

Dinamika strukture bukovo - jelove prašume Čorkova uvala

Radoš, Dalibor

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:577393>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-23**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET – ŠUMARSTVO
ZAVOD ZA EKOLOGIJU I UZGAJANJE ŠUMA**

**PREDDIPLOMSKI STUDIJ
ŠUMARSTVO**

DALIBOR RADOŠ

**DINAMIKA STRUKTURE BUKOVO – JELOVE PRAŠUME
ČORKOVA UVALA**

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, rujan 2018.

PODACI O ZAVRŠNOM RADU

Zavod:	Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma
Predmet:	Uzgajanje šuma I
Mentor:	Dr. Sc. Stjepan Mikac
Asistent – znanstveni novak:	-
Student:	Dalibor Radoš
JMBAG:	0068224555
Akad. godina:	2017./2018.
Mjesto, datum obrane:	Zagreb, 14. Rujan 2018.
Sadržaj rada:	Slika: 14 Tablica: 2 Navoda literature: 23
Sažetak:	Prašume su prirodne šume koje su se oduvijek razvijale bez antropogenog utjecaja, s čvrstim, dinamičkim i uravnoteženim odnosima klime, staništa i biocenoze. Naša najpoznatija prašuma Čorkova uvala u Nacionalnom parku Plitvička jezera, iako je jedna od naistraženijih prašuma u Hrvatskoj, ostavlja nam puno nepoznanica te je kao takva zanimljiva za brojna istraživanja. U ovom završnom radu istražena je mogućnost uporabe LiDAR-a za analizu strukturnih značajki te razvojnih stadija i faza unutar prašume.

	IZJAVA O IZVORNOSTI RADA		OB ŠF 05 07
			Revizija: 1
			Datum:28.6.2017.

„Izjavljujem da je moj *završni rad* izvorni rezultat mogega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

Dalibor Radoš

U Zagrebu, 14. Rujna 2018.

SADRŽAJ :

1. UVOD	1
2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA.....	4
3. MATERIJALI I METODE RADA	5
3.1. Područje istraživanja	5
3.2. Stanište	6
3.3. Šumska zajednica	7
3.4. Struktura sastojine	7
3.5. Stabla velikih dimenzija	7
3.6. Životni ciklus.....	8
3.7. Mrtvo drvo.....	8
3.8. Pomlađivanje	9
3.9. Prikupljanje podataka	9
3.10. Terensko prikupljanje podataka	13
3.11. Analiza podataka	14
4. REZULTATI.....	15
4.1. Prostorni raspored pokusnih ploha	15
4.2. Izmjerena struktura sastojine na pokusnim ploham.....	16
4.3. Prostorna predikcija regresijskog modela	19
5. RASPRAVA.....	22
6. ZAKLJUČAK	23
LITERATURA.....	I

1. UVOD

Prašuma doslovno znači „stara šuma“. Prašumu možemo definirati na razne načine. Prašuma je prirodna šuma koja se oduvijek razvijala bez neposrednog antropogenog utjecaja, dakle isključivo pod utjecajem prirodnih utjecaja (Prpić i Seletković 2001). Možemo je definirati i kao ekološku stabilnu šumu, s čvrstim i dinamičkim uravnoteženim odnosima između klime, tla (staništa) i organizama (biocenoze), a istodobno očuvana od takvih čovjekovih utjecaja koji bi mogli izmijeniti zakonitosti životnih proseca i njezinu strukturu.

Ako prašumu po navedenim definicijama smatramo primarnom pod sekundarnom prašumom smatramo šumu koja je izuzeta iz programa gospodarenja te je prepuštena samoreguliranju, s vremenom takva šuma svojim najbitnijim strukturnim obilježjima postaje slična pravoj prašumi. Pogrešno je shvaćanje kako je prašuma apsolutno izolirani ekosustav. Klimatske promjene, onečišćenje zraka, promjene vodnog režima voda u tlu, lov, urbanizam, turizam, istraživanja, skupljanje plodova samo su neke od ljudskih aktivnosti koji posredno ili neposredno utječu na prašumski ekosustav.

Najviše očuvanih prašuma u Europi pripada šumama bukve, jele i smreke koji rastu na predjelima Dinarida, Alpa i Karpata. Prema procjenama u Europi je oko 0,3 milijuna ha prašuma, što iznosi oko 0,4% od ukupne površine šuma u Europi. Većina ih pripada mješovitim bukovo-jelovim, bukovo-jelovo smrekovim i čistim bukovim šumama.

Progale sklopa (Eng. *Gaps*) su mjesta u prostoru prašumske sastojine nastala odumiranjem jednog ili nekoliko nadstojnih stabala (Whitmore 1989). U prašumskim ekosustavima progale su posljedica režima prirodnih poremećaja, koji pokreću dinamiku prašumskog ekosustava.

Velike progale uslijed značajno smanjene transpiracije, zbog odumiranja velikog broja stabala, mogu sadržavati veliku količinu vlage (površinsko zamočvarivanje), što je rijetkost kod manjih progala. Također u velikim progalama rubna stabla nemaju značajan utjecaj na količinu i razdiobu sunčevog zračenja kao što imaju u manjim progalama. Ekološki uvjeti (svjetlo, temperatura, vlaga zraka) u velikim progalama odgovaraju otvorenim nešumskim površinama. Velike progale također imaju značajan utjecaj na dinamiku prašuma i uglavnom su manje frekventne pojave od manjih progala. Velike progale imaju značajnu ulogu u

održavanju biološke raznolikosti čitavog ekosustava, jer u njima sukcesija obnova započinje uglavnom pionirskim vrstama drveća i prizemnog rašća.

S obzirom na način postanka progale mogu biti egzogene i endogene. Egzogene nastaju djelovanjem vanjskih (okolišnih) čimbenika: vjetar, snijeg, led, požar, grom, poplave, bujice, erozije, patogene gljive, insekti dok endogene nastaju fiziološkim odumiranjem starih stabala (Diaci i Bončina 1998). Egzogeni čimbenici uglavnom uzrokuju ekscesni nastanak progala, obično većih površina. Posljedica endogenih čimbenika su obično progale malih dimenzija, jer se fiziološko odumiranje rijetko događa na većim površinama i u većim grupama stabala. U bukovo-jelovim prašumama endogene progale najčešće nisu velike, obično se radi o površinama projekcije krošnje jednoga ili nekoliko stabala, te se vrlo brzo zatvaraju bočnim srastanjem krošanja rubnih stabala, naročito bukve. Endogene progale upravo zbog toga nisu mjesta ekstenzivnije obnove prašumske sastojine. Također odumrla stabla, naročito jele i smreke mogu duži niz godina provesti u dubećem stanju, a da se ispod njih nimalo ne promjene ekološke prilike.

Najpoznatija i najviše istražena prašuma u Hrvatskoj je Čorkova uvala u Nacionalnom parku Plitvička jezera. Prva sustavna istraživanja u njoj je započeo 1957. godine akademik Milan Anić gdje je postavio trajnu pokusnu plohu i obavio prvu izmjeru prašumske strukture. Te godine prašuma je bila u optimalnoj fazi razvoja a volumen drveta iznosio $789\text{m}^3/\text{ha}$. Ta ploha je do danas ostala dragocjen izvor podataka o bukovo-jelovim prašumama dinarskog krša. Iako Čorkova uvala spada u primarne prašume u njoj se mogu naći pojedini panjevi jele i smreke koja su nekada posječena za potrebe lokalnog stanovništva za ogrjev, šindru, sitnu građu, kolce, ograde i sl. Takav utjecaj je normalan i očekivan jer ljudi koji su živjeli u blizini prašume bili njezini dio, koristili njezine blagodati do te mjere da zadovolji njihove potrebe, ali tim korištenjem nisu narušili prirodnu strukturu i dinamiku. U prašumi Čorkova uvala nalazimo sve razvojne faze europske prašume bukve i jele. To su inicijalna faza, optimalna faza, terminalna faza koja obuhvaća podfazu starenja i podfazu raspadanja. Navedene se faze u ovoj prašumi pojavljuju mozaično u malim površinama. Danas u prašumi Čorkova uvala prevladavaju faze starenja, raspadanja i pomlađivanja. Vrlo dinamičan razvoj događa se u prašumi u prijelazu iz faze starenja u fazu mlade šume, dakle u fazama raspadanja i pomlađivanja. Višegodišnjim praćenjem prašuma došlo se do saznanja da sukcesivna dinamika nikad ne prestaje, čak ni u takozvanom klimaksu. U dugogodišnjem razvojnom ciklusu koji traje stoljećima u prašumi se mijenjaju: horizontalna struktura i vertikalna

slojevitost, omjer vrsta drveća, količina mrtvog drveta, gustoća i broj sušaca, količina i veličina otvora u krošnjama, vjerojatnost vjetroloma ili naježde za drveće štetnih insekata. Takve pojave ne pogađaju cijelo šumsko područje odjednom, već se događaju u nesinkroničnom ciklusu u pojedinim dijelovima šume što dovodi do mozaičnog izgleda i strukture šumskog staništa. Prema tome sve prašume kao i prašuma Čorkova uvala, prostori su životnog savršenstva gdje se nalaze mnogi odgovori za one koji vole, prate i proučavaju prirodu. Kako je prašuma prirodna šuma razvijena bez značajnijeg utjecaja čovjeka. Takou prašumi možemo pronaći stojeća suha i prelomljena stabla, te odumrla stabla koja leže na tlu u različitim fazama raspadanja. Sve je prepušteno prirodnim procesima. Čorkova uvala zaštićena je 1965. godine u kategoriji posebnog rezervata šumske vegetacije.



Slika 1. *Prašuma Čorkova uvala*

Prašume i šumski rezervati pružaju velike i vrijedne mogućnosti proučavanja režima prirodnih poremećaja i prirodne šumske sindinamike, upravo zato što su se prašume i šumski rezervati razvijali pod utjecajem prirodnih procesa s malim utjecajem ili bez direktnog ljudskog utjecaja (Foster i dr., 1996).

Iako je prašuma Čorkova uvala jedna od najistraženijih prašuma u Hrvatskoj u njoj još postoji puno nepoznanica te je kao takva vrlo zanimljiva za brojna istraživanja.

2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Kako je inventarizacija prašumskih površina terestričkim metodama zahtjevna, komplicirana i skupa, razvojem naprednih tehnologija, kao što je LiDAR omogućene su potencijalno jeftine i objektivne metode za snimanje i analizu postojeće stanja strukture prašuma.

Stoga je cilj ovog istraživanja

- Ispitati mogućnost uporabe LiDAR-a za analizu strukturnih značajki te razvojnih stadija i faza u prašumi Čorkova uvala u Nacionalnom parku Plitvička jezera.

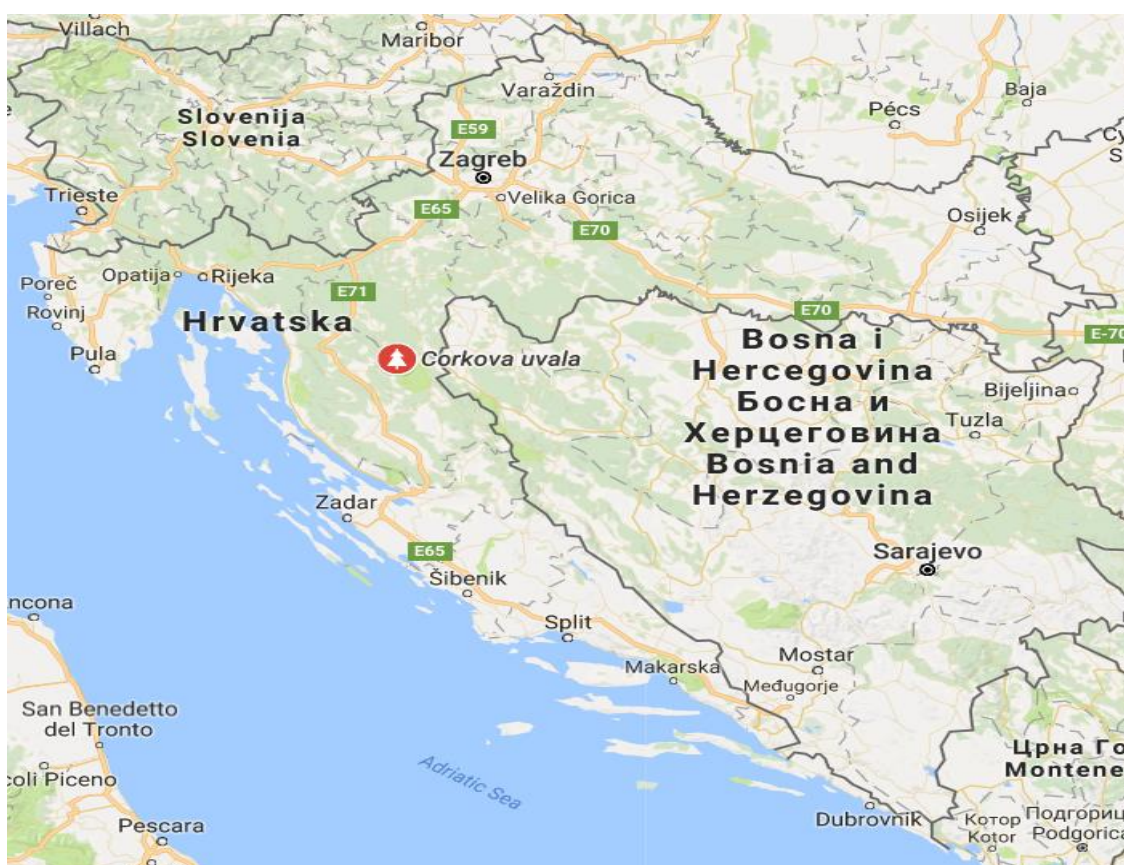
3. MATERIJALI I METODE RADA

3.1. Područje istraživanja

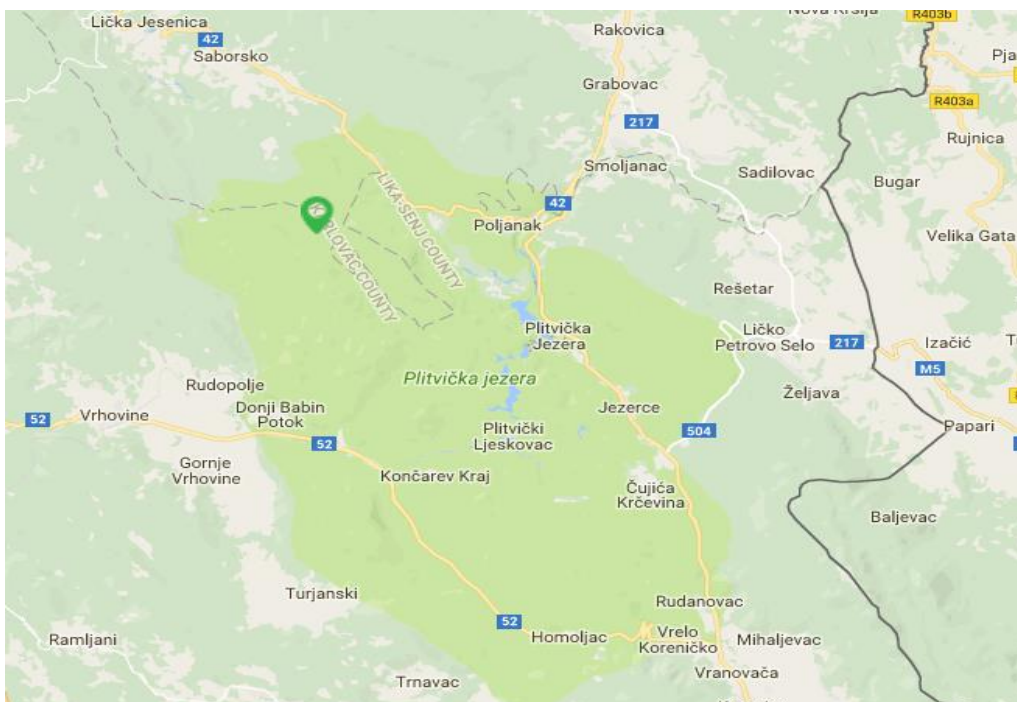
Istraživanja su obavljena u Čorkovoj uvali koja se nalazi u sjeverozapadnom dijelu Nacionalnog parka Plitvičkih jezera, u rujnu 2016. godine. Čorkova uvala prostire se na površini od 80 hektara, na strmom krškom terenu s mnogo vrtača i kamenih blokova. Nadmorska visina proteže se od 860m do 1028m u zoni bukovo-jelovih šuma. Čorkovu uvalu smatramo prašumom jer je izuzeta iz gospodarenja.

Istražena je sljedeća šumska sastojina:

1. bukovo-jelova prašumska sastojina u Gospodarskoj jedinici Čorkova uvala – Čudinka, odjel 1



Slika 2. Lokacija prašume Čorkova uvala na karti Republike Hrvatske



Slika 3. Lokacija prašume Čorkova uvala (zeleni krug) na karti Nacionalnog Parka Plitvička jezera

3.2. Stanište

Geološku podlogu tvore vapnenci s ulošcima dolomita kredne starosti. Odlikuje se karakterističnom geomorfologijom krša. Na čitavoj površini se isprepliću škarpe, vrtače, udubine, kameni blokovi i grebeni. Posebnost prašume je raznolikost udubine tla koja proizlazi iz reljefa. Najzastupljenije je smeđe tlo na vapnencima. U dnu vrtača ima lesiviranoga tla, a na kamenim blokovima planinske crnice. Drveće sporije prirašćuje i dulje živi na lošijim staništima. Na kamenim blokovima gdje nalazimo tlo, planinsku crnicu (kalkomelanosol) i u plićim varijantama smeđega tla, na vapnencu i dolomitu (kalkokambisol), životne prilike, a posebno opskrba vodom i hranjivima vrlo su oskudne što uvjetuje smanjeni prirast u visinu i debljinu kao i dulji život. U dubljim tlima na vapnencu, te u lesiviranim tlima (luvisol), dakle u škrapama, vrtačama i donjim dijelovima krških padina, drveće ima na raspolaganju više vode i hranjiva, ono brže raste, ranije doživi kulminaciju životnih procesa te kraće živi. Raznolikost vrsta drveća i njihovih staništa uvjetuje u ovoj šumi različitu dinamiku razvoja.

3.3. Šumska zajednica

Bukovo-jelove sastojine pripadaju šumskoj zajednici dinarske bukovo jelove šume (Omphalodo-Fagetum Marinček et al. 1992) i bonitetnom razredu (III, prema Klepcu 1997, Cestaru i dr. 1983). Bukove sastojine pripadaju istom šumskom kompleksu i šumskoj zajednici ilirske brdske bukove šume s mrtvom koprivom (Lamioorvalae-Fagetum sylvaticae Ht. 1938).

3.4. Struktura sastojine

Čorkovu uvalu karakterizira visoka drvena zaliha koja oscilira između: 650 m³/ha i 950 m³/ha, omjer smjese: jela 50%, bukva 43%, smreka 7%, temeljnica je između 45 m²/ha i 52 m²/ha.

Tablica 1. *Strukturni elementi prašumske sastojine Čorkova uvala (N - broj stabala, G - temeljnica, V – drva zaliha)*

Godina	Jela (Abies Alba Mill.)			Bukva i ostala bjelogorica (Fagus sylvatica L. + OB)			Smreka (Picea abies Karst.)			Ukupno		
	N	G	G	N	G	V	N	G	V	N	G	V
	kom./ha	m ² /ha	m ³ /ha	kom./ha	m ² /ha	m ³ /ha	kom./ha	m ² /ha	m ³ /ha	kom./ha	m ² /ha	m ³ /ha
1957.	125	26,68	457,74	611	15,61	227,14	30	4,16	75,79	766	46,45	760,76
1965.	124	28,08	513	519	17,37	257,92	27	4,47	82,73	670	49,92	853,80
1970.	116	28,53	531,26	463	18,69	283,58	27	4,87	87,88	606	52,09	902,72
1975.	100	27,47	510,41	373	18,87	294,08	26	5,03	93,11	499	51,37	897,60
1987.	99	27,89	519,85	318	19,34	317,37	24	5,14	95,49	441	52,37	932,71
2007.	146	17,62	310,72	595	23,82	280,42	19	4,22	87,47	760	45,66	678,61

3.5. Stabla velikih dimenzija

Najdeblje stablo : jela 149cm, smreka 112 cm te bukva 193 cm.

Maksimalna visina stabala : jela 57,80 m, smreka 48,90 m, bukva 39,80 m.

3.6. Životni ciklus

S obzirom na to da se u prašumi svi životni procesi odvijaju nesmetano, bez antropogenog utjecaja, nalazimo sve razvojne faze europske prašume bukve i jele. To su razvojne faze pomlađivanja, inicijalna faza, optimalna faza, preborna faza, te terminalne faza koja se dijeli na podfazu starenja i podfazu raspadanja. Navedene se faze u ovoj prašumi javljaju se na malim površinama. U prašumi Čorkova uvala je ustanovljeno postojanje razvojnih faza na malim površinama koje rijetko prelaze 0,1 ha. Specifični krški reljef ne dozvoljava oblikovanje horizontalnog sklopa krošanja, već stabla rastu u nekoliko slojeva. Zato se može zaključiti o prosječno prebornom obliku sastojinskog profila. Kasna optimalna faza i faza starenja su najzastupljenije jer kotlina Čorkove uvale štiti prašumu od snažnih udara vjetra, pa se zrela i odumrla stabla dugo održavaju u stojećem stanju. Njihova dob se može procijeniti i do 500 godina. Najdulje traje terminalna faza koja kod jele i smreke iznosi od 300 do čak 500 godina, a kod bukve oko 200 godina. Zavisno o kakvoći staništa, odnosno količini tla, jela i smreka žive u krškim staništima i više od 700 godina, a bukva više od 300 godina.

U jednome trajanju života jele i smreke bukva se dva puta obnovi, a isto se odnosi na javore i brijest. Podfaza raspadanja zastupljena je na malim površinama, a nastaje uslijed pada pojedinih stabala ili nekoliko stabala u skupini. Inicijalna faza ima relativno mali udjel u površini prašumske sastojine. Tipična preborna faza ustanovljena je u najmanjem broju slučajeva. U prašumi je lako uočiti kako se jela i smreka pomlađuju ispod bukovih krošanja, bukva i jela ispod smrekovih te smreka i bukva ispod jelovih krošanja.

3.7. Mrtvo drvo

Prašuma je poznata i po odumrlim stablima svih vrsta drveća koja leže na tlu. Po hektaru površine prašumske sastojine nalazi se u prosjeku deset mrtvih stojećih stabala različitih prsnih promjera, najviše je onih između 10-20 cm. Od toga je sedam stabala jele. Za razdoblje od 1957. – 2000. godine ustanovljeno je prosječno godišnje odumiranje stabala jele u iznosu od 0,5%, bukve 1,8% i smreke 1,3%. Mrtvo se drvo bukve i javora brzo mineralizira i pretvara u tlo dok je kod jele i smreke to vrijeme vrlo dugačko i traje više od 80 godina.

3.8. Pomlađivanje

Ukupna gustoća mladog naraštaja najveća je u ranoj inicijalnoj i prebornoj fazi razvoja. Međutim, ti su lokaliteti najmanje zastupljeni. U prašumi općenito nedostaje mladih stabala koja bi popunila donji sloj sastojinskog profila. To je izuzetak u usporedbi sa sličnim europskim prašumama. Po hektaru površine prašumske sastojine u prosjeku nalazimo 6190 mladih biljaka visine do 4 m i prsnog promjera do 3 cm. Od toga je 60% jele, 28% bukve, 2% smreke i 10% gorskog javora. Dvije trećine pomlatka je niže od 50 cm. Po jednu jelu višu 50 cm nalazimo u prosjeku na svakih 12m² površine, a višu od 100 cm na svakih 30m².

Iznad 100 cm dominira bukva i javor, dok smrekov pomladak ima sekundarnu ulogu te se sporadično pojavljuje do visine od 175 cm.

3.9. Prikupljanje podataka

Za svrhu izrade ovoga rada korišteni su laserski podaci dobiveni snimanjem Nacionalnog parka odnosno Čorkove uvale pomoću LiDAR-a u zimu 2016. godine. Lidarsko snimanje obuhvaća niz pojedinačnih kvadrata površine 25 ha s prosječnom gustoćom točaka od 25 kom/m² što u prosjeku iznosi oko 250 000 točaka/ha. Svaka pojedina točka sadrži tri prostorna atributa pomoću kojih je definiran njen trodimenzionalni položaj (x, y i z) u tzv. oblaku podatka (Eng. *Point clouds*).

Posljednjih desetak godina afirmirala se tehnologija prostornog laserskog skeniranja kao potpuno automatizirana i izuzetno efikasna metoda prikupljanja prostornih podataka metodama daljinskog istraživanja (Gajski 2007).

Ova se tehnologija uobičajeno označava pojmom LiDAR (eng. *Light Detection and Ranging*), što označava detekciju i određivanje udaljenosti objekata pomoću svjetlosnih valova. Ima veliku primjenu u geodeziji, geologiji, ekologiji, arheologiji, šumarstvu...

Osnovna značajka LiDAR sustava je mogućnost velikog broja prostornih (trodimenzionalnih) podataka visoke točnosti u relativno kratkom vremenu (Wulder i dr. 2012.) Bilo da se radi o zračnim LiDAR sustavima, dobiveni podaci vrlo su visoke vertikalne i horizontalne prostorne rezolucije koja može iznositi i do centimetarske točnosti (Vosselman i Mass 2010).

Trodimenzionalne koordinate (primjerice x,y,z, ili zemljopisna širina, duljina i visina) željnih objekata su izračunate iz:

- 1) Vremenske razlike između emitiranog i povratnog laserskog impulsa
- 2) Kuta pod kojim se impuls otpušta
- 3) Apsolutnog položaja senzora na površini ili iznad površine Zemlje

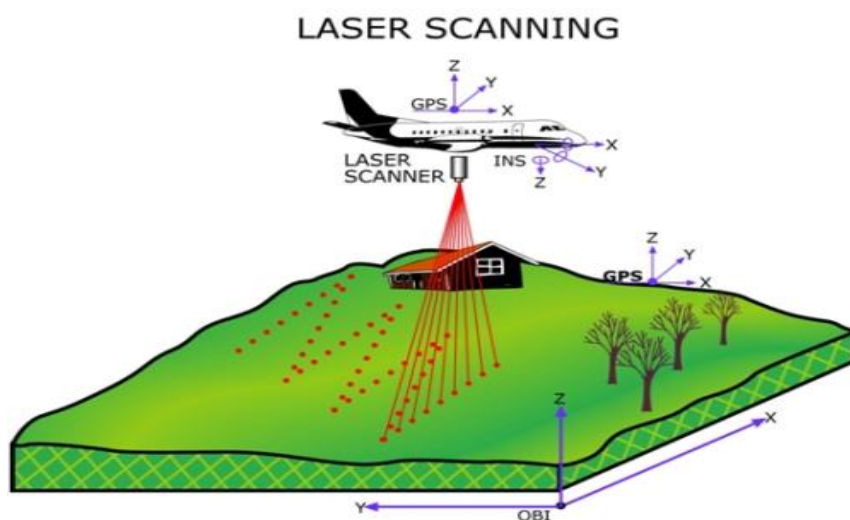
Ova beskontaktna metoda je slična radaru, ali koristi laserske svjetlosne impulse umjesto radio valova. (JamieCarter i dr., NOAA 2012). Umjesto radio valova, Lidar koristi mnogo kraće valne duljine elektromagnetskog spektra obično u ultraljubičastom, vidljivom, ili bliskoinfracrvenom rasponu.

LiDAR predstavlja potpuno automatiziran, aktivan, optičko-mehanički postupak prikupljanja prostornih podataka dostupnih s aktualnih snimališta (Gajski 2007.)

Zbog najbolje dostupnosti većih površina terena skeniranju i mogućnosti velike pokretljivosti skenera, najčešće se skeniranje vrši korištenjem aviona kao platforme koja nosi skener. Ograničena područja, osobito strmih površina terena, izrada detaljnih modela zgrada i pojedinačnih skulptura i ostalih predmeta, pogodniji su za skeniranje s nepomičnih snimališta.

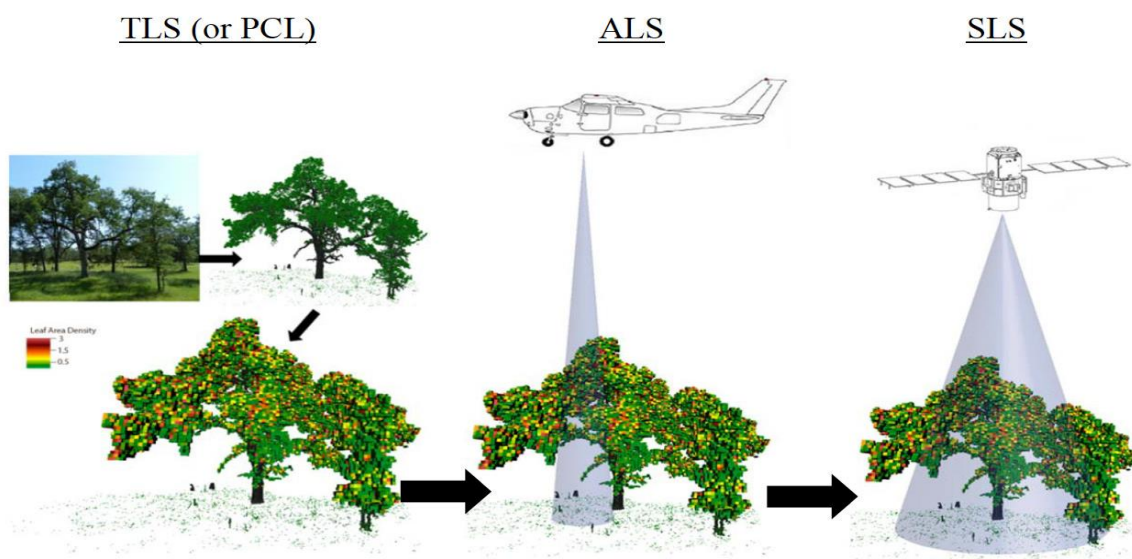
Zbog toga se i tehnologija prostornog laserskog skeniranja dijeli na:

- lasersko skeniranje sa zemlje (eng. *Terrestrial Laser Scanning*- TLS)
- lasersko skeniranje iz zraka (eng. *Airborne Laser Scanning*- ALS)
- lasersko skeniranje satelitom (eng. *Satellite Laser Scanning* – SLS)



Slika 4. Lasersko skeniranje iz zraka

Lasersko snimanje iz zraka (ALS) odnosno zračni laserski skeneri predstavljaju najčešći i u komercijalnoj primjeni najzastupljeniji tip laserskih skenera (Wulder i dr. 2012), a u usporedbi s tehnologijom laserskog skeniranja sa zemlje i iz svemira pružaju i najveću mogućnosti primjene u šumarstvu (Rahman i dr. 2009)



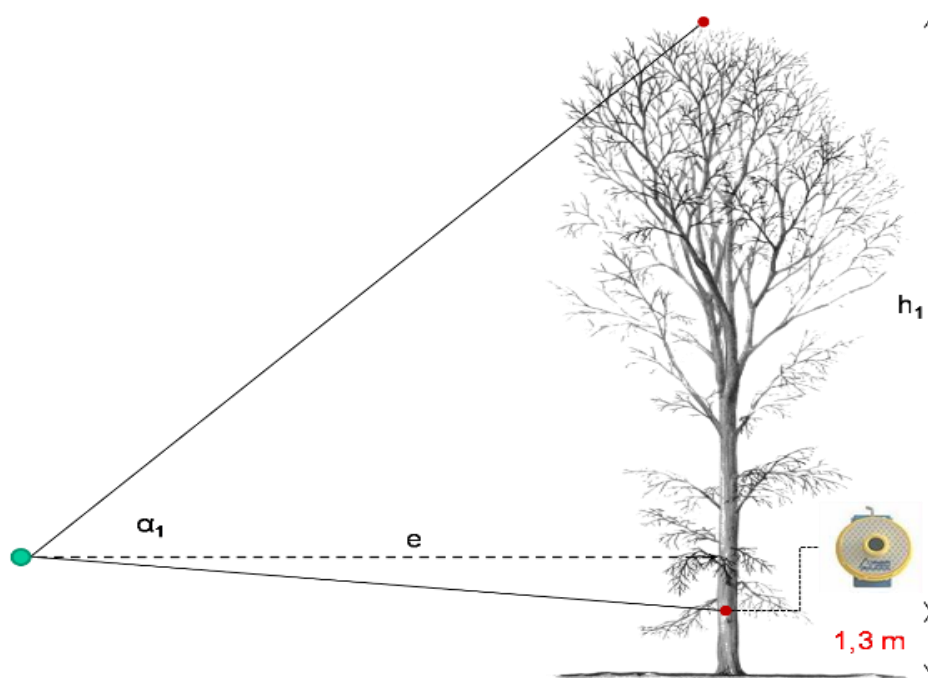
Slika 5. Različiti načini laserskog skeniranja

U šumarstvu, LiDAR se može koristiti za mjerenje trodimenzionalnih struktura šumskih sastojina i za kreiranje modela terena ispod sastojina. Šumska struktura obično generira prvi povratni impuls od najgornjih granica krošnja, zatim slijedi manje intenzivni povratni impuls koji prolazi kroz krošnju, do šumskog terena. Povratni impulsi su klasificirani u dvije klase, terenski i iznad terenski. Terenski povratni impulsi mogu stvoriti detaljnu terensku mapu od područja interesa kojeg želimo, dok se povratni impulsi od krošnja mogu filtrirati kako bi pružili šumsku strukturu krošnja i srednju razinu šume. Sposobnost da se simultano vizualizira teren i model krošnja sastojine pruža značajne prednosti za šumarsku struku. Tradicionalno, šumari su se morali pouzdati u topografske karte za terenske klasifikacije i terenske izmjere kako bi izračunali volumene stabala i visinske vrijednosti. Podaci LiDARA pružaju značajan napredak u odnosu na tradicionalne načine dobivanja

podataka (Sumerling i dr. 2010). Sve veći broj organizacija vezanih na šumarstvo i šumarska struka upotrebljavaju LiDAR za izmjere inventure šuma. Širok spektar informacija se može direktno dobiti od LiDARA uključujući digitalne modele reljefa, visine stabala, digitalni površinski modeli, pokrov krošanja, struktura šuma i profil krune krošnje, dok obrađeni podaci mogu otkriti geometrijske volumene krošanja, biomasu pokrova krošanja, indeks otvorenosti tabličnih visina kruna, broj deklinacije kruna.

Prilikom izmjere predmeta istraživanja koristilo se više uređaja. Najznačajniji su: FieldMap je sustav za računalno potpomognuto terenskog prikupljanja podataka s naglaskom na šumarstvo. To je vrlo fleksibilan sustav. Njegova upotreba počinje od razine mjerenja jednog stabla, kroz razine istraživanja i mjerenja krajolika. FieldMap je dizajniran prvenstveno za potrebe izmjere šuma, ali ima funkcionalnost za niz različitih zadataka prikupljanja podataka kao što su kartiranje šumske vegetacije, izmjeru za planiranje gospodarenja šumama, procjenu volumena, mjerenje trajnih pokusnih ploha i praćenja stanja u prirodnim rezervatima (parkovi prirode, strogi rezervati, nacionalni parkovi itd.). FieldMap linija proizvoda kombinira GIS softver s elektroničkom opremom za kartiranje i izmjeru stabala. Field-Map sustav izvorno je razvijen za potrebe izmjera nacionalnih šuma.

Visine stabala su mjerene s uređajem Vertex. To je instrument za mjerenje visina, udaljenosti, vertikalnih kutova, nagiba i trenutne temperature te se može koristiti za iskolčenje krugova. Instrument postiže potpuno funkcionalnost u kombinaciji s transponderom. Za mjerenje udaljenosti instrument koristi ultrazvučne valove.



Slika 6. Način mjerenja s Vertex-om

3.10. Terensko prikupljanje podataka

Sustav FieldMap (IFER, Češka Republika) je korišten za prikupljanje podataka na pokusnim plohama radi određivanja pozicije stabla u sklopu dijela istraživanja koji je obuhvaćao analizu horizontalne strukture bukovo-jelove prašume. Sustav koristi laserski mjerač s udaljenosti s elektronskim kompasom i prijenosnim računalom za određivanje pozicije stabala u lokalnom koordinatnom sustavu. Njegova primjena u znanstvenim istraživanjima je kao instrument za kartiranje pozicije stabala, projekcije krošanja mrtvog drva u prostoru na trajnim pokusnim plohama. Prije početka rada na terenu potrebno je kreirati bazu podataka koja će služiti za unos novih stabala. Baza podataka je kreirana unutar programa FieldMap Project Manager 8 (IFER). U formatu koji omogućava daljnju manipulaciju (u MS-Accessu). Unutar programa nalaze se dva glavna sloja: 'ploha' i 'stablo'. U sloj 'ploha' određen je upis osnovnih podataka o plohi (naziv, površina, lokacija itd.). Unutar sloja stablo, za svako stablo određen je upis osnovnih dendrometrijskih vrijednosti poput: promjera na prsnoj visini, visine stabla, visina baze krošnje (žive), dužina debla, dužina krošnje te su dodane nove varijable: vrsta drveća, sušac (da/ne).

Rad s FieldMap sustavom se odvija u FieldMap Data Collector softwareu (IFER). Način izmjere s FieldMap sustavom se odvija slično kao i sa klasičnim geodetskim instrumentima koji na sebi imaju laser. Laserska zraka u kombinaciji s elektronskim kompasom služi za mjerenje udaljenosti i kuta izmjere čime se dobije trodimenzionalna koordinata traženog objekta (x,y,z) u prostoru. Uz objekt izmjere (stablo) se na unaprijed određenu visinu, najčešće 1,3 m, i na poziciju (ispred stabla) postavi reflektirajući krug od kojeg se odaslana laserska zraka vraća do mjernog instrumenta. Izmjerena vrijednost se putem laserskog uređaja, koji je serijskim kabelom spojen s terenskim računalom, zapisuje u pripremljeni poziciju u bazi podataka koja je izrađena u programu FieldMap Project Manager. Izmjere se obavljaju s referentnog stajališta (Eng. *Reference point*) tako da se s jednog mjesta izmjeri što više objekata kako bi se smanjilo vrijeme izmjere i povećala preciznost, koji mogu biti narušeni radi čestog mjerenja referentnih stajališta.

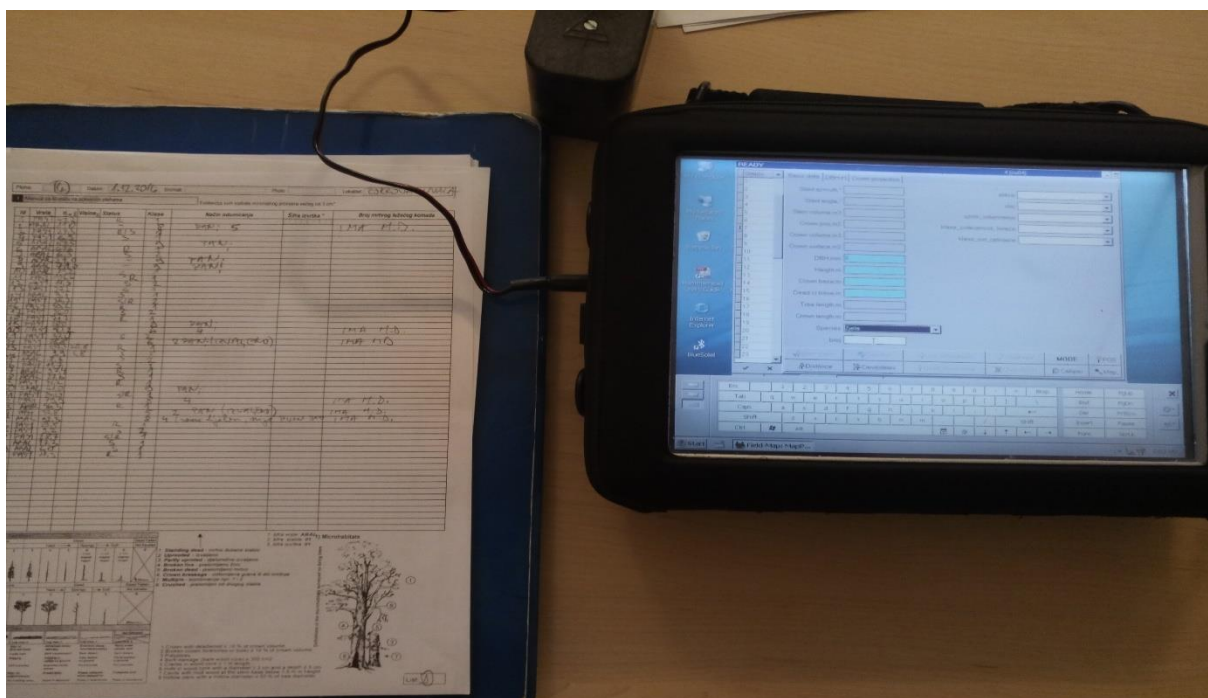
Unos novog stabla, unutar sloja 'Karta', se radi tako da se najprije izmjeri udaljenost do stabla, horizontalni i vertikalni kut (x,y,z) čime se ono smjesti u lokalni koordinatni sustav. Kasnijom obradom prostornih podataka lociranjem referentnog stabla, ostala su smještena u

geografski informacijski sustav (GIS). Svako stablo koje prelazi taksacijski kriterij (>10 cm) dobiva novu jedinstvenu oznaku pod kojom se vodi u okviru tog projekta.

Nakon izmjere pozicije, stablu se mjeri prsni promjer, visina. Završetkom unosa za pojedino stablo prelazi se na sloj 'Karta' na kojem se upisuje novo stablo (Paulić 2015). Stabla su se označavala rednim brojevima s kredom a nakon mjerenja s FieldMap-om uzete su visine pojedinih stabala uz pomoć Vertex-a. Korištenje Vertex-a u izmjeri predmeta istraživanja ubrzalo je postupak dobivanja podataka o visinama stabala (Paulić 2015).

3.11. Analiza podataka

Prije same analize podataka pomoću programa LIDAR 360 potrebno je u terensko računalo upisati prsni promjer te vrstu drveća pod određenim rednim brojem koje je dodijeljeno svakome stablu prilikom terenske izmjere.



Slika 7. *Unošenje podataka u terensko računalo*

Analiza i obrada podataka se provela pomoću programa LIDAR 360 u kojemu smo napravili normalizaciju oblaka točaka te proveli regresijsku analizu koristeći terestrične izmjere na 19 kružnih pokusnih ploha, svaka površina 1000 m^2 i oblaka točaka dobivenih pomoću avionskog snimanja LiDAR-a.

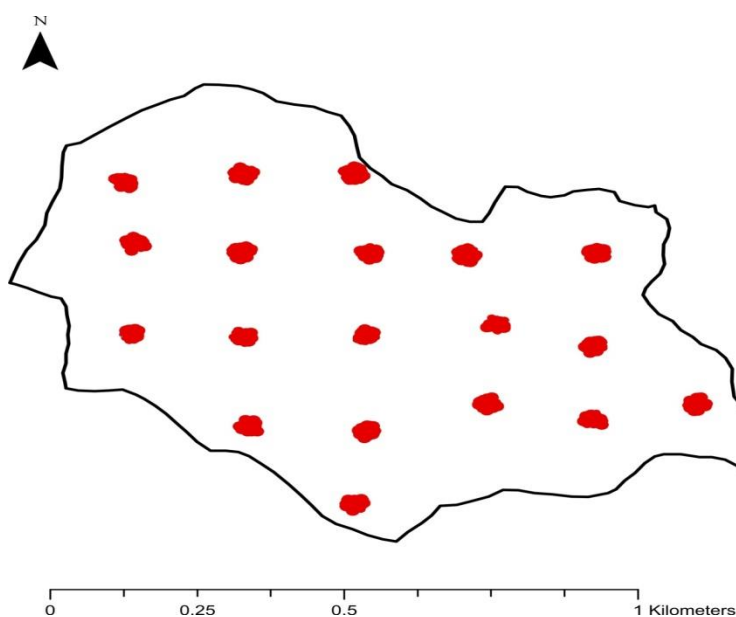
LiDAR360 je softver za obradu, analizu i manipulaciju LiDAR podataka. Normalizacija predstavlja postupak kojim se svaka pojedina točka unutar oblaka podataka oduzima s apsolutnom vrijednosti nadmorske visine te se tako dobiva vrijednost visine od nule. Na ovaj način se mogu dobiti vrijednosti realne visine stabala pokrova zemljišta.

Nakon normalizacije oblaka točaka u program LIDAR 360 ubacujemo podatke pokusnih ploha prikazano na slici 7. Izračunate vrijednosti se pomoću linearne regresije izvode u matematički model. Nakon dobivanja modela radi se predikcija za cijelo područje oblaka točaka u prostornoj rezoluciji koja odgovara površini terenske plohe a to je u našem slučaju 1000 m^2 .

4. REZULTATI

4.1. Prostorni raspored pokusnih ploha

Na području prašume Čorkova uvala, Odjela 1 ukupno smo postavili 19 kružnih pokusnih ploha. Svaka pokusna ploha ima površinu 1000 m^2 odnosno radijus 17.84 m od centra plohe.



Slika 8. *Prostorni raspored pokusnih ploha nakon korekcije s GPS Blue II*

4.2. Izmjerena struktura sastojine na pokusnim plohama

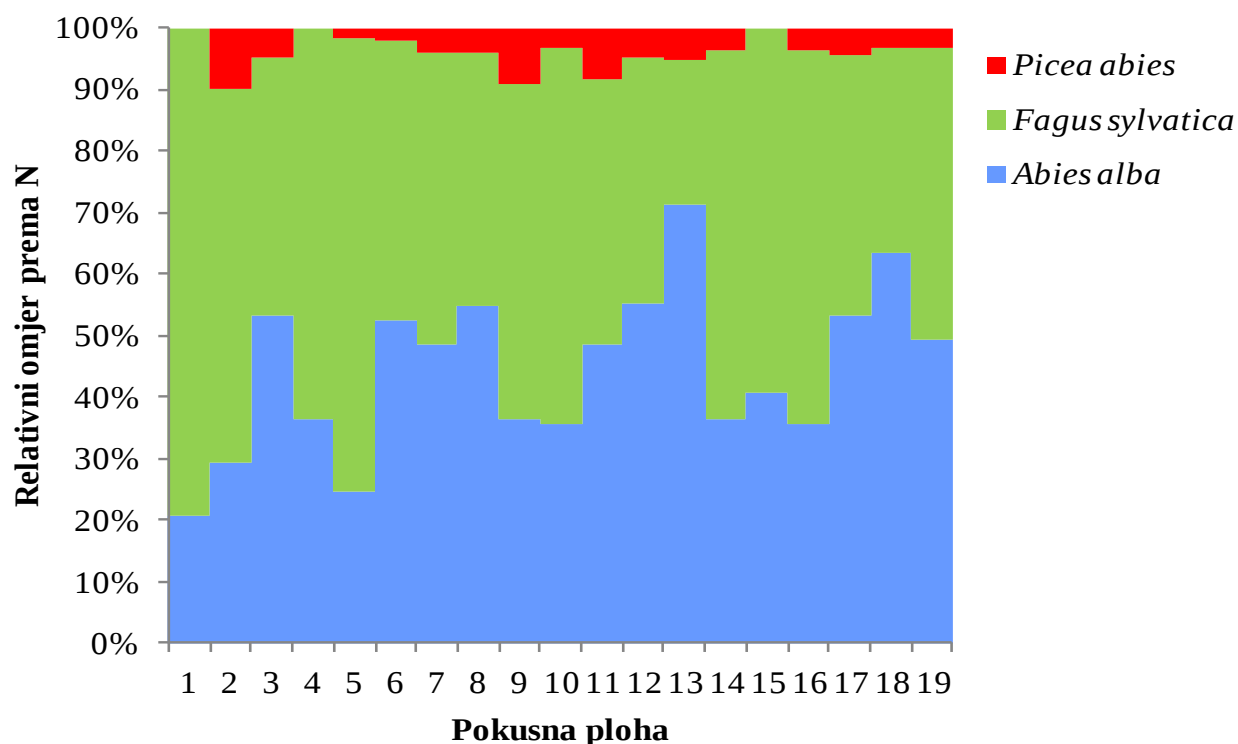
Tablica 2. Osnovne strukturne značajke na istraživanim plohama

Ploha	<i>Abies alba</i>			<i>Fagus sylvatica</i>			<i>Acer pseudoplatanus</i>			<i>Picea abies</i>			Ukupno		
	N (kom)	G (m ²)	V (m ³)	N (kom)	G (m ²)	V (m ³)	N (kom)	G (m ²)	V (m ³)	N (kom)	G (m ²)	V (m ³)	N (kom)	G (m ²)	V (m ³)
1	6	4.89	17.46	23	3.57	49.30							29	8.46	66.76
2	12	1.29	17.47	25	2.98	44.81				4	0.22	2.44	41	4.49	64.72
3	33	3.63	34.12	26	4.33	56.41				3	0.03	0.13	62	7.99	90.66
4	12	2.97	25.94	21	5.12	81.80							33	8.09	107.73
5	13	7.28	66.47	39	2.89	47.30				1	0.02	0.07	53	10.19	113.85
6	23	9.05	64.13	20	1.60	21.07				1	0.57	10.64	44	11.22	95.84
7	35	7.52	61.84	34	2.63	43.81				3	1.34	23.84	72	11.49	129.49
8	39	7.61	52.37	29	3.07	44.81				3	0.26	3.36	71	10.94	100.54
9	12	4.92	35.58	18	2.25	26.96	2	0.15	1.73	3	0.44	6.49	35	7.77	70.77
10	22	4.29	10.55	38	3.29	38.28				2	0.24	3.05	62	7.82	51.88
11	29	5.40	43.32	26	1.99	20.72				5	0.39	5.06	60	7.79	69.10
12	22	0.78	3.83	16	2.39	23.30				2	1.94	38.26	40	5.11	65.39
13	42	6.32	57.70	14	1.81	17.98				3	0.93	15.21	59	9.06	90.90
14	20	4.25	22.81	33	2.96	26.15				2	1.41	25.70	55	8.62	74.65
15	24	6.42	42.06	35	3.88	44.12							59	10.30	86.18
16	20	6.85	86.61	34	2.66	31.56				2	0.50	8.59	56	10.01	126.75
17	24	3.15	28.05	19	2.98	32.76				2	0.53	7.79	45	6.66	68.60
18	38	3.71	44.24	20	3.93	48.76				2	0.38	6.47	60	8.02	99.47
19	29	5.92	25.82	28	3.81	39.82				2	0.03	0.16	59	9.76	65.80
Ukupno	455	96.25	740.36	498	58.15	739.70	2	0.15	1.73	40	9.23	157.28	995	163.79	1639.07

Iz tablice 2. je vidljivo da je najveći udio stabala obične bukve (498) zatim stabala obične jele (455), smreke (40) a neznatan broj stabala gorskog javora (2). Najmanji broj jelovih stabala nalazi na prvoj pokusnoj plohi (6) dok najveći broj se nalazi na trinaestoj plohi (42). Kod obične bukve najveći broj stabala je izmjeren na 5. plohi (39) dok je najmanji broj stabala na plohi trinaest (14). Ukupno je izmjereno 995 stabala.

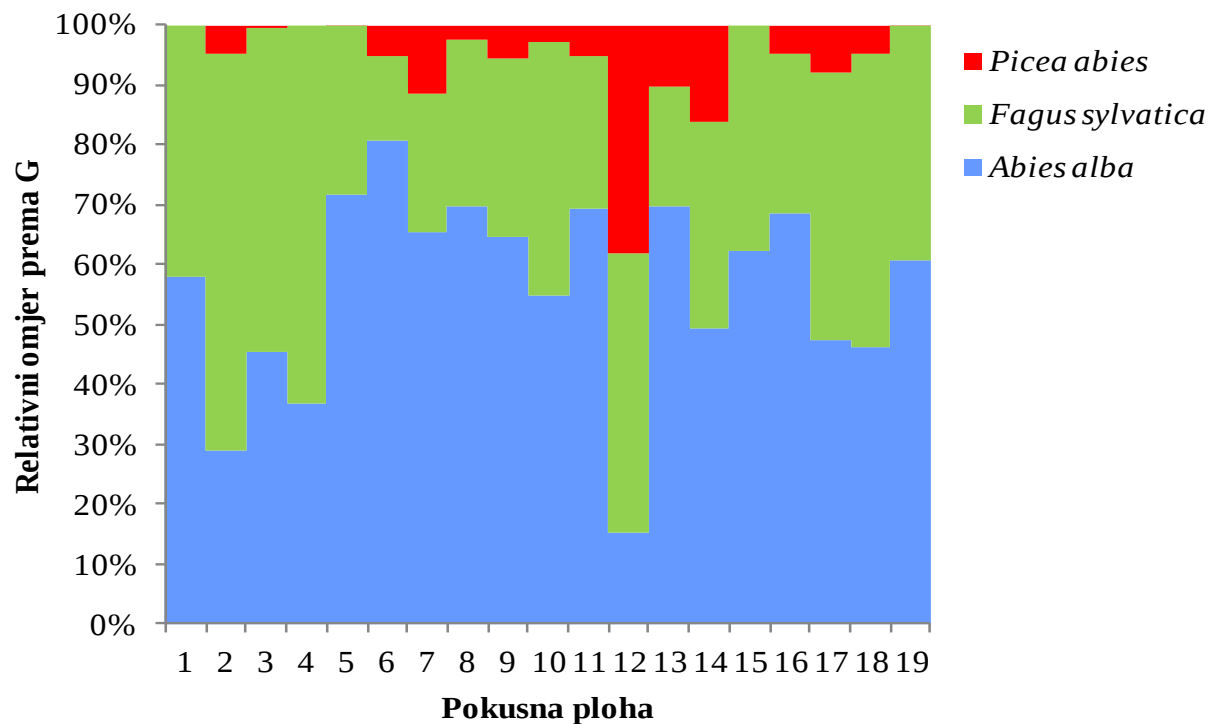
Temeljnica je najveća kod obične jele 96,25 m², kod obične bukve iznosi 58,15 m², smreke 9,23 m² te gorskog javora neznanih 0,15 m². Najveća temeljnica kod obične jele izmjerena je na plohi šesnaest (6,85 m²) dok je kod bukve najveća temeljnica na plohi četiri (4,33 m²). Temeljnica svih izmjerenih stabala iznosi 163,79 m².

Volumen je kod obične jele (740,36 m³) i obične bukve (739,70 m³) je gotovo izjednačen iz čega možemo zaključiti da su stabla obične jele krupniji i deblji sa obzirom na to da je manji broj jelovih stabala (455) nego što je broj bukovih stabala (498). Volumen kod smreke iznosi 157,28 m³, dok je volumen gorskog javora zanemariv 1,73 m³. Ukupan volumen svih stabala na svih 19 ploha iznosi 1639,07 m³.

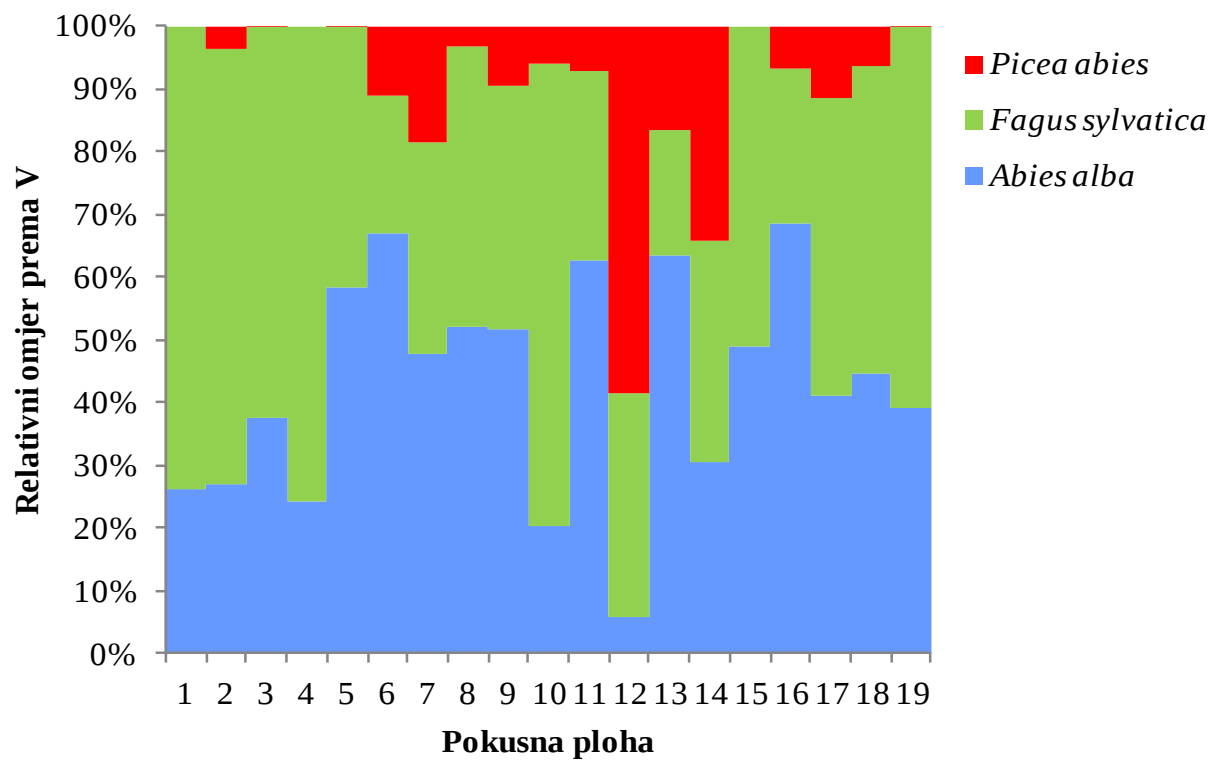


Slika 9. *Relativni omjer učešća vrsta prema broju stabala i pokusnim ploham*

Sa slike 9. možemo zaključiti kako je udio obične jele u ukupnoj smjesi najveći na plohi trinaest te on iznosi gotovo 70%. Najmanji udio obične jele je na plohi jedan i pet gdje iznosi tek oko 20%. Najveći udio bukve je na plohi jedan te na plohi pet gdje iznosi oko 80%, a najmanje na plohi trinaest gdje je oko 20%. Obične smreke ima relativno mali udio u omjeru smjese a najviše sudjeluje na ploham jedanaest i na plohi pet s udjelom od 10%. Na nekim ploham kao što su ploha broj jedan, četiri i petnaest udio smreke ne postoji jer nije zabilježeno nijedno stablo obične smreke tijekom terenske izmjere.

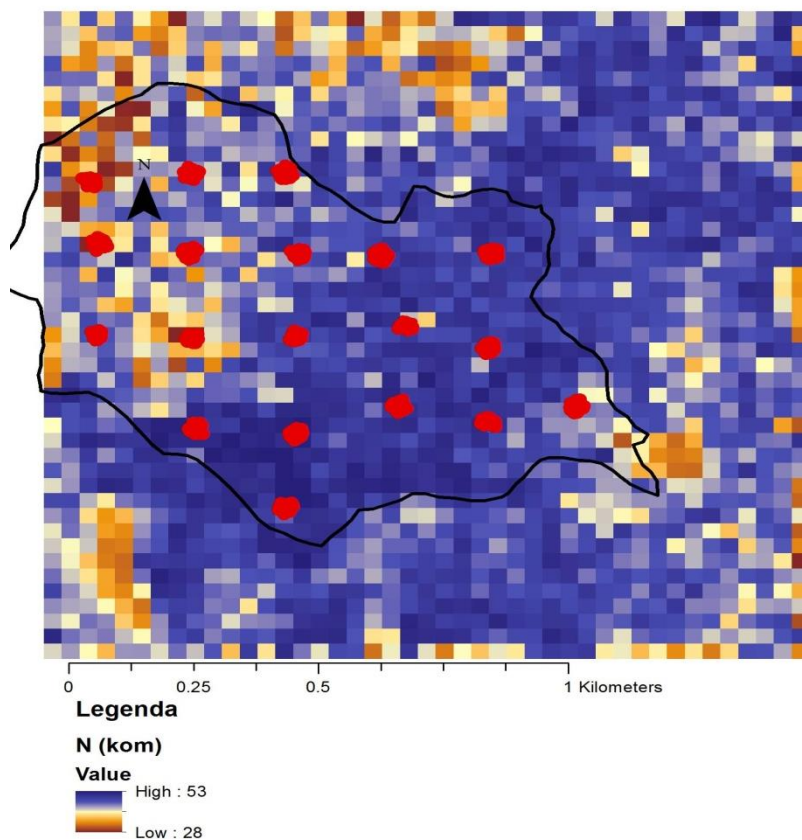


Slika 10. Relativni omjer učešća vrsta prema temeljnici i pokusnim ploham



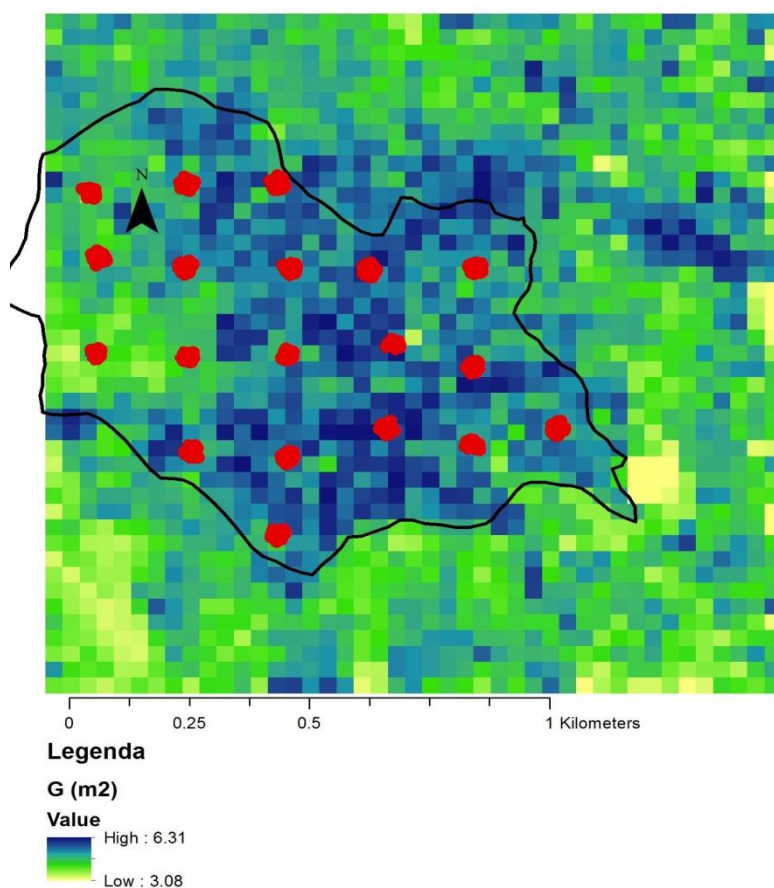
Slika 11. Relativni omjer učešća vrsta prema volumenu i pokusnim ploham

4.3. Prostorna predikcija regresijskog modela



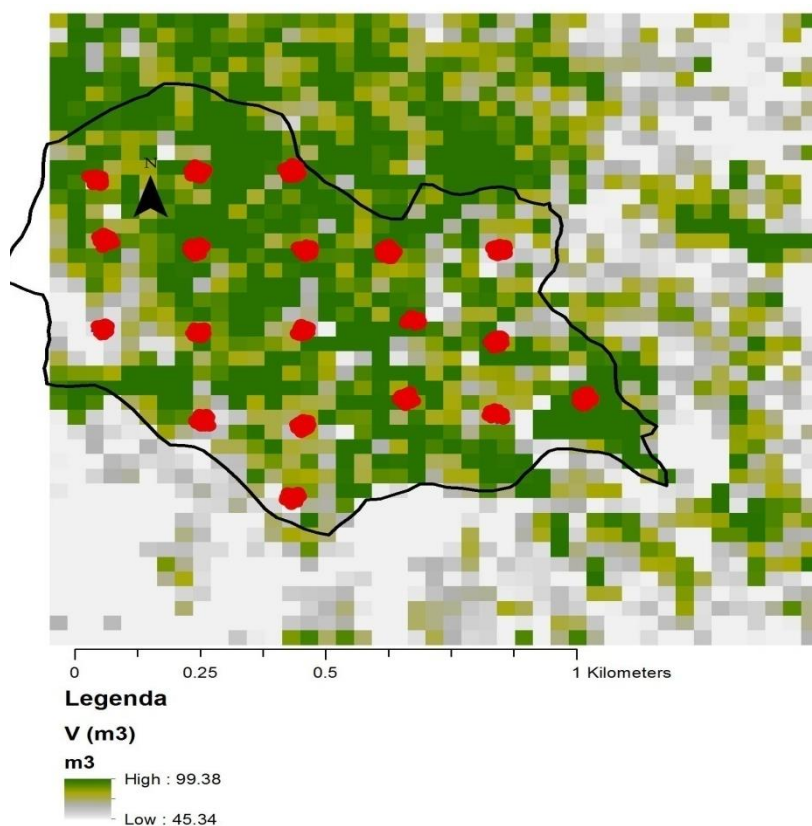
Slika 12. *Prostorna predikcija gustoće stabala*

Prikaz gustoće stabala na određenom mjestu unutar prašume Čorkova uvala. Plavom bojim su označena mjesta gdje je veći broj stabala po jedinici površine, a što je boja svjetlija prikazuje manji broj stabala. Sa slike 12. možemo utvrditi da je središnji dio, južni te istočni dio Čorkove uvale s velikim udjelom stabala po jedinici površine dok su zapadni dijelovi svjetlije boje te imaju manji broj biljaka po jedinici površine.



Slika 13. *Prostorna predikcija temeljnice stabala*

Sa slike 13. možemo zaključiti da je u srednjem dijelu, južnom te istočnom dijelu Čorkove uvale koncentrirana najveća stabla (plava boja), te da je ona prema zapada su nešto manjih dimenzija (zelena boja). Na temelju te slike 29. možemo utvrditi da je na zapadnim dijelovima prašume Čorkove uvale počela faza pomlađivanja te da su tu mlađa i tanja stabla. Također se da zaključiti da su stabla u središtu, na južnom i istočnom dijelu prašume Čorkova uvala u optimalnoj fazi ili fazi starenja.



Slika 14. *Prostorna predikcija drvne zalihe*

Zelenom boja označava najveća drvu zalihu dok je bijelom bojom označena najmanja drvena zaliha (slika30.). Može se zaključiti kako u Čorkovoj uvali je velika drvena zaliha s obzirom na šume izvan granica prašume Čorkove uvale. Uzrok toga je gospodarenje tim šumama koje je sada zaustavljeno i ta šuma je u procesu vraćanja u prašumu gdje će ona s vremenom svojim najbitnijim strukturnim obilježjima postati slična pravoj prašumu odnosno u ovom slučaju Čorkovoj uvali. Također nate melju volumen možemo zaključiti da je sastojina Čorkova uvala u optimalnoj fazi ili u fazi starenja, osim krajnji zapadni dijelovi prašume.

5. RASPRAVA

Čorkova uvala se desetljećima istražuje. Od akademika Matića, koji je prvi postavio pokusnu plohu 1957. godine pa sve do danas obavljena su brojna istraživanja te brojni znanstveni radovi. No, i dalje prašuma Čorkova uvala je zanimljiva brojim znanstvenicima iz područja šumarstva. Njena netaknuta prirodna, odnosno prašumski procesi su neizmjereno bogatstvo koje ima Republika Hrvatska te je kao takvu treba što više istražiti kako bi se shvatili prirodni ciklus određene vrste i šumske sastojine odnosno koje su sve njene mogućnosti bez antropogenih utjecaja. Čorkova uvala je također odlično mjesto za istražiti i nove, modernije tehnologije da se ispituju njene mogućnosti odnosno prednosti nad starijim komercijalnim uređajima.

Cilj ovog istraživanja je bio ispitati mogućnost uporabe LiDAR-a za analizu strukturnih značajki te razvojnih stadija i faza u prašumi Čorkova uvala u Nacionalnom parku Plitvička jezera.

Istraživanje je sastojalo od terenskog i uredskog dijela.

Terensko istraživanje se sastojalo od mjerenja pozicije stabala pomoću Fieldmap-a, odnosno mjerenje visina sa Vertex-om te prsnih promjera sa promjerkom svih stabala iznad taksacijske granice (>10 cm) na pokusnoj plohi. Ukupno je obavljeno mjerenje na 19 ploha veličine radijusa 17,84 m od centra plohe.

Uredski posao se sastojao od unosa podataka dobivenih na terenu te obrada podataka pomoću programa LIDAR 360.

Na temelju dobivenih rezultata možemo zaključiti da je najveći broj stabala obične bukve (498), zatim obične jele (455), obične smreke (40) te gorskog javora (2). Ukupno je izmjereno 955 stabala.

Obična jela dominira kada je u pitanju temeljnica sa $96,25\text{m}^2$ nakon jele najveću temeljnicu ima obična bukva sa $58,15\text{m}^2$. smreka ima $9,3\text{m}^2$, a gorski javor neznatnih $0,15\text{m}^2$. Ukupna temeljnica svih stabala izmjerenih na 19 ploha iznosi $163,79\text{m}^3$.

Kada je riječ o volumenu tu su obična jela i obična bukva vrlo izjednačene. Obična jele ima $470,36\text{m}^3$, dok obična bukva ima $739,70\text{m}^3$. Na temelju tih rezultata i rezultata o broju stabala po jedinici površine možemo zaključiti kako su stabla jele krupnija odnosno

veća od stabala obične bukve koje ima više. Obična smreka ima $157,28\text{m}^3$ dok gorski javor $1,73\text{m}^3$. Ukupna drva zaliha svih izmjerenih stabala iznosi : $1639,07\text{m}^3$.

Na temelju predikcije gustoće stabala, temeljnice i volumena možemo zaključiti kako su najveća stabla koncentrirana na sjeverozapadnom te na krajnjem jugoistočnom dijelu Čorkove uvale. A središnji dio ima veliku gustoću stabala. Na temelju tih podataka možemo zaključiti kako se sjeverozapadni dio te jugoistočni dio prašume Čorkove uvale nalazi u optimalnoj fazi te u podfazi raspadanja kada imaju najveću drvenu zalihu i koju čine najkrupnija stabla, a manju gustoću stabala. Za razliku od središnjeg te zapadnog dijela prašume gdje se nalazi veliki broj stabala te izraženi volumen pa za taj dio prašume možemo zaključiti kako se nalazi fazi pomlađivanja odnosno inicijalnoj fazi.

6. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenih izmjera i istraživanja može se zaključiti sljedeće:

- LiDAR-a u inventarizacijama strukturne prašumskih rezervata predstavlja potencijalno upotrebljivu metode i to naročito za inventarizacije velikih površina
- Najveća objašnjena varijabilnost od svih strukturnih čimbenika utvrđena je za temeljnice stabala (G), zato što ova varijabla nije ovisna o broju stabala, naročito tanjih, zastračenih stabala i podrasta
- Prostorno rezolutnije podatke možemo dobiti postavljanjem manjih pokusnih ploha na terenu
- Kombinacijom Field-Map sustava i LiDAR-a značajno se ubrzava prikupljanje podataka te budući monitoring prašumskih rezervata

LITERATURA

Andersen, H.E., R. McGaugheyb, S. Reutebuch , 2005: Estimating forest canopy fuel parameters using LiDAR data, *Remote Sensing of Environment* 94: 441-449.

Anić, I., 2004: Prašume i njihovo značenje za gospodarenje šumama u Hrvatskoj. *Glasnik zaštite bilja*, 27(6): 85-96.

Anić, I., 2007: Utjecaj structure i pomlađivanja na potrajnost šuma bukve i jele te šuma bukve Nacionalnog parka Plitvička jezera. *Elaborat, Šumski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, 62.str.

Anić, I., 2009: Uzgajanje šuma II. Interna skripta, Sveučilište u Zagrebu, Šumarsku fakultet, Zagreb.

Anić, I., 2011: Dinamika bukovo-jelove šume u uvjetima trajne zaštite. *Zbornik radova znanstveno stručnog skupa Nacionalnog parka Plitvička jezera povodom 60 godina od osnivanja i 30 godina od upisa na UNESCO-vu listu svjetske kulturne i prirodne baštine. Plitvička jezera*, str. 104-119.

Diaci, J., D. Roženberger, I. Anić, S. Mikac, M. Saniga, S. Kucbel, C. Visnjic, D. Ballian, 2011: Structural dynamics and synchronoussilverfir decline in mixed old-growth mountain forests in Eastern and Southeastern Europe. *Forestry*, doi:10.1093/forestry/cpr030.

Foster, D.R., Orwig, D.A., McLachlan, J.S., 1996. Ecological and conservation insights from reconstructive studies of temperate old-growth forests. *Trends Ecol. Evol.* 11, 419–424.

Gajski D. (2007): Osnove laserskog skeniranja iz zraka, Ekscentar, no. 10, pp. 16-22.

Goodwin, N., N. Coops, D. Culvenor , 2006: Assessment of forest structure with airborne LiDAR and the effects of platform altitude, *Remote Sensing of Environment* 103: 140–152.

Korpel, Š., 1995: Die Urwälder der Westkarpaten. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-Jena-New York, 310 str.

LIM K, TREITZ P, WULDER M, ST-ONGE B, FLOOD M 2003 LIDAR remote sensing of forest structure. *Prog Phys Geog* 27 (1): 88-106.

Matić, S., 2009: Veza između prirodnog gospodarenja i životnih faza u razvoju prašume. U: S. Matić, I. Anić (ur.), Zbornik radova znanstvenog skupa Prašumski ekosustavi dinarskoga krša i prirodno gospodarenje šumama u Hrvatskoj, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, str. 9-19.

Matijević, H.; Roić, M (2002): Terestrički laserski skeneri, Geodetski list, 3, 171-187.

Mikac, S., 2010: Strukturna i regeneracijska dinamika bukovojelove prašume Čorkova uvala. Disertacija. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 159 str.

Novak Z. (2007): OptechLiDAR, Ekscentar, no. 10, pp. 24-30.

Nikola Lukić, Mario Božić, Juro Čavlović, Krunoslav Teslak, Domagoj Novosel: Istraživanje primjenjivosti ultrazvučnog visinomjera/daljinomjera Vertex III u odnosu na najčešće korištene visinomjere u šumarstvu Hrvatske. Šumarski list br.9-10, 2005., 481-488.

Paulić, V., 2015: Prosudba opasnih stabala korištenjem vizualnih metoda i arborikulturnih instrumenata, Doktorski rad (str.49-50)

Prpić, B., 1972: Neke značajke prašume Čorkova uvala. Šumarski list XCVI(9 – 10): 325 – 333.

Prpić, B., Z. Seletković, 1996: Istraživanja u hrvatskim prašumama i korištenje rezultata u postupku s prirodnom šumom. U: B. Mayer (ur.) Unapređenje proizvodnje biomase šumskih ekosustava, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Šumarski institute, Jastrebarsko, Zagreb, str. 97-104.

Prpić B., Matić S., Vukelić J., Seletković Z., 2001: Bukovo-jelove prašume hrvatskih dinarida. Obična jela (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj, s. 479

Prpić, B., Z. Seletković, I. Tikvić, 2009: Prašuma Čorkova uvala u svjetlu pružanja općekorisnih funkcija šume, U: S. Matić, I. Anić (ur.), Zbornik radova znanstvenog skupa Prašumski ekosustavi dinarskog krša i prirodno gospodarenje šumama u Hrvatskoj, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti str. 125-134

Tikvić, I, Z. Seletković, D. Ugarković, N. Magdić, 2006: Dinamika odumiranja stabala u prašumi Čorkova uvala Nacionalnog parka Plitvička jezera. Glasnik za šumarske pokuse, post.izd. 5, 105-116.

Žmegač, A., 2015 Upotreba laserskog skenera (LiDAR) u istraživanju dinamike bukovo-jelove prašume Čorkova uvala- Čudinka

