

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

V zbirki je izvirna različica izdajatelja.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

University  
of Ljubljana  
Faculty of  
*Civil and Geodetic  
Engineering*



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is a publisher's version PDF file.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Lavrič, M. 2016. Določevanje vrst drevja v različnih valovnih dolžinah aerolaserskih podatkov. Magistrsko delo = Determination of tree species in lidar data acquired with different wavelengths. M. Sc. Thesis Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 55 str. (mentorica: doc. dr. Kosmatin Fras, M., somentorica: dr. Triglav Čekada M.).

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/6165/>

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM DRUGE STOPNJE  
GEODEZIJA IN  
GEOINFORMATIKA**

Kandidatka:

**MAJA LAVRIČ**

**DOLOČEVANJE VRST DREVJA V RAZLIČNIH  
VALOVNIH DOLŽINAH AEROLASERSKIH  
PODATKOV**

Magistrsko delo št.: 25/II.GIG

**DETERMINATION OF TREE SPECIES IN LIDAR DATA  
ACQUIRED WITH DIFFERENT WAVELENGTHS**

Graduation – Master Thesis No.: 25/II.GIG

**Mentorica:**

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

**Somentorica:**

dr. Mihaela Triglav Čekada

Ljubljana, 15. 12. 2016

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisana študentka MAJA LAVRIČ, vpisna številka 26440018, avtorica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: »DOLOČEVANJE VRST DREVJA V RAZLIČNIH VALOVNIH DOLŽINAH AEROLASERSKIH PODATKOV«

### IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: Ljubljana

Datum: 2. 12. 2016

Podpis študentke:

## **BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>528.7:582.091(497.4)(043)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Maja Lavrič</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Mojca Kosmatin Fras</b>
<b>Somentor:</b>	<b>dr. Mihaela Triglav Čekada</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Določevanje vrst drevja v različnih valovnih dolžinah aerolaserskih podatkov.</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Magistrsko delo</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>55 str., 9 pregl., 19 sl., 16 gr., 2 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>aerolasersko skeniranje, intenziteta, valovna dolžina, listavci, iglavci</b>

### **Izvleček**

V gozdarstvu je tehnologija aerolaserskega skeniranja že uveljavljena za različne namene. Podatki aerolaserskega skeniranja nam poleg položajnih koordinat podajo tudi odbojnost površine na kateri je prišlo do odboja laserskega žarka. Odbojnost površine opiše intenziteta vrnjenega odboja, na podlagi katere so različni avtorji že poskušali klasificirati drevesne vrste. S primerjavo povprečnih vrednosti intenzitet posameznih drevesnih vrst smo ugotavljali značilne vrednosti, ki bi pripadale določeni drevesni vrsti. V analizo so bili vključeni štiri seti podatkov. Prva dva seta podatkov sta bila zajeta v času olistanosti z enako valovno dolžino, 1550 nm. Prvi set podatkov je bil zajet spomladi, drugi pa pozno poleti. Tretji in četrti set podatkov sta bila zajeta z valovno dolžino 1064 nm, pri čemer je tretji set podatkov zajet v času neolistanosti, četrti pa v času olistanosti.

V analizo je bilo vključenih sedeminpetdeset iglatih dreves in šestinpetdeset listnatih dreves, skupaj sto trinajst dreves različnih drevesnih vrst. Znotraj skupine iglavcev smo se osredotočili na smreko in macesen. Med listavci pa smo podrobneje analizirali oreh, javor, jesen in lipo. Ugotovili smo, da je ločevanje med iglavci in listavci bolj zanesljivo v času neolistanosti, saj je povprečna intenziteta iglavcev dvakrat večja od povprečne intenzitete listavcev, to velja predvsem za tretji set podatkov, pri katerem so podatki zajeti z valovno dolžino 1064 nm. Razlike v povprečni vrednosti intenzitet med listavci in iglavci so dobro vidne tudi v času olistanosti. Povprečna intenziteta listavcev je višja od povprečne intenzitete iglavcev, pri čemer so razlike večje pri zajemu podatkov z valovno dolžino 1064 nm (četrti set podatkov), in manjše pri zajemu podatkov z valovno dolžino 1550 nm. Splošna ugotovitev te raziskave je tudi ta, da je intenziteta lubja in lesenih delov dreves nižja od intenzitete iglic in listov. Izkazalo se je tudi, da na osnovi zmanjšanja ali povečanja deleža prvih odbojev v določeni valovni dolžini lahko pri listavcih ugotovimo ali so bili že olistani ali ne. Na ta način smo ugotovili, da oreh in jesen v prvem setu podatkov še nista imela povsem razvite krošnje, v primerjavi z javorjem in lipo.

---

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 528.7:582.091(497.4)(043)  
**Author:** Maja Lavrič  
**Supervisor:** Assist. Prof. Mojca Kosmatin Fras, Ph. D.  
**Cosupervisor:** Mihaela Triglav Čekada, Ph. D.  
**Title:** Determination of tree species in lidar data acquired with different wavelengths  
**Document type:** M. Sc. Thesis  
**Notes:** 55 p., 9 tab., 19 fig., 16 graph., 2 ann.  
**Key words:** airborne laser scanning, intensity, wavelength, deciduous, coniferous

**Abstract**

In forestry, the airborne laser scanning is already being used for various purposes. Data gathered from airborne laser scanning besides positional coordinates also provides surface reflectance from which the laser echoes derived. Echoes intensity describes surface reflectance, upon which some authors already tried to classify individual tree species. By comparing average intensities of individual trees species we assessed characteristic values, which could belong to specified tree species. Four sets of data were included into analysis. First two datasets were gathered in leaf on with wavelength of 1550 nm. First dataset was gathered in spring; second set was gathered in late summer. Third and fourth dataset were gathered with wavelength of 1064 nm, in which the third set was gathered in leaf off, but the fourth in leaf on.

Fifty-seven coniferous and fifty-six deciduous trees, together hundred thirteen diverse tree species were included into analysis. Within conifers, we point our focus onto spruce and larch. Among deciduous the focus was on walnut, maple, ash and linden. We found out that classification between coniferous and deciduous is much more reliable in leaf off. Average intensity of coniferous is twice the average intensity of deciduous, the more so with third dataset in which 1064 nm wavelength has been used. Difference in average intensities between deciduous and coniferous also stand out in leaf on. Average intensity of deciduous is higher than average intensity of coniferous. Differences are bigger in the fourth dataset (1064 nm) and smaller in the first and the second datasets (1550 nm). In general, our research also shows that intensity of bark and wood is lower than the intensity of needles and leaves. It also turns out that according to the decrease or increase proportion of first echoes in the specific wavelength it can be distinguished whether deciduous are leaf on or not. In this way, we found out that walnut and ash in the first dataset have not had yet fully developed crown in comparison to maple and linden.

## **ZAHVALA**

Ob izdelavi magistrske naloge mi je bila v veliko pomoč somentorica dr. Mihaela Triglav Čekada, ki ji gre posebna zahvala za strokovne nasvete in vodenje pri nastajanju magistrske naloge. Prav tako, se za strokovne nasvete in predloge, zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Kosmatin Fras.

Zahvaljujem se tudi moji družini in Bojanu, ki sta mi stala ob strani v času študija in ob izdelavi te magistrske naloge.

Maja Lavrič

**KAZALO VSEBINE**

<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1 Hipoteza.....	1
<b>2 TEORETIČNA IZHODIŠČA.....</b>	<b>2</b>
2.1 Aerolasersko skeniranje v gozdarstvu .....	2
2.2 Diskretni ali valovni sistem laserskega skeniranja .....	3
2.3 Interakcija laserskega žarka z drevesno krošnjo .....	3
2.4 Digitalni model terena v gozdu in digitalni model krošenj.....	5
2.5 Zaznavanje in modeliranje individualnih dreves.....	6
2.6 Intenziteta laserskega impulza .....	7
2.7 Določitev drevesne vrste.....	9
2.7.1 Klasifikacija drevesnih vrst v Evropi.....	10
2.7.2 Klasifikacija drevesnih vrst v Severni Ameriki.....	12
<b>3 UPORABLJENI PODATKI IN PROGRAMSKA OPREMA.....</b>	<b>15</b>
3.1 Podatki.....	15
3.2 Programska oprema .....	18
3.2.1 QGIS .....	18
3.2.2 FugroViewer .....	18
3.2.3 LAStools .....	19
<b>4 METODE DELA.....</b>	<b>21</b>
4.1 Priprava podatkov in določanje drevesne vrste posameznih dreves.....	21
4.2 Krošnje posameznih drevesnih vrst.....	22
4.2.1 Iglavci .....	22
4.2.2 Listavci.....	23
<b>5 REZULTATI.....</b>	<b>26</b>
5.1 Analiza intenzitete laserskega skeniranja v odvisnosti od valovne dolžine na podlagi vseh odbojev.....	29
5.1.1 Iglavci .....	29
5.1.1.1 Smreka .....	30
5.1.1.2 Macesen .....	31
5.1.1.3 Bor.....	33



5.1.1.4	Primerjava med iglavci .....	33
5.1.2	Listavci.....	34
5.1.2.1	Oreh .....	35
5.1.2.2	Javor.....	36
5.1.2.3	Jesen in lipa.....	38
5.1.2.4	Primerjava med listavci.....	39
5.1.2.5	Iglavci in listavci .....	41
5.2	Analiza intenzitete laserskega skeniranja v odvisnosti od valovne dolžine na podlagi prvih odbojev.....	46
5.2.1	Iglavci .....	47
5.2.2	Listavci.....	47
<b>6</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>49</b>
<b>VIRI.....</b>		<b>52</b>

**KAZALO GRAFIKONOV**

GRAFIKON 1: ŠTEVILO IGLAVCEV IN LISTAVCEV, KI SO VKLJUČENI V ANALIZO. ....	26
GRAFIKON 2: DREVESNE VRSTE IGLAVCEV. ....	29
GRAFIKON 3: POVPREČNA INTENZITETA POSAMEZNIH DREVES SMREKE V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	31
GRAFIKON 4: POVPREČNA INTENZITETA POSAMEZNIH DREVES MACESNA V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	32
GRAFIKON 5: POVPREČNA INTENZITETA BORA V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	33
GRAFIKON 6: POVPREČNA INTENZITETA SMREKE IN MACESNA S STANDARDNIMI ODKLONI POVPREČNIH INTENZITET V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	34
GRAFIKON 7: DREVESNE VRSTE LISTAVCEV. ....	35
GRAFIKON 8: POVPREČNA INTENZITETA POSAMEZNIH DREVES OREHA V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	36
GRAFIKON 9: POVPREČNA INTENZITETA POSAMENIH DREVES JAVORJA V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	37
GRAFIKON 10: POVPREČNA INTENZITETA POSAMEZNIH DREVES JESENA V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	38
GRAFIKON 11: POVPREČNA INTENZITETA POSAMEZNIH DREVES LIPE V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. .....	39
GRAFIKON 12: POVPREČNA INTENZITETA OREHA, JAVORJA, JESENA IN LIPE S STANDARDNIMI ODKLONI POVPREČNIH INTENZITET, V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	40
GRAFIKON 13: POSAMEZNE DREVESNE VRSTE, KI SO BILE VKLJUČENE V ANALIZO PRI LOČEVANJU LISTAVCEV IN IGLAVCEV. ....	42
GRAFIKON 14: POVPREČNA INTENZITETA VSEH IGLAVCEV IN LISTAVCEV S STANDARDNIMI ODKLONI POVPREČNIH INTENZITET, V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	46
GRAFIKON 15: POVPREČNA INTENZITETA SMREKE IN MACESNA, IZRAČUNANA LE NA PODLAGI PRVIH ODBOJEV, S STANDARDNIMI ODKLONI POVPREČNIH INTENZITET V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV .....	47
GRAFIKON 16: POVPREČNA INTENZITETA OREHA, JAVORJA, JESENA IN LIPE, IZRAČUNANA LE NA PODLAGI PRVIH ODBOJEV, S STANDARDNIMI ODKLONI POVPREČNIH INTENZITET V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	48

## KAZALO PREGLEDNIC

PREGLEDNICA 1: PODATKI AEROLASERSKEGA SKENIRANJA ZA POSAMEZNI SET PODATKOV. ....	17
PREGLEDNICA 2: POVPREČNA INTENZITETA SMREKE IN STANDARDNI ODKLON POVPREČNIH INTENZITET, DELEŽ PRVIH ODBOJEV, TER DELEŽ ENOJNIH ODBOJEV V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	31
PREGLEDNICA 3: POVPREČNA INTENZITETA MACESNA IN STANDARDNI ODKLON POVPREČNIH INTENZITET, DELEŽ PRVIH ODBOJEV, TER DELEŽ ENOJNIH ODBOJEV V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	32
PREGLEDNICA 4: POVPREČNA INTENZITETA OREHA IN STANDARDNI ODKLON POVPREČNIH INTENZITET, DELEŽ PRVIH ODBOJEV, TER DELEŽ ENOJNIH ODBOJEV V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	36
PREGLEDNICA 5: POVPREČNA INTENZITETA JAVORJA IN STANDARDNI ODKLON POVPREČNIH INTENZITET, DELEŽ PRVIH ODBOJEV, TER DELEŽ ENOJNIH ODBOJEV V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	37
PREGLEDNICA 6: POVPREČNA INTENZITETA JESENA IN STANDARDNI ODKLON POVPREČNIH INTENZITET, DELEŽ PRVIH ODBOJEV, TER DELEŽ ENOJNIH ODBOJEV V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	38
PREGLEDNICA 7: POVPREČNA INTENZITETA LIPE IN STANDARDNI ODKLON POVPREČNIH INTENZITET, DELEŽ PRVIH ODBOJEV, TER DELEŽ ENOJNIH ODBOJEV V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	39
PREGLEDNICA 8: POVPREČNA INTENZITETA VSEH IGLAVCEV IN STANDARDNI ODKLON POVPREČNIH INTENZITET V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	45
PREGLEDNICA 9: POVPREČNA INTENZITETA VEH LISTAVCEV IN STANDARDNI ODKLON POVPREČNIH INTENZITET V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	45

**KAZALO SLIK**

SLIKA 1: INTERAKCIJA LASERSKEGA ŽARKA Z DREVESNO KROŠNJO (1., 2. IN 3. ODBOJ). .....	4
SLIKA 2: IZBRANO OBMOČJE OBDELAVE (RDEČ KVADRAT) (VIR: GOOGLE MAPS, 2016).....	15
SLIKA 3: OBMOČJE OBDELAVE V SPLETNEM PREGLEDOVALNIKU LIDAR (VIR: MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR IN AGENCIJA RS ZA OKOLJE, 2016). .....	16
SLIKA 4: RAZDELITEV SLOVENIJE PO OBMOČJIH GLEDE NA RAZLIČNO GOSTOTO SNEMANJA (VIR: MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR IN AGENCIJA RS ZA OKOLJE, 2016). .....	17
SLIKA 5: PRIKAZ DELA OBMOČJA V PROGRAMU QGIS. ....	18
SLIKA 6: PRIKAZ DELA OBMOČJA OBRAVNAVE Z IDENTIFIKATORJI POI. ....	19
SLIKA 7: RAZREZ OBMOČJA V PROGRAMU LASTOOLS. ....	19
SLIKA 8: PRIKAZ POSAMEZNIH KROŠENJ DREVES V ORODJU LASTILE .....	20
SLIKA 9: PRIMER TERENSKEGA LISTA. ....	21
SLIKA 10: PRIMER KROŠNJE ISTE SMREKE V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	23
SLIKA 11: PRIMER KROŠNJE ISTEGA MACESNA V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	23
SLIKA 12: PRIMER KROŠNJE ISTEGA OREHA V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	24
SLIKA 13: PRIMER KROŠNJE ISTEGA JAVORJA V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	24
SLIKA 14: PRIMER KROŠNJE ISTEGA JESENA V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	24
SLIKA 15: PRIMER KROŠNJE ISTE LIPE V VSEH ŠTIRIH SETIH PODATKOV. ....	25
SLIKA 16: KARTA PRVEGA DELA OBMOČJA OBDELAVE, NA KATERI SO PRIKAZANA POSAMEZNA DREVESA, KI SO BILA VKLJUČENA V ANALIZO. ....	27
SLIKA 17: KARTA DRUGEGA DELA OBMOČJA OBDELAVE, NA KATERI SO PRIKAZANA POSAMEZNA DREVESA, KI SO BILA VKLJUČENA V ANALIZO. ....	28
SLIKA 18: KARTA PRVEGA DELA OBMOČJA OBDELAVE, NA KATERI SO PRIKAZANE POSAMEZNE DREVESNE VRSTE, KI SO BILE VKLJUČENE V ANALIZO. ....	43
SLIKA 19: KARTA DRUGEGA DELA OBMOČJA OBDELAVE, NA KATERI SO PRIKAZANE POSAMEZNE DREVESNE VRSTE, KI SO BILE VKLJUČENE V ANALIZO. ....	44

## 1 UVOD

Gozdovi v Sloveniji pokrivajo 58,4 % ozemlja, kar je več kot polovica območja celotne države. Ta podatek našo deželo uvršča na tretje mesto najbolj gozdnatih držav v Evropski uniji, takoj za Finsko in Švedsko (Zavod za gozdove Slovenije, 2015).

Pomembna entiteta v gozdu so drevesa, brez katerih si gozd težko predstavljamo. Drevo je po definiciji, ki jo navaja Brus (2004), v odrasli fazi vsaj 5 m visoka olesenela rastlina z razločno izraženim enotnim deblom, ki se visoko nad tlemi razvije v krošnjo. Posamezna drevesa so lahko del gozdnih sestojev ali pa so samostojna. V svetu poznamo mnogo različnih drevesnih vrst. Vrstna raznolikost v Sloveniji obsega 71 samoniklih drevesnih vrst, ki so večinoma sestavni del gozdnih združb in 115 tujih drevesnih vrst, ki jih najdemo v gozdnih nasadih, parkih, vrtovih... (Brus, 2004). Posamezne drevesne vrste v naravi prepoznamo po določenih znakih, ki so za posamezno vrsto značilni. Pri določanju drevesnih vrst so nam v pomoč različni priročniki. Običajno posamezne drevesne vrste prepoznamo po listih, deblu, lubju, drevesni skorji, plodovih, cvetovih in ne nazadnje tudi po značilnih rastiščih (Hofman, 2012). Takšen postopek določanja drevesnih vrst je primeren za manjša območja ali območja posebnih interesov. Na območjih prostranih gozdov pa si pomagamo z različnimi tehnologijami.

V zadnjem času se na področju gozdarstva za različne namene uporablja aerolasersko skeniranje, ki nam poleg položajnih koordinat poda tudi odbojnost površine, na kateri je prišlo do odboja laserskega žarka. Za aerolasersko skeniranje se je uveljavila tudi okrajšava lidar, ki je sestavljena iz prvih črk angleškega poimenovanja tehnologije (angl. LiDAR – Light Detecting and Ranging).

Odbojnost površine predstavlja intenziteta vrnjenega odboja, na podlagi katere so različni avtorji že poskušali klasificirati drevesne vrste. V tej raziskavi smo tudi mi ugotavljali značilne vrednosti intenzitet, ki bi pripadale posamezni drevesni vrsti in na podlagi katere bi nato lahko razvrstili drevesa. Pri tem smo upoštevali tudi valovno dolžino, s katero so bili zajeti podatki.

### 1.1 Hipoteza

V magistrski nalogi bomo obravnavali intenziteto aerolaserskih podatkov, ki so zajeti v dveh različnih valovnih dolžinah (1550 nm in 1064 nm) in različnih letnih časih (pomlad, poletje, zima). Predvidevamo, da na osnovi laserskih podatkov z uporabo nenormaliziranih intenzitet lahko ločimo drevesne vrste.

Raziskati smo torej želeli ali intenziteta aerolaserskih podatkov, ki so zajeti z različno valovno dolžino, omogoča ločevanje drevesnih vrst. Raziskavo smo najprej izvedli z vsemi odboji, nato pa tudi na podlagi le prvih in enojnih odbojev, ki naj bi se pri večini dreves zgodili na zgornjem delu drevesne krošnje.

## 2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

Prvotno je popis dreves v gozdu potekal na terenu, kasneje z uveljavitvijo sodobnih tehnologij na podlagi aeroposnetkov, danes pa vse pogostejša izvajanja aerolaserskega skeniranja omogočajo uporabo teh podatkov za različne raziskovalne namene.

Da se aerolaserski podatki uveljavljajo na različnih področjih, pričajo tudi nedavne študije globalne dinamike ogljika. Funkcija gozdov v tem procesu je, da vežejo ogljik nase. Količina ogljikovega dioksida v zraku se zaradi onesnaževanja povečuje in prihaja do presežne koncentracije v ozračju (Wikipedia, 2016a). Mlajši gozdovi imajo pri tem še posebej pomembno vlogo, saj ta odvečni ogljik porabljajo sebi v prid in tako predstavljajo ponor ogljika, medtem ko so starejši odmirajoči gozdovi izvor le tega (Vosselman, Maas, 2010). Prav zato imajo raziskave o spremembah gozdne biomase pomembno vlogo.

Podobno so tudi v Sloveniji leta 2015 na Gozdarskem inštitutu Slovenije izvedli raziskavo o uporabi aerolaserskega skeniranja za zaznavanje sprememb strukture gozdnih sestojev. Lasersko skeniranje je bilo najprej izvedeno pred gozdnogojitvenimi posegi v gozdu, nato pa še po posegih. Na podlagi dveh posnetkov laserskega skeniranja so uspešno kvantificirali spremembe sestojne strukture gozda (Gozdarski inštitut Slovenije, 2016).

Z laserskim skeniranjem pridobimo podatke velikega števila dreves oz. celotnega gozda, zato si z njim lahko pomagamo pri spremljanju in načrtovanju pogozdovanja (Holmgren, Persson, 2004; Kobal, Triplat, Kranjc, 2014). Zaradi zajema 3D-strukture dreves, ima lasersko skeniranje prednost pred ostalimi tehnologijami daljinskega zaznavanja (Kim in sod., 2009). Lasersko skeniranje je v gozdarstvu že dobro uveljavljena metoda za namene določitve lesne biomase, višin dreves, izdelavo digitalnih modelov krošenj, merjenje gozdnega prirasta... Vse bolj pa si prizadevajo, da bi na podlagi teh podatkov drevesa razvrstili tudi v posamezne drevesne vrste, saj je porazdelitev laserskih odbojev rezultat oblike in gostote krošnje, razporeditve listov in vej ter odbojnosti (Ørka, Næsset, Bollandsås, 2007).

### 2.1 Aerolasersko skeniranje v gozdarstvu

Raziskave gozda na podlagi aerolaserskega skeniranja delimo v dve skupini: območne analize in analize posameznega drevesa. Pri prvih gre za to, da s pomočjo aerolaserskih podatkov pridobimo povprečno višino ter ostale statistične lastnosti dreves za določeno gozdno območje, ki je običajno velikosti od 1 do 10 ha. Pri drugih pa skušamo iz laserskega oblaka točk izločiti posamezno drevo in ga analizirati. Na samem začetku uporabe aerolaserskega skeniranja okoli leta 2000, le-to zaradi majhne gostote impulzov še ni omogočalo izvajanja analiz individualnih dreves, to je bilo možno šele z naraščanjem števila impulzov in s tem večje gostote točk na površju (Vosselman, Maas, 2010).

Zaradi kompleksnega gozdnega sestoj in enakomerne teksture gozdne površine, je uporaba aerolaseskega skeniranja, katerega glavna lastnost je prodiranje laserskih žarkov in večkratni odboji, bolj smotrna v primerjavi s fotogrametričnimi posnetki površja, ki nam podajo le vizualno predstavitev vrhnje površine gozda (Vosselman, Maas, 2010). Poleg tega iz fotogrametričnih posnetkov mešanega gozda težko ločimo podobne drevesne vrste, zaradi majhne spektralne razlike (Donoghue in sod., 2007). Ker je kombinacija fotogrametričnih in laserskih podatkov običajno predraga, je za ta namen potrebno optimizirati laserske podatke, saj z njimi pridobimo več koristnih informacij o gozdu (kompleksnost, struktura in višina). Pri tem ne smemo pozabiti, da je glavna prednost aerolaseskega skeniranja pred ostalimi tehnologijami daljinskega zaznavanja, neposreden 3D-zajem in možna kakovostna vizualizacija podatkov (Suratno, Seielstad, Queen, 2009). Poleg tega imajo podatki, ki jih pridobimo, široko uporabnost v različnih aplikacijah. Aplikacije so usmerjene predvsem na področje upravljanja z gozdom in biotske raznovrstnosti (popis dreves, določanje drevesnih vrst, višine, starosti, gostote dreves ter odprtosti krošenj).

## **2.2 Diskretni ali valovni sistem laserskega skeniranja**

Poznamo dve tehniki za izvedbo meritev laserskega skeniranja, prvi in najpogosteje uporabljen je diskretni sistem. Novejši in naprednejši je polnovalovni sistem (ang. Full-waveform) (Vosselman, Maas, 2010).

Pri laserskem skeniranju z uporabo diskretnih sistemov se zazna od enega do pet ali več odbojev enega laserskega impulza. Prepoznavanje odbojev enega impulza je omogočeno z analizo impulza v sprejemniku sistema.

S polnovalovnimi sistemi pridobimo natančen opis odbitega impulza (Korpela in sod., 2010). Pomanjkljivost omenjenega sistema je velika količina podatkov, saj zapišejo celotno pot posameznega impulza. Sistem je bil najprej uporabljen v hidrografske namene, vendar si od njega v gozdarstvu veliko obetajo, predvsem pri meritvah biomase in oceni strukture gozda. Vrnjen signal vsebuje podrobne informacije o intenziteti ter vertikalni razporeditvi vej in listov. Kljub vsemu pa je potrebno poudariti, da tudi v primeru uporabe polnovalovnega sistema na koncu pridobimo diskretni zapis podatkov (Bric in sod., 2012).

Kljub zgoraj omenjenim prednostim, ki jih prinaša polnovalovni sistem, ta v praksi še ni v celoti izkoriščen, saj nam poda preveč informacij, kar je za velika območja neuporabno.

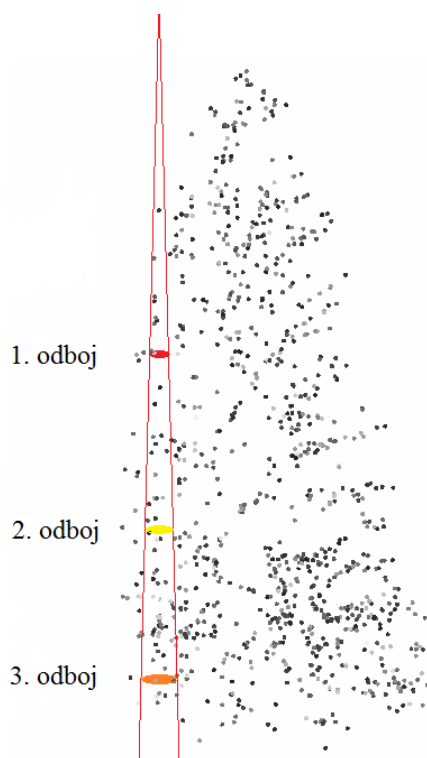
## **2.3 Interakcija laserskega žarka z drevesno krošnjo**

Laserski impulz na svoji poti zadene ob različne dele drevesne krošnje preden se odbije tudi od gozdnih tal (slika 1). To pomeni več odbojev enega laserskega žarka, ki pa so koristni, saj nam podajo informacijo o drevesni strukturi. Laser je sposoben zaznati pet in več odbojev enega laserskega impulza. Navadno predpostavljamo, da se je prvi odboj zgodil na vrhu drevesne krošnje ali zelo blizu

vrha krošnje. Ostali odboji, v odvisnosti od velikosti laserskega odtisa in vrzeli v krošnji, prodirajo v notranjost krošnje in naprej do gozdnih tal, kjer predpostavljamo, da se je zgodil zadnji odboj (Shan, Toth, 2008; Vosselman, Maas, 2010). Odboji z gozdnih tal so pomembni za izdelavo digitalnega modela reliefa. V močno zakritih in kompleksnih krošnjah se zgodi, da je talnih odbojev zelo malo ali pa jih sploh ni. Pri tem ima pomembno vlogo specifikacija uporabljene tehnologije, kot skeniranja, divergenca laserskega žarka in ne nazadnje višina leta in frekvenca laserskih impulzov. Seveda pa pri tem ne smemo pozabiti na čas skeniranja in vrsto vegetacije, saj je prodiranje laserskih žarkov do gozdnih tal pri listavcih, v neolistanem delu leta, veliko večja (Shan, Toth, 2008).

Divergenca laserskega žarka omogoča, da se deli enega laserskega žarka odbijejo od več »teles« na njegovi poti. Tako z zračnim laserskim skeniranjem zaznamo tudi objekte pod vegetacijo. Divergenca laserskega žarka znaša le nekaj miliradianov, običajno je velikosti od 0,2 do 2 mrad. Laserski skenerji z divergenco 0,2 mrad, ki letijo na višini 1000 m, na tleh podajo laserski odtis velikosti 20 cm (Bric in sod., 2012).

Kot je bilo že omenjeno, nam aerolaserski podatki dajejo hitro in enostavno možnost za izdelavo različnih višinskih modelov. Osnovni model, ki je pravzaprav prišel v uporabo z razvojem te tehnologije, je digitalni model površja, ki zajema stavbe in drevesa ter digitalni model reliefa, ki predstavlja le tla (Vosselman, Maas, 2010). Pri analiziranju in raziskovanju gozda pa poleg osnovnih modelov govorimo še o digitalnem modelu krošenj, ki predstavlja višino drevja (Kobal, Triplat, Krajnc, 2014).



Slika 1: Interakcija laserskega žarka z drevesno krošnjo (1., 2. in 3. odboj).



## 2.4 Digitalni model terena v gozdu in digitalni model krošenj

Pred uveljavitvijo aerolaserskega skeniranja so digitalne modele reliefa izdelovali predvsem na podlagi fotogrametrije, s stereofotogrametrično tehniko. Na začetku, pred uveljavitvijo računalnikov, je delo potekalo analogno in končni rezultat je bilo zemeljsko površje predstavljeno s plastnicami, ki jih je v stereofotogrametričnem postopku izmeril operater. Z razvojem slikovnega ujemanja, okrog leta 1980, se je pričela uveljavljati samodejna metoda izdelave modela reliefa (Vosselman, Maas, 2010).

Pomanjkljivost fotogrametrične metode je ta, da na območju gozda reliefa ne moremo izmeriti, saj nam da slika zajeta iz različnih perspektiv, popačene informacije o površini pod vegetacijo. Terestrični zajem podatkov o površju, nam da sicer pravilne informacije, vendar bi bilo terestrično snemanje obširnejših gozdov zamudno in drago. Uporabna in ekonomična rešitev za natančno izdelavo modela reliefa v gozdu se je pojavila šele z uveljavitvijo aerolaserskega skeniranja (Vosselman, Maas, 2010).

Pri aerolaserskem skeniranju gozda ima en laserski impulz običajno več odbojev. Večina prvih odbojev v gozdu se zgodi na površini krošenj, vsi naslednji odboji pa prodirajo v notranjost krošnje proti gozdnim tlom. Predvsem zadnji odboji imajo veliko možnost, da so se odbili od gozdnih tal.

Optimalno gostoto laserskih točk za namen topografskega kartiranja v največjih merilih so določali Triglav Čekada, Crosilla in Kosmatin Fras (2010). Gostoto laserskih točk na enoto površine moramo opredeliti pred pričetkom laserskega skeniranja, saj je odvisna predvsem od namena uporabe laserskih podatkov. Avtorji so obravnavali teoretični izračun minimalne gostote laserskih točk, pri čemer so upoštevali delež prodiranja laserskih žarkov pod vegetacijo, saj so topografski elementi velikokrat zakriti z drevesi. Pri izračunu prodiranja laserskih žarkov, so opredelili štiri tipe vegetacije (redka mediteranska vegetacija, termofilni gozdovi mešanih listavcev, mešana vegetacija in pozidana območja). Avtorji so izračunali, da je potrebna optimalna gostota lidarskih točk za karto v merilu 1 : 10.000 od 3 do 5 točk/m<sup>2</sup>, medtem ko je za karto v merilu 1 : 5.000 potrebnih od 12 do 20 točk/m<sup>2</sup>. Pri čemer predpisana gostota zadostuje le za tri vegetacijske tipe, medtem ko bi moralo biti število točk/m<sup>2</sup> še večje za termofilni mešani listnati gozd, kjer je delež prodiranja laserskih žarkov najmanjši (Triglav Čekada, Crosilla, Kosmatin Fras, 2010).

Delež prodiranja laserskih žarkov skozi krošnjo dreves je pri nas obravnavala tudi Koširjeva (2013). Analizirala je različne tipe vegetacije v odvisnosti od gostote snemanja (5 oz. 10 točk/m<sup>2</sup>). Avtorica ugotavlja, da se izračunana gostota točk razlikuje od gostote snemanja, ki jo navaja izvajalec, še posebej na območjih poraslih z vegetacijo, saj se tu laserski impulz odbije na različnih delih vegetacije. Največ odbojev oz. laserskih točk se zgodi ravno v primeru listavcev. Hkrati pa ugotavlja, da je tudi delež prodiranja laserskih žarkov različen za različne vrste vegetacije. Tako se v primeru iglastega gozda večina laserskih žarkov odbije na zgornjih delih dreves, v primeru listnatega gozda pa je večina laserskih žarkov (74 %) prodrla do tal, saj je bilo snemanje izvedeno v času neolistanosti (Košir, 2013).

V listnatem gozdu rezultate prodiranja laserskih žarkov torej lahko optimiziramo s snemanjem v času neolistanosti in tako izdelamo kakovosten digitalni modela reliefa. Težave z izdelavo digitalnega modela reliefa se še vedno pojavljajo v zelo gostem, iglastem gozdu in kompleksnih tropskih gozdovih z več nivojskimi krošnjami, kjer pa delež prodiranja laserskih žarkov skozi vegetacijo ne moremo izboljšati (Vosselman, Maas, 2010).

Prav tako lahko na podlagi podatkov aerolaserskega skeniranja generiramo digitalni model krošenj, ki predstavlja višino drevja in izvajamo strukturne analize gozda. V idealnem primeru predpostavljamo, da prvi aerolaserski odboji predstavljajo model zgornjega dela (površine) krošenj.

Poleg digitalnega modela krošenj je vse pogostejši izdelek iz podatkov aerolaserskega skeniranja tudi normaliziran 3D-oblak točk, ki ga dobimo tako, da za vse točke, ki so na območju ene celice digitalnega modela reliefa odštejemo vrednost oz. nadmorsko višino te celice, tako pridobimo projekcijo točk v ravnino z nadmorsko višino 0 m (Kobal, Triplat, Kranjc, 2014). Pri tem moramo vedeti, da nam takšen model ne da podatkov o višini za posamezno drevo, temveč za kontinuirano gozdno celoto, kar predstavlja dober vir informacij pri raziskavah in upravljanju z gozdom (Vosselman, Maas, 2010).

Vrhovi dreves pri aerolaserskem skeniranju so lahko tudi izpuščeni, kar je posledica velikosti laserskega odtisa in gostote laserskih točk. Zato je povprečna višina gozda podcenjena, kar še posebej velja za iglasti gozd, kjer prevladujejo stožčaste oblike krošenj, saj je majhna možnost, da bo laserski žarek zadel točno vrhnji poganjek iglavca (Kobal, Triplat, Kranjc, 2014). Pri aerolaserskem skeniranju moramo torej paziti na parametre skeniranja; še posebej na gostoto točk in divergenco laserskega žarka ter specifično geometrijo posameznih vrst dreves. Vpliv je torej v splošnem večji pri iglavcih, medtem ko je potrebno pri listnatem gozdu paziti na letni čas izvedbe skeniranja. Podcenjevanje višin v gozdu lahko povzroči tudi veter v času snemanja, prodiranje laserskih žarkov v notranjost krošnje ali pa gosta talna vegetacija, ki jo težko zaznamo v procesu filtriranja (Vosselman, Maas, 2010).

## **2.5 Zaznavanje in modeliranje individualnih dreves**

Pri tradicionalnem popisu dreves so bili ključni podatki število dreves, velikost drevesa (višina), drevesna vrsta ter velikost krošnje. Raziskave v smeri definiranja individualnih dreves so s tega vidika še posebej pomembne, saj nam razsut oblak laserskih točk v gozdu ne da informacij o posameznem drevesu (Brandtberg in sod., 2003).

Velika gostota aerolaserskega snemanja nam poleg izdelave modelov omogoča tudi pridobitev informacij individualnih dreves. Na samem začetku uvedbe laserskega skeniranja v gozdarstvo analiziranje posameznih dreves ni bilo mogoče, saj je bila gostota laserskih točk premajhna, omogočala je zajem točk na površju na razdalji od 2 do 4 m, šele ko je gostota laserskega snemanja preseгла 1 točko / m<sup>2</sup> so se odprle možnosti za analizo posameznih dreves (Vosselman, Maas, 2010).

Pri postopku modeliranja individualnih dreves je potrebno najprej generirati digitalni model površja (DMP), nato pa nadaljujemo z izločitvijo posameznih dreves (Kim in sod., 2009). Določi se zunanja meja krošenj, nato pa se laserski odboji znotraj segmenta dodelijo posameznemu drevesu. Sledi pridobivanje informacij o položaju debla, višini, ter premeru debla, ki so osnova za upravljanje z gozdovi (Ørka, Næsset, Bollandsås, 2009).

Modeliranje posameznih dreves nam omogoča štetje dreves na določenem območju, pridobitev podatkov o višini, premeru in obliki krošnje ter na koncu analiziranje individualnega drevesa.

Pri nas sta Mongus in Žalik (2015) nedavno razvila algoritem, s katerim na podlagi aerolaserskih podatkov lahko zaznavamo posamezne objekte, teren in drevesa. Na področju gozdarstva tako lahko razpoznavamo posamezna drevesa in njihove krošnje, ter izmerimo višino individualnega drevesa. Na podlagi večkratnih meritev pa lahko spremljamo razvoj in rast vegetacije.

Algoritem na podlagi »grozdenja« (angl. clustering) poskuša izločiti krošnjo posameznega drevesa, ki temelji na zaznavi drevesnega vrha in debla. Določanje slednjega poteka na oceni vertikalne porazdelitve točk. Predlagan pristop je bolj prilagojen za delo s krošnjami različnih velikosti in oblik, (Mongus, Žalik, 2015).

## **2.6 Intenziteta laserskega impulza**

Laserski skenerji poleg meritev položaja in višine simultano beležijo še jakost vrnjenega signala. Gre za relativno meritev, ki nam podaja semantične podatke o površju in jo imenujemo intenziteta. Vrednosti intenzitet so zelo odvisne od kota skeniranja. V praksi se je redko uporabljala, saj je predstavljala stranski produkt laserskega skeniranja. Za določeno območje snemanja se je največkrat uporabljala zgolj za vizualizacijo. V zadnjem času se uporabnost intenzitete povečuje predvsem v kombinaciji z ostalimi podatki (digitalni modeli površja, digitalni ortofoto posnetki...) (Bitenc, 2007). Pri laserskem skeniranju gre za aktivni sistem, ki je sestavljen iz oddajnika laserskih žarkov in sprejemnika odbitih laserskih žarkov. Laserski skener torej oddaja laserske impulze proti tlam od katerih se le-ti difuzno odbijejo. V gozdu posamezen laserski impulz prodre v notranjost krošnje dokler ne pride do »ovire« od katere se odbije. Deblo, veje in listi povzročajo večkratne odboje in tako zmanjšujejo možnost, da bo laserski žarek prodrl do tal (Bric, Triglav Čekada, Bitenc, 2012). Del odbitega valovanja pade nazaj na sprejemnik. Impulz v času med oddajo in sprejemom porabi določeno količino energije, preostala moč vrnjenega signala se nato pretvori in zabeleži v sprejemniku. Pri pulznih laserjih vrednost intenzitete predstavlja vrh amplitude vrnjenega signala. Song in sod. (2002) so intenziteto opredelili kot razmerje med jakostjo prejete svetlobe na detektorju laserskega skenerja in jakostjo oddane svetlobe laserskega skenerja, ki je v veliki meri odvisna od reflektivnosti tarče.

Večina laserskih sistemov, ki so namenjeni snemanju topografije, uporablja laserje z valovno dolžino blizu infrardečega spektra elektromagnetnega valovanja, z valovno dolžino 1064 nm ali 1550 nm, saj

je bilo ugotovljeno, da je odboj vegetacije v tem spektru največji (Kim in sod., 2009; Bric, Triglav Čekada, Bitenc, 2012).

Kljub temu, da je v preteklosti intenziteta predstavljala stranski proizvod aerolaserskega skeniranja, obstaja nekaj raziskav v katerih avtorji poskušajo izvesti klasifikacijo površja in dreves na podlagi le-te. Song in sod. (2002) so skušali s pomočjo podatkov o intenziteti razločiti različne materiale; asfalt, travnata območja, strehe in drevesa. Ugotovili so, da so podatki o intenziteti lahko uporabni pri klasifikaciji pokritosti tal in da je intenziteta listavcev, v času olistanosti, dvakrat večja kot intenziteta iglavcev. Leta 2006 je tudi Hasegawa raziskoval značilnosti podatkov intenzitete za klasifikacijo pokrovnosti tal in ugotovil, da je ločevanje posameznih dreves le na osnovi intenzitet težko, saj imajo drevesa širok razpon intenzitete.

Pri nas se je z intenziteto aerolaserskih podatkov podrobneje ukvarjala Bitenc (2007). V diplomski nalogi je analizirala meritve intenzitete na projektu Neusidler See. Raziskava je bila usmerjena na klasifikacijo skeniranih objektov in pojavov na terenu na podlagi vrednosti intenzitet. Avtorica je na podlagi izračuna normalizirane intenzitete izvedla klasifikacijo različnih rab tal. Končni rezultat je bila ocena vrednosti intenzitete za posamezne rabe tal (trava, vinogradi, strehe, objekti). Klasifikacija je bila neuspešna, saj so razponi vrednosti za posamezne pojave veliki, hkrati pa se intervali med seboj prekrivajo (Bitenc, 2007).

Holmgren in Persson (2004) sta za ločevanje škotskega bora in norveške smreke poleg intenzitete uporabila tudi podatke o obliki drevesne krošnje. Raziskava je pokazala, da na vrednost povprečne intenzitete in njene standardne deviacije vpliva tudi gostota krošnje oz. vrzeli v krošnji.

Podobno so ugotovili tudi Kim in sod. (2009). V raziskavi so se osredotočili na analizo intenzitet različnih drevesnih vrst, pri čemer so upoštevali značilne lastnosti krošenj (odprtost krošnje, listavci – iglavci, (ne)olistanost), ki imajo najverjetneje vpliv na klasifikacijo drevesnih vrst na osnovi laserskih podatkov. Za namen raziskave so uporabili podatke, ki so jih izvedli v dveh terminih snemanja (v času olistanosti in neolistanosti), obakrat so snemali z valovno dolžino 1064 nm. V raziskavo je bilo vključenih sedem iglastih in osem listnatih drevesnih vrst. Za izračun spremenljivk so uporabili le točke, ki se nahajajo nad prsno višino drevesa (1,4 m). Povprečno vrednost intenzitete so izračunali iz enojnih in vseh odbojev krošnje. V večini primerov ima prvi odboj laserskega impulza večjo intenziteto glede na ostale odboje. Najprej so bili uporabljeni surovi podatki o intenziteti. V drugem koraku pa je bila intenziteta pomnožena za določen faktor. Faktor je bil izračunan z izločitvijo 11 umetnih objektov, ki naj bi imeli enako intenziteto za oba uporabljena seta podatkov.

Splošno imajo listavci višjo povprečno intenziteto kot iglasta drevesa. Breza ima najnižjo intenziteto v času olistanosti, razlog za to je najverjetneje manjša gostota krošnje. Gostota krošnje ima vpliv na vrednost intenzitete in s pomočjo le-te si lahko pomagamo pri klasifikaciji drevesnih vrst. Za iglasta drevesa je bila povprečna intenziteta podobnih vrednosti za podatke pridobljene v času olistanosti in neolistanosti, saj se struktura krošnje skozi letne čase ne spreminja. Pri tem izstopa le macesen, ki podobno kot listavci pozimi odvrže iglice. Prav zato je intenziteta macesna v času neolistanosti zelo

nizka. Ugotovljeno je bilo tudi, da imajo drevesa s posameznimi iglicami višjo intenziteto. Drevesa z gručami iglic, imajo viden večji del veje, tako je večja možnost da se laserski žarek bolj pogosto odbije od veje in ne od iglic. Med iglavci, ki so bili vključeni v raziskavo ima sekvoja najvišjo povprečno intenziteto v vseh letnih časih. Razlog za to je morda njena gosta struktura krošnje.

V splošnem je povprečna intenziteta višja, če upoštevamo le odboje s površine krošnje ali odboje na višjih delih krošnje. Gre za to, da ta del krošenj predstavljajo večinoma le listi, vendar je potrebno paziti na letni čas skeniranja (Kim in sod., 2009).

Klasificiranje posameznih dreves v drevesne vrste na podlagi intenzitete vrnjenega laserskega impulza so poskušali tudi Moffiet in sod. (2005). Ugotovili so, da nedvoumna razvrstitev belega bora in topola v gozdnem sestavu ni vedno mogoča, kljub temu, da je na ravni posameznega drevesa zanesljiva. Prav tako so ugotovili, da intenziteta ni odvisna le od odbojnosti vegetacije, temveč tudi od odprtosti in lastnosti krošnje drevesnih vrst (Moffiet in sod., 2005).

Z naraščanjem uporabe intenzitete lidarskih podatkov se pojavlja vse več vprašanj in raziskav o različnih vplivih nanjo. Vrednost intenzitete je odvisna od več faktorjev (Kim in sod., 2009; Ørka, Næsset, Bollandsås, 2009; Donoghue et al., 2007; Hasegawa, 2006):

- višine leta,
- odbojnosti tarče,
- topografije - dolžina poti laserskega impulza, se nenehno spreminja zaradi spremembe razdalje med senzorjem in tarčo,
- smeri odboja oz. orientacije tarče relativno na senzor (spreminja se zaradi topografije ali kota skeniranja),
- divergence laserskega žarka, ki vpliva na velikost laserskega odtisa,
- atmosferskih pogojev, ki imajo vpliv na slabljenje signala pri potovanju skozi atmosfero,
- uporabljenega laserskega sistema in njegovih nastavitvev (vrednost intenzitete variira glede na uporabljen sistem).

Z naraščanjem kota skeniranja variabilnost intenzitete narašča, medtem ko majhen kot skeniranja nima vpliva na intenziteto. Hasegawa (2006) je ugotovil, da je variabilnost intenzitete odvisna od materiala tarče, ter da korekcija podatkov intenzitete (normalizacija intenzitete), glede na kot skeniranja in razdaljo, ni primerna za uporabo v vseh raziskavah gozda. Popravek nima velikega učinka, zato je možna uporaba surovih podatkov intenzitete, ki so jih nekateri avtorji tudi že uporabljali v raziskavah gozda (Brandtberg in sod., 2003; Holmgren in Persson, 2004; Hasegawa, 2006).

## **2.7 Določitev drevesne vrste**

Klasifikacijo drevesnih vrst na podlagi laserskih podatkov po Donoghueju in sod. lahko razvrstimo v dve skupini (Donoghue in sod., 2007). Pri prvi gre za razdelitev po skupinah na podlagi statističnih

cenilk, ki jih izračunamo na osnovi porazdelitve odbojev od drevesnih krošenj. Pri tem je glavna predpostavka, da imajo različne vrste dreves različno strukturo krošnje. Osnovna ideja uporabe strukture krošnje pri klasifikaciji drevesnih vrst je v tem, da imajo posamezne drevesne vrste različne lastnosti krošenj (oblika, odprtost, gostota krošnje, odbojnost, razporeditev listov in vej), ki vplivajo na razporeditev laserskih odbojev. Oblika krošnje pri iglavcih je bolj koničasta, medtem ko je pri listavcih kroglasta. Poleg tega imajo listavci večino biomase višje v drevesni krošnji. Gosta in zaprta krošnja ne omogoča prodiranja laserskih žarkov v notranjost krošnje v takšni meri, kot se to zgodi pri odprti krošnji. Različne lastnosti krošenj torej vplivajo na razporeditev laserskih žarkov na površini in znotraj krošnje (Ørka, Næsset, Bollandsås, 2009).

V drugi skupini pa gre za razvrstitev drevesnih vrst na osnovi podatkov o odbojnosti površine ob katero je zadel impulz. Pri diskretnih sistemih odbojnost površine predstavlja intenziteta, ki jo opiše vrh oz. maksimalna energija odbitega impulza. Pri tem ima veliko vlogo lastnost površine ob katero zadane laserski impulz. Primer dobrega odbojnika v valovni dolžini topografskih laserskih skenerjev so električne žice, ki imajo visoko odbojnost in jih kljub majhni površini na laserskem odtisu zelo dobro prepoznamo. Na drugi strani pa je celotna površina laserskega odtisa prekrita s krošnjo drevesa, največkrat gre za veje in liste, vendar je odbojnost manjša in zato ne dosežemo takšne intenzitete laserskega impulza kot jo imamo pri električnih žicah (Donoghue in sod., 2007; Holmgren, Persson, 2004; Ørka, Næsset, Bollandsås, 2007).

Drevesa pa lahko klasificiramo tudi s kombiniranjem uporabe intenzitete in strukturne krošenj (Holmgren, Persson, 2004; Ørka, Næsset, Bollandsås, 2007 in 2009; Donoghue in sod. 2007; Suranto, Seielstad, Queen, 2009; Kim in sod., 2009).

### **2.7.1 Klasifikacija drevesnih vrst v Evropi**

Holmgren in Persson (2004) sta za identificiranje individualnih dreves uporabila aerolaserske podatke manjšega območja na Švedskem. Najpogostejše drevesne vrste na testnem območju so bile norveška smreka, škotski bor in breza. Raziskava je bila osredotočena predvsem na klasifikacijo smreke, bora in listavcev. Upoštevali so vsa drevesa z obsegom debla, ki je na prsni višini večji od petih centimetrov. Kontrolno je bilo vsako drevo v raziskavi izmerjeno na terenu in določili so mu tudi drevesno vrsto. V fazi segmentiranja so identificirali posamezna drevesa, pri tem so v posamezen segment združili laserske točke, ki pripadajo določenemu drevesu in ocenili višino ter premer krošnje. Klasifikacija je bila izvedena na osnovi kombinacij izračunanih spremenljivk. Kot najboljša se je izkazala klasifikacija na osnovi šestih spremenljivk. Spremenljivke, ki so bile uporabljene za klasifikacijo, lahko razdelimo v dve skupini. V prvo skupino uvrščamo spremenljivke, ki opisujejo obliko dreves (npr. višina krošnje). Gre za lastnosti dreves, ki so neodvisne od uporabljenega laserskega sistema in sezonskih sprememb. V drugo skupino pa sodijo spremenljivke, ki ne opisujejo oblike dreves (npr. intenziteta), so pa v veliki meri odvisne od laserskega sistema, njegovih nastavitvev in sezonskih sprememb.

V primerjavi s smreko je bila klasifikacija bora bolj težavna. Pogosto je napačna opredelitev drevesne vrste posledica same naravne raznolikosti dreves iste vrste. Smreka in bor imata v naravi različno obliko krošnje. Smreka ima bolj stožčasto obliko, medtem ko je oblika borove krošnje odvisna od njegeve starosti. Navadno imajo mlajši bori bolj stožčaste oblike krošenj. Prav tako pa na obliko krošnje vpliva tudi bližina ostalih dreves, tako bližnja smreka onemogoči boru, da razvije svojo značilno krošnjo in pri klasifikaciji pride do zamenjave. Najslabši rezultati klasifikacije so se pokazali ravno v borovem gozdu, saj je tukaj običajno prisoten nižji sloj smrek. Povprečna intenziteta je bila običajno višja za smrekova drevesa. Avtorja (Holmgren in Persson, 2004) kot razlog navajata gostejšo krošnjo smreke v primerjavi z borom. Tudi standardni odklon intenzitete je večji za smreke, kar je najverjetneje posledica goste krošnje z vrzelmi. Največja pravilnost klasifikacije je bila dosežena z uporabo samo prvih odbojev laserskih žarkov in pa standardnih odklonov intenzitete. V študiji je bila dosežena 95 % pravilnost klasifikacije škotskega bora in norveške smreke.

V raziskavi Ørka, Næsset, Bollandsås (2009) gre za iskanje lastnosti v podatkih aeolaserkega skeniranja, na podlagi katerih bi lahko klasificirali smreko in brezo. Za ta namen je bila izvedena analiza strukturnih razlik krošenj med obema vrstama in raziskava intenzitet za obe drevesni vrsti, ter na koncu testiranje uspešnosti klasifikacije na podlagi izbranega kandidata za klasificiranje. Na območju raziskave gozdnega rezervata na jugu Norveške so bila različno stara in velika drevesa. Dominantno drevo je norveška smreka, med listavci pa najpogosteje srečamo brezo in trepetliko. Poleg rezervata imamo gozd, v katerem se izvajajo gozdnogojitveni ukrepi in je bil prav tako vključen v raziskavo, sestavljen je iz mlajših dreves in dreves srednje starosti. V raziskavo so vključena vsa drevesa s premerom debla na prsni višini (1,3 m) več kot tri centimetre. Odboji so bili razdeljeni v tri kategorije: prvi, enojni in zadnji odboji. Pri čemer so odboji od gozdnih tal do višine 1,3 m izključeni iz obdelave, saj so se najverjetneje odbili od gozdnih tal, skal ali nizkega gozdnega rastja. Uporabljene vrednosti intenzitet v študiji niso bile normalizirane. Pri uporabi nenormaliziranih intenzitet je neizogibna velika variabilnost le-teh, pri tem pa le majhen del te variabilnosti predstavlja lastnost posameznih drevesnih vrst.

Krošnje posameznih dreves so bile določene na podlagi izračuna povprečnega radija izmerjenega v štirih smereh. S pomočjo radija in položaja debla je bil zarisani krog, ki nakazuje velikost krošnje, hkrati pa so bili posamezni krošnji dodeljeni tudi laserski odboji.

Klasifikacija dreves je bila izvedena na podlagi več spremenljivk (normalizirana višina, prodiranje laserskih žarkov, višina, gostota krošnje in intenziteta...). Študija je pokazala, da so laserski podatki lahko podlaga za klasifikacijo, saj je iz izračunanih parametrov vidno, da obstajajo razlike med drevesnimi vrstami.

Glavna razlika med smreko in brezo je v splošnem bolj kroglasta oblika krošnje breze v primerjavi z bolj koničasto krošnjo smreke. Večji delež zadnjih odbojev v krošnji smreke, lahko pojasnimo s tem, da ima smreka več biomase v spodnjem delu krošnje. Obratno je pri brezi, ki ima večji del krošnje v zgornjem delu drevesa kar povzroči, da se večji delež zadnjih odbojev odbije pod višino 1,3 m. Pri

majhnih drevesih se navadno zgodi le en odboj, in sicer enojni odboj. Razlog za to je najverjetneje v slabši vertikalni ločljivosti uporabljenega laserskega sistema in manjšem premeru krošnje.

Študija je pokazala, da le podatki o intenziteti prvih odbojev vsebujejo informacije na osnovi katerih, bi lahko klasificirali drevesne vrste. Zdi se kot da je (surova, nenormalizirana) intenziteta prvih odbojev funkcija odbojnosti krošnje drevesa. Prav tako je pri prvih odbojih manjši vpliv biomase. Pri valovni dolžini 1064 nm je odbojnost breze, v primerjavi s smreko, večja za vse elemente krošnje (deblo, veje, liste). Odbojnost in absorpcija v zgornjem delu krošnje imata velik vpliv na zadnje odboje, tako višja intenziteta prvih odbojev povzroči nižjo intenziteto zadnjih odbojev.

Pravilnost klasifikacije na podlagi strukturnih lastnosti krošnje in intenzitete velikih dreves je bila 88 %, pravilnost klasifikacije majhnih dreves pa 65 %.

V Nemčiji je klasifikacija drevesnih vrst potekala na osnovi podatkov, ki so bili pridobljeni s polnovalovnim sistemom. Avtorji Reitber, Krzystek in Stilla (2008) so klasificirali drevesne vrste v skupino listavcev oz. iglavcev. Območje obravnave je bil smrekov in mešani gozd, kjer so dominantne drevesne vrste smreka, bukev in javor. Za izločitev posameznih dreves od celotne gozdne strukture so uporabili algoritem, ki na podlagi izdelanega digitalnega modela krošenj razmeji krošnje posameznih dreves. Pri tem se je izkazalo, da je bilo v času olistanosti v mešanem gozdu zaznanih več krošenj dreves, kot v času neolistanosti. Krošnja listavcev je v času olistanosti namreč bolj jasno predstavljena. Avtorji so klasificirali drevesa na podlagi različnih lastnosti dreves (intenziteta, geometrijska oblika krošnje, porazdelitev odbojev znotraj krošnje...), ki so bile pridobljene iz aerolaserskih podatkov. Rezultati so pokazali, da je klasifikacija z upoštevanjem intenzitete boljša v času neolistanosti.

Končna pravilnost kasifikacije, ki je bila dosežena v raziskavi je 85 % v času olistanosti in 96 % v času neolistanosti (Reitberg, Krzystek, Stilla, 2008).

### **2.7.2 Klasifikacija drevesnih vrst v Severni Ameriki**

Suranto, Seielstad in Queen (2009) so izvedli raziskavo na območju Severne Amerike, kjer so večje višinske razlike in bolj raznolika drevesna sestava. Prevladuje rumeni bor, sledijo duglazija, zahodni macesen in bor. Cilj raziskave je bila klasifikacija omenjenih drevesnih vrst. V raziskavi so uporabili podatke z nizko gostoto ( $< 1$  točk/m<sup>2</sup>). Ugotavljali so povezanost odbojev in intenzitete, ter izračunali spremenljivke iz vrednosti intenzitet, ki so jih uporabili pri klasifikaciji drevesnih vrst.

Snemanje so izvedli v času olistanja z valovno dolžino 1064 nm. V raziskavo so vključena drevesa s premerom debla več kot sedem centimetrov.

Raziskava je bila razdeljena na dva dela, v prvem delu so avtorji klasificirali drevesne vrste na območju dominantnih drevesnih vrst, na območju klasificiranja je torej prevladala ena drevesna vrsta, v drugem delu pa gre za klasifikacijo individualnih dreves. Odboji so bili razdeljeni v tri skupine; vsi, prvi in enojni odboji, za analiziranje pa so uporabili normalizirano intenziteto.



V sklopu analiziranja dominantnih drevesnih vrst so ugotovili, da je v splošnem povprečna intenziteta enojnih odbojev višja kot pri ostalih odbojih. Kar je najverjetneje posledica porazdelitve energije oddanega impulza med večkratne odboje. Struktura krošnje v vertikalni in horizontalni smeri vpliva na laserske odboje, kar se pokaže pri porazdelitvi tipov laserskih odbojev (odstotkovna razlika med prvimi in enojnimi odboji). Krošnja zahodnega macesna je odprta, ima redke veje na katerih so majhne iglice, združene v skupine in visoko neporaščeno deblo. Posledično so na tej drevesni vrsti odboji različnih redov. Ravno obratno je pri duglaziji, ki ima gosto zaprto krošnjo in zato več enojnih odbojev.

Visoka intenziteta odbojev pri duglaziji je torej posledica strukture krošnje in drugih specifičnih lastnosti, med katere sodi tudi modrozeleno barvo krošnje. Na drugi strani imamo nizko intenziteto borovih dreves. Krošnje pri teh drevesih so v veliki meri sestavljene iz odmrlih vej, posledično je intenziteta nižja saj ima les manjšo odbojnost.

Analiza na individualni ravni nam poda podobne rezultate. Intenziteta bora je zelo nizka v primerjavi z duglazijo. Avtorji poudarjajo, da so bila drevesa bora pridobljena iz območji ki so gosto poraščena z borovimi drevesi, krošnje se med seboj prepletajo, medtem ko so drevesa duglazije iz območja ki ni gosto poraščen poleg tega pa je višina posameznih dreves zelo različna. Kljub temu je intenziteta bora zelo nizka, kar kaže na to, da struktura krošnje ni primarni faktor, ki vpliva na intenziteto, temveč nanjo vplivajo tudi specifične lastnosti posamezne drevesne vrste (karakteristike krošnje, odbojnost listov, elementi debla; veje, lubje). Pri analiziranju individualnih drevesnih vrst z uporabo le ene spremenljivke so avtorji dobili nizko natančnost klasifikacije, kar kaže na to, da le na podlagi uporabe strukture krošnje ali intenzitete težko razlikujemo različne drevesne vrste. Na podlagi povprečne intenzitete vseh odbojev so dosegli zgolj 52 % pravilnost klasifikacije. Pravilnost klasifikacije na ravni individualnih dreves se je s kombinacijo različnih spremenljivk izboljšala le na 68 %, kar je najverjetneje posledica velike variabilnosti višin dreves na tem območju. Do podobnih ugotovitev sta prišla tudi Holmgren in Pearsson (2004) saj sta ugotovila, da velike razlike višin med posameznimi drevesi pripeljejo do slabše pravilnosti klasifikacije.

Visoka pravilnost klasifikacije (98 %) na območjih dominantnih drevesnih vrst je bila dosežena z vključitvijo dveh nekoleriranih spremenljivk in sicer intenzitete in višine na katerih se je odbil odboj (Suranto, Seielstad, Queen, 2009). V nasprotju z raziskavo Ørka, Naeset, Bollandas (2009) so avtorji ugotovili, da boljše rezultate dobimo, če uporabimo vse odboje, ne pa le prve ali enojne. Vsi odboji imajo večjo moč razlikovanja in opisovanja variance različnih drevesnih vrst (Ørka, Naeset, Bollandas, 2009).

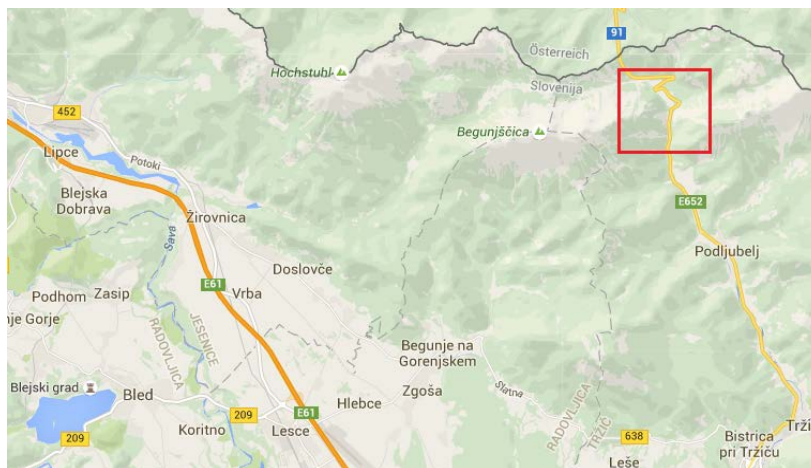
V nasprotju s prejšnjimi raziskavami so Kim in sodelavci (2009) preučevali urbane zelene površine. Gre za razmeroma raven teren, ki je še posebej primeren za namen raziskave, saj posamezno drevo lahko ločimo od ostalih brez večjih težav. Krošnje se v večini primerov ne prekrivajo, na območju pa so primerki različnih drevesnih vrst. Raziskava je pokazala, da je na podlagi podatkov dreves iz

obdobja v času olistanosti in neolistanosti možno klasificiranje listavcev in iglavcev ter posameznih drevesnih vrst znotraj teh dveh skupin. Drevesne vrste imajo različne lastnosti glede na letni čas, primerjava podatkov za namen klasifikacije je zato še toliko bolj potrebna in zaželena, saj izboljša njen končni rezultat (Kim in sod., 2009).

### 3 UPORABLJENI PODATKI IN PROGRAMSKA OPREMA

#### 3.1 Podatki

Raziskavo določevanje vrst drevja v različnih valovnih dolžinah aerolaserskih podatkov smo izvedli na območju Gorenjske in sicer ob cesti, ki pelje na Ljubelj (slika 2). Območje je veliko okrog 2 km<sup>2</sup>, povprečna nadmorska višina na obravnavanem območju pa je okrog 750 m.



Slika 2: Izbrano območje obdelave (rdeč kvadrat) (vir: Google maps, 2016).

Na tem območju je bilo izvedeno aerolasersko skeniranje v dveh različnih valovnih dolžinah in treh različnih letnih časih. Na voljo imamo 3 sete podatkov, v novem koordinatnem sistemu D96/TM. Naročnik aerolaserskega skeniranja v okviru projekta SI-AT: »Naravne nesreče brez meja« je bil Geodetski inštitut Slovenije, izvajalec pa podjetje Flycom d. o. o..

Aerolasersko skeniranje podatkov v setu 1 je bilo izvedeno v času olistanosti, 15. 5. 2012. Uporabljen je bil Rieglov aerolaserski skener LMS-Q560. Let je bil na višini 700 m nad tlemi, valovna dolžina snemanja pa je bila 1550 nm. Končna povprečna gostota točk je 8 točk/m<sup>2</sup>. Poleg aerolaserskega skeniranja je bilo izvedeno tudi fotogrametrično snemanje, tako imamo na voljo tudi ortofoto območja.

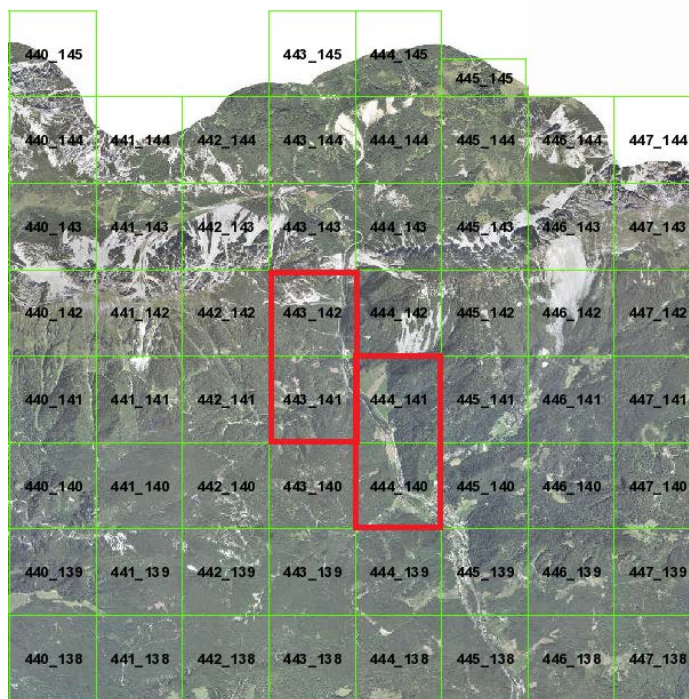
Aerolasersko skeniranje v setu 2 je bilo izvedeno v času olistanosti, 18. 9. 2012. Uporabljena merska oprema je enaka kot v setu 1. Tudi v tem primeru je bil let izveden na višini 700 m, z valovno dolžino snemanja 1550 nm. Povprečna gostota točk je 8 točk/m<sup>2</sup>. Na voljo imamo tudi ortofoto.

Aerolasersko skeniranje seta 3 je bilo izvedeno v času neolistanosti, 5. 3. 2013. Uporabljen je bil Rieglov aerolaserski skener LMS-Q780. Let je bil izveden na višini 1000 m nad tlemi. Valovna dolžina snemanja je bila 1064 nm. Povprečna gostota točk je 15 točk/m<sup>2</sup>.

Za primerjavo smo uporabili še podatke Laserskega snemanja Slovenije (LSS) iz leta 2014. Naročnik podatkov je Ministrstvo za okolje in prostor (MOP), izvajalec Geodetski inštitut Slovenije, podizvajalec snemanja Flycom d.o.o. Podatki so javno dostopni na svetovnem spletu, na portalu e-Vode.

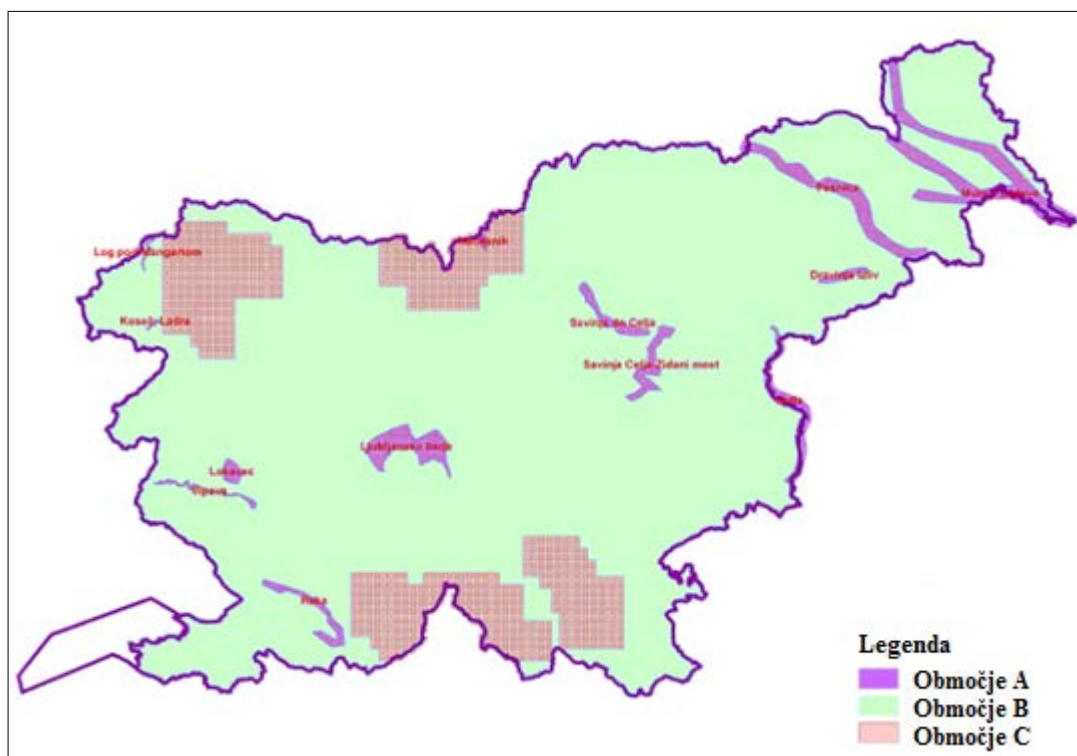
Aerolasersko skeniranje na našem območju je bilo izvedeno 17. 7. 2014, v času olistanosti. Uporabljen je bil Rieglov aerolaserski skener LMS-Q780. Višina snemanja nad tlemi je bila med 1200 in 1400 m.

Na spletni strani MOP pod zavihkom spletne storitve in aplikacije najdemo pregledovalnik laserskih podatkov, s pomočjo katerega poiščemo izbrano območje ter prenesemo georeferenciran oblak točk. Naše območje obdelave (slika 3) se nahaja na 4 listih, vsak list je velikosti 1 km<sup>2</sup>. Georeferenciran oblak točk smo torej prenesli za liste številka: TM\_443\_142, TM\_443\_141, TM\_444\_141 in TM\_444\_140.



Slika 3: Območje obdelave v spletnem pregledovalniku LIDAR (vir: Ministrstvo za okolje in prostor in Agencija RS za okolje, 2016).

Za namen aerolaserskega skeniranja je bilo območje Slovenije razdeljeno na 3 dele (A, B in C), ki so bili zajeti z različno gostoto zajema. Razdelitev Slovenije po območjih prikazuje slika 4. Območje A zajema zemeljske plazove in je zajeto z največjo gostoto 10 točk/m<sup>2</sup>, območje B, kjer se nahaja tudi naše območje obdelave je zajeto z gostoto 5 točk/m<sup>2</sup> in območje C, ki predstavlja visokogorje in območja velikih gozdov in je zajeto z najmanjšo gostoto 2 točk/m<sup>2</sup> (Pegan Žvokelj, Bric, Triglav Čekada, 2014). Javno so dostopni samo podatki z območij B in C (Triglav Čekada in Bric, 2015).



Slika 4: Razdelitev Slovenije po območjih glede na različno gostoto snemanja, območje A – 10 točk/m<sup>2</sup>, območje B – 5 točk/m<sup>2</sup> in območje C – 2 točk/m<sup>2</sup> (vir: Ministrstvo za okolje in prostor in Agencija RS za okolje, 2016).

V preglednici 1 smo povzeli glavne podatke aerolaserskega skeniranja, za vsak set podatkov.

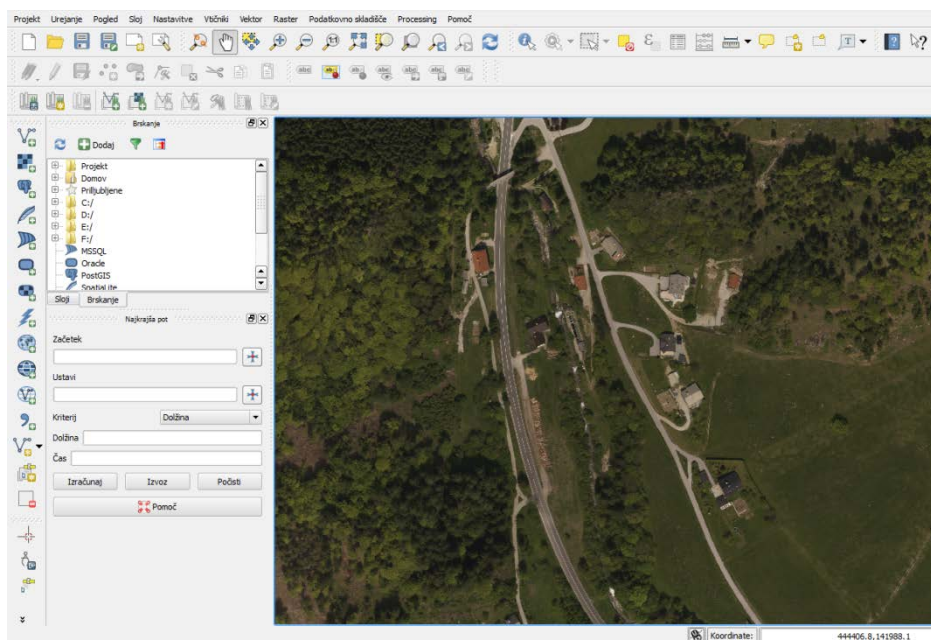
Preglednica 1: Podatki aerolaserskega skeniranja za posamezni set podatkov.

AEROLASERSKO SKENIRANJE	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4
Datum zajema podatkov	15. 5. 2012	18. 9. 2012	5. 3. 2013	7. 7. 2014
Olistanost / neolistanost	olistano	olistano	neolistano	olistano
Valovna dolžina (nm)	1550	1550	1064	1064
Gostota snemanja (točk/m <sup>2</sup> )	8	8	15	5

## 3.2 Programska oprema

### 3.2.1 QGIS

Gre za prosto dostopen odprtokodni geografski informacijski sistem, s pomočjo katerega smo na podlagi ortofotov določili območje obdelave. Uporabljali smo ga tudi za preverjanje izbranih dreves na ortofotih (slika 5) in izdelavo kart, ki prikazujejo posamezna drevesa, ki so bila vključena v analizo. Začetki projekta QGIS segajo v leto 2002. Prvotni cilj je bil narediti pregledovalnik prostorskih podatkov. Danes program poleg prikaza vektorskega in rastrskega formata podatkov, omogoča tudi prikazovanje, izbiranje, izdelovanje, urejanje, vizualiziranje in analiziranje prostorskih podatkov (QGIS, 2016, Wikipedia, 2016b).

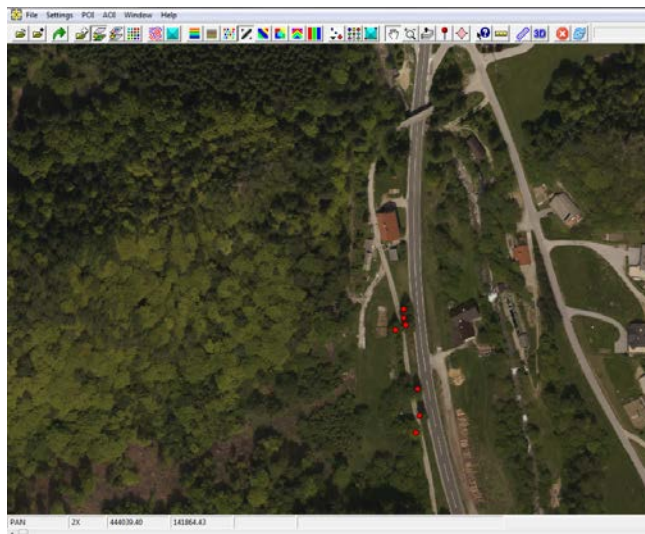


Slika 5: Prikaz dela območja v programu QGIS.

### 3.2.2 FugroViewer

FugroViewer omogoča prikaz in analiziranje laserskih podatkov. Omogoča nam prikaz laserskih podatkov v obliki razsute množice točk, ki jo lahko vrtimo v prostoru. Oblak laserskih točk lahko barvno prikažemo na različne načine. V našem primeru je bil največkrat uporabljen prikaz podatkov glede na vrednost intenzitete. Ostale možnosti so še barvni prikaz glede na klasifikacijo, višino, odboj...

Program smo uporabili pred in po terenskem ogledu. Pred terenom smo grobo pregledali intenziteto podatkov in z identifikatorji POI (ang. Point of interest) določili interesna območja, kot prikazuje slika 6. Po terenskem ogledu pa smo izvozili podatke v obliki XYZ in dodali ostale zelene informacije, v našem primeru red odboja, število odbojev, intenziteto in klasifikacijo.

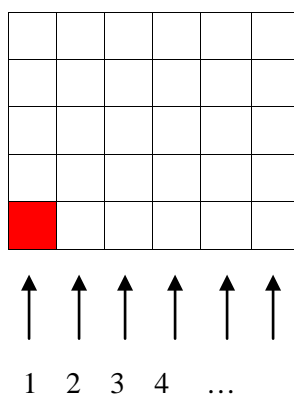


Slika 6: Prikaz dela območja obravnave z identifikatorji POI v programu FugroViewer.

### 3.2.3 LAStools

LAStools je zbirka različnih orodij, ki omogočajo rasterizacijo, rezanje, filtriranje, pretvorbo in različne obdelave laserskih podatkov. Z orodji lahko odpiramo standardni LAS<sup>1</sup> in stisnjeni LAZ<sup>2</sup> format. Vsako od orodij ima programsko okno in ukazno vrstico (Rapidlasso, 2016a). V okviru te naloge smo uporabili orodje LAStile, ki omogoča razrez laserskega oblaka točk na manjše dele. V pogovornem oknu izberemo datoteko, ki jo želimo razrezati ter določimo velikost ter format razrezanih podatkov. Če želimo, da intenziteta ostane v razrezanih podatkih, jo je potrebno nujno faktorsko pomnožiti, če ne želimo sprememb vrednosti le te, je najbolje da jo pomnožimo s faktorjem 1.

Rezanje se začne v levem spodnjem kotu in nadaljuje po vrsti, od spodaj navzgor, tako kot prikazuje slika 7. V takšnem vrstnem redu so zapisane tudi oznake razrezanih delov.

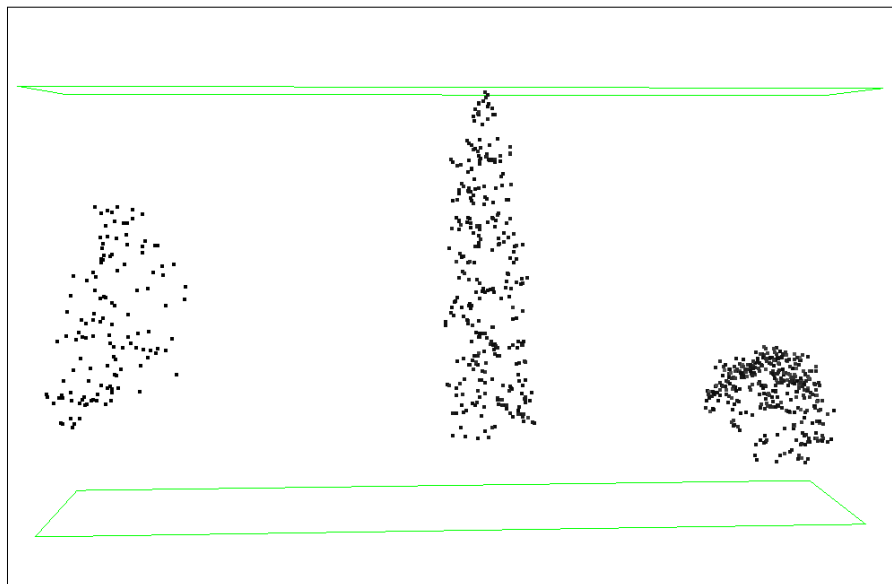


Slika 7: Razrez območja v programu LAStools.

<sup>1</sup> LAS je standardni binarni format za shranjevanje aerolaserskih podatkov (ArcGIS 2016)

<sup>2</sup> LAZ je stisnjen format LAS podatkov, pri čemer ne izgubimo informacij (Rapidlasso GmbH, 2016b)

Znotraj orodij v pogovornem oknu s klikom na gumb »VIEW« lahko pregledujemo 3D-podatke (povečujemo, zmanjšujemo, obračamo) ter brišemo in (re)klasificiramo točke (slika 8).



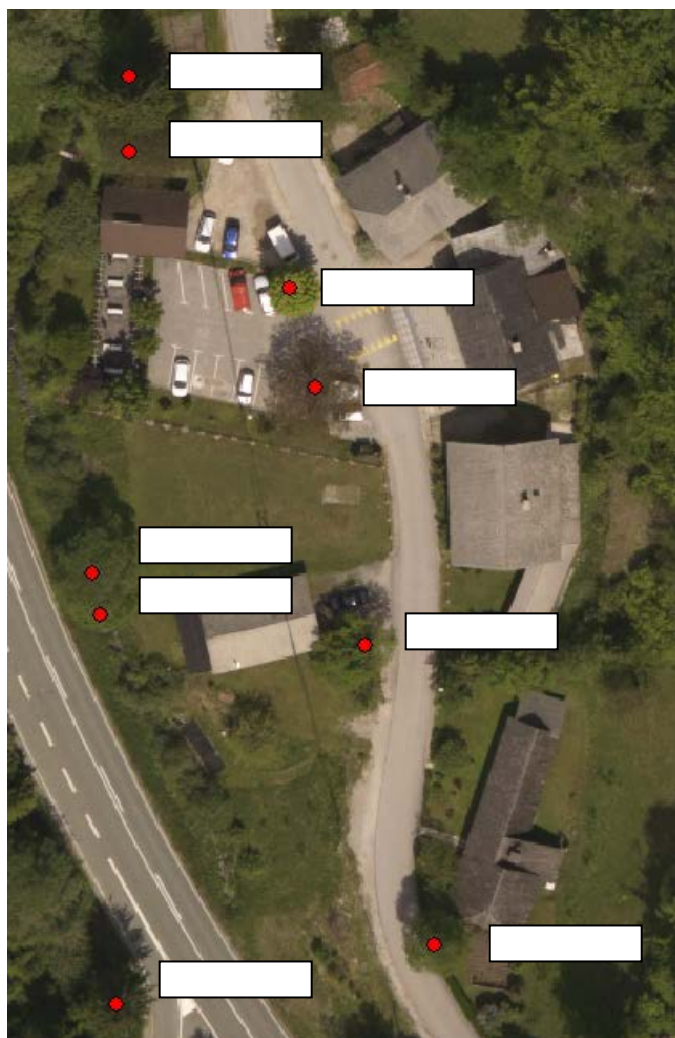
Slika 8: Prikaz posameznih krošenj dreves v orodju LAStile (sivinski prikaz glede na intenziteto).



## 4 METODE DELA

### 4.1 Priprava podatkov in določanje drevesne vrste posameznih dreves

Pred terenskim popisom dreves smo si v programu QGIS grobo izbrali območje obdelave. Gre za območje na Gorenjskem, natančno za okolico Ljubelja. Laserske podatke smo nato uvozili v FugroViewer, ki omogoča prikaz glede na intenziteto odbojev. Podatke smo podrobneje pregledali, pri čemer je bila pozornost usmerjena predvsem na iskanje vidnih razlik v intenziteti. Pri tem smo iskali predvsem samostoječa drevesa, ki smo jih označili s pomočjo identifikatorjev. Za lažjo orientacijo smo kot podlago uporabili ortofoto. Na teren smo se odpravili z izseki ortofota (slika 9), na katerih so bila označena posamezna drevesa, ki smo jim na terenu določali drevesne vrste. Vrste posameznih dreves smo identificirali na osnovi značilne drevesne krošnje in listov, s pomočjo knjige Drevesne vrste na Slovenskem avtorja Roberta Brusa (2004).



Slika 9: Primer terenskega lista.

Po terenskem delu je sledila dodatna obdelava podatkov v programu FugroViewer in LASStools. V programu LASStools smo uvozili datoteko v formatu LAS in z orodjem Lastile najprej razrezali velike sete podatkov na manjše dele. Nato smo poiskali posamezno drevo ter iz podatkov, z brisanjem točk, izrezali krošnjo drevesa. Novo ustvarjena LAS-datoteka tako vsebuje le točke krošnje posameznega drevesa. Slednje smo ponovno uvozili v program FugroViewer, si ogledali 3D-model in izvozili oblak točk v obliki xyz z dodatnimi atributi (intenziteta, red odboja, številka odboja, klasifikacija). Med seboj smo primerjali štiri sete laserskih podatkov opisanih v poglavju 3.1 Podatki. Postopek smo tako za vsako posamezno drevo ponovili štiri krat za štiri različne sete podatkov. Izvoženi podatki so zapisani v formatu ASCII, ki ga lahko odpremo v programu Beležnica. ASCII-datoteke smo nato uvozili v Microsoft Office Excel, kjer smo izvedli analizo. Za posamezno drevo smo za vsak set podatkov izračunali povprečno intenziteto in njen standardni odklon na podlagi vseh odbojev, ter na podlagi le prvih odbojev, poleg tega pa smo izračunali še delež prvih odbojev, ter delež enojnih odbojev.

## 4.2 Krošnje posameznih drevesnih vrst

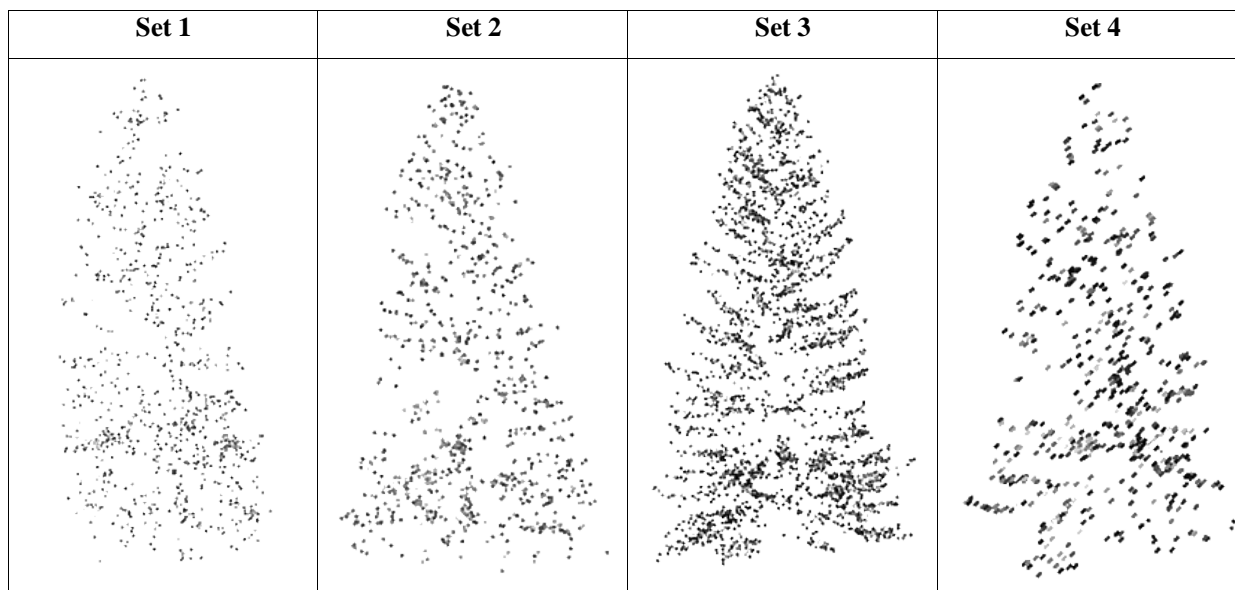
Oblika krošnje je v veliki meri odvisna od drevesne vrste in neposredne okolice drevesa, na podlagi njene oblike lahko v grobem že sklepamo ali gre za drevo iglavca ali listavca. Oblika krošnje samostojnih dreves je dobro vidna tudi iz aerolaserskih podatkov. Omenjeni parameter sta pri klasifikaciji drevesnih vrst upoštevala tudi avtorja Holmgren in Persson (2004).

Na slikah 10 – 15 so prikazane tipične krošnje posameznih dreves, za katera smo v nadaljevanju izvedli tudi analizo povprečnih vrednosti intenzitet. Pri iglavcih gre za smreko in macesen, pri listavcih pa za oreh, javor, jesen in lipo. Posamezne tipične krošnje so prikazane v vseh štirih setih podatkov, glede na intenziteto odbojev. Prvi in drugi set podatkov sta zajeta v času olistanosti, z enako gostoto 8 točk/m<sup>2</sup>, tretji set podatkov je zajet v času neolistanosti, z gostoto 15 točk/m<sup>2</sup>, četrti pa zopet v času olistanosti, z gostoto 5 točk/m<sup>2</sup> (glej preglednica 1).

### 4.2.1 Iglavci

#### Smreka

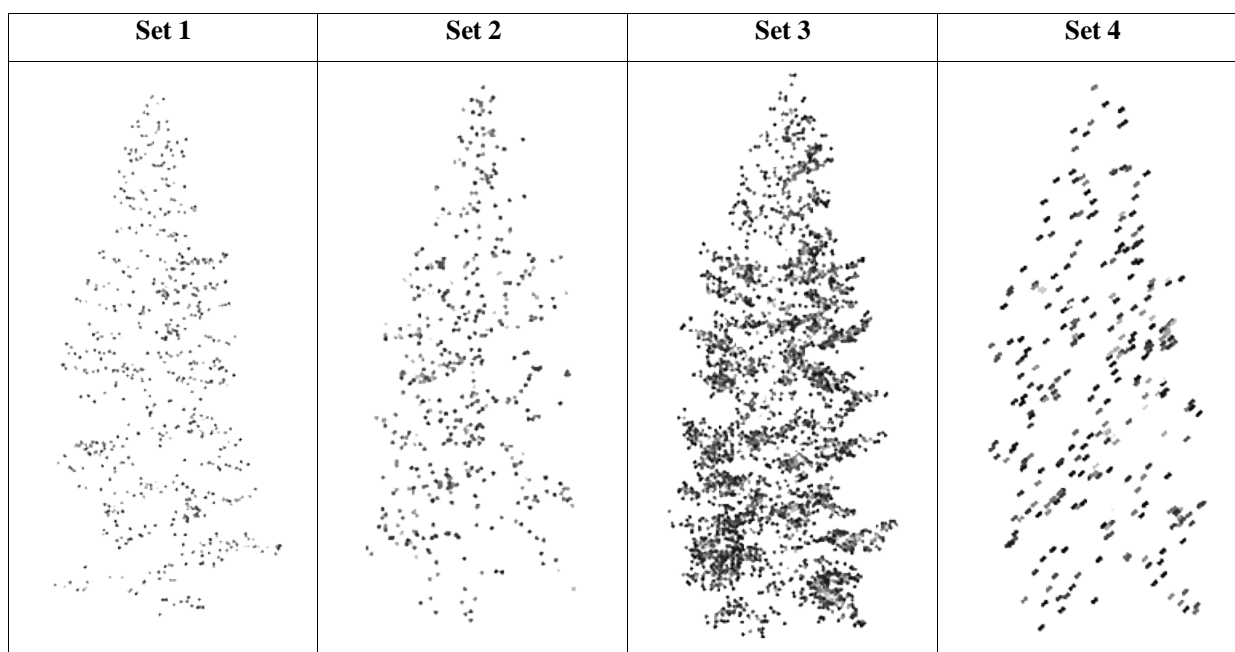
Smreka ima tipično stožčasto obliko krošnje. Različna gostota zajema pri različnih setih podatkov je dobro vidna na primerih krošenj na sliki 10. Največja gostota zajema podatkov je bila v tretjem setu podatkov, najmanjša pa v četrtem setu podatkov.



Slika 10: Primer krošnje iste smreke v vseh štirih setih podatkov (sivinski prikaz glede na intenziteto).

### Macesen

Podobno kot smreka, ima tudi macesen (slika 11) tipično stožčasto obliko krošnje. Različna gostota zajema podatkov je tudi v tem primeru dobro vidna. Kljub zajemu v času neolistanosti, je število odbojev veliko v tretjem setu podatkov.



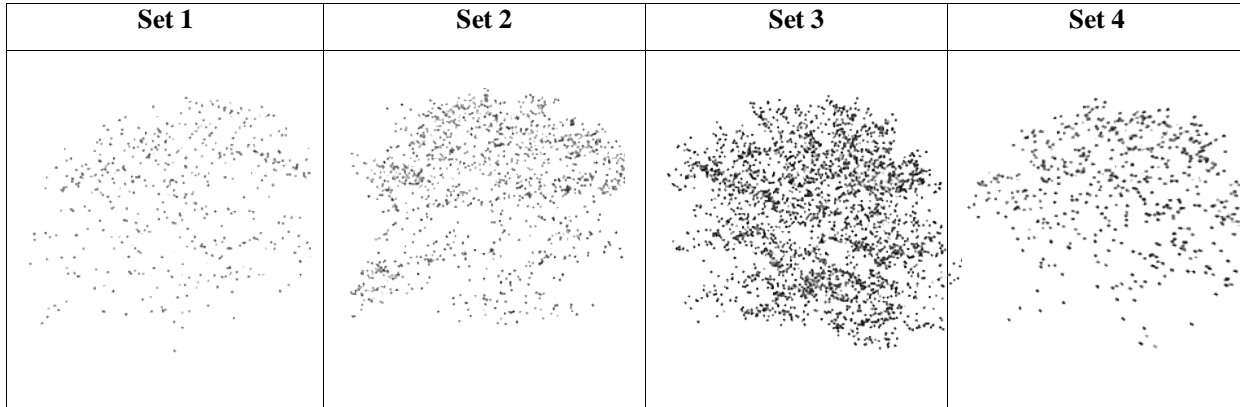
Slika 11: Primer krošnje istega macesna v vseh štirih setih podatkov (sivinski prikaz glede na intenziteto).

### 4.2.2 Listavci

Pri listavcih imajo oreh, javor in jesen (slika 12, slika 13, slika 14) kroglasto obliko krošnje. Le za krošnjo lipe (slika 15) lahko rečemo, da ni tipične kroglaste oblike, temveč gre za bolj podolgovato

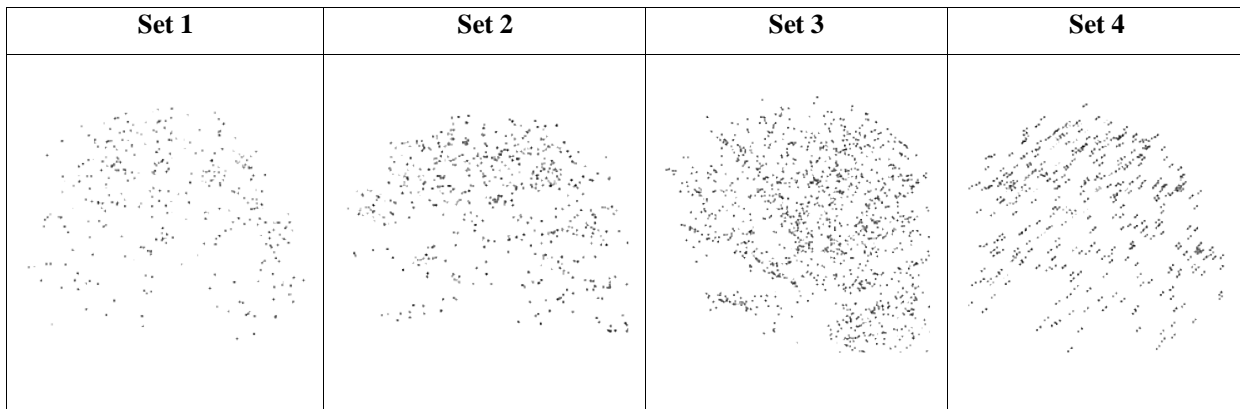
obliko krošnje. V tretjem setu podatkov imamo, pri vseh listavcih, veliko število odbojev, kljub zajemu v času neolistanoti, saj je osnovna gostota laserskih podatkov večja, kar smo lahko videli že na primeru iglavcev.

### Oreh



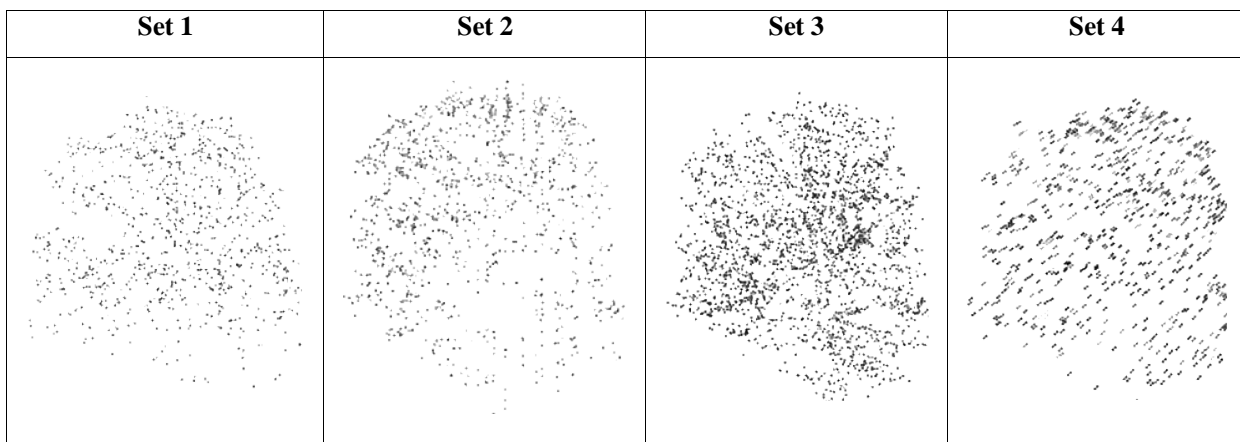
Slika 12: Primer krošnje istega oreha v vseh štirih setih podatkov (sivinski prikaz glede na intenziteto).

### Javor



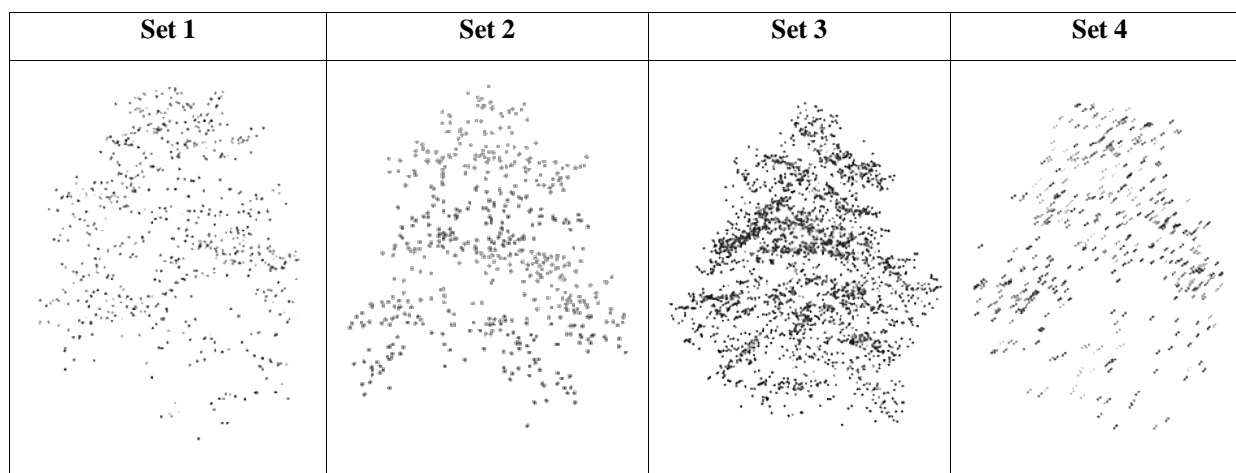
Slika 13: Primer krošnje istega javorja v vseh štirih setih podatkov (sivinski prikaz glede na intenziteto).

### Jesen



Slika 14: Primer krošnje istega jesena v vseh štirih setih podatkov (sivinski prikaz glede na intenziteto).

## Lipa

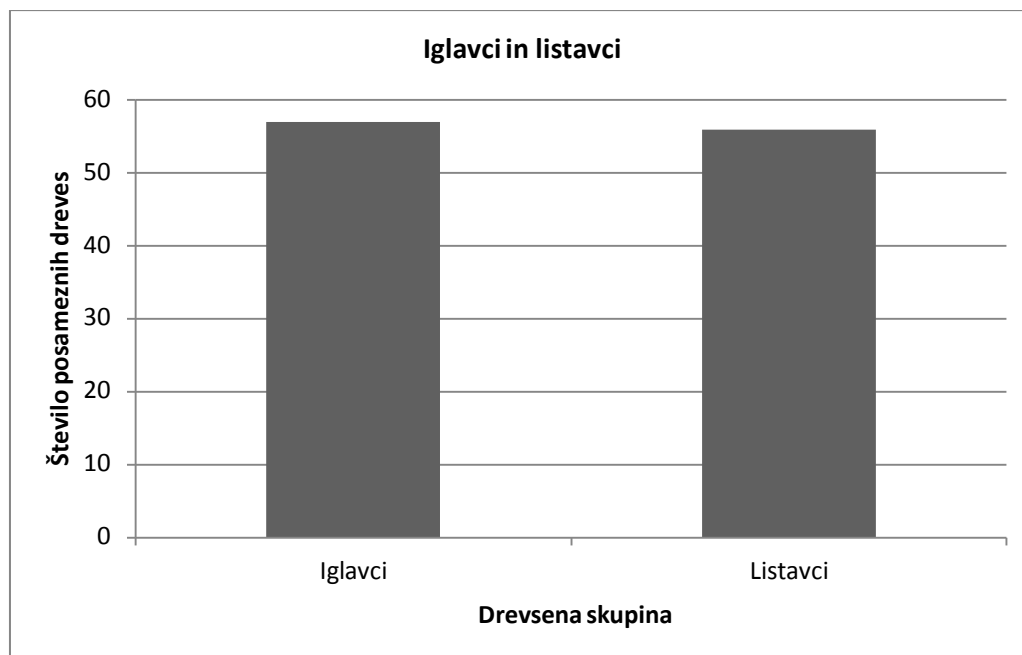


Slika 15: Primer krošnje iste lipe v vseh štirih setih podatkov (sivinski prikaz glede na intenziteto).

Klasifikacija drevesnih vrst zgolj na podlagi oblike drevesne krošnje ni možna, lahko pa predstavlja dodatni parameter pri razvrščanju dreves. Pri tem je potrebno opozoriti, da je oblika krošnje odvisna tudi od razvitosti krošnje (starost drevesa), poleg tega pa na obliko vplivajo tudi bližnja drevesa in pogoji rastišča. V splošnem drevesa razvijejo svojo karakteristično obliko krošnje na prostem, medtem ko v gozdu razvijejo različne oblike (Čarman, Smrekar, 2007). Vsa predstavljena drevesa prikazujejo samostojna drevesa, zato se na njih karakteristične oblike krošnje zelo dobro vidijo.

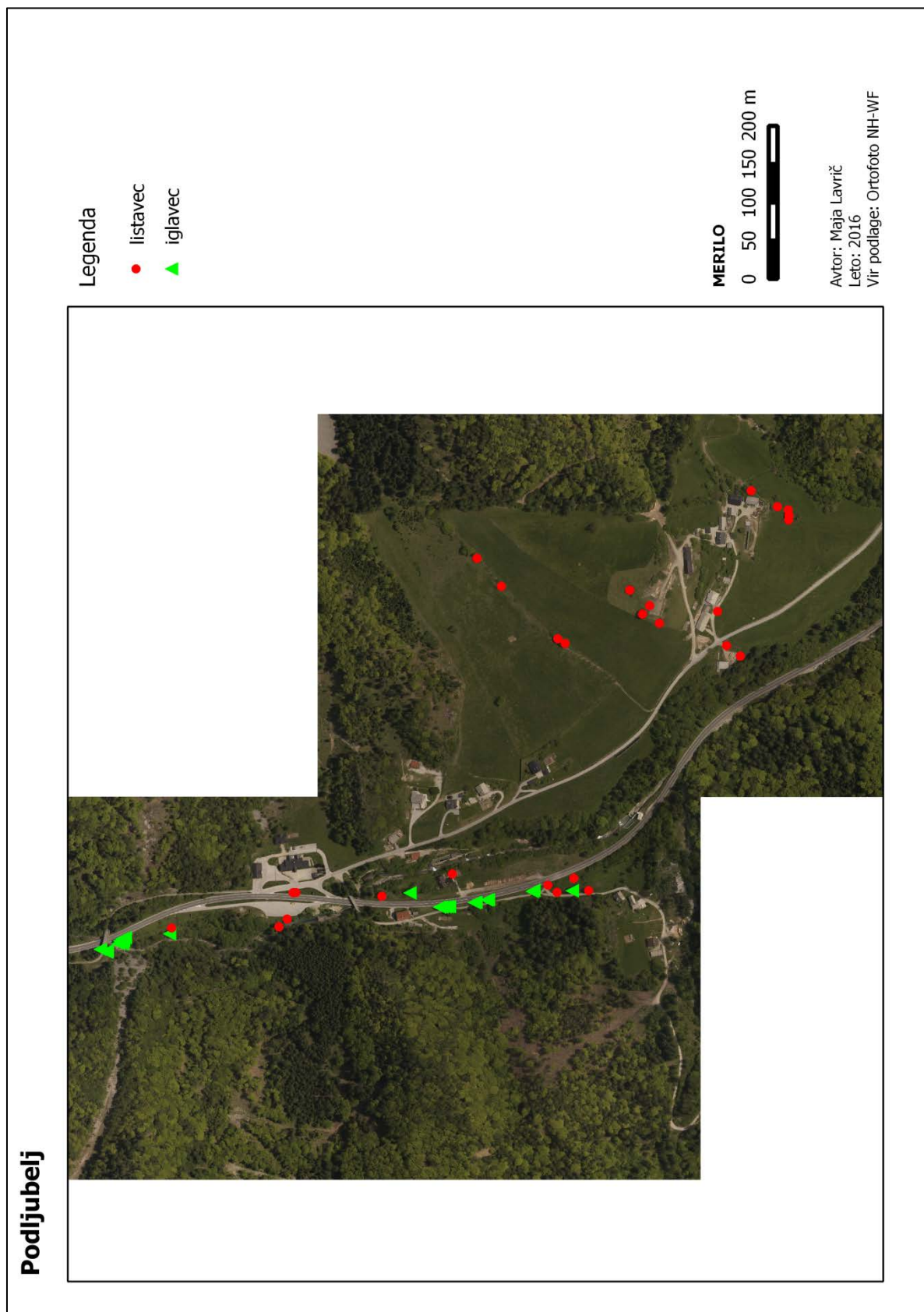
## 5 REZULTATI

Analizirali smo štiri sete podatkov, pri čemer smo uporabili po dva seta podatkov z isto valovno dolžino. Podatki v setu ena in dva so bili zajeti z valovno dolžino 1550 nm, set tri in štiri pa z valovno dolžino 1064 nm. Prvi, drugi in četrti set podatkov so zajeti v času olistanosti, tretji pa v času neolistanosti. V analizo je bilo skupno vključenih sto trinajst dreves različnih drevesnih vrst, od tega sedeminpetdeset iglastih dreves in šestinpetdeset listnatih dreves (grafikon 1).

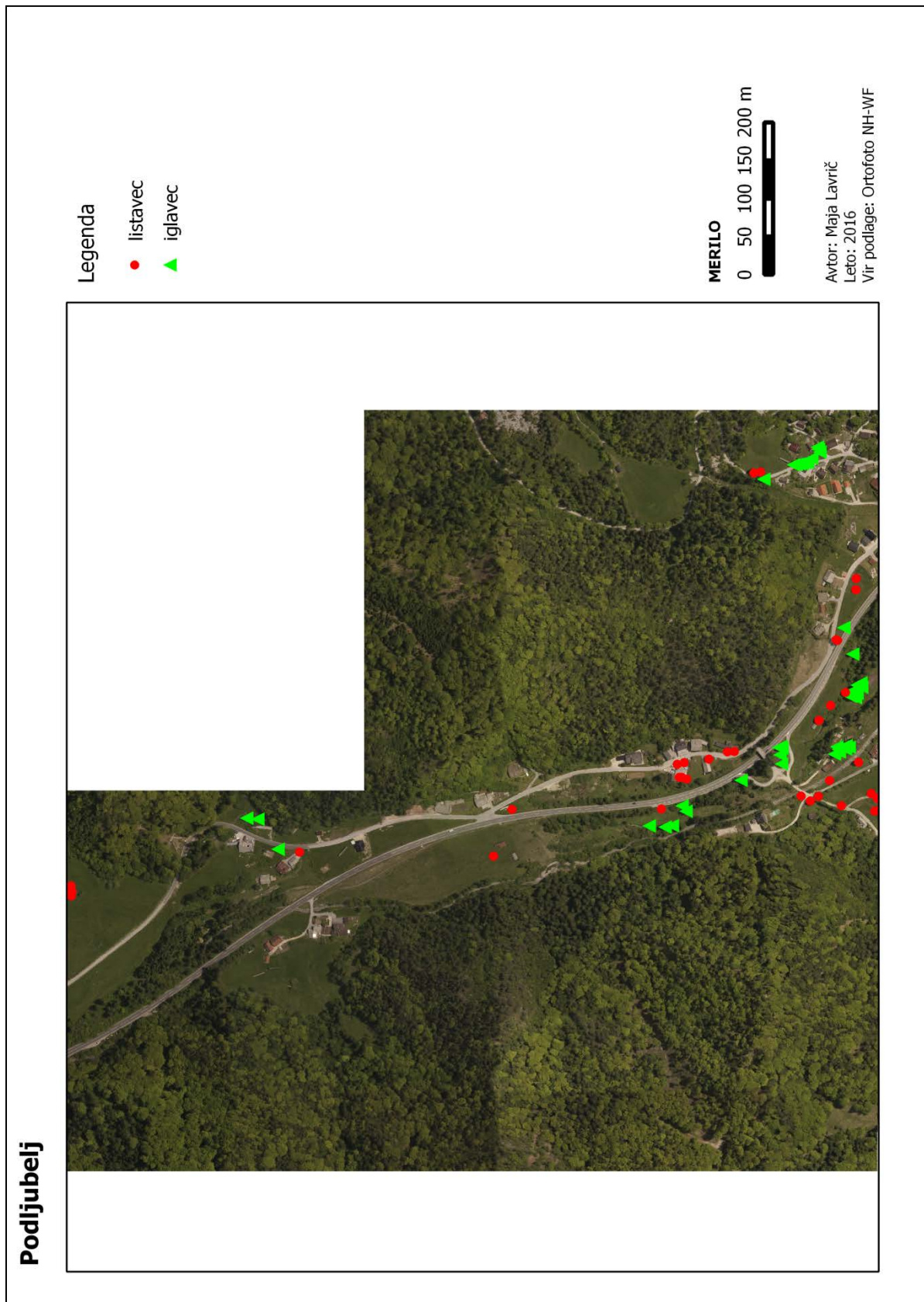


Grafikon 1: Število iglavcev in listavcev, ki so vključeni v analizo.

Spodnji karti (slika 16, slika 17) prikazujeta območje obdelave, na katerih so prikazana posamezna drevesa, razdeljena na listavce in iglavce, ki so bila vključena v analizo.



Slika 16: Karta prvega dela območja obdelave, na kateri so prikazana posamezna drevesa, ki so bila vključena v analizo.



Slika 17: Karta drugega dela območja obdelave, na kateri so prikazana posamezna drevesa, ki so bila vključena v analizo.



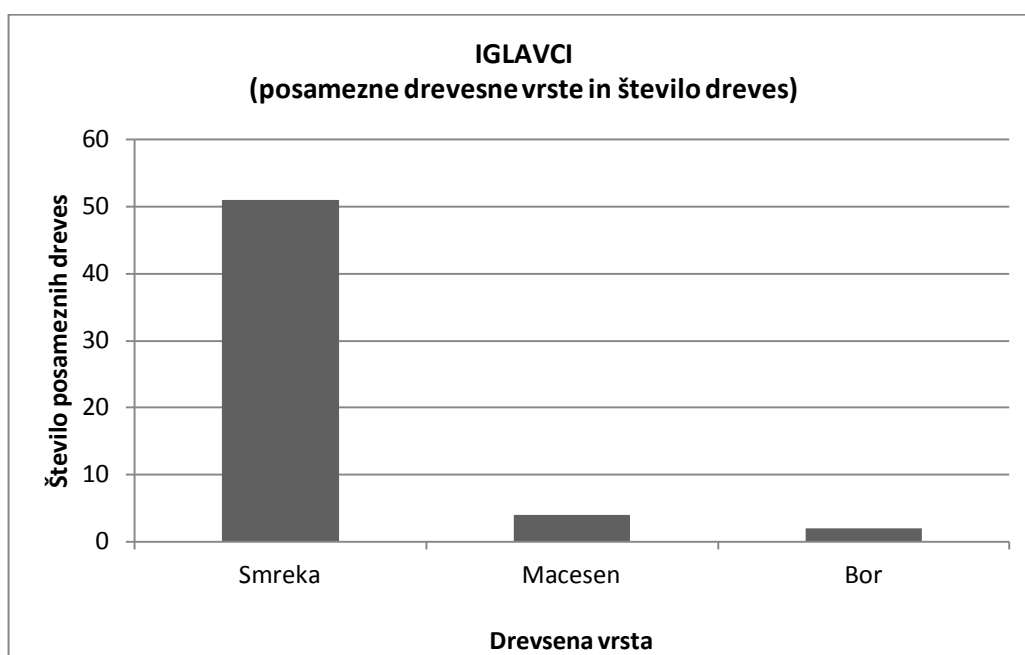
V raziskavi smo se osredotočili na intenziteto različnih drevesnih vrst pri čemer smo uporabili surove aerolaserske podatke, podobno kot so to že naredili nekateri avtorji (Holmgren, Persson, 2004; Moffiet in sod., 2005; Orka, Naasset, Bollandsås, 2007; Brandtberg in sod., 2013). Značilnost aerolaserskih podatkov je, da kontinuirano zajamejo skenirano površje, v naši raziskavi pa je pomembno, da določimo intenziteto posameznega drevesa, zato je bilo nujno izločanje posameznih dreves oz. krošenj iz oblaka točk. Tekom izločanja posameznih krošenj smo odstranili tudi morebitne dele prekrivajočih krošenj posameznih dreves.

Raziskati smo želeli ali intenziteta aerolaserskih podatkov, ki so zajeti z različno valovno dolžino, omogoča ločevanje drevesnih vrst. Raziskavo smo najprej izvedli z vsemi odboji, nato pa tudi na podlagi le prvih odbojev, ki naj bi se pri večini dreves zgodili na zgornjem delu drevesne krošnje, pri listavcih to velja le v času olistanosti. Laserski žarek na poti do tal zadene ob več delov drevesne krošnje, tako dobimo prvi, drugi... in zadnji odboj. Lahko pa pride le do enkratnega oz. enojnega odboja. Pri analizi na podlagi prvih odbojev smo tako upoštevali prve in enojne odboje. Na podlagi prvih in enojnih odbojev smo tako izračunali delež prvih odbojev za vsako posamezno drevesno vrsto, na podlagi zgolj enojnih odbojev pa smo izračunali delež enojnih odbojev.

## 5.1 Analiza intenzitete laserskega skeniranja v odvisnosti od valovne dolžine na podlagi vseh odbojev

### 5.1.1 Iglavci

Znotraj skupine iglavcev imamo tri drevesne vrste in sicer smreko, macesen in bor.



Grafikon 2: Drevesne vrste iglavcev.

Pri analizi individualnih drevesnih vrst iglavcev (grafikon 2) smo se osredotočili le na smreko in macesen, saj imamo pri boru premalo posameznih dreves. V analizi imamo torej 51 smrekovih in 4 macesnova drevesa.

Za prikaz in analizo smo izračunali srednjo vrednost intenzitet na krošnji posameznega drevesa. Povprečni standardni odklon intenzitet na posameznem drevesu iglavcev, za valovno dolžino 1550 nm je  $\pm 10$  enot v prvem in  $\pm 8$  enot v drugem setu podatkov. Povprečni standardni odklon intenzitet za valovno dolžino 1064 nm je večji in znaša  $\pm 79$  enot v tretjem ter  $\pm 52$  enot v četrtem setu podatkov. Vrednosti intenzitet in standardni odkloni, izračunani glede na vse odboje, po posameznem drevesu so zapisani v prilogi A.

### 5.1.1.1 Smreka

Smreka (preglednica 2, grafikon 3) je tipičen predstavnik iglavcev, saj ima stožčasto obliko krošnje in skozi vse leto zelene iglice, medtem ko je macesen eden od redkih iglavcev, ki pozimi odvrže iglice.

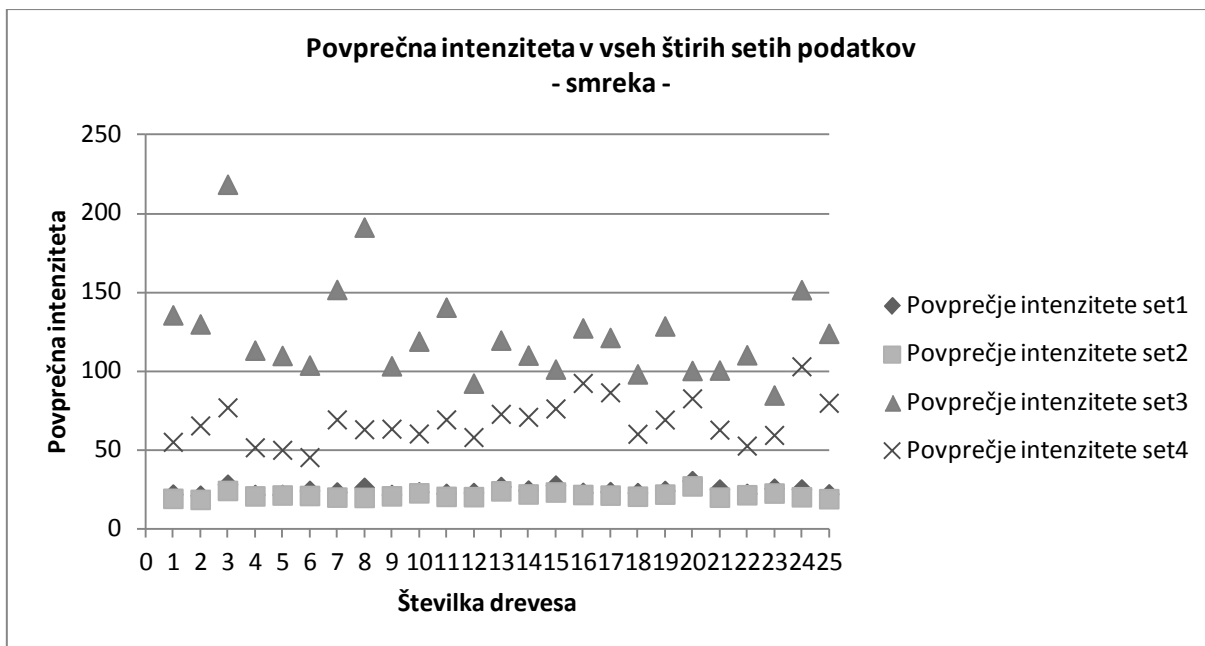
Smreka je torej zimzeleno drevo, zato pričakujemo, da se bodo vrednosti intenzitete razlikovale le pri zajemu z drugačno valovno dolžino.

Podatki iz prvega in drugega seta se na grafu zelo malo razlikujejo, kar je pričakovano, saj so podatki v obeh setih zajeti v času olistanosti z enako valovno dolžino 1550 nm. Podatki v tretjem setu so zajeti v času neolistanosti, kar naj ne bi imelo vpliva na vrednosti intenzitet pri iglavcih. V našem primeru se vrednosti, glede na prvi in drugi set podatkov razlikujejo, saj so podatki v tretjem setu zajeti z valovno dolžino 1064 nm. Za četrti set podatkov smo pri smreki pričakovali podobne vrednosti intenzitete kot v tretjem setu podatkov, saj gre za zajem z enako valovno dolžino 1064 nm, vendar se vrednosti kljub temu razlikujejo. Vzrok za razlike je najverjetneje višina leta v času zajema podatkov, ki se razlikuje za 200 do 400 m. Višji let pri zajemu podatkov v četrtem setu, najverjetneje povzroči nižje vrednosti intenzitete in manjše standardne odklone povprečnih intenzitet  $\pm 14$  enot, medtem ko so standardni odkloni povprečnih intenzitet v tretjem setu dvakrat višji in znašajo  $\pm 30$  enot, prav tako so višje tudi vrednosti intenzitete.

Same vrednosti intenzitete sicer enolično sledijo posameznim drevesom, kar najlepše vidimo, če primerjamo tretji in četrti set na grafikonu 3. Večja odstopanja povprečnih vrednosti intenzitet imamo v tretjem in četrtem setu podatkov pri smrekah 3, 7, 8 in 24. Zaradi tako velikih odstopanj od ostalih dreves obstaja možnost, da to niso smreke, temveč jelke in duglazije. Pri ogledu terena in identificiranju drevesnih vrst tega žal nismo opazili. Iz tega lahko sklepamo, da v laserskih podatkih glede na zapis v intenziteti ločimo posamezne smreke med seboj.

Za smreko smo pričakovali tudi podoben delež prvih in enojnih odbojev v vseh letnih časih, vendar rezultati kažejo, da se tudi ta z drugačno valovno dolžino in višino leta razlikuje. V prvih dveh setih podatkov tako delež prvih odbojev znaša 86 % v prvem in 90 % v drugem setu podatkov, medtem ko

je v ostalih dveh setih delež manjši in znaša 52 % v tretjem in 74 % v četrtem setu podatkov. Podobno je tudi delež enojnih odbojev večji v prvih dveh in nižji v tretjem in četrtem setu podatkov.



Grafikon 3: Povprečna intenziteta posameznih dreves smreke v vseh štirih setih podatkov.

Preglednica 2: Povprečna intenziteta smreke in standardni odklon povprečnih intenzitet, delež prvih odbojev, ter delež enojnih odbojev v vseh štirih setih podatkov.

SMREKA	Povprečje intenzitet	Delež prvih odbojev (%)	Delež enojnih odbojev (%)
	Standardni odklon (s)		
SET 1	24	86	64
	2		
SET 2	21	90	72
	2		
SET 3	123	52	11
	30		
SET 4	67	74	9
	14		

### 5.1.1.2 Macesen

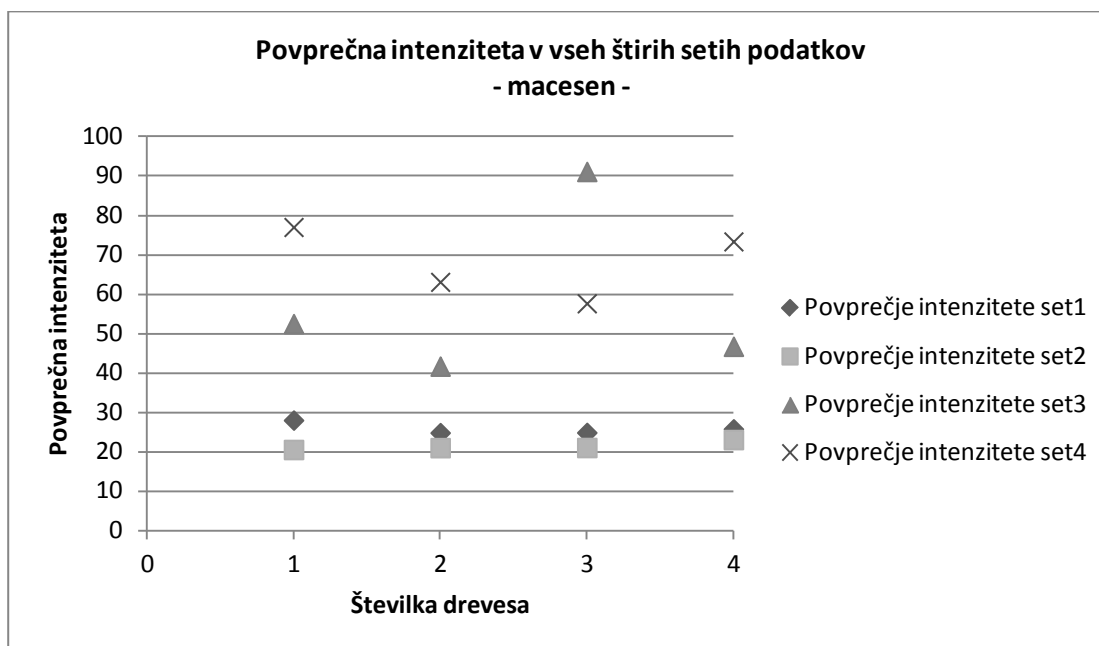
Podobno kot pri smreki se tudi pri macesnu (preglednica 3, grafikon 4,) vrednosti intenzitet v prvem in drugem setu podatkov malo razlikujejo, saj gre za zajem z isto valovno dolžino v času olistanosti.

V tem primeru so v splošnem vrednosti intenzitete v četrtem setu, višje glede na vrednosti v tretjem setu, kar je ravno obratno kot pri smreki. Takšen rezultat je najverjetneje posledica tega, da macesen pozimi odvrže iglice, tako se laserski žarki odbijejo le od lesenih delov krošnje. Intenziteta lesenih

delov (lubja in vej) je torej v splošnem nižja v primerjavi z vrednostmi intenzitete iglic. Poudariti pa moramo, da imamo v primeru macesna le 4 drevesa v vzorcu, kar je za kakšno dokončno sklepanje premalo.

Standardni odkloni povprečnih intenzitet v tretjem in četrtem setu so višji od prvih dveh setov. Enak vzorec manjših standardnih odklonov v prvem in drugem setu ter večje standardne odklone v tretjem in četrtem setu smo videli že na primeru smreke (preglednica 2, grafikon 3). Zato lahko obnašanje velikosti standardnih odklonov pripišemo različnemu tipu laserskega skenerja: laserski skener z valovno dolžino 1550 nm daje manjše standardne odklone intenzitet, z valovno dolžino 1064 nm pa večje standardne odklone.

Delež prvih odbojev je pričakovano večji v prvih dveh setih podatkov (65 % in 66 %), ko so iglice še prisotne, in manjši v zimskem obdobju (tretji set podatkov), ko macesen odvrže iglice in znaša le 37 %. Delež prvih odbojev v četrtem setu podatkov je zopet višji 65 % in primerljiv z deležem v prvem in drugem setu podatkov, ki sta prav tako zajeta v času olistanosti.



Grafikon 4: Povprečna intenziteta posameznih dreves macesna v vseh štirih setih podatkov.

Preglednica 3: Povprečna intenziteta macesna in standardni odklon povprečnih intenzitet, delež prvih odbojev, ter delež enojnih odbojev v vseh štirih setih podatkov.

MACESEN	Povprečje intenzitet	Delež prvih odbojev (%)	Delež enojnih odbojev (%)
	Standardni odklon (s)		
SET 1	26	65	47
	1		
SET 2	21	66	52
	1		

se nadaljuje ...

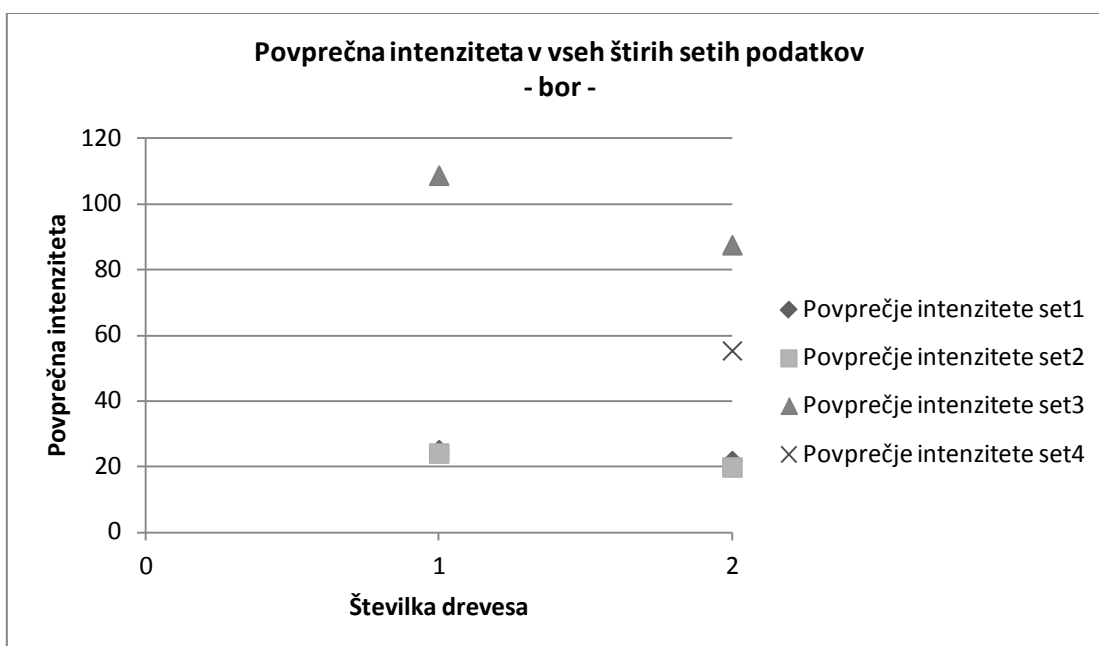
... nadaljevanje Preglednice 3

<b>SET 3</b>	58	37	2
	22		
<b>SET 4</b>	68	65	11
	9		

### 5.1.1.3 Bor

Zaradi premajhnega števila posameznih dreves bora (grafikon 5) v vzorcu (dve drevesi), smo le tega izločili iz primerjave intenzitet iglavcev. Poleg tega je eno od dreves v četrtem setu podatkov odstranjeno.

Torej imamo le eno drevo, s podatki v vseh štirih setih, kar pa je premalo, za podajanje ugotovitev in računanje statistik.



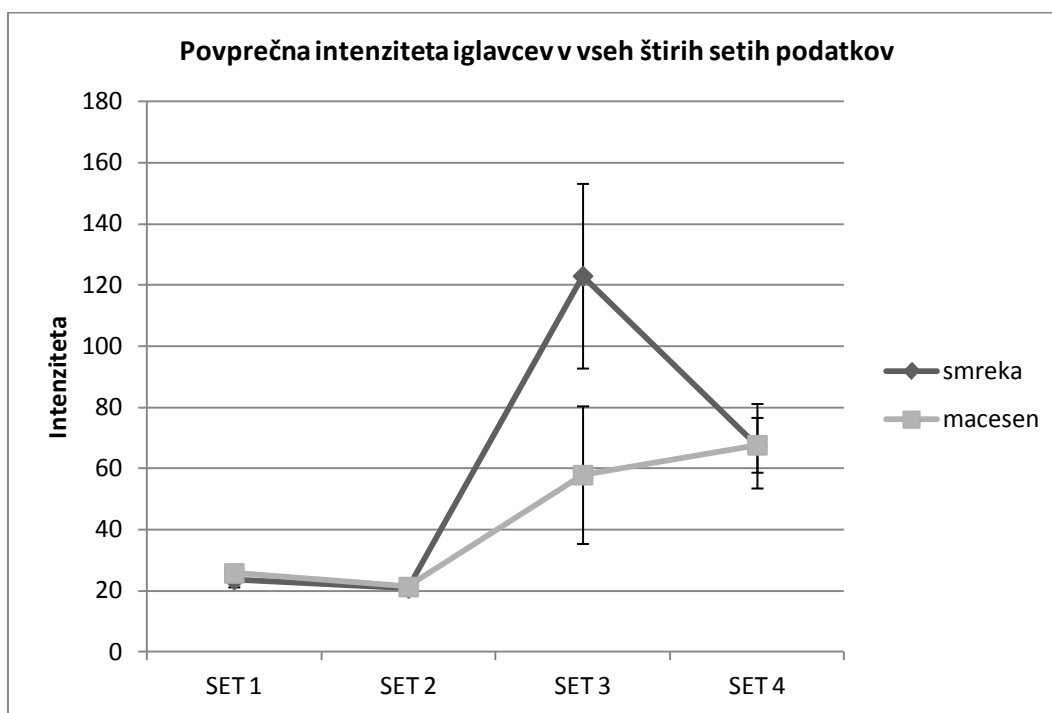
Grafikon 5: Povprečna intenziteta bora v vseh štirih setih podatkov.

### 5.1.1.4 Primerjava med iglavci

Na spodnjem grafu opazimo, da so vrednosti intenzitet pri smreki in macesnu v času olistanosti v prvih dveh setih in v četrtem setu podatkov zelo podobne (grafikon 6), zato ti dve drevesni vrsti ne bi mogli ločiti zgolj glede na vrednosti intenzitet. Največja razlika, med obema drevesnima vrstama, v vrednostih intenzitet je opazna v tretjem setu podatkov. Podatki so v tem primeru zajeti z valovno dolžino 1064 nm v času neolistanosti, ko se pojavi tudi fizična razlika med smreko in macesnom, saj le ta pozimi odvrže iglice.

Primerjava prvih dveh setov podatkov, ki sta zajeta z valovno dolžino 1550 nm s četrtem setom podatkov, ki je zajet z valovno dolžino 1064 nm, pokaže, da so vrednosti intenzitet višje pri zajemu podatkov z valovno dolžino 1064 nm.

Primerjava deleža prvih odbojev kaže na to, da ima smreka bolj gosto krošnjo kot macesen, saj je omenjeni delež v času olistanosti pri smreki, večji za okrog 20 %.

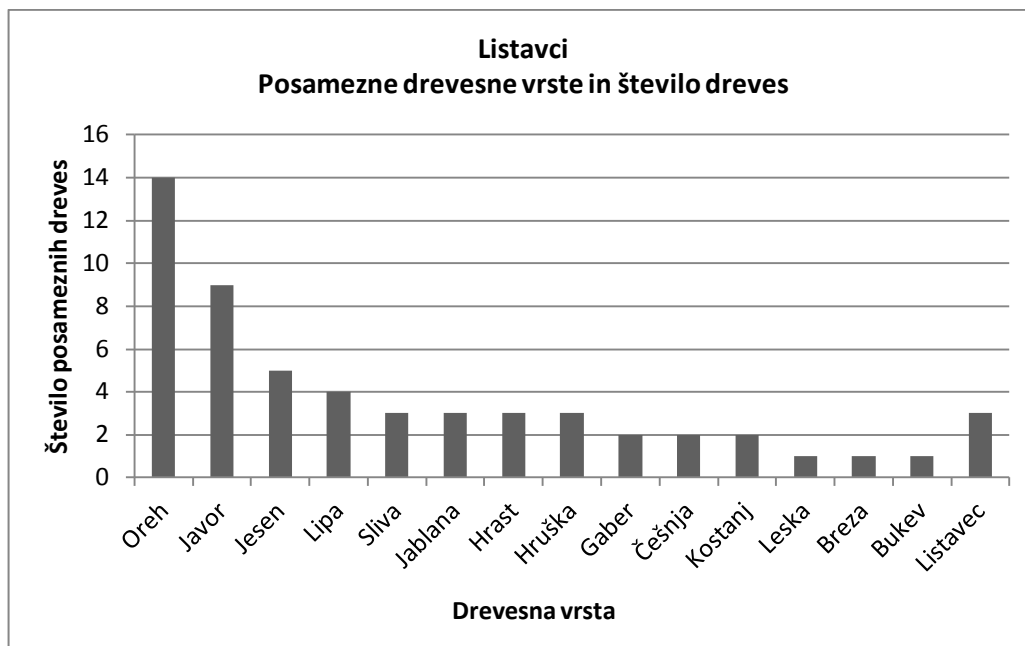


Grafikon 6: Povprečna intenziteta smreke in macesna s standardnimi odkloni povprečnih intenzitet v vseh štirih setih podatkov.

### 5.1.2 Listavci

Znotraj skupine listavcev (grafikon 7) imamo štirinajst drevesnih vrst: oreh, javor, jesen, lipa, sliva, jablana, hrast, hruška, gaber, češnja, kostanj, leska, breza, bukev. Analizo posameznih drevesnih vrst smo izvedli le za štiri drevesne vrste in sicer oreh, javor, jesen in lipo. V analizo je vključenih štirinajst orehovitih, devet javorovitih, pet jesenovitih in štiri lipovih dreves. Pri ostalih drevesnih vrstah imamo premalo primerkov vzorčnih dreves, da bi lahko pravilno statistično ocenili obnašanje intenzitet.

Za prikaz in analizo smo tudi pri listavcih izračunali srednjo vrednost intenzitet na krošnji posameznega drevesa. Povprečni standardni odklon intenzitet na posameznem drevesu listavcev, za valovno dolžino 1550 nm je  $\pm 13$  enot v prvem in  $\pm 12$  enot v drugem setu podatkov. Povprečni standardni odklon intenzitet za valovno dolžino 1064 nm je večji in znaša  $\pm 54$  enot v tretjem ter  $\pm 64$  enot v četrtem setu podatkov. Vrednosti intenzitet in standardni odkloni, izračunani glede na vse odboje, po posameznem drevesu so zapisani v prilogi A.



Grafikon 7: Drevesne vrste listavcev.

Za večino listavcev je značilno, da imajo poleti bogato krošnjo pozimi pa odvržejo liste. Za razliko od iglavcev, ki imajo navadno ozke in podolgovate iglice, imajo listavci široke liste.

Pri listavcih podobne vrednosti intenzitet pričakujemo v prvem in drugem setu podatkov, saj gre za zajem v času olistanosti, z enako valovno dolžino 1550 nm. Medtem ko bi se morala intenziteta v tretjem in četrtem setu razlikovati, saj sta oba seta podatkov zajeta z valovno dolžino 1064 nm, poleg tega pa je tretji set podatkov zajet v času neolistanosti.

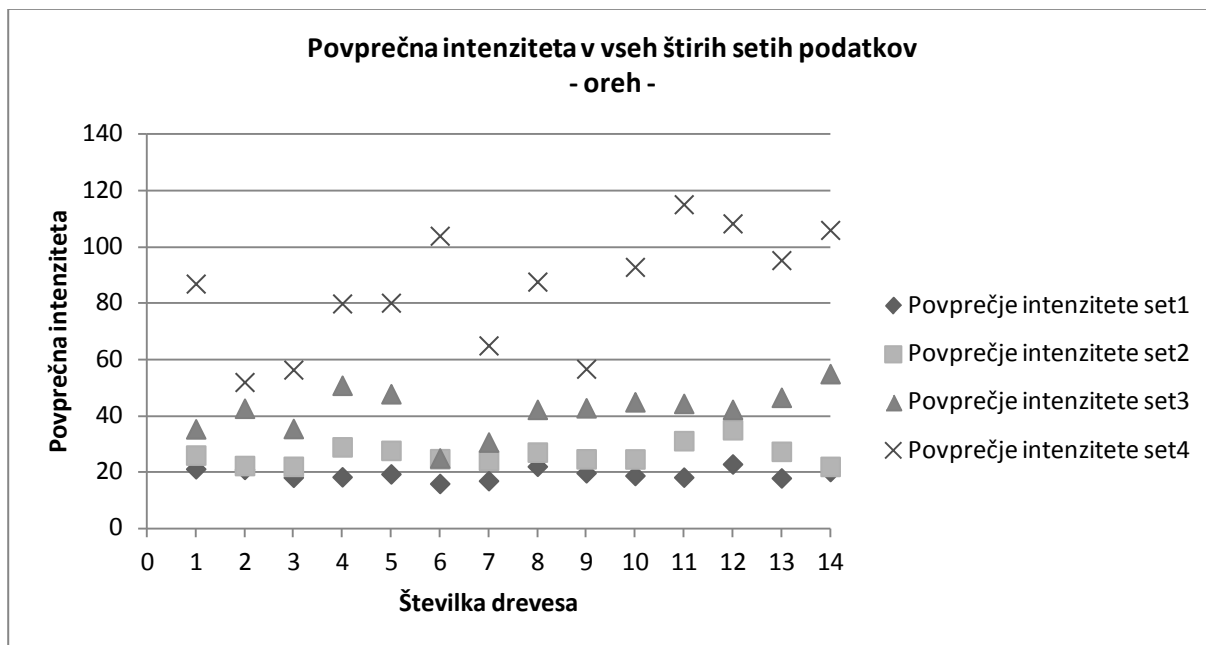
### 5.1.2.1 Oreh

Na grafu oreha vidimo, da se vrednosti intenzitet razlikujejo v vseh setih podatkov (grafikon 8). Povprečna intenziteta v prvem setu podatkov za orehova drevesa znaša 19, medtem ko je vrednost v drugem setu podatkov višja in znaša 26 (preglednica 4). Oba seta podatkov sta bila zajeta v času olistanosti, vendar je bil prvi set zajet 15. 5. 2012, ko krošnja oreha najverjetneje še ni bila dokončno razvita in so laserski žarki lahko prodirali v notranjost, medtem ko je bil drugi set podatkov zajet 18. 9. 2012, ko so bili listi najverjetneje dobro razviti, krošnje pa so bile goste in zaprte. Slednjo ugotovitev lahko utemeljimo tudi z izračunom **deleža enojnih odbojev**, ki v prvem setu znaša 20 %, v drugem pa 50 %.

Sicer pa delež prvih odbojev v prvem setu podatkov znaša 81 %, medtem ko je v drugem setu podatkov višji in znaša 84%. V tretjem setu podatkov je delež prvih odbojev manjši in znaša 51%, saj so podatki zajeti v času neolistanosti. Delež prvih odbojev je zopet višji v četrtem setu podatkov in znaša 76 % (preglednica 4). Enak vzorec večjega deleža prvih in enojnih odbojev v času olistanosti pri skeniranju z 1550 nm in manjši delež enojnih odbojev pri skeniranju z 1064 nm smo dobili že pri

smreki, zato lahko tu potrdimo, da ga gre pripisati različnemu tipu skenerja in višini leta, ki je za 200 do 400 m višji v četrtem setu podatkov.

Primerjava tretjega in četrtega seta podatkov pokaže, da je neolistanost oz. olistanost dobro razvidna, saj so vrednosti intenzitet v času neolistanosti, za vsa drevesa, manjše.



Grafikon 8: Povprečna intenziteta posameznih dreves oreha v vseh štirih setih podatkov.

Preglednica 4: Povprečna intenziteta oreha in standardni odklon povprečnih intenzitet, delež prvih odbojev, ter delež enojnih odbojev v vseh štirih setih podatkov.

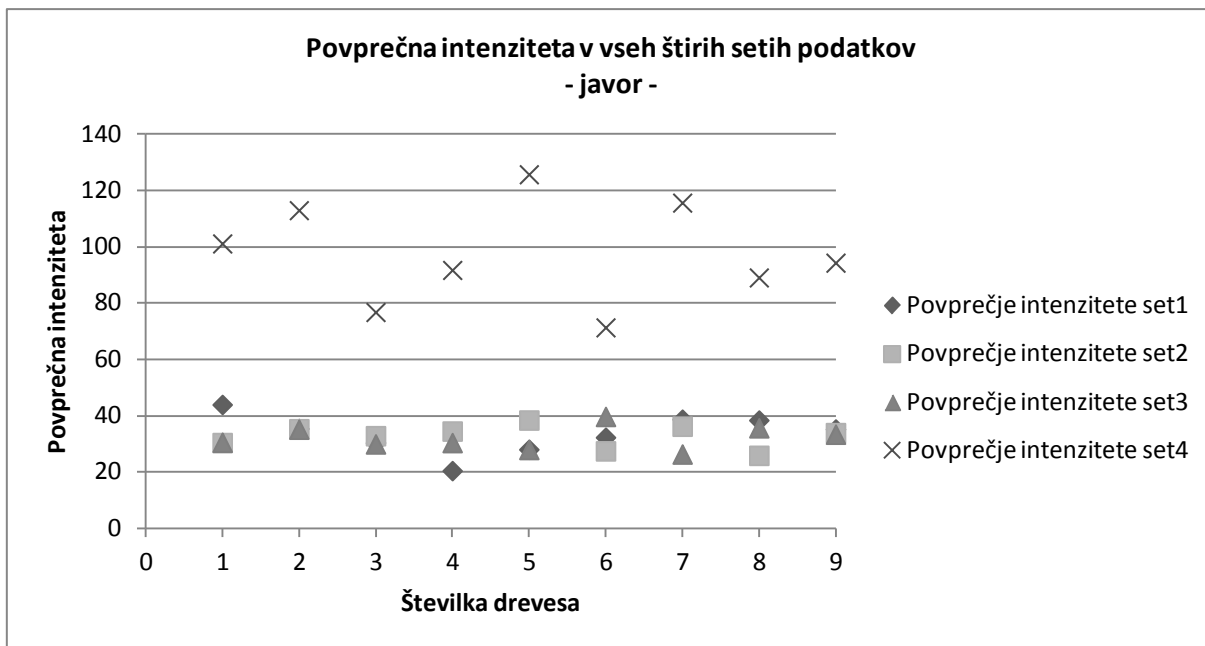
OREH	Povprečje intenzitet	Delež prvih odbojev (%)	Delež enojnih odbojev (%)
	Standardni odklon (s)		
SET 1	19	81	20
	2		
SET 2	26	84	50
	4		
SET 3	42	51	1
	8		
SET 4	85	76	6
	21		

### 5.1.2.2 Javor

Pri javorju (preglednica 5, grafikon 9) sovpadajo vrednosti intenzitet iz prvega in drugega seta podatkov. Kljub zajemu z drugačno valovno dolžino (1064 nm) v času neolistanosti, so vrednosti intenzitet podobne tudi v tretjem setu podatkov, vendar vrednosti le te močno variirajo, kar nam pokaže velik standardni odklon intenzitet posameznih dreves (priloga A). Vrednosti v četrtem setu so



višje in nazorno prikazujejo, da se drevo v času olistanosti pri zajemu z valovno dolžino 1064 nm dobro loči glede na olistano drevo v tretjem setu. Delež prvih odbojev je v prvem in drugem setu podatkov enak in znaša 88 %. Iz enakih vrednosti deleža prvih odbojev in podobnih vrednosti intenzitet v prvem in drugem setu lahko sklepamo, da ima javor že v sredini maja popolnoma razvito krošnjo. V zimskem obdobju, tretjem setu podatkov, je delež prvih odbojev nižji in sicer 64 %. Večji delež imamo zopet v četrtem setu podatkov in sicer 80 %.



Grafikon 9: Povprečna intenziteta posameznih dreves javorja v vseh štirih setih podatkov.

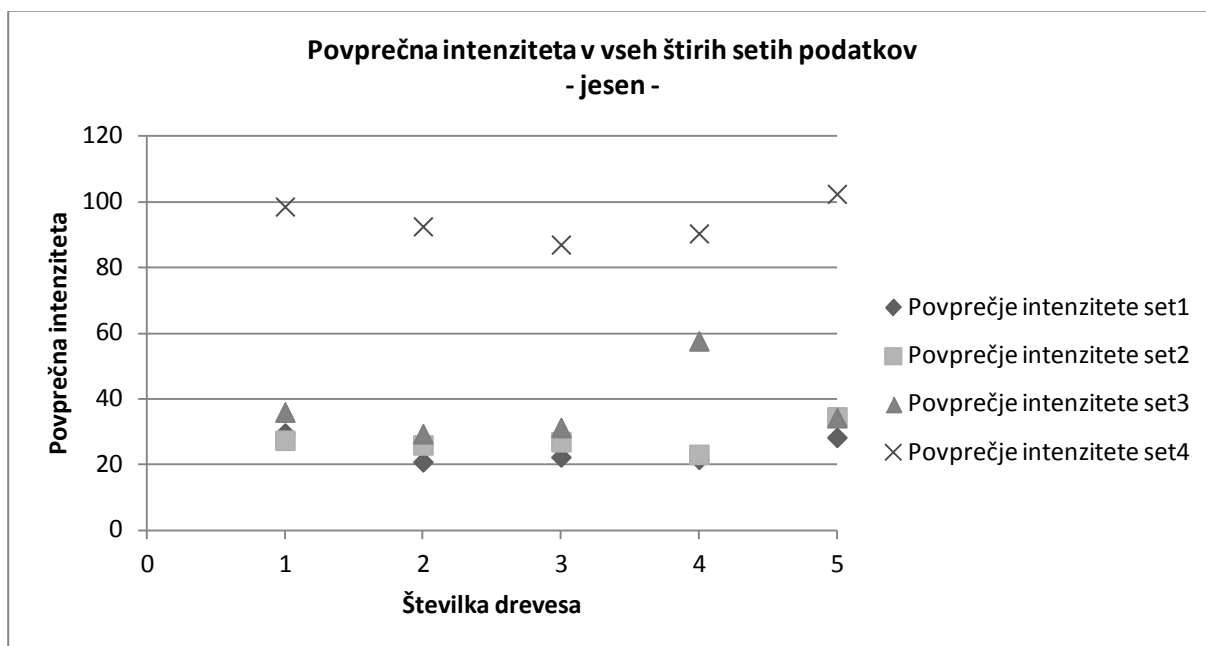
Preglednica 5: Povprečna intenziteta javorja in standardni odklon povprečnih intenzitet, delež prvih odbojev, ter delež enojnih odbojev v vseh štirih setih podatkov.

JAVOR	Povprečje intenzitet	Delež prvih odbojev (%)	Delež enojnih odbojev (%)
	Standardni odklon (s)		
SET 1	34	88	55
	7		
SET 2	33	88	62
	4		
SET 3	32	64	1
	4		
SET 4	98	80	10
	18		

### 5.1.2.3 Jesen in lipa

Tudi graf za jesen (preglednica 6, grafikon 10) in lipo (preglednica 7, grafikon 11) kaže prekrivajoče podatke prvih treh setov, medtem ko četrti set odstopa. Tako kot oreh (grafikon 8) najverjetneje tudi jesen še ni imel dovolj razvite krošnje v prvem setu podatkov (15. 5. 2012), saj je vrednost povprečne intenzitete nižja kot v drugem setu podatkov (18. 9. 2012). Poleg tega je tudi pri jesenu, podobno kot pri orehu, v prvem setu podatkov manjši delež prvih odbojev (82%) in prav tako manjši delež enojnih odbojev (34 %) glede na drugi set podatkov, kjer sta deleža večja in znašata 88 % in 62 %.

Medtem ko je pri lipi, manjši delež prvih odbojev (80 %) v drugem setu podatkov (18. 9. 2012) poleg tega so nižje tudi vrednosti intenzitet, kar nakazuje, da je listje že začelo spreminjati barvo v rumeno. Za lipo tudi sicer velja, da rumenenje listja lipa označuje zgodnje obdobje prave jeseni (Žust, 2015). Tako pri jesenu kot pri lipi četrti set podatkov odstopa od ostalih setov. Vrednosti intenzitet so višje in kažejo drevo v času olistanosti, ki se lepo loči od drevesa v času neolistanosti v tretjem setu podatkov.



Grafikon 10: Povprečna intenziteta posameznih dreves jesena v vseh štirih setih podatkov.

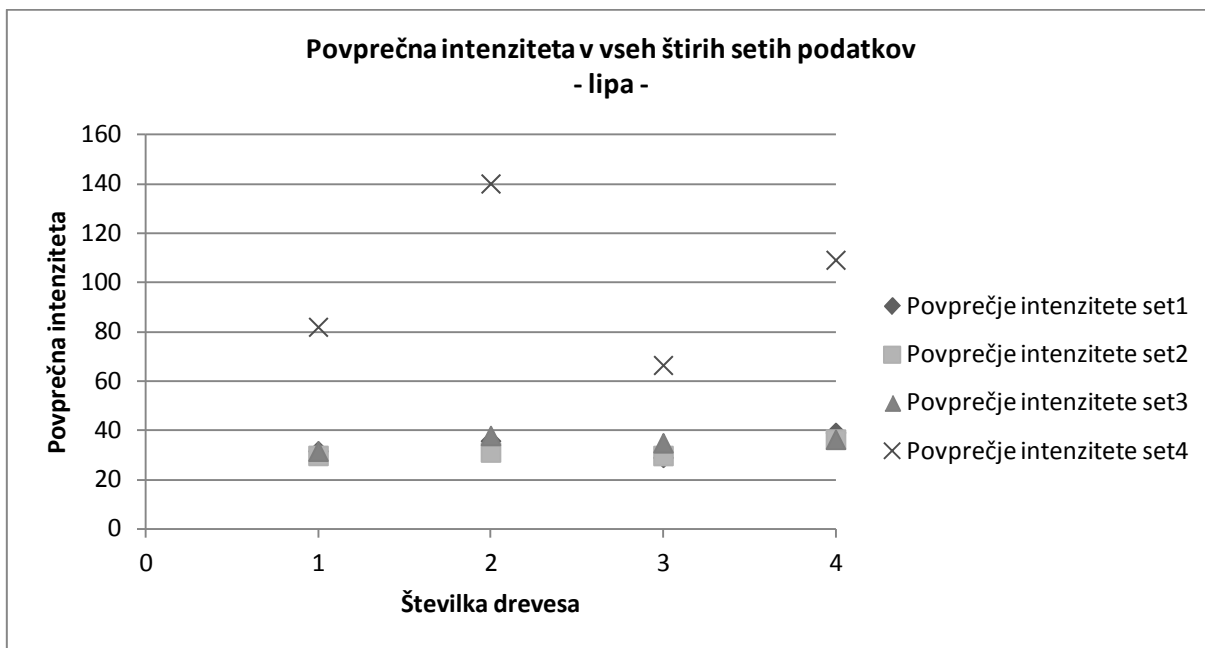
Preglednica 6: Povprečna intenziteta jesena in standardni odklon povprečnih intenzitet, delež prvih odbojev, ter delež enojnih odbojev v vseh štirih setih podatkov.

JESEN	Povprečje intenzitet	Delež prvih odbojev (%)	Delež enojnih odbojev (%)
	Standardni odklon (s)		
SET 1	24	82	34
	4		
SET 2	27	88	62
	4		

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 6

<b>SET 3</b>	38	58	1
	11		
<b>SET 4</b>	94	82	14
	6		



Grafikon 11: Povprečna intenziteta posameznih dreves lipa v vseh štirih setih podatkov.

Preglednica 7: Povprečna intenziteta lipa in standardni odklon povprečnih intenzitet, delež prvih odbojev, ter delež enojnih odbojev v vseh štirih setih podatkov.

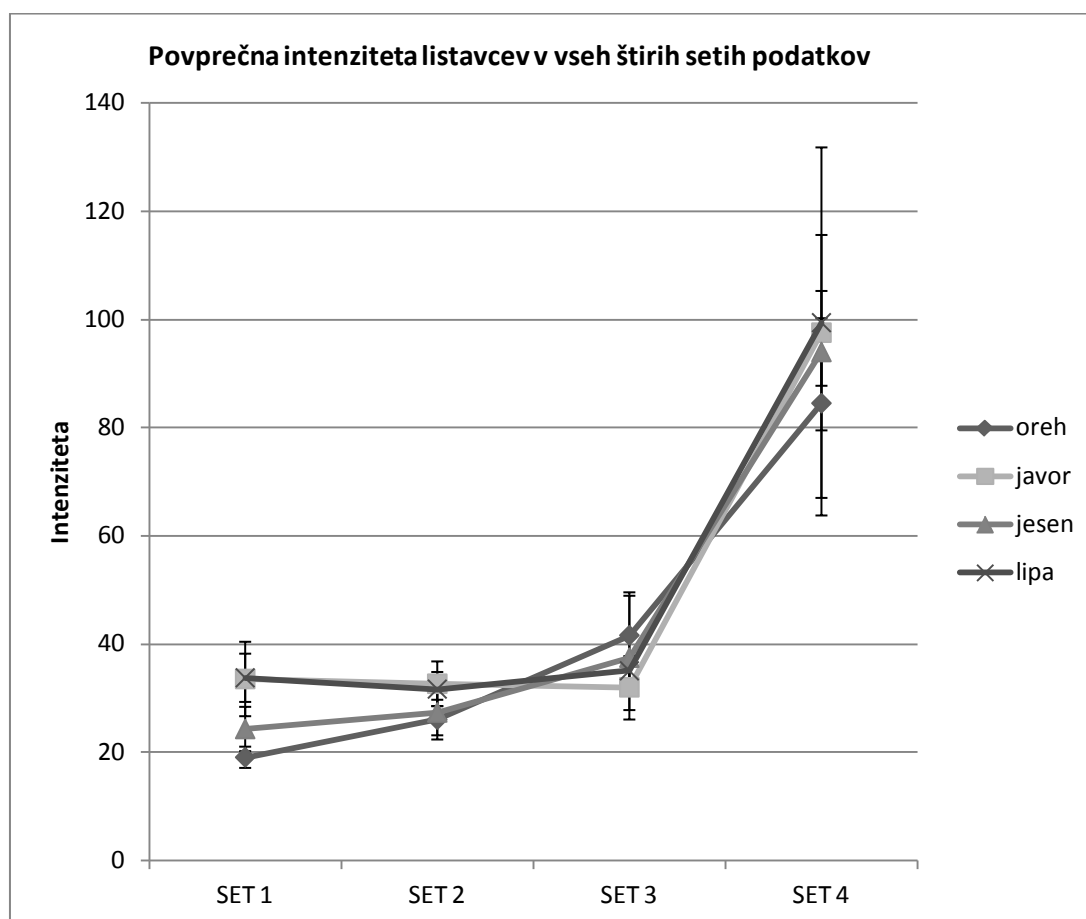
<b>LIPA</b>	<b>Povprečje intenzitet</b>	<b>Delež prvih odbojev (%)</b>	<b>Delež enojnih odbojev (%)</b>
	<b>Standardni odklon (s)</b>		
<b>SET 1</b>	34	82	43
	4		
<b>SET 2</b>	32	80	38
	3		
<b>SET 3</b>	35	49	2
	3		
<b>SET 4</b>	99	77	11
	32		

#### 5.1.2.4 Primerjava med listavci

Kot je razvidno iz grafa, ki prikazuje vse štiri listavce (grafikon 12), posamezne drevesne vrste težko ločimo med seboj, saj so vrednosti intenzitet zelo podobne.

Prva dva seta podatkov kažeta podobne vrednosti intenzitet, saj je bil zajem podatkov pri obeh izveden v času olistanosti z enako valovno dolžino 1550 nm. Povprečne vrednosti intenzitet se gibljejo med 19 in 34 enot.

Primerjava tretjega in četrtega seta podatkov, ki sta zajeta z enako valovno dolžino 1064 nm, vendar v različnih letnih časih, dobro pokaže razlike v času olistanosti in neolistanosti. Vrednosti intenzitet četrtega seta podatkov, ki je zajet v času olistanosti z valovno dolžino 1064 nm, močno odstopajo in so vsaj dvakrat višje glede na tretji set podatkov, pri katerem so bili podatki zajeti z isto valovno dolžino v času neolistanosti. Pri listnatih drevesih se izkaže, da so vrednosti intenzitet v tretjem setu podatkov podobne vrednostim v prvem in drugem setu podatkov, kljub zajemu v času neolistanosti in drugačni valovni dolžini (1064 nm).



Grafikon 12: Povprečna intenziteta oreha, javorja, jesena in lipe s standardnimi odkloni povprečnih intenzitet, v vseh štirih setih podatkov.

Podobno kot nekateri drugi avtorji (Holmgreen, Pearsson, 2004; Moffiet, 2005) smo tudi mi ugotovili, da intenziteta ni odvisna le od odbojnosti vegetacije, temveč tudi od odprtosti oz. gostote krošnje. Povprečna intenziteta javorja je tako zelo podobna v prvem in drugem setu podatkov, razlog za to je najverjetneje v gosto zaprti krošnji, kar nam pove tudi izračun deleža prvih odbojev, ki znaša za javor 88 %. Medtem ko je intenziteta oreha in jesena v prvem setu podatkov nižja glede na drugi set

podatkov, prav tako je nižji tudi delež prvih odbojev, ki znaša za oreh 81 %, za jesen pa 82 %. Poleg tega je, glede na ostale drevesne vrste, v primeru oreha in jesena, nižji tudi **delež enojnih odbojev** v prvem setu podatkov, ki znaša za oreh 20%, za jesen pa 34 %. Medtem ko je delež enojnih odbojev za oreh in jesen, v drugem setu podatkov, ko je krošnja popolnoma razvita, primerljiv z ostalimi drevesnimi vrstami, in znaša 50 % za oreh in 62 % za jesen. Ti dve drevesni vrsti v prvem setu podatkov, ki je bil zajet 15. 5. 2012, najverjetneje še nista imeli povsem razvitih listov, v krošnji so tako vrzeli skozi katere laserski žarki prodirajo v notranjost, kar nakazuje manjši delež enojnih odbojev. To lahko potrdimo glede na navedbe Brusa (2004), ki navaja da se listi oreha razvijajo maja (Brus, 2004). Podobno lahko, glede na fenološke<sup>3</sup> podatke, ki jih Ministrstvo za okolje in prostor izvaja od leta 1951, potrdimo tudi za jesen, kjer navajajo, da olistanje jesena naznani konec prave pomladi, kar pomeni da je olistanje jesena pozno pomladi (Žust, 2015).

Kljub vsemu pa je povprečna intenziteta oreha in jesena, glede na javorjeva drevesa, nižja tako v prvem kot v drugem setu podatkov.

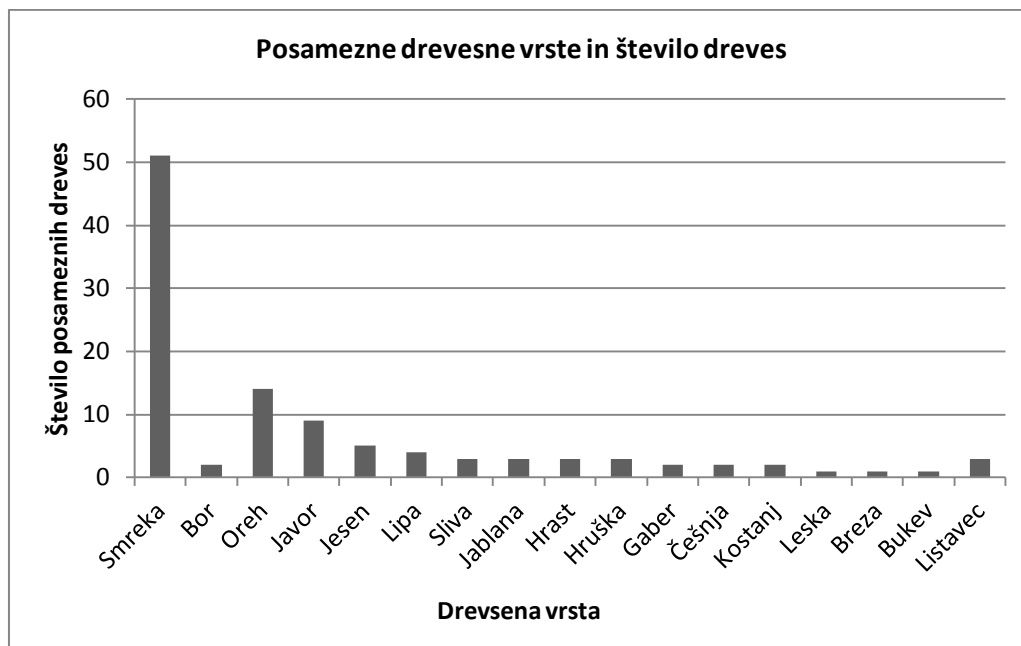
Pri lipi imamo, obratno kot pri orehu in jesenu, višje vrednosti intenzitet in delež prvih odbojev (82 %) v prvem setu podatkov in nižje vrednosti intenzitet in delež prvih odbojev (80 %) v drugem setu podatkov, ko so listi najverjetneje že začeli rumeneti.

#### **5.1.2.5 Iglavci in listavci**

Ločevanje med iglavci in listavci (grafikon 13) je potekalo na podlagi vseh dreves, uporabili smo skupaj sto enajst dreves. V skupino iglavcev je bil dodatno vključen še bor, izključen pa macesen, ki odvrže iglice. Med listavce so bile dodatno vključene naslednje drevesne vrste: sliva, jablana, hrast, hruška, gaber, češnja, kostanj, leska, breza, bukev ter štiri neznana listnata drevesa.

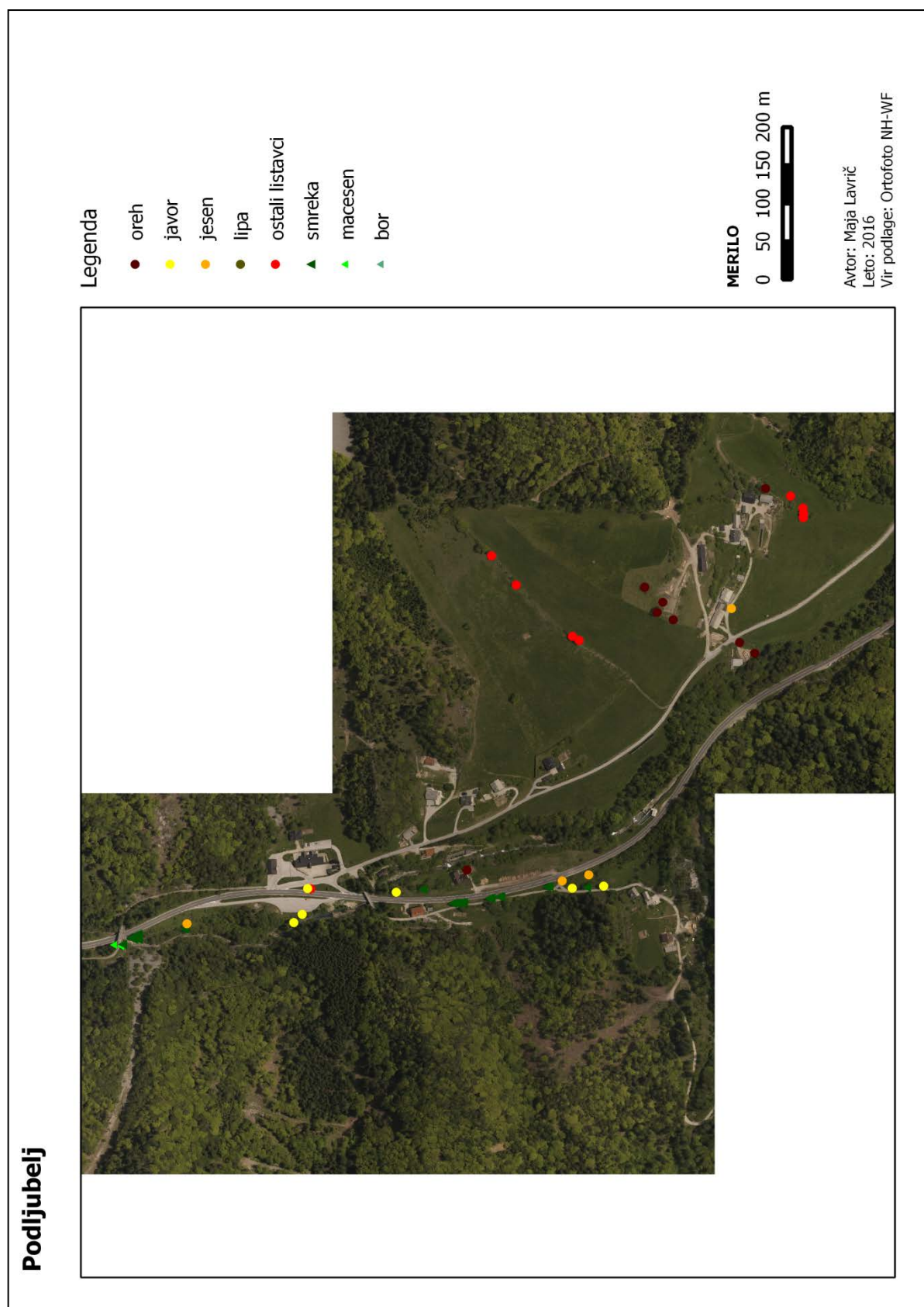
---

<sup>3</sup> Fenologija je znanstvena disciplina, ki proučuje zakonitosti periodičnih pojavov v razvojnem ciklu rastlin in živali ter ugotavlja njihovo odvisnost od sezonskih in letnih nihanj podnebnih dejavnikov (Žust, 2015).

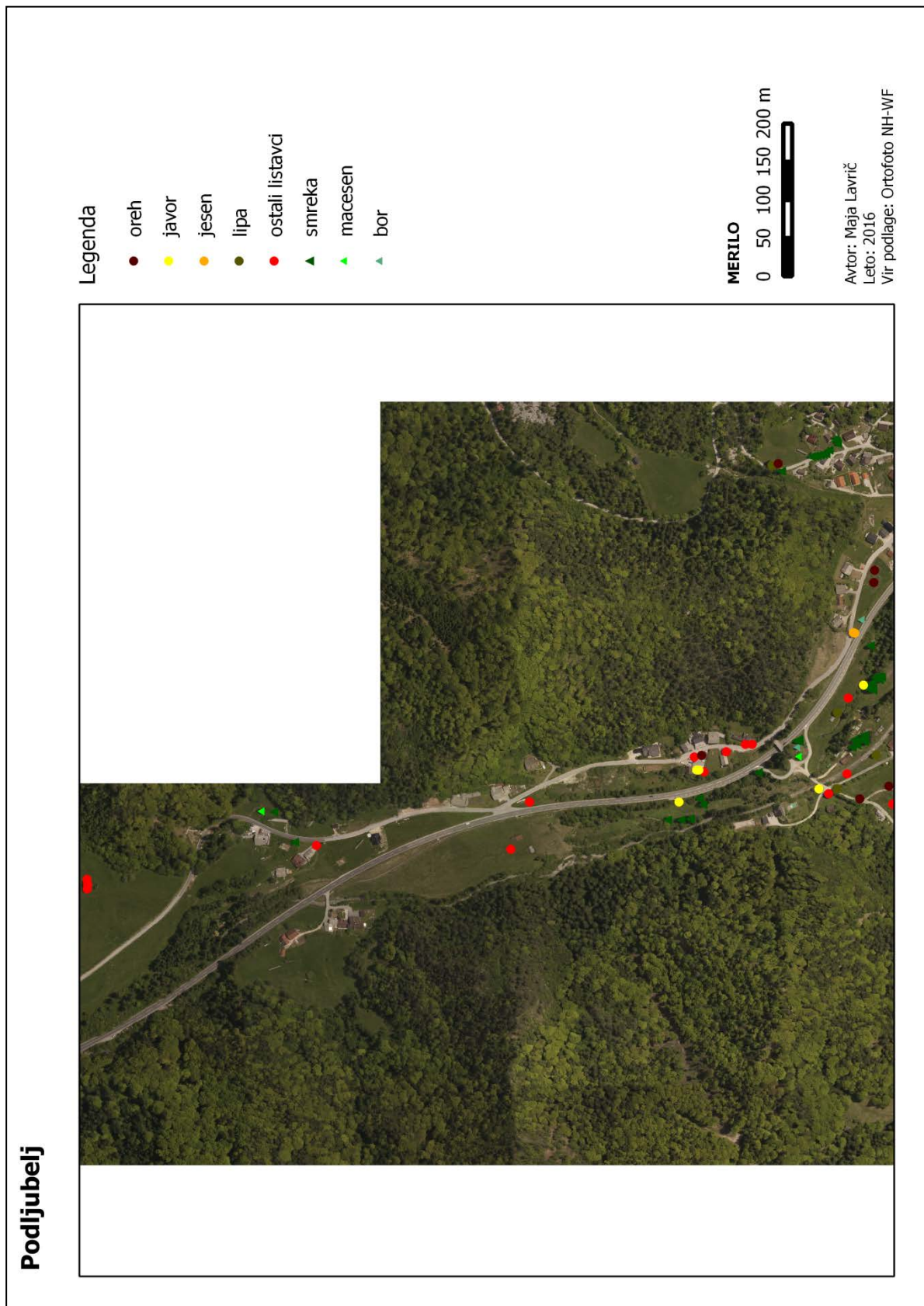


Grafikon 13: Posamezne drevesne vrste, ki so bile vključene v analizo pri ločevanju listavcev in iglavcev.

Spodnji karti (slika 18, slika 19) prikazujeta obravnavane drevesne vrste na območju obdelave.



Slika 18: Karta prvega dela območja obdelave, na kateri so prikazane posamezne drevesne vrste, ki so bile vključene v analizo.



Slika 19: Karta drugega dela območja obdelave, na kateri so prikazane posamezne drevesne vrste, ki so bile vključene v analizo.



Tako pri listavcih (preglednica 9, grafikon 14) kot pri iglavcih (preglednica 8, grafikon 14) imamo v splošnem minimalne razlike v povprečni intenziteti med prvim in drugim setom podatkov, kar je najverjetneje posledica različnega datuma zajema, prvi set podatkov je bil namreč zajet spomladi, 15. 5. 2012, drugi set podatkov pa pozno poleti 18. 9. 2012. Povprečne vrednosti intenzitet so v prvem in drugem setu podatkov, ki sta zajeta z valovno dolžino 1550 nm, višje za listnata drevesa in nižje za iglasta. Razlike so majhne in za oba seta podatkov znašajo le 6 enot. V času olistanosti je večja razlika v povprečni intenziteti, med listavci in iglavci, opazna v četrtem setu podatkov (1064 nm), kjer odstopanje znaša 33 enot. Tudi v tem primeru imajo listavci, v času olistanosti, višjo intenziteto kot iglavci. Tretji set podatkov, ki je prav tako zajet z valovno dolžino 1064nm, pokaže višjo intenziteto pri iglavcih, gre za čas neolistanosti, laserski impulz se pri listnatih drevesih odbije zgolj od lesenih delov debla in vej. Razlike med iglavci in listavci znašajo 68 enot.

**Rezultati kažejo, da na podlagi podatkov, zajetih z valovno dolžino 1064 nm, lahko v času neolistanosti (tretji set podatkov) zelo dobro opredelimo iglavce in listavce, saj je povprečna intenziteta iglavcev dva krat višja glede na povprečno intenziteto listavcev.**

**Ločevanje med listavci in iglavci je možno tudi v času olistanosti, kar nakazujejo rezultati v prvem, drugem in četrtem setu podatkov. Razlike v povprečni intenziteti, med listavci in iglavci, so večje v četrtem setu podatkov, ki je zajet z valovno dolžino 1064 nm, medtem ko so razlike pri zajemu z valovno dolžino 1550 nm, v prvem in drugem setu podatkov, manjše.**

Preglednica 8: Povprečna intenziteta vseh iglavcev in standardni odklon povprečnih intenzitet v vseh štirih setih podatkov.

<b>Iglavci (57 dreves)</b>		
<b>SET 1</b>	Povprečje intenzitet:	23
	Standardni odklon (s):	0
<b>SET 2</b>	Povprečje intenzitet:	21
	Standardni odklon (s):	1
<b>SET 3</b>	Povprečje intenzitet:	110
	Standardni odklon (s):	18
<b>SET 4</b>	Povprečje intenzitet:	61
	Standardni odklon (s):	9

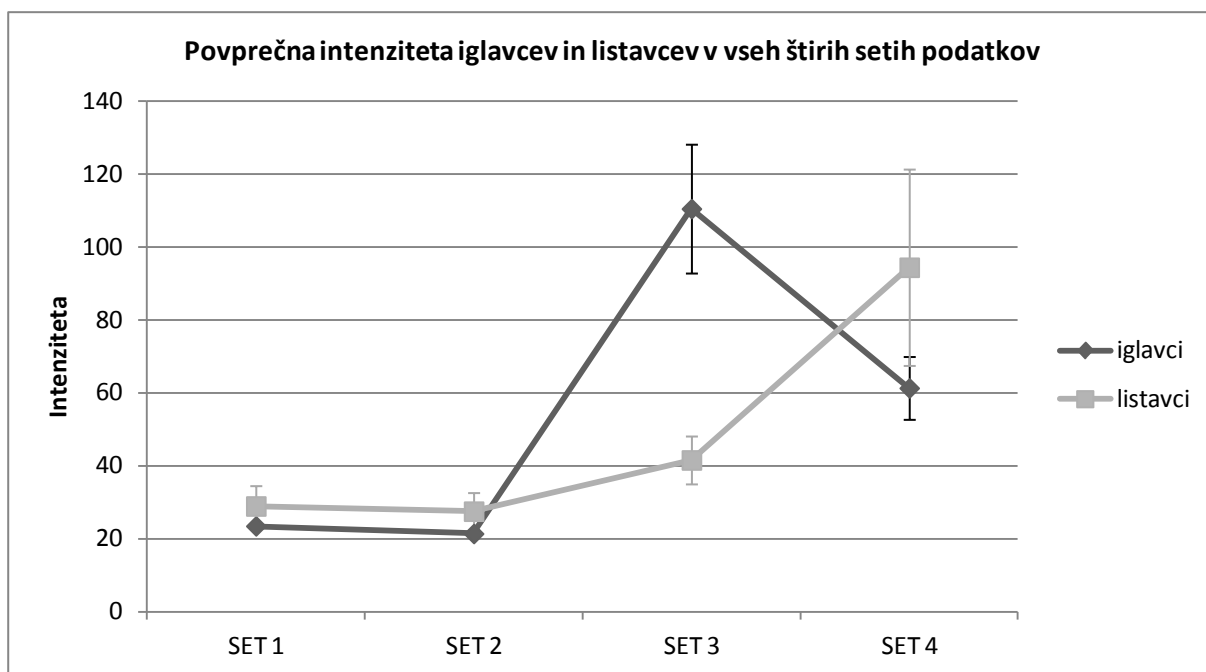
Preglednica 9: Povprečna intenziteta vseh listavcev in standardni odklon povprečnih intenzitet v vseh štirih setih podatkov.

<b>Listavci (55 dreves)</b>		
<b>SET 1</b>	Povprečje intenzitet:	29
	Standardni odklon (s):	6
<b>SET 2</b>	Povprečje intenzitet:	27
	Standardni odklon (s):	5

... se nadaljuje

... nadaljevanje Preglednice 9

<b>SET 3</b>	Povprečje intenzitet:	42
	Standardni odklon (s):	7
<b>SET 4</b>	Povprečje intenzitet:	94
	Standardni odklon (s):	27



Grafikon 14: Povprečna intenziteta vseh iglavcev in listavcev s standardnimi odkloni povprečnih intenzitet, v vseh štirih setih podatkov.

## 5.2 Analiza intenzitete laserskega skeniranja v odvisnosti od valovne dolžine na podlagi prvih odbojev

Poleg analize na podlagi vseh odbojev, smo izvedli še analizo na podlagi prvih odbojev, saj avtorja Holmgren in Persson (2004) navajata, da največjo natančnost klasifikacije dosežemo, z uporabo le prvih odbojev.

Prvi odboji naj bi se zgodili na vrhu drevesne krošnje, zato naj bi najbolje odražali specifične vrednosti intenzitet posameznih drevesnih vrst. Laserski žarek na poti do tal zadene ob različne ovire, pri tem lahko pride do večkratnega odboja, imamo torej prvi, drugi, tretji ... odboj. Lahko pa pride le do enkratnega oz. enojnega odboja. Pri analizi na podlagi le prvih odbojev smo tako upoštevali prve in enojne odboje. Na podlagi katerih smo izračunali tudi delež prvih odbojev za posamezno drevesno vrsto, ki smo ga že omenjali v prejšnjem poglavju.

Vrednosti intenzitet in standardni odkloni, izračunani na podlagi prvih odbojev, po posameznem drevesu so zapisani v prilogi B.

### 5.2.1 Iglavci

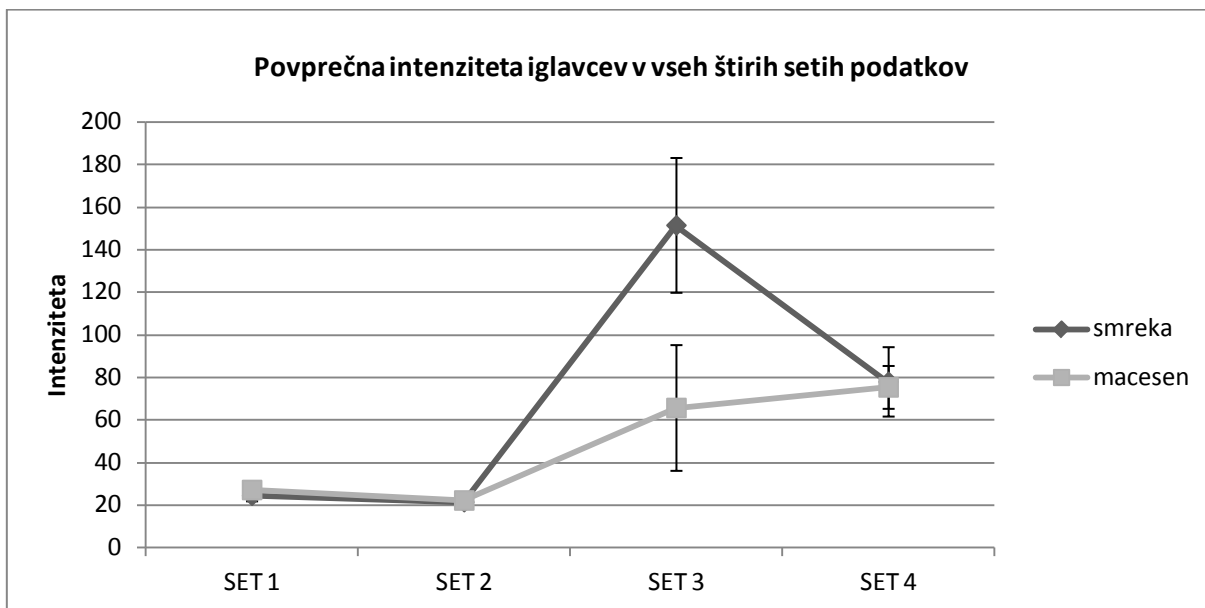
Za smreko in macesen velja, da v času olistanosti pri zajemu z valovno dolžino 1550 nm (v prvem in drugem setu podatkov), razlike v povprečju intenzitete, na podlagi vseh odbojev v primerjavi s povprečjem intenzitete na podlagi le prvih odbojev, niso opazne (grafikon 15).

Večje razlike v vrednostih intenzitete se pri smreki in macesnu pokažejo v tretjem in četrtem setu podatkov, ko gre za zajem z valovno dolžino 1064 nm (grafikon 15). Te gre pripisati obravnavi manjšega števila laserskih odbojev za posamezno drevo, če obravnavamo samo prve odboje, kot če smo preučevali vse odboje.

Povprečna intenziteta za smreko izračunana le na podlagi prvih odbojev, je v tretjem setu podatkov, višja za 28 enot glede na izračun iz vseh odbojev. V četrtem setu podatkov je razlika manjša, povprečna intenziteta izračunana na podlagi prvih odbojev je v tem primeru višja za okrog 10 enot.

Pri izračunu za macesen, ki pozimi odvrže iglice, so razlike manjše in v obeh setih znašajo okrog 8 enot.

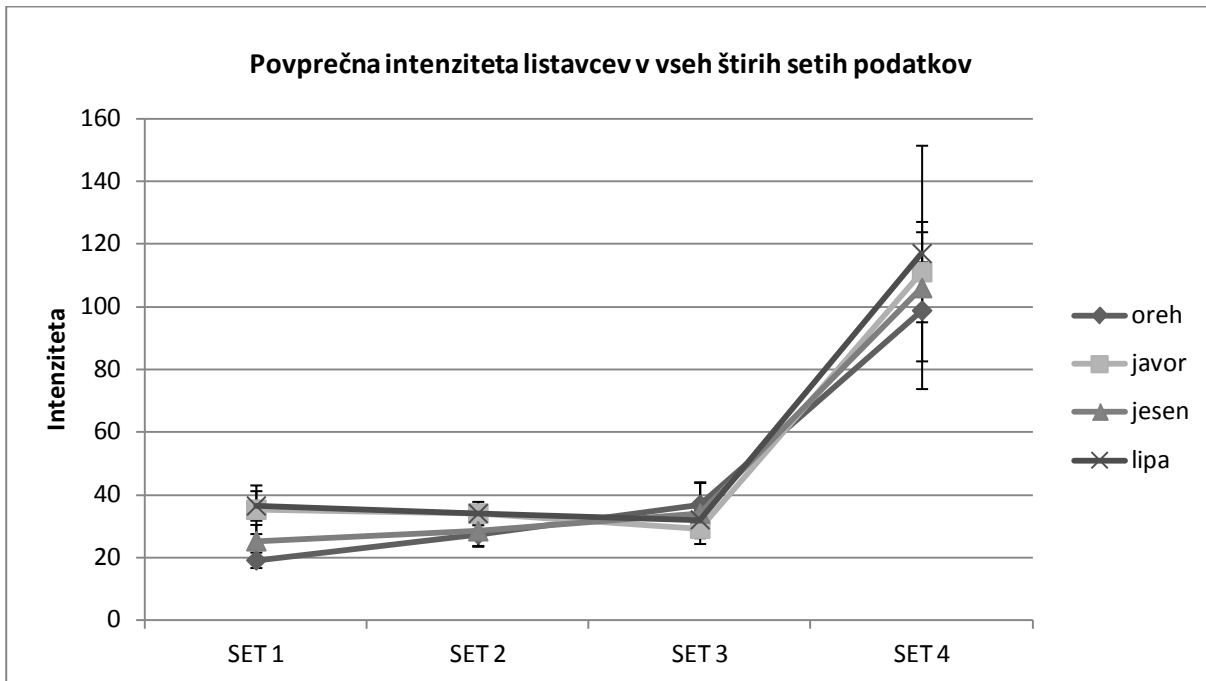
V zimskem obdobju macesen in smreko tako še lažje ločimo na podlagi intenzitete, ki je izračunana le na podlagi prvih odbojev.



Grafikon 15: Povprečna intenziteta smreke in macesna, izračunana le na podlagi prvih odbojev, s standardnimi odkloni povprečnih intenzitet v vseh štirih setih podatkov

### 5.2.2 Listavci

Pri listavcih (grafikon 16) so večje razlike v vrednostih intenzitet le v četrtem setu podatkov. Vrednosti povprečne intenzitete na podlagi prvih odbojev so višje za povprečno 15 enot od vrednosti za vse odboje. V prvem, drugem in tretjem setu podatkov so razlike v intenziteti zelo majhne in znašajo do 5 enot.



Grafikon 16: Povprečna intenziteta oreha, javorja, jesena in lipe, izračunana le na podlagi prvih odbojev, s standardnimi odkloni povprečnih intenzitet v vseh štirih setih podatkov

Pri analizah izvedenih le na podlagi prvih odbojev se izkaže, da je intenziteta prvih odbojev v prvem in drugem setu podatkov zelo podobna, kot pri analiziranju na podlagi vseh odbojev, tako za listavce kot tudi za iglavce. Večja odstopanja se pri smreki pokažejo v tretjem setu podatkov, kjer je intenziteta še nekoliko višja in jo tako še lažje ločimo od macesna in listavcev. Pri listavcih pa je v splošnem intenziteta, izračunana iz prvih odbojev, višja v četrtem setu podatkov.

## 6 ZAKLJUČEK

S primerjavo povprečnih vrednosti intenzitet posameznih drevesnih vrst, ki smo jih izračunali na osnovi štirih različnih setov podatkov, smo ugotavljali značilne vrednosti, ki bi pripadale določeni drevesni vrsti. Poleg intenzitete smo pri identifikaciji drevesnih vrst upoštevali tudi valovno dolžino, s katero so bili zajeti podatki in izračunali delež prvih in enojnih odbojev. Raziskati smo torej želeli ali intenziteta aerolaserskih podatkov, ki so zajeti z različno valovno dolžino, omogoča ločevanje drevesnih vrst.

V analizo so bili vključeni štirje seti podatkov. Prva dva seta podatkov sta bila zajeta v času olistanosti z enako valovno dolžino, 1550 nm. Pri obeh je bila višina leta okrog 700 m. Prvi set podatkov je bil zajet spomladi 15. 5. 2012, drugi pa pozno poleti 18. 9. 2012. Tretji in četrti set podatkov sta zajeta z valovno dolžino 1064 nm, pri čemer je tretji set podatkov zajet v času neolistanosti (5. 3. 2012) na višini 1000 m, četrti pa v času olistanosti (17. 7. 2012) na višini med 1200 in 1400 m.

V analizo je bilo vključenih sedeminpetdeset iglastih dreves in šestinpetdeset listnatih dreves, skupaj sto trinajst dreves različnih drevesnih vrst. Znotraj skupine iglavcev smo se osredotočili na smreko in macesen. Med listavci pa smo podrobneje analizirali oreh, javor, jesen in lipo.

Povprečne vrednosti intenzitet posameznih dreves smo izračunali potem, ko smo iz oblaka točk posameznega seta podatkov izločili krošnjo individualnega drevesa. Nato smo v prvem delu izvedli analizo vrednosti intenzitet na podlagi vseh odbojev, v drugem delu pa na podlagi le prvih odbojev. V raziskavi smo uporabili neobdelane aerolaserske podatke, gre torej za surove vrednosti intenzitet, ki so že bile uporabljene v raziskavah nekaterih avtorjev (Holmgren, Persson, 2004; Moffiet in sod., 2005; Orka, Naasset, Bollandsås, 2007; Brandtberg in sod., 2013).

Smreka je tipičen predstavnik zimzelenih dreves, macesen pa redek iglavec, ki jeseni odvrže iglice. Rezultati za smreko so pokazali podobne povprečne vrednosti intenzitet v prvem in drugem setu podatkov, saj gre za zajem podatkov z enako valovno dolžino 1550 nm z istim laserskim skenerjem LMS-Q560. Tretji in četrti set podatkov sta bila skenirana valovno dolžino 1064 nm in enakim tipom laserskega skenerja LMS-Q780, vendar ne z istim inštrumentom. Povprečne vrednosti intenzitete v tretjem setu so višje glede na prva dva seta podatkov, saj so v tem primeru podatki zajeti z drugačno valovno dolžino (1064 nm). Četrti set podatkov je prav tako zajet z valovno dolžino 1064 nm, vendar so povprečne vrednosti intenzitet nižje kot v tretjem setu podatkov, razlog za takšen rezultat je najverjetneje različna višina leta pri zajemu podatkov.

Če primerjamo grafikone, ki prikazujejo posamezna drevesa, ugotovimo, da vrednosti intenzitet sicer enolično sledijo glede na različne sete podatkov, medtem ko je na primeru smreke nekaj posameznih dreves, ki močno odstopajo predvsem v tretjem in četrtem setu podatkov, iz česar sklepamo, da lahko v laserskih podatkih, glede na zapis v intenziteti, ločimo posamezne smreke med seboj.

Delež prvih odbojev pri smreki je večji za prva dva seta podatkov in znaša 86 % in 90 %, v tretjem setu je manjši, in sicer 52 %, ter zopet večji v četrtem setu podatkov, kjer delež prvih odbojev znaša 74 %. Tudi v tem primeru je razlog za takšen rezultat najverjetneje višina leta ter karakteristike določenega tipa laserskega skenerja. Zajem podatkov v prvih dveh setih je bil izveden na 700 m, medtem ko je bil let v ostalih dveh setih višji za 300 – 700 m.

Tudi pri macesnu imamo podobne povprečne vrednosti intenzitet v prvih dveh setih podatkov. Podatki v tretjem in četrtem setu pa se glede na smreko razlikujejo. Povprečne vrednosti intenzitet v četrtem setu podatkov, ko gre za čas olistanosti, so tako v splošnem višje kot v tretjem setu podatkov, ko gre za čas neolistanosti. Delež prvih odbojev je večji v času olistanosti torej v prvih dveh in četrtem setu podatkov in sicer 65 %, 66 % in 65 %. V času neolistanosti, v tretjem setu podatkov, je delež prvih odbojev manjši in znaša 37 %.

Rezultati so pokazali, da so največje razlike v vrednostih intenzitet med smreko in macesnom v tretjem setu podatkov (valovna dolžina 1064 nm), ki je zajet v zimskem obdobju, ko macesen nima iglic. Izkaže se tudi, da je povprečna intenziteta iglic višja kot povprečna intenziteta lubja macesnovih dreves. Podobne povprečne vrednosti intenzitet med smreko in macesnom v času olistanosti (prvi in drugi set podatkov), kažejo, da ti dve drevesni vrsti ne bi mogli identificirati iz aerolaserskih podatkov zgolj glede na vrednosti intenzitet. Klasifikacijo bi lahko izboljšali že z upoštevanju deleža prvih odbojev, saj iz rezultatov lahko ugotovimo, da je krošnja smreke bolj gosta glede na krošnjo macesna, kar kaže nižji delež prvih odbojev pri macesnu in visok delež prvih odbojev pri smreki.

Znotraj skupine listavcev smo se osredotočili na oreh, javor, jesen in lipo. Vrednosti intenzitet so pri drevesih oreha in jesena nižje v prvem setu podatkov, med tem ko so v drugem setu podatkov višje. Razlog za takšen rezultat je najverjetneje nerazvita krošnja, saj so bili podatki iz prvega seta zajeti v sredini maja, podatki iz drugega seta pa v sredini septembra. Vrzeli, v nerazviti krošnji v prvem setu podatkov, omogočajo laserskim žarkom prodiranje v notranjost krošnje, kar nam potrjuje tudi manjši delež enojnih odbojev v prvem setu podatkov, ki znaša za oreh 20 %, za jesen pa 34 %. Rezultati za javor nam pokažejo, da je krošnja teh dreves gosta in razvita že zgodaj jeseni saj imamo velik delež enojnih odbojev (55 %), poleg tega pa je velik tudi delež prvih odbojev, ki v prvem in drugem setu podatkov znaša 88 %.

Lipa ima večji delež prvih odbojev v prvem setu podatkov 82 %, v drugem setu pa 80 %, kar najverjetneje nakazuje rumenenje listja, pri tej drevesni vrsti, saj so podatki v drugem setu zajeti tako rekoč v zgodnji jeseni. To lahko utemeljimo tudi na podlagi fenoloških opazovanj, kjer je navedeno da splošno rumenenje listja lipe označuje zgodnje obdobje prave jeseni (Žust, 2015).

Pri listavcih na splošno velja, da je bila povprečna intenziteta iz prvega in drugega seta podatkov zelo podobna. Podatki v tretjem setu podatkov, ki so bili zajeti v času neolistanosti z valovno dolžino 1064 nm se dobro razlikujejo od podatkov v četrtem setu, pri katerih gre za zajem v času olistanosti z enako valovno dolžino. Posamezne drevesne vrste znotraj skupine listavcev torej ne moremo ločiti, so pa

dobro vidne razlike povprečnih vrednosti intenzitet v času olistanosti (četrti set podatkov) in neolistanosti (tretji set podatkov). Izkazalo se je tudi, da na osnovi zmanjšanja ali povečanja deleža enojnih odbojev v določeni valovni dolžini lahko pri listavcih ugotovimo ali so bili že olistani ali ne. Na ta način smo ugotovili, da oreh in jesen v prvem setu podatkov (15. 5. 2012) še nista imela povsem razvite krošnje, v nasprotju z javorjem in lipo.

Ugotovili smo, da posamezne drevesne vrste zgolj na podlagi vrednosti intenzitet ne moremo določiti, zaradi podobnih povprečnih vrednosti med posameznimi vrstami in velikega razpona vrednosti le te, medtem ko lahko ločimo listavce in iglavce ter s tem potrjujemo raziskovalno hipotezo.

Ločevanje med iglavci in listavci je možno v času neolistanosti, saj je povprečna intenziteta iglavcev dvakrat večja od povprečne intenzitete listavcev, to velja predvsem za tretji set podatkov, pri katerem so podatki zajeti z valovno dolžino 1064 nm. Prav tako so razlike, v povprečni vrednosti intenzitet, med listavci in iglavci dobro vidne v času olistanosti (prvi, drugi in četrti set podatkov). Pri podatkih, zajetih z valovno dolžino 1064 nm, so razlike med listavci in iglavci večje kot pri podatkih zajetih z valovno dolžino 1550 nm. V obeh primerih je povprečna vrednost intenzitete višja za listavce in nižja za iglavce, razlika pri valovni dolžini 1550 nm (v prvem in drugem setu podatkov) znaša 6 enot, medtem ko pri valovni dolžini 1064 nm (v četrtem setu podatkov) znaša 33 enot.

Splošna ugotovitev te raziskave je tudi ta, da je intenziteta lubja in lesenih delov dreves nižja od intenzitete iglic in listov.

V morebitnih nadaljnjih raziskavah bi bila potrebna še primerjava surovih vrednosti intenzitet z normaliziranimi vrednostmi, ki bi pokazala ali je normalizacija intenzitete v tem primeru sploh potrebna. Združitev fenoloških opazovanj in aerolaserskega skeniranja na območju obravnave bi nedvomno prispevala k bolj utemeljenem sklepanju glede razvitosti krošenj dreves. Prav tako bi bilo potrebno zajeti tudi večji vzorec posameznih drevesnih vrst. Za ugotavljanje spreminjanja intenzitet med rastnim obdobjem dreves pa bi potrebovali več časovno zaporedno zajetih podatkov.

V tej raziskavi nismo imeli na voljo podatkov zajetih v času neolistanosti, z valovno dolžino 1550 nm. Ravno primerjava teh podatkov pa bi pokazala katera valovna dolžina (1550 nm ali 1064 nm) je pravzaprav tista, ki pokaže večje razlike med listavci in iglavci v času neolistanosti, pa tudi med posameznimi drevesnimi vrstami. Za enkrat lahko sklepamo le, da je za razlikovanje med drevesnimi vrstami bolje uporabiti valovno dolžino 1064 nm, kjer smo na primeru smrek ugotovili, da se da po vrednostih intenzitet ločiti posamezna drevesa med seboj, zaradi večje razlike med vrednostmi intenzitet posameznih dreves.

## VIRI

ArcGIS. LAS format. 2016.

<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-a-las-dataset-htm>

(Pridobljeno: 15. 7. 2016)

Bitenc, M. 2007. Analiza podatkov in izdelkov zračnega laserskega skeniranja na projektu Neusidler See. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Bitenc): 123 str.

[http://eprints.fgg.uni-lj.si/179/1/GEU\\_0702\\_Bitenc.pdf](http://eprints.fgg.uni-lj.si/179/1/GEU_0702_Bitenc.pdf) (Pridobljeno 15. 4. 2015.)

Brandtberg T., Warner T. A., Landenberger R. E., McGraw J. B. 2003. Detection and analysis of individual leaf-off tree crowns in small footprint, high sampling density lidar data from the eastern deciduous forest in North America. *Remote Sensing of Environment*, 85, 290 – 303

Doi: 10.1016/S0034-4257(03)00008-7

Bric V., Triglav Čekada M., Bitenc M. 2012. Uporaba laserskega skeniranja pri zaščiti in reševanju ter vojaških aktivnostih. *Geoprostorska podpora obrambnemu sistemu Republike Slovenije*, 181 – 204

Brus, R. 2004. Drevesne vrste na Slovenskem. Ljubljana, Mladinska knjiga: 399 str.

Čarman R., Smrekar A. 2007. Določanje velikosti in oblike krošnje s pomočjo krošnjemera. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta (samozaložba R. Čarman, A. Smrekar): 54 str.

Donoghue D. N. M., Watt P. J., Cox N. J., Wilson J. 2007. Remote sensing of species mixtures in conifer plantations using LiDAR height and intensity data. *Remote Sensing of Environment*, 110, 509 – 522.

doi: 10.1016/j.rse.2007.02.032

Google Maps. 2016.

<https://www.google.si/maps?source=tldsi&hl=sl>

(Pridobljeno 13.7. 2016)

Gozdarski inštitut Slovenije

[http://www.gozdis.si/data/publikacije/60\\_ManFor\\_novice\\_4.st\\_splet.pdf](http://www.gozdis.si/data/publikacije/60_ManFor_novice_4.st_splet.pdf)

(Pridobljeno: 9. 7. 2016)



Hasegawa, H. 2006. Evaluations of LIDAR reflectance amplitude sensitivity towards land cover conditions.

<http://www.gsi.go.jp/common/000001210.pdf>

(Pridobljeno 26. 2.2016)

Hofman, H. 2012. Drevesa in grmi. Odkrivamo in določamo najpomembnejše vrste. Ljubljana, Mladinska knjiga: 254 str.

Holmgren, J., Persson, Å. 2004. Identifying species of individual trees using airborne laser scanner. *Remote Sensing of Environment*, 90, 415 – 423.

doi: 10.1016/S0034-4257(03)00140-8

Kim S., McGaughey R. J., Andersen H., Schreuder G. 2009. Tree species differentiation using intensity data derived from leaf-on and leaf-off airborne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 113, 1575 – 1586.

doi: 10.1016/j.rse.2009.03.017

Kobal, M., Triplat, M., Krajnc, N. 2014. Pregled uporabe zračnega laserskega skeniranja površja v gozdarstvu. *Gozdarski vestnik*, 72/2014, št. 5–6, 235 – 245.

Korpela, I., Ørka, H.O., Maltamo, M., Tokola, T. & Hyypä, J. 2010. Tree species classification using airborne LiDAR – effects of stand and tree parameters, downsizing of training set, intensity normalization, and sensor type. *Silva Fennica*, 44(2), 319 – 339.

<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf44/sf442319.pdf> (Pridobljeno 19. 3. 2015)

Košir, K. 2013. Preučevanje deleža prodiranja aerolaserskih žarkov skozi vegetacijo na izbranih primerih. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo (samozaložba K. Košir): 62 str.

[http://drugg.fgg.uni-lj.si/4205/1/GEU925\\_Kosir.pdf](http://drugg.fgg.uni-lj.si/4205/1/GEU925_Kosir.pdf) (Pridobljeno 2. 3. 2015.)

Moffiet, T., Mengersen, K., Witte, C., King, R., Denham, R. 2005. Airborne laser scanning: Exploratory data analysis indicates potential variables for classification of individual trees or forest stands according to species. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59, 289 –309.

doi: 10.1016/j.isprsjprs.2005.05.002

---

Mongus D., Žalik B. 2015. An efficient approach to 3D single tree-crown delineation in LiDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 108, 219 – 233

doi: 10.1016/j.isprsjprs.2015.08.004

Oštir, K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, Založba ZRC SAZU: 82 str.

<http://iaps.zrc-sazu.si/sites/default/files/9616568728.pdf> (Pridobljeno 19. 3. 2015)

Ørka, H.O., Naesset, E., Bollandsås. O.M. 2009. Classifying species of individual trees by intensity and structure features derived from airborne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 113, 1163 – 1174.

doi: 10.1016/j.rse.2009.02.002

Ørka, H.O., Naesset, E., Bollandsås. O.M. 2007. Utilizing airborne laser intensity for tree species classification, 2007, *ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007*, Espoo, September 12-14, 2007, Finska.

Pegan Žvokelj B., Bric V., Triglav Čekada M. 2014. Lasersko skeniranje Slovenije. *Geodetski vestnik* 58/2: 349 – 351

Rapidlasso. 2016a.

<http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/>

(Pridobljeno: 14. 7. 2016)

Rapidlasso. LAZ format. 2016b.

<https://rapidlasso.com/>

(Pridobljeno: 15. 7. 2016)

Reitberg J., Krzystek P., Stilla U. 2008. Analysis of full waveform LIDAR data for the classification of deciduous and coniferous trees. *International Journal of Remote Sensing*, 5, 1407 – 1431.

doi: 10.1080/01431160701736448

Shan, J., Toth, C.K. (ur.). 2008. *Topographic laser ranging and scanning: principles and processing*. New York, Taylor and Francis: 590 str.

Song, J.H., Han, S.H., Yu, K., Kim Y. 2002. Assessing the Possibility of Land-cover Classification Using Lidar Intensity Data.

<http://www.isprs.org/proceedings/xxxiv/part3/papers/paper128.pdf>

(Pridobljeno: 3. 4. 2016)

Suranto A., Seielstad C., Queen L. 2009. Tree species identification in mixed coniferous forest using airborne laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64, 683 – 693.

doi: 10.1016/j.isprsjprs.2009.07.001

Švab Lenarčič, A. 2009. Uporaba lidarskih podatkov za klasifikacijo pokrovnosti. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Švab Lenarčič): 135 str.

[http://eprints.fgg.uni-lj.si/753/1/GEM\\_0047\\_SvabLenarcic.pdf](http://eprints.fgg.uni-lj.si/753/1/GEM_0047_SvabLenarcic.pdf) (Pridobljeno 15. 4. 2015.)

Triglav Čekada M., Crossila F., Kosmatin Fras M. 2010. Teoretična gostota lidarskih točk za topografsko kartiranje v največjih merilih. *Geodetski vestnik* 54/3: 389 – 400

Vosselman, G., Maas, H-G. 2010. Airborne and terrestrial laser scanning. Scotland, Whittles Publishing: 318str.

Žust A., 2015. Fenologija v Sloveniji, Priročnik za fenološka opazovanja. Ministrstvo za okolje in prostor, 1-104.

<http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/agromet/product/document/sl/Brosura0515.pdf>

(Pridobljeno: 19. 11. 2016)

Wikipedia. Kroženje ogljika. 2016a.

[https://sl.wikipedia.org/wiki/Kro%C5%BEenje\\_ogljika](https://sl.wikipedia.org/wiki/Kro%C5%BEenje_ogljika)

(Pridobljeno: 4. 5. 2016)

Wikipedia. QGIS. 2016b.

<https://en.wikipedia.org/wiki/QGIS>

(Pridobljeno: 13. 7. 2016)

Zavod za gozdove Slovenije. 2015.

[http://www.zgs.si/slo/gozdovi\\_slovenije/o\\_gozdovih\\_slovenije/gozdnatost\\_in\\_pestrost/index.html](http://www.zgs.si/slo/gozdovi_slovenije/o_gozdovih_slovenije/gozdnatost_in_pestrost/index.html)

(Pridobljeno: 18. 3. 2015)

QGIS. 2016.

<http://www.qgis.org/en/site/index.html>

(Pridobljeno: 13. 7. 2016)

»Ta stran je namenoma prazna.«

## **PRILOGE**

### **PRILOGA A:**

Podatki za posamezne drevesne vrste, izračunani na podlagi vseh odbojev.

### **PRILOGA B:**

Podatki za posamezne drevesne vrste, izračunani na podlagi prvih odbojev.

**PRILOGA A:**

Podatki za posamezne drevesne vrste, izračunani na podlagi vseh odbojev.

Priloga A.0: Podatki za smreko (vsi odboji).

SMREKA 51 dreves	Številka drevesa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 (2)	12 (2)	13
SET 1	Povprečje intenzitet:	21	21	28	21	21	24	23	26	21	23	22	22	26
	Standardni odklon (s)	9	8	12	9	10	14	11	13	11	11	9	11	13
SET2	Povprečje intenzitet:	19	18	24	20	21	21	20	19	20	22	20	20	23
	Standardni odklon (s)	7	6	9	10	9	10	7	7	7	10	8	9	11
SET3	Povprečje intenzitet:	135	129	218	113	109	103	151	191	103	118	140	92	119
	Standardni odklon (s)	119	113	160	100	99	99	124	135	111	113	121	91	114
SET4	Povprečje intenzitet:	55	65	76	51	50	45	69	63	63	60	69	58	72
	Standardni odklon (s)	46	57	63	41	45	36	60	39	52	47	54	45	56

Številka drevesa	14	15	16 (3)	17 (7)	18 (8)	19 (3)	20	21 (8)	22	23	24	25	POVPREČJE
Povprečje intenzitet:	24	27	23	23	22	24	30	25	22	25	25	22	24
Standardni odklon (s)	10	12	9	9	10	9	15	11	8	13	11	9	
Povprečje intenzitet:	22	23	21	21	20	21	27	19	21	22	20	19	21
Standardni odklon (s)	9	10	7	7	8	8	13	8	8	9	8	6	
Povprečje intenzitet:	110	101	127	121	98	128	100	100	110	84	151	123	123
Standardni odklon (s)	102	97	102	104	97	114	89	99	104	82	116	98	
Povprečje intenzitet:	70	76	92	86	60	69	82	62	52	59	103	79	67
Standardni odklon (s)	59	63	65	61	46	55	60	48	38	49	83	60	

Priloga A.1: Podatki za macesen (vsi odboji).

MACESEN 4 drevesa	Številka drevesa	1	2	3	4	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	28	25	25	26	26
	Standardni odklon (s)	13	12	10	11	
SET2	Povprečje intenzitet:	20	21	21	23	21
	Standardni odklon (s)	9	8	8	10	
SET3	Povprečje intenzitet:	52	42	91	47	58
	Standardni odklon (s)	42	25	89	32	
SET4	Povprečje intenzitet:	77	63	58	73	68
	Standardni odklon (s)	62	45	40	58	

Priloga A.2: Podatki za bor (vsi odboji).

BOR 2 drevesi	Številka drevesa	1	2	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	25	22	23
	Standardni odklon (s)	10	8	
SET2	Povprečje intenzitet:	24	20	22
	Standardni odklon (s)	9	7	
SET3	Povprečje intenzitet:	109	87	98
	Standardni odklon (s)	84	79	
SET4	Povprečje intenzitet:	/	55	55
	Standardni odklon (s)	/	36	

Priloga A3: Podatki za oreh (vsi odboji).

OREH 14 dreves	Številka drevesa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SET 1	Povprečje intenzitet:	21	21	18	18	19	16	17	22	20	19	18	23	18
	Standardni odklon (s)	9	8	9	7	8	5	6	9	8	9	7	9	7
SET2	Povprečje intenzitet:	26	22	22	29	27	25	24	27	24	24	31	35	27
	Standardni odklon (s)	11	9	9	11	11	9	9	11	10	10	12	13	11
SET3	Povprečje intenzitet:	35	42	35	51	48	25	30	42	43	45	44	42	46
	Standardni odklon (s)	24	33	29	44	36	15	23	34	38	38	39	38	38
SET4	Povprečje intenzitet:	87	52	56	80	80	104	65	87	56	93	115	108	95
	Standardni odklon (s)	74	34	39	64	82	71	42	60	41	77	103	94	79

Številka drevesa	14	POVPREČJE
Povprečje intenzitet:	20	19
Standardni odklon (s)	11	
Povprečje intenzitet:	22	26
Standardni odklon (s)	8	
Povprečje intenzitet:	55	42
Standardni odklon (s)	45	
Povprečje intenzitet:	106	85
Standardni odklon (s)	85	

Priloga A.4: Podatki za javor (vsi odboji).

JAVOR 9 dreves	Številka drevesa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	44	35	30	20	28	32	39	38	35	34
	Standardni odklon (s)	7	20	20	11	17	14	18	19	20	
SET2	Povprečje intenzitet:	30	35	33	34	38	27	36	26	34	33
	Standardni odklon (s)	13	14	15	14	11	13	15	10	15	
SET3	Povprečje intenzitet:	30	35	30	30	28	40	26	36	33	32
	Standardni odklon (s)	23	25	18	20	19	47	15	32	32	
SET4	Povprečje intenzitet:	101	113	77	92	126	71	116	89	94	98
	Standardni odklon (s)	100	108	70	78	86	51	84	75	66	

Priloga A.5: Podatki za jesen (vsi odboji).

JESEN 5 dreves	Številka drevesa	1	2	3	4	5	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	29	21	22	21	28	24
	Standardni odklon (s)	15	10	10	12	15	
SET2	Povprečje intenzitet:	27	26	27	23	34	27
	Standardni odklon (s)	12	11	12	9	14	
SET3	Povprečje intenzitet:	36	29	31	57	34	38
	Standardni odklon (s)	25	18	30	52	27	
SET4	Povprečje intenzitet:	98	92	87	90	102	94
	Standardni odklon (s)	94	91	78	76	77	

Priloga A.6: Podatki za lipo (vsi odboji).

LIPA 4 drevesa	Številka drevesa	1	2	3	4	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	32	36	29	39	34
	Standardni odklon (s)	15	15	12	15	
SET2	Povprečje intenzitet:	30	31	30	36	32
	Standardni odklon (s)	14	13	13	15	
SET3	Povprečje intenzitet:	31	38	35	36	35
	Standardni odklon (s)	27	33	26	28	
SET4	Povprečje intenzitet:	82	140	66	109	99
	Standardni odklon (s)	60	94	49	78	



Priloga A.7: Podatki za slivo (vsi odboji).

<b>SLIVA 3 drevesa</b>	<b>Številka drevesa</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>POVPREČJE</b>
<b>SET 1</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	26	26	32	28
	<b>Standardni odklon (s)</b>	11	11	16	
<b>SET2</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	17	17	29	21
	<b>Standardni odklon (s)</b>	7	7	11	
<b>SET3</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	53	41	41	45
	<b>Standardni odklon (s)</b>	49	34	29	
<b>SET4</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	39	45	136	74
	<b>Standardni odklon (s)</b>	24	28	83	

Priloga A.8: Podatki za jablano (vsi odboji).

<b>JABLANA 3 drevesa</b>	<b>Številka drevesa</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>POVPREČJE</b>
<b>SET 1</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	33	21	28	27
	<b>Standardni odklon (s)</b>	15	10	12	
<b>SET2</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	24	23	29	25
	<b>Standardni odklon (s)</b>	11	11	12	
<b>SET3</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	54	42	68	55
	<b>Standardni odklon (s)</b>	47	38	56	
<b>SET4</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	62	70	122	85
	<b>Standardni odklon (s)</b>	37	44	89	

Priloga A.9: Podatki za hrast (vsi odboji).

<b>HRAST 3 drevesa</b>	<b>Številka drevesa</b>	<b>1</b>	<b>2 (2)</b>	<b>POVPREČJE</b>
<b>SET 1</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	28	24	26
	<b>Standardni odklon (s)</b>	13	13	
<b>SET2</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	34	26	30
	<b>Standardni odklon (s)</b>	14	13	
<b>SET3</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	45	50	48
	<b>Standardni odklon (s)</b>	40	54	
<b>SET4</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	160	99	130
	<b>Standardni odklon (s)</b>	135	91	

Priloga A.10: Podatki za hruška (vsi odboji).

Hruška 3 drevesa	Številka drevesa	1 (3)	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	27	27
	Standardni odklon (s)	12	
SET2	Povprečje intenzitet:	27	27
	Standardni odklon (s)	11	
SET3	Povprečje intenzitet:	48	48
	Standardni odklon (s)	40	
SET4	Povprečje intenzitet:	89	89
	Standardni odklon (s)	77	

Priloga A.11: Podatki za gaber (vsi odboji).

GABER 2 drevesi	Številka drevesa	1	2	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	27	38	32
	Standardni odklon (s)	15	18	
SET2	Povprečje intenzitet:	27	32	30
	Standardni odklon (s)	11	16	
SET3	Povprečje intenzitet:	41	49	45
	Standardni odklon (s)	23	56	
SET4	Povprečje intenzitet:	114	85	100
	Standardni odklon (s)	82	68	

Priloga A.12: Podatki za češnjo (vsi odboji).

ČEŠNJA 2 drevesi	Številka drevesa	1	2	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	23	21	22
	Standardni odklon (s)	9	9	
SET2	Povprečje intenzitet:	17	21	19
	Standardni odklon (s)	7	10	
SET3	Povprečje intenzitet:	32	35	34
	Standardni odklon (s)	24	27	
SET4	Povprečje intenzitet:	75	113	94
	Standardni odklon (s)	47	78	

Priloga A.13: Podatki za kostanj (vsi odboji).

<b>KOSTANJ 2 drevesi</b>	<b>Številka drevesa</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>POVPREČJE</b>
<b>SET 1</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	45	35	40
	<b>Standardni odklon (s)</b>	24	17	
<b>SET2</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	40	33	36
	<b>Standardni odklon (s)</b>	19	15	
<b>SET3</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	35	34	34
	<b>Standardni odklon (s)</b>	25	27	
<b>SET4</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	111	75	93
	<b>Standardni odklon (s)</b>	80	57	

Priloga A.14: Podatki za leska (vsi odboji).

<b>LESKA 1 drevo</b>	<b>Številka drevesa</b>	<b>1</b>	<b>POVPREČJE</b>
<b>SET 1</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	36	36
	<b>Standardni odklon (s)</b>	19	
<b>SET2</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	30	30
	<b>Standardni odklon (s)</b>	14	
<b>SET3</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	40	40
	<b>Standardni odklon (s)</b>	30	
<b>SET4</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	89	89
	<b>Standardni odklon (s)</b>	63	

Priloga A.15: Podatki za breza (vsi odboji).

<b>BREZA 1 drevo</b>	<b>Številka drevesa</b>	<b>1</b>	<b>POVPREČJE</b>
<b>SET 1</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	26	26
	<b>Standardni odklon (s)</b>	10	
<b>SET2</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	20	20
	<b>Standardni odklon (s)</b>	7	
<b>SET3</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	44	44
	<b>Standardni odklon (s)</b>	30	
<b>SET4</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	71	71
	<b>Standardni odklon (s)</b>	53	

Priloga A.16: Podatki za bukev (vsi odboji).

<b>BUKEV 1 drevo</b>	<b>Številka drevesa</b>	<b>1</b>	<b>POVPREČJE</b>
<b>SET 1</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	33	33
	<b>Standardni odklon (s)</b>	17	
<b>SET2</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	34	34
	<b>Standardni odklon (s)</b>	16	
<b>SET3</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	48	48
	<b>Standardni odklon (s)</b>	45	
<b>SET4</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	175	175
	<b>Standardni odklon (s)</b>	165	

Priloga A.17: Podatki za neznan listavec (vsi odboji).

<b>NEZNAN LISTAVEC 3 drevesa</b>	<b>Številka drevesa</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>POVPREČJE</b>
<b>SET 1</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	33	32	26	30
	<b>Standardni odklon (s)</b>	18	14	10	
<b>SET2</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	30	29	18	26
	<b>Standardni odklon (s)</b>	11	12	6	
<b>SET3</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	36	34	43	37
	<b>Standardni odklon (s)</b>	31	19	33	
<b>SET4</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	/	71	50	60
	<b>Standardni odklon (s)</b>	/	49	31	

## PRILOGA B:

Podatki za posamezne drevesne vrste, izračunani na podlagi vseh odbojev.

Priloga B.0: Podatki za smreko (prvi odboji).

SMREKA 51 dreves	Številka drevesa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 (2)	12 (2)	13
SET 1	Povprečje intenzitet:	22	21	29	22	22	25	23	26	22	24	23	23	27
	Standardni odklon (s)	9	8	12	9	10	14	11	13	11	11	9	11	13
SET2	Povprečje intenzitet:	19	18	24	20	21	21	20	19	20	23	20	21	24
	Standardni odklon (s)	7	6	9	10	9	10	7	7	7	10	8	9	11
SET3	Povprečje intenzitet:	167	159	255	147	146	140	188	208	120	154	171	125	144
	Standardni odklon (s)	119	113	160	100	99	99	124	135	111	113	121	91	114
SET4	Povprečje intenzitet:	59	72	79	53	57	52	77	66	71	75	82	70	81
	Standardni odklon (s)	46	57	63	41	45	36	60	39	52	47	54	45	56

Številka drevesa	14	15	16 (3)	17 (7)	18 (8)	19 (3)	20	21 (8)	22	23	24	25	POVPREČJE
Povprečje intenzitete:	25	29	23	24	23	25	31	26	23	27	25	22	24
Standardni odklon (s)	10	12	9	9	10	9	15	11	8	13	11	9	
Povprečje intenzitete:	22	24	22	21	21	22	27	20	22	23	20	19	21
Standardni odklon (s)	9	10	7	7	8	8	13	8	8	9	8	6	
Povprečje intenzitete:	134	132	152	151	127	151	118	131	141	101	176	146	151
Standardni odklon (s)	102	97	102	104	97	114	89	99	104	82	116	98	
Povprečje intenzitete:	83	94	109	99	72	81	93	75	61	75	117	92	78
Standardni odklon (s)	59	63	65	61	46	55	60	48	38	49	83	60	

Priloga B.1: Podatki za macesen (prvi odboji).

MACESEN 4 drevesa	Številka drevesa	1	2	3	4	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	29	25	26	27	27
	Standardni odklon (s)	13	12	10	11	
SET2	Povprečje intenzitet:	21	21	22	24	22
	Standardni odklon (s)	9	8	8	10	
SET3	Povprečje intenzitet:	58	43	109	52	66
	Standardni odklon (s)	42	25	89	32	
SET4	Povprečje intenzitet:	82	72	62	85	75
	Standardni odklon (s)	62	45	40	58	

## Priloga B.2: Podatki za bor (prvi odboji).

BOR 2 drevesi	Številka drevesa	1	2	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	26	23	24
	Standardni odklon (s)	10	8	
SET2	Povprečje intenzitet:	25	20	23
	Standardni odklon (s)	9	7	
SET3	Povprečje intenzitet:	135	117	126
	Standardni odklon (s)	84	79	
SET4	Povprečje intenzitet:	/	64	64
	Standardni odklon (s)	/	36	

## Priloga B.3: Podatki za oreh (prvi odboji).

OREH 14 dreves	Številka drevesa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SET 1	Povprečje intenzitet:	22	22	17	18	19	16	16	23	20	18	18	24	17
	Standardni odklon (s)	9	8	9	7	8	5	6	9	8	9	7	9	7
SET2	Povprečje intenzitet:	26	23	23	30	29	26	25	29	26	26	33	37	29
	Standardni odklon (s)	11	9	9	11	11	9	9	11	10	10	12	13	11
SET3	Povprečje intenzitet:	31	36	30	45	40	23	26	37	39	42	40	38	41
	Standardni odklon (s)	24	33	29	44	36	15	23	34	38	38	39	38	38
SET4	Povprečje intenzitet:	97	58	70	88	84	118	75	106	68	115	133	129	113
	Standardni odklon (s)	74	34	39	64	82	71	42	60	41	77	103	94	79

Številka drevesa	14	POVPREČJE
Povprečje intenzitet:	19	19
Standardni odklon (s)	11	
Povprečje intenzitet:	23	27
Standardni odklon (s)	8	
Povprečje intenzitet:	49	37
Standardni odklon (s)	45	
Povprečje intenzitet:	128	99
Standardni odklon (s)	85	

Priloga B.4: Podatki za javor (prvi odboji).

JAVOR 9 dreves	Številka drevesa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	48	36	33	20	29	34	39	42	36	35
	Standardni odklon (s)	25	20	20	11	17	14	18	19	20	
SET2	Povprečje intenzitet:	32	36	35	36	38	29	37	28	35	34
	Standardni odklon (s)	13	14	15	14	11	13	15	10	15	
SET3	Povprečje intenzitet:	27	32	28	28	28	34	24	31	30	29
	Standardni odklon (s)	23	25	18	20	19	47	15	32	32	
SET4	Povprečje intenzitet:	115	127	89	107	130	85	125	114	107	111
	Standardni odklon (s)	100	108	70	78	86	51	84	75	66	

Priloga B.5: Podatki za jesen (prvi odboji).

JESEN 5 dreves	Številka drevesa	1	2	3	4	5	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	32	21	23	20	30	25
	Standardni odklon (s)	15	10	10	12	15	
SET2	Povprečje intenzitet:	28	26	28	24	36	28
	Standardni odklon (s)	12	11	12	9	14	
SET3	Povprečje intenzitet:	32	27	29	51	30	34
	Standardni odklon (s)	25	18	30	52	27	
SET4	Povprečje intenzitet:	111	102	103	96	117	106
	Standardni odklon (s)	94	91	78	76	77	

Priloga B.6: Podatki za lipa (prvi odboji).

LIPA 4 drevesa	Številka drevesa	1	2	3	4	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	35	39	30	41	36
	Standardni odklon (s)	15	15	12	15	
SET2	Povprečje intenzitet:	32	34	32	38	34
	Standardni odklon (s)	14	13	13	15	
SET3	Povprečje intenzitet:	28	34	33	33	32
	Standardni odklon (s)	27	33	26	28	
SET4	Povprečje intenzitet:	102	161	81	124	117
	Standardni odklon (s)	60	94	49	78	

Priloga B.7: Podatki za sliva (prvi odboji).

<b>SLIVA 3 drevesa</b>	<b>Številka drevesa</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>POVPREČJE</b>
<b>SET 1</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	27	26	33	29
	<b>Standardni odklon (s)</b>	11	11	16	
<b>SET2</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	17	18	29	21
	<b>Standardni odklon (s)</b>	7	7	11	
<b>SET3</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	50	39	38	42
	<b>Standardni odklon (s)</b>	49	34	29	
<b>SET4</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	40	46	148	78
	<b>Standardni odklon (s)</b>	24	28	83	

Priloga B.8: Podatki za jablana (prvi odboji).

<b>JABLANA 3 drevesa</b>	<b>Številka drevesa</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>POVPREČJE</b>
<b>SET 1</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	34	21	29	28
	<b>Standardni odklon (s)</b>	15	10	12	
<b>SET2</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	24	23	30	26
	<b>Standardni odklon (s)</b>	11	11	12	
<b>SET3</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	53	36	67	52
	<b>Standardni odklon (s)</b>	47	38	56	
<b>SET4</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	62	77	135	91
	<b>Standardni odklon (s)</b>	37	44	89	

Priloga B.9: Podatki za hrast (prvi odboji).

<b>HRAST 3 drevesa</b>	<b>Številka drevesa</b>	<b>1</b>	<b>2 (2)</b>	<b>POVPREČJE</b>
<b>SET 1</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	29	23	26
	<b>Standardni odklon (s)</b>	13	11	
<b>SET2</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	37	27	32
	<b>Standardni odklon (s)</b>	16	13	
<b>SET3</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	40	43	42
	<b>Standardni odklon (s)</b>	41	54	
<b>SET4</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	195	113	154
	<b>Standardni odklon (s)</b>	135	91	



Priloga B.10: Podatki za hruška (prvi odboji).

Hruška 3 drevesa	Številka drevesa	1 (3)	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	29	29
	Standardni odklon (s)	12	
SET2	Povprečje intenzitet:	28	28
	Standardni odklon (s)	11	
SET3	Povprečje intenzitet:	44	44
	Standardni odklon (s)	40	
SET4	Povprečje intenzitet:	102	102
	Standardni odklon (s)	77	

Priloga B.11: Podatki za gaber (prvi odboji).

GABER 2 drevesi	Številka drevesa	1	2	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	28	42	35
	Standardni odklon (s)	15	18	
SET2	Povprečje intenzitet:	28	35	32
	Standardni odklon (s)	11	16	
SET3	Povprečje intenzitet:	39	40	39
	Standardni odklon (s)	23	56	
SET4	Povprečje intenzitet:	126	101	113
	Standardni odklon (s)	82	68	

Priloga B.12: Podatki za češnja (prvi odboji).

ČEŠNJA 2 drevesi	Številka drevesa	1	2	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	23	21	22
	Standardni odklon (s)	9	9	
SET2	Povprečje intenzitet:	17	22	19
	Standardni odklon (s)	7	10	
SET3	Povprečje intenzitet:	29	31	30
	Standardni odklon (s)	24	27	
SET4	Povprečje intenzitet:	78	127	102
	Standardni odklon (s)	47	78	

Priloga B.13: Podatki za kostanj (prvi odboji).

KOSTANJ 2 drevesi	Številka drevesa	1	2	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	47	37	42
	Standardni odklon (s)	24	17	
SET2	Povprečje intenzitet:	43	35	39
	Standardni odklon (s)	19	15	
SET3	Povprečje intenzitet:	28	32	30
	Standardni odklon (s)	25	27	
SET4	Povprečje intenzitet:	126	87	107
	Standardni odklon (s)	80	57	

Priloga B.14: Podatki za leska (prvi odboji).

LESKA 1 drevo	Številka drevesa	1	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	38	38
	Standardni odklon (s)	19	
SET2	Povprečje intenzitet:	31	31
	Standardni odklon (s)	14	
SET3	Povprečje intenzitet:	38	38
	Standardni odklon (s)	30	
SET4	Povprečje intenzitet:	100	100
	Standardni odklon (s)	63	

Priloga B.15: Podatki za breza (prvi odboji).

BREZA 1 drevo	Številka drevesa	1	POVPREČJE
SET 1	Povprečje intenzitet:	27	27
	Standardni odklon (s)	10	
SET2	Povprečje intenzitet:	20	20
	Standardni odklon (s)	7	
SET3	Povprečje intenzitet:	44	44
	Standardni odklon (s)	30	
SET4	Povprečje intenzitet:	83	83
	Standardni odklon (s)	53	

Priloga B.16: Podatki za bukev (prvi odboji).

<b>BUKEV 1 drevo</b>	<b>Številka drevesa</b>	<b>1</b>	<b>POVPREČJE</b>
<b>SET 1</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	37	37
	<b>Standardni odklon (s)</b>	17	
<b>SET2</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	38	38
	<b>Standardni odklon (s)</b>	16	
<b>SET3</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	46	46
	<b>Standardni odklon (s)</b>	45	
<b>SET4</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	220	220
	<b>Standardni odklon (s)</b>	165	

Priloga B.17: Podatki za neznan listavec (prvi odboji).

<b>NEZNAN LISTAVEC 3 drevesa</b>	<b>Številka drevesa</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>POVPREČJE</b>
<b>SET 1</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	34	34	27	31
	<b>Standardni odklon (s)</b>	18	14	10	
<b>SET2</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	31	30	17	26
	<b>Standardni odklon (s)</b>	11	12	6	
<b>SET3</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	34	29	39	34
	<b>Standardni odklon (s)</b>	31	19	33	
<b>SET4</b>	<b>Povprečje intenzitet:</b>	/	81	56	69
	<b>Standardni odklon (s)</b>	/	49	31	