

VLADIMIR PETKOVIĆ

OPTIMIZACIJA OTVORENOSTI ŠUMA PRIMJENOM MODERNIH
TEHNOLOGIJA

AUTOR

dr Vladimir Petković, docent

IZDAVAČ

Univerzitet u Banjoj Luci
Šumarski fakultet

RECENZENTI

Prof. Dr Igor Potočnik, redovni profesor, Univerzitet u Ljubljani, Biotehnički fakultet

Prof. Dr Dane Marčeta, vanredni profesor, Univerzitet u Banjoj Luci, Šumarski fakultet

PRELOM I TEHNIČKA PRIPREMA

dr Vladimir Petković, docent

ŠTAMPA

Grafid d.o.o., Banja Luka

TIRAŽ

100

ISBN

Naučno-nastavno vijeće Šumarskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci je na sjednici održanoj 20.11.2023. godine donijelo Odluku (broj: 17/3.1614-7/23) o prihvatanju recenzija i dalo saglasnost za štampanje monografije „Optimizacija otvorenosti šuma primjenom modernih tehnologija“ autora dr Vladimira Petkovića, docent.

UNIVERZITET U BANJOJ LUCI
ŠUMARSKI FAKULTET

VLADIMIR PETKOVIĆ

OPTIMIZACIJA OTVORENOSTI ŠUMA PRIMJENOM MODERNIH
TEHNOLOGIJA

BANJA LUKA, 2023.

PREDGOVOR

Tradicionalni pristup planiranju gazdovanja šumama uopšte, ali i pojedinih njegovih faza kao što je planiranje šumskih puteva polako, ali sigurno se mijenja i ustupa mjesto prije svega modernim informacionim tehnologijama. One su danas sve prisutne u fazama prikupljanja podataka, ali i u njihovoj obradi koja se sve više zasniva na višekriterijumskim analizama. Svjedoci smo prave poplave različitih računarskih programa, aplikacija, alata i algoritama za provođenje prostorne i statističke analize. Istovremeno, ove metode i alati zahtijevaju veliki broj što preciznijih podataka kako o stanju šuma i drvene mase, reljefu, korišćenju šumskog prostora uopšte, za što kvalitetnije rezultate analiza u cilju planiranja šumskih puteva.

Planiranje šumskih puteva ima za cilj optimalno otvoriti šumu i kompletan šumski prostor sa aspekta minimiziranja troškova transporta, reljefnih uslova i zadovoljavanja potreba i interesa svih korisnika šumskog prostora. Planiranje šumskih puteva podrazumijeva optimizaciju otvorenosti šuma i projektovanje šumskih puteva što se danas ne može zamisliti bez modernih informacionih tehnologija. Svrha korišćenja dostignuća savremene civilizacije jeste dobijanje kvalitetnih rezultata, humanizacija rada i olakšavanje donošenja konačnih odluka šumarskoj operativi kada je u pitanju određivanje rasporeda šumskih puteva u prostoru, a sve u cilju ostvarenja proizvodnih ciljeva uz istovremenu zaštitu šumskih ekosistema.

Ova monografija je prvo zbirka naučnih dostignuća iz oblasti šumskog građevinarstva, planiranja šumskih puteva, optimizacije otvorenosti šuma i njihovog projektovanja. Potom, rezultati istraživanja ukazuju šta bi trebalo uraditi u odabranim šumskim područjima kada je u pitanju otvaranje šuma. Treće, ona ima svojstva uputstva za korišćenje geografsko informacionih sistema i programa za projektovanje puteva RoadEng jer su jasno i precizno opisani načini upotrebe svih primjenjenih metoda i alata kako bi se došlo do potrebnih rezultata. Na kraju, predlaže obavezu izrade planova šumskih puteva i uopšte prostornih planova korišćenja šumskog prostora kao sastavni dio planiranja gazdovanja šumama odnosno privredno-planske dokumentacije.

SADRŽAJ

1. UVOD	11
2. PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA	14
2.1. Geografsko informacioni sistem (GIS)	21
3. METODOLOGIJA I LOKALITET ISTRAŽIVANJA.....	32
3.1. Predmet istraživanja	32
3.1.1. Privredna jedinica “Prosara”	33
3.1.2. Privredna jedinica “Bobija-Ribnik”	35
3.2. Metod istraživanja	37
3.2.1. Analiza otvorenosti šuma	38
3.2.1.1. Određivanje gustine šumskih puteva.....	38
3.2.1.2. Određivanje srednje daljine privlačenja	39
3.2.1.2.1. Postojeća geometrijska daljina privlačenja	40
3.2.1.2.2. Postojeća stvarna daljina privlačenja.....	43
3.2.1.2.3. Teorijska geometrijska daljina privlačenja	47
3.2.1.2.4. Teorijska stvarna daljina privlačenja.....	47
3.2.1.2.5. Optimalna stvarna daljina privlačenja	47
3.2.1.2.6. Optimalna geometrijska daljina privlačenja	48
3.2.2. Određivanje optimalne gustine šumskih puteva	49
3.2.2.1. Određivanje relativne otvorenosti šuma	55
3.2.2.2. Određivanje koeficijenta efikasnosti postojeće mreže šumskih puteva	58
3.2.3. Izrada prostornog plana novih šumskih puteva	59
3.2.3.1. Višekriterijumska analiza	59
3.2.3.2. Izrada generalnog projekta šumskih puteva	64
3.2.3.3. Izrada idejnih projekata šumskih puteva	67

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA	92
4.1. Analiza postojeće primarne otvorenosti šuma	92
4.1.1. Gustina šumskih puteva	92
4.1.2. Srednja daljina privlačenja	93
4.2. Optimalna gustina šumskih puteva.....	98
4.2.1. Relativna otvorenost šuma za postojeću mrežu šumskih puteva	100
4.2.2. Koeficijent efikasnosti postojeće mreže šumskih puteva	101
4.3. Izrada prostornog plana novih šumskih puteva.....	102
4.3.1. Područja pogodna za gradnju novih šumskih puteva	102
4.3.2. Predloženi šumski putevi-generalni projekat	106
4.4. Analiza otvorenosti šuma za nadograđenu mrežu šumskih puteva	110
4.4.1. Gustina šumskih puteva	110
4.4.2. Srednja daljina privlačenja	111
4.4.3. Relativna otvorenost šuma.....	112
4.4.4. Koeficijent efikasnosti	113
4.4.5. Idejni projekti šumskih puteva	114
4.4.6. Ekonomsko-finansijska analiza	121
5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA	122
REFERENCE	129

SADRŽAJ SLIKA

Slika 1 Reljefna područja u RS i BiH	15
Slika 2 Optimizacija primarne otvorenosti šuma.....	16
Slika 3 Katastar šumskih puteva u Republici Sloveniji	20
Slika 4 Slojevi u GIS – u (Emrulović, 2020; Osmančević, 2023; Šubat, 2011)	22
Slika 5 Prikaz elemenata GIS-a (DESA, 2015; Emrulović, 2020; Osmančević, 2023)	23
Slika 6 Vektorske vrste podataka (de Groot, 2020)	25
Slika 7 Vektorski podatak – tačke (Osmančević, 2023)	25
Slika 8 Vektorski podatak – linija (Osmančević, 2023)	26
Slika 9 Vektorski podatak – poligon (Osmančević, 2023)	26
Slika 10 Rasterski tip podatka (Osmančević, 2023)	27
Slika 11 Slikovne koordinate (Jovanović et al., 2012)	27
Slika 12 Položaj PJ “Prosara” na teritoriji BiH	33
Slika 13 Lokacija PJ “Bobija-Ribnik” u BiH.....	35
Slika 14 Model određivanja geometrijske daljine privlačenja.....	41
Slika 15 Geometrijska udaljenost težišta odjela od šumskog puta	41
Slika 16 Model određivanja geometrijske daljine privlačenja pomoću metode Euklidove udaljenosti	42
Slika 17 Geometrijska daljina privlačenja dobijena Euclidovom metodom	42
Slika 18 Grafikon rastojanje između šumski puteva i minimalni ukupni troškovi transporta drveta (prilagođeno po Poršinsky et al., 2017).....	50
Slika 19 Model određivanje otvorenih područja	57
Slika 20 Model određivanja višestruko otvorenih površina unutar otvorenog područja	59
Slika 21 Višekriterijumska analiza	62
Slika 22 Višekriterijumska analiza odabranih ponderisanih kriterijuma u GIS-u-karta pogodnosti područja za gradnju u PJ “Prosara” (Petković, 2019; Petković, 2023).....	63
Slika 23 Određivanje tangensa ugla nagiba zemljišta.....	65
Slika 24 Projektovanje šumskih komunikacija pomoću QGIS-a.....	65
Slika 25 Projektovanje nulte linije u ArcGISu.....	66

Slika 26 RoadEng – povezanost modula (Softree, 2023)	67
Slika 27 Priprema podatka za projektovanje šumskih puteva u Terrain modulu	68
Slika 28 Pripremljen sadržaj u Terrain modulu uvučen u modul Location i spreman za izradu idejnih projekata.....	68
Slika 29 Definisanje elemenata situacije šumskog puta	69
Slika 30 Panel za konstruisane horizontalnih krivina.....	70
Slika 31 Prozor za definisanje parametara određene vrste puta	71
Slika 32 Konkavne i konveksne vertikalne krivine	72
Slika 33 Skica horizontalne krivine.....	75
Slika 34 Konstruktivni elementi puta u uzdužnom profilu	76
Slika 35 Panel za vertikalne krivine	77
Slika 36 Objašnjenje K koeficijenta kod vertikalnih krivina i računanje njenog poluprečnika (Trimble, 2023).....	78
Slika 37 Definisanje konstruktivnih elemenata poprečnih profila šumskog puta	80
Slika 38 Najčešći oblici poprečnih profila šumskog puta (Softree, 2002) ..	81
Slika 39 Poprečni profil šumskog puta u nasipu na zemljištu III kategorije (IRPC, 2002).....	81
Slika 40 Poprečni profil šumskog puta na III kategoriji terena u zasjeku (IRPC, 2002).....	82
Slika 41 Poprečni profil šumskog puta na zemljištu IV kategorije u zasjeku (IRPC, 2002).....	82
Slika 42 Poprečni profil šumskog puta u zasjeku na V kategoriji terena (IRPC, 2002)	82
Slika 43 Data Windows Options dialog box (Softree, 2023)	84
Slika 44 Point Type Selection dialog box (Softree, 2023)	85
Slika 45 Data Windows Fields (Softree, 2023).....	85
Slika 46 Data table - Tabela analitičko nivelanje masa (Softree, 2023).....	86
Slika 47 Područja primjene Vertex Laser Geo (Haglof, 2022; Petković, 2023)	87
Slika 48 Tabela za unos podataka terenskih snimanja	88
Slika 49 Prozor za unošenje podataka snimanja poprečnih profila terena ...	89
Slika 50 Prozor za unos slojeva zemljišta.....	89

Slika 51 Panel za unos podatka o vodotocima, jarugama i cijevnim propustima.....	90
Slika 52 Metod udaljenosti težišta odjela od najbližeg šumskog puta	93
Slika 53 Metod Euklidove udaljenosti.....	93
Slika 54 Reljefna područja	94
Slika 55 Karte nagiba terena.....	96
Slika 56 Karte otvorenih područja	101
Slika 57 Karte višestruko i jednostruko otvorenih područja.....	102
Slika 58 Karta pogodnosti područja PJ “Bobija-Ribnik” za gradnju šumskih puteva	105
Slika 59 Postavljene nulte linije u nedovoljno otvorenim i pogodnim područjima za gradnju šumskih puteva	107
Slika 60 Metod udaljenosti težišta odjela od šumskih puteva	111
Slika 61 Metod Euklidove udaljenosti.....	111
Slika 62 Otvorena područja za nadograđenu mrežu šumskih puteva	112
Slika 63 Višestruko i jednostruko otvorena područja za nadograđenu mrežu šumskih puteva	113
Slika 64 Situacija šumskog puta u idejnom projektu	114
Slika 65 Uzdužni profil terena i niveleta sa lomovima i vertikalnim krivinama	115
Slika 66 Poprečni profili šumskog puta	115
Slika 67 Iskaz kubature ili Analitičko nivelanje masa na šumskim putevima	116
Slika 68 Situacija šumskog puta u PJ “Bobija-Ribnik”	118
Slika 69 Uzdužni profil šumskog puta u PJ “Bobija-Ribnik”	118
Slika 70 Poprečni profili šumskog puta u PJ “Bobija-Ribnik”	119
Slika 71 Podaci analitičkog nivelanje masa u PJ “Bobija-Ribnik”	119

SADRŽAJ TABELA

Tabela 1 Primarna otvorenost šuma u BiH (IRPC & Šuma plan, 2019; Petković 2019; Sokolović & Bajrić 2013b).....	14
Tabela 2 Karakteristike kategorija šuma u PJ “Prosara” (IRPC, 2013a)	34
Tabela 3 Karakteristike kategorija šuma u PJ “Bobija-Ribnik” (IRPC, 2013b)...	36
Tabela 4 Koeficijent razvijanja linije puta za različite nagibe terena (Jeličić, 1985; Prema Osmančević, 2023; Sokolović & Bajrić, 2013a).....	44
Tabela 5 Ocjena sekundarne relativne otvorenosti (Pentek, 2002)	57
Tabela 6 Širina kolovoza šumskih puteva (IRPC, 2002)	83
Tabela 7 poprečni nagib kolovoza zavisno od nagiba nivelete i poluprečnika krivine (IRPC, 2002)	84
Tabela 8 Nagibi škarpi usjeka i nasipa (IRPC, 2002).....	84
Tabela 9 Postojeći šumski putevi koji otvaraju šumu i njihova gustina.....	92
Tabela 10 Faktor produženja zavisno od reljefnog područja u PJ “Prosara” (Petković, 2019)	95
Tabela 11 Faktor produženja zavisno od reljefnog područja u PJ “Bobija-Ribnik” (Petković, 2019).....	95
Tabela 12 Faktor privlačenja zavisno od nagiba terena i zaobilaženja prepreka u.....	96
Tabela 13 Faktor privlačenja zavisno od nagiba terena i zaobilaženja prepreka u PJ “Bobija-Ribnik” (Petković, 2019)	97
Tabela 14 Srednja stvarna daljina privlačenja	97
Tabela 15 Ponderisana ciljana gustina šumskih puteva	98
Tabela 16 Ciljana daljina privlačenja.....	100
Tabela 17 Rezultati upitnika (Petković, 2019)	103
Tabela 18 Matrica poređenja (Petković, 2019)	103
Tabela 19 Matrica normalizovanih vektora (Petković, 2019)	104
Tabela 20 RI-indeks slučajnih brojeva (Saaty, 1980)	104
Tabela 21 Predloženi šumski putevi u PJ “Prosara”	108
Tabela 22 Predloženi šumski putevi u PJ “Bobija-Ribnik”	109
Tabela 23 dužina nadograđene mreže šumskih puteva	110
Tabela 24 Srednja stvarna daljina privlačenja za nadograđenu mrežu šumskih puteva	112
Tabela 25 Poređenje dužine postavljenih nultih linija za predložene šumske puteve i njihovih dužina u idejnim projektima u PJ “Prosara”	117
Tabela 26 Poređenje dužine postavljenih nultih linija za predložene šumske puteve i njihovih dužina u idejnim projektima	120
Tabela 27 Troškovi gradnje šumskih puteva.....	121

1. UVOD

Termin optimizacija ili pronalaženje optimalnog rješenja danas se često može čuti u procesu rješavanja određenih zadataka i problema. U matematici proces optimizacije je u načelu jednostavan, jer se traži minimalna vrijednost funkcije troška ili maksimalna vrijednost funkcije učinka.

Otvorenost šuma primarnim šumskim komunikacijama podrazumijeva dostupnost šumskog prostora za transport, a u ovom slučaju drveta. Šuma je veoma složen ekosistem koji je osjetljiv i višefunkcionalan tako da optimizacija u šumarstvu može da bude višeznačna. Jasna je njena proizvodna funkcija koja u prvom redu obuhvata korišćenje drveta, a potom i nedrvenih šumskih proizvoda. Dosada optimizacija dostupnosti šume za korišćenje drveta podrazumijevala je optimizaciju otvorenosti i za ostale funkcije šuma. Dakle, pored proizvodne, to su zaštitno-regularne i socijalno-kulturne funkcije šuma.

Proces optimizacije od samog početka je višekriterijumski jer su se prvo, za određivanje optimalne otvorenosti koristili troškovi transporta i to prevoza i privlačenja i količina drveta koja se transportuje. Nakon toga u proces se uvode i reljefne karakteristike područja koje se otvara kao kriterijum za određivanje optimalne primarne otvorenosti šuma. Sa pojavom savremenih informacionih tehnologija (IT) prije svega geografsko informacionih sistema (GIS) koji omogućavaju manipulaciju velikim brojem prostornih podataka, broj kriterijuma koji utiču na optimalnu primarnu otvorenost šuma se povećava. Hronološki posmatrano proces optimizacije otvorenosti šuma kretao se od računskog do prostornog pristupa.

Šta znači optimalna primarna otvorenost šuma, odnosno, na koji način se ona iskazuje, da li je to dužina, rastojanje ili neka treća mjerna jedinica? Prema iskustvu, iskazivanje do sada je zavisilo od reljefa i nagiba terena određenog područja. To znači da se na ravnim i terenima jednoličnog nagiba optimalna primarna otvorenost šuma dobijala izračunavanjem optimalnog rastojanja između primarnih šumskih komunikacija na osnovu

troškova transporta i iskazivala se u metrima. Na terenima sa izraženim reljefnim oblicima i promjenljivim poprečnim nagibom optimalna primarna otvorenost šuma je funkcija optimalnog rastojanja između primarnih šumskih komunikacija čiji je rezultat optimalna gustina primarnih šumskih komunikacija, a iskazuje se kao izvedena mjerna jedinica u obliku metar po hektaru ili kilometar na hljiadu hektara.

Pod pojmom primarna otvorenost podrazumijeva se dostupnost šumskog prostora primarnim šumskim komunikacijama. Primarne šumske komunikacije, a u praksi se još koristi naziv primarna šumska transportna infrastruktura, obuhvataju šumske puteve. Šumski putevi su planirani, izgrađeni i održavani objekti trajnog karaktera na površini zemlje koji omogućavaju pristup određenom području tokom cijele godine. To su tzv. tvrđi makadamski putevi, sa jednom saobraćajnom trakom namjenjeni za dvosmjerni saobraćaj, konstruisani tako da su sposobni da prime saobraćajno opterećenje namjenskih vozila za transport drveta (solo kamiona, kamiona sa poluprikolicom ili prikolicom). Značaj primarnih šumskih komunikacija odnosno šumskih puteva za otvaranje šuma prema tome nije samo u povezivanju određenih tačaka nego i u njihovom pravilnom prostornom rasporedu unutar određenog područja. Tako se ocjena primarne otvorenosti odnosno uticaj mreže primarnih šumskih komunikacija na otvaranje određenog područja, a prije svega šuma može posmatrati kroz nekoliko pokazatelja i to kao: apsolutna primarna otvorenost ili gustina šumskih komunikacija, srednja daljina privlačenja drveta do šumskih puteva, relativna primarna otvorenost i koeficijent efikasnosti mreže šumskih puteva. Gustina šumskih komunikacija definiše njihovu količinu odnosno dužinu na određenom području, tj. površini. Srednja daljina privlačenja je pokazatelj od kog direktno zavise troškovi privlačenja drveta, a time i ukupni troškovi transporta, prema tome može se reći da je ovo ekonomski pokazatelj otvorenosti šuma. Relativna otvorenost šuma i koeficijent efikasnosti mreže šumskih komunikacija imaju karakter pokazatelja kvalitete prostornog rasporeda šumskih komunikacija koji je odraz kvaliteta njihovog planiranja.

Imajući u vidu navedeno mogu se postaviti sljedeća pitanja kako i kada primijeniti određeni proces optimizacije, da li će dobijeni optimum biti moguće realizovati na terenu i na kraju kolika efikasnost se može očekivati od planiranog optimuma otvorenosti šuma i kolika efikasnost je postignuta projektovanim šumskim putevima.

2. PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA

Prije nego što bude govora o metodama za određivanja optimalne primarne otvorenosti i analizu njenog uticaja na prostorno otvaranje šuma, potrebno je pozabaviti se trenutnim stanjem dostupnosti šuma šumskim putevima.

Prema rezultatima brojnih istraživanja primarna otvorenost šuma u Bosni i Hercegovini (BiH) se iskazuje kao gustina primarnih šumskih komunikacija po jedinici površine šumskog zemljišta, dok drugih pokazatelja i nema. Primarna otvorenost šuma u BiH iznosi oko 10,15 m/ha i to u Republici Srpskoj (RS) 9,28 m/ha, a u Federaciji Bosne i Hercegovine (FBiH) 10,9 m/ha (Tabela 1) (IRPC & Šuma plan, 2019; Petković 2019; Sokolović & Bajrić 2013b). Ovakav nivo primarne otvorenosti šuma, a ne poznavajući i druge pokazatelje otvorenosti prije svega kvalitativne, govore da se šumama u BiH može tek ekstenzivno gazdovati, jer je za intenzivno gazdovanje šumama potrebna gustina šumskih puteva od preko 30 m/ha (Dobre, 1995).

Tabela 1 Primarna otvorenost šuma u BiH (IRPC & Šuma plan, 2019; Petković 2019; Sokolović & Bajrić 2013b)

Osobine	BiH	RS	FBiH
Dužina šumskih puteva (km)	20.886	9464	11.422
Primarna otvorenost (m/ha)	10,15	9,4	10,9

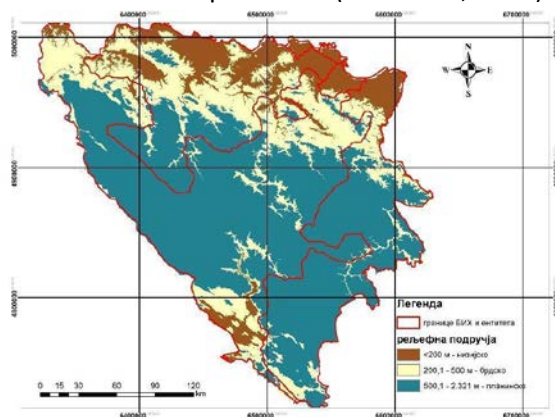
Primarnu, ali i otvorenost šuma uopšte potrebno je posmatrati i sa drugih stanovišta, među kojima prvo izdvajamo reljef. Ovaj princip optimizacije se najčešće primjenjuje u Republici Hrvatskoj (RH), i može se slobodno reći da se radi o posebnoj školi ili načinu optimizacije primarne otvorenosti šuma. Tako su Šikić et al. (1989) definisali minimalno potrebnu otvorenost šuma određenih reljefnih područja od 7 m/ha u nizijskom, zatim 12 m/ha za prigrorsko-brdsko područje i 15 m/ha za planinsko područje.

Danas valja istaći da gustina primarne šumske transportne infrastrukture kao pokazatelja otvorenosti šuma dobija na značaju jer je ciljana gustina primarne šumske transportne infrastrukture za pripadajuće kategorije

reljefnih područja propisana u kontekstu operacije 4.3.3. »Ulaganja u šumsku infrastrukturu« Programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za period 2014. – 2020., i to za:

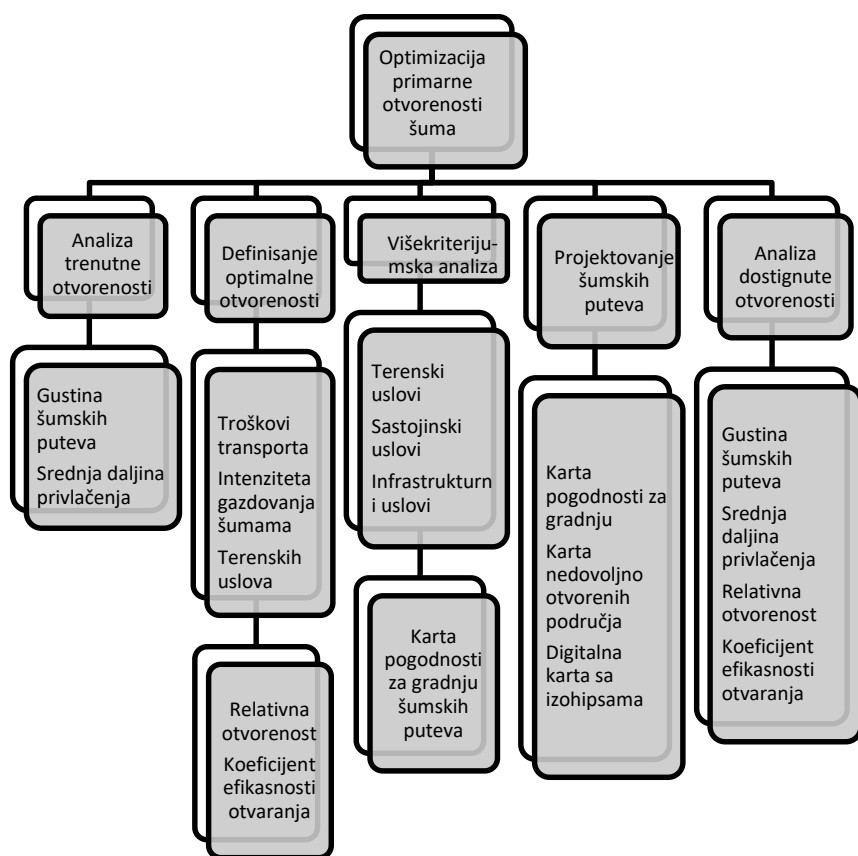
- nizijsko područje 12 km/1000 ha,
- brdsko (prigorsko) područje 18 km/1000 ha,
- planinsko (gorsko) područje 22,5 km/1000 ha i
- krško područje 12 km/1000 ha (NN 106/15, 2015; NN 65/17, 2017).

Reljef BiH je pretežno brdsko-planinskog karaktera (Slika 1). Prema procjeni ugroženosti BiH od prirodnih ili drugih nesreća 8% površine države se nalazi ispod 150 m nadmorske visine, sa dominacijom područja iznad 200 m nadmorske visine što je površina od 44.450 km² ili 87% teritorije. Područje do 500 m nadmorske visine obuhvata 41% teritorije, od 500 – 1000 m nadmorske visine 34 %, što je ukupno 75 % teritorije BiH na visini od 200 do 1000 m nadmorske visine. Područje iznad 1000 m nadmorske visine (planine i planinski vrhovi iznad 1500 m) obuhvata oko 25% površine države. Ista studija navodi da je 15,8% teritorije BiH manjeg nagiba od 13%, odnosno 84,2% je većeg nagiba od 13%, sa konstatacijom da BiH ima izražen reljef s oštrim i strmim padinama (Emrulović, 2020).



Slika 1 Reljefna područja u RS i BiH

Dakle neophodno je izvršiti proces optimizacije primarne otvorenosti šuma na ovim prostorima, a prije definisanja optimalne gustine primarnih šumskih komunikacija potrebno je analizirati postojeću primarnu otvorenost, potom izvršiti prostornu optimizaciju trasa šumskih puteva na osnovu pogodnosti područja za njihovu gradnju i na kraju analizirati dostignutu primarnu otvorenost iskazanu gustinom šumskih puteva (Slika 2).



Slika 2 Optimizacija primarne otvorenosti šuma

Kvalitetna i svrsishodna optimizacija zahtjeva veliki broj podataka koji treba da su ažurirani u realnom vremenu kako bi rezultati bili primjenljivi odmah na terenu. Ova konstatacija proizilazi iz činjenice da su podaci koji ulaze u analize koje su neophodne za optimizaciju primarne otvorenosti šuma često zastarjeli, kako oni vezani za troškove koji zavise od kretanja cijena osnovnih i potrošnih materijalno-tehničkih sredstava tako i oni prostorni kao što su podaci o infrastrukturnim objektima, korišćenju šumskog prostora u različite svrhe i sl.

Prilikom računanja optimalne gustine šumskih puteva na osnovu troškova transporta potrebno je suočiti se sa cijenom rada transportnog sredstva za privlačenje drveta, a u ovom slučaju to je zglobni traktor LKT-81T, koja je propisana Odlukom Javnog preduzeća šumarstva "ŠUME REPUBLIKE SRPSKE" a.d. Sokolac (JPŠ "ŠUME RS"), a nije rezultat aktuelnih cijena nabavke ovog tipa mehanizovanog sredstva, zatim potrošnog materijala, osiguranja i registracije istog i na kraju angažovanja kvalifikovane radne snage. Pored problema troškova stoji i problem što su Jedinstvene norme za izvođenje radova u šumarstvu u RS urađene samo za ovaj tip zglobnog traktora, pa i ostalih tehničkih sredstava koji se koriste u radovima sječe i izrade šumskih drvnih sortimenata, pa i za podizanje i njegu šuma kako vještačkog porijekla tako i prirodnih. One takve kakve su, ne ostavljaju mogućnost uvođenja i primjene drugih sistema u korišćenju prije svega oblog tehničkog drveta, ali i u korišćenju ogrevnog drveta, što ograničava manevarski prostor za donošenje ekološko-ekonomski optimalnog rješenja. Cjelokupan sistem korišćenja oblog tehničkog drveta projektuje se za sortimentni metod sječe i izrade drveta koje se privlači zglobnim traktorima do stovarišta na šumskom putu, jer je ovaj metod preovladavajući u BiH. Sječa i izrada oblog drveta se izvodi motornom testerom (Marčeta et al., 2014).

Međutim, u praksi korišćenja oblog drveta danas se često susreće forvarder u prvoj fazi transporta pored zglobnog traktora, a upotreba žičara i pogotovo harvester je još uvijek na nivou slučajnosti. Pokušaji promjene sistema korišćenja drveta, ali i uvođenja savremenih mehanizovanih su sporadični jer su rezultat entuzijazma i ideje pojedinaca iz akademske zajednice iz oblasti šumarstva.

Tako je na osnovu istraživanja koja su rađena u svijetu na ovu temu (Đuka et al., 2017a; Ezzati et al., 2016; Heinimann 2000, 2004; Krpan & Poršinsky 2004; Pentek et al., 2008; Stükelberger et al., 2007) definisano pet sistema korišćenja oblog drveta, a višekriterijskom analizom podataka utvrđeno je da su šume sjevernog dijela BiH za koje se propisuje skupinasto-prebirni sistem gazdovanja, a u praksi primjenjuje prebirni, u najvećoj mjeri pogodno za korišćenje motorne testere u sječi i izradi i forvardera za privlačenje oblog drveta (na oko 44 % površine), potom sistemi motorna testera-zglobni traktor i motorna testera-žičara se mogu primjeniti u prosjeku na oko 25 % površine, a zatim dolaze kombinacije harvester-forvarder u prosjeku na 18% površine i motorna testera-adaptirani poljoprivredni traktor (AAT) bi se mogli primjeniti na 1 % površine (Marčeta et al., 2020).

Drugi problem je nepostojanje kvalitetne, digitalne baze podataka o primarnim i sekundarnim šumskim komunikacijama koja bi bila kompatibilna sa savremenim tehnologijama prije svega GIS-om za kvalitetnu prostornu i statističku analizu. Uspostavljanje digitalnog katastra primarnih i sekundarnih šumskih komunikacija je od krucijalnog značaja za analizu otvorenosti šuma, a to podrazumijeva vektorizaciju svih šumskih komunikacija sa formiranjem baza podataka o najznačajnijim njihovim osobinama koje su neophodne za kvalitetnu analizu otvorenosti, a kasnije i za upravljanje njima (IRPC & Šuma plan, 2019; Pentek et al., 2008; Pičman et al., 2006). Danas postoje vektorski podaci (tačke, linije i površine) o unutrašnjoj i spoljašnjoj podjeli, u okviru šuma kojima gazduje JPŠ "ŠUME RS" a.d. Sokolac, pa i o većini šumskih puteva, ali bez atributnih podataka, koji su osnova za kartografsko prikazivanje.

Inače, katastar šumskih komunikacija koji vodi JPŠ sadrži vrstu i dužinu primarnih i sekundarnih šumskih komunikacija koje otvaraju šumu i pojedine kategorije šuma. On se obnavlja svake godine sa novim komunikacijama tj. njihovom dužinom i troškovima gradnje. Pored postojećih podataka baza podataka šumskih puteva treba da sadrži i širinu puteva, namjenu, vrstu kolovoza, godinu i troškove gradnje i šifru puta, koja bi sadržala sve informacije o putu.

Ovaj koncept je razvijen i primjenjuje se za formiranje katastra šumskih komunikacija u RH, kao npr.:

Šifra za jedan šumski put 617 B2 M 01.

Gdje je:

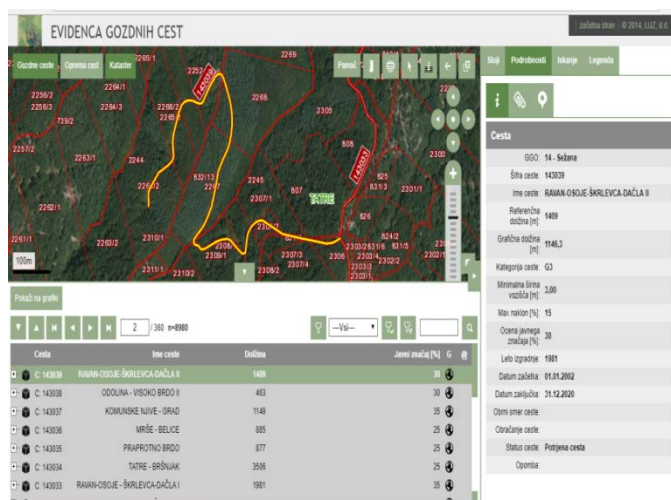
- prva oznaka je šifra privredne jedinice,
- druga oznaka je veliko slovo, A za javne puteve i B za šumske ili protupožarne puteve i arapski broj gdje 1 označava glavne šumske puteve, 2 sporedne i 3 zemljane,
- treća oznaka prikazuje položaj šumskog puta u privrednoj jedinici i njen uticaj na otvorenost šume, O predstavlja put koji čitavom dužinom prolazi kroz privrednu jedinicu, G put koji prolazi njenom granicom i M označava put koji jednim dijelom ide izvan, a drugim dijelom kroz privrednu jedinicu i
- četvrta oznaka je arapski broj koji označava broj puta u privrednoj jedinici.

Za sekundarne šumske komunikacije šifra izgleda ovako 617 1 C 0005:

Gdje je:

- prvi broj označava broj privredne jedinice u klasifikaciji šumskoprivrednih područja RH,
- druga oznaka je arapski broj koji predstavlja broj odjela u privrednoj jedinici,
- treća oznaka je veliko slovo abecede koje označava vrstu sekundarne šumske komunikacije C zemljani šumski putevi, D traktorski putevi i E traktorske vlake i
- četvrta oznaka je arapski broj koji predstavlja redni broj sekundarne šumske komunikacije u privrednoj jedinici (Pičman et al., 2006; Pentek et al., 2008; Lepoglavec, 2014).

Katastar šumskih puteva u Republici Sloveniji vodi Slovenačka šumarska služba i on sadrži šifru puta, naziv, kategoriju, dužinu, konstruktivne elemente, šumskoprivredno područje i opštinu kojoj ona pripada (Uradni list RS, 2008). Katastar je usaglašen sa katastrom zemljišta i javnih puteva i dostupan je na <http://zgs.gisportal.si/javno/profile.aspx?id=EGC@ZGS> (Slika 3).

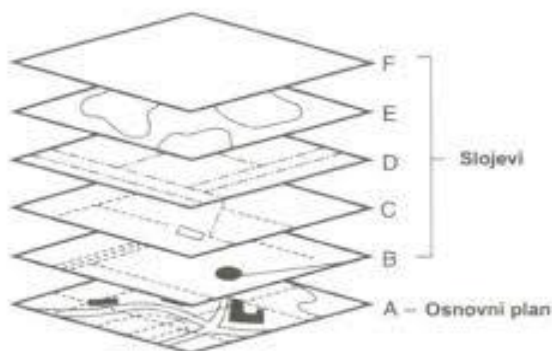


Slika 3 Katastar šumskih puteva u Republici Sloveniji

Kartografsko prikazivanje atributa za sve vrste vektora je prvi uslov za prostornu optimizaciju otvorenosti šuma. Osnovna jedinica za kvalitetnu analizu u šumarstvu je odsjek ili sastojina koja je prikazana u obliku poligona, čiji se geometrijski podaci kao što je recimo površina ili obim dobijaju prostornom i statističkom analizom pomoću GIS-a. Drugu vrstu atributnih podataka čine opisni podaci o stanju šuma, kao što je gazdinska klasa, zaliha, prirast, količina drveta koja je predviđena za sječu, starost, sjekored i sl. Drugi uslov su informacije o terenskim karakteristikama područja, takođe u vidu digitalnih karata, koje se dobijaju prostornom i statističkom analizom digitalnog modela terena (DMT). Iz DMT-a se mogu izdvojiti karte nagiba terena, ekspozicije, reljefa, hrapavosti površine, nadmorskih visina, hidrologije i sl. Pored digitalnih karata o šumama i terenskim karakteristikama potrebne su i digitalne geološke i pedološke karte, a danas u svijetlu integralnog gazdovanja šumama sa proizvodnog, socio-kulturnog, zdravstvenog i rekreativnog aspekta, neophodno je formirati digitalne karte funkcija šuma. Višekriterijumska analiza digitalnih karata je osnov optimizacije prostornog rasporeda šumskih komunikacija.

2.1. Geografsko informacijski sistem (GIS)

Geografski informacijski sistem je sistem za rješavanje problema u fazi planiranja čiji su rezultati podrška operativi u donošenju odluka, u kome se pomoću alata prostorne i statističke analiziraju sakupljeni podaci čiji su krajni proizvod različite vrste karata i baze podataka. Inače sakupljeni podaci se prikazuju kao slojevi digitalnih karata (Slika 4) (npr. putevi, vodotoci, objekti i sl.) koji imaju karakter prozirnih folija i čijim se preklapanjem dobijaju konačni rezultati tzv. višekriterijumske analize. GIS se može koristiti za naučna istraživanja, upravljanje prirodnim resursima, kartografiju, planiranje saobraćajnica i sl. (Emrulović 2020; Jurišić & Plaščak, 2009; Kraus, 2014; Osmančević, 2023; Upadhyay, 2009).



Slika 4 Slojevi u GIS – u (Emrulović, 2020; Osmančević, 2023; Šubat, 2011)

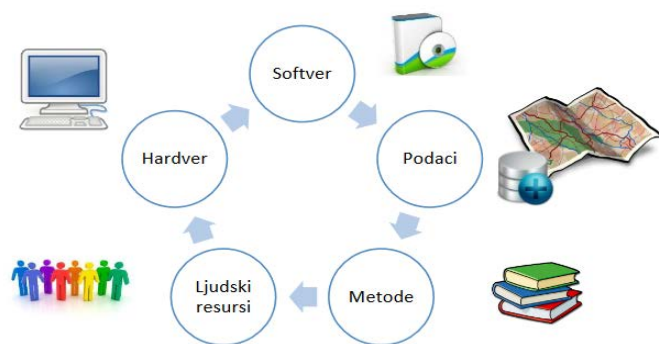
GIS se može klasifikovati prema namjeni na:

- Zemljišni informacijski sistem ili informacijski sistem katastra zemljišta (ZIS) koji je zasnovan na geodetskom premjeru čiji je rezultat katastarska parcela kao elementarna prostorna jedinica,
- Prostorni informacijski sistem (AIS) se najčešće koristi za izradu, donošenje i sprovođenje prostornih regionalnih planova,
- Ekološko-ekonomski Informacijski sistem (EIS) služi za praćenje stanja u prirodi, zaštitu šuma, voda, klasifikaciju zemljišta prema upotrebi, te prema tome određuju se tipova poljoprivrednih kultura koje će se upotrebljavati,
- Mrežni informacijski sistem (NES) ili infrastrukturni informacijski sistem kojeg najčešće upotrebljavaju privredni subjekti, komunalne službe, prostorni planeri i veliki infrastrukturni sistemi,
- Specijalizovani informacijski sistem (SIS) ne obuhvata niti jednu do sada navedenu vrstu GIS-a, već se odnosi na saobraćajnu navigaciju te informacione sisteme industrijskih objekata i nekih složenih objekata (Emrulović, 2020; Jurišić & Plaščak, 2009; Osmančević, 2023).

Prema razmjeri GIS se dijeli na:

- Informacione sisteme sitne razmjere izrađene na osnovu daljinske detekcije u vidu rastera,
- Informacione sisteme krupne razmjere zasnovane na rezultatima geodetskog premjera čiji je proizvod parcela kao osnovna jedinica (Emrulović, 2020; Jurišić & Plaščak, 2009; Osmančević, 2023).

GIS se sastoji od: podataka, hardware-a, software-a, korisnika i metoda kao što je prikazano na Slici 5.



Slika 5 Prikaz elemenata GIS-a (DESA, 2015; Emrulović, 2020; Osmančević, 2023)

Hardver je prvi element GIS-a koji čini računar jedan ili više, koji su umreženi u cilju izrade vlastitih projekata ili razvoja programa. Pomoću računara se sakupljaju i analiziraju podaci i predstavljaju se rezultati tih analiza, a osim njih u tu svrhu se koriste ploteri i skeneri (Emrulović, 2020; Osmančević 2023).

Sam GIS odnosno ArcGIS, QGIS, ArcView, SAGA GIS i sl., je aplikativni računarski program koji koristi algoritme prostorne i statističke analize za obradu podataka i prikaz rezultata tih analiza pomoću alata vektorske i rasterske analize, alata za upravljanje bazama podataka, alata za izradu karata i drugih vidova izlaznih podataka i sl. (Emrulović, 2020; Osmančević 2023).

Korišćenje svih kapaciteta GIS-a i njegov razvoj zavise od obrazovanja, iskustva i usavršavanja ljudskih resursa (Emrulović, 2020; Muškatirović & Jovanović, 1996; Osmančević, 2023).

Metode korišćenja GIS-a podrazumijevaju pridržavanje propisanih procedura, standarda od strane korisnika, kako pri razvoju novih programskih paketa tako i pri nadogradnji postojećih (Emrulović, 2020; Osmančević, 2023; Tomlinson, 2013).

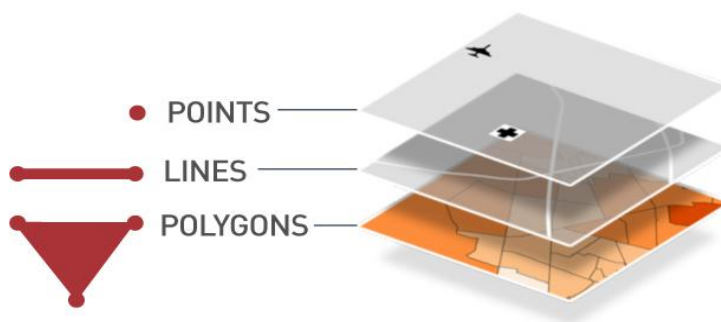
Podaci i njihovi atributi su osnov svakog GIS-a, a od njihove količine i kvaliteta zavise rezultati odnosno kvalitet izrađenog projekta (Emrulović, 2020; Osmančević, 2023; Pahernik, 2006; Tomlinson, 2013).

Podaci u GIS-u mogu biti: vektorski i rasterski.

Vektorski podaci su osnovni geometrijski oblici: tačka, linija i poligon (Slika 6). Položaj ovih oblika određen je koordinatama tačaka kao osnovnog geometrijskog oblika iz koga su izvedeni ostala dva, odnosno vektorom položaja i zato su ovi podaci dobili naziv vektorski (Emrulović, 2020; Jovanović et al., 2012; Osmančević, 2023).

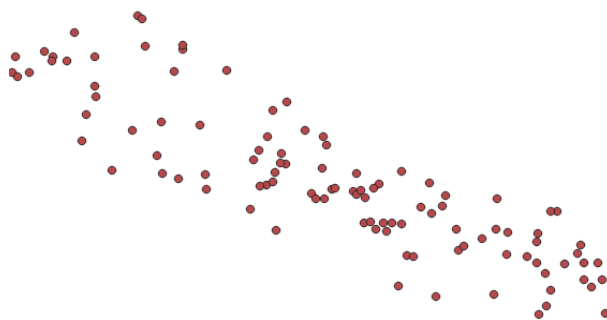
Osnovni grafički elementi kod vektorskog prikaza podataka su:

- tačka (point) – položaj definisan koordinatama x i y te brojem tačke,
- linija (lines) – definisana koordinatama početne i krajnje tačke x_1, y_1, x_2, y_2 te brojem linije i
- poligon (polygon) – definisan koordinatama svih tačaka koje čine zatvorenu liniju $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n$ (Pivac, 2014) (Slika 6).



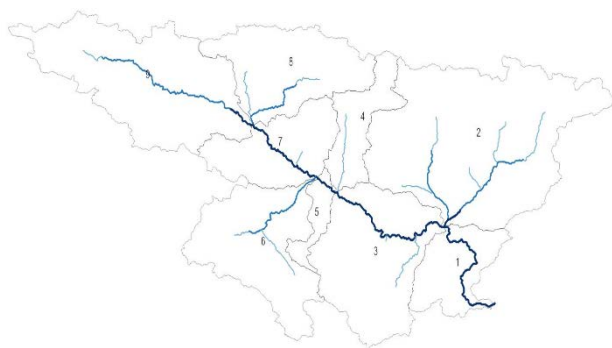
Slika 6 Vektorske vrste podataka (de Groot, 2020)

Osnovni vektorski element je tačka. Položaj tačke definisan je njenim koordinatama odnosno njenim vektorom položaja. S obzirom da nema dimenziju, tačka predstavlja nula – dimenzionalan geometrijski oblik. Tačkom su prikazani entiteti veoma malih dimenzija (Slika 7) (Emrulović, 2020; Jovanović et al., 2012; Osmančević, 2023).



Slika 7 Vektorski podatak – tačke (Osmančević, 2023)

Izvedeni vektorski podaci su linija i poligon. Linija je skup međusobno povezanih tačaka. Linijom se prikazuju entiteti koji se ne mogu prikazati pomoću poligona i ona je jednodimenzijski geometrijski oblik (Slika 8) (Emrulović, 2020; Jovanović et al., 2012; Osmančević, 2023).



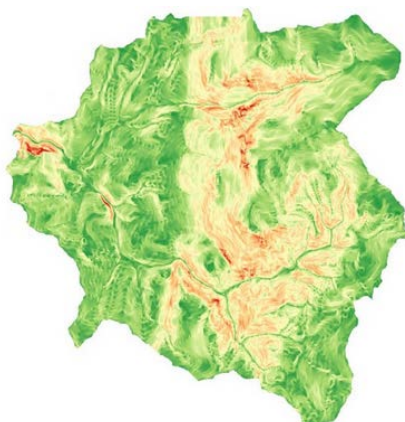
Slika 8 Vektorski podatak – linija (Osmančević, 2023)

Poligon je skup povezanih linija kojima se definiše neka oblast kao što je granica grada, jezera ili šume, koja predstavlja zatvoreni poligon u geodetskom smislu. Poligon predstavlja dvodimenzijski geometrijski oblik (Emrulović, 2020; Jovanović et al., 2012; Osmančević, 2023) (Slika 9).

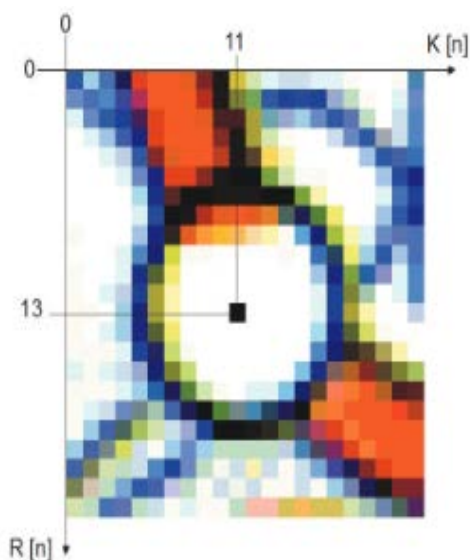


Slika 9 Vektorski podatak – poligon (Osmančević, 2023)

Raster je slika (Slika 10) čiji se kvalitet definiše veličinom piksela odnosno kvadrata, koji predstavlja jedno polje. Polja su raspoređena u redove i kolone koji čine mrežu. Položaj piksela određen je brojem reda i kolone (Slika 10 i 11) (Emrulović, 2020; Jovanović et al., 2012; Osmančević, 2023).



Slika 10 Rasterski tip podatka (Osmančević, 2023)



Slika 11 Slikovne koordinate (Jovanović et al., 2012)

ArcGIS (Advisory Research Group) je razvijen od strane ESRI (Environmental System Research Institute) instituta i drži 43% GIS tržišta i proizvodi programske pakete od kojih su najznačajniji ArcGIS Desktop, ArcGIS Online i ArcGIS Server (Brundage, 2015).

ArcGIS je veoma raznovrstan set profesionalnih GIS aplikacija za kreiranje, upravljanje, analizu i distribuciju geografskih podataka. Tri su glavna proizvoda, odnosno aplikativna programa ArcView, Arc Editor i ArcInfo. Ovi programi se koriste za različite vrste prostornih analiza, usvajanje najboljih i najefikasnijih odluka, prikazivanje rezultata analiza, izradu planova, predstavljanje ideja i sl.

ArcView se koristi za razumijevanje korišćenja podataka, kartiranje i analize. ArcEditor omogućava napredno geografsko uređivanje i kreiranje podataka. ArcInfo sadrži profesionalne GIS alate uključujući i one za geokodiranje.

ArcGIS Desktop uključuje integrisane organizacione dijelove: ArcCatalog, ArcMap, ArcScene, ArcGlobe, ArcToolbox i ModelBuilder.

ArcCatalog je aplikacija koja locira, pretražuje i upravlja prostornim podacima i geoprostornim bazama podataka.

ArcMap je glavna ArcGIS Desktop aplikacija koja se koristi za kartiranje, uređivanje, ispitivanje i analizu baziranu na tematskim kartama. Ona priprema karte za štampanje.

ArcGLOBE aplikacija je sadržana u ArcGIS 3D Analyst i omogućava stalan, interaktivan trodimenzionalni pogled geografskih podataka. Radi kao ArcGIS Map sa slojevima, prikazujući podatke iz geoprostornih baza podataka i drugih formata GIS podataka.

ModelBuilder je prozor za projektovanje grafičkih modela kompleksnih GIS zadataka iz alata i podataka.

Kada govorimo o bazama podataka, ArcGIS podržava rad sa tri različite vrste baza koje se razlikuju prema namjeni, a to su File geodatabases, Personal geodatabases and Enterprise geodatabases (ArcGIS, 2018; Petković, 2019).

Druga vrsta GIS programa je Global Mapper. To je veoma koristan program sa mnogo alata za prostornu analizu i ima pristup skoro svim formatima podataka. Ovaj program je pogodan kao samostalan GIS alat za uređivanje geografskih podataka ili pripremu podataka za analizu u drugim GIS programima. Omogućava prostornu analizu i grafički prikaz 200 vrsta formata prostornih vektorskih i rasterskih podataka i geoprostornih baza. Global Mapper sadrži VMS podršku kojom se direktno pristupa internet serverima sa kartama, satelitskim snimcima i digitalnim visinskim modelima za čitav svijet. Takođe, on vrši pregled i analizu LIDAR (Light Detection and Ranging) podataka. Ovi podaci se dobijaju laserskim skeniranjem odnosno premjerom iz vazduha ili sa zemlje, na osnovu milijarde trodimenzionalnih tačaka, a rezultat ovog premjera je visoko kvalitetna površina (Petković, 2019).

QGIS (ranije poznat i kao „Quantum GIS“) je najpoznatija GIS aplikacija otvorenog koda koja radi na istom principu kao i prva dva programa, te je licenciran pod GNU –ovom Opštom javnom licencom. Ona garantuje slobodu dijeljenja i mijenjanja slobodnih programa, te je na taj način program slobodan za sve svoje korisnike (Emrulović, 2020; Osmančević, 2023).

QGIS omogućuje pregledavanje, uređivanje i stvaranje raznih vektorskih i rasterskih formata, uključujući ESRI Shape datoteke, MapInfo, Microstation i prostorne podatke u PostgreSQL/PostGIS bazama podataka, GRASS–ove vektorske i rasterske podatke ili GeoTIFF. GRASS vector, PostGIS, MSSQL Spatial i Oracle Spatial podrška pružena je kroz integrirane QGIS snabdjevače (engl. Provider) podataka. Isto tako, vektorski podaci mogu biti otvoreni i čitani u stvarnom načinu rada (engl. real mode) iz zip i gzip arhiva u QGIS. U vrijeme izdanja QGIS priručnika QGIS je kroz OGR biblioteku podržavao 69 formata vektorskih podataka.

Standardan vektorski format koji se koristi u QGIS-u je ESRI Shapefile. Podrška je pružena kroz OGR biblioteku (Emrulović, 2020; Osmančević, 2023; Palčić, 2016).

QGIS podržava otprilike 2700 koordinatnih sistema (eng. CRS – coordinate reference system). Definicije svakog koordinatnog sistema sadržane su u bazi podataka koja je integrisana u sistem QGIS-a. Koordinatni sistemi, dostupni u QGIS-u bazirani su na sistemima EPSG-a (European Petroleum Search Group) i IGNF-a (Institut Geographique National de France).

Koristeći Phyton ili C++ programski jezik postoji mogućnost da se stvore prilagođeni dodaci (eng. plugins) i samostalne GIS aplikacije. Njihove su mogućnosti, na primjer, uvoz podataka u obliku razgraničenog teksta, preuzimanje puteva i tačaka iz GPS uređaja ili prikazivanje slojeva korištenjem OGC WMS i WFS standarda (Emrulović, 2020; Klobučar, 2012; Osmančević, 2023).

U šumarstvu GIS predstavlja alat koji nam olakšava i omogućava organizaciju, logistiku i podršku kod više vrsta poslova. Zbog raznovrsnosti poslova u šumarstvu, upotreba GIS sistema može biti raznovrsna i zavisi od potreba i potencijala korisnika GIS-a.

QGIS se može koristiti u šumarstvu za:

- Sastavljanje karata i dokumentacije (položaj stabla, planovi razvoja šume, kartiranje šume, predstavljanje planova gazdovanja...),
- Digitalizaciju šumskih površina pomoću ortofotografija,
- Prikazivanje položaja stabala i mjerenje njihovih atributa,
- Ocjenu stanja stabala (statistička procjena na osnovu atributnih vrijednosti),
- Sastavljanje / analizu / nadogradnju podataka šumskog katastra,
- Kartiranje, određivanje i spremanje granica posjeda,
- Obilježavanje puteva i protivpožarnih prosjeka,
- Kreiranje i ažuriranje planova za predviđene radove,
- Obilježavanje stovarišta,
- Kartiranje zemljišta,
- Praćenje rada pomoću GPS uređaja (Emrulović, 2020; Konrad, 2009; Osmančević, 2023).

3. METODOLOGIJA I LOKALITET ISTRAŽIVANJA

3.1. Predmet istraživanja

Istraživanje je fokusirano na kategoriju visokih šuma sa prirodnom obnovom koje su najznačajnija kategorija šuma u RS, s obzirom na površinu koju zauzimaju, i njihovu proizvodnu sposobnost u odnosu na ostale kategorije šuma.

Visoke šume sa prirodnom obnovom zauzimaju 61% površine državnih šuma u RS ili 489.025 ha, zaliha drvne mase u njima iznosi 161 milion m³ što je oko 89% od ukupne zalihe drvne mase u državnim šumama i u njima se sječe 2,8 miliona m³ drveta od ukupno 3 miliona m³ (Petković, 2019).

One se odlikuju i posebnim sistemom gazdovanja koji se naziva skupinasto-prebirni. Ovaj sistem gazdovanja se odlikuje istovremenim sprovođenjem sječa glavne koristi i sječa njege na istoj uređajnoj površini. Tačnije, izdvajaju se skupine kao podmladna jezgra na kojima se vrši oplodna sječa u obliku koncentričnih krugova koji se šire, a između skupina se sprovede mjere njege. Ovaj sistem gazdovanja je najpogodniji za gazdovanje mješovitim šumama i to bukve, jele i smrče, bukve i jele, zatim jele i smrče i čistim šumama jele i smrče, ali i drugim vrstama koji podnose zasjenu u cilju formiranja raznodobnih sastojina koje se prirodno obnavljaju (IRPC, 2013a).

Tehnologija korišćenja drvne mase zasniva se na sortimentnom metodu koji podrazumijeva u uslovima BiH da se sječa stabala radi motornom testerom, transport oblog drveta uglavnom se vrši zglobnim traktorima, a iznošenje prostornog drveta animalima i to najčešće konjima (Marčeta et al., 2014).

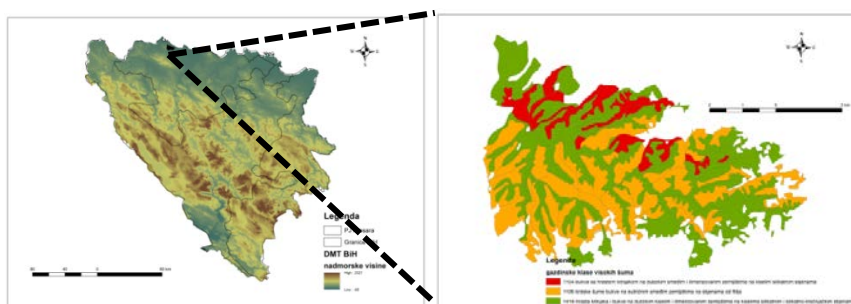
Visoke šume se sastoje od više gazdinskih klasa visokih šuma sa prirodnom obnovom koje se razlikuju po vrstama drveća, tipu podloge i drugim terenskim i sastojinskim karakteristikama.

S obzirom na kriterijume klasifikacije visokih šuma sa prirodnom obnovom tačnije na razlike između gazdinskih klasa ove kategorije šuma, postavlja se pitanje koji nivo primarne otvorenosti bi se mogao smatrati optimalnim recimo u gazdinskim klasama brdskih i planinskih visokih šuma sa prirodnom obnovom kojima gazduje JPŠ „ŠUME RS“.

Kao studij slučaja odabrane su visoke šume u dvije privredne jedinice (PJ) u okviru javnog preduzeća i to PJ “Prosara” i PJ “Bobija-Ribnik”.

3.1.1. Privredna jedinica “Prosara”

Ova privredna jedinica (Slika 12) se nalazi u sjevernom dijelu RS i BiH na području grada Gradiška. Njome gazduje šumsko gazdinstvo (ŠG) “Gradiška” i dio je šumskoprivrednog područja (ŠPP) “Posavsko”. Ovo ŠPP se prostire na teritoriji tri jedinice lokalne samouprave u RS i to grad Gradiška, opštine Srbac i Prnjavor.



Slika 12 Položaj PJ “Prosara” na teritoriji BiH

Površine PJ “Prosara” iznosi 3812,49 ha, a visoke šume sa prirodnom obnovom zauzimaju površinu od 3470,20 ha i čine ih gazdinske klase visokih šuma bukve i hrasta. Šumske kulture zauzimaju 171,94 ha, izdanačke šume 113,15 ha (Tabela 2). Planom sječa predviđeno je da se za 10 godina dobije 147.737 m³ krupnog drveta sa intenzitetom sječa od oko 17% u odnosu na zalihi sveukupne drvene mase.

Geološku podlogu čine silikatne stijene na kojima su se razvila duboka, kisela zemljišta. Primarna otvorenost šuma u ovoj PJ iznosi oko 7,3 m/ha (IRPC, 2013a).

Tabela 2 Karakteristike kategorija šuma u PJ "Prosara" (IRPC, 2013a)

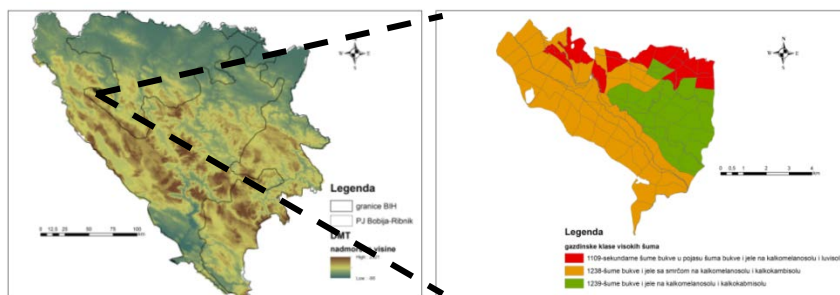
Kategorije šuma	Površina (ha)	Vrsta drveća	Zaliha	Zapreminski prirast	Etat krupno drvo
			(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)
Visoke šume sa prirodnom obnovom	3470,20	Četinari	0,20	0,02	0,04
		Liščari	267,00	6,68	39,50
		Ukupno	267,20	6,70	39,54
Šumske kulture	171,94	Četinari	155,20	10,71	26,08
		Liščari	66,70	1,48	15,28
		Ukupno	221,90	12,19	41,36
Izdanačke šume	113,15	Četinari	13,50	7,46	0,00
		Liščari	149,2	0,36	30,13
		Ukupno	162,7	7,82	30,13
Površine podesne za pošumljavanje i gazdovanje	46,08				
Površine nepodesne za gazdovanje	11,12				
Ukupno	3812,49	Četinari			1,23
		Liščari			38,11
		Ukupno			39,34

3.1.2. Privredna jedinica “Bobija-Ribnik”

Nalazi se u ŠPP “Petrovačko” kojim gazduje ŠG “Oštrelj-Drinić”, u jugozapadnom djelu RS (Slika 13). Površina ove PJ iznosi 4372,41 ha, od čega 4180,59 ha čine visoke šume sa prirodnom obnovom sastavljene od gazdinskih klasa mješovitih šuma bukve i jele sa smrčom, a šumske kulture zauzimaju 68,77 ha (Tabela 3). Planom sječa predviđeno je da se posječe 297.775 m³ krupnog drveta uz intenzitet sječa u odnosu na zalihu drvene mase od oko 18%.

Geološka podloga je izgrađena od krečnjaka i dolomita, na kojima su se razvili kalkomelanosoli, kalkokambisoli, luvisoli i rendzina.

Primarna otvorenost šuma 15,18 m/ha jer je ukupna dužina šumskih puteva u ovoj PJ 65,47 km (IRPC, 2013b).



Slika 13 Lokacija PJ “Bobija-Ribnik” u BiH

Tabela 3 Karakteristike kategorija šuma u PJ "Bobija-Ribnik" (IRPC, 2013b)

Kategorije šuma	Površina (ha)	Vrsta drveća	Zaliha	Zapreminski prirast	Etat krupno drvo
			(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)
Visoke šume sa prirodnom obnovom	4188,59	Četinari	189,60	5,68	30,72
		Lišćari	223,50	5,59	39,58
		Ukupno	413,10	11,27	70,30
Šumske kulture	68,77	Četinari	190,40	10,77	39,58
		Lišćari	63,40	2,86	14,66
		Ukupno	253,80	13,63	54,24
Površine podesne za pošumljavanje i gazdovanje	1,39				
Površine nepodesne za gazdovanje	113,66				
Ukupno	4372,41	Četinari			30,85
		Lišćari			39,22
		Ukupno			70,06

Kao što se može vidjeti prema karakteru šuma ove dvije jedinice su različite kako po svom položaju, tako i po vrstama drveća i stanju drvne mase u njima.

3.2. Metod istraživanja

Zasniva se na prostorno-statističkoj analizi formiranjem GIS-a područja istraživanja koje porazumijeva:

- Prikupljanje i pretvaranje podataka u digitalni format, kao i unos podataka putem geodetskih instrumenata ili direktno,
- Čuvanje i obrada podataka obično u rasterskom ili vektorskom obliku, a oblik podataka određuje njihovu moguću primjenu u okviru GIS sistema,
- Manipulacija podacima je treća faza analize, gdje GIS omogućava integraciju podataka koji se ne mogu povezati na drugi način, čime se stvaraju i analiziraju potpuno novih podaci na,
- Četvrta faza analize je analiza podataka, gdje GIS mora imati širok raspon funkcija za upravljanje i analizu različitih vrsta podataka jer integracija tih podataka je suština rada GIS-a,
- Konačno, peti korak uključuje prikaz rezultata koji je vrlo važan za većinu korisnika. Visokokvalitetni prikaz podataka u različitim oblicima može uključivati nove grupe digitalnih prostornih podataka, tabele, karte, 3D modele terena i izvještaje, a najčešći oblik prikaza rezultata analiza jesu tematske karte (Emrulović, 2020).

Na osnovu dobijenih podataka može se:

- Analizirati otvorenost šuma na osnovu postojeće mreže šumskih puteva,
- Odrediti optimalna otvorenost šuma odnosno optimalna gustina šumskih puteva,
- Izraditi prostorni plan novih šumskih puteva izradom generalnog projekta novih šumskih puteva i izradom njihovih idejnih projekata,
- Analizirati otvorenost šuma prema nadograđenoj mreži šumskih puteva.

3.2.1. Analiza otvorenosti šuma

3.2.1.1. Određivanje gustine šumskih puteva

Gustina šumskih puteva je broj koji pokazuje dužinu izgrađenih šumskih puteva na određenoj površini šume, najčešće je to ŠPP, PJ ili kategorija šuma.

Gustina šumskih puteva se računa pomoću formule:

$$c = \frac{D}{P} \quad \dots 1$$

Gdje je:

c – gustina šumskih puteva (m/ha ili km/1000ha),

D – dužina šumskih puteva (m ili km)

P – površina šume (ha, 1000ha) (Potočnik, 2004; Sokolović & Bajrić, 2013a).

Međutim, dionice šumskih puteva nemaju podjednak uticaj na otvaranje šuma prije svega radi privlačenja oblog drveta i uopšte njegovog korišćenja. Da bi jedan šumski put odnosno njegova dužina ušla u obračun otvorenosti mora zadovoljiti osnovne ili eliminacione kriterijume koji kažu da put mora da zadovolji sve propisane uslove u pogledu konstruktivnih elemenata, kvaliteta i saobraćajnog opterećenja (NN 106/15, 2015; NN 65/17, 2017; Poršinsky et al., 2017). Pored ovih eliminacionih, u obzir se uzimaju i tzv. prostorni kriterijumi koji zavise od položaja šumskih puteva u odnosu na šumski prostor. Tako, ako šumski put prolazi kroz površinu u obračun se uzima čitava njegova dužina (Dobre, 1995; IRPC, 2013a; Krč & Beguš, 2013; NN 106/15, 2015; NN 65/17, 2017; Pičman, 2007; Poršinsky et al., 2017). Ukoliko put prolazi ivicom šumske površine koja je predmet sječe ili na udaljenosti do 200 m od nje (Dobre, 1995; Hribernik, 2013; Krč & Beguš, 2013) ili 250 m (NN 106/15, 2015; NN 65/17, 2017; Poršinsky et al., 2017) ili pak 300 m (Pičman, 2007) uzima se u obračun 50 % njegove dužine ili samo 500 m dužine prema IRPC, 2013a.

Ukoliko šumski put dolazi okomito na granicu šumske površine onda se u obračun uzima 500 m njegove dužine (Pičman, 2007) ili 250 m (NN 106/15, 2015; NN 65/17, 2017; Poršinsky et al., 2017). Ovo nam ukazuje da često gustina šumskih puteva, koja se najčešće pominje, nije jedini pokazatelj odnosno kriterijum za analizu otvorenosti, tj. kriterijum za donošenje odluka kada je u pitanju optimizacija otvorenosti (Beguš & Pertlik, 2017).

Pored nje kao pokazatelji otvorenosti koriste se i srednja daljin privlačenja, relativna otvorenost šume i koeficijent efikasnosti otvaranja.

3.2.1.2. Određivanje srednje daljine privlačenja

Srednja daljina privlačenja je prosječna udaljenost privlačenja posječenih stabala od panja po traktorskom putu do stovarišta na najbližem šumskom putu. Gradnja jednog šumskog kamionskog puta se može smatrati ekonomski opravdanom samo ako ima za rezultat skraćivanje srednje daljine privlačenja (Sokolović & Bajrić, 2013a). Zbog toga je pojam srednja daljina privlačenja veoma značajan za otvaranje šuma, jer od nje direktno zavise troškovi privlačenja i ukupni troškovi prevoza drveta. Razlikujemo srednju geometrijsku i stvarnu daljinu privlačenja koje određujemo sa stanovišta postojeće, teorijske, optimalne ili ciljane i nadograđene mreže šumskih puteva (Sokolović & Bajrić, 2013a).

3.2.1.2.1. Postojeća geometrijska daljina privlačenja

Računa se za mrežu šumskih puteva pomoću težišnog metoda. Odredi se težište površine uređajne jedinice (odjel ili odsjek) i odredi najkraća udaljenost od težišta do najbližeg kamionskog puta. Geometrijska daljina privlačenja može da se izračuna pomoću obrasca (Arnautović, 1975):

$$lg = \frac{\sum m \cdot l}{\sum m} \quad \dots 2$$

Gdje je:

lg – geometrijska daljina privlačenja (m),

$\sum m$ – zapremina drvene mase koja se privlači (m³),

l – udaljenost težišta površine od najbližeg puta (m).

Srednja geometrijska daljina privlačenja oblog drveta se jednostavno može izračunati kao odnos srednje stvarne daljine i faktora produženja geometrijske daljine privlačenja (formula 3).

$$S_{dG} = \frac{S_{dS}}{k_G} \quad \dots 3$$

Gdje je:

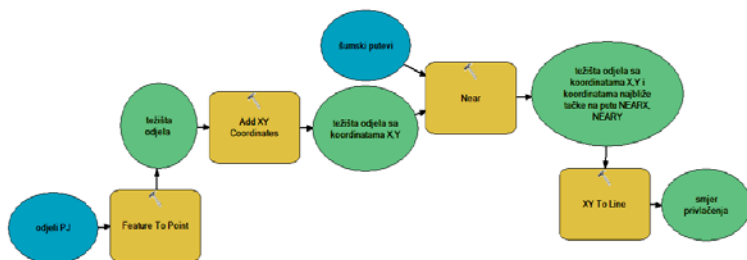
S_{dS} – stvarna daljina privlačenja oblog drveta (m),

S_{dG} – geometrijska daljina privlačenja oblog drveta (m),

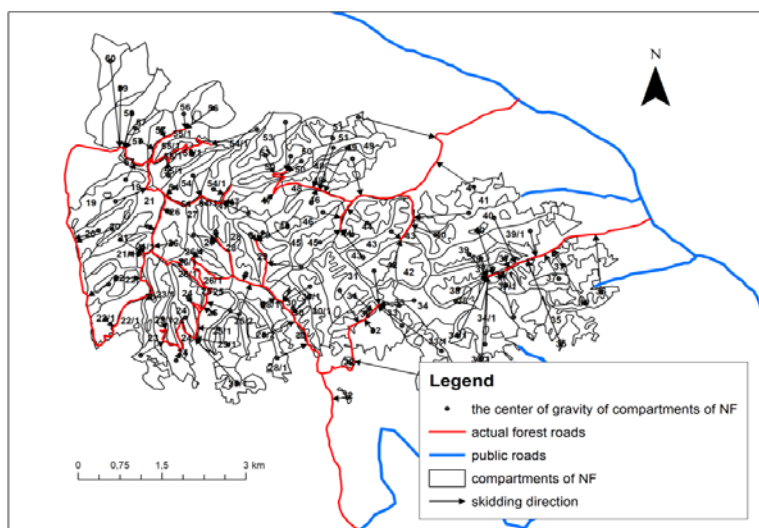
k_G – faktor produženja geometrijske daljine privlačenja (Pentek et al., 2005).

Takođe, geometrijska daljina privlačenja oblog drveta se može odrediti i kartografski prikazati pomoću GIS-a (Slika 14), metodom najkraće udaljenosti težišta površina od šumskih puteva i metodom Euklidove udaljenosti.

Određivanje geometrijske daljine privlačenja metodom najkraće udaljenosti težišta odjela od šumskog puta (Slika 15).

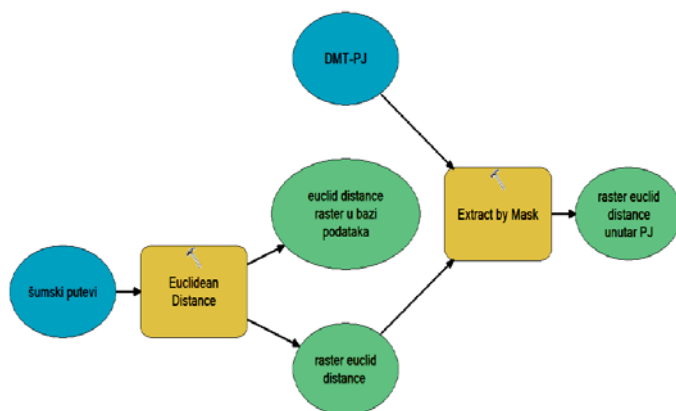


Slika 14 Model određivanja geometrijske daljine privlačenja

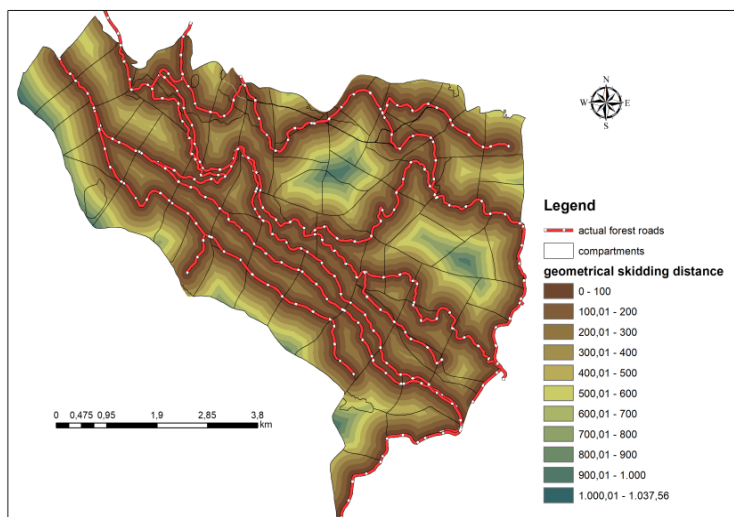


Slika 15 Geometrijska udaljenost težišta odjela od šumskog puta

Geometrijsku daljinu privlačenja možemo dobiti primjenom metode Euklidove udaljenosti, koja određuje pravolinijsku udaljenost između šumskih puteva na određenom šumskom području i iz nje izračunava prosječnu geometrijsku udaljenost privlačenja (Slika 16 i 17).



Slika 16 Model određivanja geometrijske daljine privlačenja pomoću metode Euklidove udaljenosti



Slika 17 Geometrijska daljina privlačenja dobijena Euklidovom metodom

3.2.1.2.2. Postojeća stvarna daljina privlačenja

Stvarna daljina privlačenja se dobije kada se geometrijska daljina privlačenja uveća sa faktorom produženja geometrijske daljine privlačenja ili faktorom korekcije. Faktor korekcije privlačenja jeste odnos srednje stvarne i srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva, a uzima u obzir povećanje udaljenosti privlačenja drveta u odnosu na najkraću udaljenost do šumskog puta (Đuka et al., 2017b). Faktor korekcije se daje radi horizontalne i vertikalne korekcije geometrijske daljina privlačenja. Faktor korekcije se može odrediti na osnovu terenskih karakteristika i na osnovu nagiba terena (Sokolović & Bajrić, 2013a). Srednja stvarna daljina privlačenja oblog drveta se jednostavno može izračunati kao proizvod geometrijske daljine i faktora njenog produženja.

$$S_{ds} = S_{dG} \cdot k_G \quad \dots 4$$

Gdje je:

S_{ds} – stvarna daljina privlačenja oblog drveta (m),

S_{dG} – geometrijska daljina privlačenja oblog drveta (m),

k_G – faktor produženja geometrijske daljine privlačenja ili faktor korekcije (Pentek et al., 2005).

Jeličić (1985) daje ukupni koeficijent razvijanja (r) kojim se vrši transformacija geometrijske daljina privlačenja u stvarnu daljina privlačenja:

$$r = n \cdot k \quad \dots 5$$

Gdje je:

r – ukupni koeficijent razvijanja,

n – produženje dužine puta zbog nagiba terena,

k – produženje dužine puta zbog krivudanja (Tabela 4).

Tabela 4 Koeficijent razvijanja linije puta za različite nagibe terena (Jeličić, 1985; Prema Osmančević, 2023; Sokolović & Bajrić, 2013a)

Poprečni nagib terena %	n	k	$r = n \cdot k$
5	1,001	1,10	1,101
10	1,005	1,10	1,106
15	1,011	1,10	1,112
20	1,020	1,20	1,224
25	1,031	1,20	1,237
30	1,044	1,25	1,305
35	1,060	1,25	1,325
40	1,077	1,30	1,400
45	1,096	1,30	1,425
50	1,117	1,40	1,564
55	1,142	1,40	1,599
60	1,167	1,50	1,751
65	1,192	1,50	1,788
70	1,221	1,60	1,954
75	1,249	1,60	1,998
80	1,281	1,70	2,178
85	1,312	1,70	2,230
90	1,346	1,80	2,423
95	1,379	1,80	2,482
100	1,414	1,90	2,687

Koeficijent razvijanja linija za privlačenja drveta kojim se vrši transformacija geometrijske u stvarnu srednju transportnu distancu privlačenja zavisi od produženja distance zbog nagiba i zbog krivudanja.

Meštrović & Fabijanić (1995) daju formulu za računanje daljine privlačenja koja takođe u obzir uzima faktor promjenljive udaljenosti težišta od puta:

$$P = \frac{F}{l} \cdot a \quad \dots 6$$

Gdje je:

P – srednja daljina privlačenja (m),

F – površina šume od 1 (ha) ili 10.000 (m²),

L – otvorenost šume (m/ha),

a – faktor promjenljive udaljenosti težišta površine od puta iznosi: 0,4 za nizijska područja, 0,6 za brdsko područje, 0,8 za planinsko područje.

Prema Segebaden (1964) u uslovima Švedske korekcionni faktor geometrijske srednje daljine privlačenja za nizijsko područje iznosi 1,2, a za planinsko 1,5.

Backmund (1968) na osnovu istraživanja koja su provedena u Njemačkoj daje mrežni faktor korekcije za nizijsko područje 1,3; za brdsko 1,4; a za planinsko 1,52.

Faktor produženja distance po FAO (1974) se kreće od 1,6–2 za ravničarske terene i 3,6 za strme (Lotfalian et al., 2011).

Prema Nikoliću (1993) koeficijent zaobilaženja prepreka k se kreće od 1,1–1,2, a produženje distance zbog nagiba kao $1/\cos\alpha$, gdje je α ugao nagiba zemljišta.

Abbeg (1978) navodi da se koeficijent produženja udaljenosti privlačenja kreće od 1,15 za ravnice do 1,65 za planinu sa prosječnom vrijednošću od 1,44. Sveukupni faktor za nizijsko i brežuljkasto područje iznosi 1,8.

Stankić (2010) je utvrdio da je faktor korekcije udaljenosti privlačenja prilikom izvoženja drveta forvarderima u rasponu od 1,2 do 2,5, a kao srednju vrijednost usvaja 1,3.

Uzimajući u obzir reljefna područja određena na osnovu nadmorskih visina i nagib terena utvrđen je prosječan faktor korekcije stvarne daljine privlačenja od 1,34 za brdsko do 1,4 za planinsko reljefno područje (Petković, 2019; Petković & Potočnik, 2018; Petković et al., 2022).

Stvarna daljina privlačenja naročito za pojedine odjele dobija se njenim određivanjem na osnovu mreže sekundarnih šumskih komunikacija (traktorskih i animalnih puteva i vlaka) odnosno privlačenjem oblog drveta po njima do najbližeg stovarišta na šumskom putu. Ona se obično ponderiše količinom oblog drveta koje se privlači ili površinom sa koje se ono privlači do stovarišta na šumskom putu (Formula 7):

$$S_d = \frac{\sum Liw \cdot V_i}{\sum Vi} \quad \dots 7$$

Gdje je:

S_d – prosječna daljina privlačenja oblog drveta po sekundarnim šumskim komunikacijama do stovarišta (m),

Liw – suma svih daljina privlačenja oblog drveta do stovarišta,

V_i – količina oblog drveta koje se privlači (m^3),

$\sum V_i$ – suma količina oblog drveta koje se privlači (Ljubojević et al., 2018).

Određivanjem srednje daljine privlačenja stvaraju se uslovi za ekonomsku analizu ili tačnije određivanje troškova transporta drvnih sortimenata.

3.2.1.2.3. Teorijska geometrijska daljina privlačenja

Teorijska geometrijska daljina privlačenja se računa na teorijskom modelu mreže šumskih puteva. Cilj računanja teorijske geometrijske daljina privlačenja jeste da se pokaže kako njihov prostorni raspored utiče na skraćivanje geometrijske daljine privlačenja. Teorijski model mreže šumskih puteva se zasniva na pretpostavci da se sa planiranjem otvorenosti polazi od nule (Sokolović & Bajrić, 2013a).

3.2.1.2.4. Teorijska stvarna daljina privlačenja

Teorijska stvarna daljina privlačenja se računa iz teorijske geometrijske daljine privlačenja uvećane s faktorom korekcije. Usljed prilagođavanja konfiguraciji terena neophodno je lomljenje poligona trase puta i nivelete od čega i zavisi faktor korekcije stvarne daljine privlačenja ili produženja geometrijske (Sokolović & Bajrić, 2013a).

3.2.1.2.5. Optimalna stvarna daljina privlačenja

Stvarna optimalna daljina privlačenja se računa za optimalnu otvorenost šuma. Optimalna otvorenost se može izračunati pomoću neke od poznatih metoda ili se može uzeti iz strateškog plana otvaranja za određene terenske uslove. Optimalna otvorenost odnosno optimalna gustina ili optimalno rastojanje između šumskih puteva se potom uvrsti u obrazac za računanje stvarne optimalne daljina privlačenja (Sokolović & Bajrić, 2013a).

Srednja stvarna optimalna daljina privlačenja (Jeličić, 1971);

$$l_o = e \cdot a \quad \dots 8$$

Gdje je:

lo – srednja stvarna optimalna daljina privlačenja (m),

e – optimalno rastojanje šumskih puteva (m),

a – koeficijent privlačenja.

Rebula (1981) je dao formulu za računanje srednje stvarne optimalne daljine privlačenja:

$$Sd_{OS} = \frac{k_c}{c} \cdot 10.000 \quad \dots 9$$

Gdje je:

Sd_{OS} – srednja stvarna optimalna daljina privlačenja (m),

c – optimalna ili ciljana gustina šumskih puteva (m/ha),

k_c – koeficijent privlačenja za niziju 0,4, brdo 0,6 i planinu 0,8.

Stvarna postojeća i optimalna daljina privlačenja se izračunava u cilju određivanja troškova ove faze transporta.

3.2.1.2.6. Optimalna geometrijska daljina privlačenja

Ova vrsta daljine privlačenja izračunava se korekcijom srednje stvarne optimalne daljine privlačenja sa koeficijentom privlačenja ili faktorom korekcije ili faktorom produženja geometrijske daljine privlačenja za dato reljefno područje po formuli koja se koristi za srednju postojeću geometrijsku daljinu privlačenja (poglavlje 3.2.1.2.1.)

Danas se za proces optimizacije primarne otvorenosti najčešće koristi geometrijska optimalna daljina privlačenja i to kao parametar koji definiše širinu omeđene površine oko primarnih šumskih komunikacija, na osnovu koje se određuje relativna primarna otvorenost. Ciljana ili optimalna geometrijska daljina privlačenja u RH iznosi za nizijsko reljefno područje 330 m, za brdsko 250 m, za planinsko 200 m i za kraško 330 m (NN 106/15, 2015; NN 65/17, 2017).

Srednja geometrijska i stvarna daljina privlačenja za nadograđenu mrežu šumskih puteva se određuje na isti način kao i za postojeću mrežu. Nadograđena mreža šumskih puteva je mreža koja se sastoji od mreže postojećih i mreže novih šumskih puteva.

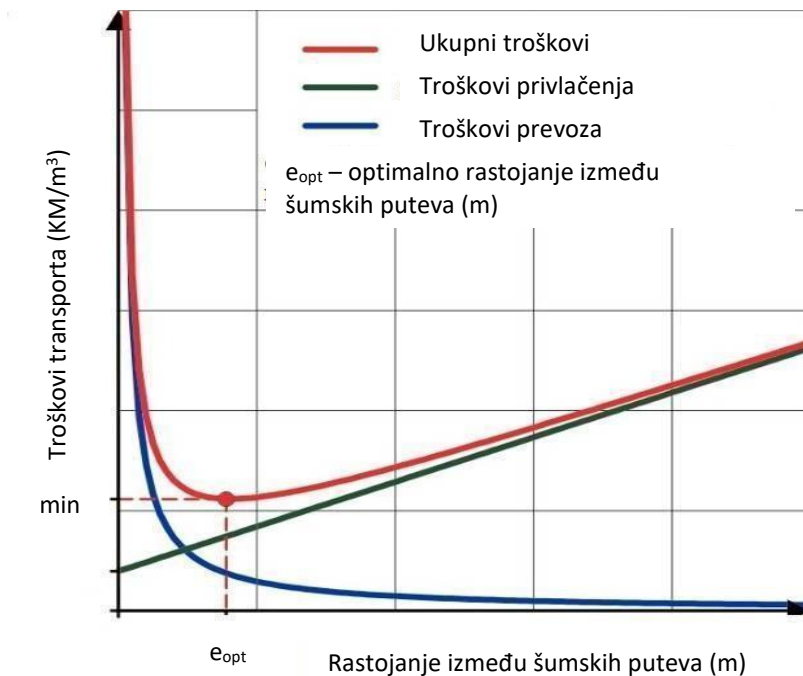
Mreža novih šumskih puteva projektuje se sa ciljem dostizanja optimalne ili ciljane gustine šumskih puteva. Međutim često se dešava da se projektovanjem novih puteva ne dostigne ciljane gustina odnosno njoj pripadajuća dužina šumskih puteva.

3.2.2. Određivanje optimalne gustine šumskih puteva

Optimalna primarna otvorenost šuma može se iskazati kao optimalno rastojanje između primarnih šumskih komunikacija na ravnim i terenima jednoličnog nagiba, a na strmim i terenima sa izraženim reljefnim oblicima iz optimalnog rastojanja se može izračunati optimalna gustina primarnih šumskih komunikacija.

U svakom slučaju rezultat zavisi od transportnih troškova i količine drveta koja se transportuje. Transportni troškovi se sastoje od troškova privlačenja i troškova prevoza. Troškovi privlačenja tehničkog oblog drveta se sastoje od troškova gradnje i održavanja sekundarnih šumskih komunikacija i troškova vuče drveta po njima. Troškove prevoza čine troškovi gradnje i održavanja primarnih šumskih komunikacija i troškovi vožnje drveta.

Minimalna vrijednost transportnih troškova prvi je pokazatelj optimalne primarne otvorenosti odnosno optimalnog rastojanja između primarnih šumskih komunikacija ili njihove optimalne gustine (Slika 18).



Slika 18 Grafikon rastojanja između šumskih puteva i minimalni ukupni troškovi transporta drveta (prilagođeno po Poršinsky et al., 2017)

Matthews (1939, 1942) je definisao matematičku vezu između optimalnog rastojanja između šumskih puteva i njihove optimalne gustine.

$$S = \sqrt{\frac{40.000 \cdot C_{road}}{V \cdot C_{travel}}} \quad \dots 10$$

Gdje je:

S – optimalno rastojanje između šumskih puteva (m),

C_{road} – trošak gradnje i održavanja šumskih puteva (KM/ m),

C_{travel} – trošak privlačenja (KM/ m³/ m),

V – intezitet sječe (m³/ha).

Od domaćih autora Jeličić (1971) razvio formulu za izračunavanje optimalnog rastojanja između šumskih puteva:

$$e = \sqrt{\frac{F}{M \cdot a \cdot p_0}} (g + o) \quad \dots 11$$

Gdje je:

e – optimalno rastojanje između šumskih puteva (m),

F – površina (ha),

M – godišnji etat (t/ha) gdje je specifična masa za četinare 0,8 (t/m³) a za lišćare 1 (t/m³),

g – trošak gradnje šumskih puteva (KM/m),

o – trošak održavanja šumskih puteva (KM/m),

a – faktor privlačenja ili faktor korekcije stvarne daljine privlačenja,

p₀ – trošak privlačenja (KM/t/m).

Priručnik za planiranje, projektovanje i gradnju šumskih puteva (1998) definiše optimalno rastojanje između šumskih puteva na osnovu formule 12:

$$S = \sqrt{\frac{4000 \cdot R}{h \cdot V}} \quad \dots 12$$

Gdje je:

S – optimalno rastojanje između šumskih puteva (m)

R – trošak gradnje i održavanja šumskih puteva (KM/km)

h – trošak privlačenja oblog drveta na 100 m daljine privlačenja (KM/m³)

V – količina oblog drveta koja se privlači (m³) (FAO, 1998).

Optimalno rastojanje kao prametar primarne otvorenosti se primjenjuje na ravnim i blago nagnutim terenima kao i na terenima jednoličnog poprečnog nagiba. Kao što je rečeno, iz rastojanja između šumskih puteva se izračunava gustina šumskih puteva, kao parameter optimalne primarne otvorenosti na strmim terenima i terenima izraženih reljefnih oblika formula 13 (FAO, 1974; FAO, 1998; Jeličić, 1971)

$$c = \frac{10.000}{S} \quad \dots 13$$

Gdje je:

c – optimalna gustina šumskih puteva (m/ ha),

S – optimalno rastojanje između šumskih puteva (m).

Sundberg (1976) određuje optimalnu gustinu po formuli 14.

$$ORD = 50 \sqrt{\frac{C \cdot T \cdot V \cdot q}{R}} \quad \dots 14$$

Gdje je:

ORD – optimalna gustina šumskih puteva (m/ha),

q – godišnji etat oblog drveta (m³/ha),

R – troškovi gradnje i održavanja šumskih puteva (KM/km),

T – faktor produženja geometrijske daljine privlačenja zbog prisustva površinskih prepreka i nagiba

V – mrežni faktor korekcije,

C – troškovi privlačenja oblog drveta (KM/min).

Takođe, FAO (1998) je iz optimalnog rastojanja izveo formula za optimalnu gustinu.

$$c = \sqrt{\frac{100.000 \cdot h \cdot V}{4 \cdot R}} \quad \dots 15$$

Gdje je:

c – optimalna gustina šumskih puteva (m)

R – trošak gradnje i održavanja šumskih puteva (KM/km)

h – trošak privlačenja oblog drveta na 100 m daljine privlačenja (KM/m³)

V – količina oblog drveta koje se privlači (m³).

Privlačenje oblog drveta je najintezivnija i najskuplja faza transporta i određivanje rute privlačenja je najvažniji zadatak tokom planiranja otvorenosti šuma i projektovanja šumskih puteva, jer su troškovi privlačenja 20 do 30 puta veći od troškova prevoza oblog drveta (Jeličić, 1983).

Troškovi prevoza naspram troškova privlačenja i troškova primicanja oblog drveta odnose se kao 1:10:100 (Agencija, 2010).

Troškovi privlačenja zavise od troškova vuče i troškova gradnje sekundarnih šumskih komunikacija. Troškovi vuče opet zavise od vremena vuče jednog tovara i daljine privlačenja. Troškovi privlačenja za zglobni traktor-skider Timberjack 450C iznose oko 15 KM/m³ (9,44 \$/ m³), a za skider Clarck oko 10 KM/m³ (6,38 \$/ m³). Troškovi gradnje šumskih puteva podrazumijevaju troškove širokog otkopa, izrade kolovoza i sistema odvodnje. Troškovi projektovanja su oko 10% troškova gradnje. Godišnji troškovi gradnje šumskog puta uključujući, kamatu na pozajmljena sredstva, amortizaciju i održavanje iznose oko 6000 KM/km (3647 \$/ km) (Naghdi & Limaiei, 2009).

Troškovi privlačenja skidera LKT 81T iznose oko 11 KM/m³, pri troškovima rada ovog prevoznog sredstva od 632,81 KM/RD i daljini privlačenja od 100 m. Prosječni troškovi gradnje šumskih puteva se kreću od 30.000 do 60.000 KM/km (Petković, 2019).

Troškovi privlačenja za Timberjack 405C iznose oko 14 KM/m³ (8,2 \$/m³), a troškovi gradnje i održavanja šumskih puteva oko 70.000 KM/m³ (42.216,5 \$/km). Godišnji troškovi gradnje i održavanja na osnovu 5% kamate i period amortizacije 50 godina iznose oko 5000 KM/km (2955 \$/km) (Jourgholami et al., 2013).

Ovaj pristup određivanju optimalne primarne otvorenosti šuma ima manu koja se zove promjenljivost troškova transporta u vremenu tačnije variranje cijena kako transportnih sredstava tako i goriva i maziva, usluga i rada.

Međutim, kako bi se proces planiranja primarne otvorenosti oslobodio ove mane neki autori, a sada to možemo nazvati čak i strateškim pristupom u nekim zemljama, pa i posebnom školom otvaranja šuma, posežu za definisanjem optimalne ili ciljane otvorenosti šuma za određena reljefna područja ili bioklimate ili pak tipove šuma.

Ovakav pristup se primjenjuje u planiranju primarne otvorenosti šuma u RH gdje su kroz 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 RH za razdoblje 2014. – 2020., propisane primarne otvorenosti šuma određenih reljefnih područja, tačnije gustine primarnih komunikacija, dobile i svoj pravni pečat. Dakle, ističe se neophodnost uređenja svih oblasti planiranja u šumarstvu kroz odgovarajuće zakonske i podzakonske akte, kako bi one imale svoju obavezujuću i legislativnu snagu.

Naravno nije ovo izvorni i pionirski pokušaj da se optimalna primarna otvorenost posmatra kroz prizmu terenskih karakteristika, stanja transportne infrastrukture i inteziteta gazdovanja šumama, već je FAO (1998) godine propisao gustine primarnih šumskih komunikacija u tom smislu. Tako za brdske terene, poprečnog nagiba do 40% i sa gustom sekundarnih šumskih komunikacija od 60 do 80 m/ha, potrebna gustina šumskih puteva se kreće između 7 i 10 m/ha, za strme terene na kojima se za privlačenje drveta primjenjuju žičare optimalna gustina šumskih puteva treba da iznosi od 15 do 25 m/ha, a za strme terene na kojima se intezivno gazduje šumama potrebno je od 25 do 35 m/ha šumskih puteva.

IUFRO (1995) i Dobre (1995) procjenjuju intezitet gazdovanja šumama na osnovu gustine šumskih puteva i to ako je gustina do 6 m/ha, šuma se smatra ne pristupačnom, gustina šumskih puteva od 6 do 15 m/ha omogućava ekstenzivno gazdovanje šumama, gustina od 16 do 30 m/ha omogućava normalno gazdovanje šumama i gustina šumskih puteva preko 30 m/ha omogućava intezivno gazdovanje šumama.

Gustina šumskih puteva od 25 m/ha smatra se neophodnom za privlačenje drveta po zemlji za Evropske uslove (Dykstra & Heinrich, 1996).

3.2.2.1. Određivanje relativne otvorenosti šuma

Relativna otvorenost šuma je pokazatelj otvorenosti kog je prvi uveo Backmund još 1966. godine i on ju je predstavio kao odnos otvorene i ukupne površine šuma. Otvorena površina je površina koja okružuje šumske komunikacije kako primarne tako i sekundarne i određena je njenom širinom. Backmund je ustanovio širinu omeđene površine koja je jednaka rastojanju između šumskih komunikacija i računa relativnu otvorenost prema formuli (formula 16).

$$E = \frac{A_{otv}}{A_{uk}} \cdot 100 = \frac{\sum l \cdot e}{A_{uk}} \quad \dots 16$$

Gdje je:

E – relativna otvorenost (%),

A_{otv} – otvoreno područje (ha),

A_{uk} – ukupna površina područja (ha),

$\sum l$ – ukupna dužina šumskih puteva (m),

e – rastojanje između šumskih puteva (m).

Relativna otvorenost se računa po formuli:

$$O_R = \frac{P_O}{P_U} \cdot 100 \quad \dots 17$$

Gdje je:

O_R – relativna otvorenost (%),

P_O – površina bafer zona-otvorena površina područja za dvostruku geometrijsku daljinu privlačenja (ha),

P_U – ukupna površina područja (ha) (Pentek et al., 2005).

Sachs (1968) je modifikovao ovu formulu u smislu da je za širinu omeđene površine oko šumskih komunikacija uzeo 200 m na ravnom terenu, na strmim terenim 100 m za privlačenje uzbrdo, a 200 m u slučaju privlačenja drveta nizbrdo. Širina omeđene zone oko primarnih šumskih komunikacija zavisi od nagiba i smjera privlačenja drveta po Hentschel (1996). Prema tome širina omeđene zone je 150 m za nagibe terena do 25 %, a 60 m za nagibe preko 25 % i kada je smjer privlačenja uzbrdo, a 100 m za privlačenje nizbrdo.

Danas se kao parametar širine omeđene zone oko šumskih puteva koristi dvostruka ciljana geometrijska daljina privlačenja (Hayati et al., 2012; Lepoglavec, 2014; Pentek et al., 2005; Petković, 2019; Petković & Potočnik, 2018; Petković et al., 2019; Sokolović & Bajrić, 2013a).

Na kraju se dobija procenat pristupačne površine šuma za određenu daljinu privlačenja u odnosu na ukupnu površinu.

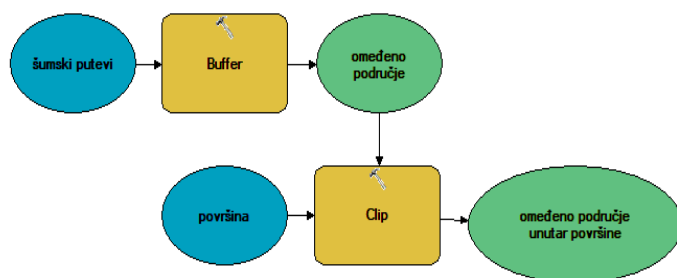
Procjena kvaliteta primarne relativne otvorenosti, na osnovu postotka dostupne šumske površine za definisanu ciljanu geometrijsku daljinu privlačenja drveta pojedinog reljefnog područja se može opisati kao: 1) nedovoljna primarna relativna otvorenost (< 55 % šumske površine je dostupno za definisanu ciljanu geometrijsku daljinu privlačenja drveta), 2) slaba primarna relativna otvorenost (od 55 do 65 % šumske površine je dostupno za definisanu ciljanu geometrijsku daljinu privlačenja drveta), 3) dobra primarna relativna otvorenost (od 65 do 75 % šumske površine je dostupno za definisanu ciljanu geometrijsku daljinu privlačenja drveta), 4) jako dobra primarna relativna otvorenost (od 75 do 85 % šumske površine je dostupno za definisanu ciljanu geometrijsku daljinu privlačenja drveta) te 5) izvrsna primarna relativna otvorenost (> 85 % šumske površine je dostupno za definisanu ciljanu geometrijsku daljinu privlačenja drveta) (Pentek et al., 2005).

Kriterijumi za ocjenu relativne otvorenosti za sekundarnu mrežu (Pentek, 2002).

Tabela 5 Ocjena sekundarne relativne otvorenosti (Pentek, 2002)

Otvorena površina (%)	Kategorija otvorenosti
Do 60	Nedovoljna
60-70	Slaba
70-80	Jedva dobra
80-90	Vrlo dobra
Preko 90	Odlična

Za izračunavanje relativne primarne otvorenosti potrebno je definisati površinu omeđenog područja oko primarnih šumskih komunikacija (buffer zone) na osnovu njene širine pomoću GIS alata (Beguš & Pertlik, 2017). Ukupna širina omeđenog područja jednaka je dvostrukoj vrijednosti prosječne ciljane geometrijske daljine privlačenja krupnog drveta zglobnim traktorom. Odlika omeđenog područja je jednaka udaljenost njegovih ivica od šumskih puteva (Slika 19).



Slika 19 Model određivanje otvorenih područja

3.2.2.2. Određivanje koeficijenta efikasnosti postojeće mreže šumskih puteva

Koeficijent efikasnosti otvaranja ili koeficijent efikasnosti mreže šumskih puteva predstavlja odnos područja koja su otvorena od strane dva ili više šumskih puteva (višestruko otvorena) i područja koja su otvorena jednim šumskim putem (jednostruko otvorena). To je ocjena uticaja šumskih puteva na otvaranje šumskog područja, odnosno pokazatelj kvaliteta njihovog prostornog rasporeda. Koeficijent efikasnosti je brojčani podatak koji se dobije takođe metodom kreiranja omeđenih površina i računa se pomoću formule 18:

$$k_E = \left(1 - \frac{P_N}{P_{OU}}\right) \cdot 100 \quad \dots 18$$

Gdje je:

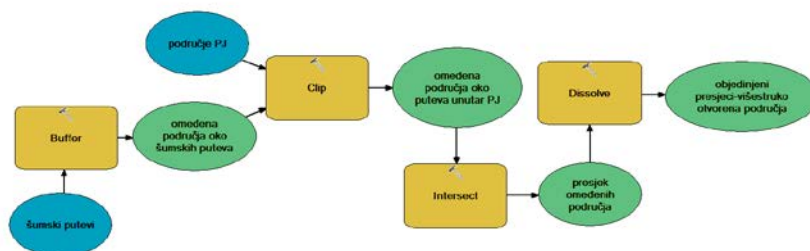
k_E – koeficijent efikasnosti otvaranja (%),

P_N – višestruko otvorene površine (ha),

ΣP_{OU} – ukupna otvorena površina (suma svih otvorenih površina) (ha) (Lepoglavec 2014; Pentek et al., 2005; Petković 2019; Petković & Potočnik 2018; Sokolović & Bajrić, 2013a).

Cilj planiranja i gradnje šumskih puteva jeste da se oni prostorno polože tako da koeficijent efikasnosti otvaranja bude što veći (max 100%). Manji koeficijent efikasnosti otvaranja znači da dolazi do preklapanja omeđenih površina dva ili više puteva, odnosno da je jedna šumska površina istovremeno otvorena sa dva ili više puteva (Sokolović & Bajrić, 2013a).

Koeficijent efikasnosti otvaranja zahtjeva određivanje površine višestruko otvorenih područja koja se javljaju na mjestima ukrštanja šumskih puteva ili na mjestima gdje su oni blizu jedni drugih, kreiranjem omeđenih površina oko šumskih puteva tzv. bufer zona pomoću GIS alata (Beguš & Pertlik, 2017). Potom se vrši njihovo poređenje sa jednostruko otvorenim područjima oko šumskih puteva (Slika 20).



Slika 20 Model određivanja višestruko otvorenih površina unutar otvorenog područja

3.2.3. Izrada prostornog plana novih šumskih puteva

Prvi korak u izradi prostornog plana šumskih puteva je određivanje primarne relativne otvorenosti odnosno određivanje otvorenih površina za dvostruku ciljanu geometrijsku daljinu privlačenja oblog drveta oko ove vrste šumskih komunikacija. Tako se dobija uvid gdje treba projektovati nove šumske puteve. Potom se radi određivanje pogodnosti šumskog područja za gradnju šumskih puteva na osnovu višekriterijumske analize. Cilj izrade prostornog plana šumskih puteva jeste optimizacija njihovog rasporeda u šumskom prostoru odnosno nedovoljno otvorenim područjima PJ.

3.2.3.1. Višekriterijumska analiza

Određivanje područja koja su pogodna za gradnju šumskih puteva vrši se višekriterijumskom analizom koja podrazumijeva izbor najznačajnijih kriterijuma i definisanje inteziteta njihovog uticaja na datu problematiku primjenom različitih matematičkih modela i metoda (Beguš & Pertlik, 2017; Hribernik, 2013; Jež, 2016; Lepoglavec, 2014; Pellegrini et al., 2013; Saaty, 1980; Saaty, 2008), a u ovom slučaju to je metoda Analitičko hijerarhijskog procesa (AHP metoda).

Ovaj metod razvio je Tomas Sati (Tomas Saaty) kao podršku odlučivanju. Metoda se provodi u tri jednostavna koraka: procjena važnosti kriterijuma na problem, izračunavanje pondera ili težina za svaki od njih i provjera konzistencije uspostavljenih matrica. Za procjenu važnosti kriterijuma na problem u prvom koraku najčešće se koristi skala sa 9 ocjena ili pak neka druga koju definiše istraživač ili onaj ko donosi odluke. Srednje vrijednosti ocjena procjene važnosti kriterijuma na problem koriste se za formiranje matrice poređenja, koja predstavlja vezu između važnosti kriterijuma na problem. Iz matrice poređenja se formira matrica normalizovanih vektora u kojoj se izračunavaju ponderi za svaki od izabranih kriterijuma. Tačnost i prihvatljivost dobijenih pondera odabranih kriterijuma na problem provjerava se izračunavanjem odnosa konzistencije (formula 19).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \dots 19$$

Gdje je:

CR – odnos konzistencije,

CI – indeks konzistencije,

RI – indeks slučajnih brojeva.

Indeks konzistencije se računa:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{(n-1)} \quad \dots 20$$

Gdje je:

CI – indeks konzistencije,

λ_{max} – maksimalna vrijednost matrice,

n – veličina matrice nxn.

Ukoliko je odnos konzistencije jednak ili manji od 0,1 onda je procjena važnosti uticaja kriterijuma na problem prihvatljiva, a rezultat AHP metode je primjenljiv (Hribernik, 2013; Jež, 2016; Lepoglavec, 2014; Pellegrini et al., 2013; Saaty, 1980; Saaty, 2008).

Planiranje šumskih puteva zavisi od faktora životne sredine kao što su: zemljište, voda, biosfera, klima, socio-ekonomske prilike i kulturni aspekt, jer gradnja šumskih puteva prouzrokuje smanjenje produktivne površine, štete na vodotocima i utiče na promjenu uslova životne sredine uopšte (Gumus et al., 2008).

Kada je u pitanju konkretno šumski prostor onda se prilikom planiranja šumskih puteva za višekriterijumsku analizu obično uzima zaliha drveta, nagib terena i dubina zemljišta (Sokolović et al., 2009). Pored ovih faktora Abdi et al. (2009) uzimaju u obzir još i geološku podlogu, ekspoziciju i nadmorsku visinu.

S druge strane tu su ekonomski faktori i funkcije šuma, koje se dijele na: zaštitne, biotopske, zdravstvene, rekreacione, turističke, odbrambene, zaštite prirodnog i kulturno naslijeđa, edukativne, estetske, proizvodnja drveta, lovne i sl. (Hribernik, 2013).

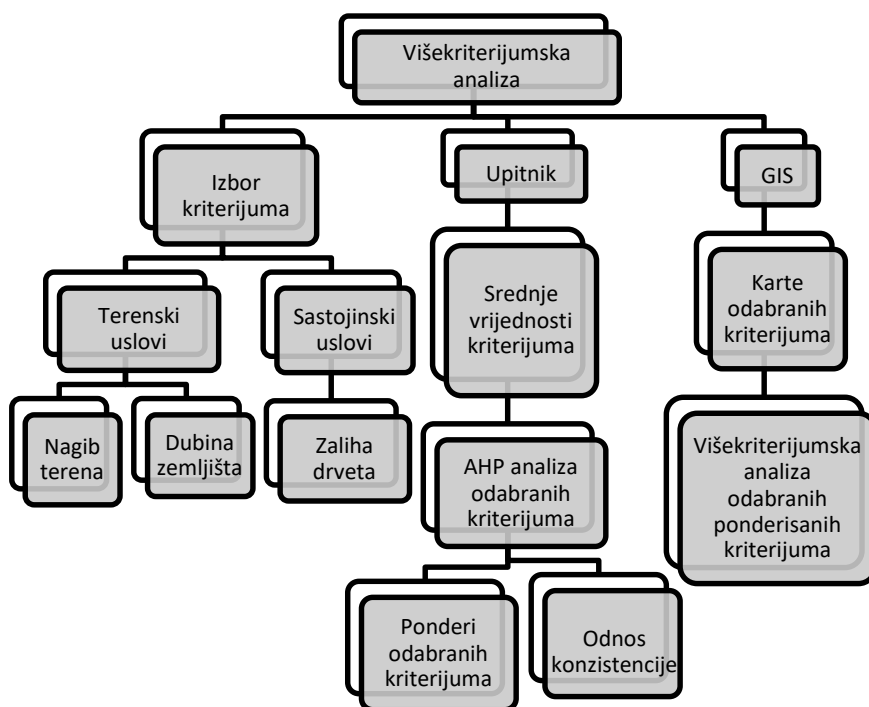
Slične faktore izdvajaju kao prioritet u planiranju šumskih puteva i Caliskan (2013), Lepoglavec (2014), Đuka et al., (2015), Firouzan & Abed (2015) i Tampekis et al. (2015), i uopšte oni se mogu svrstati u pet grupa:

- terenske,
- sastojinske,
- infrastrukturne,
- zaštitne i
- socio-ekonomske.

U okviru nabrojanih faktora za koje se najčešće koristi termin kriterijumi, izdvajaju se podkriterijumi na osnovu rezultata ispitivanja javnog mnijenja iz oblasti šumarstva. Ovaj način je primjenljiv za različite tipove istraživanja vezanih za problematiku gazdovanja šumama. Podkriterijumi koji se najčešće primjenjuju u ovom slučaju su nagib terena, osobine zemljišta i zapremina drveta.

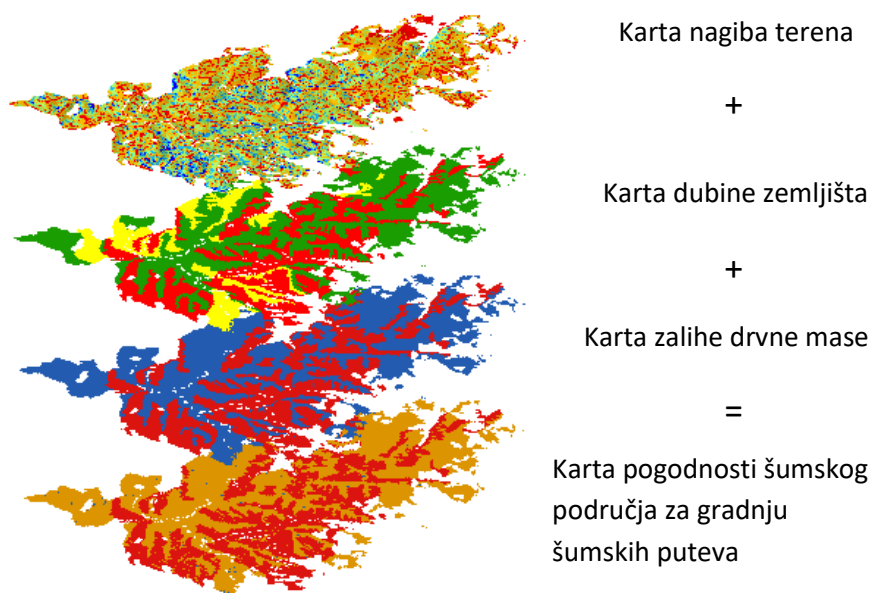
Uticaj odnosno težine ovih podkriterijuma na problem određivanja pogodnosti područja za gradnju šumskih puteva, a koji se određuju primjenom AHP metode, kreće se od 0,2 do 0,4 za nagib terena, zemljište utiče od 0,15 do 0,24, a za drvenu masu od 0,1 do 0,4 (Abdi et al., 2009; Caliskan, 2013; Mohammadi et al., 2010; Sokolović et al., 2009).

Rasteri odabranih podkriterijuma dobijaju se primjenom GIS alata nakon čega se njihove originalne vrijednosti standardizuju na vrijednosti od 0-1 zbog toga što se različito izražavaju. Potom se vrši njihovo množenje sa težinama, koje su dobijene AHP metodom, i sabiranje, a rezultat je jedan raster koji predstavlja kartu pogodnosti šumskog područja za gradnju šumskih puteva. Dakle, međusobno se sabiraju rasteri odabranih podkriterijuma koji su standardizovani (Slika 21).



Slika 21 Višekriterijumska analiza

Rezultati višekriterijumske analize ogledaju se u definisanju: pogodnosti područja za gradnju šumskih komunikacija (Slika 22), ciljane otvorenosti i na kraju projektovanju šumskih komunikacija.



Slika 22 Višekriterijumska analiza odabranih ponderisanih kriterijuma u GIS-u-karta pogodnosti područja za gradnju u PJ “Prosara” (Petković, 2019; Petković, 2023)

3.2.3.2. Izrada generalnog projekta šumskih puteva

Novi šumski putevi u vidu nultih linija se projektuju u pogodnim i ujedno nedovoljno otvorenim područjima za dvostruku ciljanu geometrijsku daljinu privlačenja. Prilikom projektovanja novih šumskih komunikacija, odnosno prije svega šumskih puteva treba poštovati zakonske i podzakonske norme koje propisuju dimenzije konstruktivnih elemenata ove vrste šumskih komunikacija, kako u situaciji tako i u uzdužnom i poprečnom profilu puta.

Projektovanje, u fazi planiranja šumskih puteva se vrši u kancelariji metodom koračanja na digitalnoj karti sa izohipsama ekvidistancije 5 metara, a da pri tom nagib nulte linije prema Pravilniku o projektovanju šumskih kamionskih puteva (2002) ne prelazi 8 %. S obzirom na to dužina koraka ne može biti kraća od 62,5 m. Digitalna karta se dobija prostornom analizom DMT-a pomoću GIS-a iz koga se generišu izohipse sa određenom ekvidistancijom.

Dužina koraka se računa po formuli 21.

$$k = \frac{e}{tg\alpha} \quad \dots 21$$

Gdje je:

k – dužina koraka, (m),

e – ekvidistancija, (m),

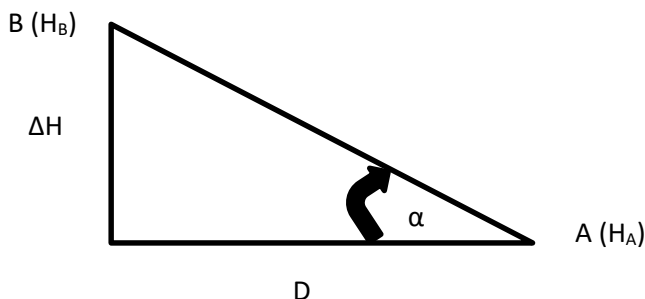
α – ugao nagiba terena ili vertikalni ugao (°).

$$tg\alpha = \frac{\Delta H}{D} \quad \dots 22$$

Gdje je:

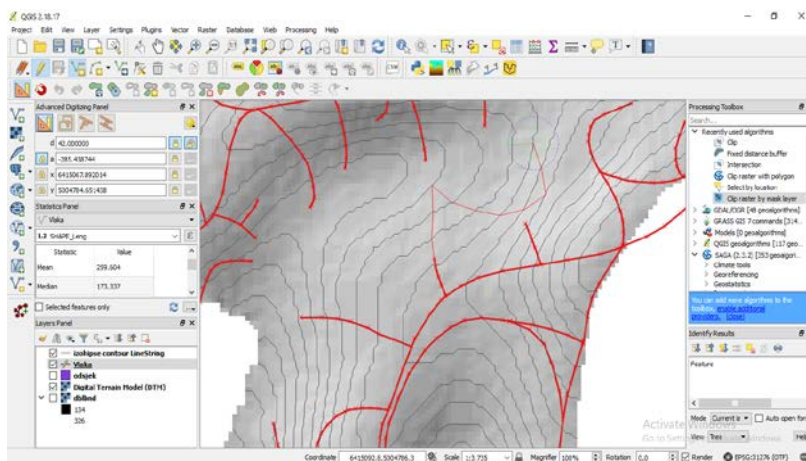
ΔH – visinska razlika između dvije tačke (m),

D – rastojanje između dvije tačke (m) (Slika 23).



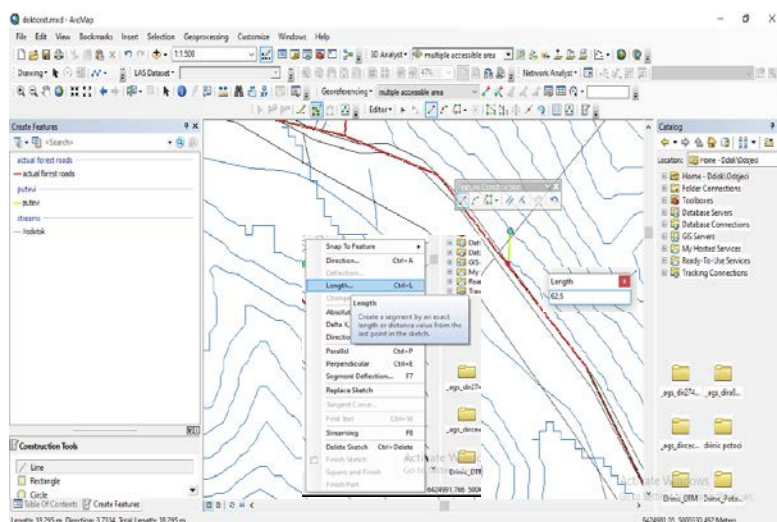
Slika 23 Određivanje tangensa ugla nagiba zemljišta

Nove šumske komunikacije se nadovezuju na postojeće na zato pogodnim mjestima na digitalnoj karti i postavljaju se u obliku tzv. nultih linija metodom dužine koraka kojim se spajaju dvije susjedne izohipse da bi se savladao određeni nagib pomoću alata Advance Digitizing Panel koji se nalazi u padajućem meniju View, Toolbars QGIS programskog paketa. Dužina koraka se upisuje u polje d ovog alata i klikom na tačku u kojoj korak sječe susjednu izohipsu postavljamo nultu liniju. Prije toga je potrebno editovati (Edit) sloj u .shp formatu tipa polyline (npr. vlaka, putevi i sl.) i dodati novu trasu na Add feature klikom u tačku na već postojećoj komunikaciji od koje se odvaja nova (Slika 24).



Slika 24 Projektovanje šumskih komunikacija pomoću QGIS-a

Takođe, može se koristiti i ArcGIS Customize Toolbar Editor koji radi na sličnom principu kao i Advance Digitizing Panel u QGISu. Prvo je potrebno editovati sloj u .shp formatu polyline (putevi) i klikom na Create features postavljamo tačku na postojećem putu od koga će se projektovati nova saobraćajnica i klikom na opciju Length upisujemo dužinu koraka k (Slika 25).

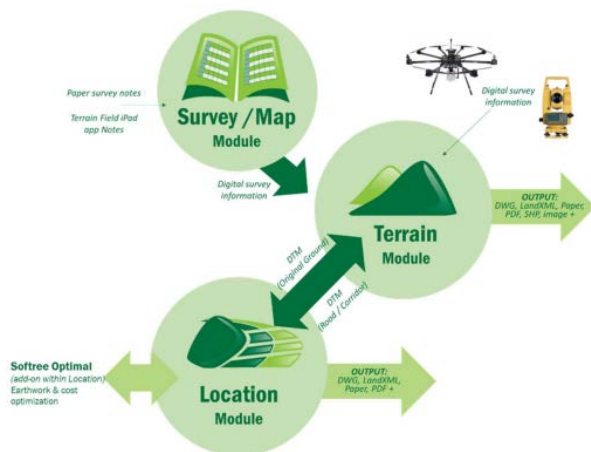


Slika 25 Projektovanje nulte linije u ArcGISu

Na osnovu nultih linija potrebno je izraditi idejne projekte za nove šumske puteve kako bi dobili grubu sliku o izgledu šumskog puta u situaciji, uzdužnom i poprečnim profilima i količini radova kako bi se mogli izračunati troškovi njihove gradnje.

3.2.3.3. Izrada idejnih projekata šumskih puteva

Izrada idejnih projekata šumskih puteva vrši se pomoću programskih paketa za projektovanje saobraćajnica, kao što je AutoCAD, a u ovom slučaju RoadEng (Slika 26). Inače, RoadEng je program koji je razvijen od strane kompanije Softree sa sjedištem u Kanadi. On se sastoji od tri modula Survey, Location i Terrain.

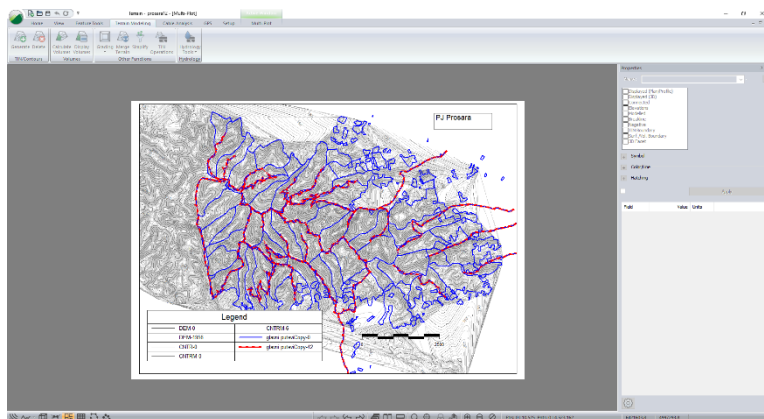


Slika 26 RoadEng – povezanost modula (Softree, 2023)

Prvo je potrebno sve podatke pripremljene u GIS-u, .shp dokumente za puteve, granice unutrašnje i vanjske podjele šuma i DMT, uvući (Insert File) u RoadEng modul Terrain i sačuvati u .terx formatu kao posebne dokumente (File) kako bi ih mogli uvući i sa njima manipulirati u modulu Location koji omogućava definisanje svih elemenata kako u situaciji tako i u uzdužnom i poprečnim profilima šumskog puta.

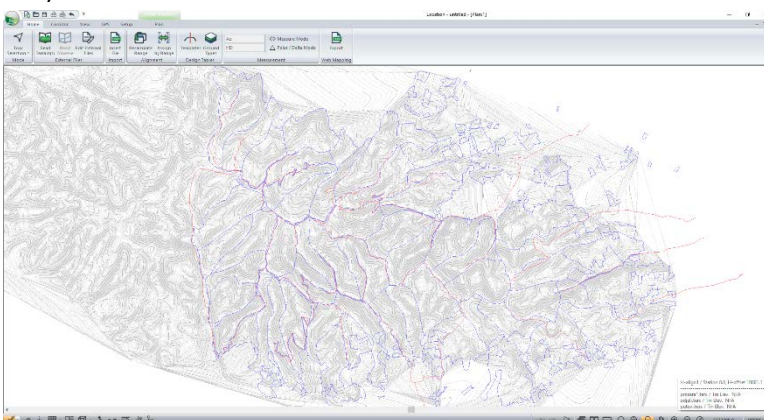
Iz DMT se dobijaju izohipse tako što se, prvo uvuče slika u .tif formatu koju program prepoznaje kao oblak tačaka. Potom se pomoću alata Generate iz padajućeg menia Terrain Modeling definišu osobine izohipsi, odnosno ekvidistancija, i potvrdom na OK se dobija niz linija sa konstantnom međusobnom visinskom razlikom.

Na slici plavom bojom su obilježeni poligoni koji predstavljaju granice odjela u PJ, a crvenom bojom poliliniije za postojeće šumske puteve (Slika 27).



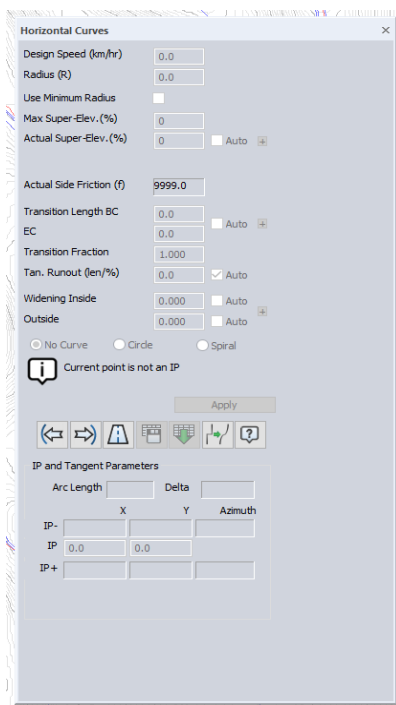
Slika 27 Priprema podatka za projektovanje šumskih puteva u Terrain modulu

Ovako pripremljeni dokumenti (File) uvlače se u modul Location i to ponajprije izohipse pritiskom na New File i odabirom već pripremljenog dokumenta u .terx formatu, a onda se pomoću opcije Background Plan Options dodaju dokumenti poligoni za odjele (plava boja), postojeći šumski putevi (plava i crvena boja) kao i novoprojektovani-nulte linije (crvena boja) (Slika 28).



Slika 28 Pripremljen sadržaj u Terrain modulu uvučen u modul Location i spreman za izradu idejnih projekata

Panel za horizontalne krivine dopušta modifikaciju izabrane krivine na planu. Panel se aktivira preko menija Window-New Window-Horizontal Curves (Slika 30).



Slika 30 Panel za konstruisane horizontalnih krivina

Na vrhu panela nalazi se opisna linija koja pokazuje broj krivine i njenu stacionažu.

Radius - podrazumijeva unošenje i promjenu poluprečnika krivine. Ako je maksimalni poluprečnik premašen Apply opcija će biti isključena i upozorenje će biti istaknuto pokraj nje.

Super-elevation (%) - kojom se vrši promjena nagiba krivine.

Transition length - predstavlja dužinu od punog nagiba do nule na vanjskoj strani krivine.

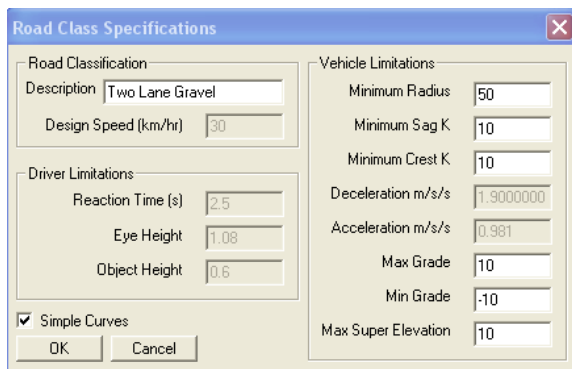
Transition fraction - procenat prelaza vrijednosti nagiba na proširenje krivine koje se javlja izvan tačka početka i kraja krivine.

No curve/circle - izborom opcije No Curve onemogućava se unosenje vrijednosti elemenata krivina ili se uklanja izabrana krivina sa situacije. Izborom Circle opcije usvajaju se unesene vrijednosti krivine i prikazuju se parametri na dnu panela.

Previous curve - selektovanu krivinu pomjera na predhodnu krivinu.

Next curve - selektovanu krivinu pomjera na narednu krivinu.

Road Class Parameters-otvara Road Class Specifications prozor. Ovaj prozor je dostupan kao oznaka na Template Table Dialog-u ili na osnovu Road Class Parametes opcije na panelu za krivine. Parametri u ovom prozoru predstavljaju parametre određene vrste puta koje su značajne za definisanje krivina (Slika 31).



Road Class Specifications	
Road Classification	
Description	Two Lane Gravel
Design Speed (km/hr)	30
Driver Limitations	
Reaction Time (s)	2.5
Eye Height	1.08
Object Height	0.6
☒ Simple Curves	
OK Cancel	
Vehicle Limitations	
Minimum Radius	50
Minimum Sag K	10
Minimum Crest K	10
Deceleration m/s/s	1.9000000
Acceleration m/s/s	0.981
Max Grade	10
Min Grade	-10
Max Super Elevation	10

Slika 31 Prozor za definisanje parametara određene vrste puta

Description - izbor opcije za parametre koji definišu tip puta.

Design Speed - omogućava određivanje maksimalne projektne brzine za konkretni tip puta. Upozorenje će biti dato na Horizontal or Vertical Curve Panels-Advanced Mode ako je projektna brzina veća nego što je ovdje definisano.

Driver Limitations - koristi se za kalkulaciju pregledne dužine, u slučaju ako su jednostavne krivine isključene u ovom dijalogu i ako je Auto Sight Distance opcija uključena u Vertical Curve panelu.

Reaction Time(s) - omogućava određivanje vremena koje je potrebno vozaču da reaguje računajući od momenta opažanja prepreke.

Eye Height - podrazumijeva određivanje visine vidne tačke vozača iznad puta.

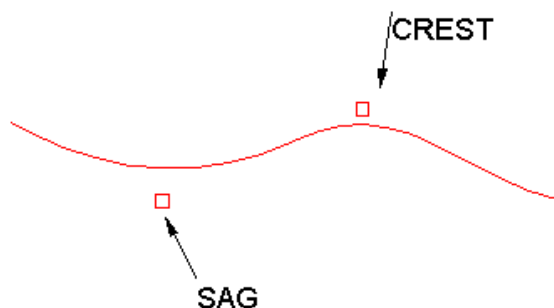
Object Height - znači visinu prepreke na putu.

Vehicle Limitations - omogućava definisanje parametara horizontalnih i vertikalnih krivina i nagiba nivelete.

Minimum Radius - služi za definisanje veličine poluprečnika za određenu vrstu puta.

Minimum Sag K - definiše minimalne K vrijednosti kod konkavnih krivina, ako je unesena K vrijednost manja od minimalne upozorenje će biti prikazano na panelu za vertikalne krivine (Slika 32).

Minimum Crest K - omogućava određivanje minimalne vrijednosti K kod konveksnih krivina (Slika 32).



Slika 32 Konkavne i konveksne vertikalne krivine

Deceleration ft/s/s or m/s/s - koristi se za definisanje tipične brzine zaustavljanja za određenu vrstu puta i može da se koristi ako su jednostavne krivine u ovom prozoru isključene i ako je Auto Sight Distance opcija uključena u Vertical Curve panelu.

Acceleration ft/s/s or m/s/s - služi za definisanje ubrzanja za konkretnu trasu puta.

Max/Min Grade - podrazumijeva definisanje maksimalnog i minimalnog nagiba nivelete, a pozitivna vrijednost predstavlja uspon, a negativna pad.

Max Super Elevation - definiše maksimalnu vrijednost poprečnog nagiba puta.

Get/Set Default Curve - omogućava primjenu vrijednosti parametara krivina koje se najčešće koriste i njome se izbjegava stalno unošenje ovih vrijednosti prilikom svakog formiranja krivina.

Curve and Tangent Parameters - ovaj dio panela pruža povratne informacije o različitim podacima na prikazanoj krivini.

Arc Length- predstavlja vrijednost dužine dijela kružnog luka, tj. krivine.

Delta - je ugao delta krivine.

BC/EC/IP - prikazuje koordinate početka, kraja krivine i tjemena krivine, te azimute napred i nazad.

Multi-Plot Window - naredne stavke se koriste za prikaz elemenata krivina.

Radius - poluprečnik krivine.

Curve Deg. (Da) - Pokazuje položaj krivine, definiciju luka, a dužina dijela kružnog luka može biti definisana od strane korisnika u Curve Table Options prozoru.

Curve Deg. (Dc) - pokazuje položaj krivine, definiciju skladnosti.

Curve Len. (L) - je dužina krivine.

Chord Len. (C) - je pravolinijsko rastojanje između tačaka početka i kraja krivine.

Angle (I) - je centralni ugao krivine, odnosno ugao skretanja α .

Tangent (T) - je dužina tangente odnosno rastojanje od tačaka početka ili kraja krivine pa do tjemena.

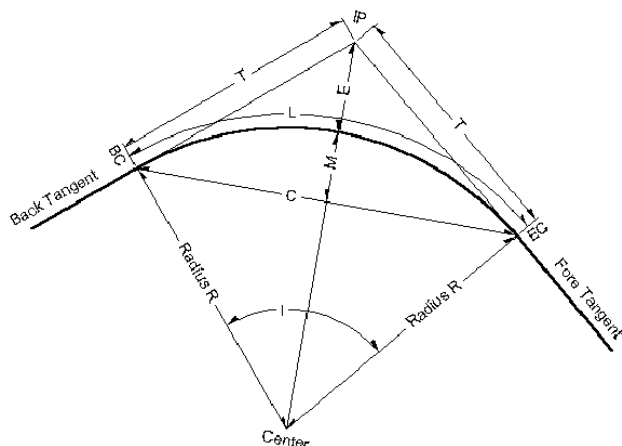
E. Distance (E) - je dužina bisektrise, odnosno rastojanje od tjemena do tačke sredine krivine.

M. Ord (M) - pokazuje rastojanje između sredine krivine i srednje tačke na linijskoj dužini.

Back Tan. - predstavlja azimut pravca poligona trase puta do tjemena.

Fore Tan. - je azimut pravca poligona trase puta od tjemena.

Chord Az.-je azimut pravca od početka do kraja krivine (Slika 33) (Softree, 2002).



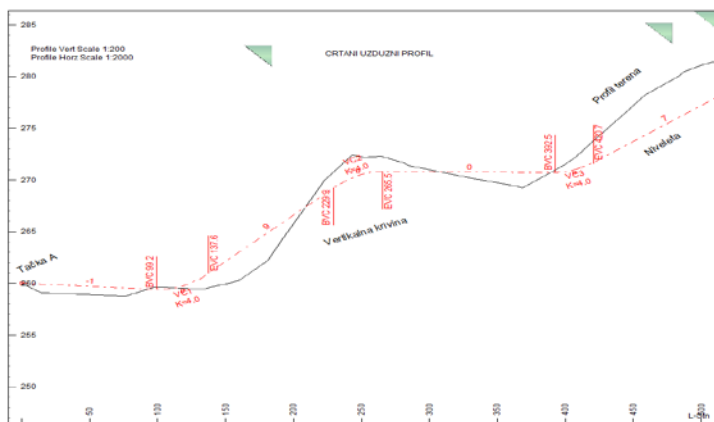
Slika 33 Skica horizontalne krivine

Najznačajniji konstruktivni elementi šumskih puteva u situaciji su:

- minimalni poluprečnik horizontalnih krivina koji u zavisnosti od računske brzine kretanja vozila, značaja puta i konfiguracije terena iznosi 20 (15) m. Ove poluprečnike treba primjenjivati samo u iznimnim i neophodnim slučajevima,
- međupravci između kontra krivina moraju biti: za glavne šumske puteve minimalno 15 m, sporedne minimalno 10 m i za prilazne šumske puteve minimalno 8 m,
- bankine i planum puta - širina bankina u zemljištu III i IV kategorije je 0,5 m, a rade se sa obe strane kolovoza. Poprečni nagib bankina je za 1% veći od nagiba kolovoza radi odvodnje vode sa planuma puta. U zemljištu V kategorije na nasipu se radi bankina širine 0,5 m, a u usjeku umjesto bankine radi se rigol širine 0,5 m, koji se u slučaju potrebe koristi kao prometna površina. Planum puta čini kolovoz i bankine. Njegova širina na zemljištu III i IV kategorije u pravcima i u krivinama poluprečnika većeg od 70 m, je 4,0 m dok je u zemljištu V kategorije svega 3,5 m bez rigola. U krivinama poluprečnika manjeg od 70 m širina planuma puta je uvećana za proširenje u krivinama (IRPC, 2002).

Ovi konstruktivni elementi se mogu podesiti u aplikativnom programu RoadEng dok se ostali, kao što su proširenja u krivinama, automatski dobijaju.

U uzdužnom profilu šumskog puta potrebno je povući niveletu pomoću Tool Selection alata Add/Edit IP, tako da ona prati konfiguraciju terena u vertikalnoj ravni i bude u skladu sa propisanim nagibima nivelete tj. nagiba šumskog puta u uzdužnom profilu. Dakle, uzdužni profil predstavljen je linijom terena i niveletom, a niveleta je linija po kojoj se odvija saobraćaj u uzdužnom profilu (Slika 34).



Promjena nagiba nivelete tj. lom nivelete se zaobljuje dijelom kružnog luka ukoliko je razlika u nagibu veća ili jednaka od 2% (IRPC, 2002). Konstruisanje vertikalnih krivina vrši se alatom Vertical curve (Slika 35).

Vertical Curves

Design Speed (km/hr) 60.0

☐ Auto

Parabolic Rate (K) 20.00 ☒ Lock K

Length 62.5 ☐ Lock L

Sight distance 85.7 ☒ Auto

☐ No Curve ☒ Parabola

Apply

IP and Tangent Parameters

Change in Grade 3

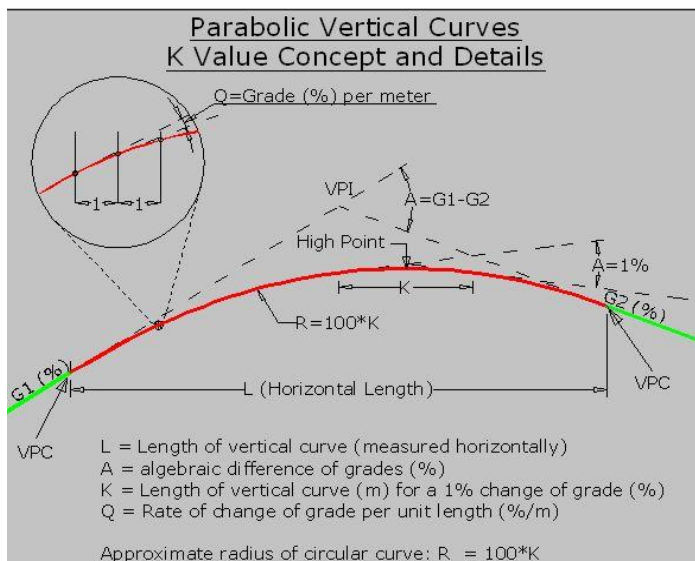
	Station	Elevation	Grade
BC	399.3	271.2	-3
IP	430.6	270.4	
EC	461.9	270.6	1

IP IP IP

Slika 35 Panel za vertikalne krivine

Na vrhu panela je opisna linija koja pokazuje broj krivine i njenu stacionažu (stacionažu tjemeni), i tjeme sa stacionažom ako krivina nije formirana.

Parabolic Rate (K) - u kome se definiše vrijednost K, a to je dužina vertikalne krivine na kojoj se uzdužni nagib mijenja za 1%. Prema Pravilniku iz 2002., osnovni konstruktivni element vertikalne krivine na šumskim putevima je poluprečnik i on je jednak 100K (Slika 36).



Slika 36 Objašnjenje K koeficijenta kod vertikalnih krivina i računanje njenog poluprečnika (Trimble, 2023)

Tako da minimalna vrijednost ovog koeficijenta K za konveksne vertikalne krivine (Crest) iznosi 4, a za konkavne (Sag) 2.

Length - podrazumijeva unošenje i promjenu vrijednosti dužine krivine.

No Curve/Parabola - izborom No Curve opcije onemogućava se unošenje parametara vertikalne krivine i uklanja se krivina sa vertikalnog profila, dok izborom Parabola primjenjuju se vrijednosti krivine na profilu i parametri se u isto vrijeme prikazuju na dnu panela.

Change in Grade - predstavlja promjenu nagiba kod datog tjemena.

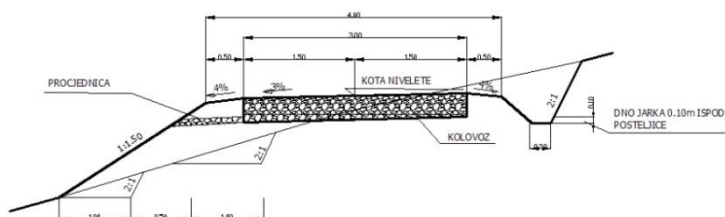
BC/EC/IP - su koordinate tačaka početka, kraja krivine i tjemena i pokazuju nagib ispred i iza vertikalne krivine.

Add/Modify Vertical IP - omogućava unošenje nove IP tačke (tjemena) kada je Add New IP opcija aktivirana. Da bi postavili novu IP potrebno je unijeti vrijednosti Station, Horizontal Distance, Elevation, or Change in elevation (delta Z). Promjena nagiba ili loma nivelete na novoj IP vrši se unošenjem vrijednosti Grade % or Grade Brk. Na profilu su takođe predstavljene stacionažne tačke vertikalnom crticom (Softree,2002).

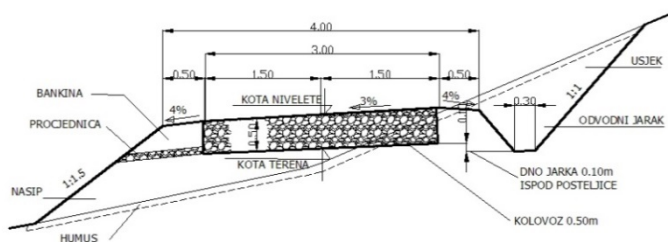
Najznačajniji konstruktivni elementi šumskog puta u uzdužnom profilu su:

- nagib nivelete - trebao bi biti gravitacioni i to u transportnom smjeru. Uspori u smjeru transporta drveta za motorna vozila ne bi trebali prelaziti 8%, a u serpentinama 5%. Kod slijepih krakova, uz posebna obrazloženja taj uspon može biti i veći. Kod trasa u ravnicama omogućiti odvod vode sa minimalnim nagibom dna jarka od 0,3%. Maksimalni dozvoljeni pad u smjeru izvoza drvnih sortimenata iznosi za: glavne šumske puteve 6% do 8%, sporedne šumske puteve 8% do 10% i prilazne 10% do 12%.
- prelom niveleta kod kojih je razlika u nagibima veća od 2% treba izvesti sa vertikalnim kružnim krivinama. Minimalni poluprečnici konveksnih vertikalnih krivina za glavne šumske puteve iznose 400 m, a konkavnih 200 m. Minimalni poluprečnik vertikalnih konveksnih krivina za ostale šumske puteve iznosi 200 m, a konkavnih 100 m (IRPC, 2002).

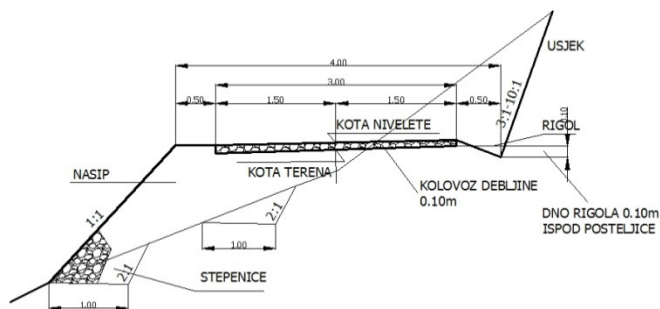
Na dubokim, slabo nosivim zemljištima nagib nivelete ne bi trebao preći 8%, a na plitkim i tvrdim terenima 10%, zbog opasnosti od oštećenja koja se mogu javiti na šumskim putevima koji se grade na takvim podlogama, što opet utiče na troškove održavanja.



Slika 40 Poprečni profil šumskog puta na III kategoriji terena u zasjeku (IRPC, 2002)



Slika 41 Poprečni profil šumskog puta na zemljištu IV kategorije u zasjeku (IRPC, 2002)



Slika 42 Poprečni profil šumskog puta u zasjeku na V kategoriji terena (IRPC, 2002)

Kao što se može vidjeti kolovozi na šumskim putevima rade se od kamenih i šljunčanih materijala razne debljine koja zavisi od saobraćajnog opterećenja, nosivosti posteljice i klimatskih uslova i makadamskog su tipa. Zavisno od vrste materijala ugrađenog u posteljicu za osovinsko opterećenje do 10 tona u praksi se rade sledeće debljine kolovoza:

- na III kategoriji terena, debljina kolovoza je 50 cm,
- na IV kategoriji terena, debljina kolovoza je 30 cm,
- na V, VI kategoriji terena, debljina kolovoza je 10 cm.

Procjednice debljine 10 do 15 cm, se ugrađuju ispod kolovoza na slabo nosivom zemljištu (IRPC, 2002).

Širina kolovoza zavisi i od saobraćajnog opterećenja i namjene šumskog puta (Tabela 6).

Tabela 6 Širina kolovoza šumskih puteva (IRPC, 2002)

Značaj puta	Saobraćaj		
	Mješoviti		
	Saobraćajno opterećenje (bruto tona dnevno)		
	500-2500	100-500	Do 100
Glavni šumski put za dvosmjerni saobraćaj	5,0m		
Glavni šumski put za jednosmjerni saobraćaj		3,0 – 3,5m	
Sporadni šumski put		3,0 – 3,5m	
Prilazni šumski put			3,0 m

Poprečni nagib kolovoza u pravcu kod dvosmjernog saobraćaja je dvovodan, a kod svih ostalih šumskih puteva je jednovodan. U pravcima se poprečni nagib kolovoza izvodi prema onoj strani puta, gdje je to podesnije u zavisnosti od terenskih prilika. U pravcu i krivinama sa poluprečnikom krivine većim od 70 m poprečni nagib puta je 3% bez obzira na uzdužni nagib. U krivinama, gdje je poluprečnik krivine manji od 70 m, poprečni nagib puta u zavisnosti od uzdužnog nagiba šumskog puta i poluprečnika krivine iznosi (Tabela 7) (IRPC, 2002).

Tabela 7 poprečni nagib kolovoza zavisno od nagiba nivelete i poluprečnika krivine (IRPC, 2002)

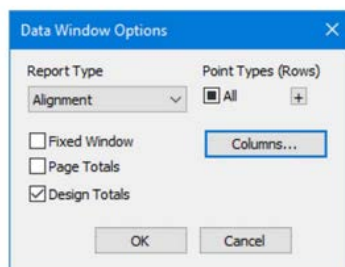
Poprečni nagib puta	R=60-40 m	R=40-20 m	R do 20 m
Nagib nivelete do 8%	4%	5%	6%
Nagib nivelete preko 8%	3%	4%	5%

Takođe, može se vidjeti da: nagibi škarpi usjeka i nasipa zavise od kategorije zemljišta (Tabela 8).

Tabela 8 Nagibi škarpi usjeka i nasipa (IRPC, 2002)

Kategorija terena	Usjek	Nasip
III	1:1	1:1,5
IV	2:1	1:1,25
V-VI	3:1, 10:1	1:1

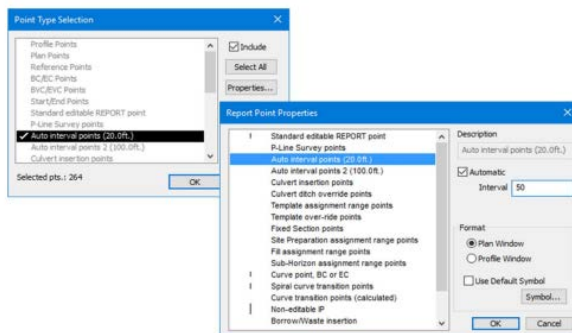
Cilj izrade idejnih projekata je da se pokuša dobiti gruba slika o troškovima gradnje šumskih puteva u fazi njihovog palniranja na osnovu vrste i količine prije svega zemljanih, ali i drugih radova potrebnih za njegovu izgradnju koji se dobijaju u tabeli analitičko nivelanje masa (Data). Tabela Data programa RoadEng se formira tako što se desnim klikom u Data prozoru odabira Data options pri čemu se otvara dialog box Data Windows Options (Slika 43).



Slika 43 Data Windows Options dialog box (Softree, 2023)

U ovom prozoru se odabiraju podaci i njihove vrijednosti pojedinačne i kumulativne, koji će biti prikazani u Data tabeli kako po redovima (Point Types (Rows)), tako i po kolonama (Columns).

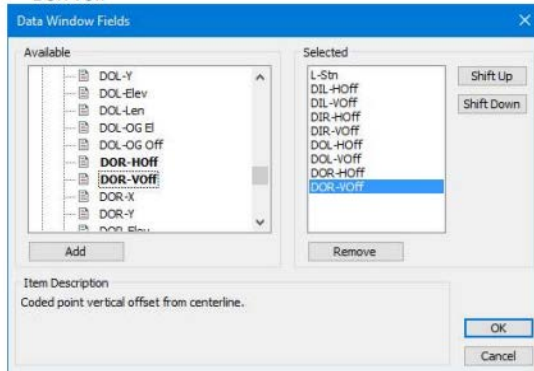
Klikom na Point Types + dugme otvara se Point Type Selection dialog box u kome se biraju vrste tačaka koje se prikazuju sa intervalima i drugi podaci (Slika 44).



Slika 44 Point Type Selection dialog box (Softree, 2023)

Klikom na Columns padajući meni dodaju se podaci u podprozor Selected dialog box-a Data Windows Fields koji će biti prikazani u Data tabeli kao kolone (Slika 45).

- DOR-HOFF
- DOR-VOFF



Slika 45 Data Windows Fields (Softree, 2023)

Na taj način Data tabela može da poprими sljedeći izgled odnosno sadrži odabrane podatke (Slika 46).



L-Strn	DIL-HOF (ft/A)	DIL-VOF (ft/A)	DIR-HOF (ft/A)	DIR-VOF (ft/A)	DOL-HOF (ft/A)	DOL-VOF (ft/A)	DOR-HOF (ft/A)	DOR-VOF (ft/A)
7+50.0								
8+00.0								
8+50.0								
9+00.0	-12.6	-1.2				-13.6	-1.2	
9+50.0	-16.3	-1.3				-17.3	-1.3	
10+00.0	-18.6	-1.4				-19.6	-1.4	
10+50.0	-18.6	-1.4				-19.6	-1.4	
11+00.0								
11+50.0								
12+00.0								
12+50.0	-12.6	-1.2				-13.6	-1.2	
13+00.0								
13+50.0								
14+00.0	-12.6	-1.2				-13.6	-1.2	
14+50.0								
15+00.0								
15+50.0								
16+00.0								
16+50.0								
17+00.0								
17+50.0								
18+00.0								
18+50.0								
Cum. Tot.								

Slika 46 Data table - Tabela analitičko nivelanje masa (Softree, 2023)

Tačnije rezultate kako po pitanju konačnog položaja trase puta tako i po pitanju troškova gradnje moguće je dobiti projektovanjem šumskih puteva na terenu. Iz tog razloga se planirane trase prenose u GPS uređaj i pomoću njega na sam teren uz istovremeno rekognosciranje terena. Cilj ovog posla je izbor najpovoljnije trase koja će se projektovati na terenu direktnom metodom. Za projektovanje šumskih komunikacija na terenu direktnom metodom danas se koriste savremeni instrumenti, koji rade na principu laserske i ultrazvučne tehnologije, kao što je Vertex Laser Geo koji sadrži i GPS prijemnik i busolu pored visinomjera i daljinomjera, ali još uvijek su u upotrebi i ručni instrumenti (Slika 47).



Slika 47 Područja primjene Vertex Laser Geo (Haglof, 2022; Petković, 2023)

Nakon definisanja i prikupljanja neophodnih podataka o poligonu trase puta, uzdužnom i poprečnim profilima šumskog puta na terenu, vrši se njihovo prenošenje u programski paket RoadEng za projektovanje šumskih puteva u modul Survey.

U ovaj modul se unose podaci sa terenskih snimanja, dakle podaci o poligonu trase puta koji se čuvaju kao dokument u formatu .tr1 (Slika 48). Na osnovu njih se u modulu Location definišu vrijednosti osnovnih konstruktivnih elemenata preloma trase u horizontalnom i vertikalnom profilu, tj. u situaciji i uzdužnom profilu šumskog puta, kao i poprečnim profilima. Takođe, omogućava se priprema i štampanje sastavnih dijelova sada već možemo reći Glavnog projekta šumskog puta, kao što je to prethodno opisano.

Station	T...	Fore Azim	H.D.	S.D.	Slp.[%]	SSL Slp.[%]/S.D.	SSR Slp.[%]/S.D.	GND	CRK	Label
	FS	150.5	22.0	22.3	-17					
51.1:3								0B/0		
	RS	174.0	16.0	16.0	0					
51.1:2								0B/0		
	RS	342.0	18.0	18.0	0					
51.1:1								0B/0		
	RS	89.0	13.0	13.0	0					
51.1						2/4.2 T,-5/9.0,0/..	-7/8.4,0/..	0B/0		
	FS	191.0	22.0	22.3	-16					
29.1						0/3.0 T,-10/8.0 T,-15/..	3/8.0 T,1/7.0,0/..	0B/0		
	FS	191.0	14.0	14.2	-15					
15.1						-13/11.4 T,-15/8.4,0/..	7/10.0 T,8/9.0,0/..	0B/0		
	FS	191.0	15.1	15.2	-9					
0.0						-20/7.5 T,-14/8.0,0/..	10/6.0 T,6/6.3 T,7/10.	0B/0		pocetak trase

Slika 48 Tabela za unos podataka terenskih snimanja

Station Index kolona - označava stacionažu koja se automatski generiše unošenjem podatka sa terena.

Type - kolona definiše tip pravca, i to kao:

- FS (Foreside shot) - pravac napred,
- RS (Radial shot) - kojim se vrši osiguranje tjemena, a određen je azimutom i dužinom isto kao i FS, i
- IFS (Intermediate foreshot) - koji je određen samo dužinom, dok mu je azimut pretpostavljen kao azimut narednog FS pravca, i služi za obilježavanje karakteristične tačke na osnovnom pravcu, a između dvije FS tačke bez promjene pravca.

HD - Horizontal distance - kolona horizontalna udaljenost između stacionažnih tačaka se unosi iz podataka prikupljenih na terenu.

SD - Slope Distance - kosa daljina je izračunata na osnovu HD i nagiba između stacionažnih tačaka,

Slp% - uzdužni nagib između stacionažnih tačaka, ako nagib nije unesen za nagib se automatski uzima 0%.

SSR, SSL (Slope Side Right, Slope Side Left) - poprečni nagib terena u procentima lijevo i desno od osovine puta na određenoj dužini uzimajući u obzir karakteristične lomove terena (odnosno procenat nagiba lijevo i desno od centralne linije), mjerenje se vrši po pravcu koji je upravan na poligon trase puta u datoj tački (Slika 49).

Left 3	TP	Left 2	TP	Left 1	Right 1	TP	Right 2	TP	Right 3	TP (Ctrl-T)
31	☒	31	☒	12	-12	☒	-20	☒	-20	Slp.(%)
		3.6		21.8	0.2		3.6		0.7	Slope Distance

Tab Order:
☒ Left (Alt-L)
☐ Right (Alt-R)

Section:
 Scale: 500.0
 Draw
 Options...
 OK
 Cancel

Slika 49 Prozor za unošenje podataka snimanja poprečnih profila terena

GND (Ground Type) - vrsta materijala podloge sa mogućnošću unošenja više slojeva i dubine svakog konkretnog sloja: OB-humus, GR-šljunak, HP-zemlja, SR-čvrsta stijena i FR-lomljiva stijena (Slika 50).

100.0 - Ground Layers

Layer 1
 Ground Type: OB Overburden (Default) C/L Depth: 0.10

Layer 2
 Ground Type: HP Hard Pan C/L Depth: 0.00

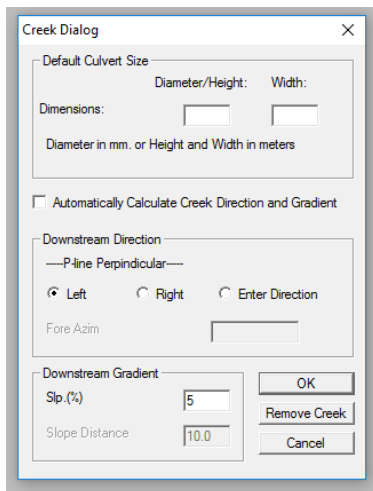
Layer 3
 Ground Type: No Layer

Edit...
 OK
 Cancel

Ground Type List:
 No Layer
 OB Overburden (Default)
 GR Gravel
 HP Hard Pan
 SR Solid Rock
 FR Fractured Rock

Slika 50 Prozor za unos slojeva zemljišta

CRK (Creek) - podaci o vodotocima i cjevnim propustima (Slika 51).



Slika 51 Panel za unos podatka o vodotocima, jarugama i cijevnim propustima

Label - napomene i oznake (Ljubojević, 2006; Softree, 2002).

Program RoadEng je naročito pogodan za indirektno projektovanje, odnosno projektovanje iz kancelarije jer se položaj budućeg šumskog puta definiše prvo u programu i tek nakon završetka projekta prenosi se na teren, što zahtijeva pravilno postavljen i izmjeren poligon trase puta pomoću kojeg se generišu terenski uslovi u modulu Terrain ili kvalitetan DMT. Za razliku od ovog programa aplikativni program za projektovanje soobraćajnica kao što je Cesta ili pak programi na bazi AutoCAD, se oslanjaju na direktnu metodu projektovanja šumskih puteva (Lepoglavec et al., 2011).

Čime se učvršćuje opredjeljenje da se ovaj program predstavi i koristi u fazi projektovanja šumskih puteva, tačnije, za izradu idejnih projekata šumskih puteva u kancelariji, ali i za izradu glavnog projekta na osnovu terenskih mjerenja.

To znači da je RoadEng kompatibilan sa GIS programima odnosno sa formatima rezultata geoprostorne analize i da posjeduje algoritme za obradu slika tačnije za generisanje izohipsi iz DMT-a i formiranje njegovog 3D izgleda, što omogućava pripremu generalnog projekta šumskih puteva za izradu svih sastavnih dijelova idejnog projekta šumskog puta.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

4.1. Analiza postojeće primarne otvorenosti šuma

4.1.1. Gustina šumskih puteva

Za analizu postojeće otvorenosti odnosno gustine šumskih puteva neophodno je bilo izvršiti snimanje mreže šumskih puteva na terenu pomoću GPS uređaja Garmin GPS 62st. Tom prilikom utvrđeno je da ukupna dužina šumskih puteva u PJ “Prosara” iznosi oko 40 km, a u PJ “Bobija-Ribnik” oko 75,2 km (Tabela 9). Međutim, ove ukupne dužine se ne mogu koristiti za izračunavanje gustine šumskih puteva jer sve njihove dionice nemaju podjednak uticaj na otvaranje šumskog prostora, odnosno na privlačenje oblog drveta.

Tabela 9 Postojeći šumski putevi koji otvaraju šumu i njihova gustina

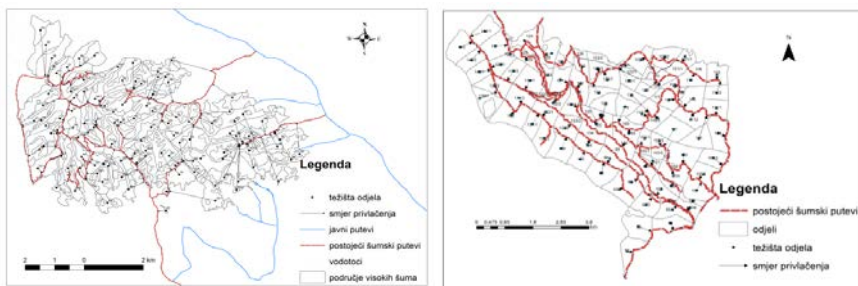
Postojeći šumski putevi	Ukupna dužina		Dužina pojedinih dionica			Dužina koja utiče na otvorenost (m)	Gustina šumskih puteva (m/ha)
	Asfaltni (m)	Makadamski (m)	Ne otvara (m)	Otvora jednostrano (m)	Otvora obostrano (m)		
“Prosara”	565 5	34.475	5696	3431	27.572	31.007	8,13
“Bobija- Ribnik”	-	75.157	-	4186	66.785	70.971	16,99

Tako, 77,5% odnosno 95% od ukupne dužine šumskih puteva otvara šumu u PJ “Prosara” i “Bobija-Ribnik”, od toga 11% odnosno 6 % jednostrano, a ostatak dužine otvara šumu obostrano za privlačenja oblog drveta u njima (Tabela 9).

4.1.2. Srednja daljina privlačenja

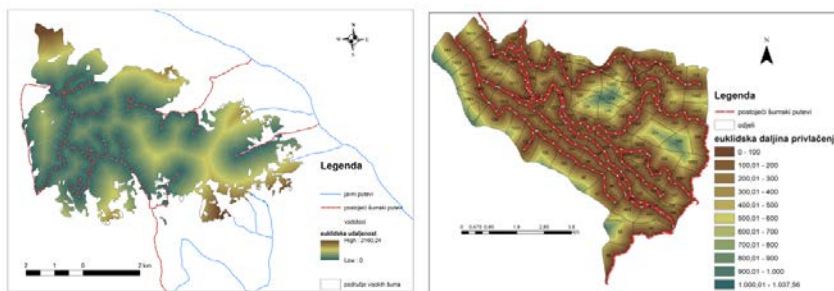
U ovom slučaju prvo se odredi geometrijska daljina privlačenja metodom udaljenosti težišta odjela od šumskog puta i metodom Euklidove udaljenosti šumskog prostora od njih.

U prvom slučaju dobija se udaljenost težišta svakog odjela od šumskih puteva iz koje se izračunava srednja daljina privlačenja za kompletnu PJ. Srednja geometrijska udaljenost težišta odjela iznosi 510 m u PJ “Prosara”, a u PJ “Bobija-Ribnik” 281 m (Petković 2019; Petković & Potočnik 2018) (Slika 52).



Slika 52 Metod udaljenosti težišta odjela od najbližeg šumskog puta

Metodom Euklidove udaljenosti dobija se slika udaljenosti šumskog prostora od šumskog puta na osnovu koje se računa srednja udaljenost za čitavu PJ (Slika 53). Srednja geometrijska daljina privlačenja iznosi 487 m odnosno 243 m u PJ “Prosara” i “Bobija-Ribnik” (Petković et al., 2022).

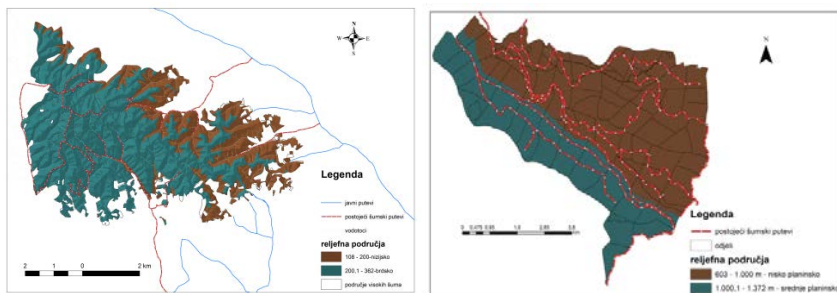


Slika 53 Metod Euklidove udaljenosti

Za izračunavanje srednje stvarne daljine privlačenja potrebno je u slučaju analize primarne otvorenosti odrediti faktor produženja geometrijske daljine privlačenja. Ovaj faktor se još naziva i faktor korekcije stvarne daljine privlačenja na geometrijsku ili najčešće faktor privlačenja i on zavisi od reljefnih karakteristika šumskog područja, odnosno nadmorske visine, nagiba terena, prisustva prepreka na površini zemljišta koje je potrebno zaobići. Srednja vrijednost faktora produženja geometrijske daljine privlačenja dobija se množenjem udjela reljefnog područja ili kategorije nagiba u ukupnoj površini PJ i referentnog faktora privlačenja za dato reljefno područje ili kategoriju nagiba terena.

Reljefna područja unutar PJ se izdvajaju na osnovu klasifikacije nadmorske visine i to do 200 m nizijsko, 200-500 m brdsko, 500-1000 m nisko planinsko, 1000-1500 srednje planinsko i od 1500-2000 m je visoko planinsko reljefno područje (Bertović, 1999). Referentni faktor produženja geometrijske daljine privlačenja za nizijsko reljefno područje iznosi 1,2, za brdsko 1,45, planinsko 1,7 i kraško reljefno područje 1,6 (Lepoglavec, 2014).

Nadmorska visina u PJ "Prosara" se kreće od 91 do 362 m i u njoj su izdvojena dva reljefna područja nizijsko sa udjelom u ukupnoj površini od 29,9% i brdsko sa 70,1% udjela u ukupnoj površini šumskog prostora. Takođe, u PJ "Bobija-Ribnik" se izdvajaju dva reljefna područja prema nadmorskim visinama i to nisko planinsko sa udjelom 64,1% i srednje planinsko koje zauzima 35,9% ukupne površine PJ. Prema tome nadmorska visina u ovoj PJ se kreće od 603 do 1372 m (Petković, 2019) (Slika 54).



Slika 54 Reljefna područja

Srednja vrijednost faktora produženja geometrijske daljine privlačenja prema reljefnom području za PJ “Prosara” iznosi 1,38 (Tabela 10), a za PJ “Bobija-Ribnik” 1,6 (Tabela 11).

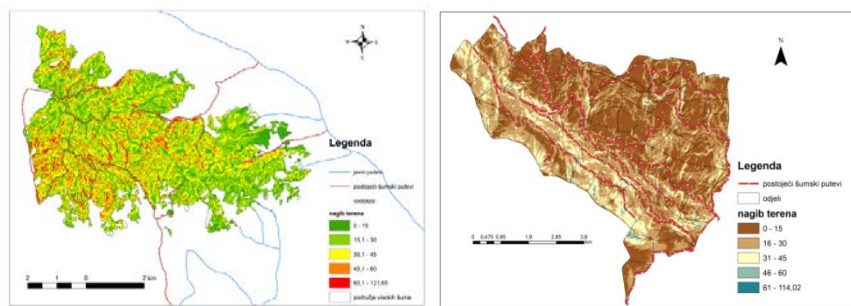
Tabela 10 Faktor produženja zavisno od reljefnog područja u PJ “Prosara” (Petković, 2019)

Reljefno područje	Površina reljefnog područja		Referentni faktor produženja	Ponderisani faktor produženja
	ha	%		
Nizijsko	1037,59	29,9	1,20	0,36
Brdsko	2432,61	70,1	1,45	1,02
Ukupno	3470,20	100		1,38

Tabela 11 Faktor produženja zavisno od reljefnog područja u PJ “Bobija-Ribnik” (Petković, 2019)

Reljefno područje	Površina reljefnog područja		Referentni faktor produženja	Ponderisani faktor produženja
	ha	%		
Niskoplaninsko	2684,89	64,1	1,55	0,99
Srednjeplaninsko	1503,70	35,9	1,70	0,61
Ukupno	4188,59	100		1,60

Nagib terena se dijeli na klase širine 5%, a referentni faktor produženja se kreće od 1,101 za 5% nagiba do 2,687 za 100% poprečnog nagiba terena (Jeličić, 1985; Sokolović & Bajrić, 2013a). U svrhu preglednosti poprečni nagib terena podijeljen je u pet kategorija: do 15%, 16-30%, 30-45%, 46-60% i preko 60% (Petković, 2019). Nagib terena u PJ “Prosara” se kreće od 0 do 121,65%, a srednja vrijednost iznosi 27%, a u PJ “Bobija-Ribnik” od 0 do 114%, sa srednjom vrijednošću 19% (Petković, 2019) (Slika 55).



Slika 55 Karte nagiba terena

Srednja vrijednost faktora produženja geometrijske daljine privlačenja zbog nagiba i zaobilaženja prepreka u PJ “Prosara” iznosi 1,31 (Tabela 12), a u PJ “Bobija-Ribnik” 1,197 (Tabela 13) (Petković, 2019).

Tabela 12 Faktor privlačenja zavisno od nagiba terena i zaobilaženja prepreka u PJ “Prosara” (Petković, 2019)

Kategorije nagiba	Površina kategorija		Srednja vrijednost faktora produženja po kategorijama nagiba	Ponderisani faktor produženja
	ha	%		
0 – 15 %	676,69	19,5	1,1035	0,22
16 – 30 %	1377,67	39,7	1,2305	0,49
31 – 45 %	1002,89	28,9	1,3625	0,39
46 - 60 %	326,20	9,4	1,5815	0,15
61 – 121 %	86,76	2,5	2,423	0,06
Ukupno	3470,20	100		1,31

Tabela 13 Faktor privlačenja zavisno od nagiba terena i zaobilaženja prepreka u PJ “Bobija-Ribnik” (Petković, 2019)

Kategorije nagiba	Površina kategorija		Srednja vrijednost faktora produženja po kategorijama nagiba	Ponderisani faktor produženja
	ha	%		
0-15 %	1788,53	42,70	1,1035	0,47
16-30 %	1784,34	42,60	1,2305	0,52
31-45 %	569,65	13,60	1,3625	0,18
46-60 %	41,89	1,00	1,5815	0,02
61-114 %	2,93	0,07	2,3265	0,002
Ukupno	4188,59	100		1,197

Srednja vrijednost faktora produženja geometrijske daljine privlačenja za PJ “Prosara” bi iznosila 1,345, a za drugu PJ 1,4. Poređenjem stvarne daljine privlačenja dobijene u Izvođačkim projektima i geometrijske daljine privlačenja dobijene metodom udaljenosti težišta odjela od šumskih puteva u PJ “Prosara” dobijena je srednja vrijednost faktora produženja geometrijske daljine privlačenja od 1,55 do 1,57 (Petković et al., 2015, Petković et al., 2017a). Na isti način dobijen je srednji faktor za PJ “Bobija-Ribnik” koji iznosi 1,31 (Petković et al., 2017b).

Prema tome stvarna srednja daljina privlačenja bila bi 670,48 m u PJ “Prosara”, a u PJ “Bobija-Ribnik” 366,80 m (Tabela 14)

Tabela 14 Srednja stvarna daljina privlačenja

PJ	Srednja geometrijska daljina privlačenja (m)		Faktor produženja	Srednja stvarna daljina privlačenja (m)	
	Metod udaljenosti težišta	Euklidove udaljenosti		Metod udaljenosti težišta	Euklidove udaljenosti
“Prosara”	510	487	1,345	685,95	655,02
“Bobija-Ribnik”	281	243	1,4	393,4	340,2

4.2. Optimalna gustina šumskih puteva

S obzirom na terenske uslove u odabranim privrednim jedinicama kao pokazatelj otvorenosti se primjenjuje gustina šumskih puteva jer se radi o pretežno brdsko planinskim uslovima promjenljivog nagiba.

Optimalna ili ciljana gustina šumskih puteva se može odrediti na osnovu troškova transporta i količine drveta koja je predviđena za sječu, zatim prema intenzitetu gazdovanja šumama ili prema reljefnom području. S obzirom da su troškovi transporta varijabilni u vremenu, ciljana gustina šumskih puteva se određuje na osnovu referentnih gustina za određeno reljefno područje (NN 106/15, 2015; NN 65/17, 2017) i udjela pojedinih reljefnih područja u odabranim PJ. Množenjem relativnog udjela reljefnih područja u ukupnoj površini PJ sa referentnom ciljanom gustinom dobija se ciljana gustina za to reljefno područje u PJ, a sabiranjem dobijenih ciljanih gustina po reljefnim područjima dobija se ciljana gustina šumskih puteva za određenu PJ. Tako za PJ "Prosara" ona iznosi 16,2 m/ha, a za PJ "Bobija-Ribnik" 25 m/ha (Tabela 15).

Tabela 15 Ponderisana ciljana gustina šumskih puteva

Reljefno područje	Površina reljefnog područja		Referentna ciljana gustina (m/ha)	Ponderisana ciljana gustina šumskih puteva (m/ha)
	ha	%		
Nizijsko	1037,59	29,9	12	3,6
Brdsko	2432,61	70,1	18	12,6
"Prosara"	3470,20	100		16,2
Planinsko	4188,59	100	25	25
"Bobija-Ribnik"	4188,59	100		25

Optimalna gustina šumskih puteva određena na bazi troškova transporta i količine oblog drveta predviđenog da se izradi planovima gazdovanja u ovim PJ trebala bi da iznosi 16 i 26,5 m/ha (Petković 2019; Petković & Potočnik 2018).

Master planom šumskih puteva u RS određeno je da optimalna gustina treba da iznosi 17,47 m/ha u PJ "Prosara" i 19,85 m/ha u PJ "Bobija-Ribnik" (IRPC & Šuma plan, 2019).

Optimalna gustina šumskih puteva za korišćenje skidera odnosno zglobnog traktora je 25 m/ha (Dykstra & Heinrich (1996), ovo je značajno s obzirom da je skider glavno transportno sredstvo u fazi privlačenja oblog drveta u RS i BiH.

Kim (1996) je u Južnoj Koreji stavio u zavisnost gustinu šumskih puteva od zalihe drvene mase i tom prilikom dobio da je za zalihu od 46, 60, 100, 150 i 200 m³/ha potrebna gustina šumskih puteva 7.7, 10, 16, 23 i 29 m/ha. Pri čemu se vidi da povećanje količine drveta vuče za sobom i veću gustinu šumskih puteva.

Optimalna gustina šumskih puteva zavisno od troškova transporta se kreće od 13,6 do 22,6 m/ha u uslovima Republike Irske (Ryan et al., 2000).

Rezultati istraživanja rađeni u Iranskom kaspiskom regionu pokazuju da optimalna gustina šumskih puteva može da varira od 6 do 28 m/ha (Ghaffarian & Sobhani, 2008; Naghdi, 2004).

Na osnovu metode minimalnih troškova transporta predlaže se gustina šumskih puteva od 7 do 10 m/ha (Naghdi & Limaiei, 2009).

Optimalna gustina šumskih puteva dobijena na osnovu troškova transporta pri čemu se za privlačenje oblog drveta koriste Timberjack 450C i HSM 904 se kreće od 2 do 4 odnosno 3 do 5 m/ha u uslovima Dalak kheyli područja u Iranu (Rafiei et al., 2009).

Na osnovu ciljane gustine šumskih puteva izračunava se stvarna ciljana daljina privlačenja prema Rebuli (1981) (formula 9), koja se dijeli sa faktorom privlačenja, a količnik je geometrijska ciljana daljina privlačenja (formula 3).

Ciljana stvarna daljina privlačenja iznosi 830 m u PJ "Prosara" i 560 m u PJ "Bobija-Ribnik", a uzimajući u obzir faktor produženja geometrijske daljine privlačenja ili faktor korekcije iste ili pak samo faktor privlačenja, dobijena je ciljana geometrijska daljina privlačenja od 617 m i 400 m redoslijedom (Tabela 16).

Tabela 16 Ciljana daljina privlačenja

PJ	Ciljana stvarna daljina privlačenja	Ciljana geometrijska daljina privlačenja
"Prosara"	830,25	617,29
"Bobija-Ribnik"	560	400

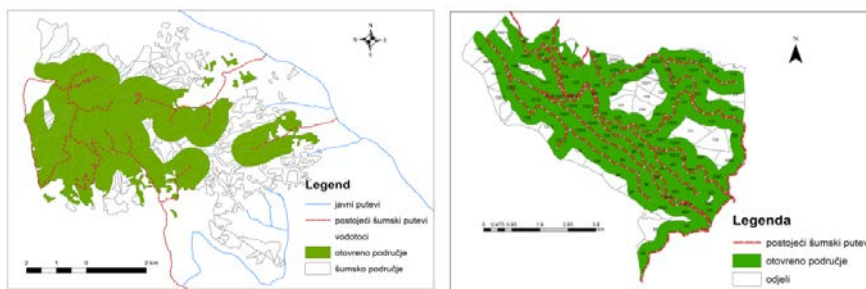
4.2.1. Relativna otvorenost šuma za postojeću mrežu šumskih puteva

Za određivanje relativne otvorenosti danas se najčešće koristi ciljana geometrijska daljina privlačenja kao faktor širine omeđenog područja oko šumskih puteva. Tom prilikom treba sagledati reljefne karakteristike šumskog područja i tek onda odlučiti da li koristiti pomenuti pokazatelj otvorenosti ili neke druge. Razlog za to je što u nizijskim reljefnim područjima sa blagim nagibom terena kao pokazatelj otvorenosti se koristi ciljano rastojanje između šumskih puteva koje može biti takođe faktor širine omeđenog područja.

S obzirom da u odabranim PJ preovladava brdsko-planinsko reljefno područje, kao faktor širine omeđenog područja u ovom slučaju biće korištena ciljana geometrijska daljina privlačenja. Prema tome, širina omeđenog područja oko postojeće, ali i nadograđene mreže šumskih puteva će biti jednaka njenoj dvostrukoj vrijednosti.

Omeđena površina predstavlja područje koje je otvoreno postojećom ili nadograđenom mrežom šumskih puteva, a oni dijelovi ukupnog šumskog područja izvan omeđenih predstavljaju nedovoljno otvorena područja koja je potrebno učiniti dostupnim projektujući nove šumske puteve u njima.

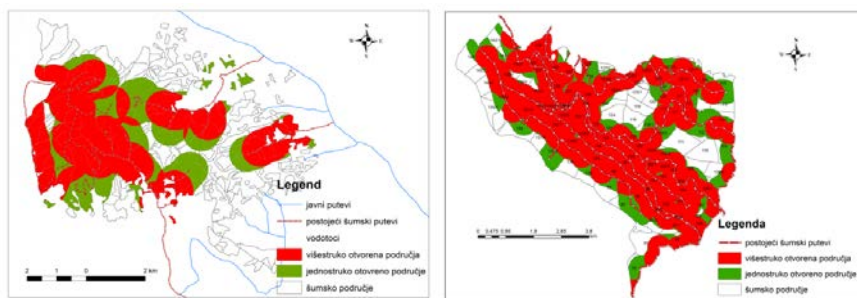
Površina otvorenih područja iznosi 2569,5 ha u PJ “Prosara”, a u PJ “Bobija-Ribnik” 3333,03 ha. Prema tome relativna otvorenost šumskog prostora u PJ “Prosara” iznosi 74,04 %, a u drugoj PJ 79,57%, što se može ocjeniti kao dobra odnosno jako dobra primarna otvorenost (Pentek et al., 2005) (Slika 56).



Slika 56 Karte otvorenih područja

4.2.2. Koeficijent efikasnosti postojeće mreže šumskih puteva

Površina višestruko otvorenih područja u PJ “Prosara” iznosi 1760,7 ha, a u PJ “Bobija-Ribnik” 2680,2 ha (Slika 57). Upoređujući ih sa jednostruko otvorenim područjima visokih šuma u ove dvije PJ, koeficijent efikasnosti iznosi 31,5% u PJ “Prosara”, a u PJ “Bobija-Ribnik” 20%. To znači da su šumski putevi blizu jedni drugih, što pokazuje da su oni projektovani prema potrebi tokom vremena ne vodeći računa o određivanju njihovog uticaja na otvorenost područja.



Slika 57 Karte višestruko i jednostruko otvorenih područja

4.3. Izrada prostornog plana novih šumskih puteva

4.3.1. Područja pogodna za gradnju novih šumskih puteva

Višekriterijumskom analizom poprečnog nagiba terena, zalihe drveta i dubine zemljišta dobijena je pogodnost PJ za gradnju šumskih puteva. Na osnovu mišljenja 14 ispitanika iz oblasti šumskog inženjerstva dobijene su prosječne vrijednosti važnosti uticaja navedenih podkriterijuma na problem određivanja pogodnosti šumskog prostora za gradnju šumskih puteva. Dobijene srednje vrijednosti su standardizovane iz razloga što se različito izražavaju (Tabela 17). Standardizacija vrijednosti vršena je po formuli 23:

$$X_i = \frac{(R_i - R_{min})}{(R_{max} - R_{min})} \cdot X_{max} \quad \dots 23$$

Gdje je:

x_i – standardizovana vrijednost,

R_i – osnovna vrijednost,

R_{min} – minimalna vrijednost osnovne skale,

R_{max} – maksimalna vrijednost osnovne skale,

x_{max} – maksimalna vrijednost standardizovane skale (ArcGIS, 2018).

Tabela 17 Rezultati upitnika (Petković, 2019)

Ispitivač	Nagib	Dubina zemljišta	Zaliha drveta
1	2	1	3
2	1	2	3
3	3	2	3
4	3	2	1
5	3	2	2
6	1	2	3
7	3	2	2
8	3	1	2
9	3	1	2
10	2	2	3
11	3	1	2
12	3	2	3
13	3	2	3
14	3	2	3
Srednja vrijednost	2,57	1,71	2,5
Standardizovane vrijednosti (0-1)	0,79	0,36	0,75

Međusobnim dijeljenjem standardizovanih srednjih vrijednosti podkriterijuma formirana je matrica poređenja (Tabela 18).

Tabela 18 Matrica poređenja (Petković, 2019)

Podkriterijumi	Nagib	Dubina zemljišta	Zaliha drveta
Nagib	1	2,2	1,05
Dubina zemljišta	0,45	1	0,48
Zaliha drveta	0,95	2,1	1
Σ	2,41	5,3	2,52

Potom se dijeljenjem pojedinih vrijednosti sa sumom za određen podkriterijum dobija matrica normalizovanih vektora. Unutar ove matrice se izračunava srednja vrijednost koja predstavlja ponder za dati podkriterijum (Tabela 19). Potom se izračunava zbir vrijednosti podkriterijuma za svaki red, koji se dijeli sa vrijednošću pondera, a količnik je vrijednost matrice konzistencije na osnovu koje se računa indeks konzistencije CI koji se poredi sa slučajnim indeksom brojeva RI (Tabela 20) kako bi se dobio odnos konzistencije CR. S obzirom da je odnos konzistencije manji od 0,1 smatra se da je procjena uticaja podkriterijuma na problem prihvatljiva, a njihovi ponderi primjenljivi.

Tabela 19 Matrica normalizovanih vektora (Petković, 2019)

Podkriterijumi	Nagib	Dubina zemljišta	Zaliha drveta	Ponder	Σ
Nagib	0,42	0,42	0,42	0,42	1,26
Dubina zemljišta	0,19	0,19	0,19	0,19	0,57
Zaliha drveta	0,40	0,40	0,40	0,40	1,19
Σ	1	1	1	1	3

$$\lambda_{max} = 1,26 + 0,57 + 1,19 = 3$$

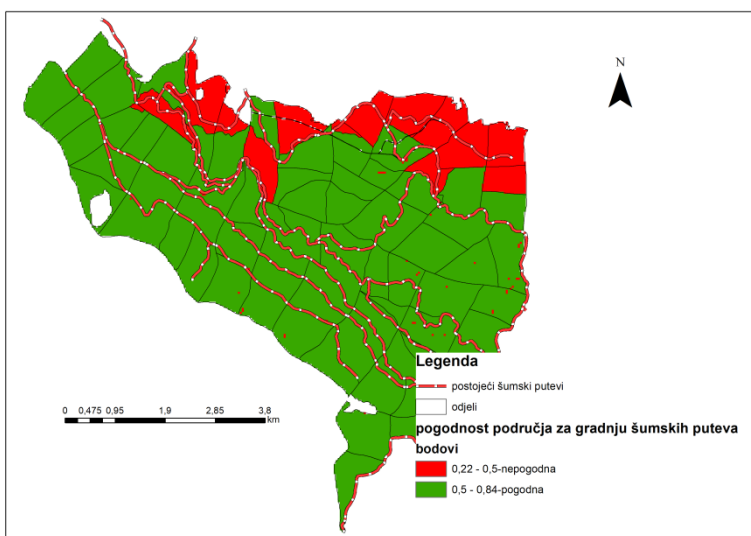
$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{(n - 1)} = \frac{3 - 3}{3 - 1} = \frac{0}{2} = 0$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0}{0,58} = 0$$

Tabela 20 RI-indeks slučajnih brojeva (Saaty, 1980)

m	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

To znači da izabrane podkriterijume treba ponderisati i to poprečni nagib terena sa 0,42, dubinu zemljišta sa 0,19 i zalihu drveta sa 0,40. Ponderisanje se vrši tako što u programu ArcGIS u alatu sabiranje rastera (Weighted Sum) svaki raster se ponderiše s njemu pripadajućom težinom odnosno ponderom (Weight). Rezultat višekriterijumske analize jeste karta pogodnosti šumskog područja za gradnju šumskih puteva na kojoj su izdvojena područja pogodna i ona nepogodna za gradnju (Slika 58).



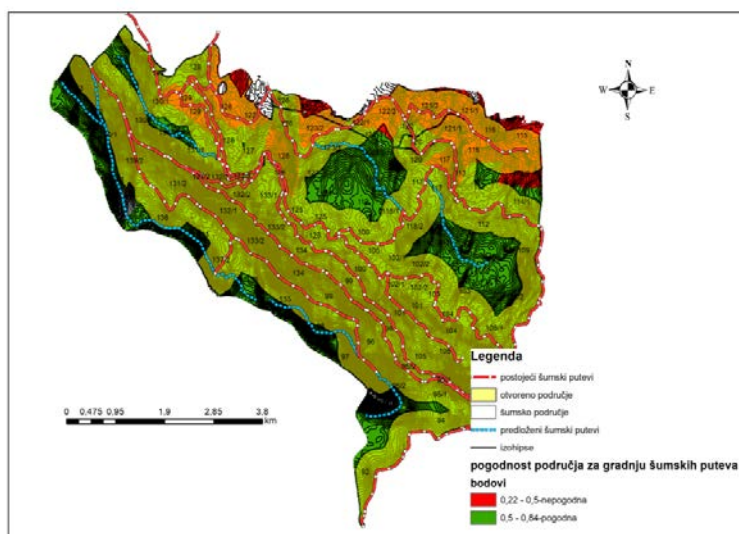
Slika 58 Karta pogodnosti područja PJ “Bobija-Ribnik” za gradnju šumskih puteva

4.3.2. Predloženi šumski putevi-generalni projekat

Nakon analiziranja postojeće primarne otvorenosti i definisanja optimalne, potrebno je projektovati nove šumske puteve kao nadogradnju postojećoj mreži, čime počinje druga faza planiranja šumskih puteva, a to je projektovanje. Projektovanje šumskih puteva u ovom slučaju, predstavlja izradu generalnog projekta šumskog puta, što podrazumijeva kancelarijski rad na postavljanju varijanti nultih linija na digitalnoj karti pomoću ArcGISa i izradu idejnog projekta pomoću RoadEng aplikativnog programa kojim se definišu elementi situacije, uzdužnog profila i poprečnih profila sa iskazom kubatura masa za šumske puteve.

Pomoću alata Contour u ArcGIS 10 programu izdvajaju se izohipse iz DMT-a sa recimo ekvidistancijom od 5m. Potom se uključuju slojevi sa digitalnim kartama sa područjima pogodnim za gradnju i područjima koja su nedovoljno otvorena, čime se preklapaju tri digitalne karte kojima se podešava transparentnost kako bi sve bile vidljive (Slika 59).

Postavljanje nultih linija vrši se metodom koraka, tj. potrebno je izračunati dužinu koraka kojim se spajaju izohipse sa konstantnim uzdužnim nagibom kako je objašnjeno u poglavlju 3.2.3.2. Uzdužni nagib nulte linije odnosno šumskog puta zavisi od kategorije šumskog puta, saobraćajnog opterećenja, smjera pune vožnje, režima padavina, održavanja i sl. Ovaj postupak podrazumijeva crtanje ili kreiranje novih polilinja metodom uređivanja (Edit) sloja predloženi šumski putevi upisivanjem dužine koraka u polje dužina (Length) i spajanjem izohipsi sa njim.



Slika 59 Postavljene nulte linije u nedovoljno otvorenim i pogodnim područjima za gradnju šumskih puteva

Na taj način je projektovano 24.572 m dužine nultih linija za nove šumske puteve u PJ “Prosara” (Tabela 21) i 19.622 m u PJ Bobja-Ribnik (Tabela 22).

Tabela 21 Predloženi šumski putevi u PJ "Prosara"

Predloženi šumski putevi	Otvora odjele	Ukupna dužina nultih linija	Dužina pojedinih dionica			Dužina koja utiče na otvorenost (m)
		Makadamski (m)	Ne otvara (m)	Otvora jednostrano (m)	Otvora obostrano (m)	
1	57,58,5,60	2200	-	624	1576	2200
2	57,58	1000	-	-	1000	1000
3	54,26,27, 26/1	596	-	-	500	596
4	25,26/1,28/ 1,25/1,25/2	1775	-	-	1775	1775
5	54/1,47,28,4 6,29,45, 30/1,44,31,4 2,32	5412	-	-	945	5412
6	54/1,53	1413	-	-	-	1413
7	54/1,50,48,4 9	3272	-	-	-	3272
8	54/1,50,53	2124	-	-	-	2124
9	43,42	504	-	-	-	504
10	34/1,38,34	2435	-	-	-	2435
11	36	880	-	-	-	880
12	40,39,42	2961	-	-	-	2961
Ukupno		24.572	-	624	23.948	24.572

Tabela 22 Predloženi šumski putevi u PJ "Bobija-Ribnik"

Predloženi šumski putevi	Otvora odjele	Ukupna dužina nultih linija	Dužina pojedinih dionica			Dužina koja utiče na otvorenost (m)
		Makadamski (m)	Ne otvara (m)	Otvora jednostrano (m)	Otvora obostrano	
1	143,140/2, 140/1,139/2, 139/1,138,137/ 1,137/2,136	6385	-	-	6385	6385
2	140/1,140/2, 143	1241	-	-	1241	1241
3	97,98,135	2318	-	-	2318	2318
4	97,95/2,93	1556	-	-	1556	1556
5	131/1,130/2,13 0/1,141,142/1	3096	-	-	3096	3096
6	123/1,122/1,12 0,119,118/1	2653	-	-	2653	2653
7	117,118/2,112, 111,110	2373	-	-	2373	2373
Ukupno		19.622	-	-	19.622	19.622

Na osnovu nultih linija potrebno je izraditi idejne projekte za nove šumske puteve kako bi dobili grubu sliku o količinama radova i troškovima njihove gradnje. To je danas moguće sve uraditi u kancelariji, bez odlaska na teren, pomoću RoadEng aplikativnog programa koji može manipulirati sa DMT-a i u nekom od GIS programa, pripremljenim slojevima nultih linija za planirane i polilinija (polyline) za postojeće šumske puteve, poligonima koji predstavljaju šumsko područje u .shp formatu.

Prije same izrade idejnih projekata potrebno je analizirati primarnu otvorenost na osnovu nadograđene mreže šumskih puteva kako bi moglo vidjeti da li se i u kojoj mjeri unaprijedila otvorenost šuma u odnosu na postojeću, da li je dostignuta optimalna ili ciljana gustina šumskih puteva i da li potrebno postaviti još nultih linija za nove šumske puteve.

4.4. Analiza otvorenosti šuma za nadograđenu mrežu šumskih puteva

4.4.1. Gustina šumskih puteva

Nadograđenu mrežu šumskih puteva čini mreža postojećih i novoprojektovanih tako da ukupna dužina šumskih puteva koji otvaraju šumsko područje koje zauzimaju visoke šume sa prirodnom obnovom iznosi 55.579 m odnosno 90.593 m. Uz napomenu da novoprojektovani šumski putevi čitavom dužinom uglavnom prolaze kroz šumsko područje tako da se njihova ukupna dužina uzima u obračun (Tabela 23).

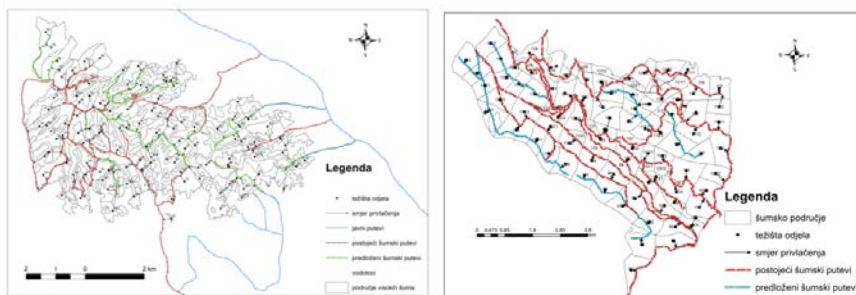
Tabela 23 dužina nadograđene mreže šumskih puteva

PJ	Dužina postojećih	Dužina novoprojektovanih-nultih linija	Ukupna dužina
“Prosara”	31.007	24.572	55.579
“Bobija-Ribnik”	70.971	19.622	90.593

S obzirom na ovu dostignutu dužinu šumskih puteva gustina odnosno primarna apsolutna otvorenost visokih šuma sa prirodnom obnovom iznosi 16 m/ha u PJ “Prosara” i 21,6 m/ha u PJ “Bobija-Ribnik”. Ako se dobijena otvorenost uporedi sa ciljanom, može se zaključiti da je u PJ “Prosara” ostvaren cilj, dok je u drugoj PJ dobijena manja od ciljane za 3,4 m/ha. Ukoliko bi upoređivali dobijenu gustinu sa postojećom, došlo je do povećanja otvorenosti za 100 % u PJ “Prosara” odnosno u PJ “Bobija-Ribnik” primarna otvorenost se povećala za 4,61 m/ha ili 27,1% u odnosu na postojeću.

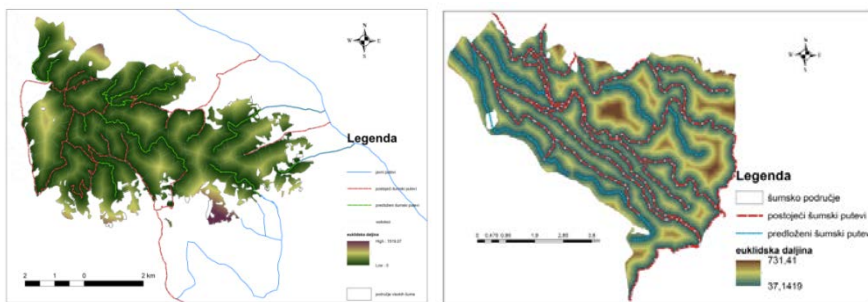
4.4.2. Srednja daljina privlačenja

Analizirajući srednju geometrijsku daljinu privlačenja za nadograđenu mrežu šumskih puteva metodom najkraće udaljenosti težišta odjela od šumskog puta dobijene su sljedeće vrijednosti i to 277 m za PJ “Prosara” i 180,2 m za PJ “Bobija-Ribnik” (Slika 60)



Slika 60 Metoda udaljenosti težišta odjela od šumskih puteva

Metodom Euklidove udaljenosti dobijeno je da srednja geometrijska daljina privlačenja za nadograđenu mrežu šumskih puteva iznosi u PJ “Prosara” 237,5 m, sa maksimalnom udaljenošću od 1519 m. U PJ “Bobija-Ribnik” srednja geometrijska daljina privlačenja dobijena ovom metodom iznosi 155,2 m, a maksimalna 731,4 m (Slika 61). U odnosu na srednju geometrijsku daljinu privlačenja za postojeću mrežu srednja geometrijska daljina privlačenja za nadograđenu je kraća za 49% odnosno 54% zavisno od metode određivanja u PJ “Prosara”, a u PJ “Bobija-Ribnik” za 64%.



Slika 61 Metoda Euklidove udaljenosti

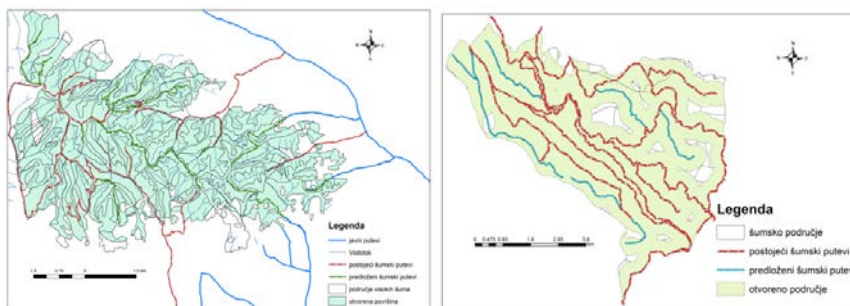
Srednja stvarna daljina privlačenja dobija se množenjem geometrijske sa faktorom produženja iste. Rezultati pokazuju da je došlo do skraćenja srednje stvarne daljine privlačenja i to za 313,35 m i 335,62 m u PJ “Prosara”, a u PJ “Bobija-Ribnik” za 123 m i 141 m (Tabela 24).

Tabela 24 Srednja stvarna daljina privlačenja za nadograđenu mrežu šumskih puteva

PJ	Srednja geometrijska daljina privlačenja (m)		Faktor produženja	Srednja stvarna daljina privlačenja (m)	
	Metod udaljenosti težišta	Euklidove udaljenosti		Metod udaljenosti težišta	Euklidove udaljenosti
“Prosara”	277	237,5	1,345	372,6	319,4
“Bobija-Ribnik”	180,2	155,2	1,4	252,3	217,3

4.4.3. Relativna otvorenost šuma

Kao osnov za određivanje relativne otvorenosti koristi se dvostruka ciljana geometrijska daljina privlačenja kao širina omeđene površine oko nadograđene mreže šumskih puteva u odabranim PJ. Površina otvorenog područja u PJ “Prosara” iznosi 3301,61 ha, a u PJ “Bobija-Ribnik” iznosi 3923,8 ha (Slika 62).

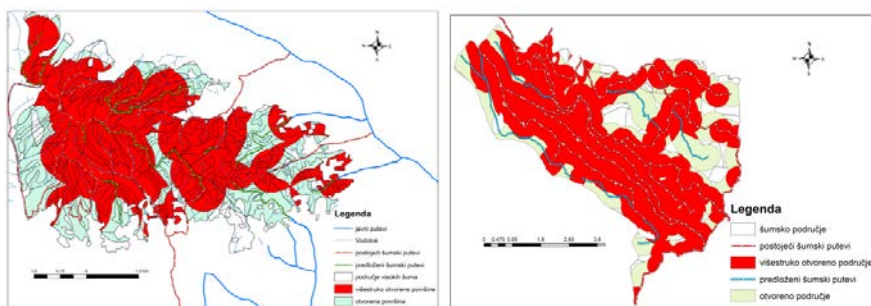


Slika 62 Otvorena područja za nadograđenu mrežu šumskih puteva

Relativna otvorenost s obzirom na ukupnu površinu visokih šuma u PJ “Prosara” iznosi 95,1%, a u PJ “Bobija-Ribnik” 93,7% što predstavlja izvrsnu otvorenost. Ako se uporedi relativna otvorenost za nadograđenu mrežu šumskih puteva sa relativnom za postojeću, može se vidjeti da je došlo do povećanja otvorenosti za oko 21% u PJ “Prosara” i 14% u PJ “Bobija-Ribnik”.

4.4.4. Koeficijent efikasnosti

Od ukupno otvorenog područja za dvostruku ciljanu geometrijsku daljinu privlačenja na višestruko otvorene površine otpada 2328,42 ha u PJ “Prosara” i 3048,2 ha u PJ “Bobija-Ribnik” (Slika 63), pa koeficijent efikasnosti iznosi 29,5% u prvoj i 22,3% u drugoj PJ, što je za 2% manje odnosno 2,3% više nego za postojeću mrežu šumskih puteva. Razlog tome je što u PJ “Bobija-Ribnik” veći broj puteva koji su blizu jedni drugih.

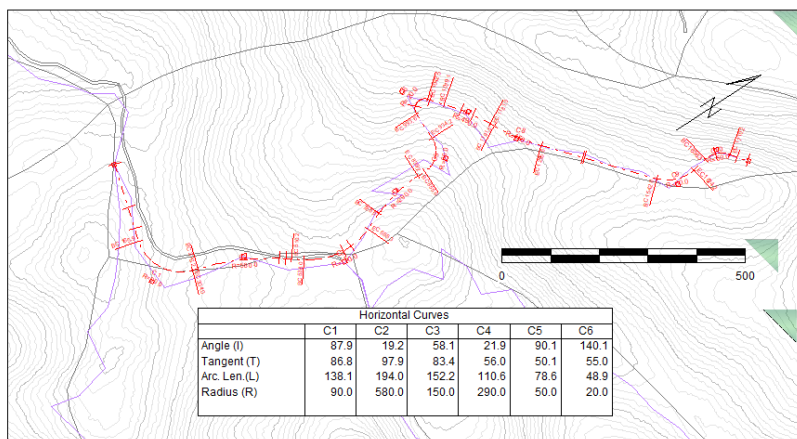


Slika 63 Višestruko i jednostruko otvorena područja za nadograđenu mrežu šumskih puteva

4.4.5. Idejni projekti šumskih puteva

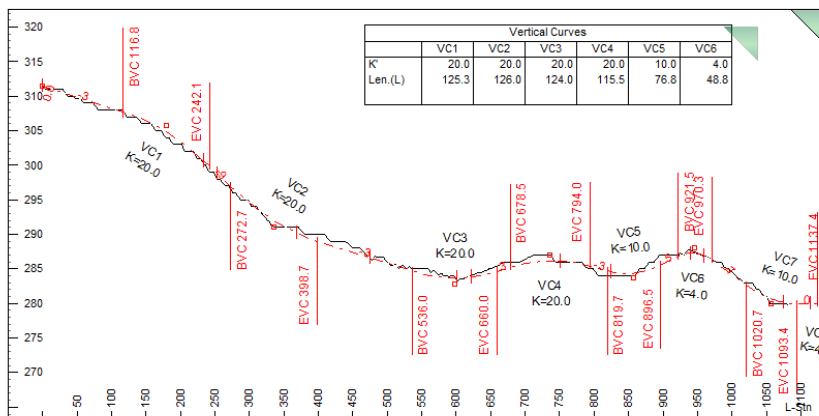
Nakon analize ostvarene primarne otvorenosti šuma prelazi se na fazu izrade idejnih projekata šumskih puteva na osnovu postavljenih nultih linija. Tom prilikom potrebno je definisati konstruktivne elemente šumskih puteva u skladu sa Pravilnikom o projektovanju šumskih kamionskih puteva iz 2002. godine podešavanjem parametara u aplikativnom programu RoadEng. Na taj način je za svaku postavljenu nultu liniju izrađen je idejni projekat što uključuje: situaciju šumskog puta, uzdužni profil, poprečne profile i analitičko nivelanje masa, odnosno količine materijala koja se dobija kopanjem i koji je potreban za izradu nasipa, kao i za izradu kolovoza. Na osnovu ovih podataka trebalo bi da se stvori gruba slika o troškovima gradnje šumskih puteva kako u PJ "Prosara" tako i u PJ "Bobija-Ribnik".

U PJ "Prosara" postavljeno je dvanaest nultih linija za nove puteve i izrađeno isto toliko idejnih projekata sa neophodnim sastavnim dijelovima prikazanim na primjeru. Na situaciji šumskih puteva prikazani su pravci i horizontalne krivine, čije karakteristike su date u tabelama elemenata krivina (Slika 64).



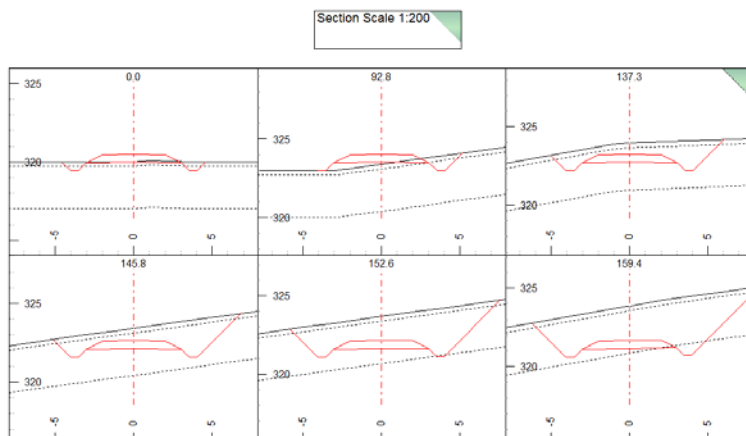
Slika 64 Situacija šumskog puta u idejnom projektu

U uzdužnom profilu prikazana je linija terena i povučena niveleta koja se u zavisnosti od konfiguracije terena lomi u jednoj ili više tačaka. U tačkama preloma nivelete se konstruišu vertikalne krivine, čiji elementi se takođe tabelarno prikazuju (Slika 65).



Slika 65 Uzdužni profil terena i niveleta sa lomovima i vertikalnim krivinama

Na poprečnim profilima su mogu se vidjeti, širina i debljina kolovoza, vrste odvodnih kanala i otkopne i nasipne kosine (Slika 66).



Slika 66 Poprečni profili šumskog puta

Posljedni segment idejnih projekata je analitičko nivelanje masa (Data) u kojima su tabelarno prikazane količine zemljanih radova. Gdje je: L-Stn-stacionaža, Grade-nagib nivelete, SG Cut V.-zapremina usjeka, SG Fill V.-zapremina nasipa i Srf1 Fill V.-količina materijala potrebna za izradu kolovoza, Pg. Tot.-zbir svih kolona prikazanih na stranici, Cum. Tot.-kumulativan zbir svih kolona tabele (Slika 67).

L-Stn m.	Grade %	SG Cut V. Cu. m.	SG Fill V. Cu. m.	Srf1 Fill V. Cu. m.
0.0		0.0	0.0	0.0
0.0		282.7	24.5	269.2
76.5	1	39.7	22.6	88.0
101.7	1	38.4	19.8	52.1
116.5	p -1	189.4	20.1	185.7
169.5	-3	103.2	6.1	67.0
188.7	p -5	1.0	0.3	1.2
189.0	-8	175.9	9.7	94.6
216.0	-8	82.8	8.7	50.6
230.4	p -5	127.4	11.9	73.6
251.4	-2	414.3	10.7	145.9
293.0	-2	54.9	0.0	35.0
303.0	-2	46.3	0.0	29.1
311.3	p -5	85.0	4.8	70.5
331.3	-7	118.1	9.8	155.3
375.4	-7	67.0	5.3	56.8
391.5	-7	18.2	2.1	16.5
396.2	p -5	100.8	6.3	78.0
418.4	-2	979.4	0.0	248.4
488.9	-2	1074.4	26.4	216.6
550.4				
Pg. Tot.		3998.9	189.1	1934.1
Cum. Tot.		3998.9	189.1	1934.1

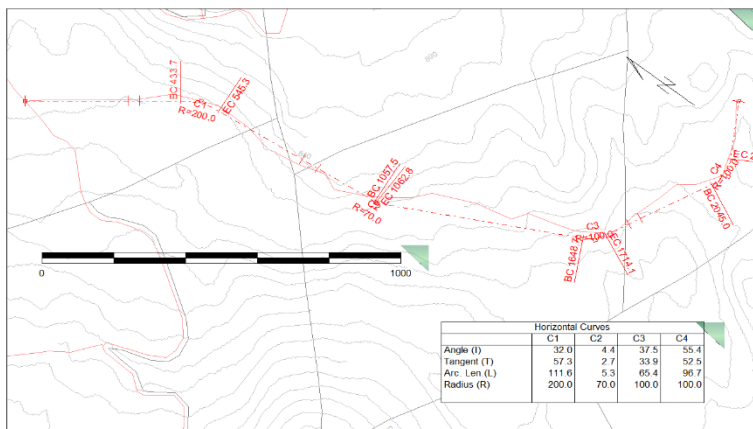
Slika 67 Iskaz kubature ili Analitičko nivelanje masa na šumskim putevima

Poređenjem dužina nultih linija i dužina šumskih puteva u idejnim projektima može se vidjeti da je došlo do smanjenja i to za 2856,1 m (Tabela 25) vjerovatno jer je prilikom ispravljanja nulte linije u situaciji veći broj kraćih pravaca zamijenjen manjim brojem dužih pravaca.

Tabela 25 Poređenje dužine postavljenih nultih linija za predložene šumske puteve i njihovih dužina u idejnim projektima u PJ "Prosara"

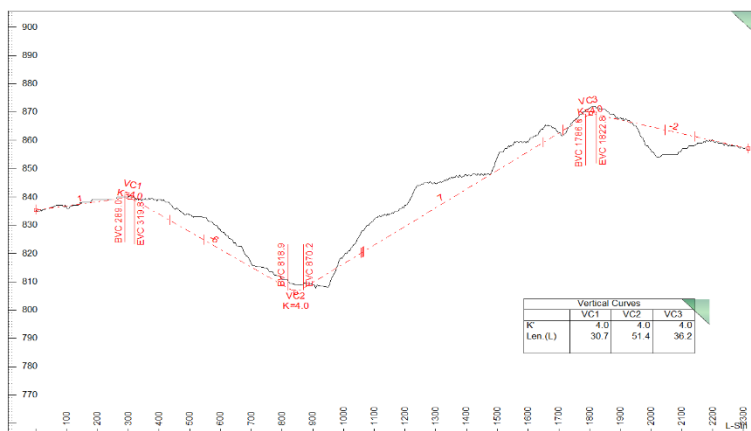
Predloženi šumski putevi	Otvora odjele	Ukupna dužina nultih linija	Ukupna dužina šumskih puteva u Idejnim projektima
1	57,58,59,60	2200	2110,9
2	57,58	1000	950,5
3	54,26,27,26/1	596	550,4
4	25,26/1,28/1, 25/1,25/2	1775	1017,4
5	54/1,47,28,46, 29,45, 30/1,44,31, 42,32	5412	4814,8
6	54/1,53	1413	1750,2
7	54/1,50,48,49	3272	2723
8	54/1,50,53	2124	1797,7
9	43,42	504	469,1
10	34/1,38,34	2435	2257,2
11	36	880	806,3
12	40,39,42	2961	2468,4
Ukupno		24.572	21.715,9

U PJ “Bobija-Ribnik” izrađeno je sedam idejnih projekata sa svim elementima kao i u PJ “Prosara”. U situaciji nema razlike između šumskih puteva u jednoj i drugoj PJ jer su konstruktivni elementi jedinstveni za sve kategorije terena (Slika 68).



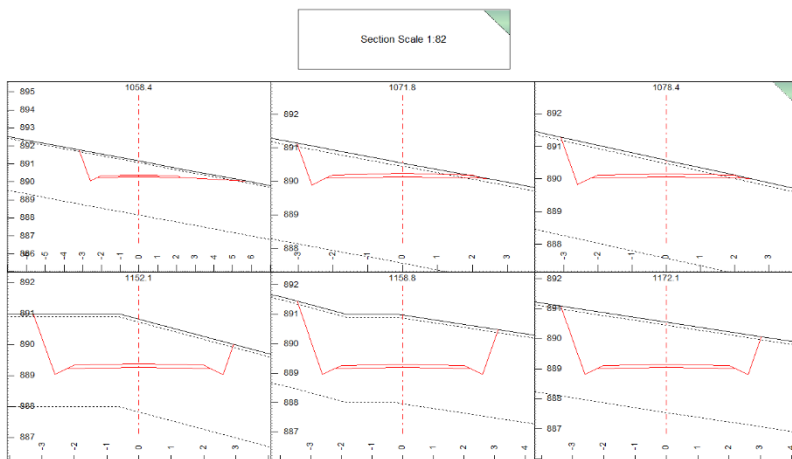
Slika 68 Situacija šumskog puta u PJ “Bobija-Ribnik”

U uzdužnom profilu šumskog puta-niveleta, moguće su razlike jer se sa stanovišta održavanja na tvrdim podlogama dozvoljava maksimalni nagib nivelete i do 10%, za razliku od uslova u PJ “Prosara” gdje je predviđen maksimalni nagib nivelete do 8% jer se radi o dubokim slabo nosivim podlogama (III kategorija terena) (Slika 69).



Slika 69 Uzdužni profil šumskog puta u PJ “Bobija-Ribnik”

Razlike su, između konstruktivnih elemenata šumskih puteva u PJ “Prosara” i “Bobija-Ribnik”, najvidljivije u poprečnim profilima odnosno njihovim konstruktivnim elementima. Počev od oblika odvodnih kanala, na III kategoriji terena u PJ “Prosara”, se primjenjuju trapezasti odvodni kanali, a u PJ “Bobija-Ribnik” (V kategorija terena) se primjenjuju rigoli. Zatim tu su razlike u nagibu otkopnih i nasipnih kosina i na kraju u debljini kolovoza (Slika 70).



Slika 70 Poprečni profili šumskog puta u PJ “Bobija-Ribnik”

Naravno tu su i podaci o količinama radova koji se mogu očekivati gradnjom šumskih puteva u PJ “Bobija-Ribnik” (Slika 71).

L-Stn m	Grade %	SG Cut V. Cu. m	SG Fill V. Cu. m	Srft Fill V. Cu. m
0.0				
289.0	1	524.6	86.8	121.3
319.8	p-2	132.5	0.0	12.9
433.7	-6	3473.5	0.0	47.8
545.3	-6	6303.4	0.0	46.9
818.9	-6	13670.8	0.0	114.8
870.2	p 0	687.9	0.0	21.5
1057.5	7	6843.4	0.0	78.6
1062.8	7	359.3	0.0	2.2
1064.8	7	146.2	0.0	0.9
1648.7	7	32982.6	0.0	245.0
1714.1	7	1315.3	359.0	27.4
1786.6	7	526.4	397.6	30.4
1822.8	p 2	558.6	0.0	15.2
2045.0	-2	1818.8	13434.5	93.3
2141.7	-2	0.0	6896.9	40.6
2316.1	-2	14.2	1937.3	73.2
2316.4	* 2	0.0	0.1	0.1
Cum. Tot.		69357.5	23112.2	972.1

Slika 71 Podaci analitičkog nivelanje masa u PJ “Bobija-Ribnik”

Kao i u slučaju PJ “Prosara”, dužine šumskih puteva u idejnim projektima su kraće i to za 92,7 m od ukupne dužine nultih linija (Tabela 26).

Tabela 26 Poređenje dužine postavljenih nultih linija za predložene šumske puteve i njihovih dužina u idejnim projektima

Predložen i šumski putevi	Otvora odjele	Ukupna dužina nultih linija	Ukupna dužina šumskih puteva u Idejnim projektima
1	143,140/2, 140/1,139/2,139/ 1,138,137/1,137/2, 136	6385	6334,3
2	140/1,140/2,143	1241	1125,4
3	97,98,135	2318	2532,29
4	97,95/2,93	1556	1702,31
5	131/1,130/2,130/1, 141,142/1	3096	2944,4
6	123/1,122/1,120, 119,118/1	2653	2574,0
7	117,118/2,112,111, 110	2373	2316,6
Ukupno		19.622	19.529,3

4.4.6. Ekonomsko-finansijska analiza

Razlike u dužini između nultih linija i idejnih projekata šumskih puteva se mogu objasniti time što se trase šumskih puteva u idejnim projektima prilagođavaju konfiguraciji terena kako u horizontalnom tako i u vertikalnom smislu, ali uz pridržavanje važećih propisa iz oblasti projektovanja i gradnje šumskih puteva. Prema Master planu šumskih puteva u RS (2019) prosječni troškovi gradnje šumskih puteva se kreću od 70.232,99 do 80.694,29 KM/km u PJ “Prosara” odnosno “Bobija-Ribnik”. Na osnovu dužina šumskih puteva u idejnim projektima i prosječnih troškova njihove gradnje koji su utvrđeni u ovom planskom dokumentu, mogli bi procjeniti i troškove gradnje novih šumskih puteva. Prema tome troškovi gradnje šumskih puteva iznosi li bi 1.525.170,63 KM odnosno 1.575.902,92 KM (Tabela 27).

Tabela 27 Troškovi gradnje šumskih puteva

PJ	Dužina novoprojektovanih nultih linija m	Dužina šumskih puteva u idejnim projektima m	Troškovi gradnje KM/km	Ukupni troškovi KM
“Prosara”	24.572	21.715,9	70.232,99	1.525.170,63
“Bobija-Ribnik”	19.622	19.529,3	80.694,29	1.575.902,92

S obzirom na aktuelna dešavanja još od vremena pandemije Covid 19 do Rusko-Ukrajinskog rata došlo je do poremećaja na svjetskom tržištu od 2020. godine u smislu promjena u cijenama svih vrsta roba i usluga pri čemu je inflacija dosegla 7,7% u BiH (CAPITAL, 2023). Prema tome i troškovi gradnje šumskih puteva su povećani bar za tih 7,7%.

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Dakle, planiranje šumskih puteva potrebno posmatrati sa stanovišta određivanja optimalne otvorenosti šuma, odnosno optimalne gustine šumskih puteva i sa stanovišta dostizanja te gustine projektovanjem novih šumskih puteva na samom terenu.

Ovdje treba naglasiti potrebu periodične izrade jedne vrste dokumenta, da li programa ili elaborata, kako god da se nazove, koji se tiče primarnog otvaranja šuma pojedinih privrednih jedinica šumskoprivrednog područja. Taj dokument bi pored šumskoprivredne osnove i elaborata uređivanja šuma bio još jedan proizvod redovne, desetogodišnje inventure šuma. Tim dokumentom bi bio obuhvaćen kompletan proces planiranja šumskih puteva u jednoj privrednoj jedinici od analize postojeće otvorenosti do polaganja novih šumskih puteva kako bi se dostigla ciljana ili optimalna otvorenost odnosno gustina šumskih puteva. Može se činiti da je proces planiranja šumskih puteva ili otvaranja šuma vremenski i prostorno ograničen proces i da je dovoljno jednom definisati optimum ili cilj i da nema potrebe preispitivati ga periodično odnosno svakih 10 godina. Međutim, s vremenom se ne mijenjaju samo troškovi transporta drveta nego i čitave tehnologije transporta, sječe i izrade drvnih sortimenata, ciljevi gazdovanja šumama, pa i tehnologije izvođenja građevinskih radova i na kraju propisi koji se odnose na gazdovanja šumama i kompletnom infrastrukturuom u okviru njih. S druge strane tu su i druge namjene i koristi od šumskog prostora koje se mijenjaju u vremenu, a koji se ne mogu zanemariti naročito u eri postojanja GIS-a i modela višekriterijumske analize prilikom određivanja namjene određenih dijelova šume i njenog prostora. Takođe ne treba bježati ni od činjenice da se pojedini putni pravci zatvore, odnosno konzerviraju u određenom vremenu pa i pokušaju različitim meliorativnim mjerama vratiti u rastnu površinu šume.

Dakle, prvo treba analizirati primarnu otvorenost postojećim šumskim putevima kako bi se znalo šta se želi postići izradom plana otvaranja šuma. Odnosno da li je potrebno ići u proces optimizacije otvorenosti i projektovanja novih šumskih puteva za potrebe korišćenja drveta, ali i drugih koristi od šume i šumskog prostora. Kako bi uradili kvalitetnu analizu podržanu informacionim tehnologijama potrebna je odgovarajuća baza podataka šumskih puteva u vidu digitalnog katastra. Ovaj katastar pored naziva i dužine šumskih puteva treba da sadrži i druge podatke o njihovim konstruktivnim elementima, stanju, namjeni i sl., kako bi se moglo kvalitetno upravljati njima i treba da imaju jedinstvene oznake kao matične brojeve koje bi se sastojale od slovno brojčanih kombinacija. Upravljanje podrazumijeva brigu o šumskim putevima ne samo u momentu njihovog korišćenja za transport prije svega za prevoz drveta nego i u periodima kada su van upotrebe. Kada se govori o otvorenosti šuma postojećim šumskim putevima, može se na osnovu rezultata istraživanja zaključiti da se ona u prosjeku u odabranim PJ kreće od 8 do 17 m/ha, u RS 9 m/ha, a za BiH ona iznosi 10 m/ha (Petković, 2019), što je prema IUFRO (1995), Dobre (1995) dovoljno za ekstenzivno do normalno gazdovanje šumama. Bolje su otvorene šume planinskog područja u kojima preovlađuju mješovite šume bukve i jele i bukve i jele sa smrčom. Razlog tome je šumska transportna infrastruktura koja je u prošlosti tačnije do prvog svjetskog rata, intenzivno građena u tim šumama koja se u početku sastojala od pružnih komunikacija koje su korištene kao gravitacione željeznice (fuglajz, koturača) za privlačenje drveta do utovarnih stanica na glavnim željezničkim pravcima gdje se drvo tovarilo na vagone koji su vučeni lokomotivama. Nakon drugog svjetskog rata željeznički saobraćaj zamjenjuje se drumskim odnosno prevoz drveta je sa vagona prebačen na kamione i pruge su, pogotovo šumske, napuštane ili demontirane kako bi se prevele u puteve. Otvorenost šuma u susjednim zemljama se kreće od 10 do 45 m/ha (Pentek et al., 2007; Kadović et al., 2008; Ghaffarian et al., 2009; Krč & Beguš, 2013; Pentek et al., 2014; Trajanov et al., 2015). Enache et al. (2016) utvrdili su da u prosjeku otvorenost šuma u Evropi iznosi oko 18 m/ha.

Upoređujući dobijene vrijednosti može se vidjeti da je otvorenost kod nas 2 do 6 puta manja nego u okruženju. FAO (1998) preporučuje za brdsko područje gustinu puteva od 7 do 10 m/ha, a na strmim terenima i do 35 m/ha.

Tako recimo u RH optimalna gustina šumskih puteva bi trebala biti od 15 do 25 m/ha zavisno od reljefnog područja. Dykstra & Heinrich, (1996) su utvrdili da je za privlačenje drveta po zemlji neophodna gustina šumskih puteva od 25 m/ha. Za intenzivno gazdovanja šumama potrebna je gustina i do 30 m/ha. Ti pokazatelji govore da je neophodno ući u proces optimizacije primarne otvorenosti prvo po količini puteva po jedinici površine, a onda i sa stanovišta što kvalitetnijeg njihovog prostornog rasporeda.

Optimalna gustina šumskih puteva može da se definiše na osnovu troškova transporta drveta, količine drveta koje se sječe i transportuje, uslova reljefa, vrste transportnog sredstva i sl. Troškovi transporta su vjerovatno najznačajniji faktor od koga zavisi optimalna gustina šumskih puteva jer ona predstavlja minimalnu vrijednost funkcije troškova transporta, a oni zavise od daljine transporta, a prije svega daljine privlačenja. Na same troškove transporta obrnuto proporcionalno utiče količina drveta koje se transportuje.

Međutim, troškovi transporta su promjenljivi u vremenu, posebno u uslovima nestabilnosti tržišta usljed kriza izazvanih lokalnim ili globalnim sukobima, pandemijama, mjerama socijalne politike i sl. U takvim uslovima dolazi do čestih promjena na tržištu nafte, repro materijala, transporta i izdvajanja za radnike. U tom slučaju teško je i pratiti kretanje cijena i troškova kako transportnih sredstava, rada tako i drveta i onda se pribjegava optimizaciji primarne otvorenosti sa stanovišta reljefnih uslova korišćenjem propisanih ciljanih gustina pa i daljina privlačenja.

Optimalna gustina šumskih puteva u brdskim visokim šumama trebala bi biti 7 m/ha pri minimalnim troškovima transporta od 33,74 KM/m³ (17,3 €/m³), što znači da je prosječna daljina privlačenja 850 m, a u planinskim 15 m/ha pri minimalnim troškovima od 23,6 KM/m³ (12,1 €/m³) pri daljini privlačenja od 400 m s obzirom na faktor produženja geometrijske daljine privlačenja. Dok bi na 100 m daljine privlačenja sa troškovima od 10,82KM/m³ (5,55 €/m³), optimalna gustina iznosila 15 u brdskim visokim šumama odnosno 26,5 m/ha u planinskim (Petković, 2019). Optimalna gustina šumskih puteva trebala bi biti 7-10 m/ha pri prosječnim troškovima privlačenja 9,75 do 15,6KM/m³ (od 5 do 8 €/m³) i prosječnim godišnjim troškovima gradnje i održavanja puteva od 5921,29 KM/km (3036,51€/km) (Naghdi & Limaiei, 2009).

Uzimajući u obzir uslove reljefa optimalna gustina šumskih puteva bi trebalo da se kreće od 16 m/ha u brdskim bukovo-hrastovim šumama do 25 m/ha u planinskim šumama bukve i jele sa smrčom (NN 106/15, 2015; NN 65/17, 2017).

Prosječna optimalna gustina šumskih puteva u odabranim privrednim jedinicama, u odnosu na gustinu ostvarenu postojećom mrežom šumskih puteva, pokazuje da je sada neophodno ići u fazu projektovanja novih puteva. Njima bi se nadogradila mreža postojećih šumskih puteva i nastojalo se dostići definisanu optimalnu gustinu. Čime bi se povećala otvorenost visokih šuma u odabranim PJ i šuma uopšte u RS i BiH.

Prije nego se započne faza projektovanja, a pogotovo na nivou izrade generalnog projekta šumskih puteva, potrebno je uraditi prostornu analizu područja šuma koje se otvara. Cilj prostornog planiranja je optimalan prostorni raspored novih šumskih puteva u područjima koja su nedovoljno otvorena sa stanovišta ciljane geometrijske daljine privlačenja i područjima koja su pogodna za gradnju šumskih puteva. Određivanje pogodnosti šumskog prostora za gradnju šumskih puteva zahtjeva primjenu višekriterijumske analize.

Kako bi analiza bila svrsishodna sa stanovišta da je šuma višefunkcionalni prostor, potrebno je uzeti u obzir što više kriterijuma u analizu koji bi kvalitetno prezentovali proizvodnu, zaštitno-regulatornu i socio-kulturnu funkciju šuma. Iz tog razloga je potrebno formirati kartu funkcija šuma, prije svega potrebno je evidentirati kulturno istorijske objekte kao i druge koji su značajni sa društvenog stanovišta, jer se podaci o stanju šuma, terenskim i infrastrukturnim prilikama nalaze u šumskoprivrednim osnovama kao i podaci o područjima koja su izdvojena u cilju zaštite životne sredine i potreba društva za čistom vodom, vazduhom i zemljištem. Dijelovi društva koji su zainteresovani za korišćenje šumskog prostora su javno mnjenje koje treba pitati i koje na kraju treba dati svoje mišljenje o važnosti, značaju ili težini pojedinih kriterijuma za problem recimo gradnje šumskih puteva, izbora sistema korišćenja drveta i uopšte gazdovanja šumama, ali i za korišćenje šumskog prostora u druge svrhe.

Svaki od kriterijuma se rasterizuje i dodaje mu se težina ili ponder sa kojim ulazi u proces sabiranja rastera ili karata svih kriterijuma, a zbirni raster ili karta je karta pogodnosti područja za gradnju šumskih puteva ili primjene određenih sistema korišćenja drveta na određenom prostoru. Na taj način pojedini dijelovi šume više privlače šumske puteve od drugih i u njima se oni projektuju.

Na nivou izrade generalnog projekta, postavljaju se nulte linije na kartama, ranije na analognim, a danas na digitalnim, sa izohipsama pomoću programa na bazi GIS-a. Na osnovu kojih je moguće izraditi idejni projekat za svaki šumski put odnosno nultu liniju. Idejni projekat se izrađuje pomoću programa RoadEng, odnosno njegovih modula Terrain i Location, na osnovu nulte linije i izohipsi koje su dobijene iz DMT-a na osnovu kojih se dobija uvid u njen položaj u prostoru.

Za izradu glavnog projekta potrebno je izvršiti projektovanje šumskih puteva na terenu primjenom direktne metode projektovanja šumskih puteva. Ova metoda podrazumijeva prikupljanje podataka o poligonu trase šumskog puta i snimanje terena u uzdužnom i poprečnim profilima. Prikupljeni podaci se unose u modul Survey programa RoadEng, na osnovu kojih se pomoću modula Location izrađuju sastavni dijelovi projekta.

Izradom idejnog projekta šumskih puteva dobija se uvid u količine radova na šumskom putu, a time i troškove gradnje na prvom mjestu, zatim tu su i podaci o karakteristikama njihovih konstruktivnih elemenata. Jedan od najznačajnijih konstruktivnih elemenata je nagib nivelete jer od njega zavisi transportna sposobnost šumskog puta sa stanovišta prevoza oblog drveta. Prema rezultatima istraživanja može se vidjeti da je izradom idejnih projekata dobijena dužina šumskih puteva koja je manja od dužine nultih linija pri tome vodeći računa da svi konstruktivni elementi budu u skladu sa dimenzijama koji su propisani Pravilnikom o projektovanju šumskih kamionskih puteva u RS.

Dakle na osnovu dimenzija konstruktivnih elemenata, ponajprije nagiba nivelete, te količine radova i sa njima povezanih troškova može se odlučiti da li određen šumski put treba da se gradi ili ne, pa i ako je gradnja tog puta nužna treba naći za njega povoljniju lokaciju u prostoru, a sve je to moguće pomoću savremenih informacionih tehnologija, prije svega aplikativnih programa kojima se vrši prostorna i statistička analiza podataka prikupljenih savremenim metodama snimanja (npr. LiDAR), i projektovanje i to iz kancelarije. U tom smislu su programi na bazi GIS-a i RoadEng potpuno komaptibilni i pružaju takvu mogućnost.

Na kraju iz rada se može zaključiti da se izdvajaju tri osnovna principa optimizacije otvorenosti šuma:

- Princip određivanja optimalne otvorenosti šuma,
- Princip planiranja šumskih puteva i
- Princip projektovanja šumskih puteva.

Prva dva principa sačinjavaju generalni projekat šumskih puteva ili master plan, a posljednji princip podrazumijeva izradu idejnih, pa i glavnih projekata šumskih puteva, ali samo djelimično jer izrada glavnih projekata šumskih puteva zahtjeva detaljne terenske radove i projektovanje na terenu, a kompletan proces je danas zasnovan na primjeni modernih informacionih tehnoloških dostignuća od primjene modernih alata i uređaja za prikupljanje podataka odnosno projektovanje na terenu do programa za njihovu obradu.

REFERENCE

Abbeg, B. (1978). Die Shätzung der optimalen Dichte von Waldstraßen in traktorfahrbarem Gelände. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 129. 6: 453 – 485.

Abdi E., Majnounian, B., Darvishsefat, A., Mashayekhi, Z. & Sessions, J. (2009). A GIS-MCE based model for forest road planning. Journal of forest science, 55, 4: 171-176

Agencija za Šume RS (2010). Sistemi gazdovanja u šumarstvu i njihova praktična primjena: seminar. Banja Luka: 62 p.

ArcGIS (2018). Advisory Research Group (Arc) GIS. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/managedata/geodatabases/types-of-geodatabases.htm>

Arnautović, R. (1975). O gustini mreže šumskih puteva, Narodni šumar, Sarajevo.

Backmund, F. (1966). Kennzahlen für den grad der erschließung von forstbetrieben durch autofahrbare wege. Forstwissenschaftliches centralblatt 85, 11/12: 342-345

Backmund, F. (1968). Indices for degree of accessibility of forest districts via roads, Schweiz, Zeit schrift für Forst.

Beguš, J. & Pertlik, E. (2017). Guide for planning, construction and maintenance of forest roads, Food and Agriculture Organization of the United Nations: 64 p.

Bertović, S. (1999). Reljef i njegova prostorna raščlamba. Šumarski list, 11-12, 543-563.

Brundage, H.E. (2015). Seasonal road layout design in mountainous terrain using GIS with the side hill and least cost path methods. [Master rad, Univerzitet u San Jose]. Univerzitet u San Jose. 41 p.

Caliskan, E. (2013). Planning of forestroad network and analysis in mountainous area. Life science journal, 10, 2: 2456-2465

CAPITAL (2023). Očekivana inflacija u BiH 7,7 odsto. <https://www.capital.ba/ocekivana-inflacija-u-bih-77-odsto/>

Dobre, A. (1995). Gozdne prometnice. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 70 p.

Dykstra D.P. & Heinrich, R. (1996). FAO model code of forest harvesting practice, Food and Agriculture Organization of the United Nations: 75 p.

Đuka A., Grigolato S., Papa I., Pentek T. & Poršinsky T. (2017a). Assessment of timber extraction distance and skid road network in steep Karst terrain. iForest: biogeosciences and forestry, 10: 886-894

Đuka A., Pentek T., Poršinsky T., Janeš D., Starčević M. & Papa I. (2017b). Otvorenost gospodarske jedinice Belevine, NPŠO Zalesina, i prijedlog daljnjeg otvaranja. Nova mehanizacija šumarstva, 38: 15-32.

Đuka A., Poršinsky T. & Vusić D. (2015). DTM models to enhance planning of timber harvesting. Glasnik šumarskog fakulteta: Univerzitet u Beogradu: 35-44.

Emrulović, S. (2020). Optimizacija sekundarne otvorenosti korišćenjem savremenih tehnologija. [Master rad, Univerzitet u Banjoj Luci]. Univerzitet u Banjoj Luci, 71 p.

Enache A., Kühmaier, M., Visser, R. & Stampfer, K. (2016). Forestry operations in the European mountains: a study of the current practices and efficiency gaps. Scandinavian journal of forestresearch 31, 4: 412-427.

Ezzati, S., Najafi, A. & Bettinger, P. (2016). Finding feasible harvest zones in mountainous areas using integrated spatial multi-criteria decision analysis. *Land Use Policy* 59: 478–491.

FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations (1974). *Logging and log transport in tropical high forest: a manual on production and costs*. Rome, 90 p.

FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1998). *A manual for the planning, design and construction of forest roads in steep terrain*. Rome: 130 p.

Firouzan A.H. & Abed M.H. (2015). Forest road network planning accordance to single selection silviculture method and environmental considerations based on AHP method using GIS. In: *Proceedings of the 48 th FORMEC Symposium 2015 October 4-8*. Linz, Institute of forest engineering, University of Natural Resources and Life Sciences: 257-263.

Ghaffarian M.R. & Sobhani H. (2008). Optimum road spacing of ground based skidding operations in Nowshahr, Iran. *Caspian journal of environment science*, 6: 105-112.

Ghaffarian M.R., Stampfer, K. & Sessions J. (2009). Comparison of three methods to determine optimal road spacing for forwarder-type logging operations. *Journal of forestscience*, 55, 9: 423-431.

Gumus S., Acar H.H. & Toksoy D. (2008). Functional forest road network planning by consideration of environmental impact assessment for wood harvesting. *Environment monitoring assessment*, 142: 109-116.

Haglof (2022). Rangefinders-Product folder. Height, Distance & Inclination Instruments. <https://haglofsweden.com/product-catalogs/>.

Hayati, E., Majnounian, B., & Abdi, E. (2012). Qualitative evaluation and optimization of forest road network to minimize total costs and environmental impacts. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 5(3), 121.

Heinimann, H. R. (2000). Forest operations under mountainous conditions. Forest in sustainable mountain development-a State of knowledge report for 2000, IUFRO Research Series 5. Wallingford, United Kingdom, 7 p.

Heinimann, H.R. (2004). Forest operation under mountainous conditions. In: Burley J., Evans J., Youngquist J. (Eds). *Encyclopedia of Forest Sciences*, Amsterdam: Elsevier Academic Press: 279–285.

Hentschel, S. (1996). GIS gestutze Herleitung der flachenhaften. *Forsttechnische Informationen*, (1-2), 8-13.

Hribernik, B. (2013). Model zgoščevanja omrežja gozdnih cest v večnamenskem gozdu. Doktorsko delo, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo, Ljubljana, 1-175.

IRPC-Istraživačko razvojno projektni centar. (2002). Pravilnik o projektovanju šumskih kamionskih puteva [Planski dokument]. Banja Luka: 26 p.

IRPC-Istraživačko razvojno projektni centar & Šuma plan d.o.o. (2019). Strateški plan šumskih puteva u Republici Srpskoj. Kvalitativno-kvantitavna analiza otvorenosti šuma Republike Srpske za GIS model. Banja Luka: 951 p.

IRPC-Istraživačko razvojno projektni centar. (2013a). Šumskoprivredna osnova za šumskoprivredno područje Posavsko (važnost 2013. Do 2022. godine) [Planski dokument]. Banja Luka: 329 p.

IRPC-Istraživačko razvojno projektni centar. (2013b). Šumskoprivredna osnova za šumskoprivredno područje Petrovačko (važnost 2013. Do 2022. godine) [Planski document]. Banja Luka: 140 p.

IUFRO-International union of forest research organizations (1995). Forest work study nomenclature. Tested. valid 1995-2000. (International union of forest research organizations, WP 3.04.02). Garpenberg, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Operational Efficiency: 16 p.

Jeličić V. (1971). Mreže šumskih puteva: planiranje i određivanje gustoće. Beograd, Jugoslovenski poljoprivredno-šumarski centar: 38 p.

Jeličić V. (1983). Šumske ceste i putevi. Zagreb, Samoupravna interesna zajednica odgoja i usmjerenog obrazovanja Socijalističke Republike Hrvatske: 192 p.

Jeličić, V. (1985). Otvaranje šuma traktorskim putevima, Sarajevo.

Jež, B. (2016). Model gostitve cestnega omrežja na primeru gozdnogospodarske enote Slivnica: [Magistarski rad, Univerzitet u Ljubljani]. Univerzitet u Ljubljani, 123 p.

Jourgholami M., Abdi E. & Chung W. (2013). Decision making in forest road planning considering both skidding and road costs: a case study in the Hyrcanian Forest in Iran. iForest: biogeosciences and forestry-technical report, 6: 59-64.

Jovanović, V., Đurđev, B., Srdić, Z. & Stankov, U. (2012). Geografski informacioni sistemi, Univerzitet u Novom Sadu, Beograd. str. 34-41.

Jurišić, M. & Plaščak, I. (2009). Geoinformacijske tehnologije GIS u poljoprivredi i zaštiti okoliša.

Kadović R., Aleksić P., Tomović Z., Medarević M. & Orlović S. (2008). Forest sector development in Serbia. Beograd, Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO: 143 p.

Kim J. (1996). Economical effects of forest road construction according to growing stock and forest road density. Journal of forest science 54: 23-29.

Klobučar, N., (2012). Fuel GIS – aplikacija za pregled benzinskih postaja na području Grada Zagreba, razvijena na QGIS platformi. [Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu]. Sveučilište u Zagrebu, 98 p.

Konrad, H., (2009). Geodatenworkflows in der Forstwirtschaft mit Quantum GIS, Diplomarbeit am Institut für Kartografie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Institut für Kartografie an der ETH Zürich, Zürich, 61 p.

Kraus, D. (2014). Primjena sustava za navigaciju u poljoprivredi. [Diplomski rad, Sveučilište u Osijeku]. Sveučilište u Osijeku, 59 p.

Krč J. & Beguš, J. (2013). Planning of forest opening with forest roads. Croatian journal of forest engineering, 34, 2: 217-228.

Krpan, A. & Poršinsky, T. (2004). Efficiency of Mechanical Felling and Processing in Soft and Hardwood broadleaved stands – Part 1: Attitudes of Forest Professionals towards Mechanical Felling and Processing. Šumarski list 128(3–4): 127–136.

De Groot, L. (2020). QGIS basics for Journalists. The Regents of the University of California <https://multimedia.journalism.berkeley.edu/tutorials/qgis-basics-journalists/>

Lepoglavec, K., Potočnik, I., Pentek, T., Tomašić, Ž., Poje, A. & Matevž, M. (2011). Programski paket za projektiranje šumskih prometnica »RoadEng«. Nova mehanizacija šumarstva 32. 39-51.

Lepoglavec, K. (2014). Optimizacija primarne i sekundarne šumske prometne infrastrukture nagnutih terena [Doktorska disertacija, Sveučilišta u Zagrebu]. Sveučilišta u Zagrebu, 266 p.

Lotfalian M., Zadeh, E.H. & Hosseini S.A. (2011). Calculating the correction factor of skidding distance based on forest road network. *Journal of forest science*, 57, 11: 467-471.

Ljubojević, D. (2006). Primjena software-a RoadEng u projektovanju šumskih puteva. [Diplomski rad. Univerzitet u Banjoj Luci]. Univerzitet u Banjoj Luci.

Ljubojević, D., Danilović, M., Marčeta, D. & Petković, V. (2018). Winching Distance in Function of the Optimization of Skid Network. *South-east Eur for* 9 (2): 97-106.

Marčeta, D., Petković, V. & Košir, B. (2014). Comparison of two skidding methods in beech forests in mountainous conditions. *Nova mehanizacija šumarstva* 35(1): 51-62.

Marčeta, D., Petković, V., Ljubojević, D. & Potočnik, I., (2020). Harvesting System Suitability as Decision Support in Selection Cutting Forest Management in Northwest Bosnia and Herzegovina. *Croatian journal of forest engineering*, Vol. 41: No. 2, 251-256.

Matthews, D. (1939). The use of unit cost data in estimating logging costs and planning logging operations. *Journal of forestry*, 37. 10: 783 – 787.

Matthews, D. (1942). *Cost control in the logging industry*. New York, McGraw – Hil: p. 374.

Meštrović, Š. & Fabijanić, G., (1995). *Priručnik za uređivanje šuma*. Ministarstvo poljoprivrede i šumarstva Hrvatske.

Mohammadi, S.K., Hosseiny, S.A., Lotfalian, M. & Najafi, A. (2010). Planning road network in mountain forests using GIS and analytic hierarchical process (AHP). *Caspian journal of environment sciences*, 8, 2: 151-162.

Muškatirović, J. & Jovanović, V. (1996). Zbornik radova YUGIS '96, Geografski institut „Jovan Cvijić“ SANU, Beograd, 77-85.

Naghdi R. (2004). Study of optimum road density in tree length and cut to length systems: [Doktorska disertacija, Univerzitet u Tarbiat Modarres]. Univerzitet u Tarbiat Modarres: 177 p.

Naghdi, R. & Limaei, S.M. (2009). Optimal forest road density based on skidding and road construction costs in Iranian Caspian forests. Caspian journal of environmental science. 7, 2: 79 – 86.

Nikolić, S. (1993). Iskorištavanje šuma. Univerzitet, Šumarski fakultet. Beograd, 265 p.

NN-Narodne Novine, br. 106/2015. (2015). 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-Narodne Novine, br. 65/2017. (2017). Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o provedbi mjere M04. 2017b. 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.

Osmančević, E. (2023). Optimizacija primarne otvorenosti šuma u Gospodarskoj jedinici „Grmeč-Jasenica“. [Master rad. Univerzitet u Banjoj Luci]. Univerzitet u Banjoj Luci, 72 p.

Pahernik, M. (2006). Uvod u geografsko informacijske sustave. Zapovjedništvo za združenu izobrazbu i obuku „Petar Zrinski“. Zagreb, 160 p.

Palčić, D. (2016). Mogućnost primjene Quantum GIS-a u šumarstvu s ostvrtom na ArcGIS. [Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu]. Sveučilište u Zagrebu, 45 p.

Pellegrini M., Grigolato S. & Cavalli R. (2013). Spatial multi-criteria 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.

Pentek T. (2002). Računalniški modeli optimizacije mreže šumskih cesta s obzirom na dominantne utjecajne čimbenike: [Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu]. Sveučilište u Zagrebu, 271 p.

Pentek T., Nevečerel H., Ecimović T., Lepoglavec K., Papa I. & Tomašić Z. (2014). Strategijsko planiranje šumskih prometnica u Republici Hrvatskoj raščlamba postojećega stanja kao podloga za buduće aktivnosti. *Nova mehanizacija šumarstva*, 35, 1: 63-78.

Pentek T., Nevečerel H., Pičman D. & Poršinsky T. (2007). Forest road network in the Republic of Croatia – Status and perspectives. *Croatian journal of forest engineering*, 28, 1: 93-106.

Pentek T., Nevečerel H., Poršinsky T., Pičman D., Lepoglavec K. & Potočnik I. (2008). Methodology for development of secondary forest traffic infrastructure cadastre. *Croatian journal of forest engineering* 29, 1: 75–83.

Pentek T., Pičman D., Potočnik I., Dvorščak P. & Nevečerel H. (2005). Analysis of an existing forest road network. *Croatian journal of forest engineering*, 26, 1: 39-50.

Petković, V. & Potočnik, I. (2018). Planning Forest Road Network in Natural Forest Areas: A Case Study in Northern Bosnia and Herzegovina, *Croatian journal of forest engineering*, Vol. 39: No. 1, pp. 45-56.

Petković, V. (2019). Optimization of forest roads network in hilly and mountainous natural forests in northern Bosnia and Herzegovina. [Doktorska disertacija, Univerzitet u Ljubljani]. Univerzitet u Ljubljani, 203 p.

Petković, V. (2023). Planiranje šumskih komunikacija. In Z. Govedar, M. Mataruga & N. Pržulj (Eds.), Održivi razvoj i upravljanje šumskim ekosistemima (pp. 745-769). Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske.

Petković, V., Marčeta, D. & Potočnik, I. (2022). Optimization of primary forest accessibility in high forests with natural regeneration. Šumarski list, 9–10, 427-437.

Petković, V., Marčeta, D., Ljubojević, D. & Kuburić, J. (2017a). Determination of Average Skidding Distance Using GIS, Nova mehanizacija šumarstva, Vol. 38, No. 1845-8815: 33-42.

Petković, V., Marčeta, D., Ljubojević, D. & Potočnik, I. (2017b). Optimizacija izračunavanja faktora privlačenja drveta na području ŠG "Prijeđor" Prijeđor. Glasnik Šumarskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci 27: 41-50.

Petković, V., Marčeta, S., Španjić, S. & Kosović, M. (2015). Određivanje srednje distance privlačenja primjenom GIS-a u nizijsko-brdskim uslovima. Glasnik Šumarskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci 23: 5-14.

Petković, V., Potočnik, I. & Marčeta, D. (2019). Planning of forest roads network: case study in the mountain natural forests area of Bosnia and Herzegovina. Proceedings of the 52nd International Symposium on Forestry Mechanization: 623 p.

Pičman, D. (2007). Šumske prometnice. Zagreb, Šumarski fakultet: 460 p.

Pičman, D., Pentek T. & Nevečerel H. (2006). Katastar šumskih prometnica - postojeće stanje, metodologija izradbe i polučene koristi. Glasnik za šumske pokuse, 1, 5: 635-646.

Pivac, D. (2014). GIS rijeka Hrvatske. [Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu]. Sveučilište u Zagrebu, 105 p.

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.

Potočnik, I. (2004). Šumske komunikacije, skripta, Šumarski fakultet u Banjoj Luci, Banja Luka.

Rafiei, A.A., Lotfalian, M., Hosseini, S.A., Parsakhoo, A. (2009). Determining the optimum road density for ground skidding system in Dalak Khely forest-Hyrcanian zone. World applied sciences journal, 7, 3: 263-270.

Rebula, E. (1981). Optimal openness of forests. Mehanizacija šumarstva, 3-4: 107-119.

Ryan, T., Phillips, H., Ramsay, J. & Dempsey, J. (2000). Forest Road Manual, Guidelines for the design, construction and management of forest roads, COFORD, National Council for Forest Research and Development, Ireland, Dublin. 170p.

Saaty, T.L. (1980). The analytic hierarchy process. NewYork, McGraw-Hill: 296 p.

Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. International journal services sciences, 1, 1: 83-98.

Sachs, W. (1968). Wegedichte und erschließungsprozent. Forst- und Holz, 23: 6-7.

Segebaden, G. (1964). Studies of cross-country transport distances and road net extension. Studia forestalia Suecica, 18. Department of Operational Efficiency at the Royal College of Forestry. Stockholm. 68p.

Softree Technical Systems Inc. (2002). RoadEng user guide for forest road designers (version 4.0). Vancouver

Softree Technical Systems Inc. (2023). RoadEng tutorial for resource applications (Version 10). Vancouver.
https://www.softree.com/anonyftp/V10_DOCs/V10_RoadEngResource.pdf

Sokolović, Dž. & Bajrić, M. (2013a). Otvaranje šuma. Sarajevo, Univerzitet, Šumarski fakultet: 250 p.

Sokolović, Dž. & Bajrić, M. (2013b). Šumska prometna infrastruktura u Federaciji Bosne i Hercegovine. Nova mehanizacija šumarstva, 34: 39-50.

Sokolović, Dž., Lojo, A., Bajrić, M. & Halilović, V. (2009). Uticajni faktori na izbor područja pogodnih za gradnju šumskih kamionskih puteva, Univerzitet u Sarajevu, 43-57.

Stankić, I. (2010). Višekriterijsko planiranje izvoženja drva forvarderima iz nizinskih šuma Hrvatske. [Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu]. Sveučilište u Zagrebu, 123 p.

Stückelberger, J., Heinemann, H.R. & Chung, W. (2007). Improved road network design models with the consideration of various link patterns and road design elements. Canadian journal of forest research 37(11): 2281–2298.

Sundberg, U. (1976). Harvesting man-made forests in developing countries. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations: 185 p.

Šikić, D., Babić, B., Topolnik, D., Knežević, I., Božičević, D. Švabe, Ž., Piria, I. & Sever, S. (1989). Tehnički uvjeti za gospodarske ceste. Znanstveni savjet za promet Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti. Zagreb: 1 – 78.

Šubat, D. (2011). Izrada aplikacije za upravljanje javnom rasvjetom na području grada Crikvenice. [Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu]. Sveučilište u Zagrebu, 73 p.

Tampekis, S., Sakellariou, S., Samara, F., Sfougaris, A., Jaeger, D. & Christopoulou, O. (2015). Mapping the optimal forest road network based on the multicriteria evaluation technique: the case study of Mediterranean Island of Thassos in Greece. Environmental monitoring assessment, 187: 687 p.

Trimble Inc. (2023). Supplementary Information. Resource center: Quadri and Novapoint. https://help.novapoint.com/doku.php?id=en:np:road:menu:alignment_design:technical_info:ad_suppinfo

Tomlinson, R. (2013). Thinking about GIS: geographic information system planning for managers. Fifth edition. ESRI Press, California, 238 p.

Trajanov, Z., Nestorovski, Lj. & Pande, T. (2015). Development and perspective of the forest road infrastructure in the Republic of Macedonia. Glasnik Šumarskog fakulteta. Univerzitet u Beogradu. 141 – 148.

DESA (2015). Osnove GIS-a. https://www.up4c.eu/wp-up4c/wp-content/uploads/2015/02/gis_osnove.pdf

Upadhyay, M. (2009). Making GIS work in forest management. Pokhara, Institute of Forestry: 6 p

Uradni list Republike Slovenije (RS), št. 007-382/2008 (2008). Pravilnik o gozdnih prometnicah

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна и универзитетска библиотека
Републике Српске, Бања Лука