

POKAZATELJI PRIMARNE OTVORENOSTI ČETIRI RELJEFNA PODRUČJA ŠUMA

INDICATORS OF PRIMARY FOREST ACCESSIBILITY IN DIFFERENT TERRAIN CATEGORIES

David JANEŠ¹, Andreja ĐUKA^{1,*}, Ivica PAPA¹, Tibor PENTEK¹, Maja MORO¹, Ivan ŽARKOVIĆ¹,
Tomislav PORŠINSKY¹

SAŽETAK

Poznavanje značajki gustoće i prostornog rasporeda šumskih cesta različitih reljefnih područja olakšava daljnje procese planiranja i projektiranja budućih šumskih cesta. Istraživanjem su proučavani osnovni pokazatelji otvorenosti šuma primarnim šumskim prometnicama na uzorku od dvadeset gospodarskih jedinica raspodjeljenih u četiri reljefna područja, odnosno šumskih bioklimata: 1) Nizinskih šuma hrasta lužnjaka, 2) Brežuljkastih šuma hrasta kitnjaka, 3) Brdskih bukovih šuma te 4) Gorskih bukovo – jelovih šuma.

Postojeće i unaprijeđeno (na temelju idejnih trasa nultih linija) stanje primarne otvorenosti šuma dvadeset primjernih gospodarskih jedinica, provedeno je kroz analizu sljedećih pokazatelja: gustoću mreže šumskih cesta, geometrijsku srednju udaljenost privlačenja drva, faktor mreže šumskih prometnica te primarnu relativnu otvorenost. Za valorizaciju nehomogenosti površina istraživanih gospodarskih jedinica korišten je faktor razvedenosti šumske površine, a za razinu zahtjevnosti terena udjel površine s nagibom > 33 %.

Polučeni rezultati primarne otvorenosti šuma, ukazuju na sličnosti i razlike mreže šumskih cesta pojedinih reljefnih područja šuma, odnosno najveće vrijednosti gustoće cesta pojedinog šumskog bioklimata za izvrsnu relativnu otvorenost šuma. Ostvareni rezultati potvrđuju propisane vrijednosti ciljane gustoće cesta po reljefnim područjima (Pravilnik o provedbi mjere 4 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020.), budući da primarna otvorenost veća od ciljanih vrijednosti ne daje značajne pozitivne učinke.

KLJUČNE RIJEČI: šumske ceste, bioklimat, planiranje, reljefna područja šuma, ArcGIS

1. UVOD INTRODUCTION

Cestovne mreže važan su dio infrastrukturnih sustava, koje pružaju i omogućuju osnovne usluge kretanja roba i ljudi između polazišta i odredišta (Heinimann 2021). Mrežu šumskih cesta potrebno je planirati, projektirati te izgraditi

na način da one omogućuju pristupnost šumi uz najmanje moguće troškove izgradnje i održavanja (Akay i dr. 2021, Dodson 2021, Naderializadeh i dr. 2020) zbog brojnih čimbenika (promet, različiti korisnici, utjecaj klimatskih prilika i vegetacije) koji utječu na stanje i uzrokuju oštećenja šumskih cesta (Erber i dr. 2021). Postojanje optimalne mreže

¹ Dr. sc. David Janeš, e-pošta: david.janes@unizg.sumfak.hr, doc. dr. sc. Andreja Đuka, e-pošta: andreja.duka@unizg.sumfak.hr, doc. dr. sc. Ivica Papa, e-pošta: ivica.papa@unizg.sumfak.hr, prof. dr. sc. Tibor Pentek, e-pošta: tabor.pentek@unizg.sumfak.hr, Ivan Žarković, mag. ing. silv., e-pošta: ivan.zarkovic@unizg.sumfak.hr, prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky, e-pošta: tomlslav.porsinsky@unizg.sumfak.hr, Zavod za šumarske tehnike i tehnologije, doc. dr. sc. Maja Moro, e-pošta: maja.moro@unizg.sumfak.hr, Zavod za procesne tehnike, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Svetošimunska 25, HR – 10 000 Zagreb

* dopisni autor – *corresponding author*

šumske prometne infrastrukture jedan je od osnovnih preduvjeta suvremenog, kvalitetnog, integriranog i racionalnog gospodarenja šumskim ekosustavima (Gumus i dr. 2008, Pentek i Poršinsky 2012, Laschi i dr. 2019).

S obzirom da je ocjenu prostornoga rasporeda primarne prometne šumske infrastrukture teško prikazati samo jednim kriterijem, mnogi autori (Pentek 2002, Bumber 2011, Hayati i dr. 2012, Enache i dr. 2013, Đuka 2014, Krumov 2019) koriste slijedeće pokazatelje njihove procjene: 1) gustoću mreže šumskih prometnica (klasična otvorenost šuma), 2) postotak dostupne površine (relativna otvorenost šuma), 3) srednju geometrijsku udaljenost privlačenja drva te 4) međusobni teorijski razmak šumskih cesta.

Gustoća mreže šumskih prometnica često se koristi kao glavni i/ili jedini pokazatelj za opisivanje cestovne mreže te za procjenu pristupačnosti šumi određenog područja (Gumus i dr. 2008, Eastaugh i Molina 2011, Laschi i dr. 2019), ali ju je ipak potrebno iskazivati u kombinaciji sa srednjom udaljenosti privlačenja drva (Pentek i dr. 2004). Srednja udaljenost privlačenja drva pokazatelj je koji na određenoj šumskoj površini (odjelu, odsjeku, sječini) opisuje prosječnu udaljenost na kojoj se privlači drvo, tj. udaljenost od mjesta sječe stabla (panja) do mjesta sakupljanja drva (MacDonald 1999, Poršinsky 2005).

Relativna otvorenost šuma, kao kvalitativan pokazatelj analize otvorenosti šuma, predstavlja omjer prometnicama otvorene i ukupne površine šuma (Backmud 1966), gdje se otvorenom smatra ona površina, koja se nalazi unutar omeđene površine (pojasa otvaranja) koja prati tijek određene prometnice. Izvorno, Backmund (1966) je predložio da širina pojasa otvaranja bude jednaka teorijskom razmaku između šumskih cesta. Kasnije u istraživanjima, širinu pojasa otvaranja šuma autori modificiraju s obzirom na namjenu, ciljeve i potrebe istraživanja (Pentek i dr. 2016a).

Suvremeno gospodarenje šumskim resursima dovodi do povećane potrebe za primarnim i sekundarnim šumskim prometnicama, pri čemu izgradnja novih primarnih šumskih prometnica za cilj ima smanjenje srednje udaljenosti privlačenja drva (Zhixian i Zhili 1997) te u konačnici, troškova pridobivanja (privlačenja) drva (Hayati i dr. 2012). Navedenim je postojanje odgovarajuće mreže šumskih prometnica preduvjet održivom gospodarenju šumama i šumskim zemljištem (Abeli i dr. 2000, Abdi i dr. 2009, Rhee i dr. 2019). Međutim, za kvalitetno gospodarenje postojećim, kao i za planiranje budućih šumskih prometnica nužna je uspostava registra, odnosno katastra mreže šumskih prometnica, budući da se njegovim uspostavljanjem dobiva polazišna točka za analizu geometrijskih značajki šumskih cesta u različitim reljefnim područjima šuma (Papa i dr. 2015a, Papa i dr. 2015b).

Određivanje kvantitativnog i kvalitativnog stanja postojeće primarne šumske prometne infrastrukture kao i planiranje

budućih šumskih cesta u današnje vrijeme je nezamislivo bez primjene geografskog informacijskog sustava (GIS-a), čemu svjedoče i brojna istraživanja vezana uz šumsku prometnu infrastrukturu (Pentek 2002, Laschi i dr. 2016, Đuka i dr. 2017, Picchio i dr. 2018, Papa i dr. 2019, Đuka i dr. 2021). Primjenom GIS alata u kombinaciji sa dostupnim prostornim podacima moguće je razviti brojne modele primjenjive u šumarstvu, a posebice za analiziranje postojećeg stanja mreže šumskih cesta te planiranje trasa budućih šumskih cesta.

Cilj ovoga rada je određivanje primarne otvorenosti gospodarskih jedinica pojedinih reljefnih područja šuma. Uvid u stanje postojeće otvorenosti šuma pojedinih gospodarskih jedinica dat će smjernice o unapređenju (količini i položaju mreže primarne šumske prometne infrastrukture) obuhvaćenih šumskih bioklimata tj. reljefnih područja.

2. METODE ISTRAŽIVANJA RESEARCH METHODS

Analize primarne otvorenosti provesti će se unutar dvadeset gospodarskih jedinica (GJ), raspoređenih u četiri reljefna područja: 1) nizinsko (nizinske šume hrasta lužnjaka i poplavne šume), 2) brežuljkasto (brežuljkaste šume hrasta kitnjaka), 3) brdsko (brdske bukove šume) te 4) gorsko (jelove, bukovo-jelove te smrekove šume) područje. Podjela biljnih zajednica u bioklimata temeljena je na istraživanju Pilaša i dr. (2014).

Postojeća primarna otvorenost istraživanih GJ utvrdit će se temeljem vektorskih podataka o primarnoj šumskoj prometnoj infrastrukturi, dok će se za potrebe utvrđivanja unaprijeđenog stanja otvorenosti registar prometnica ažurirati idejnim trasama nultih linija šumskih cesta.

Radi lakšeg razumijevanja pokazatelja otvorenosti šuma, za valorizaciju nehomogenosti površina istraživanih GJ uslijed dislociranosti pojedinih ili grupa odjela/odsjeka (što otežava suvislo primarno otvaranje) korišten je faktor razvedenosti šumske površine (Janeš 2021). Faktor razvedenosti površine GJ, određen je odnosom stvarnog opsega GJ i opsega kvadrata površine GJ, kao idealnog geometrijskog oblika na kojemu počiva teorijski model transporta drva (izraz 1).

$$f_{\text{r}\text{sp}} = \frac{O_{\text{gj}}}{O_{\text{kv}}} \quad (1)$$

gdje su:

- $f_{\text{r}\text{sp}}$ faktor razvedenosti šumske površine
- O_{gj} stvarni opseg GJ, m
- O_{kv} opseg kvadrata površine GJ, m

Dodatno, s obzirom na razinu zahtjevnosti terena GJ, iskazati će se i njihov udio površine sa nagibom > 33 %, koju metodološki obrađuju (Đuka i dr. 2015).

2.1. Određivanje gustoće primarne šumske prometne infrastrukture – *Determination of Primary Forest Road Density*

Za izračun gustoće primarnih šumskih prometnica koristiti će se odredbe Pravilnika o uređivanju šuma (NN 97/18, 101/18, 31/20, 99/21). »Postojeća i planirana gustoća primarne šumske prometne infrastrukture se iskazuje u km/1000 ha, a određuje se za ukupnu površinu GJ. Planirane šumske ceste predstavljene su idejnim trasama ucrtanima na osnovu odabrane inačice nulte linije, koje se planiraju izgraditi u idućem polurazdoblju. Duljina pojedine šumske ceste koja se uzima u obzir pri obračunu gustoće primarne šumske prometne infrastrukture određuje se na temelju osnovnog/eliminacijskog i posebnih/prostornih kriterija.« Navedene kriterije na primjerima najčešćih slučajeva, vizualiziraju i dodatno pojašnjuju Poršinsky i dr. (2017). Isti autori ističu da gustoća šumskih cesta dobiva na značenju u kontekstu operacije 4.3.3. »Ulaganja u šumsku infrastrukturu« Programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020., gdje su propisane ciljane gustoće primarne šumske prometne infrastrukture za pripadajuće kategorije reljefnih područja šuma (nizinsko – 15 km/1000 ha, brdsko (prigrorsko) – 20 km/1000 ha, planinsko (gorsko) – 25 km/1000 ha te krško – 15 km/1000 ha).

U izračun gustoće primarne otvorenosti šuma obučanih GJ neće se uzimati u obzir javne i nerazvrstane ceste zbog sljedećih razloga: 1) Pojedine javne ceste zbog uskog zaštitnog pojasa te strmih i visokih pokosa na iskopnoj strani zasjeka, dubokih odvodnih jaraka kao i nemogućnosti spajanja sa sekundarnom šumskom infrastrukturom isključuju mogućnost formiranja pomoćnih stovarišta u njenom zaštitnom pojasu, zbog čega nije moguće ishoditi Elaborat privremene regulacije prometa (Pravilnik o sadržaju, namjeni i razini razrade prometnoga elaborata za ceste – NN 140/13) te 2) Neki od prisutnih sustava pridobivanja drva u hrvatskome šumarstvu pred mrežu primarnih šumskih prometnica, posebice pred spojeve sa sekundarnom infrastrukturom, stavljaju posebne zahtjeve (sidrenje šumskih vozila opremljenih sidreno-trakcijskim užem, postavljanje sidrišta za šumske žičare), a čijom bi uporabom bilo onemogućeno normalno odvijanje javnog prometa. Stoga u obračun otvorenosti primarne šumske prometne infrastrukture nisu uzeti segmenti na kojima se ne može privremeno formirati pomoćno stovarište te na kojima postoje ograničenja sukladno odredbama Zakona o cestama (NN 84/11, 22/13, 54/13, 148/13, 92/14, 110/19) i Zakona o sigurnosti prometa na cestama (NN 67/08, 48/10, 74/11, 80/13, 92/14, 64/15, 108/17, 70/19, 42/20) zbog čega su u obračun uzete samo šumske ceste.

Gustoća postojeće i unaprijeđene mreže šumskih cesta koristit će se i za izračun srednje teorijske udaljenosti privlačenja drva (Matthews 1942), prema izrazu 2.

$$s_t = \frac{2500}{g_c} \quad (2)$$

gdje su:

g_c gustoća šumskih cesta, m/ha

s_t srednja teorijska udaljenost privlačenja drva, m

2.2. Određivanje srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva – *Determination of the average geometric timber extraction distance*

Za izračun srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva koristit će se odredbe Pravilnika o uređivanju šuma (NN 97/18, 101/18, 31/20, 99/21). »Postojeća i planirana geometrijska (euklidska) udaljenost privlačenja drva, određena metodom pravilne mreže točaka (razmaka 10×10 m), kvalitativno opisuje prostorni raspored primarne šumske prometne infrastrukture. Iskazuje se u metrima, kao prosječna vrijednost na razini GJ, odnosno kao srednja vrijednost na razini odsjeka.«

Geometrijska udaljenost privlačenja drva je najkraća udaljenost od zadane točke u prostoru do najbliže šumske ceste (Segebaden 1964). Isti autor, pomoću metode pravilne mreže točaka definira i srednju geometrijsku udaljenost privlačenja drva neke površine šuma, kao »aritmetičku sredinu geometrijskih udaljenosti privlačenja drva beskonačnoga broja točaka jednoliko raspoređenih predmetnom površinom, pri čemu svaka točka predstavlja beskonačno malu površinu«. Ovaj pokazatelj otvorenosti šuma, u sebi sadrži nepravilnosti: 1) oblika šumske površine te 2) mreže šumskih cesta. Bumber (2011) i Đuka (2014) navode da je euklidska udaljenost (izračunata putem računalnog programa ArcGIS, alat *Euclidean Distance* unutar alata *Spatial Analyst*) izuzetno dobar alat za određivanje prosječne geometrijske udaljenosti privlačenja drva na razini GJ, odnosno srednjih geometrijskih udaljenosti privlačenja drva pojedinih odjela/odsjeka. Isti autori, navode da euklidska udaljenost odgovara Segebadenovim (1964) temeljima određivanja srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva. Pentek i dr. (2016a) dodatno ističu da srednja geometrijske udaljenosti privlačenja drva izuzetno dobro vizualizira otvorena, nedovoljno otvorena i neotvorena šumska područja.

Postupak utvrđivanja srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva provest će se za postojeću, kao i za unaprijeđenu inačicu mreže primarnih šumskih prometnica primjernih GJ.

Uz navedeno, utvrdit će se i faktor mreže prometnica (izraz 3), koji je određen kao odnos (kvocijent) srednje geometrijske i srednje teorijske udaljenosti privlačenja (izraz 2), a uvažava postojeće nepravilnosti mreže primarne prometne šumske infrastrukture (cesta), ali i površine šuma, u odnosu na teorijski model, uslijed morfoloških parametara reljefa (nagib terena, razvedenost reljefa, gustoća i razvedenost hidrografske mreže), odnosno primijenjenog sustava primar-

nog otvaranja šuma. Faktor mreže prometnica koristit će se za prikaz sličnosti i razlika između šumskih cesta različitih GJ, odnosno između šumskih cesta različitih reljefnih područja – bioklimata.

$$f_m = \frac{s_g}{s_t} = \frac{s_g}{2500} = \frac{s_g \cdot g_c}{2500} \quad (3)$$

gdje su:

- f_m faktor mreže prometnica
- s_g srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva, m
- s_t srednja teorijska udaljenost privlačenja drva, m
- g_c gustoća šumskih cesta, m/ha

2.3. Određivanje primarne relativne otvorenosti šuma – *Determination of the primary relative forest openness*

Analiza primarne relativne otvorenosti šuma provest će se sukladno odredbama Pravilnika o provedbi mjere 4 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020.) – NN 106/15, 65/17, 77/17, 84/18. Navedeni pravilnik određuje ciljne geometrijske udaljenosti privlačenja drva za pripadajuće kategorije reljefnih područja šuma (nizinsko – 330 m, brdsko (prigorsko) – 250 m, planinsko (gorsko) – 200 m te krško – 330 m), kao jednostruke širine pojasa otvaranja šuma u analizama relativne otvorenosti šuma. Isti Pravilnik, određuje i sustav procjene kakvoće primarne relativne otvorenosti, temeljem postotka dostupne šumske površine za definiranu ciljanu udaljenosti privlačenja drva pojedinoga reljefnog područja: 1) nedovoljna primarna relativna otvorenost (< 55 % šumske površine je dostupno sa definiranom ciljanom udaljenosti privlačenja drva), 2) slaba primarna relativna otvorenost (od 55 do 65 % šumske površine je dostupno sa definiranom ciljanom udaljenosti privlačenja drva), 3) dobra primarna relativna otvorenost (od 65 do 75 % šumske površine je dostupno sa definiranom ciljanom udaljenosti privlačenja drva), 4) jako dobra primarna relativna otvorenost (od 75 do 85 % šumske površine je dostupno sa definiranom ciljanom udaljenosti privlačenja drva) te 5) izvrsna primarna relativna otvorenost (> 85 % šumske površine je dostupno sa definiranom ciljanom udaljenosti privlačenja drva).

Pentek i dr. (2016a), za primarnu relativnu otvorenost navode da se na slikovnom prikazu jasno razlikuje otvorene/dostupne, neotvorene/nedostupne i višestruko otvorene šumske površine. Neotvorene šumske površine su, uz uvjet ispunjavanja dodatnih kriterija, područja mogućeg budućeg zahvata primarnog otvaranja šuma s ciljem unaprjeđenja/optimizacije postojeće mreže primarne šumske prometne infrastrukture.

3. REZULTATI RESULTS

Sukladno postavljenim ciljevima rezultati istraživanja bit će prikazani kroz tri potpoglavlja: 1) Gustoća primarnih šumskih prometnica, 2) Srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva te 3) Primarna relativna otvorenost šuma.

3.1. Gustoća primarnih šumskih prometnica i faktor razvedenosti šumske površine – *Forest Road Density and Factor of Forest Area Indentation*

Analizom prometne infrastrukture u nizinskim šumama hrasta lužnjaka i poplavnim šumama, uočeno je da pet primjernih GJ ukupno sadrži 434,31 km javnih i šumskih cesta, od kojih tek 248,53 km ima utjecaj na primarnu otvorenost šuma (Tablica 1). Istraživano područje sadrži i 157,58 km javnih prometnica koje nisu uključene u izračun otvorenosti, ali ukazuju da se radi o naseljenom području, u ovom slučaju, bogatom poljoprivrednim površinama, što svakako utječe na planiranje dodatnog otvaranja šuma. Prosječna gustoća postojeće mreže šumskih cesta nizinskoga reljefnog područja iznosi 7,8 m/ha, a kreće se u rasponu od 5,64 m/ha (GJ Debrinja) do 11,97 m/ha u GJ Josip Kozarac koja i ima najveći faktor razvedenosti šumske površine (5,0) u nizinskom reljefnom području, čime se i potvrdila pretpostavka da nehomogene i dislocirane površine šuma zahtijevaju gušću prometnu infrastrukturu.

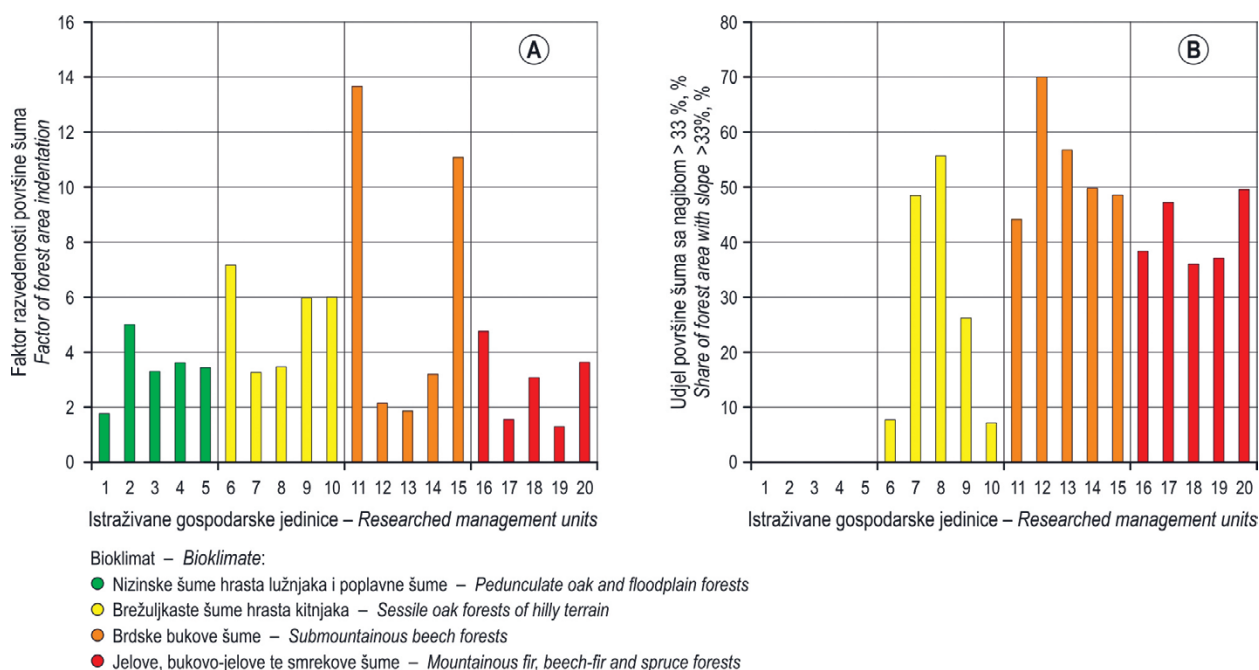
U bioklimatu brežuljkastih šuma hrasta kitnjaka analizom prometne infrastrukture utvrđeno je da GJ raspolažu sa ukupno 434,54 km javnih i šumskih cesta, od kojih tek 266,55 km ima utjecaj na primarnu otvorenost šuma. Kroz područje istraživanih GJ ovog bioklimata prolaze i javne prometnice u duljini od 55,70 km, koje nisu uzete u izračun otvorenosti, ali pokazuju naseljenost ovih prostora. Prosječna gustoća postojeće mreže šumskih cesta brežuljkastog reljefnog područja iznosi 14,23 m/ha, a kreće se u rasponu od 11,27 m/ha (GJ Požeška Gora) do 21,40 m/ha u GJ Popovačka Garjevica koja ima najveći (55,64 %) udjel površine s nagibom > 33 % u brežuljkastom području šuma, čime se potvrdila spoznaja da šumske površine na nagnutijim terenima zahtijevaju gušću prometnu infrastrukturu.

Analizom prometne infrastrukture bioklimata brdskih bukovih šuma, utvrđena je prisutnost 555,24 km javnih i šumskih cesta, od čega 361,38 km ima utjecaj na primarnu otvorenost istraživanih šumskih površina. Istraživano područje sadrži i 80,59 km javnih prometnica koje nisu uključene u izračun otvorenosti. Prosječna gustoća postojeće mreže šumskih cesta brdskog reljefnog područja iznosi 12,90 m/ha, a kreće se u rasponu od 4,82 m/ha (GJ Čorkovača – Karlice, sa najvećim faktorom razvedenosti šumske površine svih istraživanjem obuhvaćenih GJ (13,67) do 31,80 m/ha u GJ Orahovačka planina uz 56,78 % udjela površine s nagibom > 33 %.

Tablica 1. Prikaz stanja gustoće primarnih šumskih prometnica za postojeću i unaprijeđenu mrežu šumskih cesta istraživanog područja

Table 1 Overview of the forest road density structure for the existing and improved forest road network in the study area

No.	Gospodarske jedinice Management Units	Površina, ha Area, ha	Bioklimat Bioclimate	Faktor razvedenosti šumske površine Factor of forest area indentation	Udjel površine sa nagibom > 33%, % Share of area with slope > 33%, %	Postojeća mreža šumskih cesta Existing forest road network			Unaprijeđena mreža šumskih cesta Improved forest road network		
						Duljina javnih i šumskih cesta, m Public and forest roads length, m	Učefe na primarnu otvorenost, m Affects road density, m	Gustoća mreže cesta, m/ha Road net density, m/ha	Duljina nulnih linija, m Zero line length, m	Učefe na primarnu otvorenost, m Affects road density, m	Gustoća mreže cesta, m/ha Road net density, m/ha
1	Debrinja	5.332,55		1,76	–	46.014,57	30.093,68	5,64	79.631,30	73.922,58	19,51
2	Josip Kozarac	5.802,32	Nizinske šume hrasta lužnjaka i poplavne šume	5,00	–	104.087,88	69.475,36	11,97	51.547,06	43.540,57	19,48
3	Kragujna	3.818,18		3,31	–	57.028,27	30.314,49	7,94	40.203,53	32.716,24	16,51
4	Slavir	8.610,72	Lowland Pedunculate oak and floodplain forests	3,62	–	113.041,81	60.496,16	7,03	82.720,12	74.472,72	15,67
5	Vrbanjske šume	8.281,41		3,44	–	114.135,70	58.145,99	7,02	84.565,71	70.822,42	15,57
6	Jovac – Slana voda	2.693,93		7,16	7,67	60.197,11	33.120,76	12,29	44.294,11	34.886,61	25,24
7	Kutinska Garjevica	2.667,30	Brežuljkaste šume hrasta kitnjaka	3,27	48,49	66.788,33	45.175,14	16,94	24.846,45	21.329,54	24,93
8	Popovačka Garjevica	2.296,40		3,46	55,64	75.972,77	49.149,47	21,40	9.940,81	8.529,74	25,12
9	Požeška Gora	4.677,39	Sessile oak forests of hilly terrain	5,96	26,20	96.521,16	52.734,66	11,27	44.994,33	40.468,18	19,93
10	Slatinske prigrorske šume	6.399,85		5,99	7,12	135.056,68	86.368,13	13,50	62.911,68	53.993,86	21,93
11	Čorkovača – Karlice	10.733,06		13,67	44,08	124.181,02	51.689,73	4,82	167.629,00	124.800,86	16,44
12	Drenovačka planina	3.003,79	Brdske bukove šume	2,14	70,04	94.902,19	77.135,28	25,68	15.748,35	13.909,95	30,31
13	Orahovačka planina	3.026,88	Submountainous beech forests	1,86	56,78	115.114,55	96.246,85	31,80	2.003,32	1.922,67	32,43
14	Šamarica II	2.891,42		3,20	49,82	44.650,14	29.391,82	10,17	38.385,07	34.065,76	21,95
15	Sjeverni Psunj	8.355,70		11,08	48,53	176.394,67	106.919,78	12,80	98.853,50	67.408,55	20,86
16	Crni lug	2.620,55	Jelove, bukovo-jelove te smrekove šume	4,76	38,35	92.335,72	52.267,58	19,95	26.678,90	21.833,34	28,28
17	Dumanić – Ježevitar	1.851,90		1,54	47,22	47.392,94	37.361,27	20,17	21.189,76	20.467,29	31,23
18	Lividraga	2.779,03		3,07	36,05	70.048,78	50.073,09	18,02	29.532,17	26.603,70	27,59
19	Ravna gora	4.262,08	Mountainous fir, beech-fir and spruce forests	1,29	37,10	111.037,73	95.622,17	22,44	24.000,88	22.610,46	27,74
20	Vršice	2.026,34		3,63	49,54	46.224,76	28.745,08	14,19	28.603,53	20.764,10	24,43
Ukupno – Total		92.130,80				1.791.126,76	1.140.526,49	12,38	978.279,58	809.069,13	21,16



Slika 1. Faktori razvedenosti površine šuma i udjeli površine šuma sa nagibom terena > 33 %
Fig. 1. Factors of forest area indentation and shares of area with terrain slope > 33%

Unutar istraživanih područja bioklimata jelovih, bukovo-jelovih te smrekovih šuma, utvrđena je prisutnost 367,04 km javnih i šumskih cesta, od čega 264,07 km ima utjecaj na primarnu otvorenost šuma. Pojedini GJ ovog bioklimata prolaze javne prometnice u duljini od samo 23,22 km, a koje nisu uzete u izračun otvorenosti. Činjenica kako javne prometnice prolaze samo kroz pojedine GJ istraživanog bioklimata, kao i njihova duljina od samo 23,22 km pokazatelj su slabije naseljenosti ovih prostora. Prosječna gustoća postojeće mreže šumskih cesta gorskog reljefnog područja iznosi 19,50 m/ha, a kreće se u rasponu od 14,19 m/ha (GJ Vršice) do 22,44 m/ha u GJ Ravna Gora.

Posebno treba istaknuti da na uzorku istraživanih GJ gorskog reljefnog područja šuma prosječna vrijednost faktora razvedenosti šumske površine ima nižu vrijednost (2,86), u odnosu na obuhvaćene GJ brdskog reljefnog područja šuma (6,39). Isto tako, prosječni udjeli površine istraživanih GJ s nagibom > 33 %, niži su u gorskom reljefnom području šuma (41,65 %) u odnosu na obuhvaćene GJ brdskog reljefnog područja šuma (53,85 %).

Ukupno je projektirano 827 nultih linija šumskih cesta u duljini od 978,28 km na površini od 92.130,80 ha, odnosno u bioklimatu nizinskih šuma hrasta lužnjaka i poplavnih šuma projektirano je 212 nultih linija u duljini od 338,67 km te površini prostiranja od 31.845,18 ha. Unutar bioklimata brežuljkastih šuma hrasta kitnjaka projektirane su 183 nulte linije na ukupnoj površini od 18.734,87 ha u duljini od 186,99 km, dok je u bioklimatu brdskih bukovih šuma projektirano 287 nultih linija ukupne duljine 322,62 km na površini od 28.010,85 ha. U bioklimatu jelovih, bukovo-jelovih

te smrekovih šuma projektirano je 145 nultih linija ukupne duljine 130,01 km na površini prostiranja od 13.539,90 ha. Navedenim prosječna gustoća unaprijedene mreže šumskih cesta nizinskoga područja dosegla je vrijednost 17,08 m/ha, brežuljkastog područja 22,73 m/ha, brdskog područja 21,54 m/ha te gorskog područja 27,80 m/ha. Faktori razvedenosti površine šuma, za primjerne GJ obuhvaćene istraživanjem, prikazani su na slici 1A, a udjeli površine šuma s nagibom terena > 33 % na slici 1B.

3.2 Srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva – Average geometric timber extraction distance

Rezultati istraživanja srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva i faktora mreže prometnica prikazani su u tablici 2, odnosno za postojeću mrežu šumskih vizualizirani su u slikama 2A i 2C, odnosno za unaprijedenu mrežu šumskih cesta u slikama 2B i 2D.

Analiza postojeće srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva na razini bioklimata nizinskih šuma hrasta lužnjaka i poplavnih šuma ukazala je kako se srednje vrijednosti unutar istraživanih GJ kreću od 261 m do 464 m. Srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva na razini bioklimata iznosi 377 ± 271 m, uz prosječnu vrijednost faktora mreže šumskih prometnica od $1,14 \pm 0,11$, dok najveća udaljenost privlačenja drva iznosi 1943 m (Tablica 2). Dodatnim otvaranjem analiziranih GJ nizinskog reljefnog područja na osnovi 212 nultih linija šumskih cesta ukupne duljine 338,67 km, dolazi do smanjenja srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva unaprijedene mreže šumskih prometnica (167 ± 118 m), dok prosječna vrijednost

faktora mreže šumskih prometnica ne bilježi značajnije promjene ($1,15 \pm 0,03$).

U bioklimatu brežuljkastih šuma hrasta kitnjaka, analizom postojeće srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva utvrđeno je kako se srednje vrijednosti unutar istraživanih GJ kreću od 158 m do 286 m. Srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva na razini bioklimata iznosi 235 ± 182 m, uz prosječnu vrijednost faktora mreže šumskih prometnica od $1,35 \pm 0,05$, dok najveća udaljenosti privlačenja drva iznosi 1452 m (Tablica 2). Dodatnim otvaranjem analiziranih GJ brežuljkastog reljefnog područja na osnovi 183 nul-tih linija šumskih cesta ukupne duljine 186,99 km, dolazi

do smanjenja srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva unaprijeđene mreže šumskih prometnica (123 ± 93 m), a prosječna vrijednost faktora mreže šumskih prometnica bilježi pad ($1,14 \pm 0,05$).

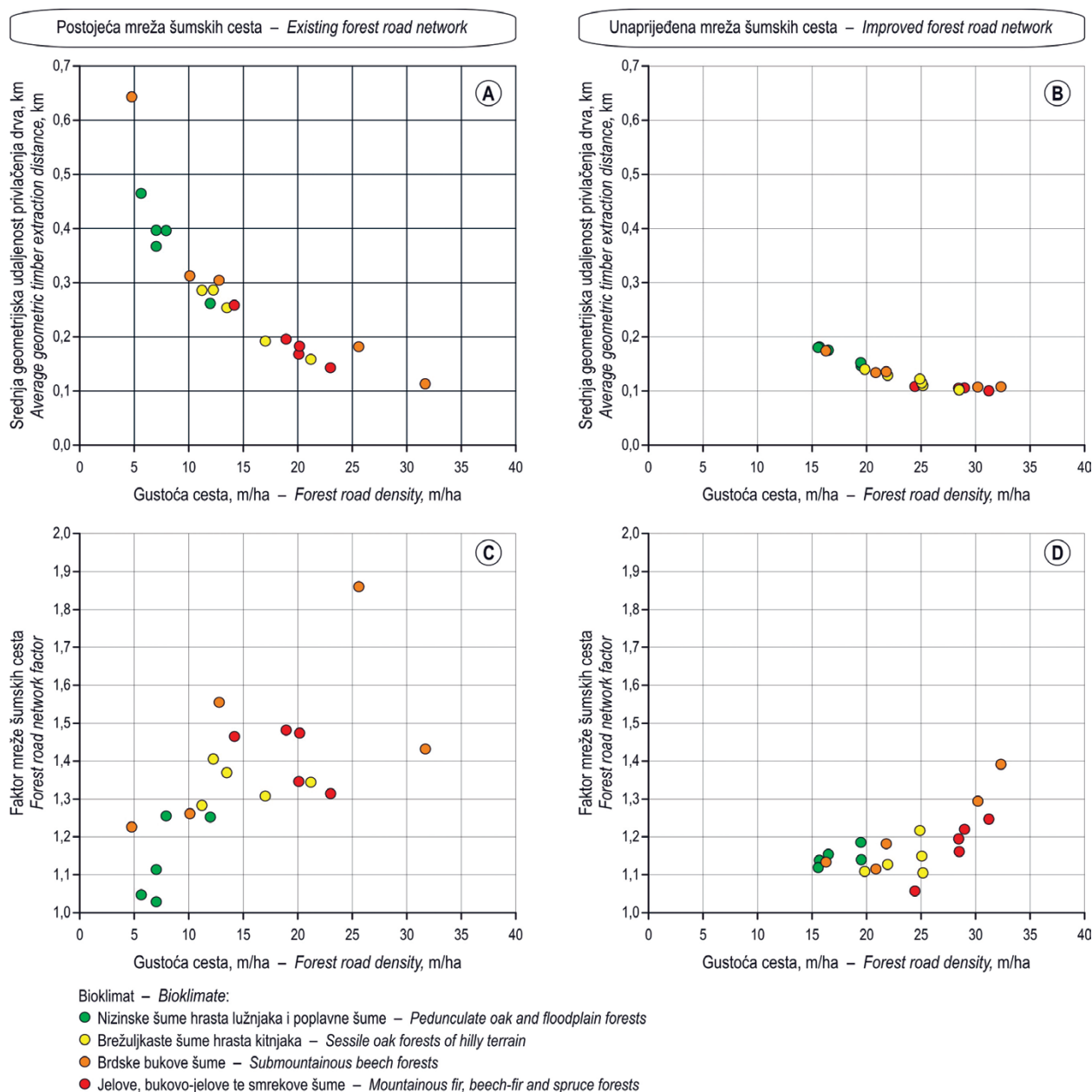
Unutar reljefnoga područja brdskih bukovih šuma, analiza postojeće srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva ukazala je kako se srednje vrijednosti unutar istraživanih GJ kreću od 113 m do 646 m. Srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva na razini bioklimata iznosi 311 ± 263 m, uz prosječnu vrijednost faktora mreže šumskih prometnica od $1,48 \pm 0,26$, a najveća udaljenost privlačenja drva je 3689 m (Tablica 2). Dodatnim otvaranjem analiziranih

Tablica 2. Srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva i faktori mreže prometnica

Table 2 Average geometric timber extraction distances and road network factors

No.	Gospodarske jedinice <i>Management Units</i>	Bioklimat <i>Bioclimate</i>	Postojeća mreža šumskih cesta <i>Existing forest road network</i>			Unaprijeđena mreža šumskih cesta <i>Improved forest road network</i>		
			Srednja teorijska udaljenost privlačenja drva, m <i>Average theoretical timber extraction distance, m</i>	Srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva, m* <i>Average geometric timber extraction distance, m*</i>	Faktor mreže prometnica <i>Road network factor</i>	Srednja teorijska udaljenost privlačenja drva, m <i>Average theoretical timber extraction distance, m</i>	Srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva, m <i>Average geometric timber extraction distance, m</i>	Faktor mreže prometnica <i>Road network factor</i>
1	Debrinja	Nizinske šume hrasta lužnjaka i poplavne šume	443,26	464 ± 327 (1943)	1,05	128,17	146 ± 97 (510)	1,14
2	Josip Kozarac		208,68	261 ± 221 (1851)	1,25	128,35	152 ± 124 (1327)	1,19
3	Kragujna		315,26	396 ± 281 (1522)	1,26	151,44	175 ± 121 (760)	1,16
4	Slavir	<i>Lowland Pedunculate oak and floodplain forests</i>	356,13	397 ± 281 (1738)	1,11	159,49	182 ± 124 (780)	1,14
5	Vrbanjske šume		356,13	367 ± 244 (1500)	1,03	160,53	180 ± 123 (779)	1,12
6	Jovac – Slana voda		203,92	287 ± 218 (1113)	1,41	99,03	110 ± 83 (832)	1,11
7	Kutinska Garjevica	Brežuljkaste šume hrasta kitnjaka	146,80	192 ± 147 (818)	1,30	100,27	115 ± 84 (566)	1,14
8	Popovačka Garjevica		117,87	158 ± 119 (758)	1,36	99,53	122 ± 88 (758)	1,23
9	Požeška Gora	<i>Sessile oak forests of hilly terrain</i>	222,82	286 ± 220 (1452)	1,29	125,46	140 ± 110 (1452)	1,11
10	Slatinske prigorske šume		185,19	254 ± 205 (1238)	1,37	113,99	128 ± 98 (899)	1,13
11	Čorkovača – Karlice		524,11	644 ± 517 (3689)	1,24	152,03	174 ± 144 (1500)	1,15
12	Drenovačka planina	Brdske bukove šume	97,66	182 ± 181 (1028)	1,87	82,48	107 ± 83 (605)	1,30
13	Orahovačka planina		78,86	113 ± 95 (699)	1,44	77,08	108 ± 87 (632)	1,40
14	Šamarica II	<i>Submountainous beech forests</i>	247,52	312 ± 217 (1298)	1,27	113,91	135 ± 96 (780)	1,19
15	Sjeverni Pšunj		195,47	304 ± 305 (1809)	1,56	119,83	134 ± 102 (889)	1,12
16	Crni lug		124,38	167 ± 129 (864)	1,34	88,41	102 ± 75 (454)	1,15
17	Dumanić – Ježevitar	Jelove, bukovo-jelove te smrekove šume	123,95	183 ± 143 (911)	1,47	80,06	100 ± 72 (410)	1,25
18	Lividraga		132,07	196 ± 158 (825)	1,41	90,61	105 ± 81 (620)	1,16
19	Ravna gora	<i>Mountainous fir, beech-fir and spruce forests</i>	108,65	143 ± 109 (579)	1,28	90,12	105 ± 77 (466)	1,16
20	Vršice		176,18	258 ± 249 (1579)	1,46	102,32	108 ± 77 (457)	1,06

*Aritmetička sredina ± Standardna devijacija (Najveća vrijednost) – Mean ± Standard deviation (Maximum value)



Slika 2. Srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva i faktori mreže šumskih cesta za postojeće i unaprijeđeno stanje
Fig. 2 Average geometric timber extraction distances and forest road network factors for existing and improved networks

GJ brdskog reljefnog područja na osnovi 287 nultih linija šumskih cesta ukupne duljine 322,62 km, dolazi do smanjenja srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva unaprijeđene mreže šumskih prometnica (132 ± 102 m), dok se prosječna vrijednost faktora mreže šumskih prometnica smanjuje ($1,23 \pm 0,12$).

Analiza postojeće srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva na razini bioklimata jelovih, bukovo-jelovih te smrekovih šuma ukazala je kako se srednje vrijednosti unutar istraživanih GJ kreću od 143 m do 258 m. Srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva na razini bioklimata iznosi 189 ± 158 m, uz prosječnu vrijednost faktora mreže šumskih prometnica od $1,39 \pm 0,08$, pri čemu je najveća

udaljenost privlačenja drva 1579 m (Tablica 2). Dodatnim otvaranjem analiziranih GJ gorskog reljefnog područja bukovo-jelovih šuma na osnovi 145 nultih linija šumskih cesta ukupne duljine 130,01 km, dolazi do smanjenja srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva unaprijeđene mreže šumskih prometnica (104 ± 76 m), dok prosječna vrijednost faktora mreže šumskih prometnica bilježi pad vrijednosti ($1,16 \pm 0,07$).

3.3 Primarna relativna otvorenost šuma – *Primary relative forest openness*

Provedenom analizom primarne relativne otvorenosti dvadeset primjernih GJ, izdvojene su površine koje su jedno-

struko otvorene postojećom (Slika 3C) te unaprijeđenom (Slika 3D) mrežom šumskih prometnica te površine koje su višestruko otvorene (Slike 3E i 3F). Neotvorene šumske površine unutar istraživanih GJ reljefnih područja šuma su površine koje su daljnjim otvaranjem bile predmet planiranja, odnosno projektiranja nultih linija šumskih cesta. Rezultati primarne relativne otvorenosti istraživanih GJ za postojeće stanje i unaprijeđenu mrežu šumskih prometnica prikazani su u tablici 3 te slici 3.

Prosječna primarna relativna otvorenost postojeće mreže šumskih cesta primjernih GJ iznosi 49,5 % za nizinske šume hrasta lužnjaka, 60,7 % za brežuljkaste šume hrasta kitnjaka, 57,7 % za brdske bukove šume te 60,8 % za gorske bukovo-jelove šume, što prema ocjenskoj skali čini nedovoljnu do slabu otvorenost šuma. Kod postojećega stanja otvorenosti, posebno treba istaknuti i nepovoljnu pojavu višestruko

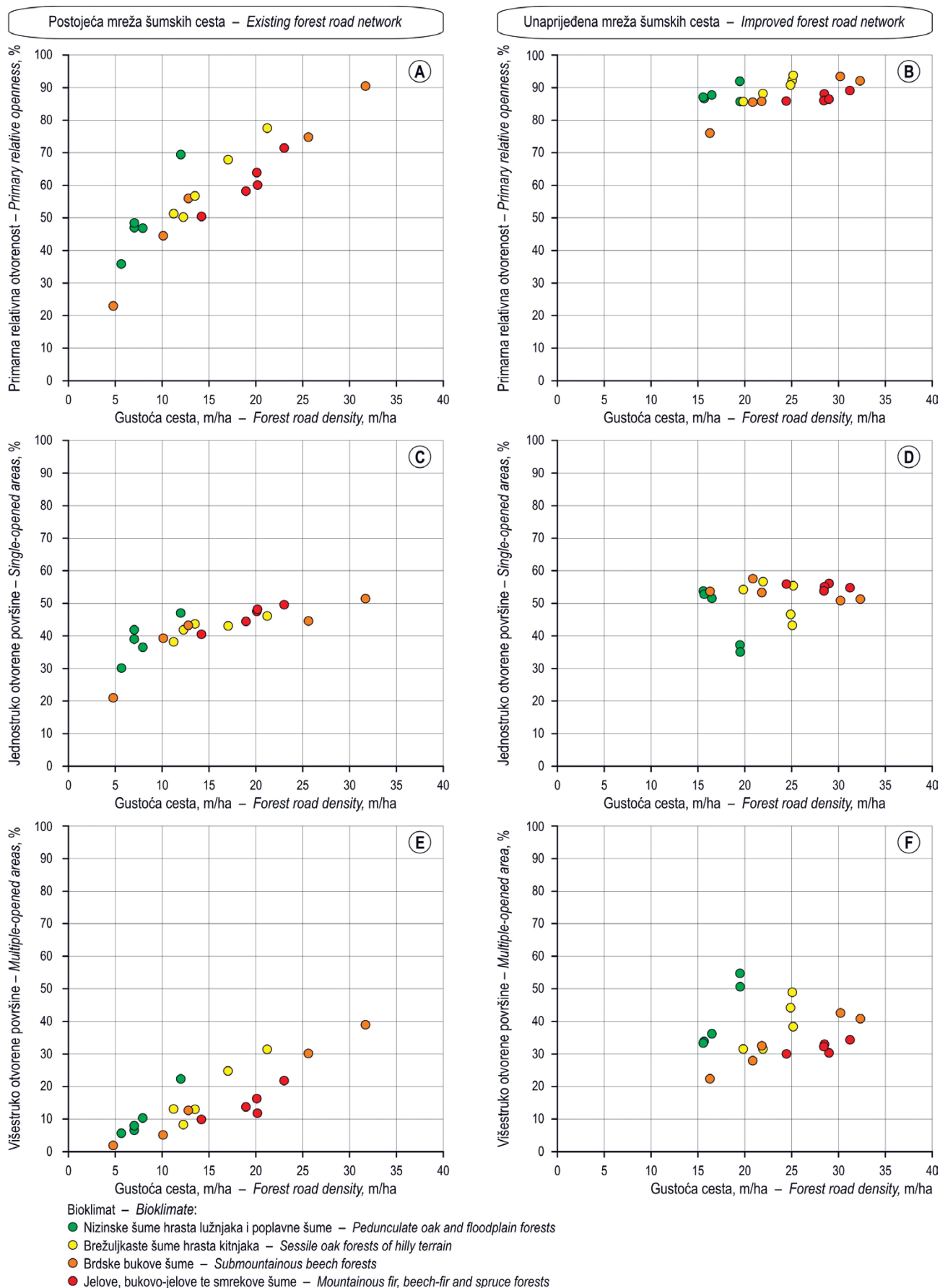
otvorenih površina većine primjernih GJ s udjelima > 10 % površine (Slika 3E). Višestruko su otvorene površine neizbježna pojava zbog spojeva primarne šumske infrastrukture (križanja), ali i neplanske izgradnje šumskih cesta u prošlosti.

U unaprijeđenoj mreži šumskih cesta, unatoč dosizanju izvrsne relativne otvorenosti (> 85 %), udjel višestruko otvorenih površina značajno raste (Slika 3F) jer su projektirane nulte linije šumskih cesta povezane na već postojeću mrežu šumskih cesta, unatoč tomu što je dodatno otvaranje bilo usmjereno na neotvorene šumske površine. Ovu pojavu, analizirajući primarnu otvorenost GJ Šiljakovačka dubrava II uočava Bumber (2011), a prisutna je i pri izradbi cijeloga niza elaborata učinkovitosti mreže šumskih prometnica – primarne šumske prometne infrastrukture GJ: Stajnička Kapela (Pentek i dr. 2016b), Javornik – Tisov vrh (Pentek i

Tablica 3. Primarne relativne otvorenosti šuma istraživanih gospodarskih jedinica

Table 3 Primary relative openness of forest for researched management units

No.	Gospodarske jedinice Management Units	Postojeća mreža šumskih cesta Existing forest road network			Unaprijeđena mreža šumskih cesta Improved forest road network				
		Ocjena primarne relativne otvorenosti Assessment of the primary relative openness	Primarna relativna otvorenost, % Primary relative openness, %	Jednostruko otvorene površine, % Single-opened area, %	Višestruko otvorene površine, % Multiple-opened area, %	Ocjena primarne relativne otvorenosti Assessment of the primary relative openness	Primarna relativna otvorenost, % Primary relative openness, %	Jednostruko otvorene površine, % Single-opened area, %	Višestruko otvorene površine, % Multiple-opened area, %
1	Debrinja	Nedovoljna – <i>Insufficient</i>	35,81	30,17	5,64	Izvrсна – <i>Excellent</i>	85,71	35,10	50,61
2	Josip Kozarac	Dobra – <i>Good</i>	69,41	47,06	22,35	Izvrсна – <i>Excellent</i>	91,93	37,25	54,68
3	Kragujna	Nedovoljna – <i>Insufficient</i>	46,85	36,53	10,32	Izvrсна – <i>Excellent</i>	87,73	51,55	36,18
4	Slavir	Nedovoljna – <i>Insufficient</i>	46,96	39,01	7,95	Izvrсна – <i>Excellent</i>	86,63	52,82	33,82
5	Vrbanjske šume	Nedovoljna – <i>Insufficient</i>	48,44	41,89	6,55	Izvrсна – <i>Excellent</i>	87,10	53,79	33,31
6	Jovac – Slana voda	Nedovoljna – <i>Insufficient</i>	50,20	41,89	8,31	Izvrсна – <i>Excellent</i>	93,79	55,42	38,37
7	Kutinska Garjevica	Dobra – <i>Good</i>	67,88	43,09	24,79	Izvrсна – <i>Excellent</i>	92,16	43,27	48,89
8	Popovačka Garjevica	Jako dobra – <i>Very good</i>	77,56	46,15	31,41	Izvrсна – <i>Excellent</i>	90,82	46,65	44,17
9	Požeška Gora	Nedovoljna – <i>Insufficient</i>	51,29	38,21	13,09	Izvrсна – <i>Excellent</i>	85,72	54,25	31,48
10	Slatinske prigorske šume	Slaba – <i>Weak</i>	56,71	43,70	13,01	Izvrсна – <i>Excellent</i>	88,17	56,66	31,51
11	Čorkovača – Karlice	Nedovoljna – <i>Insufficient</i>	22,96	21,03	1,93	Jako dobra – <i>Very good</i>	76,02	53,70	22,32
12	Drenovačka planina	Dobra – <i>Good</i>	74,79	44,62	30,17	Izvrсна – <i>Excellent</i>	93,43	50,87	42,56
13	Orahovačka planina	Izvrсна – <i>Excellent</i>	90,45	51,48	38,97	Izvrсна – <i>Excellent</i>	92,10	51,31	40,79
14	Šamarica II	Nedovoljna – <i>Insufficient</i>	44,47	39,33	5,14	Izvrсна – <i>Excellent</i>	85,78	53,33	32,45
15	Sjeverni Psunj	Slaba – <i>Weak</i>	55,96	43,30	12,67	Izvrсна – <i>Excellent</i>	85,51	57,62	27,89
16	Crni lug	Slaba – <i>Weak</i>	63,87	47,59	16,28	Izvrсна – <i>Excellent</i>	88,10	55,14	32,96
17	Dumanić – Ježevitar	Slaba – <i>Weak</i>	60,06	48,23	11,83	Izvrсна – <i>Excellent</i>	89,09	54,80	34,29
18	Lividraga	Slaba – <i>Weak</i>	58,19	44,48	13,72	Izvrсна – <i>Excellent</i>	86,44	56,12	30,31
19	Ravna gora	Dobra – <i>Good</i>	71,44	49,62	21,82	Izvrсна – <i>Excellent</i>	86,04	53,83	32,21
20	Vršice	Nedovoljna – <i>Insufficient</i>	50,41	40,54	9,87	Izvrсна – <i>Excellent</i>	85,91	55,91	29,99



Slika 3. Primarna relativna otvorenost šuma za postojeću i unaprijeđenu mrežu šumskih cesta istraživanih gospodarskih jedinica
Fig. 3 Primary relative forest openness of forest for existing and improved networks of researched management units

dr. 2016c), Peščenica – Cerje (Pentek i dr. 2017), Laktin vrh – Dabri (Pentek i dr. 2018), Trovrh – Kik (Pentek i dr. 2019a), Velika Plješivica – Drenovača (Pentek i dr. 2019b).

Promatrajući sve bioklimate zajedno, može se zaključiti kako unaprijeđenjem mreže šumskih prometnica, tj. otvaranjem do izvrsne relativne otvorenosti (> 85 %), očekivano dolazi do grupiranja podataka na intervalu gustoće mreže šumskih cesta za bioklimat nizinskih šuma hrasta lužnjaka te poplavnih šuma od 15,56 m/ha do 19,51 m/ha, za bioklimat brežuljkastih šuma hrasta kitnjaka 19,84 m/ha do 25,17 m/ha, dok se kod brdskih bukovih šuma, uz izuzetak GJ Čorkovača – Karlice, koja nije izvrsno otvorena, interval kreće od 20,85 m/ha do 32,33 m/ha. Bioklimat jelovih, bukovo-jelovih te smrekovih šuma taj raspon pronalazi u intervalu od 24,44 m/ha do 31,22 m/ha (Slika 3B).

4. RASPRAVA DISCUSSION

Temeljni preduvjet za provođenje postupka optimizacije šumske prometne infrastrukture je utvrđivanje postojećeg stanja otvorenosti reljefnih područja šuma. U okviru ovoga rada istražena je i postojeća primarna otvorenost u dvadeset istraživanih GJ, raspoređenih u područjima četiri reljefna područja – bioklimata. Za tu potrebu uspostavljen je registar postojeće mreže šumskih prometnica, sukladno odredbama Pravilnika o provedbi mjere 4 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 106/15, 65/17, 77/17, 84/18). Izradom registra šumskih prometnica u hrvatskome šumarstvu bavilo se više autora (Pentek i dr. 2005a, Pentek i dr. 2005b, Pičman i dr. 2006, Pentek i dr. 2007, Papa i dr. 2015a) koji zaključuju da je bez uvida u postojeće stanje primarne šumske prometne infrastrukture nemoguće planirati optimalno otvaranje GJ.

Prilikom analiziranja stanja otvorenosti šuma, uz standardne pokazatelje otvorenosti šuma, utvrđeni su i faktori mreže šumskih cesta te faktori razvedenosti šumske površine. Detaljnom analizom pokazatelja otvorenosti te spomenutih faktora uočava se međusobna povezanost i pravilnost (Slike 1 – 3).

Analizirajući postojeće stanje otvorenosti pet GJ reljefnoga područja nizinskih šuma hrasta lužnjaka, primjetno je odstupanje gustoće šumskih cesta GJ Josip Kozarac od preostalih GJ ovog bioklimata, ali i odstupanje faktora mreže šumskih cesta. Naime, spomenuta GJ ima gustoću cesta od 11,97 m/ha, dok se kod preostalih GJ navedenog bioklimata ova vrijednost nalazi u rasponu od 5,64 do 7,94 m/ha (Tablica 1, Slika 2A). Jednako odstupanje vidljivo je kod rela-

tivne otvorenosti GJ Josip Kozarac, čija vrijednost iznosi 69,41 %, dok je kod preostalih GJ < 50 %. Naravno, veća gustoća cesta ima pozitivan utjecaj na srednju geometrijsku udaljenost privlačenja drva, zbog čega je ona u ovoj GJ značajno niža nego u preostalim GJ bioklimata nizinskih šuma hrasta lužnjaka te poplavnih šuma. Glavni razlog povećane otvorenosti šuma GJ Josip Kozarac pronalazimo u njenoj razvedenosti površine (Slika 1A). Naime, zbog brojnih izdvojenih površina (enklava) te heterogenosti oblika GJ neophodna je i veća gustoća cesta koja omogućuje pristup svim dijelovima GJ. Faktor razvedenosti GJ Josip Kozarac iznosi 5,00 dok je prosjek faktora preostalih GJ ovog bioklimata 3,03. Daljnjim otvaranjem GJ nizinskog reljefnog područja, do razine izvrsne relativne otvorenosti (> 85 % površine), dolazi do povećanja gustoće šumskih cesta uz smanjenje srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva (Slika 2B). Uz to, kod GJ Debrinja te Josip Kozarac dolazi do intenzivnog povećanja višestruko otvorenih površina nauštrb jednostruko otvorenih površina (Slike 3D i 3F). Razlog navedenom u GJ Debrinja svakako je oblik i veličina odsjeka (400 × 700 m) zbog čega dolazi do brojnih preklapanja omeđenih površina na kraćim stranicama odsjeka, budući da je jednostruka širina pojasa otvaranja šuma 330 m za nizinsko područje (NN 106/15, 65/17, 77/17, 84/18). Razlog takve pojave u GJ Josip Kozarac, osim oblika odsjeka je i nepravilan oblik same GJ. Navedeni rezultati ukazuju kako većina istraživanih GJ područja nizinskih šuma hrasta lužnjaka i poplavnih šuma ne zadovoljavaju minimalne uvjete gustoće mreže šumskih prometnica od 7 m/ha (Pentek i dr. 2011). U unaprijeđenom stanju gustoća primarnih šumskih prometnica dosiže veće ciljane vrijednosti, što potvrđuju Žáček i Klč (2008) koji navode da je u nizinskom području optimalna gustoća cesta 15 m/ha.

Kod postojećeg stanja otvorenosti pet GJ reljefnoga područja brežuljkastih šuma hrasta kitnjaka primjetna je povećana gustoća cesta (Tablica 1, Slike 2A i 3A) GJ Kutinska Garjevica (16,94 m/ha) i Popovačka Garjevica (21,40 m/ha). Razlog takvog odstupanja gustoće cesta od preostalih GJ ovog bioklimata pronalazi se u činjenici prisutnosti strmijih terena unutar ovih dviju GJ (Slika 1B). Naime, na 48,49 % ukupne površine GJ Kutinska Garjevica te na 55,64 % površine GJ Popovačka Garjevica nagib terena veći je od 33 %. Upravo zbog potrebe savladavanja većih razlika u nadmorskim visinama, potrebna je i veća gustoća cesta zbog propisanih uzdužnih nagiba nivelete šumskih cesta. Unutar ovog bioklimata, najveću vrijednost faktora mreže šumskih cesta ima GJ Jovac – Slana voda (1,41). Takvom odstupanju najveći doprinos daje oblik GJ, odnosno heterogenost iste, što potvrđuje i faktor razvedenosti površine, koji kod ove GJ iznosi 7,16 (Slika 1A). S druge strane, najmanju vrijednost faktora mreže šumskih cesta ima GJ Požeška gora (1,29), što unatoč većoj razvedenosti površine (faktor – 5,96), potvrđuje kako su prometnice ravnomjerno položene u prostoru.

Rezultati stanja otvorenosti GJ područja brežuljkastih šuma hrasta kitnjaka pokazuju kako postojeće stanje zadovoljava ili gotovo zadovoljava minimalne uvjete gustoće mreže šumskih prometnica od 12 m/ha (Pentek i dr. 2011). Rezultati provedene analize unaprijeđene mreže šumskih cesta ukazuju da je u ovom reljefnom području neophodno imati najmanju gustoću šumskih cesta od 20 m/ha, što potvrđuju istraživanja iz Češke, gdje je za područje brežuljkastog i brdskog područja utvrđena optimalna gustoća prometnica od 22,5 m/ha (Žáček i Klč 2008).

Analiza postojećeg stanja otvorenosti pet GJ reljefnoga područja brdskih bukovich šuma ukazala je na heterogenost vrijednosti gustoće šumskih cesta, koja se kreće u rasponu od 4,82 m/ha u GJ Čorkovača – Karlice do 31,80 m/ha u GJ Orahovačka planina (Tablica 1, Slika 2A). Unatoč izrazito velikom rasponu gustoće cesta, primjetno je kako GJ Čorkovača – Karlice ima i najveći faktor razvedenosti površine šuma jer je izrazito nepravilnog oblika, čime je značajno otežan postupak planiranja, projektiranja te u konačnici izgradnje šumskih cesta, a čemu je dokaz i mala gustoća šumskih cesta (Slika 2A). Usporedbom dviju GJ – Drenovačka planina i Orahovačka planina, uočeno da je iako su GJ slične po razvedenosti površine (2,14 i 1,86) ali ne i gustoći šumskih cesta (25,68 m/ha i 31,80 m/ha). Prostorni položaj šumskih cesta je značajno povoljniji i kvalitetniji unutar GJ Orahovačka planina, gdje je već u postojećem stanju dostignuta izvrsna primarna relativna otvorenost šuma (Tablica 3), uz povoljan odnos jednostruko i višestruko otvorenih šumskih površina (Slike 3C i 3E). S druge strane, razliku u faktorima mreže šumskih cesta (1,87 i 1,44) navedenih GJ objašnjava i podatak o udjelu površina nagiba većeg od 33% koje u GJ Drenovačka planina pridolaze na čak 70,04 %, a u GJ Orahovačka planina na 56,78% ukupne površine GJ (Slika 1B). Upravo ovaj podatak ukazuje na utjecaj nagiba terena na prostorni smještaj, a posljedično i na kvalitetu prostornog položaja šumskih cesta. GJ Sjeverni Psunj povišenu vrijednost faktora mreže šumskih cesta opravdava povećanom rascjepkanošću površine, što potvrđuje faktor razvedenosti površina od 11,08 (Slika 1A). Analiza unaprijeđene mreže šumskih cesta primjernih GJ bioklimata brdskih bukovich šuma ukazuje na minimalnu gustoću cesta od 20 m/ha za postizanje izvrsne relativne otvorenosti šuma uz geometrijsku udaljenost privlačenja drva od 250 m.

Postojeće stanje otvorenosti pet GJ gorskog reljefnog područja bukovo-jelovih šuma svakako treba poimati kao šumska područja s većom zastupljenošću površina nagiba većeg od 33 %, ali i relativno ujednačenoga oblika GJ (prosječni faktor razvedenosti površina iznosi 2,86 – Slika 1A). Najizraženiju razvedenost površine ima GJ Crni lug (4,76), sa relativno niskim faktorom mreže šumskih prometnica (1,34), kao i kod ostalih GJ ovog bioklimata (Tablica 2). Unaprijeđenjem šumske prometne infrastrukture gorskog područja do izvrsne otvorenosti nisu narušeni faktori

mreže šumskih prometnica, što je samo dokaz kako zbog oblika GJ te pažljivog pristupa planiranju, projektiranju te izgradnji šumskih cesta nije narušena kakvoća njihovoga prostornoga rasporeda. Rezultati postojećega stanja otvorenosti GJ područja jelovih, bukovo-jelovih te smrekovich šuma pokazuju kako ono zadovoljava ili gotovo zadovoljava minimalne uvjete gustoće mreže šumskih prometnica od 15 m/ha (Pentek i dr. 2011). Rezultati provedene analize unaprijeđene mreže šumskih cesta ukazuju da je u ovom reljefnom području neophodno imati gustoću šumskih cesta od 25 m/ha za dosezanje izvrsne relativne otvorenosti što je u suglasju sa istraživanjima u Češkoj, gdje je za područje gorskog područja utvrđena optimalna gustoća prometnica od 27,5 m/ha (Žáček i Klč 2008).

Uspoređujući dobivene rezultate s propisanim ciljanim vrijednostima gustoće mreža šumskih cesta Pravilnika o provedbi mjere 4 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 106/15, 65/17, 77/17, 84/18), vidljivo je kako su oni u korelaciji, odnosno da se nalaze u zadanim vrijednostima, a ponegdje ih čak i nadilaze, iz razloga što se u prikazanome istraživanju nadograđivala postojeća mreža šumskih cesta primjernih GJ. Navedeno potkrepljuje Pentek (2002), koji pri otvaranju GJ Lisina i GJ Veprinačke šume od »nultog« stanja (bez postojeće mreže šumskih cesta) utvrđuje da je izvrsnu razinu otvorenosti moguće doseći sa ~ 10 % manjim duljinama šumskih cesta od trenutno postojećih.

5. ZAKLJUČCI CONCLUSIONS

Polučeni rezultati primarne otvorenosti šuma, ukazuju na sličnosti i razlike mreže šumskih cesta pojedinih reljefnih područja šuma, odnosno najveće vrijednosti gustoće cesta pojedinog šumskog bioklimata za izvrsnu relativnu otvorenost. Ostvareni rezultati potvrđuju propisane vrijednosti ciljane gustoće cesta po reljefnim područjima (Pravilnik o provedbi mjere 4 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020.), budući da otvaranje veće od ciljanih vrijednosti ne daje značajne pozitivne učinke.

Faktor razvedenosti šumske površine, faktor mreže prometnica te udjel površine s nagibom > 33 % korisni su pokazatelji za razumjevanje heterogenosti postojećih mreža šumskih cesta reljefnih područja šuma, odnosno pomoć su pri unaprijeđenju mreže šumskih cesta na strateškoj i taktičkoj razini.

Pri unaprjeđenju postojeće mreže šumskih cesta, posebnu pozornost treba posvetiti polaganju nultih linija te voditi računa o međusobnom razmaku između šumskih cesta, odnosno težiti što manjem udjelu višestruko otvorenih površina šuma.

6. LITERATURA REFERENCES

- Abdi, E., B., Majnounian, A., Darvishsefat, Z., Mashayekhi, J., Sessions, 2009: A GIS-MCE based model for forest road planning. *Journal of Forest Science* 55(4): 171–176. <https://doi.org/10.17221/52/2008-JFS>
- Abeli, W.S., D.T.K., Shemwetta, R.E.L., Ole Meiludie, M., Kachwele, 2000: Road Alignment and Gradient Issues in the Maintenance of Logging Roads in Tanzania. *Journal of Forest Engineering* 11(2): 15–21.
- Akay, A.E., H., Serin, J., Sessions, E., Bilici, M., Pak, 2021: Evaluating the Effects of Improving Forest Road Standards on Economic Value of Forest Products. *Croat. j. for. eng.* 42(2): 245–258. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2021.851>
- Backmund, F., 1966: Kennzahlen für den Grad der Erschließung von Forstbetrieben durch autofahrbare Wege. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 85(11–12): 342–354.
- Bumber, Z., 2011: Primjena GIS-a pri analizi otvorenosti GJ Šiljakovačka dubrava II kroz strukturu prihoda drva u prostoru i vremenu. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–139.
- Dodson, E.M., 2021: Challenges in Forest Road Maintenance in North America. *Croat. j. for. eng.* 42(1): 107–116. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2021.777>
- Đuka, A., 2014: Razvoj modela prometnosti terena za planiranje privlačenja drva skiderom. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–303.
- Đuka, A., T., Poršinsky, D., Vusić, 2015: DTM Models to Enhance Planning of Timber Harvesting. *Bulletin of The Faculty of Forestry Beograd, Special Issue*, 35–44. <https://doi.org/10.2298/GS-F15S1035D>
- Đuka, A., S., Grigolato, I., Papa, T., Pentek, T., Poršinsky, 2017: Assessment of timber extraction distance and skid road network in steep karst terrain. *iForest – Biogeosciences and Forestry* 10: 886–894. <https://doi.org/10.3832/ifer2471-010>
- Đuka, A., Z., Bumber, T., Poršinsky, I., Papa, T., Pentek, 2021: The Influence of Increased Salvage Felling on Forwarding Distance and the Removal – A Case Study from Croatia. *Forests* 12(1): 7. <https://dx.doi.org/10.3390/f12010007>
- Eastaugh, C.S., D., Molina, 2011: Forest road networks: Metrics for coverage, efficiency and convenience. *Australian Forestry* 74(1): 54–61. <https://doi.org/10.1080/00049158.2011.10676346>
- Enache, A., M., Kühmaier, K., Stampfer, V.D., Ciobanu, 2013: An Integrative Decision Support Tool for Assessing Forest Road Options in a Mountainous Region in Romania. *Croat. j. for. eng.* 34(1): 43–60.
- Erber, G., H., Kroisleitner, C., Huber, T., Varch, K., Stampfer, 2021: Periodical Maintenance of Forest Roads with a Mobile Stone Crusher. *Croat. j. for. eng.* 42(1): 1–12. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2021.862>
- Gumus, S., H.H., Acar, D., Toksoy, 2008: Functional forest road network planning by consideration of environmental impact assessment for wood harvesting. *Environ Monit Assess* 142: 109–116. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9912-y>
- Hayati, E., B., Majnounian, E., Abdi, 2012: Qualitative evaluation and optimization of forest road network to minimize total costs and environmental impacts. *iForest – Biogeosciences and Forestry* 5(3): 121–125. <https://doi.org/10.3832/ifer0610-009>
- Heinimann, H.R., 2021: Pavement Engineering for Forest Roads: Development and Opportunities. *Croat. j. for. eng.* 42(1): 91–106. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2021.860>
- Janeš, D., 2021: Planiranje primarnih šumskih prometnica u gospodarskim šumama na strateškoj i taktičkoj razini. Disertacija, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, 1–337.
- Krumov, T., 2019: Determination of the optimal density of the forest road network. *Journal of Forest Science* 65(11): 438–444. <https://doi.org/10.17221/101/2019-JFS>
- Laschi, A., F., Neri, N., Brachetti Montorselli, E., Marchi, 2016: A Methodological Approach Exploiting Modern Techniques for Forest Road Network Planning. *Croat. j. for. eng.* 37(2): 319–331.
- Laschi, A., C., Foderi, F., Fabiano, F., Neri, M., Cambi, B., Mariotti, E., Marchi, 2019: Forest Road Planning. Construction and Maintenance to Improve Forest Fire Fighting: a Review. *Croat. j. for. eng.* 40(1): 207–219.
- MacDonald, A.J., 1999: Harvesting Systems and Equipment in British Columbia. *FERIC, Handbook No., HB-12*: 1–197.
- Matthews, D.M., 1942: *Cost Control in the Logging Industry*. McGraw-Hill Book Company Inc, New York, 1–374.
- Naderialzadeh, N., K.A., Crowe, R., Pulkki, 2020: On the Importance of Integrating Transportation Costs into Tactical Forest Harvest Scheduling Model. *Croat. j. for. eng.* 41(2): 267–276. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.624>
- Papa, I., T., Pentek, K., Lepoglavec, H., Nevečerel, T., Poršinsky, Ž., Tomašić, 2015a: Metodologija izradbe detaljnog registra primarne šumske prometne infrastrukture kao podloge za planiranje i optimizaciju radova održavanja šumskih cesta. *Šum. list* 139(7–8): 311–328.
- Papa, I., T., Pentek, H., Nevečerel, K., Lepoglavec, A., Đuka, B., Šafran, S., Risović, 2015b: Raščlamba tehničkih značajki i sustava odvodnje postojećih šumskih cesta radi utvrđivanja potrebe njihove rekonstrukcije – Studija slučaja za GJ »Belevine« NPSO Zalesina. *Šum. list* 139(11–12): 497–519.
- Papa, I., T., Pentek, D., Janeš, E., Valinčić, A., Đuka, 2019: Studija primarnoga otvaranja šuma gospodarske jedinice Crno jezero–Marković rudine Šumarije Otočac. *Nova meh. šumar.* 40(1): 59–70. <https://doi.org/10.5552/nms.2019.6>
- Picchio R., G., Pignatti, E., Marchi, F., Latterini, M., Benanchi, C., Foderi, R., Venanzi, S., Verani, 2018: The Application of Two Approaches Using GIS Technology Implementation in Forest Road Network Planning in an Italian Mountain Setting. *Forests* 9(5): 277. <https://doi.org/10.3390/f9050277>
- Pičman, D., T., Pentek, H., Nevečerel, 2006: Katastar šumskih prometnica – postojeće stanje, metodologija izradbe i polučene koristi. *Glasnik za šumske pokuse*, pos. izdanje 5, 635–646.
- Pilaš, I., I., Medved, J., Medak, D., Medak, 2014: Response strategies of the main forest types to climatic anomalies across Croatian biogeographic regions inferred from FAPAR remote sensing data. *Forest ecology and management* 326: 58–78. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.012>
- Pentek, T., 2002: Računalni modeli optimizacije mreže šumskih cesta s obzirom na dominantne utjecajne čimbenike. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–271.
- Pentek, T., D., Pičman, H., Nevečerel, 2004: Srednja udaljenost privlačenja drva. *Šum. list* 127(9–10): 545–558.

- Pentek, T., D., Pičman, I., Potočnik, P., Dvorščak, H., Nevečerel, 2005a: Analysis of an existing forest road network. *Croat. j. for. eng.* 26(1): 39–50.
- Pentek, T., D., Pičman, H., Nevečerel, H., 2005b: Planiranje šumskih prometnica – postojeća situacija, determiniranje problema i smjernice budućeg djelovanja. *Nova meh. šumar.* 26(1): 55–63.
- Pentek, T., H., Nevečerel, T., Poršinsky, D., Horvat, M., Šušnjar, Ž., Zečić, Ž., 2007: Quality planning of forest road network – precondition of building and maintenance cost rationalisation. *Proceedings of Austro 2007 – FORMEC'07 »Meeting the Needs of Tomorrow's Forests: New Developments in Forest Engineering«*, October 7–11, 2007, Wien–Heiligenkreuzl, Austria, University of Natural Resources and Applied Life Sciences Viena, CD-ROM, 1–12.
- Pentek, T., D., Pičman, H., Nevečerel, K., Lepoglavec, I., Papa, I., Potočnik, 2011: Primarno otvaranje šuma različitih reljefnih područja Republike Hrvatske. *Croat. j. for. eng.* 32(1): 401–416.
- Pentek, T., T., Poršinsky, 2012: Forest Transportation Systems as a Key Factor in Quality Management of Forest Ecosystems. In: *Forest Ecosystems – More than Just Trees* (ed: J. A. Blanco, Y. H. Lo), In Tech, 433–464.
- Pentek, T., A., Đuka, I., Papa, D., Damić, T., Poršinsky, T., 2016a: Elaborat učinkovitosti primarne šumske prometne infrastrukture – alternativa studiji primarnog otvaranja šuma ili samo prijelazno rješenje? *Šum. list* 140(9–10): 435–453.
- Pentek, T., T., Poršinsky, A., Đuka, 2016b: Elaborat učinkovitosti mreže šumskih prometnica – primarne šumske prometne infrastrukture gospodarske jedinice »Stajnička Kapela«, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–120.
- Pentek, T., T., Poršinsky, A., Đuka, 2016c: Elaborat učinkovitosti mreže šumskih prometnica – primarne šumske prometne infrastrukture gospodarske jedinice »Javornik – Tisov vrh«, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–262.
- Pentek, T., T., Poršinsky, A., Đuka, 2017: Elaborat učinkovitosti mreže šumskih prometnica – primarne šumske prometne infrastrukture gospodarske jedinice »Peščenica – Cerje«, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–259.
- Pentek, T., T., Poršinsky, A., Đuka, 2018: Elaborat učinkovitosti mreže šumskih prometnica – primarne šumske prometne infrastrukture gospodarske jedinice »Laktin vrh – Dabri«, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–307.
- Pentek, T., A., Đuka, T., Poršinsky, 2019a: Elaborat učinkovitosti mreže šumskih prometnica – primarne šumske prometne infrastrukture gospodarske jedinice »Trovrh – Kik«, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–216.
- Pentek, T., A., Đuka, T., Poršinsky, 2019b: Elaborat učinkovitosti mreže šumskih prometnica – primarne šumske prometne infrastrukture gospodarske jedinice »Velika Plješivica – Drenovača«, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–152.
- Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710 pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske. *Disertacija*, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–170.
- Poršinsky, T., A., Đuka, I., Papa, Z., Bumber, D., Janeš, Ž., Tomašić, Ž., T., Pentek, 2017: Kriteriji određivanja gustoće primarne šumske prometne infrastrukture – primjeri najčešćih slučajeva. *Šum. list* 141(11–12): 593–608.
- Rhee, H., J., Fridley, W., Chung, D., Page-Dumroese, 2019: An Approach for Modeling and Quantifying Traffic-Induced Processes and Changes in Forest Road Aggregate Particle-Size Distributions. *Forests* 10(9): 769; <https://doi.org/10.3390/f10090769>
- Segebaden, G., 1964: Studies of Cross-Country Transport Distances and Road Net Extension. *Studia Forestalia Suecica* 18: 1–70.
- Žáček, J., P., Klč, 2008: Forest transport roads according to natural forest regions in the Czech Republic. *Journal of forest science* 54(2): 73–83.
- Zhixian, Z., F., Zhili, 1997: The Method of Calculating Average Skidding Distance. *Journal of Forestry Research* 8(1): 47–49.
- *Pravilnik o uređivanju šuma (NN 97/18, 101/18, 31/20, 99/21)
- *Pravilnik o provedbi mjere 4 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 106/15, 65/17, 77/17, 84/18)
- *Pravilnik o sadržaju, namjeni i razini razrade prometnoga elaborata za ceste (NN 140/13)
- *Zakon o cestama (NN 84/11, 22/13, 54/13, 148/13, 92/14, 110/19)
- *Zakon o sigurnosti prometa na cestama (NN 67/08, 48/10, 74/11, 80/13, 92/14, 64/15, 108/17, 70/19, 42/20)

SUMMARY

Knowledge of the characteristics of the density and spatial distribution of forest roads in different bioclimates (terrain categories) facilitates further planning and design processes of future forest road networks. The basic parameters of forest accessibility based on primary forest roads were researched within twenty management units. The research was conducted in four bioclimates: 1. Common oak and floodplain forests, 2. Sessile oak forests of hilly terrain, 3. Submountainous beech forests and 4. Mountainous fir, beech-fir and spruce forests. The following parameters of forest accessibility were analysed: 1) forest road density and factor of forest area indentation, 2) average geometric timber extraction distance and road network factor and 3) primary relative forest accessibility. The obtained results indicate similarities and differences in the quality and quantity of the primary forest road network in each bioclimate.

KEY WORDS: forest roads, bioclimates, planning, terrain category, ArcGIS