



Analiza terenskih i sastojinskih čimbenika kao osnova za planiranje radova u pridobivanju drva i otvaranju šuma

David Janeš, Ivica Papa, Maja Moro, Ivan Žarković, Tibor Pentek, Tomislav Poršinsky, Andreja Đuka

Nacrtak – Abstract

Istraživane su terenske i sastojinske prilike gospodarskih državnih i privatnih šuma iz dostupnih prostornih podataka koje će potom omogućiti stvaranje osnovice za razredbu terena za potrebe pridobivanja drva i otvaranja šuma. S gledišta pridobivanja drva te kao gospodarski najznačajnije šume izdvojena su i prikazana četiri bioklimata: 1) bioklimat jelovih, bukovo-jelovih i smrekovih šuma, 2) bioklimat brđskih bukovih šuma, 3) bioklimat bežuljkastih šuma hrasta kitnjaka te 4) bioklimat nizinskih šuma hrasta lužnjaka i poplavnih šuma. Na tim su područjima određene ove terenske i sastojinske značajke: 1) nagib terena i stjenovitost tla (pokrivenost površine), 2) način vlaženja tla i rizik od erozije tla vodom, 3) drvena zaliha, 4) stupanj razvedenosti šumskih cesta i 5) srednja udaljenost privlačenja drva kao pokazatelj otvorenosti šuma. Provedene analize mreže šumskih cesta pokazale su da postoji statistički značajna razlika između cesta bioklimata nizinskih šuma hrasta lužnjaka i poplavnih šuma te bioklimata brežuljkastih šuma hrasta kitnjaka u odnosu na ostale bioklimate. Analize šumskih cesta po pojedinom bioklimatu treba promatrati u sklopu ostalih terenskih čimbenika, kao što su stjenovitost terena te stvarnoga rizika od erozije tla vodom, koji će svoj utjecaj, uz nagib terena, iskazati pri planiranju budućih trasa šumskih cesta. Povezivanjem značajki terena započeto je stvaranje primjenjive razredbe terena za uvjete hrvatskoga šumarstva kao važnoga logičkoga alatu pri gospodarenju šumama i planiranju radova u šumarstvu, osobito u pridobivanju drva i otvaranju šuma.

Ključne riječi: razredba terena, bioklimat, razvedenost šumskih cesta

1. Uvod – Introduction

Razredba terena za šumarstvo je podjela šumskih površina u jedinice, za koje vrijedi isti ili barem sličan stupanj poteškoća sa stajališta obavljanja bilo koje vrste šumskih radova (Owende i dr. 2002). Razredba terena za izvođenje šumskih radova namijenjena je praktičnoj primjeni pri planiranju pridobivanja drva i njege šuma, kontroli izvođenja radova, ocjeni pogodnosti mehaniziranih sredstava za rad te njihovoj međusobnoj usporedbi, razvoju mehaniziranih sredstava za rad, planiranju tržišta, odnosno kao podloge pri sklapanju ugovora s privatnim poduzetnicima (Mellgren 1980) te planiranju budućega otvaranja šuma šumskom prometnom infrastrukturom.

Terenski čimbenici šuma određenoga zemljopisnoga položaja, koji uvjetuju stupanj težine, mogućnosti i ograničenja obavljanja mehaniziranih šumskih radova uopće, a koje većina autora navodi, jesu: nagib terena, površinske prepreke i nosivost podloge (Löffler 1984, Silversides i Sundberg 1988, Saarilahti 2002a). Terenski čimbenici imaju velik utjecaj na odabir mehaniziranih sredstava za rad i na njihovu učinkovitost, troškove rada (Bojanin 1980, Poršinsky 2005), ali i na sigurnost pri radu (Berkett i Visser 2012). Izražen nagib i/ili površinske prepreke terena značajno utječu na stabilnost (uzdužnu i bočnu) šumskih vozila, samim tim i na njihovu kretnost te sigurnost pri radu, ali i na razinu njihove djelotvornosti (Visser i Berkett 2015, Visser i Stampfer 2015). Važnost poznavanja tih terenskih čimbenika pri

operativnom planiranju izvođenja šumskih radova prepoznaje i »Smjernica za izradu Elaborata radi-lišta za radove u šumarstvu« (HKIŠDT 2015), koja prometnost terena za šumska vozila raščlanjuje u dva razreda: 1) prometan teren za šumska vozila – nagiba < 25 % bez većih površinskih prepreka, koji se sekundarno otvara traktorskim vlakama, 2) neprometan teren za šumska vozila – nagiba > 25 % s većim površinskim preprekama, koji se sekundarno otvara građenim traktorskim putovima.

Za svrhovitu ekološko-biološku raščlambu reljefa apsolutna visina terena nije dovoljna jer, iako stalna, često i ovisno o vrlo utjecajnim ostalim reljefnim čimbenicima, odstupa unutar istih reljefnih oblika (Bertović 1999). Bertović dalje navodi da je iznenađujuće što se u gotovo svim reljefnim interpretacijama zanemaruje već odavno znanstveno dobro opisan i poznat biljni svijet, iako je šumska i ostala vegetacija istaknuti reljefni i zemljopisni čimbenik, posebno u Hrvatskoj, najsigurniji u obilježbi i omeđenju osnovnih reljefnih oblika, tj. nizina, brda, gora, a osobito pretplaninskih područja. Uključivanje biljaka u razredbe terena koristi Mellgren (1980) u kanadskoj razredbi terena gdje uz tri glavna terenska čimbenika koji utječu na kretnost vozila (nagib, površinske prepreke i značajke tla – dreniranost i tekstura tla), uključuje i vegetacijske indikatore (uobičajene vrste drveća i prizemnoga rašća). U hrvatskom šumarstvu ne postoji jedinstvena razredba reljefnih područja šuma zasnovana na istim ulaznim parametrima, već se postojeće u prvom redu odnose na istraživanja prostorne raščlambe reljefa temeljem nadmorske visine i pridolaska šumske vegetacije (Bertović 1999, Čavlović 2010, Vukelić i dr. 2008). Bertović (1999) tako određuje pojam *bioklimat* kao prostorno definirano područje (lokalitet), s izraženim osobitostima podneblja (klimatski tip) i s određenim, toj klimi, prilagođenim vegetacijskim tipom (biljnom zajednicom). Stoga i pojedine reljefne pojase i potpojase predstavljaju njima analogno oblikovani bioklimati s njihovim neposredno uočljivim biocenoza edifikatorima, primarnim zonalnim i intrazonalnim te ostalim sekundarnim fitocenoza.

Na prometnost terena, odnosno kretnost vozila pri privlačenju drva, osim reljefnih značajki terena, presudna je i nosivost (čvrstoća) šumskoga tla. Nosivost tla jest sposobnost tla odupiranju vanjskim silama (djelovanju kotača ili gusjenica vozila), a određena je slijeganjem tla (dubina kolotruga) pod vanjskim opterećenjem. U šumarstvu je nosivost tla određena kao najveći dopušteni dodirni tlak kotača vozila (Saarilahti 2002B) bez oštećivanja tla, što ovisi o vrsti i teksturnom sastavu tla, udjelu humusa i skeletnih če-

stica (stalni parametri tla) te o jedinom promjenjivom parametru – trenutačnoj vlazi (Poršinsky i dr. 2011). Prvu raščlambu nosivosti šumskoga tla, na osnovi mjernih parametara čvrstoće tla i dopuštenoga opterećenja vozila na tlo, prikazuje razredba terena napravljena u sklopu projekta EcoWood, a koja posebnu pažnju poklanja okolišno djelotvornomu pridobivanju drva na osjetljivim tlima (Ward i Owende 2003). Ta opisna razredba nosivosti šumskoga tla također preporučuje uporabu izraza nominalnoga tlaka vozila na podlogu (Mellgren 1980) radi određivanja pogodnosti primjene pojedinih vrsta i tipova vozila za privlačenje drva ovisno o graničnom dopuštenom dodirnom tlaku na tlo pojedinoga razreda čvrstoće. Poršinsky i dr. (2014) navode da je Bygdénova (2012) smjernica raščlambe nosivosti šumskih tala prikladnija za uvjete hrvatskoga šumarstva.

Procjena udjela stjenovitosti jedan je od elemenata za određivanje kakvoće i proizvodnosti staništa (Čavlović 2010). Podaci o stjenovitosti pojedinih odjela/odsjeka gospodarskih jedinica sastavni je dio iz opisa sastojina (obraci O2 ili O3) osnova i programa gospodarenja šumama te iako oni ne daju potpune podatke sa stajališta kretnosti šumskih vozila, odnosno prometnosti terena (Đuka 2014), uključivanje izmjere/procjene površinskih prepreka s obzirom na njihovu dubinu/visinu te učestalost na razini cijeloga šumskogospodarskoga područja još uvijek nije moguće zbog samoga opsega posla i nedostataka digitalnih modela reljefa (DMR) većih rezolucija (derivati lidarskih snimaka).

Šumska prometna infrastruktura u prvom redu omogućuje pristup šumskim ekosustavima radi obavljanja svih radova predviđenih osnovom gospodarenja odnosno radi učinkovitijega obavljanja zadataka vezanih uz zaštitu šuma od požara, turističku djelatnost te nacionalnu obranu. Također u novije vrijeme sve je dominantnija uloga šumskih cesta radi učinkovitije izgradnje objekata obnovljivih izvora energije na udaljenim šumskim područjima (Sidle i Ziegler 2012, Laurance i dr. 2014, Soulis i dr. 2015, Kastridis 2020). Unatoč brojnim istraživanjima mreže šumskih cesta (Pentek i dr. 2012, Tavankar i dr. 2015, Laschi i dr. 2016, Tavankar 2018, Picchio i dr. 2018), rijetka su istraživanja pojedine šumske ceste, pogotovo karakterističnih oblika i značajki šumskih cesta pojedinoga reljefnoga područja. Svakako važan parametar pri proučavanju značajki pojedine ceste jest njezina duljina (Zhang 2005), koja je definirana kao osnovna fizikalna veličina kojom se opisuje prostorna udaljenost dviju točaka u prostoru.

Primjenom GIS-a omogućen je brz pristup datotekama prostornih podataka čime je olakšano brzo

uočavanje mogućih terenskih problema povezanih s određenim tehnologijama šumskih radova (Saari-lahti 2002B), iako je modeliranje i razrada terena za šumarstvo i dalje izazov u daljinskom istraživanju (McDaniel i dr. 2012). Ipak, treba napomenuti da dostupnost podataka te njihova točnost uvelike utječe na provođenje analize jer je poznato da cijela Republika Hrvatska još nije snimljena suvremenim preciznim metodama (npr. lidarom), a terenska istraživanja traže puno vremena i novčanih sredstava ako se želi planirati na strateškoj razini cijeloga šumsko-gospodarskoga područja. Primjenom suvremenih metoda (GIS), poznavanjem terenskih značajki, tehnoloških mogućnosti šumarskih vozila (produktivnost, okolišna pogodnost) te načina gospodarenja šumama (sječna gustoća, otvorenost šuma) nastaju brojni modeli i sustavi za potporu odlučivanju čiji su temelj upravo razredba terena odnosno ocjena prometnosti terena.

Cilj je ovoga rada analiziranje terenskih prilika gospodarskih državnih i privatnih šuma iz dostupnih prostornih podataka koje će potom omogućiti stvaranje osnove za razredbu terena za potrebe pridobivanja drva u Republici Hrvatskoj. Takva će razredba olakšati planiranje radova te nas približiti i željenoj kategorizaciji reljefnih područja za potrebe pridobivanja drva i otvaranja šuma.

2. Metode istraživanja – Research methods

U ovom je radu primijenjena podjela šumskih zajednica prema Pilašu i dr. (2014) koji su izdvojili jedanaest šumskih bioklimata koji se rasprostiru duž hrvatskoga teritorija te koji predstavljaju prostornu raspodjelu glavnih tipova šumskim zajednica. S gledišta pridobivanja drva te kao gospodarski najznačajnije šume izdvojiti će se i prikazati četiri bioklimata:

- 1) jelove, bukovo-jelove te smrekove šume (*Calmagrostio-Abietetum*, *Blechno-Abietetum*, *Omphalodo-Fagetum*, *Festuco drymeiae-Abietetum*, *Aremnio-Piceetum*)
- 2) brdske bukove šume (*Lamio orvale-Fagetum*, *Vicio oroboidi-Fagetum*, *Cephalanthero longifoliae-Fagetum*, *Helleboro nigri-Pinetum sylvestris*)
- 3) brežuljkaste šume hrasta kitnjaka (*Luzulo-Quercetum petraeae*, *Quercu-Castaneetum sativae*, *Epimedio-Carpinetum betuli*, *Festuco drymeiae-Carpinetum betuli*, *Quercu-Ostryetum carpinifoliae*)
- 4) nizinske šume hrasta lužnjaka i poplavne šume (*Salici-Populetum*, *Frangulo-Alnetum*, *Leucoio aestivi-Fraxinetum angustifoliae*, *Genisto elatae-Quercetum roboris*, *Carpino betuli-Quercetum roboris*).

Na tim će se četirima bioklimatima odrediti ove terenske i sastojinske značajke: 1) nagib terena i stjenovitost tla, 2) način vlaženja tla i rizik od erozije tla, 3) drvena zaliha, 4) stupanj razvedenosti šumskih cesta i 5) srednja udaljenost privlačenja drva kao pokazatelj otvorenosti šuma. Sve će se analize provesti upotrebom računalnih programa ArcGIS 10.4, AutoCAD 2019, Statistica 13.5.0.17 kako bi se dobili podaci o intenzitetu zastupljenosti pojedinoga parametra.

2.1 Nagib terena i stjenovitost tla – Terrain slope and stoniness

U pridobivanju drva nagib terena i položaj mreže primarne šumske infrastrukture određuje smjerove privlačenja drva (Knežević i Sever 1992, Lubello 2008). Sa stajališta planiranja pridobivanja drva i otvaranja šuma nagib je terena najvažniji terenski čimbenik koji neposredno utječe na odabir sustava pridobivanja drva. Nagib terena utječe i na stabilnost vozila pri kretanju jer se svi kotači vozila sukobljavaju s jednakim makrotopografskim vrijednostima, gdje uz navedeno djelovanje nagiba kretnost vozila ovisi i o površinskim preprekama i uvjetima nosivosti šumskoga tla (Đuka 2014).

Nagib terena u četirima istraživanim bioklimatima raščlanjen je u pet razreda (Löffler 1984) temeljem digitalnoga modela reljefa prostorne rezolucije 15 × 15 m, dok je procjena stjenovitosti tla napravljena prema Bogunoviću i dr. (1997), što je prikazano u tablici 1.

Tablica 1. Raščlamba nagiba terena (Löffler 1984) i stjenovitosti tla (Bogunović i dr. 1997)

Table 1 Terrain slope (Löffler 1984) and stoniness (Bogunović et al. 1997) classification

Razredi kuta nagiba terena Terrain slope class	Opis terena Terrain description	Raspon vrijednosti Value range	Razredi stjenovitosti tla Terrain stoniness class	Raspon vrijednosti Value range
		%		Udio na površini, % Share, %
1	Ravnični teren Level	0 – 10	1	> 2
2	Blago nagnuti teren Gentle	10 – 20	2	3 – 10
3	Umjereno nagnuti teren Moderate	20 – 33	3	11 – 25
4	Strmi teren Steep	33 – 50	4	26 – 50
5	Vrlo strmi teren Very steep	> 50	5	51 – 90
			6	> 90

2.2 Značajke tla: način vlaženja tla i rizik od erozije – *Soil characteristics: moisture regimes and erosion risk*

U ovom će se radu primijeniti podjela dominantnoga načina vlaženja tla (Vidaček i dr. 2003) koja se odnosi na vodni režim tla odnosno kretanje i zadržavanje vode u tlu. Isti autori navode da analiza značajki tla uključuje podatke o prirodnoj dreniranosti (ocjeditosti) tla kao svojstvu ocjene brzine ocjeditivnoga tla nakon obilnih kiša i mogućnosti zadržavanja vode u njima. Autori nadalje zaključuju da su tla u Hrvatskoj prema dreniranosti razvrstana u sedam razreda: 1. razred ekscesivno ocjedita tla, 2. razred ponešto ekscesivna tla, 3. razred dobro ocjedita tla, 4. razred umjereno dobro ocjedita tla, 5. razred nepotpuna ili nešto slabo ocjedita tla, 6. razred slabo ocjedita tla i 7. razred vrlo slabo ocjedita tla.

Prema Husnjaku (2000) mogući je rizik od erozije tla vodom objašnjen kao temeljna osjetljivost tla prema eroziji tla vodom, i to ne uzimajući u obzir vegetacijski pokrov ili način korištenja zemljišta. Osnovne značajke nekoga terena koje imaju dominantan utjecaj na mogući rizik od erozije tla vodom jesu erodibilnost tla, erozivnost oborine i nagib terena. Erodibilnost je tla sposobnost tla da erodira ili, obratno, sposobnost tla da odoli djelovanju vanjske sile (Kisić 2017), što u potpunosti ovisi o teksturi tla, sadržaju organske tvari i trenutačnoj vlažnosti tla, a što zajedno utječe na sposobnost zadržavanja vode i sposobnost tla da stvori stabilnije strukturne agregate. Isti autor navodi da je stvarni rizik od erozije tla vodom stvarni ili postojeći rizik od erozije s obzirom na sadašnji vegetacijski pokrov i način korištenja.

Tablica 2. Razredi potencijalnoga i stvarnoga rizika od erozije tla vodom (Husnjak 2000)

Table 2 Potential and real soil erosion risk (Husnjak 2000)

Razred potencijalnoga rizika od erozije <i>Potential soil erosion risk class</i>	Razred vegetacijskoga pokrova* <i>Vegetation cover class</i>	Stvarni rizik od erozije tla vodom <i>Actual soil erosion risk</i>	
		Razred <i>Class</i>	Opis razreda <i>Class description</i>
1	I	1	Nizak rizik <i>Low risk</i>
	II	1	Nizak rizik <i>Low risk</i>
2	I	1	Nizak rizik <i>Low risk</i>
	II	2	Umjeren rizik <i>Moderate risk</i>
3	I	2	Umjeren rizik <i>Moderate risk</i>
	II	3	Visok rizik <i>High risk</i>

Razred vegetacijskoga pokrova – *Vegetation cover class*:

I – Površine pod šumom i stalni pašnjaci – *Forest areas and permanent pastures*

II – Obradive površine – *Arable land*

Na područjima s drugim razredom (II) vegetacijskoga pokrova, koja su zapravo obradiva područja, odnosno sva područja koja nisu pod šumom, mogući je rizik ujedno i stvarni rizik od erozije tla vodom, dok se na područjima s prvim razredom vegetacijskoga pokrova (I), koja su površine pod šumom i stalnim pašnjacima, visina se rizika od erozije tla vodom smanjuje za jedan, ali samo kod drugoga i trećega razreda mogućega rizika, dok se prvi razred ne mijenja.

U ovom su radu uzete vrijednosti stvarnoga rizika od erozije tla vodom i one su prikazane u tablici 2.

2.3 Sastojinske značajke: drvena zaliha i srednja udaljenost privlačenja drva – *Stand characteristics: wood stock and average timber extraction distance*

Prema nacionalnoj inventuri šuma (Čavlović 2010) drvena zaliha po hektaru na razini Republike Hrvatske iznosi 232,22 m³, na razini državnih šuma 255,57 m³, a na razini privatnih šuma 155,84 m³, dok je prosječna drvena zaliha po hektaru privatnih šuma oko 60 % zalihe državnih šuma. Autor navodi da je udio drvene zalihe u neposrednoj vezi s površinom i sastavom šuma izraženim prosječnom zalihom po hektaru te da se polovica ukupne drvene zalihe odnosi na površinski najrasprostranjeniju brdsko-gorsku zonu, dok je ostatak površine podjednako zastupljen visokogorskom i nizinskom zonom. S višestruko manjom drvnom zalihom (6 – 8 puta) drvena zaliha submediteranske i eumediteranske zone čini manje od 6 % ukupne drvene zalihe. Drvena zaliha po hektaru najveća je u visokogorskoj zoni, što se može obrazložiti prebornim načinom gospodarenja koji je najčešći u toj zoni, a obilježava ga veća prosječna drvena zaliha u odnosu na šume kojima se regularno gospodari. Relativno visoka zaliha (iznad 300 m³/ha) u nizinskoj zoni svjedoči o većoj rasprostranjenosti sastojina višega dobnoga razreda. Najveći dio drvene zalihe (80 %) otpada na sedam gospodarski najznačajnijih vrsta drva (www.hrsume.hr): obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) 36 %, hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) 12 %, hrast kitnjak (*Quercus petraea* L.) 10 %, obični grab (*Carpinus betulus* L.) 9 %, obična jela (*Abies alba* Mill.) 8 %, poljski jasen (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) 3 % i obična smreka (*Picea abies* L.) 2 %.

Današnja dinamika svih šumskih radova, a posebice transporta drva, nezamisliva je bez upotrebe primarne i sekundarne mreže šumskih prometnica jer se suvremeno gospodarenje šumama u Hrvatskoj uz današnje primijenjene sustave pridobivanja

drva većinom temelji na vozilima pokretanim motorima s unutarnjim izgaranjem. Srednja je udaljenost privlačenja drva parametar koji na određenoj šumskoj površini (odjelu, odsjeku) opisuje prosječnu udaljenost na kojoj se privlači drvo, tj. udaljenost od mjesta sječe stabla (panja) do mjesta skupljanja drva (pomoćno stovarište, šumska cesta).

U istraživanju će se izračunati geometrijska srednja udaljenost privlačenja drva temeljem euklidske udaljenosti (Bumber 2011) pravilnoga razmaka mreže točaka 10 m × 10 m, pri čemu je svaka točka površina od jednoga ara. Prikaz stanja otvorenosti šuma uključivat će analizu euklidske udaljenosti privlačenja drva temeljenoj na primarnoj prometnoj infrastrukturi sukladno pravilniku o provedbi mjere M04 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz Programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 106/15, 65/17, 77/17).

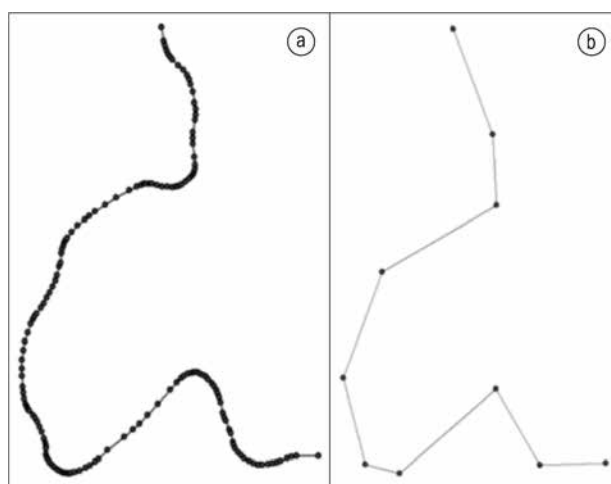
2.4 Stupanj razvedenosti šumskih cesta – *Forest road circuitry*

Analizu duljine cesta provodili su Ballou i dr. (2002) na primjeru javnih cesta na kojima su analizirali tzv. kružne čimbenike cesta (eng. *circuitry factors*), koji predstavljaju odnos stvarne cestovne udaljenosti i pravocrtne udaljenosti početnih i završnih točaka uzoraka (O'Sullivan i Morrall 1996, Levinson i El-Geneidy 2009). Cilj im je bio opisati horizontalne značajke cesta.

Značajke šumskih cesta, odnosno stupanj razvedenosti šumskih cesta pojedinoga bioklimata utvrdit će se određivanjem prosječnoga odstupanja svakoga izraženijega loma trase u smislu horizontalnoga razvijanja ceste od pravilne mreže četverokuta te određivanjem razlike između teorijske i stvarne duljine šumskih cesta (ŠC). Istraživanje će biti provedeno temeljem prostornih podataka o šumskim cestama smještenih u dvadeset gospodarskih jedinica državnih šuma odabranih jednostavnim slučajnim uzorkovanjem i raspoređenih u četiri istraživana bioklimata.

Istraživanje će započeti pojednostavljenjem horizontalnoga razvijanja analiziranih šumskih cesta

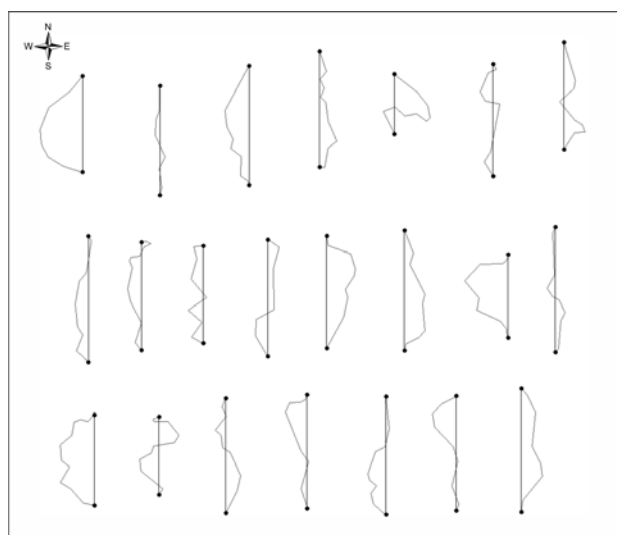
radi minimiziranja broja horizontalnih lomova prikazom samo najznačajnijih (slika 1). Postupak utvrđivanja pozicija značajnih horizontalnih lomova bit će proveden tako da se programu ArcGIS zadaje najmanja duljina poligone strane od 25 m. U praksi to znači da će program samostalno prepoznati horizontalne lomove te na njihovim mjestima uklopiti točke, a između njih ravne pravce (duljine ≥ 25 m). Temeljem pojednostavljenoga horizontalnoga prikaza trasa šumskih cesta obaviti će se njihovo sekcioniranje na kilometarske segmente koji će biti predmet daljnjih analiza.



Slika 1. Prikaz trase šumske ceste dobivene snimanjem GPS-ova traga (a) i geometrijskoga oblika (b)

Fig. 1 Horizontal road alignment obtained by recording GPS track (a) and geometric shape (b)

Tako dobiveni kilometarski segmenti šumskih cesta u računalnom će se programu AutoCAD radi bolje preglednosti i učinkovitije analize razmaknuti s dominantnim smjerom pružanja sjever-jug, gdje će se pozicije početaka nalaziti na južnoj (donjoj), a pozicije završetaka na sjevernoj (gornjoj) strani »radnoga lista«. Naknadno će se formirati dužine koje spajaju početnu i završnu točku svakoga kilometarskoga segmenta temeljem kojih će biti definirana najkraća udaljenost između spomenutih točaka (slika 2), a koja će nam u kasnijim analizama poslužiti za izračun čimbenika horizontalne korekcije šumskih cesta.



Tumač znakova - Legend: M 1 : 55 000
 — Teorijski (geometrijski) spoj početne i završne točke kilometarskog uzorka
 Theoretical (geometric) connection of the starting and ending points of a kilometer sample
 — Stvarno razvijanje šumske ceste (kilometarski uzorak)
 Actual forest road development (kilometer sample)
 • Početna i završna točka kilometarskog uzorka
 Start and end point of the kilometer sample

Slika 2. Stvarno i teorijsko/optimalno horizontalno razvijanje ŠC-a na primjeru gospodarske jedinice Jovac – Slana voda
Fig. 2 Real nad theoretical/optimal horizontal alignment of forest roads in management unit Jovac – Slana voda

Pripremljeni podaci obradit će se u programskom paketu ArcGIS, gdje će se pomoću alata *Split Line At Vertices* odrediti točke horizontalnoga loma radi dobivanja broja horizontalnih krivina. Pomoću alata *Feature Vertices To Points* svaki horizontalni lom bit će predstavljen točkom, a zatim će se pomoću alata *Near* izmjeriti udaljenosti svake pojedine točke horizontalnoga loma do pravca najkraće udaljenosti početne i završne točke segmenta šumske ceste. Tako će se dobiti podatak o bočnom odstupanju jedinoga horizontalnoga loma ceste od linije najkraće udaljenosti početne i završne točke, prikazanom u metrima.

Daljnjom interpretacijom podataka utvrdit ćemo postoji li statistički značajna razlika između:

- ⇒ prosječnoga bočnoga odstupanja horizontalnih lomova segmenata ŠC-a između bioklimata (temeljem podataka o bočnom odstupanju najznačajnijih horizontalnih lomova analiziranih kilometarskih segmenata šumskih cesta)
- ⇒ teorijskih i stvarnih duljina ŠC-a na kilometarskim uzorcima (m) (temeljem odnosa kilometarskih uzoraka (1000,00 m) i dužina koje povezuju

točke početka i završetka analiziranih segmenata šumskih cesta pomoću ovoga izraza:

$$k = 1000/l$$

gdje je:

k – čimbenik horizontalne korekcije šumskih cesta
 l – duljina linije (m).

3. Rezultati – Results

3.1 Bioklimat jelovih, bukovo-jelovih i smrekovih šuma (B4) – Bioclimate of Mountainous Fir, Beech-Fir and Spruce Forests

Bioklimat jelovih, bukovo-jelovih i smrekovih šuma proteže se na visini od 600 do 1100 m nadmorske visine, dok se panonske bukovo-jelove šume na sjevernim ekspozicijama spuštaju i do 300 m, na primjer na Medvednici (Vukelić i dr. 2008). Autori navode da je prosječna srednja godišnja temperatura 6 – 9 °C te da su to šume prirodnoga sastava u kojima se preborno gospodari i koje zauzimaju 185 762,25 ha površine. Najveći udio drvene zalihe od 43,65 % pripada razredu 301 – 400 m³/ha, dok razredi iznad 601 m³/ha rastu na tek 0,74 % površine tih šuma (slika 3c). Način je vlaženja tla na 99,88 % površine automorfan. Vidljiva je izražena stjenovitost tla na više od pola površine tih šuma u kojima je prekrivenost tla stijenama ili kamenjem od 51 do 90 % površine tla (slika 3b). Analiza je nagiba terena pokazala pomaknutu krivulju u lijevo, gdje je najveći udio površine toga bioklimata na nagibima 21 – 33 %. Nagibi terena iznad 21 % zauzimaju 67,75 % šuma bioklimata (slika 3a). Stvaran je rizik od erozije tla na glavnini površine umjerenoga karaktera, dok je nizak rizik od erozije tla na 28,20 % površine tih šuma. Srednja udaljenost privlačenja drva na tom bioklimatu u prosjeku je od 257 m ± 287 m (slika 3d). Analiza srednje udaljenosti privlačenja drva pokazuje da je na 51,20 % površine srednja udaljenost privlačenja drva do 200 m, dok udaljenosti iznad 600 m zauzimaju 13,87 % površine toga bioklimata.

3.2 Bioklimat brdskih bukovih šuma (B3) – Bioclimate of Sub-mountainous Beech Forests

Brdske bukove šume rastu najčešće na nadmorskoj visini od 300 do 800 m, dok je srednja godišnja temperatura najčešće oko 9 °C (Vukelić i dr. 2008). Autori navode da je riječ o visokim stabilnim šumama, ali i panjačama na strmim terenima zaštitnoga karaktera. Bioklimat brdskih bukovih šuma zauzima 331 099,27 ha istraživanoga područja. Površinski

su najrasprostranjeniji razredi 101 – 400 m³/ha drvene zalihe koji zajedno zauzimaju 81,57 % površine tih šuma (slika 3c). Pretežni način vlaženja tla je na 94,54 % površine tih šumskih zajednica automorfan. Iako je na 62,39 % površine brdskih bukovih šuma udio stijena i kamenja tek ispod 2 % površine, analiza je stjenovitosti terena pokazala da je ipak na 16,99 % tih šuma stjenovitost vrlo izražena s udjelima preko 51 % po površini (slika 3b). Analiza nagiba terena pokazuje da na području brdskih bukovih šuma prevladavaju tri razreda nagiba od 11 do 50 %. Nagibi terena od 34 % pa sve do preko 50 % zauzimaju 36,68 % tih šuma (slika 3a), što će svakako iskazati svoj utjecaj na odabir sustava pridobivanja drva, posebno kada se u obzir uzme i stjenovitost. Na 41,08 % površine brdskih bukovih šuma stvaran je rizik od erozije nizak, dok je na 54,29 % površine on umjeren. Ipak na 15 325 ha brdskih bukovih šuma postoji visok stvaran rizik od erozije tla vodom, što svakako treba uzeti u obzir pri planiranju radova na pridobivanju drva. Srednja udaljenost privlačenja drva u tom bioklimatu u prosjeku iznosi 413 m ± 410 m. Analiza srednje udaljenosti privlačenja drva pokazala je da se na 33,33 % površina brdskih bukovih šuma drvo privlači na udaljenostima do 200 m, ali i da se na 101 459 ha ono privlači na udaljenosti većoj od 600 m (slika 3d).

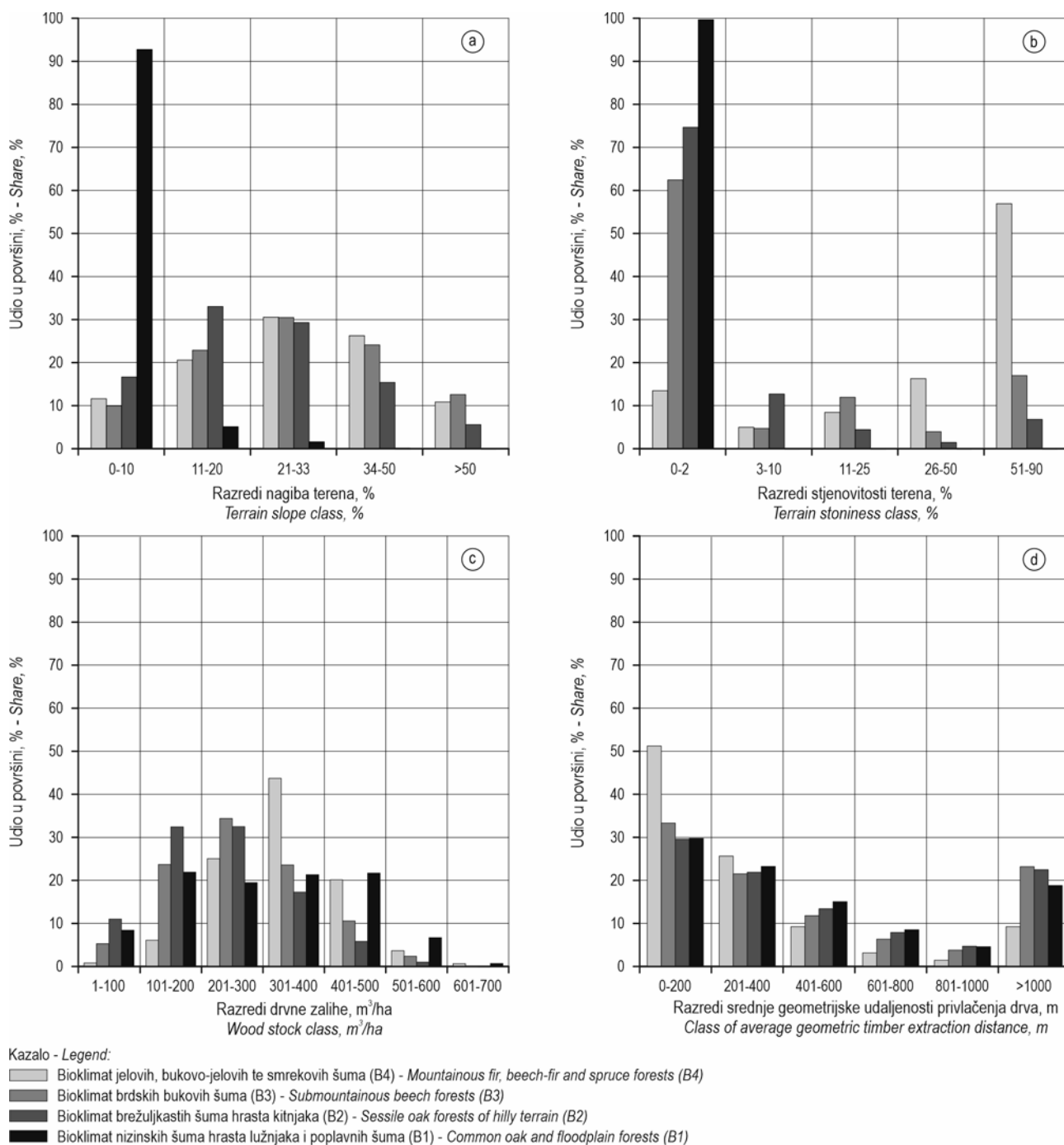
3.3 Bioklimat brežuljkastih šuma hrasta kitnjaka (B2) – *Bioclimate of Sessile Oak Forests of Hilly Terrain*

Bioklimat brežuljkastih šuma hrasta kitnjaka ovisno o zajednici proteže se od 150 pa sve do 700 m nadmorske visine (Vukelić i dr. 2008). Autori navode da se radi i o panjačama (šuma hrasta kitnjaka i pitomoga kestena), gospodarskim i zaštitnim šumama na strmijim padinama (šuma hrasta kitnjaka s bekicom), šumama s relativno sačuvanim prirodnim uvjetima te stablima izvrsne kakvoće koje su među najutjecajnijim u kontinentalnom dijelu Hrvatske (šuma hrasta kitnjaka i običnoga graba), šumama koje rastu na toplijim lokalitetima, dok hladnije zauzima bukva (šuma hrasta kitnjaka i običnoga graba s vlasuljom), ali i šikarama te panjačama mediteranske regije hladnije klime sa zaštitnom i općekorisnom funkcijom (šume medunca i crnoga graba). Bioklimat zauzima 311 679,18 ha površine državnih i privatnih šuma Republike Hrvatske. Većinski dio površine (64,81 %) ima drvenu zalihu u rasponu od 101 do 300 m³/ha (slika 3c).

Automorfni način vlaženja tla prevladava na 77,50 % površine, dok je na 22,07 % brežuljkastih kitnjakovih šuma vlaženje tla pseudoglejno, što znači da ga obilježava stagnirajuća oborinska i podzemna voda. Analiza stjenovitosti terena pokazuje da je na 74,58 % površine stjenovitost tla tek do 2 % udjela, ali i da je na 6,82 % površine tlo vrlo stjenovito s udjelom kamenja i stijena iznad 51 % površine (slika 3b). Analiza nagiba terena pokazuje trend pomicanja podataka u lijevo. Tako se glavnina brežuljkastih kitnjakovih šuma nalazi na nagibima terena do 33 % (slika 3a). Na 53,73 % površine toga bioklimata stvaran je rizik od erozije nizak, ali na 39,82 % raste na umjerenu opasnost. Najmanji udio, ali u svakom slučaju nezanemariv, jesu 20 114,99 ha površine kitnjakovih šuma brežuljkastoga područja s visokom opasnošću od erozije tla vodom. Srednja udaljenost privlačenja drva na području kitnjakovih šuma u prosjeku iznosi 494 m ± 449 m, a na najvećem se dijelu površine (51,44 %) kreće do 400 m, dok na 22,42 % ona premašuje i jedan kilometar (slika 3d).

3.4 Bioklimat nizinske šume hrasta lužnjaka i poplavne šume (B1) – *Bioclimate of Common Oak and Floodplain Forests*

Bioklimat čine poplavne šume vrba i topola, poplavne šume hrasta lužnjaka, crne johe i poljskoga jasena, ali i šume hrasta lužnjaka izvan dohvata poplava. Nizinske lužnjakove šume i poplavne šume pružaju se na 288 310,88 ha istraživanoga područja. Drvena zaliha u razredima od 101 do 500 m³/ha zauzima 84,23 % površine, a na 2011,95 ha ona je i iznad 700 m³/ha (slika 3a). Za razliku od prije opisanih bioklimata u nizinskim lužnjakovim šumama i u poplavnim šumama najčešći načini vlaženja tla su amfoglejni (27,15 %) te pseudoglejni (26,70 %), dok aluvijalna, epiglejna, hipoglejna i semiglejna tla zajedno čine 29,61 % površine tih šuma. Analiza stjenovitosti bioklimata pokazala je da prekrivenosti terena stijenama i kamenjem gotovo i nema, što je i očekivano s obzirom na to da je riječ o nizinskim šumama u Hrvatskoj (slika 3b). Analiza nagiba terena potvrđuje da je na 92,84 % površine bioklimata nagib terena do 10 %. Stvaran je rizik od erozije tla vodom na većini površine tih šuma nizak. Analiza srednje udaljenosti privlačenja drva u nizinskim šumama u prosjeku iznosi 516 m ± 429 m.



Slika 3. Terenske i sastojinske značajke istraživanih bioklimata
Fig. 3 Terrain and stand characteristics of researched bioclimates

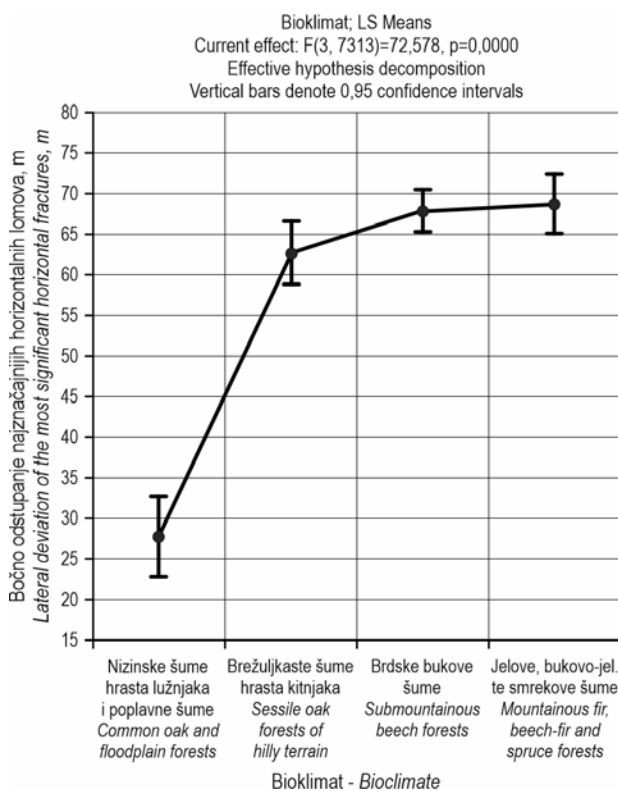
3.5. Izračun stupnja razvedenosti šumskih cesta – Calculation of forest road circuitry

3.5.1 Bočno odstupanje segmenata šumskih cesta – Lateral deviation of forest road segments

Bočno odstupanje svakoga značajnijega horizontalnoga loma šumskih cesta od pravocrtnih linija

pokazalo je statistički značajnu razliku (slika 4) u bočnom odstupanju analiziranih horizontalnih lomova šumskih cesta između bioklimata. Razlog su tomu ponajprije nagibi terena, odnosno razvedenost terena. Prosječne vrijednosti nagiba terena u gospodarskim jedinicama analiziranih šumskih cesta po

bioklimatima su: 1. nizinske šume hrasta lužnjaka i poplavne šume – 0,90 %, 2. brežuljkaste šume hrasta kitnjaka – 22,61 %, 3. brdske bukove šume – 32,73 % i 4. jelove, bukovo-jelove i smrekove šume – 29,65 %. Navedeni nagibi terena utječu na vrijednosti bočnoga odstupanja najznačajnijih horizontalnih lomova šumskih cesta raspoređenih u bioklimatu nizinskih šuma hrasta lužnjaka i poplavnih šuma (B1) – 27,85 m, brežuljkastih šuma hrasta kitnjaka (B2) – 62,76 m, brdskih bukovih šuma (B3) – 67,93 m te jelovih, bukovo-jelovih i smrekovih šuma (B4) – 68,73 m (slika 4).



Slika 4. Analiza varijance (ANOVA) bočnoga odstupanja segmenata ŠC-a bioklimata

Fig. 4 ANOVA analysis of lateral deflection of forest roads in each bioclimate

Dodatni test bočnoga odstupanja najznačajnijih horizontalnih lomova šumskih cesta u pojedinim bioklimatima (Fisher LSD) pokazuje kako se šumske ceste bioklimata B1 – nizinske šume hrasta lužnjaka i poplavne šume statistički značajno razlikuju u bočnom odstupanju najznačajnijih horizontalnih lomo-

va od šumskih cesta ostalih bioklimata (B2, B3 i B4), što vrijedi i za B2 – brežuljkaste šume hrasta kitnjaka (statistički se razlikuju od B1, B3 i B4). Šumske ceste bioklimata B3 i B4 međusobno se statistički ne razlikuju značajno, ali se razlikuju od cesta bioklimata B1 i B2 (tablica 3).

Tablica 3. Rezultati LSD testa prosječnih bočnih odstupanja najznačajnijih horizontalnih lomova analiziranih šumskih cesta po bioklimatima

Table 3 Results of LSD test of average lateral deviations of the most significant horizontal fractures of analyzed forest roads by bioclimates

R.b. Cell No.	LSD test; varijable bočno odstupanje najznačajnijih horizontalnih lomova – Lateral deviation of the most significant horizontal fractures, m (Spreadsheet13) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 5678,1, df = 7313,0				
	Bioklimat – Bioclimate	{B1} 27,845	{B2} 62,764	{B3} 67,930	{B4} 68,734
1	B1: Nizinske šume hrasta lužnjaka i poplavne šume B1 Common oak and floodplain forests		0,000000	0,000000	0,000000
2	B2: Brežuljkaste šume hrasta kitnjaka B2 Sessile oak forests of hilly terrain	0,00		0,028482	0,028062
3	B3: Brdske bukove šume B3 Submountainous beech forests	0,00	0,028482		0,725010
4	B4: Jelove, bukovo-jelove i smrekove šume B4 Mountainous fir, beech-fir and spruce forests	0,00	0,028062	0,725010	

3.5.2 Faktor horizontalne korekcije šumskih cesta – Horizontal correction factor of forest roads

Usporedbom kilometarskih uzoraka s duljinom linije koja spaja početak i kraj tih uzoraka dobiveni su čimbenici horizontalne korekcije šumskih cesta određenoga reljefnoga područja – bioklimata. Tako dobiveni čimbenici horizontalne korekcije šumskih cesta opisuju stvarnu duljinu šumskih cesta pojedinim bioklimata u odnosu na pravocrtnu udaljenost (teorijsku, najkraću) željenih dviju točaka u prostoru.

Tablica 4. Prikaz čimbenika horizontalne korekcije šumskih cesta**Table 4** Correction factors of forest roads

Gospodarska jedinica <i>Management unit</i>	Bioklimat <i>Bioclimate</i>	Čimbenik horizontalne korekcije šumskih cesta (pravac/stvarna cesta) <i>Horizontal correction factor of forest roads (road direction / actual road)</i>	Prosječni čimbenik horizontalne korekcije šumskih cesta <i>Average horizontal correction factor of forest roads</i>
Debrinja	B1: Nizinske šume hrasta lužnjaka i poplavne šume <i>B1 Common oak and flood-plain forests</i>	1,02	1,03
Josip Kozarac		1,05	
Kragujna		1,03	
Slavir		1,03	
Vrbanjske šume		1,03	
Jovac – Slana voda	B2: Brežuljkaste šume hrasta kitnjaka <i>B2 Sessile oak forests of hilly terrain</i>	1,25	1,20
Kutinska Garjevica		1,17	
Popovačka Garjevica		1,15	
Požeška Gora		1,24	
Slatinske prigorske šume		1,17	
Čorkovača-Karlice	B3: Brdske bukove šume <i>B3 Submountainous beech forests</i>	1,17	1,30
Drenovačka planina		1,51	
Orahovačka planina		1,38	
Šamarica II		1,15	
Sjeverni Psunj		1,28	
Crni lug	B4: Jelove, bukovo-jelove i smrekove šume <i>B4 Mountainous fir, beech-fir and spruce forests</i>	1,33	1,31
Dumanić – Ježevitar		1,44	
Lividraga		1,28	
Ravna gora		1,21	
Vršice		1,30	

Iz tablice 4 vidljivo je da su ceste nizinskih šuma hrasta lužnjaka i poplavnih šuma gotovo pravocrtne (čimbenik horizontalne korekcije ŠC: 1,03). Ceste brežuljkastih šuma hrasta kitnjaka imaju nešto veće vrijednosti čimbenika horizontalne korekcije šumskih cesta, međutim očekivano se prosječni čimbenik horizontalne korekcije šumskih cesta smjestio između cesta nizinskih šuma hrasta lužnjaka i poplavnih šuma te cesta brdskih bukovih šuma. Razlika između šumskih cesta brdskih bukovih te cesta jelovih, bukovo-jelovih i smrekovih šuma gotovo da ne postoji, što je dodatni dokaz zahtjevnosti terena na kojima se šumske ceste projektiraju u brdskim bukovim šumama.

4. Rasprava – Discussion

Posebnost šumskih sastojina u Hrvatskoj jest činjenica da se ovdje na razmjerno malom prostoru izmjenjuje velika neujednačenost prirodnih uvjeta (razvedenost i visinska slojevitost, vrste tla, vodotoci, klimatske i meteorološke prilike i značajke,

vegetacijski pokrov i dr.) kao skup najrazličitijih ekoloških čimbenika koji izravno i neizravno utječu na stvaranje brojnih prirodnih staništa šumskih sastojina i drugih životnih zajednica (Tomašić 2012). Stoga ujednačenost razredbi terena ima veliko značenje jer jedino su u tom slučaju moguće usporedbe i izmjene znanja te iskustava na međunarodnoj razini. Značajke i troškovi radnih operacija ne mogu se objašnjavati i predviđati ako radni uvjeti (značajke okruženja) nisu poznati.

Sustav pridobivanja drva određen je postupcima, metodom izradbe drva (sortimentna, poludeblovna, deblovna, stablovna) te strojevima i alatima koji se koriste prilikom eksploatacije neke sječne jedinice. Izbor sredstva za privlačenje drva (skider, forvarder, žičara) u svjetlu djelovanja terenskih čimbenika (reljefnih područja) te razine primarne i sekundarne otvorenosti šuma najvažnija je odrednica cijeloga sustava pridobivanja drva. U hrvatskom šumarstvu ne postoji jedinstvena razredba reljefnih područja šuma zasnovana na istim ulaznim parametrima, već se postojeće u prvom redu odnose na istraživa-

nja prostorne raščlambe reljefa temeljem nadmorske visine i pridolaska šumske vegetacije (Bertović 1987, Bertović 1999, Čavlović 2010, Vukelić i Rauš 1998, Vukelić i dr. 2008).

U bioklimatu *jelovih, bukovo-jelovih i smrekovih šuma*, karakterističnom za višu nadmorsku visinu, prevladava viši stupanj nagiba (> 20 %), tj. strmiji tereni, veća je stjenovitost (na 50 – 90 % površine), a erozija je tla umjerena. Vrijednosti srednje udaljenosti privlačenja drva treba promatrati kroz gospodarsku podjelu šuma u državnom vlasništvu na podružnice šuma, od kojih neke nemaju zadovoljavajuću primarnu otvorenost (Pentek i dr. 2014), a značajno utječu na cjelokupnu analizu poput ove. U bioklimatu *brdskih bukovih šuma* nagib je terena raznolik, kreće se od 10 do 50 %. Stjenovitost tla i rizik od erozije tla povoljniji su, odnosno prevladavaju blaže kategorije podjele tih parametara. Drvna se zaliha uglavnom kreće u rasponu od 100 do 400 m³/ha, dok je srednja udaljenost privlačenja drva slična kao i kod bioklimata jelovih, bukovo-jelovih i smrekovih šuma. Bioklimat *brežuljkastih šuma hrasta kitnjaka* povoljniji je za provedbu radova pridobivanja od prethodnih bioklimata. Naime, nagib je većinom u rasponu od 10 do 33 %, tlo je na glavnini površine pokriveno sa do 2 % stijena, prevladavaju ravni tereni, dok je rizik od erozije tla nizak do umjeren. Drvna zaliha kao i kod prethodnoga bioklimata kreće se uglavnom u rasponu od 100 do 400 m³/ha. Bioklimat *nizinskih šuma hrasta lužnjaka i poplavnih šuma* s gledišta izvođenja radova u pridobivanju drva dolazi na najpovoljnijem području. Teren je ravan na preko 99 % površine, tj. prevladava I. razred nagiba terena (0 – 10 %), nema stijena pa ni rizika od erozije. Čimbenik koji izdvaja taj bioklimat od ostalih jest način vlaženja tla. Ovdje se javljaju amfiklejna, epiglejna, hipoglejna i pseudoglejna tla, za koje je svojstveno povećano zadržavanje vode. Stoga je u tom bioklimatu narušena nosivost tla u većem dijelu godine, što će utjecati i na planiranje te na pridobivanje drva. Nizinske su šume s glejnim tlima povećane vlažnosti veći dio godine te je tlo osjetljivo na zbijanje, što će otežati kretnost forvardera, posebice ako se radi o šestokotačnim srednje teškim i teškim vozilima čija je masa s teretom 25 – 40 t te rijetkoj uporabi polugusjenica i zastora granja na vlakama, kako je često slučaj u praktičnom šumarstvu.

Velik je problem što je razredba terena vrlo opširna i što ima više čimbenika koji izravno utječu na odabir sredstava za rad pri pridobivanju drva. Blagojević i dr. (2019) kao najveću prepreku u primjeni višekriterijskih modela odlučivanja navode činjenicu da šumarski stručnjaci u operativi ne primjenjuju

takve modele jer ih smatraju ili preopširnim ili ne vide svrhu koju njihovom upotrebom mogu postići. Unatoč tomu svi modeli u GIS-u (uključujući razredbu terena) i višekriterijski modeli odlučivanja veoma su korisni alati u postupku planiranja pridobivanja drva (Enache i dr. 2013, Kühmaier i dr. 2010, Talbot i dr. 2014) pa bi stoga znanstvenoistraživačke rezultate, odnosno takve GIS-ove modele trebalo primijeniti i u praksi (Enache i dr. 2016).

Prometnice se s gledišta horizontalnoga razvijanja trase mogu geometrijski definirati kao pravci, krivine i prijelazne krivine (Gregory 2013). U horizontalnom se smislu analizirala razvedenost šumskih cesta, odnosno bočno odstupanje utvrđenih najznačajnijih horizontalnih lomova primarnih šumskih prometnica, pri čemu je utvrđeno kako se ceste bioklimata nizinskih šuma hrasta lužnjaka i poplavnih šuma međusobno statistički značajno razlikuju od šumskih cesta svih ostalih bioklimata. Jednako vrijedi i za šumske ceste bioklimata brežuljkastih šuma hrasta kitnjaka, koje se statistički značajno razlikuju od cesta ostalih triju analiziranih bioklimata, a vrijednostima bočnoga odstupanja nalaze se bliže vrijednostima cesta brdskih bukovih šuma i jelovih, bukovo-jelove i smrekovih šuma nego cestama nizinskih šuma hrasta lužnjaka i poplavnih šuma (slika 4). Šumske ceste brdskih bukovih šuma te ceste jelovih, bukovo-jelovih i smrekovih šuma karakterizira međusobna sličnost (ne pokazuju statistički značajne razlike). Analizirani su i kilometarski segmenti šumskih cesta i spojnih linija točaka početka i završetka tih segmenata, čime su utvrđeni čimbenici horizontalne korekcije šumskih cesta po bioklimatima. Vrijednosti toga faktora za javne ceste utvrdili su Ballou i dr. (2002) te se vrijednosti za Europu kreću od 1,18 do 1,65, dok su najveće vrijednosti faktora horizontalne korekcije cesta utvrđene na Novom Zelandu (2,05) i Egiptu (2,10). Javne ceste u Južnoj Koreji istražili su Kim i dr. (2013) te utvrdili prosječnu vrijednost faktora horizontalne korekcije od 1,26. Slična istraživanja za potrebe šumarstva, također u Južnoj Koreji, proveo je Kweon (2019), pri čemu je na uzorku od 105 km utvrdio prosječnu vrijednost faktora horizontalne korekcije od 1,55. Isti autor navodi da je za područje nizinskih šuma vrijednost faktora horizontalne korekcija 1,06, za područje brežuljkastih i brdskih šuma 1,61, a za gorsko-planinske šume 1,24. Slične prosječne vrijednosti čimbenika horizontalne korekcije šumskih cesta za nizinsko i gorsko reljefno područje odnosno bioklimata dobivene su i u ovom istraživanju, dok područje brežuljkastih i brdskih šuma odstupa od rezultata koje je dobio Kweon (2019). Naime, utvr-

đeno je da su ceste nizinskih šuma hrasta lužnjaka te poplavnih šuma gotovo pravocrtne s obzirom na iznos čimbenika horizontalne korekcije šumskih cesta od samo 1,03. Vrijednosti čimbenika horizontalne korekcije šumskih cesta kod brežuljkastih šuma hrasta kitnjaka iznosi 1,20, a kod brdskih bukovich šuma 1,30. Šumske ceste bioklimata jelovih, bukovo-jelovih i smrekovich šuma imaju najveću vrijednost čimbenika horizontalne korekcije šumskih cesta, koji iznosi 1,31.

5. Zaključci – Conclusions

Provedene analize terenskih čimbenika pokazale su različitu dostupnost i kvalitetu podataka. Digitalni modeli reljefa dobra su osnova za analizu, ali upotrebom DMR-a veće rezolucije (npr. derivati lidarskih snimaka) porast će točnost rezultata i kvoća analiza.

Poseban oblik površinskih prepreka pri pridobivanju drva, a koje ovdje nisu spomenute, čine prirodna ili izgrađena vodna tijela. Pri pridobivanju drva najčešći štetni utjecaji na vodna tijela očituju se u: 1) oštećivanju obala i korita vodotoka, 2) ispuštanju opasnih tvari (ulje, gorivo ...), 3) eroziji tla te 4) sedimentaciji nepoželjnih tvari u vodne ekosustave. Vodna se tijela pri izvođenju šumskih radova većinom zaštićuju uspostavom zaštitnih zona oko vodotoka. Podatke o (ne)postojanju privremenih, stalnih i povremenih vodnih tijela svakako bi trebalo uključiti u buduća istraživanja razredbi terena.

U razredbama terena često nema podataka o nosivosti šumskoga tla tijekom godine, koja ovisi o granulometrijskom sastavu i trenutačnoj vlazi tla. Upotrebom podataka o načinu vlaženja tla te riziku od erozije tla pokušalo se olakšati postupak planiranja pridobivanja drva. U budućnosti će se svakako morati voditi računa i o 1) razvoju jednostavnih mjerila koja dovoljno dobro opisuju nosivost šumske podloge, 2) povezivanju podataka parametara nosivosti šumskoga tla s dugoročnim praćenjem klimatoloških elemenata, 3) povezivanju nosivosti šumskoga tla s ekoindikatorima (pridolazak higrofitu u šumskim fitocenoza) te o 4) izradi razredbe nosivosti tla prikladnoj za širok raspon uvjeta hrvatskoga šumarstva. Na razini Europske unije *European Soil Data Centre* (ESDAC) bavi se prikupljanjem i prikazom značajki tla i terenskih čimbenika, ali u većini slučajeva za Republiku Hrvatsku nema dostupnih podataka. S obzirom na to da značajke šumskoga tla (prodirna značajka, smična čvrstoća i trenutačna vlaga tla) upućuju na ovisnost o klimatskim prilikama tijekom godine, poznavanje načina

vlaženja tla odnosno kretanja i zadržavanja vode u tlu omogućit će pravodobno planiranje izvođenja radova na pridobivanju drva, gdje nosivost tla ima važnu ulogu s ekološkoga, ekonomskoga i tehničkoga gledišta obavljanja radova.

Provedene analize na uzorcima šumskih cesta pokazale su da se u području nizinskih šuma hrasta lužnjaka i poplavnih šuma šumske ceste potpuno razlikuju u odnosu na značajke prometnica drugih bioklimata, dok su ceste jelovih, bukovo-jelovih i smrekovich šuma po proučavanim parametrima najzahtjevnije. Analize šumskih cesta po pojedinom bioklimatu treba promatrati u sklopu ostalih terenskih čimbenika, kao što su stjenovitost terena te stvarni rizik od erozije tla vodom, koji će svoj utjecaj, uz nagib terena, pokazati prilikom planiranja budućih trasa šumskih cesta. Rezultati analiza oblika primarnih šumskih prometnica različitih bioklimata mogu olakšati postupke planiranja izgradnje šumskih prometnica s obzirom na to da se može predvidjeti očekivani stupanj težine razvoja budućih trasa i pretpostaviti potrebna duljina prometnice za povezivanje kardinalnih točaka (linijski spoj dviju točaka \times koeficijent).

Korištenje bioklimata ili vegetacijskih indikatora radi planiranja pridobivanja drva kroz razredbu terena u Hrvatskoj još uvijek nije zaživjelo. Povezivanjem navedenih značajki terena započeto je stvaranje primjenjive razredbe terena za uvjete hrvatskoga šumarstva kao važnom logičkom alatu pri gospodarenju šumama, planiranju radova u šumarstvu te provedbi radova u pridobivanju drva i otvaranju šuma.

6. Literatura – References

- Ballou, R. H., H. Rahardja, N. Sakai, 2002: Selected country circuit factors for road travel distance estimation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(9): 843–848. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(01\)00044-1](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(01)00044-1)
- Berkett, H., R. Visser, 2012: Measuring Slope of Forestry Machines on Steep Terrain. *Harvesting Technical Note HTN05-02*. Future Forests Research Limited, Rotorua, New Zealand, 7 p.
- Bertović, S., 1987: Reljef, podneblje i vegetacijski pokrov. *Šumarski list*, 111(7–9): 366–389.
- Bertović, S., 1999: Reljef i njegova prostorna raščlamba. *Šumarski list*, 123(11–12): 543–563.
- Blagojević, B., R. Jonsson, R. Björheden, E.-A., Nordström, O. Lindroos, 2019: Multi-criteria decision analysis (MCDA) in forest operations – an introductory review. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 40(1): 191–205.

- Bogunović, M., Ž. Vidaček, Z. Racz, S. Husnjak, M. Sraka, 1997: Namjenska pedološka karta Republike Hrvatske i njena uporaba. *Agronomski glasnik: Glasilo Hrvatskog agronomskog društva*, 59(5–6): 363–399.
- Bojanin, S., 1980: Problemi klasifikacije šumskih terena. *Mehanizacija šumarstva*, 5(5–6): 179–187.
- Bumber, Z., 2011: Primjena GIS-a pri analizi otvorenosti G.J. Šiljakovačka dubrava II kroz strukturu prihoda drva u prostoru i vremenu. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–139.
- Bygdén, G., 2012: GIS for Operative Support. In: Okia CA (ed.) *Global Perspectives on Sustainable Forest Management*. IntechOpen Limited, London, UK, pp. 217–222.
- Čavlović, J., 2010: Prva nacionalna inventura šuma Republike Hrvatske. Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva Republike Hrvatske i Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1–300.
- Đuka, A., 2014: Razvoj modela prometnosti terena za planiranje privlačenja drva skiderom. Doktorski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–303.
- 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. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 34(1):43–60.
- Enache, A., M. Kühmaier, R. Visser, K. Stampfer, 2016: Forestry operations in the European mountains: a study of current practices and efficiency gaps. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31(4): 412–427. <https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1130849>
- Gregory, J. T., P. E., 2013: Roadway Horizontal Alignment Design. A SunCam online continuing education course, 1–43.
- HKIŠDT, 2015: Smjernica za izradu Elaborata radilišta za radove u šumarstvu. Hrvatska komora inženjera šumarstva i drvne tehnologije, 1–9. (www.hkisdt.hr)
- Husnjak, S., 2000: Procjena rizika erozije tla vodom metodom kartiranja u Hrvatskoj. Doktorski rad, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Kastriis, A., 2020: Impact of forest roads on hydrological processes. *Forests*, 11(11), 1201. <https://doi.org/10.3390/f11111201>
- Kim, T., Y. Shin, J. Lee, K. Suh, 2013: Calculation of regional circuitry factors using road network distance in South Korea. *Journal of Korea Planners Association*, 48: 319–329.
- Kisić, I., 2017: Erozijska vjetrom. *Hrvatske vode*, 25(99): 1–12.
- Knežević, I., S. Sever, 1992: Računalom podržano određivanje optimalne gustoće traktorskih vlaka pri stalnoj gustoći kamionskim cesta. *Mehanizacija šumarstva*, 17(3–4): 41–51.
- Kühmaier, M., K. Stampfer 2010: Development of a multi-attribute spatial decision support system in selecting timber harvesting system. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 31(2): 75–88.
- Kweon, H., 2019: Comparisons of estimated circuitry factor of forest roads with different vertical heights in mountainous areas, Republic of Korea. *Forests*, 10(12), 1147. <https://doi.org/10.3390/f10121147>
- Laschi, A., F. Neri, N. Brchetti Montorselli, E. A. Marchi, 2016: Methodological approach exploiting modern techniques for forest road network planning. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 37 (2): 319–331.
- Laurance, W. F., J. Sayer, K. G. Cassman, 2014: Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. *Trends in Ecology and Evolution*, 29: 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.12.001>
- Levinson, D., A. El-Geneidy, 2009: The minimum circuitry frontier and the journey to work. *Regional Science and Urban Economics*, 39(6): 732–738. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2009.07.003>
- Löffler, H. J., 1984: Terrain classification for forestry. Report TIM/EFC/WP1/R.51, 24 August 1984, EU Timber Committee and FAO-ILO, 1–55.
- Lubello, D., 2008: A rule based SDSS for integrated forest harvesting planning. Disertacija, Università degli studi di Padova, Padova, 1–213.
- McDaniel, M. W., T. Nishihata, C. A. Brooks, P. Salesses, K. Iagnemma, 2012: Terrain classification and identification of tree stems using ground-based LiDAR. *Journal of Field Robotics*, 29(6): 891–910.
- Mellgren, P. G., 1980: Terrain Classification for Canadian Forestry. FERIC, 1–13.
- O'Sullivan, S., J. Morrall, 1996: Walking distances to and from light-rail transit stations. *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, 1538: 19–26. <https://doi.org/10.1177/0361198196153800103>
- Owende, P. M. O., J. Lyons, R. Haarlaa, A. Peltola, R. Spinelli, J. Molano, S. M. Ward, 2002: Operations protocol for Eco-efficient Wood Harvesting on Sensitive Sites. Project ECOWOOD, Funded under the EU 5th Framework Project (Quality of Life and Management of Living Resources). Contract No. QLK5-1999-00991 (1999–2002), 1–74.
- Pentek, T., I. Potočnik, Z. Jurušić, K. Lepoglavec, 2012: Strategic planning of forest road network in Croatia – analysis of present situation as basis for future activities. *Symposium on Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment*, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, CD-ROM.
- Pentek, T., H. Nevečerel, T. Ecimović, K. Lepoglavec, I. Papa, Ž. Tomašić, 2014: Strategijsko planiranje šumskih prometnica u Republici Hrvatskoj – raščlamba postojećega stanja kao podloga za buduće aktivnosti. *Nova mehanizacija šumarstva*, 35: 63–78.
- 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>

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>

Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710 pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske. Doktorski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–170.

Poršinsky, T., I. Stankić, A. Bosner, 2011: Ecoefficient timber forwarding based on nominal ground pressure analysis. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(1): 345–356.

Poršinsky, T., T. Pentek, A. Đuka, 2014: Opisna i namjenska klasifikacija terena za pridobivanje drva i otvaranje šuma. Studija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–64.

Saarilahti, M., 2002a: Dynamic terrain classification – Modelling of the seasonal variation of the trafficability on forest sites. Soil interaction model. Development of a protocol for ecoefficient wood harvesting on sensitive sites (Ecowood), Appendix report, no. 1, 1–22.

Saarilahti, M., 2002b: Modelling of the wheel and soil. Soil interaction model. Development of a protocol for ecoefficient wood harvesting on sensitive sites (Ecowood), Appendix report, no. 8, 1–37.

Sidle, R. C., A. D. Ziegler, 2012: The dilemma of mountain roads. *Nature Geoscience*, 5: 437–438.

Silversides, C. R., U. Sundberg, 1988: Operational Efficiency in Forestry – Volume 1: Analysis. Kluwer Academic Publishers – Forest Sciences, Dodrecht/Boston/Lancaster, 1–219

Soulis, K. X., N. Dercas, C. H. Papadaki, 2015: Effects of forest roads on the hydrological response of a small-scale mountain watershed in Greece. *Hydrological Processes*, 29: 1772–1782. <https://doi.org/10.1002/hyp.10301>

Talbot, B., P. Tarp, M. Nitteberg, 2014: Selecting an appropriate excavatorbased yarder concept for Norwegian conditions through analytic hierarchy process. *International Journal of Forest Engineering*, 25(2): 113–123. <https://doi.org/10.1080/14942119.2014.904616>

Tavankar, F., A. Bonyad, E. Marchi, R. Venanzi, R. Picchio, 2015: Effect of logging wounds on diameter growth of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) trees following selection

cutting in Caspian forests of Iran. *New Zealand Journal of Forest Science*, 45, 19. <https://doi.org/10.1186/s40490-015-0052-9>

Tavankar, F., M. Nkkooy, R. Venanzi, A. Lo Monaco, R. Picchio, 2018: Study of forest road effect on tree community and stand structure in three Italian and 1 Iranian temperate forests. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39(1): 57–70.

Tomašić, Ž., 2012: Razvoj tehnologije i tehničkih sredstava u pridobivanju drva s obzirom na posebnosti šuma i šumarstva u Republici Hrvatskoj. *Nova mehanizacija šumarstva*, 33: 53–67.

Vidaček, Ž., M. Bokunović, S. Husnjak, M. Sraka, A. Bensa, 2003: Hidropedološka karta RH mjerila 1:300.000 u digitalnom obliku. Zavod za pedologiju Agronomskog fakulteta u Zagrebu.

Visser, R., H. Berkett, 2015: Effect of terrain steepness on machine slope when harvesting. *International Journal of Forest Engineering*, 26(1): 1–9. <https://doi.org/10.1080/14942119.2015.1033211>

Visser, R., K. Stampfer, 2015: Expanding Ground-based Harvesting onto Steep Terrain: A Review. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 36(2): 321–331.

Vukelić, J., Đ. Rauš, 1998: Šumarska fitocenologija i šumske zajednice u Hrvatskoj. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–310.

Vukelić, J., S. Mikac, D. Baričević, D. Bakšić, R. Rosavec, 2008: Šumska staništa i šumske zajednice u Hrvatskoj – Nacionalna ekološka mreža. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, 263 str.

Ward, S. M., P. M. O. Owende, 2003: Development of a protocol for eco-efficient wood harvesting on sensitive sites. Proceedings of the 2nd International Scientific Conference »Forest and Wood-Processing Technology vs. Environment – Fortechenvi Brno 2003«, May 26 – 30, 2003, Brno, Czech Republic, Mendel University of Agriculture and Forestry Brno & IUFRO WG 3.11.00, p. 473–482.

Zhang, Q., 2005: Road network generalization based on connection analysis. In *Developments in spatial data handling* (pp. 343–353). Springer, Berlin, Heidelberg.

** Pravilnik o provedbi mjere M04 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz Programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 106/15, 65/17, 77/17).

Abstract

Analysis of Terrain and Stand Characteristics as a Basis for Planning Operations of Timber Harvesting and Forest Accessibility

Terrain and stand characteristics of the commercial state and private forests were investigated according to the available spatial data with the aim of forming the basis for terrain classification for timber harvesting operations and determination of forest accessibility. Four economically most important forest types, i.e. bioclimates, were singled out and presented: 1) mountainous fir, beech-fir and spruce forests, 2) submountainous beech forests, 3) sessile oak forests of hilly terrain and 4) common oak and floodplain forests. The following terrain and stand characteristics were determined for each bioclimate: 1) terrain slope and stoniness (surface coverage), 2) soil moisture and risk of soil erosion by water, 3) wood stock, 4) forest road circuitry, and 5) the average geometric timber extraction distance as an indicator of forest accessibility. The conducted analyses of the forest road network indicated that there are statistically significant differences between the forest road network in bioclimate of common oak and floodplain forests and the bioclimate of sessile oak forests of hilly terrain when compared to other bioclimates. The analysis of forest road network in each bioclimate should be considered with other terrain factors, such as terrain stoniness and the real risk of soil erosion by water, which will show their influence, along with the terrain slope, when planning future forest road routes. Establishing the relationship between terrain characteristics was the start for creating an applicable terrain classification for the Croatian forestry, as an essential logical tool for forest management and planning of forest operations, especially wood harvesting and forest accessibility.

Keywords: terrain classification, bioclimates, forest road circuitry

Adrese autorâ – Authors' addresses:

David Janeš, mag. ing. silv.
e-pošta: david.janes@sumfak.unizg.hr
Doc. dr. sc. Ivica Papa*
e-pošta: ivica.papa@sumfak.unizg.hr
Doc. dr. sc. Maja Moro
e-pošta: maja.moro@sumfak.unizg.hr
Ivan Žarković, mag.ing.silv.
e-pošta: ivan-zarkovic@sumfak.unizg.hr
Prof. dr. sc. Tibor Pentek
e-pošta: tibor.pentek@sumfak.unizg.hr
Prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky
e-pošta: tomlav.porsinsky@sumfak.unizg.hr
Doc. dr. sc. Andreja Đuka
e-pošta: andreja.duka@sumfak.unizg.hr
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Svetošimunska 23
10000 Zagreb
HRVATSKA

Primljeno (Received): 13. 10. 2021.

Prihvaćeno (Accepted): 8. 11. 2021.

* Glavni autor – Corresponding author