

PRIMJENA FIELD-MAP TEHNOLOGIJE ZA POTREBE UZGOJNE ANALITIKE U VJEŠTAČKI PODIGNUTOJ SASTOJINI CRNOG BORA NA PODRUČJU SLATINE

APPLICATION OF FIELD-MAP TECHNOLOGY FOR NEEDS OF SILVICULTURE ANALYTICS IN CULTIVATED FOREST OF BLACK PINE IN THE AREA OF SLATINA

Zoran Govedar^{1*}, Srđan Bilić¹

¹ Univerzitet u Banjoj Luci, Šumarski fakultet, Stepe Stepanovića 75A, Banja Luka, Bosna i Hercegovina
* e-mail: zoran.govedar@sf.unibl.org; srdjo.redbull@gmail.com

Izvod

Istraživanje je vršeno u vještački osnovanoj sastojini crnog bora koja pripada šumi posebne namjene u okviru park-šume Slatina. U radu je izvršeno prikupljanje podataka primjenom Field-Map tehnologije, koja je omogućila uzgojnu analizu osnovnih i pomoćnih elemenata strukture sastojine. Posebno je kreirana baza za prikupljanje podataka koja se odnosi na dendrometrijske karakteristike stabala i uzgojnu klasifikaciju. Analizom teksture sastojine na osnovu vizualizacije i mapiranja Field-Map tehnologijom izdvajana su stabla budućnosti u skladu sa njihovim karakteristikama i potrebama prostornog rasporeda. Vizualizacijom sastojine na osnovu horizontalnih i vertikalnih projekcija olakšano je praćenje promjene u sastojini nakon izvršene doznake stabala, odnosno uzgojnih zahvata. Prednost primjene Field-Map tehnologije u odnosu na tradicionalne metode prikupljanja i obrade podataka je u preciznosti, brzini obrade i smanjenim troškovima. Na osnovu dobijenih rezultata analize definisane su optimalne uzgojne mjere (prorede) u sastojini i modelovane različite uzgojne situacije nakon doznake stabala.

Cljučne riječi: crni bor, Field-Map, šuma posebne namjene, uzgojna analitika

1. UVOD / INTRODUCTION

Savremena tehnologija i instrumenti u šumarstvu imaju sve veću primjenu kod utvrđivanja stanja šuma, obrade i analize prikupljenih terenskih podataka. To je posljedica inovacija u oblasti informatike, tj. primjene hardvera i softvera koji olakšavaju, ubrzavaju, preciziraju i pojednostinjuju rad. Trendovi inovativnih rješenja u šumarstvu razvijaju se na nivou daljinske detekcije i snimanja iz vazduha pomoću dronova ili kombinacijom satelitskih snimaka i snimaka iz dronova i aviona te te-

restičkih snimanja. Svaka komponenta ima svoje prednosti, a naglo se razvijaju upravo zbog razvoja informatike i digitalne tehnologije. Tako se i kod terestičkih mjerenja koriste savremeni instrumenti koji se intenzivno obogaćuju novim instrumentima i programima, gdje spada i Field-Map (FM) tehnologija (www.fieldmap.cz). Ona se počela razvijati kao kompjuterizovana mobilna oprema u Češkoj na Institutu za istraživanje šumskih ekosistema (*Institute of Forests Ecosystem Research – IFER*)¹

¹ Prva praktična primjena Field-Map tehnologije u Republici Srpskoj i Bosni i Hercegovini je počela na Katedri gajenja šuma na Šumarskom fakultetu u Banjoj Luci u master radu „Uticaj stepena sklopa na prirodno podmlađivanje mješovitih sastojina jele i smrčice na području Sitnice“ (Petković, 2016). U organizaciji češkog Instituta za istraživanje šumskih ekosistema (IFER - Institute of Forest Ecosystems Research, Monitoring and Mapping) od 14.05.2014. do 16.05.2014. godine organizovana je obuka za nastavnike i saradnike Šumarskog fakulteta iz Banje Luke u radu sa Field-Map tehnologijom za potrebe gajenja šuma.

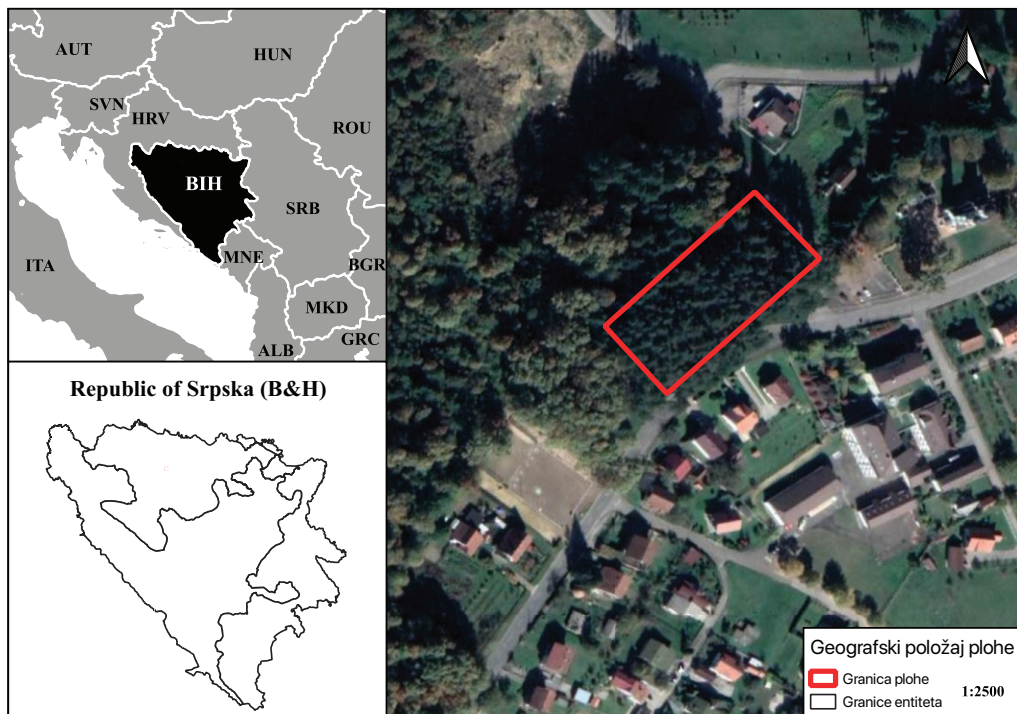
1999. godine. Ova oprema je veoma fleksibilna jer omogućava terenska mjerenja dendrometrijskih elemenata stabala i obradu uz mapiranje pomoću GIS tehnologije. FM kombinuje GIS tehnologiju sa elektronskom opremom za kartiranje i taksaciona mjerenja, te omogućava georeferenciranu grafičku vizualizaciju raznih taksacionih elemenata u realnom vremenu pomoću uređaja koji su direktno povezani s računarom (Mattioli et al., 2009). Njegova upotreba počinje od nivoa premjera pojedinačnih stabala (Nieuwenhuis et al., 2008), zatim premjera inventurnih ploha (Brovkina et al., 2018), obrade statističkih podataka (Ståhl et al., 2012), pa sve do nivoa predjela i većih površina. Instrument je dizajniran prevashodno za potrebe šumskih inventura, ali je funkcionalan za brojne druge terenske zadatke, kao što su šumska kartiranja, opis šumskih sastojina za potrebe planiranja gazdovanja šumama, praćenje emisije ugljen-dioksida, mapiranje predjela, procjenu zapremine sastojina, mjerenja na istraživačkim površinama (Brovkina et al., 2018), inventure i monitoring prirodnih rezervata (Černý et al., 2006). Field-Map je prvenstveno namijenjen za potrebe šumskih nacionalnih inventura i predstavlja jedinstveno softversko i hardversko rješenje. Zapravo, ideja koja se krije iza FM jeste kontinuirani razvoj softverskog proizvoda koji je dovoljno fleksibilan da pokrije sve zahtjeve različitih metodologija šumskih nacionalnih inventura (npr. razlike u metodikama među državama). Drugi jako važan aspekt u vezi sa FM jeste podrška višestrukom timskom radu. Kao primjer navodi se velika šumska inventura u Ruskoj Federaciji u kojoj je učestvovalo skoro 300 Field-Map timova (Tomppo et al., 2010). Danas se koristi u 35 zemalja svijeta na svim kontinentima za potrebe inventure šuma. Osnovne prednosti koje karakterišu Field-Map su: veća tačnost mjerenja, direktno i brzo skladištenje podataka u baze, manje greške zbog automatske kontrole unosa podataka, veća brzina i tačnost obrade i znatno manji troškovi. Uzgojna analitika pomaže u korišćenju više „egzaktnog“ na račun uglavnom primjenjivanog „impresivnog“, odnosno, ona podrazu-

mijeva, između ostalog, numeričke parametre kao orijentacione pokazatelje pri izvođenju uzgojnih radova (Jevtić, 1992; Krstić, 1997). Za potrebe šumskouzgojne analitike FM se koristi u cilju detaljne analize stabala i sastojina (struktura i tekstura), a posebno je koristan za istraživački rad na stalnim i privremenim oglednim površinama. Precizno prikupljanje i obrada podataka na terenu u šumi i vizualizacija znatno olakšavaju i ubrzavaju definisanje šumskouzgojnih osobina sastojina i donošenje odluka o uzgojnim mjerama. Field-Map je baziran na efikasnoj upotrebi elektronskih ili tradicionalnih mjernih uređaja kao što su laserski daljinomjer, elektronski kompas, GPS i elektronska (digitalna) prečnica. Jednostavna kombinacija mjernih uređaja, skladištenje i brza obrada podataka na terenu omogućavaju maksimalno korišćenje tehnologije ovog instrumenta. FM u stvari predstavlja veliku bazu podataka koja se lako može kombinovati i obrađivati u raznim programima (Excel, Statistica, SPSS, GIS i dr.), te tako olakšati i unaprijediti analizu strukture i teksture sastojina u cilju donošenja uzgojnih odluka.

Prema podacima iz važećih šumskoprivrednih osnova, šumske kulture u Republici Srpskoj zauzimaju površinu 47 771,38 ha, a na kulture crnog bora otpada 6754,18 ha ili 14,1%, dok kulture crnog bora i liščara zauzimaju 2716,81 hektara ili 5,7%. Osnovne karakteristike šumskih kultura su uzgojna zapuštenost i prepuštenost spontanom razvoju. Ipak, u blizini urbanih sredina osnivane su šumske kulture u okviru kategorije šuma posebne namjene, najčešće kao park-šume koje su očuvane i imaju naglašenu zdravstvenu i turističko-rekreativnu funkciju. Zadatak ovoga rada je da se primjenom FM tehnologije na osnovu konkretnih mjerenja i nakon obrade na terenu rezultati o strukturi sastojine koriste za potrebe uzgojne analitike i definisanje uzgojnih mjera. Cilj rada je da se u sastojini primijeni FM korišćenjem svojih hardverskih i softverskih mogućnosti za pojedinačna stabla i sastojinu, te ukaže na mogućnost primjene za potrebe uzgojne analitike.

2. OBJEKAT I METOD RADA / MATERIAL AND METHODS

Istraživanja su vršena u vještački podignutoj sastojini² crnog bora koja se nalazi u neposrednoj blizini Banje Luke, udaljena oko 12 kilometara u pravcu sjeveroistoka u mjestu Slatina (Slika 1).



Slika 1. Geografski položaj objekta istraživanja / Figure 1. Geographical position of the research object

Vještački osnovana sastojina crnog bora nalazi se na blago nagnutom terenu (5%) i na nadmorskoj visini oko 210 m, a prema *World Geodetic System 1984* (WGS 84) geodetska širina je $\varphi = 44,824676$ i geodetska dužina $\lambda = 17,296151$. Sastojina površine 1,70 ha dio je park-šume „Slatina” (35,73 ha), koja je proglašena zaštićenim šumskim kompleksom, i njome upravlja Zavod za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju „Dr Miroslav Zotović”. Najveći dio park-šume čine visoke šume bukve i hrasta kitnjaka, koje zauzimaju površinu od 28,02 ha ili 84,90% kompleksa. Park-šume su posebna kategorija šuma u kojima je rekreaciona funkcija manji dio njene ukupne socijalne funkcije. Obično je to dio (pojas) šume u neposrednoj blizini naselja (Vyskot & Reh, 1983). Park-šuma predstavlja idealno mjesto za odmor i

rekreaciju kako za korisnike banjškog kompleksa tako i za stanovnike naselja Slatina, te spada u zaštićeno područje sa održivim korišćenjem prirodnih resursa – kategorija VI – park-šuma (Kovačević et al., 2016). Sastojina je osnovana 1950. godine (starost 70 godina) na smeđem zemljištu nastalom na dijabaz-rožnjačkoj formaciji ofiolitskog melanža (od pješčara, glinaca, rožnjaka, serpentinita, peridotita, gabra, amfibolita, dijabaza i spilita). Prema tablicama prirasta i prinosa (Wiedemann, 1943), sastojina pripada I bonitetu. Prema podacima o prosječnoj godišnjoj temperaturi i padavinama za period 2003–2019. godine iz najbliže meteorološke stanice u Banjoj Luci, koja se nalazi na 153 m nadmorske visine, obradom podataka metodom Thornthwait-Matter (1956) utvrđeno je da je

² Vještačkim putem (antropogeno) podignute sastojine su sastojine koje se nalaze u razvojnoj fazi od trenutka sklapanja kruna do kraja proizvodnog procesa, tj. od vremena kada treba provoditi identične mjere njege kao i kod prirodno nastalih sastojina (Jovanović, 1972; Krstić i Stojanović, 1994; Aleksić i Krstić, 1996).

klima pojačano humidna (indeks klime 71,8) sa prosječnom temperaturom 12,3 °C i godišnjom količinom padavina 1035 mm. Prema ekološko-vegetacijskoj rejonizaciji (Stefanović et al., 1983), sastojina se nalazi u pripanonskoj oblasti i sjeverozapadnom bosanskom području. Prema potencijalnoj vegetaciji, sastojina se nalazi u okviru klimatogene zajednice kitnjaka i običnog graba (*Quercus-Carpinetum illyricum*). U vještački osnovanoj sastojini na njenim ivicama, rubno, javljaju se bukva, hrast, klen i trešnja.

Prikupljanje podataka je vršeno na oglednoj površini oblika pravougaonika (50 x 100 m) i površine 0,5 ha pomoću Field-Map tehnologije, koja podržava širok spektar elektronskih mjernih uređaja, a najvažniji dio je kombinacija laserskog daljinomjera sa relaskopom i inklinometrom (*Impulse 200 LR Rangefinder*) i uglovnog enkodera (*MapStar TruAngle*). Sastavni dio instrumenta je računar Armor X10gf (Slika 2), u kojem su instalirani programi za prikupljanje i obradu podataka.



Slika 2. Field-Map uređaj (a) i njegova primjena (b) u vještački osnovanoj sastojini crnog bora - Slatina / **Figure 2.** Field-Map device (a) and its application (b) in an artificially established stand of black pine - Slatina (© S. Bilić)

Georeferenciranje ogledne površine vršeno je pomoću GPS (*Geographic Position System*) i FM primjenom laserskog daljinomjera i uglovnog enkodera. Field-Map u potpunosti koristi lasersku tehnologiju i elektronske uređaje za trodimenzionalno prikazivanje strukture sastojina, a GPS se koristi za navigaciju i kartiranje. To je jedini softverski proizvod koji podržava optički okvir za mjerenje udaljenih prečnika stabala na bilo kojoj visini stabla, kao i mjerenje profila čitavog stabla, a dodatna oprema (npr. elektronska prečnica) takođe može biti korišćena.

Prikupljanje podataka vršeno je uz prethodno kreiranje projekta FMPM (*Field Map Project Manager*), a podaci su skladišteni u FMDC (*Field Map Data Collector*). Neke od karakteristika FMDC-a su:

- Mapiranje površina pomoću GPS-a, laserskog daljinomjera ili crtanje olovkom na tabletu;
- Importovanje digitalnih mapa i podataka (topografske karte, ESRI datoteke, XLM datoteke i sl.);
- Detaljno dendrometrijsko mjerenje (horizontalne i vertikalne projekcije kruna, analiza zapremine, analiza visina i dr.);

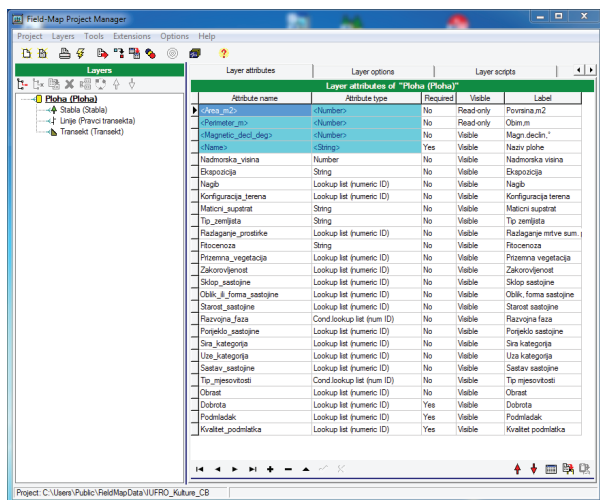
- Mapiranje mrtvog drveta na zemlji;
- Provjera valjanosti podataka i dr.

Nakon pripremljene strukture baze podataka (FMPM), vršeno je prikupljanje podataka na terenu pomoću FMDC, koji automatski podržava terenske elektronske mjerne uređaje (GPS, laserski daljinomjer sa relaskopom, elektronski inklinometar i uglovni enkoder).

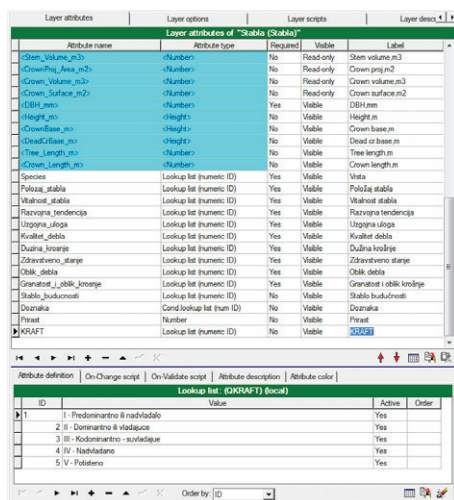
Kontinuiranim georeferenciranjem omogućeno je slobodno kretanje unutar ogledne površine. Rad FM zasniva se na preciznom mjerenju obilježja kreiranih u FMPM, a princip rada je takav da laserski zrak u kombinaciji sa uglovnim enkoderom služi za mjerenje udaljenosti i uglova (horizontalnog i vertikalnog), čime se dobija trodimenzionalna koordinata traženog objekta (x, y, z) u pros-

toru. Uz objekat mjerenja, najčešće ispred stabla na visini 1,30 m postavlja se reflektirajući krug, od kojeg se odbijeni laserski zrak vraća do mjernog instrumenta. Izmjerena vrijednost sa mjernih uređaja se prenosi na spojeni terenski računar i podaci se spremaju u ranije pripremljenu bazu FMDC. Tokom prikupljanja podataka na terenu potrebno je izvršiti što više mjerenja sa jedne referentne tačke kako bi se smanjilo vrijeme mjerenja i povećala preciznost.

Pored opštih podataka za oglednu površinu (Slika 3) prema metodici opisa staništa i sastojine (Krstić & Kanjevac, 2016), u FMPM uvršteni su osnovni parametri za svako pojedinačno stablo (sloj „stabla“) sa identifikacionim brojem (ID) od 1 do 207 na oglednoj površini (Slika 4 i Tabela 1).



Slika 3. Osnovni podaci o objektu istraživanja definisani u FMPM / Figure 3. Basic data about the research object defined in FMPM



Slika 4. Baza podataka za atribute sloja „stabla“ u FMDC / Figure 4. Database for attributes of the “tree” layer in FMDC

Za ovaj rad posebno je kreirana baza za automatizaciju IUFRO i uzgojno-tehničke klasifikacije (UT) stabala (Matić, 1965; 1977) na osnovu prethodno mjerenih atributa svakog pojedinačnog stabla (tzv. kondicionali). Na taj način izbjegnuta je subjektivnost ocjene klasa jer su obilježja stabala međusobno uslovljena (Slika 5).

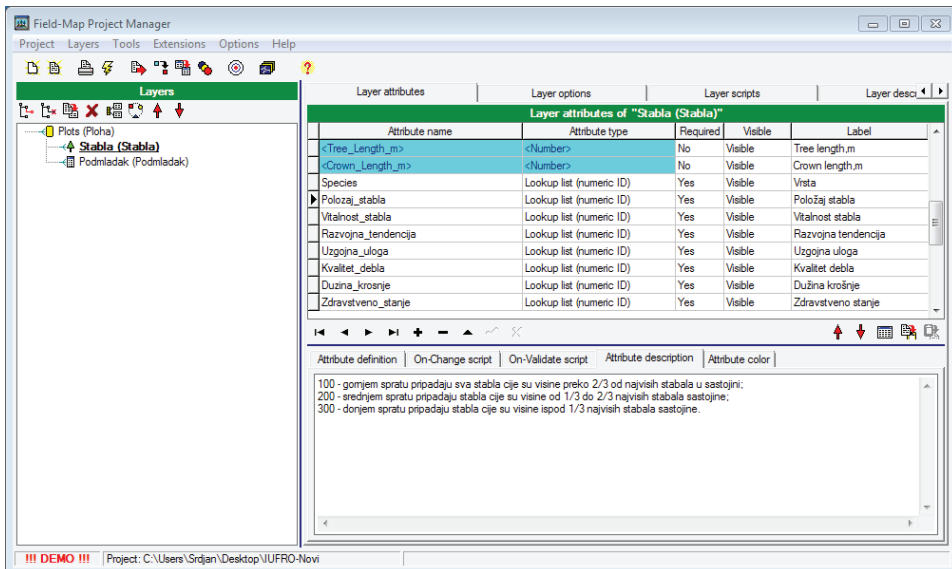
Na osnovu prikupljenih podataka i analize pomoću FM vršen je odabir stabala za sječu (doznaka) kao i izbor stabala budućnosti. Kod iz-

bora stabala budućnosti, pored osobina prve UT klase, odnosno najkvalitetnijih stabala prema IUFRO klasama, značajan uticaj imao je i prostorni raspored tih stabala na oglednoj površini. Standardni formati koji se koriste za skladištenje informacija su ArcWiev za karte, a Paradox, MS Acces ili MS SQL za podatke. FM omogućava korišćenje i prikupljanje različitih tipova podataka, numeričkih, alfanumeričkih, slika, videozapa-ka, zvučnih zapisa i dr.

Tabela 1. Obilježja (atributi) stabala prikupljenih na oglednoj površini pomoću FM / **Table 1.** Characteristics (attributes) of trees collected on the experimental surface using FM

Br.	Parametar (obilježje)	Oznaka	FM
1.	Identifikacioni broj	ID	Automatsko dodjeljivanje
2.	Geografski podaci o stablima (.shp)	X, Y	Lokalni GIS
3.	Nagib stabla (o)	Slant	Inklinometar, uglovni enkoder
4.	Zapremina stabla (m ³)	V	Automatsko preračunavanje
5.	Površina horizontalne projekcije kruna (m ²)	Phk	Automatsko preračunavanje
6.	Zapremina krune (m ³)	Vkr	Automatsko preračunavanje
7.	Površina plašta krune (m ²)	Vpl	Automatsko preračunavanje
8.	Prsni prečnik stabla (mm)	D	Manuelni unos – tablet
9.	Gornji prečnici stabala (mm)	dh	Relaskop (sastavni dio daljinomjera)
10.	Visina mjerenja gornjih prečnika (m)	Hh	Inklinometar
11.	Visina stabla (m)	H	Inklinometar, laserski daljinomjer
12.	Visina baze krune (m)	Hbk	Laserski daljinomjer, uglovni enkoder
13.	Visina baze mrtve krune (m)	Hbmk	Inklinometar
14.	Dužina krune (m)	Lk	Inklinometar
15.	Uzgojno-tehnička klasa	UT	Manuelni unos – tablet (Armor X10gx)
16.	IUFRO klasa	IUFRO	Manuelni unos – tablet

Napomena / Note. Međunarodno udruženje šumarskih istraživačkih organizacija (IUFRO) - numerički klasifikacioni sistem za uzgojnu klasifikaciju stabala usvojen na kongresu u Oksfordu 1953. godine (Leibundgut, 1956; Pintarić, 1984) / International Unit Forest Research Organization (IUFRO) - numerical classification system for tree breeding selection adopted at the Congress in Oxford 1953 (Leibundgut, 1956; Pintarić, 1984)

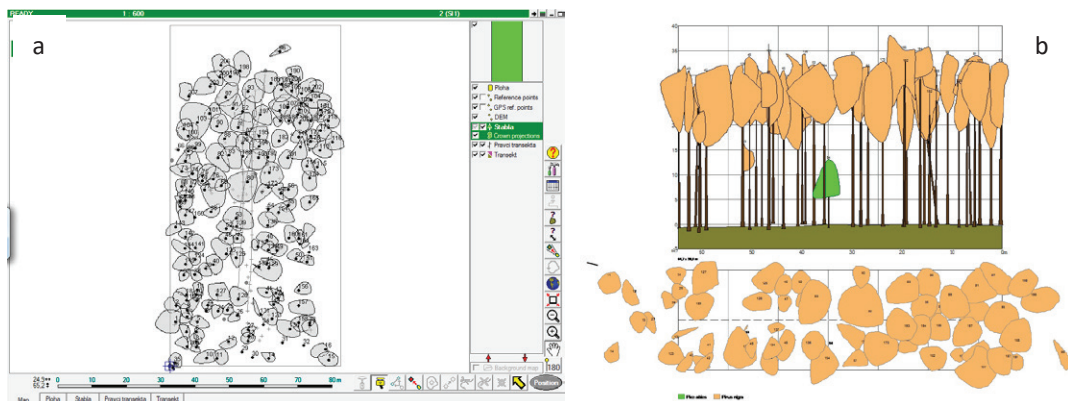

Slika 5. Baza za IUFRO i UT klasifikaciju stabala / **Figure 5.** Base for IUFRO and UT tree classification

3. REZULTATI RADA I DISKUSIJA / RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Analiza prostornog rasporeda stabala, debljinske i visinske strukture sastojine / Analysis of the spatial distribution of trees, and diameter and height structure of the stand

Opšta funkcionalnost mapiranja omogućava digitalizovanje tačaka, linija, poligona i transekata (Slika 6). Mjerenjem niza obilježja stabala u sas-

tojini i njihovim georeferenciranjem u prostoru pomoću FM znatno su unaprijeđene i olakšane mogućnosti analize strukture i teksture sastojine, doznake stabala za sječu, izbor stabala budućnosti, analiza sklopa sastojine prije i nakon sječe stabala, karakterisanje kruna stabala i dr.



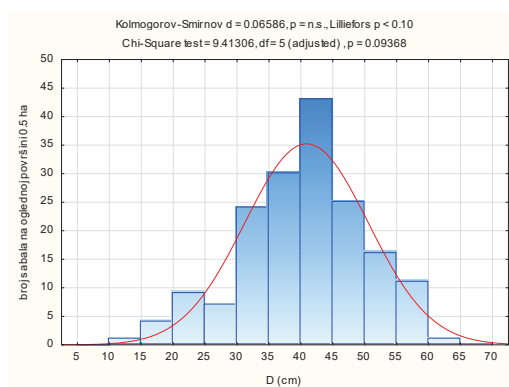
Slika 6. Prostorni raspored stabala (a) i profil sastojine (b) na transektu (65 x 10 m) / Figure 6. Spatial arrangement of trees (a) and stand profile (b) on the transect (65 x 10 m)

Debljinska struktura u FM može se brzo analizirati u distribuciji različitih širina debljinskih razreda i utvrditi srednje stablo po prečniku i temeljnici

(Slika 7). Stvarna distribucija frekvencija broja stabala slična je Gausovoj krivoj, što je osobina tipičnih jednodobnih sastojina (Slika 8).



Slika 7. Debljinska struktura sastojine i dijagram „rasturanja” visina u zavisnosti od prečnika / Figure 7. Diameter structure of the stand and diagram of “scattering” of heights depending on the diameter



Slika 8. Stvarna i teorijska (Gauss) distribucija stabla na ogleđnoj površini / Figure 8. Actual and theoretical (Gauss) distribution of the tree on the experimental surface

Prema osnovnim pokazateljima deskriptivne statistike (Tabela 2) i analize debljinske strukture može se konstatovati da je sastojina strukturno jednodobna sa maksimalnim brojem stabala u debljinskom razredu u kojem se nalazi i srednje sastojinsko stablo. Obradom podataka distribu-

cije frekvencija broja stabala po debljinskim razredima za željenu širinu debljinskih razreda FM daje veličinu temeljnice sastojine (47,4 m²/ha) i broj stabala (342 stabla po hektaru). Srednja visina sastojine prema Lorajevoj funkciji iznosi Hl = 30,7 m, a gornja visina³ Ht = 34,4 m.

Tabela 2. Deskriptivna statistika za prečnike stabala na oglednoj površini (P = 0,5 ha) / **Table 2.** Descriptive statistics for tree diameters on the experimental area (P = 0.5 ha)

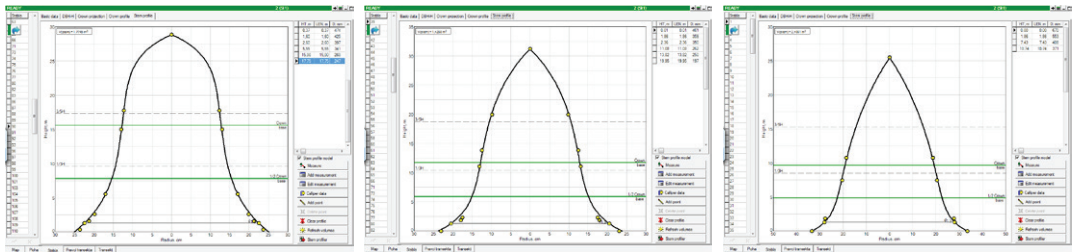
N	\bar{d} (cm)	Med. (cm)	Mod (cm)	Min. (cm)	Max. (cm)	SD (cm)	Se (cm)	Kv (%)
171	40,9	42,0	42,0	15,0	65,0	9,6	0,7	23,7

Napomena / Note. N – broj stabala na oglednoj površini; \bar{d} – prosta aritmetička sredina prečnika stabala na oglednoj površini; SD – standardna devijacija; Kv – koeficijent varijacije; Se – standardna greška procjene / N - number of trees at sample plot; \bar{d} - simple arithmetic mean of diameter of the trees in sampe plot; SD - standard deviation; Kv - coefficient of variation; Se - standard estimation error

3.2. Zapremina sastojine / Stand volume

Alometrijski modeli profila stabla u FM koriste se za direktno izračunavanje zapremine vretena

stabla, pa je mjerenjem serije gornjih prečnika debla stabala na oglednoj površini (Slika 9) utvrđivana zapremina krupnog drveta vretena stabla.



Slika 9. Profili vretena stabala (slijeva nadesno) ID 90, ID 39 i ID 1 / **Figure 9.** Tree spindle profiles (from left to right) ID 90, ID 39 and ID 1

Promjene oblika debla stabala tokom njegovog rasta nastaju, između ostalog, i zbog njihovog položaja i konkurentskog odnosa među stablima. Analiza u FM omogućava utvrđivanje stepena punodrvnosti i koeficijenta vitkosti stabala,

grupisanje stabala prema izgledu profila debla i ocjenu uzgojnog kvaliteta stabala. Kod mjerenja gornjih prečnika u FM na određenoj visini stabla (1) i za izračunavanje zapremine stabla (2) koriste se funkcije (Reimer et al., 1995):

$$d_h = 2 \left[\frac{i}{1 - e^{q(1,3-H)}} + \left(\frac{d_{1,3}}{2} - i \right) \left(1 - \frac{1}{e^{p(1,3-H)}} \right) + \frac{\left(\frac{d_{1,3}}{2} - i \right) e^{1,3p}}{1 - e^{p(1,3-H)}} e^{-ph} - \frac{ie^{-qH}}{1 - e^{q(1,3-H)}} e^{qh} \right] \quad (1)$$

$$v = p_0 + p_1 d_{1,3}^{p_2} H^{p_3} \quad (2)$$

d_h – prečnik stabla (cm) na visini h (m)
 H – visina stabla (m)
 v – zapremina stabla (m³)

$d_{1,30}$ – prsni prečnik stabla (cm)
 $i, p, q, p_0, p_1, p_2, p_3$ – parametri modelnih funkcija karakteristični za vrste drveća (Reimer et al., 1995)

³ Gornja visina (Ht) u ovom istraživanju je 90. percentil svih izmjerenih visina stabala na oglednoj površini. Korišćena je kao modifikacija dominantne visine, koju je među prvim istraživačima definisao Wiese W. 1880. godine (Klepac, 1963). Korišćenjem 90. percentila isključuje se uticaj ekstrema, koji kod relativno malih uzoraka može uzrokovati greške u analizi podataka. U slučaju normalne raspodjele, ovako se izbjegavaju greške mjerenja visina, stabla sa oštećenim vrhom i sl.

U slučaju da iz objektivnih razloga nije moguće mjeriti gornje prečnike stabala (u sastojini takvih stabala bilo je 84 ili 49,1%), za izračunavanje njihove zapremine korišćena je Schumacher–Hallova funkcija sa odgovarajućim parametrima za crni bor i smrču (softver „Osnova za obradu podataka inventure šuma Republike Srbije”, 2006). Zapremina stabla alternativno može da bude izračunata na osnovu postojećih zapreminskih tablica i modela sa odgovarajućim parametrima za različite vrste drveća ako se instaliraju u FM softver upisivanjem u FM scripting. Na taj način se automatski računa zapremina stabala na osnovu prsnih prečnika i visina stabala, a podaci se skladište u prethodno definisane datoteke.

Ukupna zapremina krupnog drveta sastojine koja se odnosi na vretena stabala, izračunata kombinacijom FM i Schumacher–Hallove funkcije, iznosi 661,56 m³/ha (zapremina stabala crnog bora Vcb = 655,46 m³/ha i zapremina stabala smrče Vsm = 6,1 m³/ha). S obzirom na to da je učešće smrče u ukupnoj zapremini sastojine izrazito malo (svega 0,92%), sastojina je okarakterisana kao vještački osnovana jednodobna sastojina crnog bora. Zapremina sastojine dobijena korišćenjem samo Schumacher–Hallovih funkcija veća je za 23,66 m³/ha od zapremine dobijene kombinacijom pomoću FM i Schumacher–Hallove funkcije (Tabela 3). Pretpostavka je da se veća tačnost kod izračunavanja zapremine sastojine dobija primjenom FM, naročito ako se mjeri više gornjih prečnika stabala.

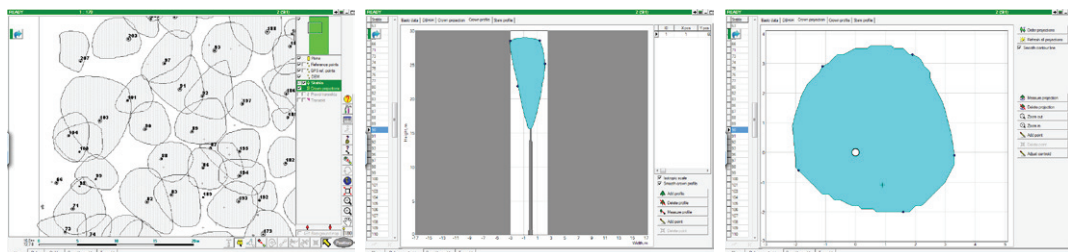
Tabela 3. Zapremina sastojine (krupno drvno vretena stabla) / **Table 3.** Stand volume (large wood spindle tree)

Br.	Način izračunavanja zapremine	Zapremina m ³ /ha		
		Crni bor	Smrča	Ukupno
1.	Field-Map i Schumacher–Hallove f-je	655,46	6,10	661,56
2.	Schumacher–Hallove f-je	679,12	6,10	685,22

3.3 Sklop i vertikalni profil sastojine / Canopy and vertical profile of the stand

Struktura šumskih otvora odnosno sklopa sastojine primjenom FM omogućena je kartiranjem horizontalnih projekcija i vertikalnih profila kruna, a površina projekcija kruna te površina i zapremina kruna automatski se izračunavaju. Analizom odnosa površine prekrivene krunama

stabala (1.984 m²) i ukupne površine (5000 m²), FM omogućava brzo izračunavanje stepena sklopa za cijelu oglednu površinu, koji iznosi 0,39 (prekinut sklop⁴). Stabla u sastojini imaju različit vertikalni profil, često sa horizontalno i vertikalno ekscentričnim krunama, što je uzrokovano veličinom i oblikom prostora za njihov rast i razvoj (slika 10).



Slika 10. Položaj, vertikalni profil i horizontalna projekcija stabla crnog bora ID 90 / **Figure 10.** Position, vertical profile and horizontal projection of the black pine tree ID 90

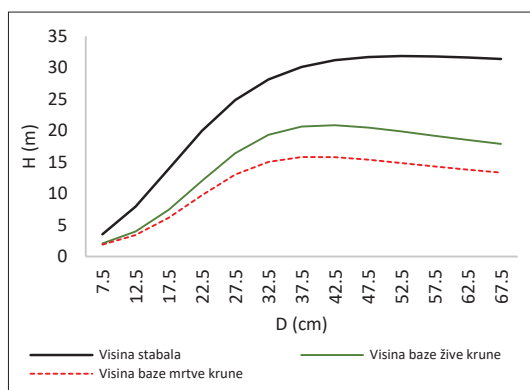
Vertikalni profil sastojine omogućava definisanje sklopa sastojine prema načinu sklapanja

kruna stabala, pa se na osnovu profila čitave ogledne površine (50 x 100 m) može zaključiti da

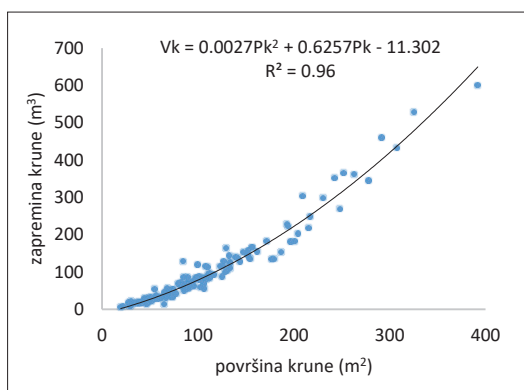
⁴ Niska vrijednost stepena sklopa posljedica je nedostatka stabala na oglednoj površini na njenim rubovima (Slika 6).

se radi o horizontalnom sklopu karakterističnom za tipične jednodobne sastojine. Stepennost sklopa utvrđen na osnovu odnosa dužine horizontalno položene pantljičke prekrivene krunama stabala i ukupne dužine ogleadne površine iznosi 0,38 (prekinut sklop), a niska vrijednost je također posljedica nedostatka ivičnih stabala. Naravno, stepennost sklopa je veći ako se za analizu uzme samo relativno homogeniji dio sastojine, bez praznina na njenim ivicama, i tada primjenom FM stepennost sklopa iznosi 0,68. Od ukupnog broja 6,4 % stabala je nagnuto od 2,2 do 7,5 stepeni u odnosu na horizontalnu ravan zemljine površine. Odumira-

nje donjih grana, kao posljedica nedostatka svjetlosti, uticalo je na formiranje baze „mrtve krune“, koja se nalazi na prosječnoj visini stabala 15,0 m, dok je visina baze „žive krune“ na prosječnoj visini 19,7 m. Regresiona analiza zavisnosti visine stabla, visine baze žive i mrtve krune pokazuje da se sa povećanjem visina stabala crnog bora do prečnika 37,5 cm povećavaju visine baza žive i mrtve krune, a nakon toga kod debljih stabala ujednačeno opadaju (Slika 11). Zavisnost zapremine krune od njene površine, izražena pomoću parabole drugog reda, pokazuje veoma visok koeficijent determinacije (Slika 12).



Slika 11. Visinska kriva za crni bor i linije zavisnosti visine baze žive i mrtve krune od prečnika / **Figure 11.** Height curve for black pine and leaf dependence of the height of the base of the living and dead crown on the diameter



Slika 12. Zavisnost zapremine kruna stabala crnog bora od površine krune / **Figure 12.** Dependence of the crown volume of black pine trees on the crown surface

Analiza zavisnosti visina stabala i baze mrtve i žive krune stabala crnog bora vršena je prim-

jenom Prodanove funkcije (Tabela 4).

Tabela 4. Osnovni parametri funkcija zavisnosti visina stabala i visina baza žive i mrtve krune od prečnika / **Table 4.** Basic parameters function of dependence of tree height and base height of living and dead crowns on diameter

Y	N	Y=[d²/(a+bd+cd²)]+1,30			R2
		a	b	c	
Visina stabala	159	31,5464	-1,1867	0,0439	0,46
Visina baze žive krune	159	103,065	-4,9997	0,1116	0,24
Visina baze mrtve krune	159	133,838	-6,7467	0,1536	0,14

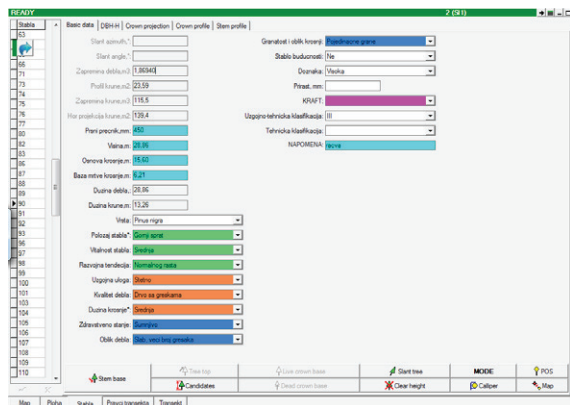
3.4 Klasifikacija stabala i uzgojna analitika doznake / Tree classification and silvicultural analytics of tree marking

Na osnovu prikaza u FM, za sva stabla ogleadne površine ili njenog izabranog dijela moguće je ana-

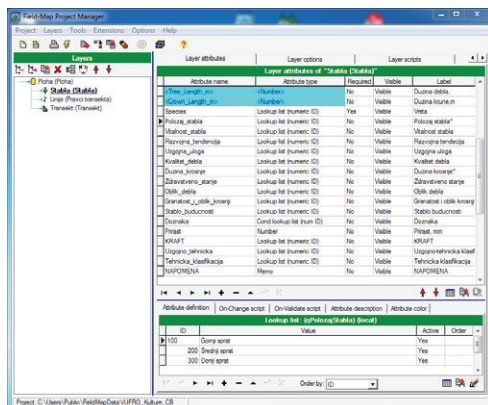
lizirati sva karakteristična standardna obilježja (prsni prečnik, visina stabla, zapremina stabla, površina krune, zapremina krune, površina horizontalne projekcije krune, visina baza mrtve i žive krune i dr.), kao i namjenski kreirana obilježja za IUFRO

i UT klasifikaciju stabala (Tabela 5) u FMPM, koja su automatski importovana u FMDC (npr. stablo ID 90, Slika 13 i 14). Ovako detaljna baza za svako

stablo doprinosi boljoj uzgojnoj analitici sastojine u cjelini, posebno kod izbora stabala budućnosti i modelovanja doznake stabala za sječu.



Slika 13. Osnovni podaci o stablu ID 90 / Figure 13. Basic data on tree ID 90



Slika 14. Podaci o klasifikaciji stabla ID 90 / Figure 14. Data on tree classification ID 90

Sastojina pripada kategoriji šuma posebne namjene (park-šuma), pa je doznaka vršena u skladu sa principima očuvanja i razvoja opštekorisnih funkcija za tzv. „banjske šume” i njene zdravstvene i turističko-rekreativne vrijednosti. Uzgojni cilj u ovim šumama je održavanje ili stvaranje estetski vrijedne šume, uglavnom od autohtonih

vrsta lišćara i četinara, gdje je sječa stabala zabranjena, izuzev pri uklanjanju suvih, oštećenih i prestarjelih stabala (Govedar & Krstić, 2016). Dakle, doznaka stabala za sječu vršena je prema principima uzgojno-sanitarne i higijenske doznake u cilju odgajanja zdravih i vitalnih stabala koja su otporna na negativne uticaje abiotičkih faktora.

Tabela 5. Broj stabala i zapremina prema IUFRO i UT klasifikaciji svih stabala na oglednoj površini (P = 0,5 ha) / Table 5. Number of trees and preparations according to IUFRO and UT classification of all trees on the experimental area (P = 0.5 ha)

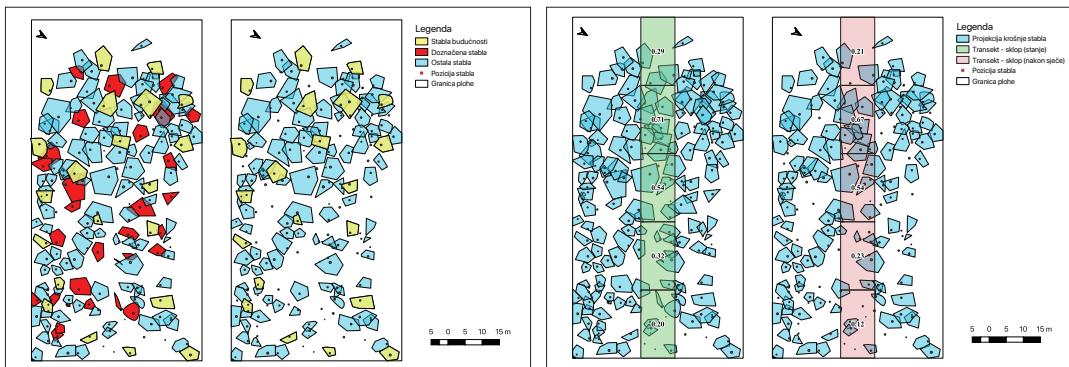
	IUFRO	Šifra	N	N (%)	V (m ³)	V (%)
Biološke osobine	Položaj stabala	100	148	86,5	315,6	95,4
		200	22	12,9	15,1	4,6
		300	1	0,6	0,1	0,0
	Vitalnost	10	84	49,1	194,3	58,7
		20	62	36,3	116,5	35,2
		30	25	14,6	20,0	6,1
Razvojna tendencija	1	86	50,3	200,6	60,6	
	2	55	32,2	104,1	31,5	
	3	30	17,5	26,1	7,9	
Gazdinske - uzgojne osobine	Uzgojna uloga	400	45	26,3	88,0	26,6
		500	68	39,8	194,2	58,7
		600	58	33,9	48,6	14,7
	Kvalitet debla	40	63	36,8	128,2	38,8
		50	60	35,1	92,3	27,9
		60	48	28,1	110,3	33,3
	Dužina krune	4	87	50,9	25,4	7,7
		5	63	36,8	247,9	74,9
		6	21	12,3	57,5	17,4

		IUFRO	Šifra	N	N (%)	V (m ³)	V (%)
Kvalitet stabala	Zdravstveno stanje		700	138	80,7	266,6	80,6
			800	27	15,8	51,6	15,6
			900	6	3,5	12,6	3,8
	Oblik debla		70	75	43,9	147,3	44,5
			80	62	36,3	110,3	33,3
			90	34	19,9	73,2	22,1
	Granatost		7	87	50,9	166,8	50,4
			8	63	36,8	108,7	32,9
			9	21	12,3	55,3	16,7
	UT klasa			I	48	28,1	96,4
			II	83	48,5	152,5	46,1
			III	40	23,4	81,9	24,8

Doznakom stabala, odnosno proredama u sastojinama posebne namjene sa izraženom zdravstveno-rekreativnom funkcijom, potrebno je stvarati manje površine sa različitim kontrastom osvjetljenosti, što se značajno olakšava uzgojnom analitikom uz primjenu FM i GIS-a (Slika 15). Pored toga, težnja za unošenjem i pomaganjem obnavljanja autohtonih lišćarskih vrsta (lipa, trešnja, hrast kitnjak i dr.) u cilju poboljšanja ambijentalne funkcije sastojine nameće potrebu stvaranja manjih otvora u sklopu. Inače, sklop je veoma varijabilan element strukture sastojine i na relativno malom prostoru se mijenja, što je jasno vidljivo i na dijelovima transekta 10x100 m (Slika 5). Tako je na dijelovima transektu dužine

100 m za stanje prije sječe (Slika 15) stepen sklopa od 0,20 (pojedinačna stabla) do 0,71 (potpun sklop). Nakon doznake, odnosno prorede, stepen sklopa je manji na čitavoj dužini transektu i iznosi 0,12 (pojedinačna stabla) do 0,67 (potpun sklop).

U sastojini je prema principima visoke selektivne prorede sa izborom stabla budućnosti doznačeno 30 stabala ukupne zapremine 113,76 m³/ha (17,2%), pa se proreda može okarakterisati kao proreda umjerene jačine zahvata. Na oglednoj površini izabrano je 21 stablo budućnosti, koja imaju najbolje fenotipske i uzgojne karakteristike prema IUFRO i UT klasifikaciji. Njihova ukupna zapremina iznosi 86,84 m³/ha.



Slika 15. Prostorni raspored stabala i projekcija kruna za stanje prije i nakon doznake / **Figure 15.** Spatial arrangement of trees and crown projections for pre- and post-remittance status

Vizualizacijom prostornog rasporeda stabala i analizom sklopa sastojine pomoću FM omogućeno je utvrđivanje kvantitativnih pokazatelja prorednog zahvata (Tabela 6). Prosječna

površina kruna doznačenih stabala iznosi 14,5 m², a maksimalna površina horizontalne projekcije kruna doznačenog stabla iznosi 42,4 m².

Tabela 6. Projekcije kruna i stepen sklopa za stanje prije i poslije doznake (prorede) na OP / **Table 6.** Crown projections and degree of assembly for pre- and post-thinning condition on OP

Parametri	Prije doznake	Poslije doznake
Površina prekrivena krunama stabala (m ²)	1.984,9	1.634,6
Ukupna površina kruna svih stabala (m ²)	2.210,3	1.780,4
Stepen sklopa	0,4	0,3
Minimalna površina krošnje (m ²)	0,3	0,3
Maksimalna površina krošnje (m ²)	58,1	58,1
Prosječna površina krošnji (m ²)	13,9	13,8
Standardna devijacija (m ²)	9,0	8,9

Korišćenjem algoritma najbližeg susjednog stabla⁵ (Ebdon, 1985; Mitchell, 2005) odnosno Clark–Evansovog indeksa agregacije (Svensson & Jeglum, 2001) u FM određen je međusobni razmak stabala kao pokazatelj stanja prije i nakon izvršenih proreda. Ako ovaj indeks iznosi 1, znači da je raspored stabala potpuno slučajaj; ako je veći od 1, postoji tendencija prema pravil-

nosti prostornog rasporeda; a ako je manji od 1, postoji tendencija prema grupisanju stabala.

U nasumičnom ravnomjernom rasporedu stabala na ogleđnoj površini (171 stablo/5000 m²), prosječno teoretsko rastojanje kruna stabala za stanje poslije doznake je veće, a indeks najbližeg „susjeda” je manji u odnosu na stanje prije doznake (Tabela 7).

Tabela 7. Faktori rastojanja kruna stabala / **Table 7.** Tree crown distance factors

Faktori međusobnog rastojanja kruna stabala		Prije doznake	Poslije doznake
Indeks najbližeg susjeda	$ANN = \frac{\bar{D}_o}{\bar{D}_e}$	1,2	1,1
Srednja udaljenost (empirijska) – (m)	$\bar{D}_o = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$	2,9	3,0
Srednja udaljenost (teoretska) – (m)	$\bar{D}_e = \frac{0,5}{\sqrt{\frac{n}{P}}}$	2,5	2,8
Normalizovano odstupanje	$Z_{score} = \frac{\bar{D}_o - \bar{D}_e}{SD}$	4,4	2,8
Standardna devijacija – (m)	$SD = \frac{0,26136}{\sqrt{\frac{n^2}{P}}}$	0,09	0,07

Napomena / Note. d_i – udaljenost između kruna stabala; n – ukupan broj mjerenja rastojanja između kruna susjednih stabala; P – površina (0,5 ha) / d_i - distance between tree's crowns; n - total number of measurements of distances between crowns of neighbouring trees; P - area (0.5 ha)

Indeks najbliže susjedne krune stabla je veći od 1 za stanje prije i nakon doznake. To pokazuje da je stvarno prosječno rastojanje stabala u sastojini veće od teoretskog i da postoji tendencija ka pravil-

nom prostornom rasporedu, što je i za očekivati jer se radi o šumskoj kulturi. Normalizovano odstupanje, izraženo odstupanjem od prosječnog rastojanja brojem standardnih devijacija (SD), pokazuje

⁵ http://resources.esri.com/help/9.3/ArcGISDesktop/com/Gp_ToolRef/spatial_statistics_tools/how_average_nearest_neighbor_distance_spatial_statistics_works.htm

manje odstupanje rastojanja stabala od prosjeka za stanje nakon doznake. Ipak, vrijednosti Z-score > 2 u oba slučaja ukazuju na statistički značajan

stepen „rasipanja” stabala u odnosu na prosjek, ali je uticaj doznake prema principima visoke prorede umjerene jačine zahvata poželjan.

4. ZAKLJUČAK / CONCLUSION

Uzgojna analitika podrazumijeva, između ostalog, praćenje promjena osnovnih i pomoćnih pokazatelja strukturne izgrađenosti i kvaliteta sastojina za stanje prije i nakon doznake, a konačni efekti uzgojnih mjera mogu se ocijeniti tek nakon dužeg vremenskog perioda. Te promjene u svrhu uzgojne analitike nastoje se kvantitativno izražavati kao numerički pokazatelji uzgojnih zahvata (proreda). Ova analiza je značajna jer se na osnovu nje u praksi gajenja šuma za slične stanišne i sastojinske uslove mogu kreirati modeli kojima je potrebno težiti pri gazdovanju nekom sastojinom. Primjena FM tehnologije je korisna u cilju procjene efekata uzgojnih zahvata, budući da omogućava preciznije praćenje (monitoring) sastojina, a u istraživačkom radu monitoring stalnih i privremenih oglednih površina predstavlja komponentu savremenog adaptivnog gajenja šuma, zasnovanog na kontrolnim mehanizmima gazdovanja šumama. Na osnovu rezultata rada može se zaključiti sljedeće:

- Field-Map tehnologija omogućava primjenu u šumarstvu za potrebe uzgojne analitike, praćenja stanja (monitoring) šuma i den-

drometrijska mjerenja, a naročito kod inventure šuma.

- Širok spektar elektronskih mjernih instrumenata i načina obrade podataka omogućava primjenu FM u naučnoistraživačkom radu u oblasti šumarstva.
- Field-Map ima niz prednosti u odnosu na tradicionalne metode mjerenja u šumskim sastojinama jer je moguće prikupljanje velikog broja informacija, uz prethodno samostalno i prema potrebi kreirane baze za znatno kraće vrijeme i uz manje troškove.
- U istraživanoj sastojini pomoću FM analizirani su elementi strukture sastojine, a prethodnim modelovanjem definisani su uzgojni zahvati (prorede).
- Sastojina pripada šumi posebne namjene („banjska šuma”), pa je proredni zahvat bio slabe do umjerene jačine sa ciljem održavanja i razvoja zdravstvene i turističko-rekreativne funkcije.
- U sastojini je potrebno vještački unositi i podržavati prirodno obnavljanje autohtonih lišćarskih vrsta u cilju stvaranja mješovite i raznodobne strukture.

Literatura / References

- Aleksić P., Krstić M. (1996). Definisanje važnijih termina i mera (zahvata) u oblasti gajenja šuma. U: *Privremene norme radova u oblasti gajenja i zaštite šuma*. JP Srbijšume, Beograd: 75–96.
- Brovkina O., Ciencialab E., Surovyc P., Janata P. (2018). Unmanned aerial vehicles (UAV) for assessment of qualitative classification of Norway spruce in temperate forest stands. *Geo-spatial Information Science* 21(1): 12–20.
- Černý M., Bukša I.F., Pasternak V.P. (2006). *Usage of field technology Field-Map in forest management and nature protection*. Geoinformatics, Kiev, Ukraine
- Ebdon D. (1985). *Statistics in Geography*. 2nd Edition, Blackwell Publishing, Hoboken: 232 str.
- Govedar Z., Krstić M. (2016). *Gajenje šuma posebne namjene*. Univerzitetski udžbenik, Šumarski fakultet u Banjoj Luci, Banja Luka: 310 str.
- Jevtić M. (1992). *Nega četinarskih kultura sastojina veštačkog porekla proredom*. Prosilva, Beograd.
- Jovanović S. (1972). Prilog preciziranju i usaglašavanju nekih važnijih termina iz oblasti Gajenja šuma. *Šumarstvo* 11–12. Beograd.
- Kovačević D., Jovanić D., Todorović S., Panić G., Radošević D., Sjeničić J. (2016). *Prijedlog za zaštitu Park Šume „Slatina“* [Elaborat]. Republički zavod za zaštitu kulturno-istorijskog i prirodnog nasljeđa Republike Srpske, Banja Luka: 70 str.

- Krstić M. (1997). Praktična primena uzgojne analitike u šumarstvu. *Šumarstvo* 4–5: 23–31.
- Krstić M., Kanjevac B. (2016). *Gajenje šuma 2 – Praktikum*. Šumarski fakultet, Beograd.
- Krstić M., Stojanović Lj. (1994). Prilog preciziranju nekih termina iz oblasti nege šuma. U: *Zbornik radova sa Savetovanja: Uzgojno-biološki i ekonomski značaj proreda u šumskim kulturama i mladim šumama, Beograd*: 93–99.
- Leibundgut H. (1956). *Empfehlung für die Baumklassenbildung und Methodik bei Versuchen über die Wirkung von Waldpflegemaßnahmen*. Preporuka za klasifikaciju stabala i metoda pokusa utjecaja mjera njega IUFRO (1956) slkt 23/10.
- Matić V. (1977). Metodika izrade šumskoprivrednih osnova za šume u društvenoj svojini na području SR Bosne i Hercegovine. *Šumarski fakultet i Institut za šumarstvo, Posebno izdanje 12*: 1–254.
- Matić V. (1965). O planiranjima i snimanjima u okviru uređivanja šuma. *Šumarski fakultet i Institut za šumarstvo u Sarajevu, Posebna izdanja 4*: 1–156.
- Mattioli W., Alivernini A., Paolo Di S., Portoghesi L., Giuliarelli D. (2009). Field-Map: uno strumento innovativo al servizio della selvicoltura. U: *Atti 13a Conferenza Nazionale ASITA, 1 – 4 dicembre 2009, Fiera del Levante Bari*.
- Mitchell A. (2005). *The ESRI Guide to GIS Analysis*. Volume 2. ESRI Press.
- Nieuwenhuis M., Redmon J., Lynch J., Purser P., Cerny M. (2008). Development of single tree volume models and stem profile models. *Coford Annual Report 2008, Ireland*: 41–42 Forest Service.
- Petković J. (2016). *Uticaj stepena sklopa na prirodno podmlađivanje mješovitih sastojina jele i smrče na području Sitnice – ŠPP „Mrkonjičko“*. Master rad, Univerzitet u Banjoj Luci, Šumarski fakultet.
- Pintarić K. (1984). Njega šuma. Udžbenik, Šumarski fakultet u Sarajevu, Sarajevo
- Riemer T., Gadow K.V., Sloboda B. (1995). Ein Modell zur Beschreibung von Baumschäften. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 166(7), 144–147.
- Stähl G.E., Cienciala E., Chirici G., Lanz A., Vidal C., Winter S., McRoberts R.E., Rondeaux J., Schadauer K., Tomppo E. (2012). Bridging national and reference definitions for harmonizing forest statistics. *Forest Science* 58(3): 214–223.
- Stefanović V., Beus V., Burlica Ć., Dizdarević H., Vukorep I. (1983). Ekološko-vegetacijska rejonizacija Bosne i Hercegovine. *Šumarski fakultet, Posebna izdanja*: 17.
- Svensson J.S., Jeglum J.K. 2001. Structure and dynamics of an undisturbed old-growth Norway spruce forest on the rising Bothnian coastline. *Forest Ecol. Manage.* 151: 67–79.
- Tomppo E., Gschwantner T., Lawrence M., McRoberts R.E. (2010). *National Forest Inventories: Pathways for Common Reporting*. European Science Foundation provides the COST Office through an EC contract. Springer: 486 str.
- Vyskot M., Reh J. (1983). *Pesteny učelovych lesu – prednášky*. Vysoka škola zemedelska v Brne, Brno

Summary

Modern technology and instruments in forestry are increasingly used in determining the condition of forests, processing and analysis of collected field data. Terrestrial measurements use instruments that are constantly innovated in hardware and software, including Field-Map (FM) technology. Field-Map is based on the efficient use of electronic or traditional measuring devices such as laser rangefinder, electronic compass, GPS and electronic (digital) caliper. Silviculture analytics implies, among other things, numerical parameters as orientation indicators when performing silviculture works, so FM technology is very useful for silviculture analysis.

The research was carried out in a forest plantation stand of black pine, which is located northeast of Banja Luka, in Slatina. The stand has an area of 1.70 ha and is part of the forest park “Slatina” (35.73 ha). Data collection was performed on a sample surface of rectangular shape (50 x 100 m) using Field-Map technology. According to the diameter structure of the number of trees, the stand is structurally even-age, 70 years old. FM gives the size of the basal area (47.4 m²/ha) and 342 trees per hectare. The average height of the stand Hl = 30.7 m and the upper height Ht = 34.4 m and the total volume usable timber is (DBH > 7 cm) 661.56 m³/ha.

With increase of the height black pine trees to 37.5 cm also increases the heights of the bases of the “living” and “dead” crowns increase, and after that, in the case of thicker trees, these heights decrease evenly slightly. The average area of the crown of the marked trees is 14.5 m², and the maximum area of the horizontal projection of the crown of the assigned tree is 42.4 m².

The silvicultural goal in these forests is to maintain or create an aesthetically valuable forest mainly from indigenous species of deciduous and coniferous trees where felling of trees is prohibited, except when removing dry, damaged and mature trees. In the stand, it is necessary to artificially introduce and support the natural regeneration of indigenous deciduous species in order to create a mixed and mixed structure. Field-Map technology enables for the needs of silviculture analytics, forest monitoring and dendrometric measurements, especially in forest inventory.

Key words: European black pine, Field-Map, Silvicultural analytics, Silviculture of special-purpose forests