđenih površina otvara neotvorenu površinu analiziranoga područja. Koeficijent učinkovitosti postojeće mreže primarne šumske prometne infrastrukture izračunava se prema sljedećem izrazu (Pentek, 2002):

$$k_U = \left(1 - \frac{P_N}{P_U}\right) \times 100 \quad (\text{izraz 7})$$

Gdje je:

$k_U$  – koeficijent učinkovitosti primarne šumske prometnice (%)

$P_N$  – površina neučinkovitih omeđenih površina (ha)

$P_U$  – površina ukupno omeđenih površina (ha).

Pravilnik o provedbi mjere M04 Ulaganja u fizičku imovinu, podmjere 4.3. Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva, tipa operacije 4.3.3. Ulaganje u šumsku infrastrukturu iz Programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 106/15, 65/17, 77/17) propisuje sljedeće širine pojasa omeđenih površina po reljefnim područjima: 1. nizinsko područje – 330 m, 2. brdsko (prigorsko) reljefno područje – 250 m, 3. planinsko (gorsko) reljefno područje – 200 m i 4. krško reljefno područje – 330 m.

Pentek i dr. (2005) navode da relativna otvorenost predstavlja izuzetno učinkovito sredstvo pri raščlambi postojeće mreže šumskih cesta, izlučivanju neotvorenih područja te njihovu daljnjem otvaranju. Osim toga, zaključuju da relativna otvorenost potkrijepljena podacima o gustoći šumskih cesta (m/ha) daje povratni podatak i o kakvoći prostornoga (položajnoga) razmještaja šumskih prometnica. Prema Bumberu (2011) relativna otvorenost šuma, kvalitativno i kvantitativno, numerički i grafički, prikazuje situaciju primarne šumske prometne infrastrukture na određenom šumskom području. Hayati i dr. (2012) navode da primarna relativna otvorenost predstavlja udaljenost od ruba omeđene površine do šumske ceste za vrijednost dvostruke ciljane srednje udaljenosti privlačenja drva.

Ovisno o kategoriji šumske prometnice za koju se ocjenjuje relativna otvorenost ona može biti (Pičman i dr. 2011):

- ✓ primarna relativna otvorenost (otvorenost primarnim šumskim prometnicama)
- ✓ sekundarna relativna otvorenost (otvorenost sekundarnim šumskim prometnicama).

Prema Pičmanu (2011) kod određivanja sekundarne relativne otvorenosti, udaljenost od ruba omeđene površine do sastavnice sekundarne šumske prometne infrastrukture (traktorski put, traktorska vlaka ili žična linija) ima vrijednost duljine dosega prihvatnog uređaja (duljina vučnog uža vitla skidera, dohvat dizalice forvardera, postranog užeta žičare, itd.).

### **2.7.3. Srednja udaljenost privlačenja drva**

Srednja udaljenost privlačenja drva je parametar koji na određenoj šumskoj površini (odjelu, odsjeku, sječini) opisuje prosječnu udaljenost na kojoj se privlači drvo, tj. udaljenost od mjesta sječe stabla (panja) do mjesta sakupljanja drva (MacDonald 1999). Ovisno o prostornom rasporedu linija privlačenja drva razlikuju se centralno i paralelno (usporedno) privlačenje. Centralnim se privlačenjem (Lovrić 1976) smatra privlačenje drva od svake točke (panja) na šumskoj površini do jednog središta (pomoćnog stovarišta), dok se paralelnim smatra privlačenje u usporednim pravcima na šumsku cestu.

U prošlosti se mnogo izračuna srednje udaljenosti privlačenja temeljilo na teorijskim, odnosno geometrijskim modelima (Matthews 1942, Donnelly 1978, Greulich 1987). Razvojem računalnih programa raste i broj istraživanja srednjih udaljenosti privlačenja temeljenih na GIS analizama (Kluender i dr. 2000, Tucek i Pacola 2005, Bumber 2011, Đuka 2014, Lepoglavec 2014). Tako Bumber (2011) navodi da je Euklidska udaljenost (izračunata putem računalnog programa ArcGIS, alat *Euclidean distance* unutar alata *Spatial Analyst*) izuzetno dobar alat za određivanje prosječne geometrijske udaljenosti privlačenja drva na razini gospodarske jedinice, odnosno srednjih geometrijskih udaljenosti privlačenja drva pojedinih odjela/odsjeka. Isti autor navodi da euklidska udaljenost odgovara Segebadenovim (1964) temeljima određivanja srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva.

Većina autora smatra da oblik mreže šumskih cesta te položaj pomoćnih stovarišta najznačajnije utječu na vrijednost srednje udaljenosti privlačenja drva (Liu i Corcoran 1993, Clark 1998, Kluender i dr. 2000, Contreras i Chung 2007).

Na Matthewsov teorijskom modelu zasniva se i optimalna otvorenost šuma, koja predstavlja krajnji cilj otvaranja šumskih područja, a polazi od metode najmanjih zbirnih troškova privlačenja drva te troškova vezanih uz postojanje (građenje i održavanje) šumskih cesta (Dietz i dr. 1988, Sessions 2007). Najmanji zbirni trošak izgradnje šumske ceste i privlačenja drva izračunava se na način da se njegova prva derivacija po udaljenosti između šumskih cesta izjednači s nulom. Model najmanjih zbirnih troškova privlačenja drva i gradnje šumskih prometnica određuje da što je mreža šumskih prometnica gušća, to su veći troškovi gradnje prometnica, a transport drva jeftiniji i obratno.

Đuka (2014) navodi da je srednja udaljenost privlačenja drva, kao parametar koji na nekoj šumskoj površini opisuje prosječnu udaljenost na kojoj se privlači drvo od mjesta sječe stabla (panja) do mjesta gdje se drvo sabire (pomoćno stovarište) te samim time snažno utječe na djelotvornost privlačenja drva, uočljive su njezine različite inačice, prvenstveno vezane za:

- ✓ teorijski model, odnosno stvarno stanje na terenu
- ✓ veličinu odnosne šumske površine (gospodarska jedinica, odjel ili odsjek)
- ✓ položaj šumske površine u odnosu na prostorni raspored šumskih cesta (geometrijska) u odnosu na prevaljenu udaljenost micanja drva (stvarna) određenim sredstvom privlačenja drva.

Kako bi pojednostavili izračun srednje udaljenosti privlačenja drva, brojni autori za različita područja koriste pretvorbene faktore. Tako, npr. Dietz i dr. (1984) navode da se vrijednosti faktora mreže prometnica kreću u rasponu od 1,2 (nizina) do 2,0 (brdsko-planinsko područje). Faktor mreže prometnica, koristi se za pretvorbu srednje teorijske udaljenosti privlačenja (izračunate iz gustoće cesta određenoga šumskog područja) u srednju geometrijsku udaljenost privlačenja, a najčešće se iskazuje na razini gospodarske jedinice. S druge strane, faktor korekcije privlačenja drva predstavlja odnos srednje stvarne i srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva, a uvažava odstupanje udaljenosti privlačenja drva u odnosu na najkraću udaljenost do šumske ceste (pomoćnoga stovarišta) uslijed djelovanja: 1. terenskih čimbenika te oblika i rasporeda sekundarne mreže šumskih prometnica, 2. mogućnosti prihvata drva korištenim sredstvom privlačenja drva (skider – duljina vučnoga uža vitla, forvarder – doseg prihvata drva dizalicom i dr.), 3. načina kretanja drva do pomoćnoga stovarišta (centralno i paralelno privlačenje drva). Faktor privlačenja drva kreće se u rasponu od 1,2 do 2,5, ovisno o reljefnome području (Dietz i dr. 1984, Segebaden

1964, Backmund 1966, Enache 2013, Lepoglavec 2014), obliku mreže prometnica (Sessions 2007), nadzoru i organizaciji radova privlačenja drva (Stankić 2010), metodi i sredstvu rada (Folegatti 2009). Sveukupni faktor korekcije teorijske srednje udaljenosti privlačenja drva predstavlja interakciju faktora mreže prometnica i faktora privlačenja drva – korekcije geometrijske srednje udaljenosti privlačenja, a služi za neposredno pretvaranje teorijske srednje udaljenosti privlačenja u stvarnu srednju udaljenost privlačenja drva. Dietz i dr. (1984) navode da se vrijednosti sveukupnog faktora korekcije kreću u rasponu od 1,6 (nizina) do 3,6 (brdsko-planinsko područje). Ipak, Đuka (2014) zaključuje da na operativnoj razini planiranja privlačenja drva nije ispravno poopćavanje faktora privlačenja drva čak ni na razini gospodarske jedinice, a niti reljefnog područja zbog prevelikih odstupanja njihovih vrijednosti.

### 3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je provedeno u gospodarskoj jedinici Trovrh – Kik koja se nalazi na području Ličko - senjske županije, općine Plitvička jezera i Udbina, površine 4.516,63 hektara. Gospodarskom jedinicom gospodari šumarija Korenica, Uprava šuma podružnica Gospić. Gospodarska jedinica Trovrh – Kik obuhvaća jugozapadne, (manjim dijelom južne ili zapadne) padine Plješivice, koje su manje ili više strme, od samog vršnog grebena, ispresijecane ponekim jarkom, uvalom, zaravni, nižim brdom, te se spuštaju prema Koreničkom polju i Bjelopolju, Frkašiću. Nagibi su različiti, većinom 15°-30°. Na dijelovima se radi o platoima, ravnima ili s vrlo malim nagibom dok na nekim mikrolokacijama nagib prelazi i 40°. Čitavo područje mozaično je prošarano raznim oblicima kamena i stijena, s različitom učestalošću pojave. Visoki blokovi i stijene nisu česta pojava te se javljaju pojedinačno, odnosno mjestimično. Generalno možemo za područje gospodarske jedinice reći kako je bezvodno budući da nema stalnih površinskih vodotokova, osim nekih uvala koje postaju vodotoci za vrijeme kišne sezone. U podnožju gospodarske jedinice, kroz Koreničko polje teče stalni potok Matica, zajedno s vodom svojih pritoka, ponirući u mjestu Ponor (odjel 49), podzemnim tokovima dalje odlazi ispod Plješivice prema rijeci Uni. Cijela površina gospodarske jedinice Trovrh – Kik pripada crnomorskom slivu.

Ukupna površina gospodarske jedinice Trovrh – Kik iznosi 4516,63 ha, od čega je 4210,27 ha obraslo, 277,34 ha je neobraslo proizvodno, 5,43 ha je neobraslo neproizvodno i 23,59 ha je neplodno šumsko zemljište.

Područje ove gospodarske jedinice u visinskom pogledu rasprostire se između 620 i 1613 m n.v. Važnije kote i vrhovi su: M. Plješivica (1576 m), Crni vrh (1562 m), Gredoviti vrh (1430 m), Šuputov vrh (1403 m), Žestikovac (1333 m), Trovrh (1602 m), Tabla (1613 m), Maričića vrh (1393 m), Šeganovac (1039 m), Tičevo (1046 m), Oštri Mihaljevac (1049 m).

Područje ove gospodarske jedinice izgrađeno je od trijaskih, jurskih, krednih, paleogenskih i kvartarnih naslaga. Donji trijas čine najstarije otkrivene naslage u ovom području: sajske i kampilske naslage. Gornji trijas sastoji se od dobro uslojenih *dolomita* koji leže na klastičnim naslagama. Dolorniti su pretežno svijetlosive boje. Tamnosivi su najčešće blizu prijelaza u lijas. Gotovo uvijek su prisutne primjese glinene supstance. Debljina naslaga iznosi 400-600 m. Jurske naslage su: 1. vapneni dolomiti (*donji lijas*); 2. vapneni dolomiti (*srednji lijas*); 3. pločasti



vapnenci (*gornji lijas*); 4. vapnenci s lećama dolomita (*doger*); 5. dolomiti i vapnenci (*oksford-kimeridž*); 6. dolomiti i pločasti vapnenci s rožnjacima -"lemeške naslage". Kredne naslage sačinjavaju: 1. vapnenci s ulošcima dolomita, breče (*valendis-otriv*); 2. vapnenci, laporoviti vapnenci, dolomiti i breče (*barem-aptalb*); 3. uslojeni vapnenci s ulošcima dolomita (*cenoman-turon*); 4. rudistni vapnenac senona (*konijak-donji katnpan*). Kvartarne naslage mogu biti barski sedimenti ili deluvijale naslage.

Pojava različitih vrsta tala na području gospodarske jedinice "Trovrh-Kik" uvjetovana je geološkom podlogom, ekspozicijom, inklinacijom, nadmorskom visinom i nizom drugih klimatskih faktora. Budući je znatna visinska razlika u ovoj gospodarskoj jedinici kao i velika razlika u konfiguraciji terena, postoji i znatna razlika u vrsti tala, dubini tla, bogatstvu humusa i dr.

Na području gospodarske jedinice utvrđena je prisutnost sljedećih tipovi tala: 1. smeđe tlo na vapnencu i dolomitu (kalcikambisol) prisutno je na 71,54 % površine gospodarske jedinice. Generalno se može reći kako je najzastupljenije i proizvodno vrlo značajno šumsko tlo u Hrvatskoj. Nastaje na čvrstom vapnenačko dolomitnom supstratu na različitim nadmorskim visinama (0-1700 m) i blažim formama reljefa. Pojavljuje se u dva varijeteta: plitko i srednje duboko; 2. rendzina (22,75 % površine gospodarske jedinice). Ovo tlo je humusno akumulativno karaktera, profila Amo-AC-C-R ili Amo-C-R. Nastaje na supstratima bogatim kalcijevim karbonatom kao što su lapori, fliš, laporoviti vapnenci, glaciofluvijalni nanosi, pjeskovita pržina dolomita, karbonatni šljunci i pijesci i sl.; 3. vapneno dolomitna crnica (5,71 % površine gospodarske jedinice). Ovaj tip tla, razvija se pretežno u planinskom području (od 900-1600 m nadmorske visine), na tvrdim i čistim vapnencima i dolomitima i na reljefu koji izrazito pogoduje eroziji - strmim padinama i liticama. Čvrsti vapnenci i dolomiti svojim sastavom (preko 98 % kalcita, odnosno dolomita), tvrdoćom, reljefom i kraškim fenomenima, kao i erozija, pretežno vodom, ali i eolska, stalno skraćuje ciklus razvoja i doprinosi suzdržavanju evolucije na stadiju A-C tala.

Po svom zemljopisnom položaju, ova se gospodarska jedinica nalazi u zoni srednjoeuropske klime a prema Köppenovoj klasifikaciji ima karakter umjereno tople kišne klime (cfsbx).

Radi detaljnije analize klime na području gospodarske jedinice Trovrh – Kik navedeni su podaci klimatološke postaje Korenica (670 m nadmorske visine). Područje gospodarske jedinice zauzima prostor od 610 m do 1613 m nadmorske visine i udaljena je od klimatološke postaje Korenica oko 2,5-12,5 km. Opis klime sa klimatološke postaje Korenica reprezentativan je samo za najniži pojas gospodarske jedinice Trovrh – Kik jer su klimatski parametri na ostatku površine znatno modificirani, utjecajem nadmorske visine, reljefa itd.

Srednja godišnja temperature zraka u promatranom razdoblju za klimatološku postaju Korenica iznosi 8,1 °C, dok vrijednost kolebanja srednje godišnje temperature zraka iznosi 19,9 °C. Najhladniji mjesec je siječanj (-1,8 °C) a najtopliji kolovoz (18,1 °C). Veći dio oborina padne tijekom hladnijeg dijela godine 623,6 mm, ali ne značajno više u odnosu na topliji dio godine 559,0 mm. Za topliji dio godine maksimalne oborine su u travnju (122,4 mm) i rujnu (129,8 mm) a za hladniji dio godine maksimalne oborine su u studenom (149,8 mm) i prosincu (127,7 mm). Srpanj je mjesec s najmanjom količinom oborina (56,2 mm) a studeni s najvećom količinom oborina (149,8 mm).

U pogledu vegetacije su na području gospodarske jedinice utvrđene sljedeće biljne zajednice i pripadajuće površine na kojima se nalaze: 1. pretplaninska bukova šuma s urezicom (*Homogyno sylvestris - Fagetum sylvaticae* Ht. 1938. / Borh. 1963.) – 12,95 % (581,22 ha); 2. ilirska šuma hrasta kitnjaka i običnoga graba (*Epimedio – Carpinetum betuli* (Ht.) Borhidi 1963.) – 0,43 % (14,38 ha); 3. brdska bukova šuma s mrtvom koprivom (*Lamio orvale - Fagetum sylvaticae* Ht. 1938.) – 5,96 % (267,40 ha); 4. bukova šuma s jesenskom šašikom (*Seslerio – Fagetum sylvaticae*/Ht.1950/M.Wraber 1960.) – 16,16 % (725,00 ha); 5. dinarska bukovo - jelova šuma (*Omphalodo - Fagetum* Marinček et al. 1992.) – 20,33 % (912,45 ha); 6. šuma crnog graba s jesenskom šašikom (*Seslerio - Ostryetum* Horv. et H-ić 1950) – 24,00 %, (1076,96 ha); 7. šuma crnog i običnog bora s kukurijekom na dolomitu (*Helleboro – Pinetum* Ht. 1958.) – 11,92 % (535,09 ha); 8. pašnjak ilirske i stepske vlasulje (*Festucetum illyricaе - valesiacaе* Ht.1962) – 6,18 % (277,34 ha); 9. alohtona crnogorica – 2,18 % (97,80 ha).

**Tablica 4.** Registar postojeće primarne šumske prometne infrastrukture GJ Trovrvh – Kik (svih šumskih cesta te onih javnih i nerazvrstanih cesta koje se mogu koristiti pri održivom gospodarenju šumama)

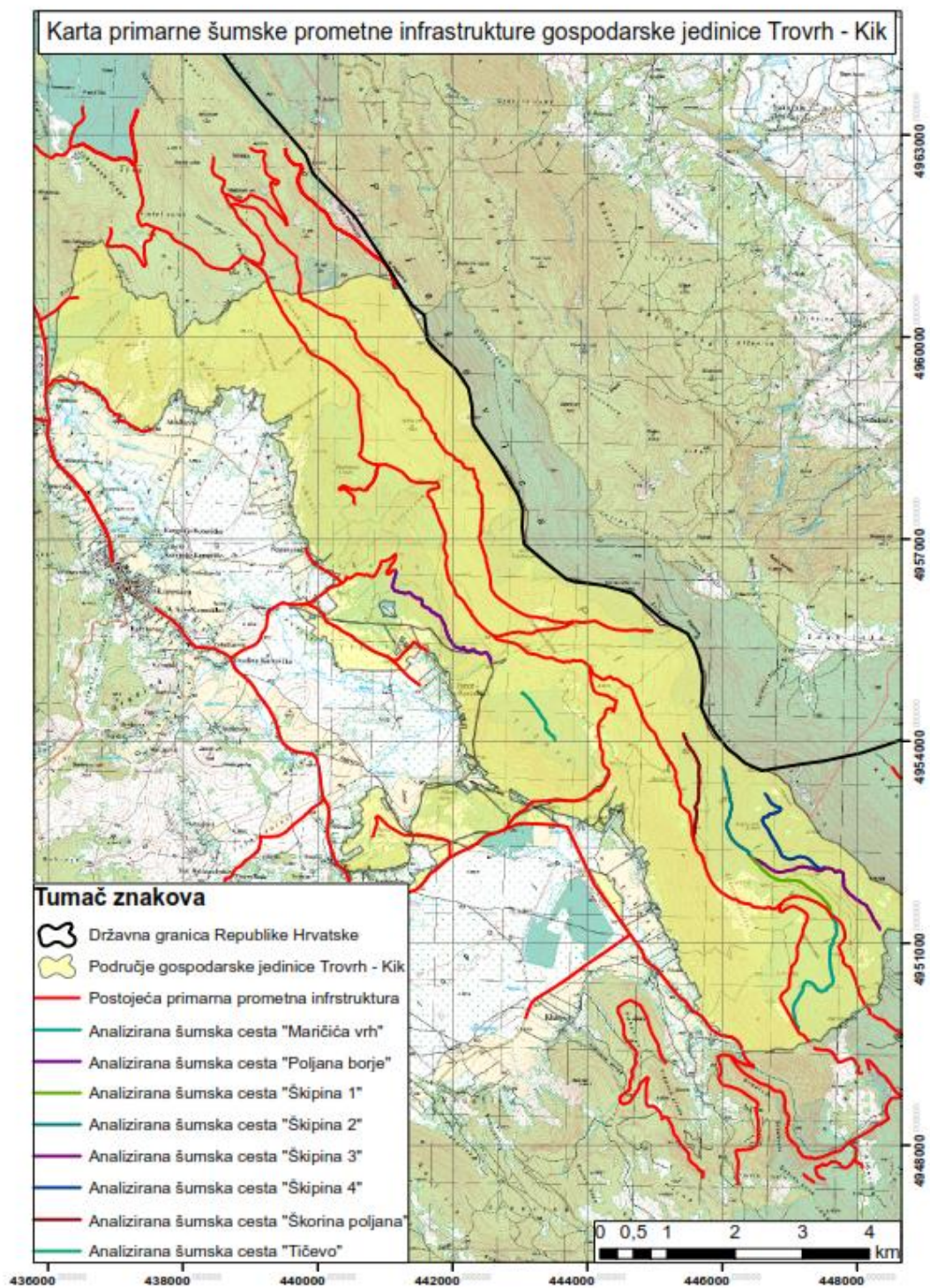
Red. br.	NAZIV PROMETNICE	Ukupna duljina prometnica	KOLNIK IZGRAĐEN		Bez kolničke konstrukcije	Prolazi kroz šumu	Prolazi rubom šume	Uzima se za otvorenost (7+8/2)	Čini otvorenost G.J.
			Asfalt	Tucanik					
km									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Državne ceste								
2	Županijske ceste								
3	Lokalne ceste i ostale nerazvrstane								
4	<b>UKUPNO JAVNE CESTE (1+2+3)</b>	15,61	13,96	1,65	0,00	2,21	5,28	4,85	1,15
5	Šumske prometnice B-011 ili B-021	40,97	0,00	40,97	0,00	36,62	0,00	36,62	8,70
6	<b>UKUPNO JAVNE I ŠUMSKE CESTE (4+5)</b>	<b>56,58</b>	<b>13,96</b>	<b>42,62</b>	<b>0,00</b>	<b>38,83</b>	<b>5,28</b>	<b>41,47</b>	<b>9,85</b>
7	Šumske prometnice B-012 ili B-022 (DS)				0,00				
8	<b>SVEUKUPNO JAVNE I SVE ŠUM. PROMET.</b>		13,96	42,62	<b>0,00</b>	38,83	5,28	41,47	9,85

## 4. CILJEVI I METODE ISTRAŽIVANJA

Obrada podataka započela je analiziranjem dostupnih podataka iz glavnih projekata šumskih cesta koje je za investitora Hrvatske šume d.o.o. (Uprava šuma podružnica Gospić, Šumarija Korenica), izradio Fakultet Šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, 2018. godine. Analizom je obuhvaćeno ukupno 1546 normalnih poprečnih profila na osam šumskih cesta ukupne duljine 14.879,23 m smještenih u gospodarskoj jedinici Trovrh – Kik. Stacionaže i količina poprečnih profila uključenih u daljnje analize prikazani su u tablici 5 dok je prostorni razmještaj analiziranih šumskih cesta unutar gospodarske jedinice Trovrh – Kik prikazan na slici 10.

**Tablica 5.** Stacionaža i broj analiziranih poprečnih profila po analiziranoj šumskoj cesti

Naziv šumske ceste	Stacionaža, hm	Broj profila
Maričića vrh	23+07,50	231
Poljana borje	23+43,44	257
Škipina 1	15+99,85	163
Škipina 2	15+13,43	161
Škipina 3	25+38,89	266
Škipina 4	20+11,00	211
Škorina poljana	16+71,57	167
Tičevo	08+93,55	90
<b>UKUPNO</b>	<b>148+79,23</b>	<b>1.546</b>



Slika 10. Prikaz prostornog razmještaja analiziranih šumskih cesta u gospodarskoj jedinici Trovrh – Kik

## 4.1. Ciljevi istraživanja

U sklopu ovog diplomskog rada definirani su sljedeći ciljevi istraživanja:

- ✓ Utvrditi postoje li, na temelju podataka iz glavnih projekata, statistički značajne razlike na 8 novoprojektiranih šumskih cesta gospodarske jedinice Trovrh – Kik, šumarije Korenica između prosječnog poprečnog nagiba terena, vrijednosti radne kote, površina iskopa, površina nasipa odnosno širine trupa ceste.
- ✓ Analizirati utjecaj prosječnog poprečnog nagiba terena i vrijednosti radne kote šumske ceste (razlika između kote terena i kote nivelete, m), na:
  1. površinu iskopa (m<sup>2</sup>)
  2. površinu nasipa (m<sup>2</sup>)

## 4.2. Metode istraživanja

Za potrebe utvrđivanja utjecaja prosječnog poprečnog nagiba terena i vrijednosti radne kote na površinu iskopa i nasipa svakog pojedinog profila iz postojećih glavnih projekata šumskih ceste očitati će se (slika 11):

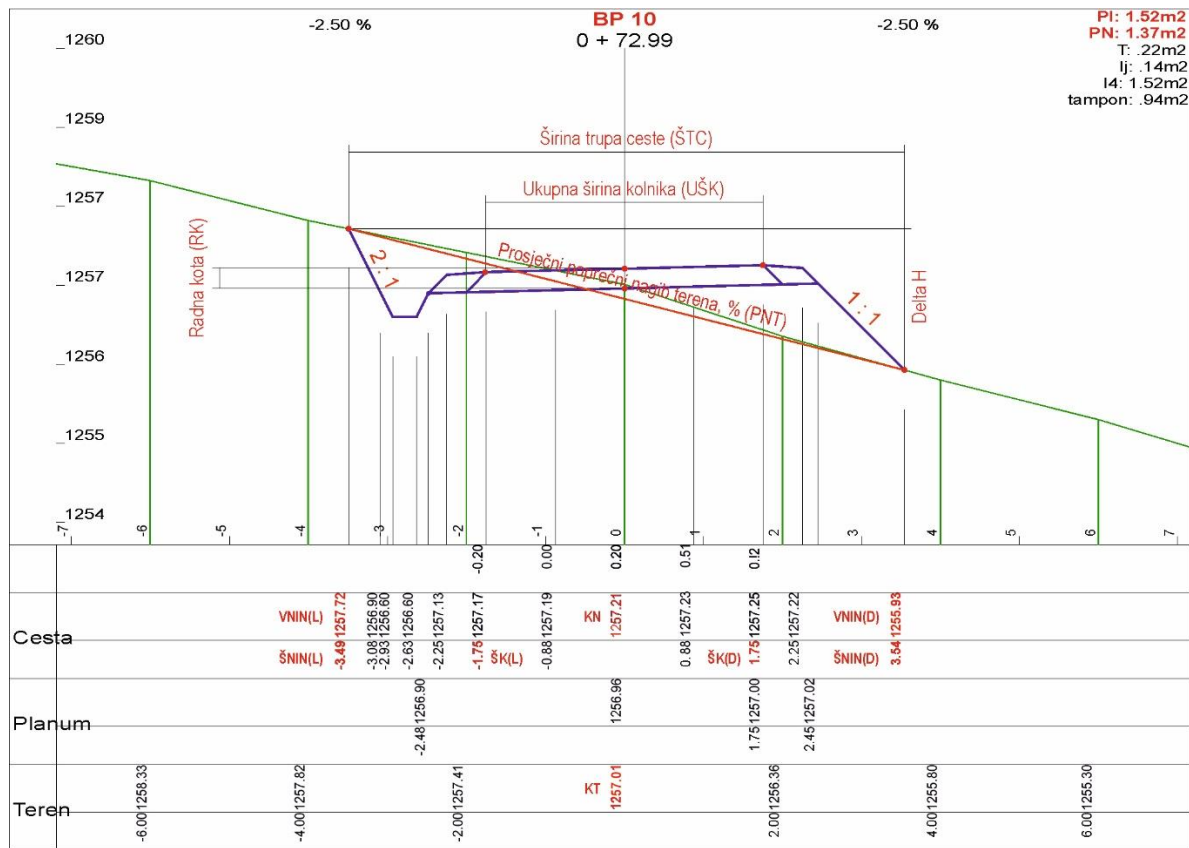
- ✓ širina nožice iskopa/nasipa (lijevo)
- ✓ širina nožice iskopa/nasipa (desno)
- ✓ visina nožice iskopa/nasipa (lijevo),
- ✓ visina nožice iskopa/nasipa (desno),
- ✓ širina kolnika lijevo,
- ✓ širina kolnika desno,
- ✓ kota terena,
- ✓ kota nivelete,
- ✓ nagib planirane kosine iskopa/nasipa (lijevo)
- ✓ nagib planirane kosine iskopa/nasipa (desno)
- ✓ površina iskopa
- ✓ površina nasipa.





#### 4.2.1. Obrada terenskih podataka u programu Microsoft Excel 2016

Nakon analize podataka dostupnih iz glavnih projekata šumskih cesta pristupljeno je izradi baze podataka u programu Microsoft Excel 2016. Temeljem ulaznih podataka sa crtanih poprečnih profila (slika 12, tablica 6) (broj profila (BP), širina nožice iskopa/nasipa lijevo (ŠNIN(L)), visina nožice iskopa/nasipa lijevo (VNIN(L)), širina nožice iskopa/nasipa desno (ŠNIN(D)), visina nožice iskopa/nasipa desno (VNIN(D)), širina kolnika lijevo (ŠK(L)), širina kolnika desno (ŠK(D)), kota nivelete (KN), kota terena (KT), nagib planirane kosine iskopa (NPKI), nagib planirane kosine nasipa (NPKN), površina iskopa (PI), m, površina nasipa (PN), m) izračunati su parametri tablica 6 (širina trupa ceste, m (ŠTC), delta H, m; prosječni poprečni nagib terena, % (PNT); ukupna širina kolnika, m (UŠK), radna kota, m (RK); potrebni za daljnju obradu u programskom paketu Statistica.



Širina trupa ceste (ŠTC) = ŠNIN(L) + ŠNIN(D) = 3,49 m + 3,54 m = 7,03 m  
 Delta H = VNIN(L) - VNIN(D) = 1257,72 m - 1255,93 m = 1,79 m  
 PNT = (Delta H/ŠTC) \* 100 = (1,79 m / 7,03 m) \* 100 = 25,46 %  
 UŠK = ŠK(L) + ŠK(D) = 1,75 m + 1,75 m = 3,50 m  
 RK = KN - KT = 1257,19 m - 1257,01 m = 0,18 m

**Slika 12.** Ulazni / izračunati parametri na primjeru podataka sa crtanog poprečnog profila 10 šumske ceste „Maričića vrh“



**Tablica 6.** Prikaz očitanih/analiziranih podataka na primjeru normalnih poprečnih profila 8 – 11 šumske ceste “Maričića vrh”

Broj Profila BP	Širina nožice iskopa/nasipa lijevo ŠNIN(L)	Visina nožice iskopa/nasipa lijevo VNIN(L)	Širina nožice iskopa/nasipa desno ŠNIN(D)	Visina nožice iskopa/nasipa desno VNIN(D)	Širina trupa ceste, m ŠTC	Delta H	Prosječni poprečni nagib terena, % PNT	Širina kolnika lijevo ŠK(L)	Širina kolnika desno ŠK(D)	Ukupna širina kolnika UŠK	Kota nivelete KN	Kota terena KT	Radna kota, m RK	Nagib planirane kosine iskopa NPKI	Nagib planirane kosine nasipa NPKN	Površina iskopa, m <sup>2</sup> PI	Površina nasipa, m <sup>2</sup> PN
8	3,67	1259,73	3,12	1258,01	6,79	1,72	25,33	1,75	1,75	3,50	1258,88	1258,64	0,24	1:1	2:1	2,00	0,74
9	3,69	1258,95	3,46	1256,84	7,15	2,11	29,51	1,75	1,75	3,50	1258,04	1257,88	0,16	1:1	2:1	2,36	1,13
10	3,49	1257,72	3,54	1255,93	7,03	1,79	25,46	1,75	1,75	3,50	1257,21	1257,01	0,20	1:1	2:1	1,52	1,37
11	3,34	1256,73	3,74	1255,04	7,08	1,69	23,87	1,75	1,75	3,50	1258,52	1255,89	2,63	1:1	2:1	0,58	2,68

Važno je napomenuti kako su iz daljnjih statističkih analiza izuzeti svi profili kod kojih je zamijećena širina kolnika veća od 3,5 m (okretaljke, mimoilaznice, profili o horizontalnim krivinama kod kojih je došlo do proširenja kolnika) kako bi utjecaj prosječnog poprečnog nagiba terena odnosno vrijednost radne kote na utjecaj površine iskopa odnosno nasipa bio što vjerodostojniji i točniji. Temeljem navedenog isključujućeg faktora od ukupno 1546 analiziranih profila daljnjoj obradi podataka pristupilo se sa njih 1153 što čini 74,58 % od ukupnoga broja profila na analiziranim šumskim cestama.

Nadalje, pri statističkim analizama u obzir nisu uzeti slijedeći konstantni parametri svakog pojedinog profila ali ih je važno spomenuti kako bi analize bile ponovljive uz mogućnost usporedbe dobivenih rezultata:

- ✓ trapezni odvodni jarci, dimenzija 30x30x90 cm projektirani u strani zasjeka
- ✓ širina bankina, 0,5 m sa svake strane
- ✓ kosina iskopa planirana u omjeru 2:1
- ✓ kosina nasipa planirana u omjeru 1:1.

#### **4.2.2. Analiza podataka u programu Statistica**

Kako bi utvrdili postoje li statistički značajne razlike između promatranih veličina tijekom analize upotrebljavane su statističke procedure višestrukog uspoređivanja odnosno post-hoc testa. Kako postoji više vrsta ovakovih testova a još uvijek ne postoji dogovor koja je najbolja procedura za rutinsku upotrebu za potrebe analize podataka (Hasić, 2014) analiza podataka za potrebe ovoga diplomskoga rada rađena je testom „najmanje značajne razlike“ (LSD) koju je razvio Fisher (1953).

## 5. REZULTATI

### 5.1. Rezultati višestrukog uspoređivanja odnosno post-hoc testa

Svrha ovih analiza bilo je utvrditi postojanje statistički značajnih razlika na analiziranim šumskim cestama između prosječnih poprečnih nagiba terena, visinama radnih kota, površinama iskopa, površinama nasipa odnosno širinama trupa šumskih cesta. Važno je istaknuti da se sve istraživane šumske ceste (analizirani profili) nalaze u istoj gospodarskoj jedinici (Trovrh – Kik) uz prethodnu pretpostavku kako se radi o terenima sličnih kategorija odnosno razvedenosti i nagiba.

#### 5.1.1. Rezultati post-hoc testa prosječnih poprečnih nagib terena analiziranih šumskih cesta

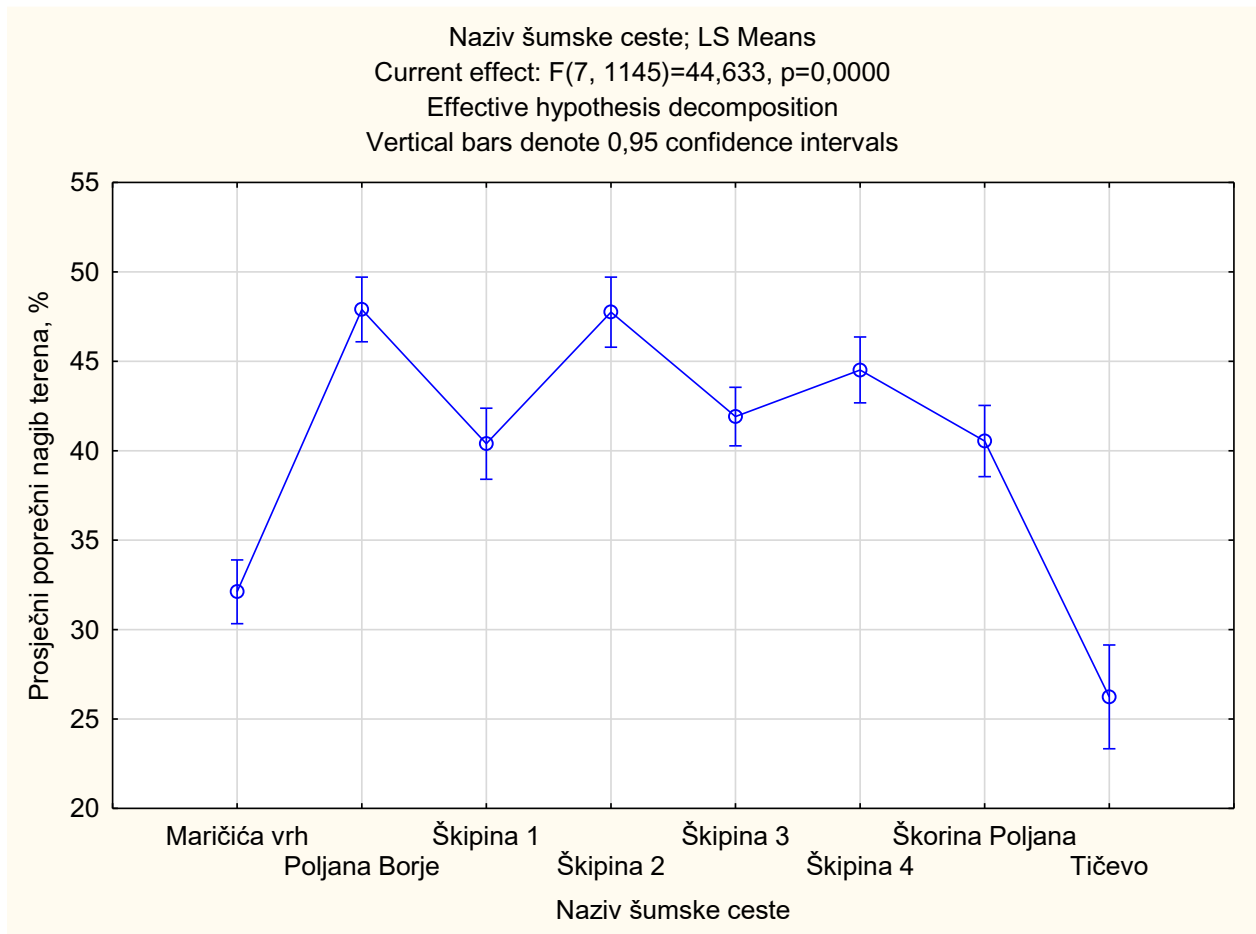
Suprotno očekivanom prva analiza LSD testa kojom smo uspoređivali sličnost prosječnih poprečnih nagiba terena uvidjeli smo da postoji statistički značajna razlika između gotovo svih analiziranih šumskih cesta (tablica 7, slika 13). Kako se radi o gospodarskoj jedinici koja pripada planinsko (gorskom) reljefnom području kojeg karakterizira vrlo jaka nabranost terena u području zahvata mišljenja smo da bi s ciljem smanjivanja reljefnih različitosti koje utječu na pojavnost određenog razreda prosječnog poprečnoga nagiba terena analize bi u budućnosti trebalo spustiti na nižu razinu, razinu odjela/odsjeka.

**Tablica 7.** Rezultati LSD testa prosječnih poprečnih nagib terena s obzirom na analiziranu šumsku cestu

Cell No.	LSD test; variable Prosječni poprečni nagib terena, % (Spreadsheet1) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 137,77, df = 1145,0								
	Naziv šumske ceste	{1} 32,116	{2} 47,897	{3} 40,393	{4} 47,751	{5} 41,908	{6} 44,518	{7} 40,545	{8} 26,238
1	Maričića vrh		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000731
2	Poljana Borje	0,000000		0,000000	0,914448	0,000002	0,010284	0,000000	0,000000
3	Škipina 1	0,000000	0,000000		0,000000	0,248802	0,002868	0,915973	0,000000
4	Škipina 2	0,000000	0,914448	0,000000		0,000008	0,018427	0,000000	0,000000
5	Škipina 3	0,000000	0,000002	0,248802	0,000008		0,037685	0,299212	0,000000
6	Škipina 4	0,000000	0,010284	0,002868	0,018427	0,037685		0,004071	0,000000
7	Škorina Poljana	0,000000	0,000000	0,915973	0,000000	0,299212	0,004071		0,000000
8	Tičevo	0,000731	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	

Prosječni poprečni nagib terena svih analiziranih profila (1153) iznosio je 40,17 % dok se isti parametar gledamo li svaku cestu zasebno kretao u granicama od maksimalne prosječne vrijednosti koja je zabilježena na šumskoj cesti „Poljana Borje“ u iznosu od 47,90 % do minimalne prosječne vrijednosti koja je zabilježena na šumskoj cesti „Tičevo“ u iznosu od 26,24 %. Gledamo li svaki profil zasebno možemo konstatirati kako je maksimalna vrijednost

prosječnog poprečnog nagiba terena zabilježena na šumskoj cesti „Poljana Borje“ u profilu br. 97 i iznosila je 91,83 % dok je na ukupno 11 profila zabilježen prosječni poprečni nagib terena u iznosu od 0 %.



**Slika 13.** Grafički prikaz LSD testa prosječnih poprečnih nagib terena s obzirom na analiziranu šumsku cestu

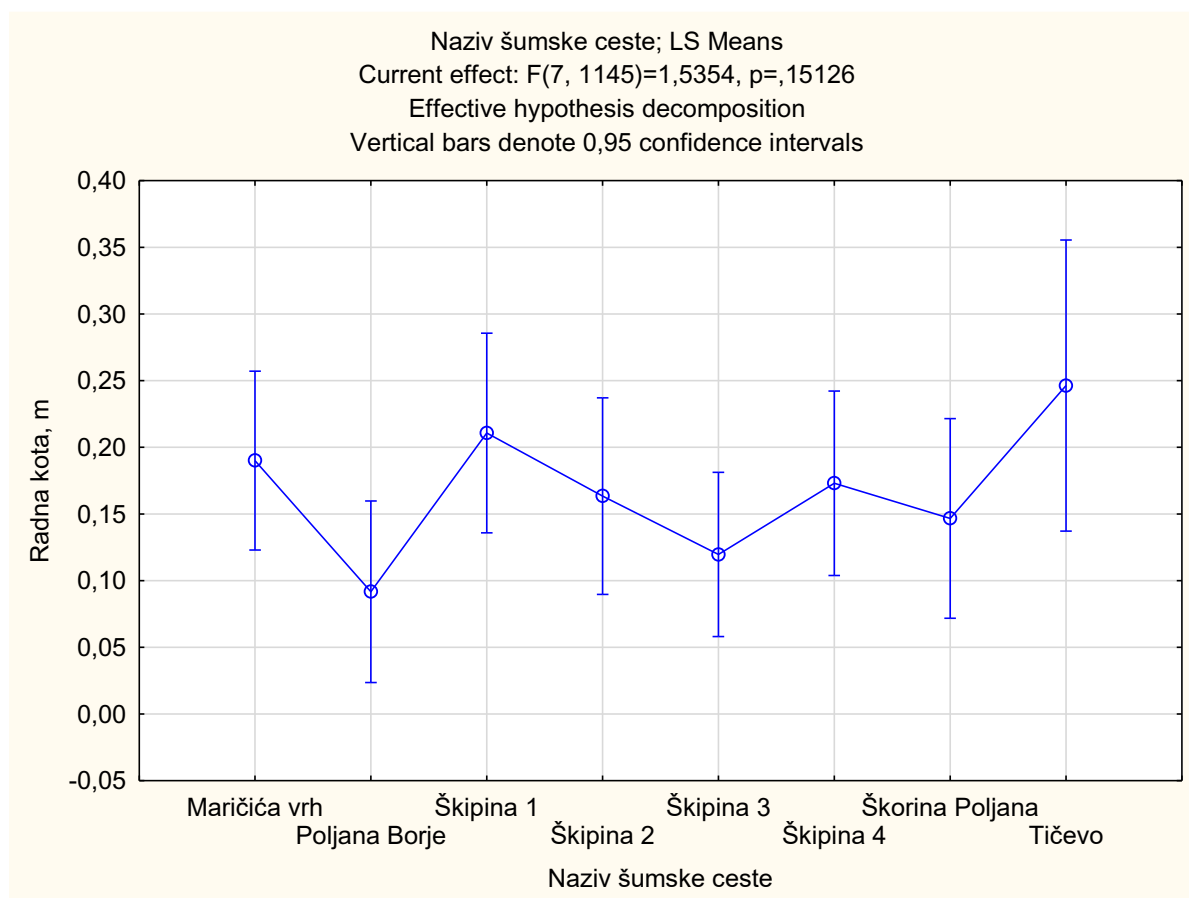
### 5.1.2. Rezultati post-hoc testa visina radne kote analiziranih šumskih cesta

Suprotno od rezultata prve analize LSD testa, kojom smo uspoređivali sličnost prosječnih poprečnih nagiba terena, utvrdili smo kako na većini analiziranih šumskih cesta ne postoji statistički značajna razlika u varijabilnosti prosječnih visina radne kote (tablica 8, slika 14). Navedene rezultate pravdamo činjenicom kako je niveleta u uzdužno razvijanje terena obavljena od strane istog projektanta pa je samim time i varijabilnost promatrane varijable manja. Isto je tako zanimljivo primijetiti kako prosječna vrijednost radne kote, koja može imati pozitivan (kota nivelete viša od kote terena) i negativan (kota terena viša od kote nivelete) predznak, na svim analiziranim šumskim cestama ima pozitivan predznak što znači da su uprosječene vrijednosti visina nivelete veće od visina kota terena za 17 cm.

**Tablica 8.** Rezultati LSD testa visina radne kote s obzirom na analiziranu šumsku cestu

Cell No.	Naziv šumske ceste	LSD test; variable Radna kota, m (Spreadsheet1) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,19501, df = 1145,0							
		{1} ,19006	{2} ,09167	{3} ,21075	{4} ,16341	{5} ,11965	{6} ,17306	{7} ,14664	{8} ,24635
1	Maričića vrh		0,043564	0,686352	0,599912	0,129374	0,729137	0,396747	0,388802
2	Poljana Borje	0,043564		0,021105	0,161070	0,549904	0,100090	0,286593	0,018484
3	Škipina 1	0,686352	0,021105		0,376921	0,065411	0,468182	0,234987	0,597755
4	Škipina 2	0,599912	0,161070	0,376921		0,371716	0,851454	0,754328	0,216975
5	Škipina 3	0,129374	0,549904	0,065411	0,371716		0,257950	0,584837	0,047543
6	Škipina 4	0,729137	0,100090	0,468182	0,851454	0,257950		0,611118	0,266001
7	Škorina Poljana	0,396747	0,286593	0,234987	0,754328	0,584837	0,611118		0,139665
8	Tičevo	0,388802	0,018484	0,597755	0,216975	0,047543	0,266001	0,139665	

Prosječna vrijednost visina radne kote gledamo li svaku cestu zasebno kretala se u granicama od maksimalne prosječne vrijednosti koja je zabilježena na šumskoj cesti „Tičevo“ u iznosu od 25 cm odnosno minimalne prosječne vrijednosti koja je zabilježena na šumskoj cesti „Poljana - Borje“ u iznosu od 9 cm. Gledamo li svaki profil zasebno možemo konstatirati kako je maksimalna vrijednost visine radne kote zabilježena na šumskoj cesti „Škipina 4“ u profilu br. 198 i iznosila je 1,79 m dok je na ukupno 23 profila zabilježena ista visina kote terena i kote nivelete.



**Slika 14.** Grafički prikaz razlika u vrijednostima visina radnih kota

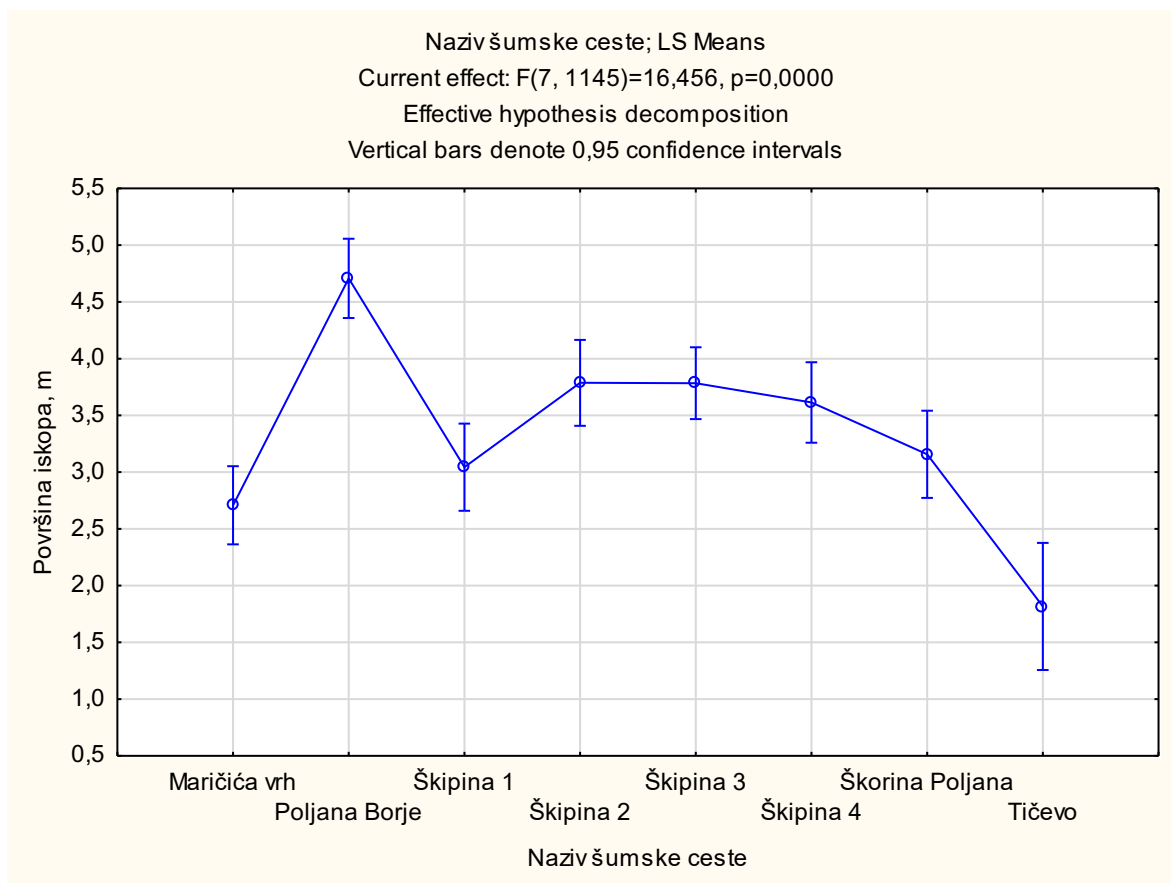
### 5.1.3. Rezultati post-hoc testa površina iskopa analiziranih šumskih cesta

Analizom srednjih vrijednosti površina iskopa upotrebljavajući post-hoc LSD test ustanovili smo kako u većini slučajeva postoji statistički značajna razlika između analiziranih parametara gledamo li ih na razini pojedine šumske ceste (tablica 9, slika 15).

**Tablica 9.** Rezultati LSD površine iskopa s obzirom na analiziranu šumsku cestu

Cell No.	Naziv šumske ceste	LSD test; variable Površina iskopa, m (Spreadsheet1) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 5,1350, df = 1145,0							
		{1} 2,7077	{2} 4,7077	{3} 3,0436	{4} 3,7874	{5} 3,7842	{6} 3,6141	{7} 3,1573	{8} 1,8170
1	Maričića vrh		0,000000	0,201554	0,000037	0,000007	0,000334	0,087422	0,007956
2	Poljana Borje	0,000000		0,000000	0,000473	0,000126	0,000018	0,000000	0,000000
3	Škipina 1	0,201554	0,000000		0,006902	0,003550	0,032498	0,681286	0,000411
4	Škipina 2	0,000037	0,000473	0,006902		0,989844	0,512462	0,022051	0,000000
5	Škipina 3	0,000007	0,000126	0,003550	0,989844		0,482681	0,013542	0,000000
6	Škipina 4	0,000334	0,000018	0,032498	0,512462	0,482681		0,086782	0,000000
7	Škorina Poljana	0,087422	0,000000	0,681286	0,022051	0,013542	0,086782		0,000114
8	Tičevo	0,007956	0,000000	0,000411	0,000000	0,000000	0,000000	0,000114	

Prosječna vrijednost površine iskopa za sve analizirane profile (1153) iznosila je 3,33 m<sup>2</sup> dok se isti parametar gledamo li svaku cestu zasebno kretao u granicama od maksimalne prosječne vrijednosti koja je zabilježena na šumskoj cesti „Poljana Borje“ u iznosu od 4,71 m<sup>2</sup> do minimalne prosječne vrijednosti koja je zabilježena na šumskoj cesti „Tičevo“ u iznosu od 1,82 m<sup>2</sup>. Gledamo li svaki profil zasebno možemo konstatirati kako je maksimalna vrijednost površine iskopa zabilježena na šumskoj cesti „Škipina 3“ u profilu br. 198 i iznosila je 17,12 m<sup>2</sup> dok je minimalna vrijednost zabilježena na šumskoj cesti „Maričića vrh“ u profilu br. 137 i iznosila je 0,16 m<sup>2</sup>.



**Slika 15.** Grafički prikaz LSD površine iskopa s obzirom na analiziranu šumsku cestu

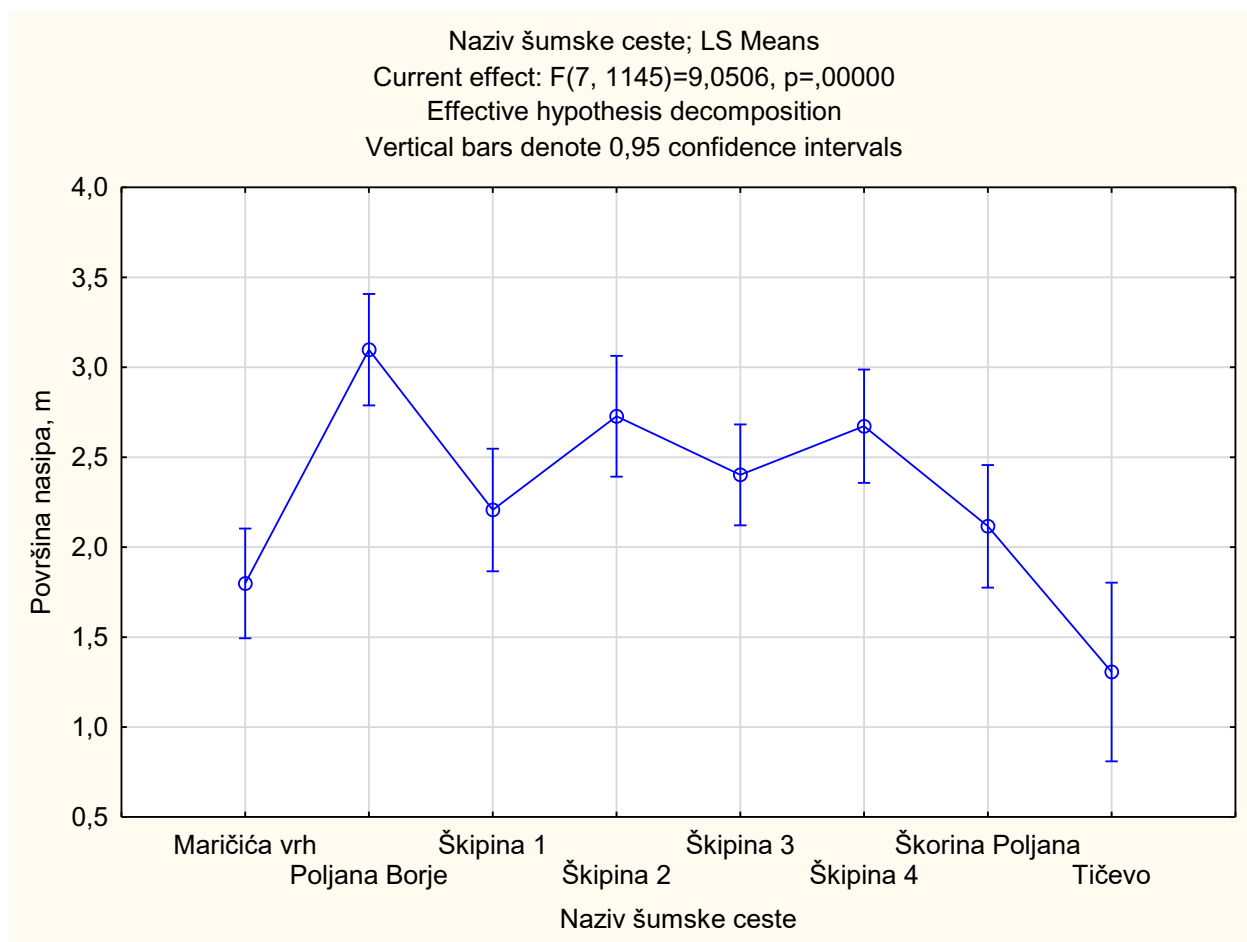
#### 5.1.4. Rezultati post-hoc testa površina nasipa analiziranih šumskih cesta

Vrlo je zanimljivo primijetiti kako se relacije odnosa srednjih vrijednosti površina iskopa sa srednjim vrijednostima površina nasipa ponašaju vrlo slično (slike 15 i 16). Analizom srednjih vrijednosti površina nasipa upotrebljavajući post-hoc LSD test ustanovili smo kako u većini slučajeva postoji statistički značajna razlika između analiziranih parametara gledamo li ih na razini pojedine šumske ceste (tablica 10, slika 16).

**Tablica 10.** Rezultati LSD površine nasipa s obzirom na analiziranu šumsku cestu

Cell No.	Naziv šumske ceste	LSD test; variable Površina nasipa, m (Spreadsheet1) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 4,0417, df = 1145,0							
		{1} 1,7988	{2} 3,0980	{3} 2,2069	{4} 2,7275	{5} 2,4019	{6} 2,6725	{7} 2,1161	{8} 1,3060
1	Maričića vrh		0,000000	0,080307	0,000063	0,004376	0,000098	0,173801	0,097636
2	Poljana Borje	0,000000		0,000155	0,111979	0,001115	0,059080	0,000031	0,000000
3	Škipina 1	0,080307	0,000155		0,032961	0,386121	0,049169	0,711616	0,003418
4	Škipina 2	0,000063	0,111979	0,032961		0,144403	0,814712	0,012292	0,000004
5	Škipina 3	0,004376	0,001115	0,386121	0,144403		0,208042	0,204039	0,000173
6	Škipina 4	0,000098	0,059080	0,049169	0,814712	0,208042		0,018775	0,000006
7	Škorina Poljana	0,173801	0,000031	0,711616	0,012292	0,204039	0,018775		0,008458
8	Tičevo	0,097636	0,000000	0,003418	0,000004	0,000173	0,000006	0,008458	

Prosječna vrijednost površine nasipa za sve analizirane profile (1153) iznosila je 2,29 m<sup>2</sup> dok se isti parametar gledamo li svaku cestu zasebno kretao u granicama od maksimalne prosječne vrijednosti koja je zabilježena na šumskoj cesti „Poljana Borje“ u iznosu od 3,10 m<sup>2</sup> do minimalne prosječne vrijednosti koja je zabilježena na šumskoj cesti „Tičevo“ u iznosu od 1,31 m<sup>2</sup>. Gledamo li svaki profil zasebno možemo konstatirati kako je maksimalna vrijednost površine nasipa zabilježena na šumskoj cesti „Škipina 4“ u profilu br. 198 i iznosila je 14,15 m<sup>2</sup> dok je minimalna zabilježena vrijednost na 54 promatrana profila bila jednaka 0.



**Slika 16.** Grafički prikaz LSD površine nasipa s obzirom na analiziranu šumsku cestu

### 5.1.5. Rezultati post-hoc testa širine trupa analiziranih šumskih cesta

Analizom srednjih vrijednosti širine trupa ceste upotrebljavajući post-hoc LSD test ustanovili smo kako u većini slučajeva postoji statistički značajna razlika između analiziranih parametara gledamo li ih na razini pojedine šumske ceste (tablica 11, slika 17). Zanimljivo je primijetiti kako su uočene određene zakonitosti pri analiziranim podacima prosječnih poprečnih nagiba terena i prosječnih vrijednosti širine trupa, tako primjerice šumska cesta “Poljana Borje” koja ima najveći prosječni poprečni nagib terena ima ujedno i najveću srednju vrijednost širine trupa

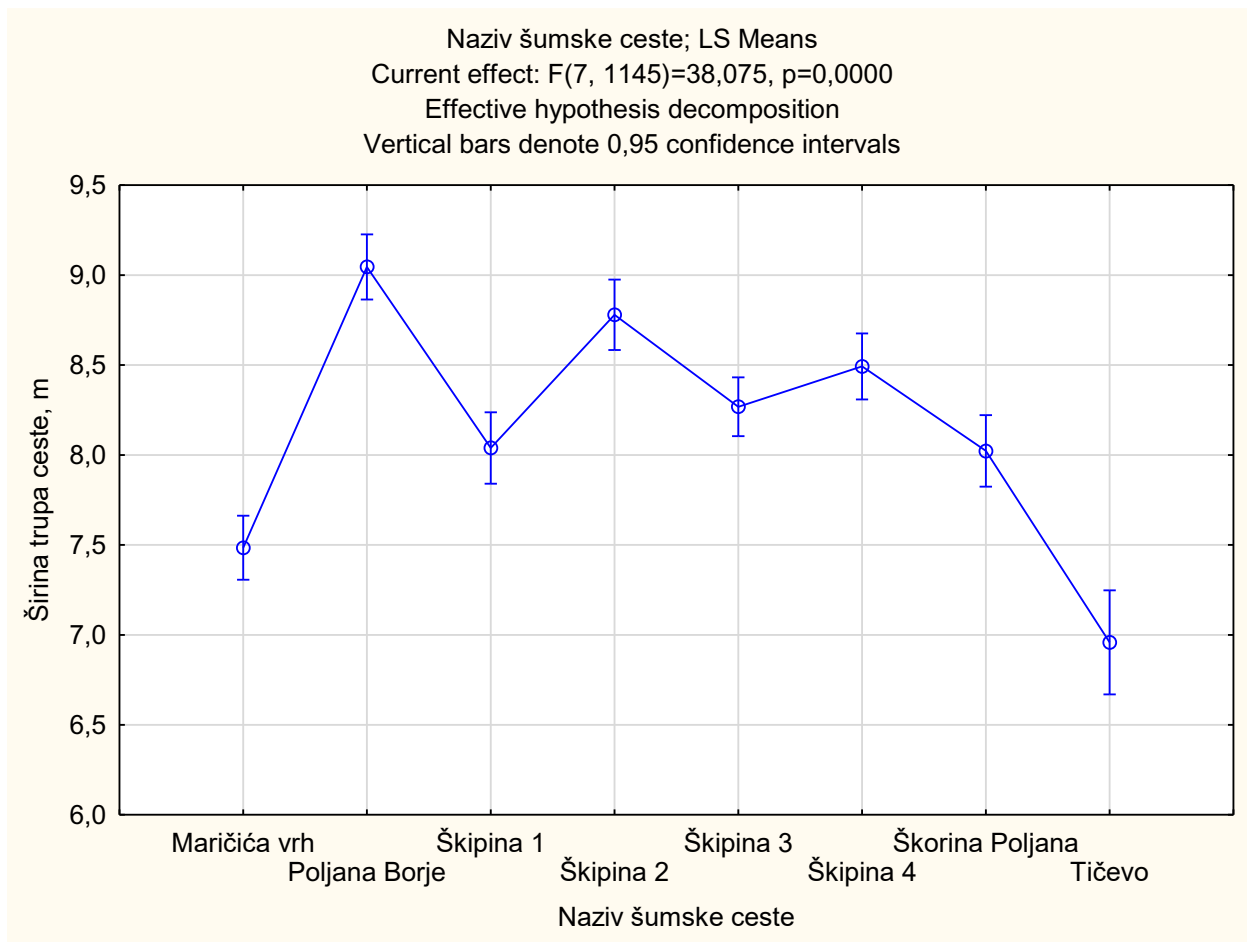


dok s druge strane šumska cesta “Tičevo” koja ima najmanji prosječni poprečni nagib terena ima ujedno i najmanju srednju vrijednosti širine trupa.

**Tablica 11.** Rezultati LSD širine trupa ceste s obzirom na analiziranu šumsku cestu

Cell No.	Naziv šumske ceste	LSD test; variable Širina trupa ceste, m (Spreadsheet1) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 1,3725, df = 1145,0							
		{1} 7,4846	{2} 9,0454	{3} 8,0390	{4} 8,7796	{5} 8,2682	{6} 8,4926	{7} 8,0229	{8} 6,9584
1	Maričića vrh		0,000000	0,000048	0,000000	0,000000	0,000000	0,000079	0,002440
2	Poljana Borje	0,000000		0,000000	0,050469	0,000000	0,000027	0,000000	0,000000
3	Škipina 1	0,000048	0,000000		0,000000	0,080539	0,001023	0,910763	0,000000
4	Škipina 2	0,000000	0,050469	0,000000		0,000088	0,035982	0,000000	0,000000
5	Škipina 3	0,000000	0,000000	0,080539	0,000088		0,073299	0,061524	0,000000
6	Škipina 4	0,000000	0,000027	0,001023	0,035982	0,073299		0,000675	0,000000
7	Škorina Poljana	0,000079	0,000000	0,910763	0,000000	0,061524	0,000675		0,000000
8	Tičevo	0,002440	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	

Prosječna vrijednost širine trupa za sve analizirane profile (1153) iznosi 8,14 m<sup>2</sup> dok se isti parametar gledamo li svaku cestu zasebno kretao u granicama od maksimalne prosječne vrijednosti koja je zabilježena na šumskoj cesti „Poljana Borje“ u iznosu od 9,05 m do minimalne prosječne vrijednosti koja je zabilježena na šumskoj cesti „Tičevo“ u iznosu od 6,96 m. Gledamo li svaki profil zasebno možemo konstatirati kako je maksimalna vrijednost širine trupa zabilježena na šumskoj cesti „Poljana Borje“ u profilu br. 151 i iznosila je 13,26 m dok je minimalna vrijednost zabilježena na istoj šumskoj cesti u profilu br. 247 u iznosu od 5,04 m.



**Slika 17.** Grafički prikaz LSD širine trupa ceste s obzirom na analizirano šumsku cestu

## 5.2. Rezultati modela regresijske analize

Naposljetku koristeći programski paket Statistica 13 uz pomoć multivarijantne regresije ispitali smo ovisnost zavisne (kriterijske) varijable, bilo da se radi o srednjim vrijednostima površine iskopa (tablica 12) ili o srednjim vrijednostima površine nasipa (tablica 13) o nezavisnim (prediktorskim) varijablama koje su predstavljene prosječnim poprečnim nagibom terena i vrijednostima radne kote.

Rezultati modela regresijske analize predstavljeni su tablicama 12 i 13 gdje je vidljivo da uz stupanj pouzdanosti od 95 % možemo zaključiti kao obje nezavisne (prediktorske) varijable statistički značajno utječu na obje zavisne (kriterijske) varijable.

Iz tablica je isto tako razvidno kako je u obje regresijske analize  $R^2$  (Adjusted) relativno visok što nam daje za pravo tvrditi kako izrađenim modelima uspješno opisujemo zavisnosti promatranih varijabli odnosno da nam je dobrotu pristajanja „*goodness of fit*“ na zadovoljavajućoj razini.

**Tablica 12.** Ovisnost površine iskopa o vrijednostima prosječnog poprečnog nagiba terena odnosno visinama radne kote

N=1153	Regression Summary for Dependent Variable: Površina iskopa, m (Spreadsheet1) R= ,89218619 R2= ,79599620 Adjusted R2= ,79564141 F(2,1150)=2243,6 p					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(1150)	p-value
Intercept			0,81801	0,105917	7,7231	0,000000
Prosječni poprečni nagib terena, %	0,442098	0,013408	0,07937	0,002407	32,9735	0,000000
Radna kota, m	-0,725836	0,013408	-3,88932	0,071844	-54,1359	0,000000

$$PI = 0,81801 + 0,07937 \times PAPNT + (-3,88932 \times RK) \quad (\text{izraz 8})$$

Vidljivo je kako nezavisne varijable (prosječni poprečni nagib terena, radna kota) opisuju gotovo 80 % pojavnosti površine iskopa (Adjusted  $R^2= 0,79564141$ ). Povećanjem prosječnog poprečnog nagiba terena za 1 % doći će do povećanja površine iskopa za 0,07937 m<sup>2</sup> dok će se povećanjem vrijednosti radne kote za 1 m vrijednost površine iskopa smanjiti za 3,889 m<sup>2</sup>. Jednadžba ovisnosti površine iskopa o prosječnom poprečnom nagibu terena odnosno vrijednosti radne kote prikazana je u izrazu 8.

**Tablica 13.** Ovisnost površine nasipa o vrijednostima prosječnog poprečnog nagiba terena odnosno visinama radne kote

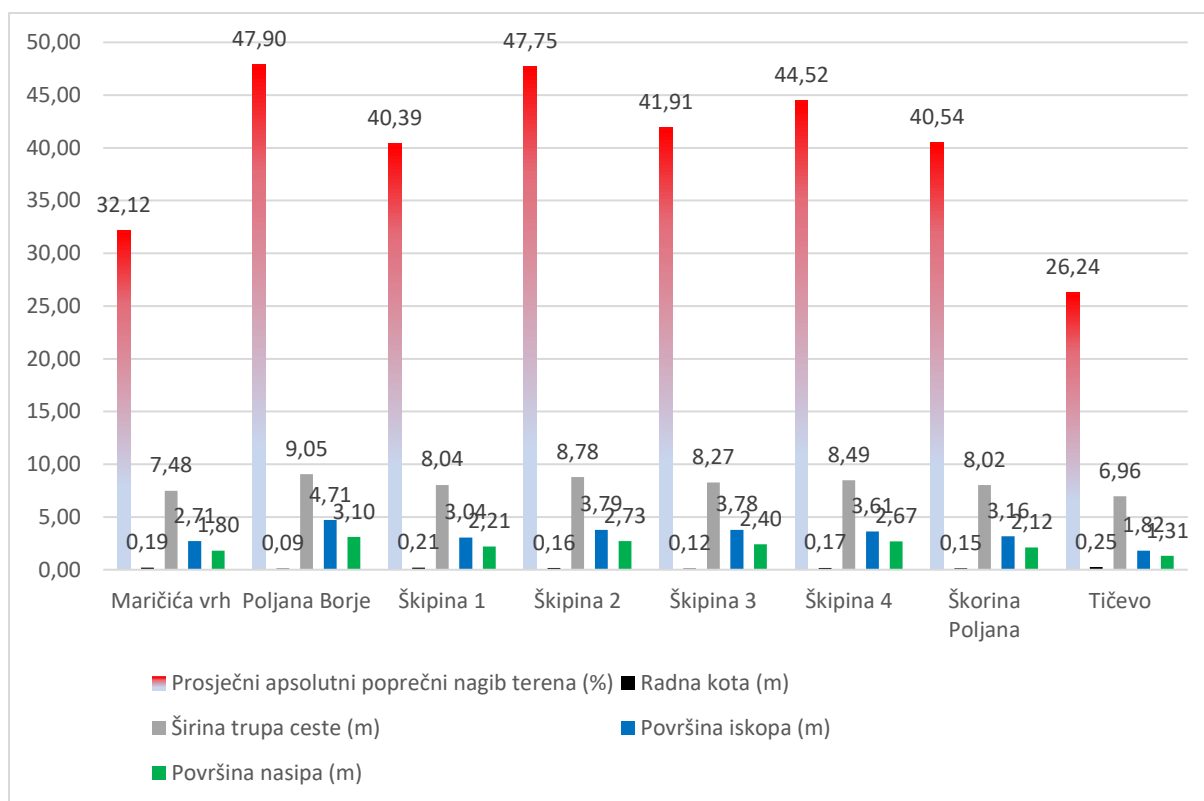
N=1153	Regression Summary for Dependent Variable: Površina nasipa, m (Spreadsheet1) R= ,84458505 R2= ,71332391 Adjusted R2= ,71282535 F(2,1150)=1430,7 p					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(1150)	p-value
Intercept			-1,49605	0,109076	-13,7157	0,00
Prosječni poprečni nagib terena, %	0,518084	0,015894	0,08080	0,002479	32,5965	0,00
Radna kota, m	0,729167	0,015894	3,39431	0,073987	45,8772	0,00

$$PN = -1,49605 + 0,08080 \times PAPNT + 3,39431 \times RK \quad (\text{izraz 9})$$

Kod druge regresijske analize, kod koje nam je zavisna varijabla bila površina nasipa, nezavisne varijable (prosječni poprečni nagib terena, radna kote) opisuju nešto više od 70 % pojavnosti površine iskopa (Adjusted  $R^2= 0,71282535$ ). Povećanjem prosječnog poprečnog nagiba terena za 1 % doći će do povećanja površine nasipa za 0,08080 m<sup>2</sup> dok će se povećanjem vrijednosti radne kote za 1 m vrijednost površine nasipa povećati za 3,394 m<sup>2</sup>. Jednadžba ovisnosti površine nasipa o prosječnom poprečnom nagibu terena odnosno vrijednosti radne kote prikazana je u izrazu 9.

## 6. ZAKLJUČCI

- Planinsko (gorsko) reljefno područje karakterizira vrlo jaka nabranost terena dok je izbor tehničkih elemenata trase šumske ceste minimalan (Pentek i dr. 2016). Upravo te vrlo velike razlike u obliku i konfiguraciji spomenutog reljefnog područja dokazuju i rezultati ovoga istraživanja a očituju se u velikim rasponima prosječnog poprečnog nagiba terena koji se kretao od maksimalnih 47,90 % koliko je iznosio na šumskoj cesti „Poljana Borje“ do minimalnih 26,24 % koliko je iznosio na šumskoj cesti „Tičevo“. Naposljetku možemo zaključiti se na većini analiziranih šumskih cesta (šest od osam) vrijednost poprečnog nagiba terena kretala u vrijednostima od 40 – 50 % (40,39 – 47,90 %) te na temelju navedenog zaključujemo da su oravo navedene vrijednosti nagiba terena karakteristične za planinsko (gorsko) reljefno područje.
- Analizom vrijednosti radne kote uočeno je kako je navedeni parametar imao najmanju varijabilnost uzorka od svih promatranih što objašnjavamo činjenicom kako je niveleta u uzdužno razvijanje terena obavljana od strane istog projektanta pa je samim time i varijabilnost promatrane varijable manja. Na svim analiziranim šumskim cestama vrijednost radne kote imala je pozitivan predznak a prosječna vrijednost iznosila je 17 cm što znači da su prosječne visine nivelete za sve analizirane profile više od prosječnih kota terena za spomenutu vrijednost.
- Temeljem dva navedena parametra uočene su određene pravilnosti u njihovom utjecaju na širinu trupa ceste, površinu nasipa i površinu iskopa. Ovime je dokazan utjecaj prosječnog poprečnog nagiba terena i visine radne kote na širinu trupa ceste, pojavnost površine iskopa odnosno površine nasipa šumskih cesta planinsko (gorskog) reljefnog područja (porastom prosječnog poprečnog nagiba terena i visina radne kote povećavaju se površine iskopa/nasipa i širina trupa šumskih cesta (slika 18)).



**Slika 18.** Utjecaj prosječnog poprečnog nagiba terena na širinu trupa ceste i površine iskopa/nasipa šumskih cesta

- Naposljetku pomoću modela regresijske analize uočene zakonitosti, nezavisnih (prediktorskih) i zavisnih (kriterijskih) varijabli su testirane uz stupanj pouzdanosti od 95 % a relativno visok  $R^2$  (Adjusted) daje nam za pravo tvrditi kako izrađenim modelima uspješno opisujemo zavisnosti promatranih varijabli odnosno da nam je dobrota pristajanja modela „goodness of fit“ na zadovoljavajućoj razini.
- Pomoću dobivenih modela regresijske analize uz izračunatu aproksimaciju maksimalne vjerojatnosti da smo ovom odlukom pogriješili  $p$ -vrijednost (vjerojatnost u oba modela iznosi 0.00000) zaključujemo da će se kod **prvog modela vrijednost zavisna (kriterijska) varijabla POVRŠINA ISKOPA** (tablica 12, izraz 8) povećanjem prosječnog poprečnog nagiba terena za 1 % povećati za  $0,07937 \text{ m}^2$  dok će se povećanjem vrijednosti radne kote za 1 m vrijednost površine iskopa smanjiti za  $3,889 \text{ m}^2$ . Kod **drugog modela vrijednost zavisne (kriterijske) varijable POVRŠINA NASIPA** (tablica 13, izraz 9) će pri povećanju prosječnog poprečnog nagiba terena za 1 % povećati svoju vrijednost za  $0,08080 \text{ m}^2$  dok će se povećanjem vrijednosti radne kote za 1 m vrijednost površine nasipa povećati za  $3,394 \text{ m}^2$ .

- Preporuča se u daljnjim istraživanjima ovakvog tipa analizirati šumske ceste različitih gospodarskih jedinica unutar istoga reljefnog područja odnosno šumske ceste različitih reljefnih područja kako bi se dobio kvalitetniji uvid kako konfiguracija terena unutar različitih gospodarskih jedinica/reljefnih područja utječe na vrijednosti poprečnog nagiba terena, visinu radne kote odnosno na površinu iskopa, površinu nasipa i širinu trupa pri projektiranju šumskih cesta.

## 7. LITERATURA

1. Acar, H., Dursun, E., Gulci, S., Gumus, S., 2017: Assessment of road network planning by using gis-based multi-criteria evaluation for conversion of coppice forest to high forest. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26, 2380-2388.
2. Alonso-Ayuso, A., Escudero, L. F., Guignard, M., Weintraub, A., 2020: On dealing with strategic and tactical decision levels in forestry planning under uncertainty. *Computers & Operations Research*, 115, 104836.
3. Anderson, A.E., Nelson, J., 2004: Projecting vector-based road networks with a shortest path algorithm. *Can. J. For. Res.* 34: 1444–1457.
4. Anon., 2000a: Forest roads manual. Oregon department of forestry, State forest program, 207 p.
5. Aruga, K., Sessions, J., Akay, A.E., 2005: Heuristic planning techniques applied to forest road profiles. *Journal of Forest Research* 10(2): 83–92.
6. Aulerich, E., 1996: Better engineering and control of the construction of forest roads. *Proceedings of the Seminar on Environmentally sound forest roads and wood transport, Sinaia (Romania)*.
7. Avdibegović, M., Petrović, N., Nonić, D., Posavec, S., Marić, B., Vuletić, D., 2010: Spremnost privatnih šumoposjednika u Hrvatskoj, Srbiji, Bosni i Hercegovini na suradnju pri izgradnji i održavanju šumskih cesta, *Šumarski list* 12(134): 55–64.
8. B.C. Ministry of Forests, 2002: Forest road engineering guidebook. *For. Prac. Br.*, B.C. Min. For., Victoria, B.C. Forest Practices Code of British Columbia Guidebook.
9. Backmund, F., 1966: Kennzahlen für den Grad der Erschließung von Forstbetrieben durch autofahrbare Wege. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 85(11), 342-354.
10. Bertolotto, P., Calienno, L., Conforti, M., D'Andrea, E., Lo Monaco, A., Magnani, E., Marinšek, A., Micali, M., Picchio, R., Sicuriello, F., Spina, R., Venanzi, R., 2016: Assessing indicators of forest ecosystem health. *Ann. Silv. Res.*, 40, 64–69.
11. Bont, L., Heinemann, H.R., 2012: Optimum geometric layout of a single cable road. *European Journal of Forest Research* 131(5): 1439–1448.
12. Boston, K., 2016: The potential effects of forest roads on the environment and mitigating their impacts. *Current Forestry Reports*, 2(4), 215-222.
12. Bouchard, M., D'Amours, S., Rönnqvist, M., Azouzi, R., Gunn, E., 2017: Integrated optimization of strategic and tactical planning decisions in forestry. *European Journal of Operational Research*, 259(3), 1132-1143.



13. Bowers, and John J Garland, 2012: *Designing Woodland Roads*. Corvallis, Or. : State College. Federal Cooperative Extension Service, Oregon, S. (Steven Clay) Oregon State University.
14. Bumber, Z., 2011: *Primjena GIS-a pri analizi otvorenosti GJ Šiljakovačka dubrava II kroz strukturu prihoda drva u prostoru i vremenu*. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–39.
15. Clark, M.M., 1998: *The forest harvesting problem: integrating operational and tactical planning*. PhD Dissertation, Auburn University, Industrial and System Engineering USA, 1–296.
16. Contreras, M., Aracena, P., Chung, W., 2012: *Improving Accuracy in Earthwork Volume Estimation for Proposed Forest Roads Using a High-Resolution Digital Elevation Model*. *Croatian Journal of Forest Engineering* 33(1): 125–142.
17. Contreras, M., Chung, W., 2007: *Computer approach to finding an optimal log landing location and analyzing influencing factors for ground-based timber harvesting*. *Canadian Journal of Forest Research*, 37(2): 276–292.
18. Craven, M., Wing, M.G., 2014: *Applying airborne LiDAR for forested road geomatics*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29(2): 174–182.
19. D'Amours, S., Rönnqvist, M., Weintraub, A., 2008: *Using operational research for supply chain planning in the forest products industry*. *INFOR: information systems and operational research* 46(4): 265–281.
20. Demir, M., 2007: *Impacts, management and functional planning criterion of forest road network system in Turkey*. *Transportation Research Part A*, 41, 56–68.
21. Dietz, P., Knigge, W., Löffler, Walderschließung, H., 1984: *Ein Lehrbuch für Studium und Praxis unter Besonderer Berücksichtigung des Waldwegebbaus*; Parey: Hamburg/Berlin, Germany, p. 426.
22. Donnelly, D. M., 1978: *Computing average skidding distance for logging areas with irregular boundaries and variable log density (Vol. 58)*. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
23. Đuka, A., Grigolato, S., Papa, I., Pentek, T., Poršinsky, T. 2017: *Assessment of timber extraction distance and skid road network in steep karst terrain*. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 10(6), 886.
24. Enache, A., Ciobanu, V. D., Kühmaier, M., Stampfer, K., 2013: *An integrative decision support tool for assessing forest road options in a mountainous region in Romania*. *Croatian*

- Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering, 34(1), 43-60.
25. Epstein, R., Rönnqvist, M., Weintraub, A., 2007: Forest transportation. In Handbook of operations research in natural resources (pp. 391-403). Springer, Boston, MA.
  26. Folegatti, B., 2009: The application of precision forestry technologies in logging operations. Doctoral dissertation, p. 1-127.
  27. Forsberg, M., Frisk, M., Rönnqvist, M., 2005: FlowOpt—a decision support tool for strategic and tactical transportation planning in forestry. *International Journal of Forest Engineering*, 16(2), 101-114.
  28. Gregory J. Taylor, P.E., 2013: Roadway Horizontal Alignment Design. A SunCam online continuing education course, p. 1-43.
  29. Greulich, F. E., 1987: The quantitative description of cable yarder settings—parameters for the triangular setting with apical landing. *Forest science*, 33(3), 603-616.
  30. Gumus, S., Acar, H.H., Toksoy, D., 2008: Functional forest road network planning by consideration of environmental impact assessment for wood harvesting. *Environmental Monitoring and Assessment* 142(1–3): 109–116.
  31. Hasić, A., 2014: Višestruko uspoređivanje. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-Matematički fakultet, Matematički odsjek. Diplomski rad, 67 str.
  32. Hay, R., 1996: Forest road design. Proceedings of the Seminar on Environmentally sound forest roads and wood transport, Sinaia (Romania).
  33. Hayati, E. Majnounian, B., Abdi, E., 2017: Qualitative evaluation and optimization of forest road network to minimize total costs and environmental impacts. *iForest Biogeosci. For.*, 5, 121–125.
  34. Hayati, E., Majnounian, B., Abdi, E., 2012: Qualitative evaluation and optimization of forest road network to minimize total costs and environmental impacts. *iForestBiogeosciences and Forestry*, 5(3), 121.
  35. Hayati, E., Majnounian, B., Abdi, E., Sessions, J., Makhdoum, M., 2013: An expertbased approach to forest road network planning by combining Delphi and spatial multicriteria evaluation. *Environmental monitoring and assessment*, 185(2), 1767-1776.
  36. Heinimann, H. R., 2017: Forest road network and transportation engineering—state and perspectives. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 38(2), 188-173.

37. Heinimann, H. R., 2021: Pavement Engineering for Forest Roads: Development and Opportunities. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 42(1), 91-106.
38. Hodić, I., Jurušić, Z., 2011: Analysis of Primary Openness of Forest Managed by Hrvatske Šume Ltd. as Basis for Designing of Future Policy Forest Roads Construction. *Šumarski list*, 135(9-10), 487-499.
39. Jeličić, V., 1983: Šumske ceste i putevi. Samoupravna interesna zajednica odgoja i usmjerenog obrazovanja šumarstva i drvne industrije, Zagreb, 193 str.
40. Jurušić, Z., 2008: Projektiranje i gradnja šumskih prometnica, Hrvatske šume d.o.o.
41. Karlsson, J., Rönnqvist, M., 2005: Operations research based hierarchical harvest planning in Sweden and elsewhere. In: Karlsson, J. 2005. Optimization models and methods for harvest planning and forest road upgrading. Linköping studies in science and technology. Dissertations no. 956. Linköping. ISBN 91-85299-72-3. ISSN 0345-7524.
42. Karlsson, J., Rönnqvist, M., Frisk, M., 2006: RoadOpt: a decision support system for road upgrading in forestry. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21(S7): 5–15.
43. Kluender, R., Weih, R., Corrigan, M., Pickett, J., 2000: The use of a geographic information system in harvest landing location for ground-based skidding operations. *Forest products journal*, 50(3): 87–92.
44. Kobasić, D., 2013: Ceste i cestovni objekti. Nastavno pismo za programe obrazovanja odraslih. Škola za cestovni promet, Zagreb.
45. Korlaet, Ž., 1995: Uvod u projektiranje i građenje cesta. Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 208 str.
46. Kramer, B. W., 2001: Forest road contracting, construction, and maintenance for small forest woodland owners. Corvallis, Or.: Oregon State University, College of Forestry, Forest Research Laboratory.
47. Krč, J., Beguš, J., 2013: Planning forest opening with forest roads. *Croatian Journal of Forest Engineering* 34(2): 217–228.
48. Krumov, T., 2019: Determination of the optimal density of the forest road network. *Journal of Forest Science*, 65(11), 438-444.
49. Kühmaier, M., Stampfer, K., 2010: Development of a Multi-Attribute Spatial Decision Support System in Selecting Timber Harvesting Systems. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 31(2), str. 75-88.

50. Kuonen, V., 1983: Wald - und Güterstrassen. Planung—Projektierung—Bau; SelfPublished: Pfaffhausen, Germany, p. 743.
51. Laschi, A., Foderi, C., Fabiano, F., Neri, F., Cambi, M., Mariotti, B., Marchi, E., 2019: Forest road planning, construction and maintenance to improve forest fire fighting: a review. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 40(1), 207-219.
52. Laschi, A., Neri, F., BrachettiMontorselli, N., Marchi, E.A., 2016: Methodological Approach Exploiting Modern Techniques for Forest Road Network Planning. *Croat. J. For. Eng.*, 37, 319–331.
53. Lepoglavec, K., 2014: Optimizacija primarne i sekundarne šumske prometne infrastrukture nagnutih terena. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, s. 1-341.
54. Litzka, J., Haslehner, W., 1995: Appropriate environmental design and construction of low-volume rural roads in Austria. *Proceedings of the sixth international conference on low-volume roads in Minneapolis*, National Academy Press, Washington, 67–73 p.
55. Liu, S., Corcoran, T.J., 1993: Road and landing spacing under the consideration of surface dimension of road and landings. *Journal of Forest Engineering*, 5(1): 49–53.
56. Lovrić, N., 1976: Mogućnost primjene centralnog izvlačenja kod planiranja i projektiranja šumskih transportnih sustava, Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, s. 1-200.
57. Lugo, E. A., Gucinski, H., 2000: Function, effects, and management of forest roads. *Forest Ecology and Management* 133 (2000), 249-262.
58. MacDonald, A. J., 1999: Harvesting Systems and Equipment in British Columbia. *Forest Engineering Research Institute of Canada. FERIC, Handbook No., HB-12*, 1 – 197.
59. Magagnotti, N., Spinelli, R., Güldner, O., Erler, J., 2012: Site impact after motor-manual and mechanised thinning in Mediterranean pine plantations. *Biosyst. Eng.*, 113, 140–147.
60. Marchi, E., Picchio, R., Spinelli, R., Verani, S., Venanzi, R., Certini, G., 2014: Environmental impact assessment of different logging methods in pine forests thinning. *Ecol. Eng.*, 70, 429–436.
61. Matthews, D.M., 1942: *Cost Control in the Logging Industry*. McGraw–Hill Book Company Inc., New York, USA, 1–374.
62. Parsakhoo, A., 2016: Technical assessment of forest road network using Backmund and surface distribution algorithm in a hardwood forest of Hyrcanian zone. *Forest systems*, 25(2), 3.

63. Pellegrini, M., Grigolato, S., Cavalli, R., 2013: Spatial multicriteria decision process to define maintenance priorities of forest road network: An application in the Italian alpine region. *Croatian Journal of Forest Engineering* 34(1): 31–42.
64. Pentek, T., 2002: Računalni modeli optimizacije mreže šumskih cesta s obzirom na dominantne utjecajne čimbenike. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. 1–271.
65. Pentek, T., 2012: Skripta iz kolegija Šumske prometnice. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 373 str.
66. Pentek, T., Đuka, A., Papa, I., Damić, D. i Poršinsky, T., 2016: Elaborat učinkovitosti primarne šumske prometne infrastrukture – alternativa studiji primarnog otvaranja šuma ili samo prijelazno rješenje? *Šumarski list*, 140 (9-10), 435-452.
67. Pentek, T., Nevečerel, H., Ecimović, T., Lepoglavec, K., Papa, I., Tomašić, Ž., 2014: Strategijsko planiranje šumskih prometnica u Republici Hrvatskoj – raščlamba postojećeg stanja kao podloga za buduće aktivnosti. *Nova mehanizacija šumarstva*, 35, 63-78.
68. Pentek, T., Nevečerel, H., Poršinsky, T., Dasović, K., Šušnjar, M., Potočnik, I., 2010: Analiza sekundarne otvorenosti šuma gorskog područja kao podloga za odabir duljine uža vitla. *Šumarski list*, 134 (5-6), str. 241-248.
69. Pentek, T., Pičman, D., Nevečerel, H., 2004: Srednja udaljenost privlačenja drva. *Šumarski list*, 127(9-10), 545-558.
70. Pentek, T., Pičman, D., Nevečerel, H., 2005b: Planiranje šumskih prometnica – postojeća situacija, determiniranje problema i smjernice budućeg djelovanja. *Nova mehanizacija šumarstva* 26(1): 55–63.
71. 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.
72. Pentek, T., Potočnik, I., Jurušić, Z., Lepoglavec, K., 2012: Strategic planning of forest road network in Croatia – analysis of present situation as basis for future activities. *Symposium on Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment*, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, CD-ROM.
73. Petković, V., Marčeta, D., Potočnik, I., 2014: Horizontal and vertical alignments of forest roads. *Nova mehanizacija šumarstva* 35(1): 79–87.
74. Picchio, R., Pignatti, G., Marchi, E., Latterini, F., Benanchi, M., Foderi, C., Venanzi, R., Verani, S., 2018: The Application of Two Approaches Using GIS Technology

- Implementation in Forest Road Network Planning in an Italian Mountain Setting. *Forests*, 9(5), 277.
75. Pičman, D., 2007: Šumske prometnice. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. S. 1-460.
76. Pičman, D., Pentek, T., 2005: Primjena novih tehnologija pri otvaranju šuma. Nova mehanizacija šumarstva - posebno izdanje. 26 (2005), 1 ; 103-106., 26 (1), 103-106.
77. Pičman, D., Pentek, T., Nevečerel, H., 2006: Otvaranje šuma šumskim cestama-odabir potencijalnih lokacija trasa budućih šumskih cesta. *Glasnik za šumske pokuse*, 1(Posebno izdanje 5), 617-633.
78. Pičman, D., Pentek, T., Nevečerel, H., Papa, I., Lepoglavec, K., 2011: Possibilities of application of relative openness in secondary forest opening of slope forests in Croatia. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 32(1), 427-430.
79. Poršinsky, T., Đuka, A., Papa, I., Bumber, Z., Janeš, D., Tomašić, Ž., Pentek, T., 2017: Kriteriji određivanja gustoće primarne šumske prometne infrastrukture–primjeri najčešćih slučajeva. *Šumarski list*, 141(11-12), 593-607.
80. Poršinsky, T., Stankić, I., Bosner, A., 2011: Ecoefficient Timber Forwarding Based on Nominal Ground Pressure Analysis. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32 (1), 345 – 356.
81. Potočnik, I., 1996: THE MULTIPLE USE OF FOREST ROADS AND THEIR CLASSIFICATION. Proceedings of the Seminar on Environmentally Sound Forest Roads and Wood Transport. FAO, Sinaia, Romania 17-22.
82. Sedlak, O.K., 1996: Forest road construction policies in Austria. Proceedings of the Seminar on Environmentally Sound Forest Roads and Wood Transport. Sinaia, Romania 17–22 June.
83. Segebaden Von G., 1964: Studies of cross-country transport distances and road net extension. *Studia Forestalia Suecica* 18, p. 67.
84. Sessions, J., 2007: Harvesting operations in the tropics. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1–170.
- Spaeth, R., 1996: Environmentally sound forest road construction in Nordrhein – Westfalen, Germany. Proceedings of the Seminar on Environmentally sound forest roads and wood transport, Sinaia (Romania).
85. Stankić, I., 2010: Višekriterijsko planiranje izvoženja drva forvarderima iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1-123.

86. Šikić, D., B. Babić, D. Topolnik, I. Knežević, D. Božičević, Ž. Švabe, I. Piria, S. Sever, 1989: Tehnički uvjeti za gospodarske ceste. Znanstveni savjet za promet Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Zagreb, 78 str.
  87. Šušnjar, M., Horvat, D. Pandur, Z., Zorić, M., 2011b: Određivanje osovinskih opterećenja kamionskoga i tegljačkoga skupa za prijevoz drva. *Croatian Journal of Forest Engineering* 32(1): 379–388.
  88. Talebi, M., Majnounian, B., Abdi, E., Tehrani, F.B., 2015: Developing a GIS database for forest road management in Arasbaran forest, Iran. *Forest Science and Technology* 11(1): 27–35.
  89. Tavankar, F., Bonyad, A., Marchi, E., Venanzi, R., Picchio, R., 2015: Effect of logging wounds on diameter growth of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) trees following selection cutting in Caspian forests of Iran. *New Zeal. J. For. Sci.*, 45, 19. [CrossRef]
  90. Tavankar, F., Nkkooy, M., Venanzi, R., Lo Monaco, A., Picchio, R., 2018: Study of forest road effect on tree community and stand structure in three Italian and 1 Iranian temperate forests. *Croat. J. For. Eng.*, 39, 57–70.
  91. Toscani, P., Sekot, W., Holzleitner, F., 2020: Forest Roads from the Perspective of Managerial Accounting—Empirical Evidence from Austria. *Forests*, 11(4), 378.
  92. Tucek, J., Pacola, R., 2005: Spatial decision support system for laying out forest roads on the basis of skidding distances modeling. *Nova Mehanizacija Šumarstva*, 26(2): 97–102.
  93. White, R. A., Dietterick, B.C., Mastin, T., Strohmman, R., 2010: Forest Roads Mapped Using LiDAR in Steep Forested Terrain. *Remote Sens.* 2010, 2, 1120-1141.
  94. Winkler, N., 1998: Environmentally Sound Road Construction in Mountainous Terrain, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 54 p.
  95. Zhang, F., Dong, Y., Xu, S., Yang, X., Lin, H., 2020: An approach for improving firefighting ability of forest road network. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 35(8), 547-561.
  96. Zhixian, Z., Zhili, F., 1997: The method of calculating average skidding distance. *Journal of Forestry Research*, 8(1), 47-49.
- \*\* Pravilnik o jednostavnim i drugim građevinama i radovima (112/17, 34/18, 36/19, 98/19, 31/20).
- \*\* Pravilnik o provedbi mjere 4 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i

šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 65/2017, NN 84/2018).

\*\* Zakon o cestama (NN 84/11, 22/13, 54/13, 148/13, 92/14, 110/19).

\*\* Program ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. - 2020. (NN 166/15, 65/17, 77/17).