

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/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Košir, K. 2013. Preučevanje deleža prodiranja aerolaserskih žarkov skozi vegetacijo na izbranih primerih. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Kosmatin Fras, M., somentorica Triglav Čekada, M.): 62 str.

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 original version of final thesis.

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

Košir, K. 2013. Preučevanje deleža prodiranja aerolaserskih žarkov skozi vegetacijo na izbranih primerih. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kosmatin Fras, M., co-supervisor Triglav Čekada, M.): 62 pp.

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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GEODEZIJE
SMER GEODEZIJA

Kandidatka:

KARLA KOŠIR

**PREUČEVANJE DELEŽA PRODIRANJA
AEROLASERSKIH ŽARKOV SKOZI VEGETACIJO NA
IZBRANIH PRIMERIH**

Diplomska naloga št.: 925/G

**CASE STUDY ON THE PENETRATION OF AIRBORNE
LASER PULSES THROUGH VEGETATION ON
SELECTED EXAMPLES**

Graduation thesis No.: 925/G

Mentorica:

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Somentorica:

asist. dr. Mihaela Triglav Čekada

Član komisije:

doc. dr. Miran Kuhar

Ljubljana, 27. 05. 2013

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Karla Košir izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »Preučevanje deleža prodiranja aerolaserskih žarkov skozi vegetacijo na izbranih primerih«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 8. 5. 2013

Karla Košir

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 528.7/.8:551.588(043.2)
Avtor: Karla Košir, univ. dipl. inž. geod.
Mentor: doc. dr. Mojca Kosmatin Fras
Somentor: dr. Mihaela Triglav Čekada
Naslov: Preučevanje deleža prodiranja aerolaserskih žarkov skozi vegetacijo na izbranih primerih
Tip dokumenta: diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema: 62 str., 20 pregl., 26 sl., 3 en., 26 pril.
Ključne besede: aerolasersko skeniranje, delež prodiranja, vegetacija, pokrovnost, klasifikacija

Izvleček

Aerolasersko skeniranje je tehnika daljinskega zaznavanja, ki se uporablja za zajem 3D-podatkov o prostoru. Zaradi sposobnosti delnega prodiranja aerolaserskih žarkov skozi krošnje dreves se to tehniko med drugim uporablja za zajem in opis podatkov o gozdni strukturi. Poleg informacij o horizontalnem obsegu vegetacijskih sestojev (2D) omogoča ta tehnika tudi pridobitev informacij o vertikalni strukturi vegetacije. Sposobnost prodiranja laserskih žarkov omogoča pridobitev informacij o strukturi krošenj in o podrasti. Prodiranje aerolaserskih točk v diplomski nalogi preučujem s pomočjo klasifikacije. Točke sem glede na višino njihovega odboja nad tlemi klasificirala v pet višinskih razredov: tla, trava, grmičevje, srednja vegetacija in visoka vegetacija. Ugotavljala sem vpliv različnih gostot aerolaserskega skeniranja na uporabnost aerolaserskih podatkov za ugotavljanje vertikalne strukture vegetacije. Delež prodiranja sem preučevala na konkretnih primerih. Na podlagi testnih vzorcev, izbranih na treh lokacijsko in vegetacijsko različnih območjih v Sloveniji, sem sklepala o značilnostih prodiranja glede na vrsto vegetacije in glede na gostoto aerolaserskega skeniranja. Na izbranih vzorcih preučevanja deleža prodiranja sem ugotovila, da snemanje z gostoto 10 točk/m² v primerjavi z gostoto 5 točk/m² ne doprinese k podrobnejši določitvi vertikalne strukture vegetacije.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTARY INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.7/.8:551.588(043.2)
Author: Karla Košir, univ. dipl. inž. geod.
Supervisor: Asst Prof Mojca Kosmatin Fras, Ph.D.
Co-Supervisor: Mihaela Triglav Čekada, Ph.D.
Title: Case Study on the Penetration of Airborne Laser Pulses Through Vegetation on Selected Examples
Document type: Graduation Thesis – University Studies
Scope and tools: 62 p., 20 tab., 26 fig., 3 eq., 26 ann.
Keywords: airborne laser scanning, penetration rate, vegetation, land cover, classification

Abstract

Airborne laser scanning is a remote sensing technique used for obtaining 3D space information. Because of its ability to partly penetrate forest canopies this technique is also used for obtaining information about forest structure. Besides providing information on the horizontal (2D) extension of the forest airborne LiDAR also provides information on the vertical structure of the canopy and of the understorey vegetation. The thesis inspects the penetration rate of laser pulses (returns) by performing the LiDAR point cloud classification. The LiDAR points were classified into five classes, according to their distance from the ground: ground, grass, shrubs, medium vegetation and high vegetation. The thesis also studies the effect of various LiDAR point densities on the applicability of LiDAR data for the assessment of the vertical structure of vegetation. The penetration rate study is based on actual examples. On the basis of the test examples, which were collected from three dissimilar areas (in terms of vegetation) in Slovenia, the penetration rate characteristics connected to vegetation type and LiDAR point density were examined. The study shows that airborne LiDAR of 10 points/m² in comparison to airborne LiDAR of 5 points/m² does not contribute to a more detailed determination of the vertical structure of vegetation.

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Hvala somentorici dr. Mihaeli Triglav Čekada za pomoč, nasvete in vzpodbudne besede pri nastajanju diplomske naloge.

Hvala mentorici doc. dr. Mojci Kosmatin Fras za strokovno vodstvo in usmerjanje.

Hvala Geodetski upravi Republike Slovenije za možnost uporabe njihovih podatkov (ortofoto posnetkov in aerolaserskih podatkov) v raziskovalne namene.

Hvala sošolcem in prijateljem za lepa študentska leta.

Iskrena hvala staršem in sestram za podporo, razumevanje in potrpežljivost tekom študija.

Hvala Borisu za strpnost in vzpodbudo pri pisanju diplomske naloge.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Motiv	1
1.2	Opredeleitev cilja in hipotez naloge	2
1.3	Struktura naloge	3
2	TEORETIČNA IZHODIŠČA	5
2.1	Aerolasersko skeniranje	6
2.1.1	Natančnost določitve koordinat	9
2.1.2	Vpliv vegetacije na natančnost merjenja višin	10
2.2	Fizikalne osnove aerolaserskega skeniranja	11
2.2.1	Divergenca laserskega žarka	11
2.2.2	Večkratni odboj laserskega žarka in delež prodiranja skozi vegetacijo	11
2.2.3	Gostota laserskih točk	15
2.2.4	Odbojnost laserskega žarka od tarče	16
2.3	Obdelava laserskih podatkov	19
2.3.1	Filtriranje	19
2.3.2	Klasifikacija	19
3	UPORABLJENI PODATKI, METODOLOGIJA IN PROGRAMSKA OPREMA	21
3.1	Podatki	21
3.1.1	Lasersko skeniranje in aerofotografiranje 2011: A8 in B21	21
3.1.1.1	Lasersko skeniranje območja A8 – Ljubljansko barje	23
3.1.1.2	Lasersko skeniranje območja B21 – Primorje	24
3.1.2	Lasersko skeniranje Malega grabna	25
3.1.3	Državni ortofoto	26
3.2	Uporabljena programska oprema	27
3.2.1	LAStools – odprtokodna programska oprema za upravljanje z aerolaserskimi podatki	27
3.2.2	FugroViewer	28
3.2.3	Quantum GIS	29
3.3	Metodologija	30
4	PRAKTIČNI DEL	37
4.1	Značilna vegetacija na območjih obravnave	37
4.1.1	Podgorski kras	37
4.1.2	Ljubljansko barje	38
4.1.3	Mali graben	39

4.2	Rezultati.....	40
4.2.1	Trava.....	40
4.2.2	Redko rastje.....	42
4.2.3	Grmičevje.....	44
4.2.4	Obvodno rastje.....	45
4.2.5	Iglasti gozd.....	47
4.2.6	Listnati gozd.....	49
4.2.7	Mešani gozd.....	50
4.2.8	Primerjava med iglavci, listavci in mešanim gozdom.....	51
4.3	Bistvene ugotovitve.....	53
5	ZAKLJUČEK.....	55
VIRI.....		57

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Klasifikacija laserskih točk v razrede.....	26
Preglednica 2: Seznam nekaterih LAStools orodij	27
Preglednica 3: Višinski razredi in njihove meje	31
Preglednica 4: Tipi pokrovnosti.....	33
Preglednica 5: Povprečna gostota laserskih točk na m ² za tip pokrovnosti »trava«	41
Preglednica 6: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (»trava«)	42
Preglednica 7: Povprečna gostota laserskih točk na m ² za tip pokrovnosti »redko rastje«	42
Preglednica 8: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (»redko rastje«).....	43
Preglednica 9: Povprečna gostota laserskih točk na m ² za tip pokrovnosti »grmičevje«.....	44
Preglednica 10: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (»grmičevje«)	45
Preglednica 11: Povprečna gostota laserskih točk na m ² za tip pokrovnosti »obvodno rastje«	46
Preglednica 12: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (»obvodno rastje«) ..	47
Preglednica 13: Povprečna gostota laserskih točk na m ² za tip pokrovnosti »iglasti gozd«	47
Preglednica 14: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (»iglasti gozd«)	48
Preglednica 15: Povprečna gostota laserskih točk na m ² za tip pokrovnosti »listnati gozd«	49
Preglednica 16: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (»listnati gozd«)	50
Preglednica 17: Povprečna gostota laserskih točk na m ² za tip pokrovnosti »mešani gozd«.....	50
Preglednica 18: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (»mešani gozd«)	51
Preglednica 19: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (Podgorski kras in Ljubljansko barje).....	52
Preglednica 20: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (Mali graben)	53

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO SLIK

Slika 1: Zajem podatkov z aerolaserskim skeniranjem	7
Slika 2: Oblak laserskih točk	9
Slika 3: Trigonometrična metoda merjenja višine objekta	11
Slika 4: Shematski prikaz različnega števila odbojev enega laserskega žarka za: a) travo, b) grmičevje, c) žico	12
Slika 5: Prerez skozi oblak laserskih točk; podatki so ločeni glede na red odboja	13
Slika 6: Primera različnega rastja na izsekih ortofota merila 1 : 1000 in prečnem prerezu skozi laserske točke z gostoto 20 točk/m ²	14
Slika 7: Slikovni prikaz laserskih točk naselja Praproče na Podgorskem krasu glede na intenziteto točk	18
Slika 8: Ortofoto naselja Praproče na Podgorskem krasu	18
Slika 9: Oblak klasificiranih laserskih točk	19
Slika 10: Območja različnih gostot Laserskega skeniranja Slovenije 2011	22
Slika 11: Območje laserskega skeniranja: blok A8 (Ljubljansko barje)	23
Slika 12: Območje laserskega skeniranja: blok B21 (Primorje)	24
Slika 13: Območje laserskega skeniranja: Mali graben	25
Slika 14: Prikaz oblaka laserskih točk, obarvanih glede na višino, v pregledovalniku FugroViewer: ..	28
Slika 15: Diagram poteka raziskave	30
Slika 16: Testna območja za pokrovnost "listnati gozd" na Podgorskem krasu	32
Slika 17: Območje obravnave Podgorski kras	37
Slika 18: Območje obravnave Ljubljansko barje	38
Slika 19: Območje obravnave Mali graben	39
Slika 20: Deleži točk v posameznih višinskih razredih za tip pokrovnosti »trava«	41
Slika 21: Deleži točk v posameznih višinskih razredih za tip pokrovnosti »redko rastje«	43
Slika 22: Deleži točk v posameznih višinskih razredih za tip pokrovnosti »grmičevje«	45
Slika 23: Deleži točk v posameznih višinskih razredih za tip pokrovnosti »obvodno rastje«	46
Slika 24: Deleži točk v posameznih višinskih razredih za tip pokrovnosti »iglasti gozd«	48
Slika 25: Deleži točk v posameznih višinskih razredih za tip pokrovnosti »listnati gozd«	49
Slika 26: Deleži točk v posameznih višinskih razredih za tip pokrovnosti »mešani gozd«	51

»Ta stran je namenoma prazna.«

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: POKROVNOST »TRAVA«

- A.1 Podgorski kras
- A.2 Ljubljansko barje
- A.3 Mali graben
- A.4 Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

PRILOGA B: POKROVNOST »REDKO RASTJE«

- B.1 Podgorski kras
- B.2 Ljubljansko barje
- B.3 Mali graben
- B.4 Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

PRILOGA C: POKROVNOST »GRMIČEVJE«

- C.1 Podgorski kras
- C.2 Ljubljansko barje
- C.3 Mali graben
- C.4 Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

PRILOGA D: POKROVNOST »OBVODNO RASTJE«

- D.1 Ljubljansko barje
- D.2 Mali graben

PRILOGA E: POKROVNOST »IGLASTI GOZD«

- E.1 Podgorski kras
- E.2 Ljubljansko barje
- E.3 Mali graben
- E.4 Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

PRILOGA F: POKROVNOST »LISTNATI GOZD«

- F.1 Podgorski kras
- F.2 Ljubljansko barje
- F.3 Mali graben
- F.4 Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

PRILOGA G: POKROVNOST »MEŠANI GOZD«

- G.1 Podgorski kras
- G.2 Ljubljansko barje

G.3 Mali graben

G.4 Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

1 UVOD

1.1 Motiv

V sedemdesetih letih prejšnjega stoletja so bili za vojaške namene in topografska merjenja razviti prvi aerolaserski sistemi. Omogočali so izmero razdalj med zrakoplovom in talnimi točkami z natančnostjo, boljšo od 1 metra (Vosselman et al., 2010, str. 19). Sistemi v takratnem času še niso bili v široki uporabi, saj niso omogočali dovolj natančnega merjenja. Glavna vzroka za to sta bila nezmožnost določitve višinskega položaja zrakoplova, na katerem je bil nameščen laserski razdaljemer, z zadovoljivo natančnostjo in nezmožnost določitve položaja točke oz. tarče, od katere se laserski žarek v določenem trenutku odbije. Z razvojem sistemov globalnega določanja položaja (GPS) v poznih osemdesetih letih in z razvojem inercialnih navigacijskih sistemov (INS) se je natančnost podatkov izboljšala in danes predstavlja aerolasersko skeniranje eno najpomembnejših tehnik za hiter zajem kakovostnih 3D-podatkov o zemeljskem površju.

Glavni rezultati aerolaserskih meritev so oblaki georeferenciranih točk s podatki o redu odboja in intenziteti vrnjenega valovanja. Takšni podatki nam še ne omogočajo analize topografije posnetega območja, zato jih je potrebno ustrezno obdelati. S postopki filtriranja in klasificiranja podatke razvrstimo v posamezne, vnaprej definirane razrede – tako lahko izluščimo na primer točke, ki predstavljajo tla (digitalni model reliefa – DMR) ali točke, ki predstavljajo drugo izbrano površino nad tlemi (digitalni model površin – DMP), npr. točke, ki predstavljajo vrhove krošenj dreves (digitalni model krošenj – DMK) itd.

Pomembna lastnost laserskega skeniranja, pa tudi prednost pred ostalimi tehnikami daljinskega zaznavanja, je sposobnost delnega prodiranja laserskih žarkov skozi krošnje dreves oziroma skozi majhne vrzeli med listjem. Ta lastnost omogoča merjenje topografije in vegetacije, ki je »skrita« pod krošnjami dreves.

Prvotno je bilo aerolasersko skeniranje uvedeno z namenom, da bi olajšalo zbiranje podatkov za izdelavo digitalnih modelov višin (DMV). V postopku izdelave digitalnih modelov višin so bili uporabni le tisti odboji, ki so se odbili od tal, tisti, ki so se odbili od vegetacije, pa so bili nepotrebni oz. odveč. S kasnejšimi študijami laserskih podatkov je bilo ugotovljeno, da so do tedaj t.i. odvečni podatki – odboji, ki so se odbili od vegetacije – lahko uporabni pri opredelitvi vertikalne vegetacijske strukture. Raziskave sestave obvodnega rastišča z uporabo laserskih podatkov so pokazale, da je na podlagi višine in gostote laserskih točk mogoče razločevati različne vegetacijske tipe. Razlikovanje vegetacijskih tipov s podobno strukturo (tla – zemlja in nizka trava) se je sicer izkazalo za težavno, veliko lažje in bolj očitno pa je bilo razlikovanje grmičevja in dreves (Asselman et al., 2002).

Prvi komercialni aerolaserski skenerji so omogočali merjenje časa le enega laserskega žarka, torej se je lahko registriral le en odboj (Wagner et al., 2004). Današnji sistemi pa lahko zabeležijo več odbojev za vsak oddan laserski impulz. Na podlagi teh odbojev je mogoče oblak laserskih točk razdeliti na talne točke (tiste, ki predstavljajo najnižje površine – pričakovano oziroma zaželeno je, da je zadnji odboj odbit od zemeljskega površja oz. tal) in ne-talne točke (drevesne krošnje, visokonapetostni daljnovodi...). Možnost registracije večjega števila odbojev za posamezen impulz povečuje zmožnosti zajema podatkov – omogoča nam pridobitev vertikalnega profila objekta (npr. drevesa), skozi katerega potuje laserski žarek. Beleženje večjega števila odbojev ima pomembno vlogo predvsem pri pridobivanju podatkov o vegetaciji (volumen gozda, višina in gostota dreves, tip vegetacije, gostota podrasti itd.).

Pri naročanju podatkov aerolaserskega skeniranja je potrebno upoštevati značilnosti območja, kjer se bo skeniranje izvedlo (ravninsko/strmo območje, pokritost z vegetacijo...), pa tudi namen zajema podatkov (generiranje DMR, generiranje DMP, monitoring gozdnih sistemov...). Značilnosti terena in namen zajema namreč vplivata na zahtevano natančnost snemanja in tudi na potrebno gostoto snemanja (število točk na enoto površine). Z zahtevano gostoto snemanja je neposredno povezan tudi čas, ki ga potrebujemo za zajem podatkov, kar posledično vpliva na ceno izvedbe aerolaserskega snemanja.

Ker menim, da bi definiranje ustrezne gostote snemanja za območje z določeno (prevladujočo) vrsto vegetacije lahko pomembno vplivalo in pripomoglo predvsem naročnikom aerolaserskega skeniranja pri odločanju o optimalni gostoti snemanja za določen namen, sem se odločila podrobneje raziskati značilnosti prodiranja laserskih žarkov. V nalogi bom preučevala delež prodiranja laserskih žarkov skozi vegetacijo na treh območjih Slovenije.

1.2 Opredelitev cilja in hipotez naloge

V diplomski nalogi se bom posvetila prodiranju laserskih žarkov skozi vegetacijo. Na izbranih primerih, kjer je bilo izvedeno lasersko skeniranje (z impulznim oziroma diskretnim laserskim skenerjem), bom skušala analizirati delež prodiranja laserskih žarkov pri različnih tipih vegetacije. Delež prodiranja laserskih žarkov bom primerjala tudi glede na gostoto snemanja (5 in 10 točk/m²). Ker večina programov za obdelavo laserskih podatkov deluje po principu »black box« (z omejenim vpogledom v dejansko upravljanje in ravnanje s podatki), bom podatke filtrirala ročno, t.j. s štetjem točk, ki padejo v posamezen razred, da bi pridobila podatke, čim bolj neodvisne od programske opreme.

S pomočjo uveljavljenih postopkov za obdelavo laserskih podatkov bom laserske točke z vnaprej določenimi kriteriji razvrstila v višinske razrede. Na podlagi rezultatov bom skušala sklepati o vertikalnem profilu vegetacijskega sestoja za posamezno testno območje.

Dokazati bom poskusila predpostavko, da aerolasersko skeniranje z gostoto 10 točk/m² v primerjavi z gostoto 5 točk/m² omogoča natančnejšo in podrobnejšo določitev vertikalne strukture vegetacije.

1.3 Struktura naloge

Diplomsko nalogo sestavlja pet poglavij. Prvi dve poglavji zajemata teoretični del, tretje in četrto poglavje se nanašata na praktični del, v zadnjem, petem poglavju pa so strnjeni zaključki na podlagi rezultatov.

V prvem poglavju je na kratko opisana zgodovina tehnologije aerolaserskega snemanja, s katero sem imela opravka pri diplomski nalogi. V drugem poglavju sem opisala glavne značilnosti aerolaserskega skeniranja, ki vplivajo na prodiranje laserskega žarka ali so z njim povezane. Tretje poglavje je namenjeno definiranju uporabljenih podatkov, metodologiji njihove obravnave in opisu uporabljene programske opreme. V sklopu metodologije so navedeni različni tipi pokrovnosti s slikovnimi prikazi, definirana je tudi splošna razdelitev višinskih razredov. V četrtem poglavju so opredeljena študijska območja, navedeni so rezultati in podana je ocena oziroma vrednotenje le-teh. V petem poglavju so strnjene zaključne ugotovitve.

Izračuni za posamezna območja in posamezne tipe pokrovnosti so podrobno predstavljeni v obliki tabel in grafov v prilogah.

»Ta stran je namenoma prazna.«

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

Lasersko skeniranje (LS) je tehnika daljinskega zaznavanja, ki se uporablja za zajem 3D-podatkov o prostoru. Tehniko imenujemo tudi lidarsko snemanje ali kratko lidar (angl. LiDAR), kar je akronim iz angleškega opisa tehnologije LIght Detection And Ranging, saj uporablja laser za osvetlitev Zemljine površine (Hyypä, 2011). Lasersko skeniranje trenutno velja za najnatančnejšo daljinsko metodo zajema podatkov za kakovostno modeliranje terena (Bric et al., 2012).

Glede na lastnosti senzorja in nosilec laserskega sistema ločimo:

- terestrično lasersko skeniranje
- mobilne snemalne sisteme
- aerolasersko skeniranje.

Terestrično lasersko skeniranje (TLS, angl. Terrestrial laser scanning) je lahko statično ali mobilno.

Pri statičnem laserskem skeniranju je laserski skener postavljen na tla – pritrjen na stativ. Objekt obravnave je pogosto posnet z več stojišč, zato je potrebno oblake točk (imenovane tudi skenogrami), ki jih dobimo na posameznih stojiščih, združiti. To storimo s pomočjo veznih točk. Koordinate teh točk določimo bodisi s klasično geodetsko izmero bodisi z GNSS – meritvami. Statično lasersko skeniranje je primerno za skeniranje manjših območij, zgradb, spomenikov kulturne dediščine, arheoloških izkopanin, pa tudi za zajem notranjih prostorov (sobe, oprema).

Mobilni snemalni sistemi (MSS, angl. Land-based mobile mapping systems) so se razvili kot terestrična različica aerolaserskega skeniranja. Osnovni motiv za razvoj takšnega sistema je bila želja po združitvi različnih senzorjev za učinkovit zajem podatkov predvsem v mestnem okolju. Tako se je razvil MSS, ki na vozilu lahko združuje različne senzore za daljinsko zaznavanje (laserski skener, fotoaparati, videokamera) in sistem GNSS/INS¹. Mobilni merski sistem omogoča v primerjavi s statičnim terestričnim skeniranjem hitrejši, v primerjavi z aerolaserskim skeniranjem pa predvsem cenejši zajem podatkov. V praksi se MSS najpogosteje uporablja za zajem daljših koridorjev, kot so priobalna območja, ceste, ulice, železniške proge (Bric et al., 2012; Hassan et al., 2006).

Aerolasersko skeniranje (ALS, angl. Airborne laser scanning) je v današnjem času ena najbolj uveljavljenih tehnik za natančen in hiter zajem podatkov na območjih velikega obsega. Glede na

¹ GNSS – globalni navigacijski satelitski sistem (angl. Global Navigation Satellite System), INS – inercialni navigacijski sistem (angl. Inertial Navigation System).

namen zajema delimo aerolasersko skeniranje na topografske in batimetrične laserske sisteme. Batimetrični sistemi omogočajo merjenje vodnih globin (v čistih morjih največ 50 m globoko), topografski pa so namenjeni predvsem zajemu topografskih podatkov (za izdelavo digitalnih modelov višin, modelov stavb itd.) (Bric et al., 2012). V literaturi se sicer za tehniko aerolaserskega skeniranja pojavljajo še druga imena, npr. zračno lasersko skeniranje (ZLS) in lidar, vendar bom v nadaljevanju uporabljala izraz aerolasersko skeniranje. Tehnika je podrobneje razložena v podpoglavju 2.1.

2.1 Aerolasersko skeniranje

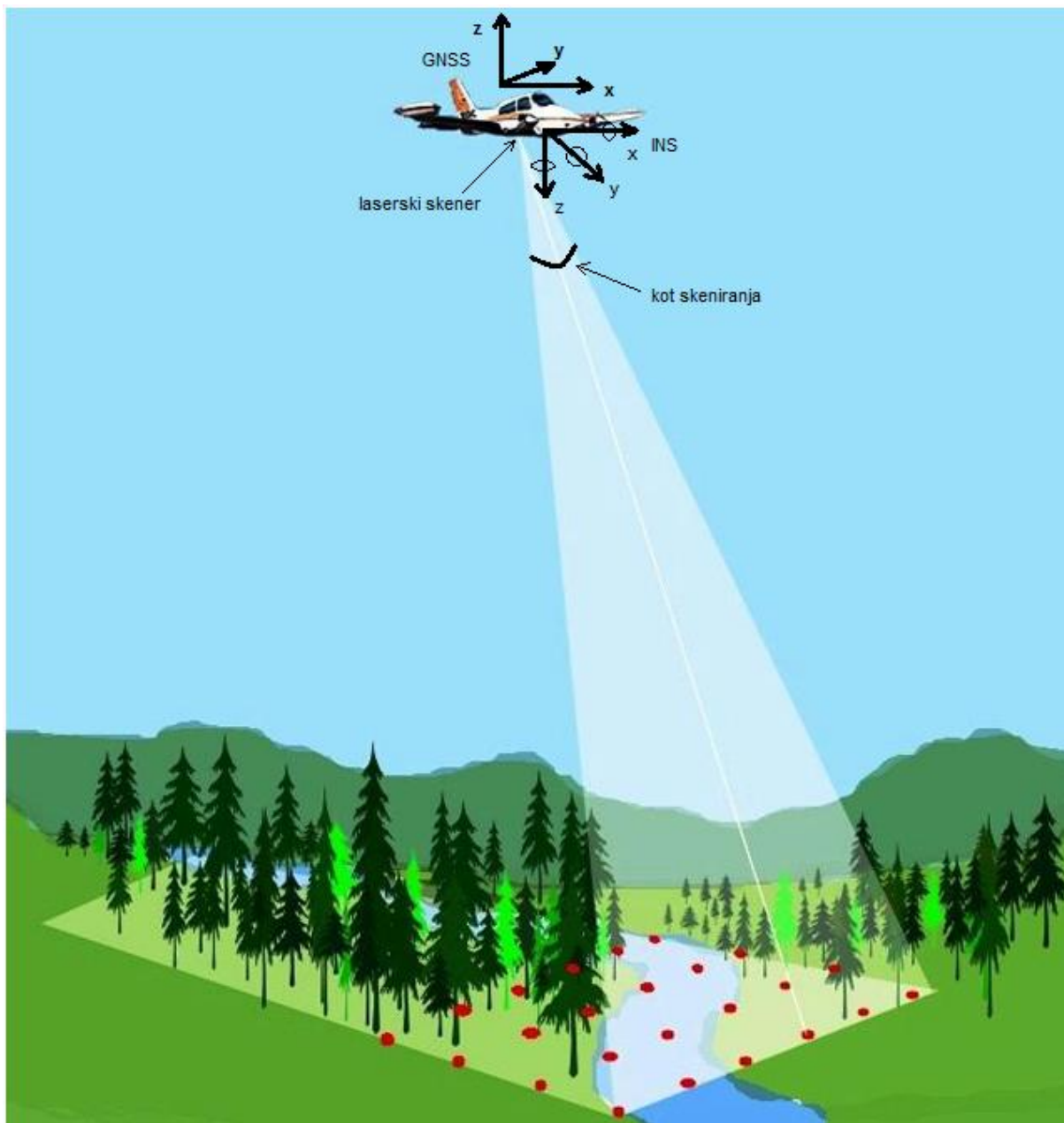
Aerolasersko skeniranje uporabljamo za kartiranje topografije, vegetacije, urbanih območij, ledu in infrastrukture. Za zajem podatkov se uporablja aktivni senzor (laserski skener), nameščen v letalu ali helikopterju, ki izmeri časovni interval med oddajo in prejemom laserskega signala. Izmerjeni časovni interval tako določa razdaljo med oddajnikom, tarčo in sprejemnikom (fotodiodo), ki skupaj s kotom skeniranja določa lokacijo tarče v fizičnem prostoru (Triglav Čekada, 2009; Hyypä, 2011).

Glede na način in obseg meritev ločimo diskretne sisteme majhnega odtisa (angl. Discrete return small footprint systems) in valovne sisteme, ki beležijo celotno valovno obliko signala (angl. Full-waveform). Na trgu se pojavljajo že tudi valovni laserski sistemi z majhnim odtisom, vendar je valovna tehnologija za zdaj še manj zrela od diskretne, predvsem pa valovni laser z majhnim odtisom proizvaja ogromne količine podatkov. Njihova uporaba je zato za zdaj omejena predvsem na znanstvene kroge in še ni prodrla v prakso. Diskretni sistemi z majhnim odtisom v primerjavi z valovnimi sistemi ponujajo visoko gostoto odbojev in s tem natančnejšo rekonstrukcijo reliefa golih tal in krošenj (Kobler, 2011). Pri preučevanju deleža prodiranja laserskih žarkov so tako primernejši podatki, pridobljeni z diskretnim laserskim sistemom, katerega ključna sposobnost je, da prodre mimo prve odbojne površine v globino sestoja, celo do tal.

Ker se v nalogi ukvarjam s preučevanjem deleža prodiranja laserskih žarkov diskretnega (impulznega) laserskega skenerja, bom vse ugotovitve v nadaljevanju podajala le še v kontekstu takega senzorja.

Primarne komponente aerolaserskega sistema (slika 1), ki omogočajo pridobitev 3D-podatkov zajetega območja, so (Renslow et al., 2000; Švab Lenarčič, 2009; Stavbar, 2011):

- laserska enota (za izmero razdalje med oddajnikom laserskega žarka in površjem, od katerega se žarek odbije)
- globalni navigacijski satelitski sistem GNSS (sistem pozicioniranja)
- inercialni navigacijski sistem INS (sistem za določanje pospeškov in orientacije v prostoru)



Slika 1: Zajem podatkov z aerolaserskim skeniranjem (The University of Montana, 2013)

Vse tri komponente so med seboj časovno sinhronizirane. Tridimenzionalne koordinate zajetih laserskih točk v referenčnem koordinatnem sistemu se določijo na osnovi poznanega položaja in orientacije senzorja laserskega skenerja v trenutku oddaje vsakega laserskega impulza in izmerjene razdalje. Položaj je določen z meritvami GNSS, orientacija pa z meritvami INS treh kotov zasuka nosilca v prostoru. Ko sta položaj in orientacija senzorja določena, se na podlagi izmerjenega časa potovanja laserskega impulza od njegove oddaje do sprejema izračuna še razdalja med instrumentom in točko na površju. V fizikalnem smislu laserski impulz zaradi svojega majhnega razširjanja v obliki stožca na površju ustvari odtis (angl. footprint), zato posamezne točke površja ne moremo natančno

določiti in izmeriti. Zaradi enostavnosti razlage in abstrakcije v matematičnih izpeljavah pa govorimo o točki oziroma oblaku izmerjenih točk.

Razdaljo R med senzorjem in točko površja izračunamo po enačbi (1)

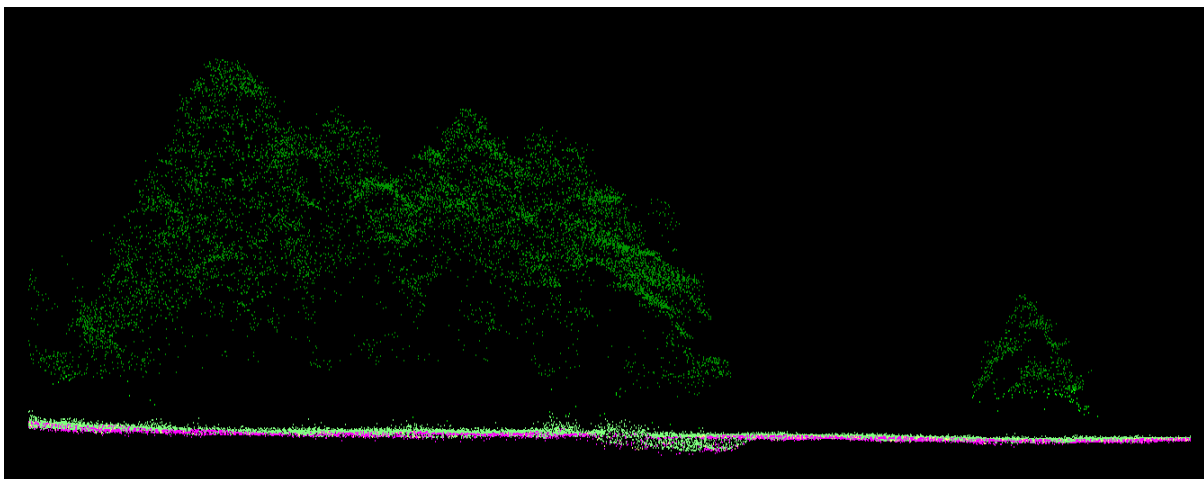
$$R = \frac{c \cdot t}{2}, \quad (1)$$

kjer je t izmerjeni čas potovanja impulza od senzorja do točke na površju in spet nazaj do senzorja (angl. round-trip time), c pa znana hitrost potovanja svetlobe skozi zrak.

Določitev koordinat ne poteka v realnem času, ampak se izvede v postopku naknadne obdelave. Meritve laserskega razdaljemera se združijo s podatki položaja in orientacije (GNSS in INS). Za večjo relativno in absolutno natančnost trirazsežnih laserskih podatkov je pri izračunu koordinat potrebno upoštevati še kalibracijske podatke sistema aerolaserskega skeniranja. V postopku direktnega georeferenciranja laserskih meritev se za vsak odboj laserskega žarka izračunajo trirazsežne koordinate (X , Y , Z) v referenčnem, na Zemljo vezanem, koordinatnem sistemu (Švab Lenarčič, 2009).

Rezultat aerolaserskih meritev je oblak georeferenciranih točk s podatki o redu odboja in intenziteti vrnjenega valovanja (slika 2). Ti podatki so shranjeni v binarnem LAS podatkovnem formatu. LAS-format je javen format, ki ga je razvila ASPRS², da bi olajšala izmenjavo podatkov med uporabniki in med različnimi programskimi opremami. Sedaj je LAS-format sprejet tudi že kot industrijski format za laserske podatke. Poleg X , Y , Z koordinat LAS-format za posamezno točko shrani še druge attribute: intenziteto odbitega laserskega impulza, čas prejema odbitega impulza, število zaznanih odbojev za oddan impulz, red odboja posameznega impulza (npr. drugi odboj od treh), notranji kot skenerja v času oddanega impulza, klasifikacijo (atribut površja, dodeljen posamezni točki; vegetacija, relief, stavba,...) in identifikator točke (Isenburg, 2012; Stavbar, 2011).

² ASPRS – The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.



Slika 2: Oblak laserskih točk

2.1.1 Natančnost določitve koordinat

Ena najpomembnejših lastnosti pri uporabi podatkov aerolaserskega skeniranja je natančnost³ določitve koordinat laserskih točk. Ker lego laserskih točk v prostoru določimo z direktnim georeferenciranjem, je ključnega pomena poznavanje napak, ki doprinesejo k poslabšanju natančnosti določitve lege točk. Napake lahko glede na njihov izvor razdelimo v tri glavne skupine:

- osnovne sistematične napake (vpliv napak strojne/programske opreme),
- napake misije leta,
- napake zaradi lastnosti tarče⁴.

Viri osnovnih sistematičnih napak so v značilnostih laserskega skenerja (pogrešek kota skeniranja in pogrešek dolžin), v (ne)poravnavi in sinhronizaciji INS, GNSS in laserske enote, v značilnostih INS, značilnostih GNSS in v metodi georeferenciranja. Osnovne sistematične napake lahko v glavnem odstranimo s pravilno kalibracijo sistema pred in med letom. Napake misije leta vključujejo vpliv višine in hitrosti leta zrakoplova nad tlemi, vpliv vetra na smer leta, vpliv stopnje (odstotka) prekrivanja posameznih pasov snemanja, vpliv položaja GNSS – referenčne postaje in njene oddaljenosti od zrakoplova ter vpliv značilnosti ozračja v času snemanja. Te napake je mogoče zmanjšati s kalibracijo laserskega sistema med letom. Napake, povezane z značilnostjo tarče, so odvisne od odbojnosti tarče, njene strukture in hrapavosti, od tipa in gostote vegetacije, kar vpliva na delež prodiranja laserskih žarkov do tal ter značilnosti skeniranega območja (raven/hribovit/gorat

³ Natančnost je stopnja skladnosti ponovljenih opazovanj iste količine. Če so opazovanja zgoščena skupaj, pravimo, da imajo veliko natančnost (Stopar, 2006/2007).

⁴ V tem kontekstu izraz tarča predstavlja del površja, ki ga osvetli laserski žarek.

teren). Napake zaradi lastnosti tarče navadno niso sistematične in jih običajno zaznamo šele med samo obdelavo podatkov (Triglav Čekada, 2009).

Na kakovost, še posebej na natančnost laserskih podatkov, vpliva mnogo faktorjev: površina materiala, od katerega se laserski žarek odbije, višina leta, natančnost oz. napake, ki jih doprinesejo posamezni podsistemi merskega laserskega sistema (laserski skener, inercialni navigacijski sistem - INS in sistem GNSS)...

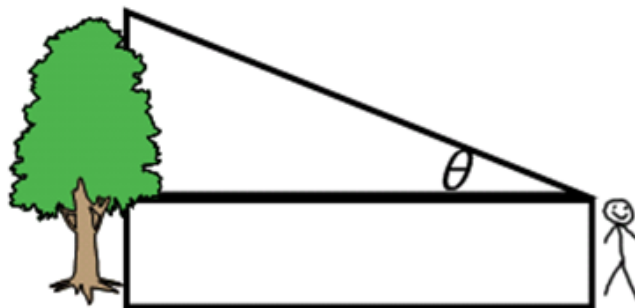
Najnovejši laserski sistemi omogočajo višinsko natančnost izmere okoli 10 cm, položajno pa nekaj decimetrov v koordinatnem sistemu meritev (npr. v D96/TM). Pri transformaciji podatkov iz D96/TM v Gauß-Krügerjev koordinatni sistem⁵ (D48/GK) položajno točnost pokvarimo še za kak decimeter (Bric et al., 2012).

2.1.2 Vpliv vegetacije na natančnost merjenja višin

Za diskretne laserske sisteme je značilno sistematično podcenjevanje višin. V primeru snemanja vegetacije so zaradi majhnega odtisa laserskega žarka vrhovi dreves lahko izpuščeni oz. zgrešeni. Magnituda (velikostni red) podcenjevanja višin je odvisna od parametrov skeniranja (predvsem od gostote točk in divergence laserskega žarka) ter od značilne geometrije različnih vrst dreves.

V okviru ocenjevanja različnih metod daljinskega zaznavanja za identifikacijo gozdne sestave so Heurich et al. (2003) izvedli raziskavo na štirih testnih območjih v Bavarskem narodnem parku (Bavarian Forest National Park). Namen njihove raziskave je bila ocena višinske natančnosti digitalnega modela krošenj, pridobljenega na osnovi aerolaserskega skeniranja. Med seboj so primerjali digitalni model krošenj, izdelan iz aerolaserskih podatkov, in višino dreves, izmerjeno z višinomerom Vertex III, ki višino drevesa izračuna po trigonometrični metodi (slika 3). Na primeru 1001 drevesa so ugotovili višinsko podcenjenost digitalnega modela krošenj v višini 53 cm (37 cm za listavce in 79 cm za iglavce) glede na višine dreves, ki so jih določili z višinomerom. Standardni odklon določitve višine drevesa iz aerolaserskih podatkov je bil 1,24 m.

⁵ Stari horizontalni državni koordinatni sistem. Od leta 2008 je v veljavi novi koordinatni sistem, imenovan D96/TM. Novi koordinatni sistem se uporablja za podatke katastra, večina preostalih prostorskih podatkov pa je še vedno v starem koordinatnem sistemu, saj popoln prehod na D96/TM še ni bil izveden.



Slika 3: Trigonometrična metoda merjenja višine objekta (Methods of Indirect Measurements, 2013)

2.2 Fizikalne osnove aerolaserskega skeniranja

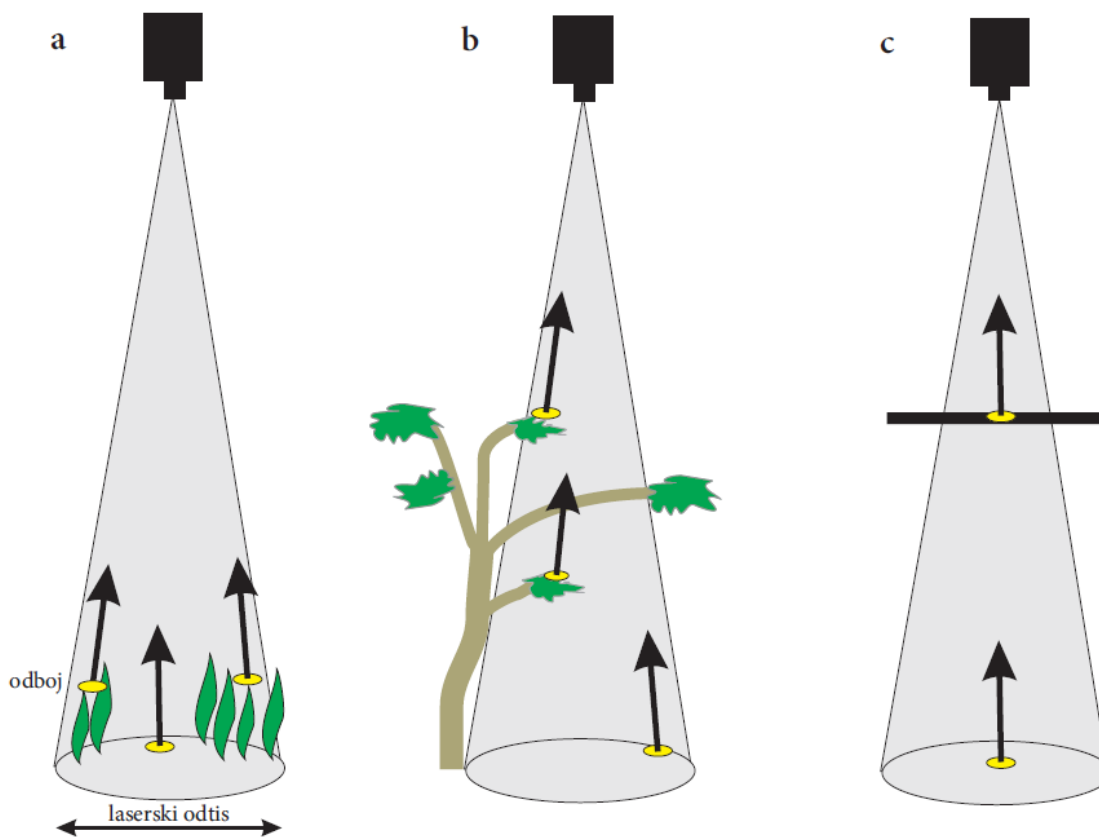
2.2.1 Divergenca laserskega žarka

Sistem laserskega skeniranja kot aktivno daljinsko zaznavanje ne zaznava odbite svetlobe Sonca, ampak proti Zemlji pošlje lastno valovanje, zato imamo opravka z oddanim in sprejetim impulzom. Oddani in odbiti žarek sta zaradi narave laserske svetlobe zelo usmerjena, zato je tudi divergenca žarka majhna. Divergenca žarka znaša le nekaj miliradianov (tipično med 0,3 mrad in 2 mrad) (Oštir, 2006).

Zaradi svoje divergence laserski žarek na tleh osvetli območje v obliki elipse ali kroga določenega premera. To območje imenujemo laserski odtis (angl. footprint). Velikost laserskega odtisa je odvisna od razdalje med oddajnikom laserske svetlobe in tarčo; večja kot je razdalja med njima, večjega premera bo laserski odtis. Velikost laserskega odtisa pri diskretnih sistemih je običajno med 0,25 m do 1 m (English Heritage, 2010).

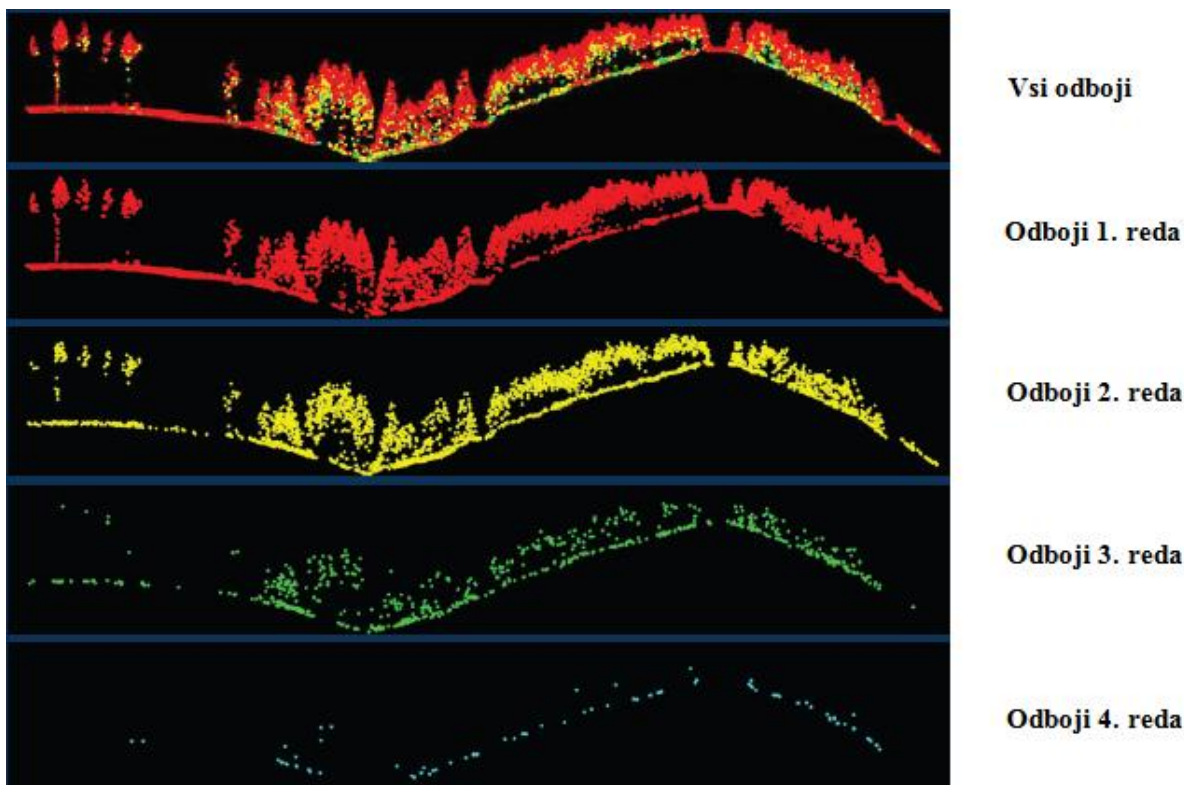
2.2.2 Večkratni odboj laserskega žarka in delež prodiranja skozi vegetacijo

Signal, ki se vrne na sprejemnik, je skupek odbojev od objektov, ki so na poti med oddajnikom in tarčo (tlemi) (Bednjanec, 2011). Laserski žarek se namreč odbije tudi od manjših odbojnikov (listje, veje, žice, ptiči), kar laserski sprejemnik zazna kot več laserskih odbojev, ki jih je povzročil posamezni laserski žarek – govorimo o redu odbojev.



Slika 4: Shematski prikaz različnega števila odbojev enega laserskega žarka za: a) travo, b) grmičevje, c) žico (Triglav Čekada, 2011)

Laserski instrumenti omogočajo registracijo najmanj dveh odbojev (prvi in zadnji odboj), večina novejših sistemov pa lahko registrira celo štiri do pet odbojev za posamezen impulz (slika 5).



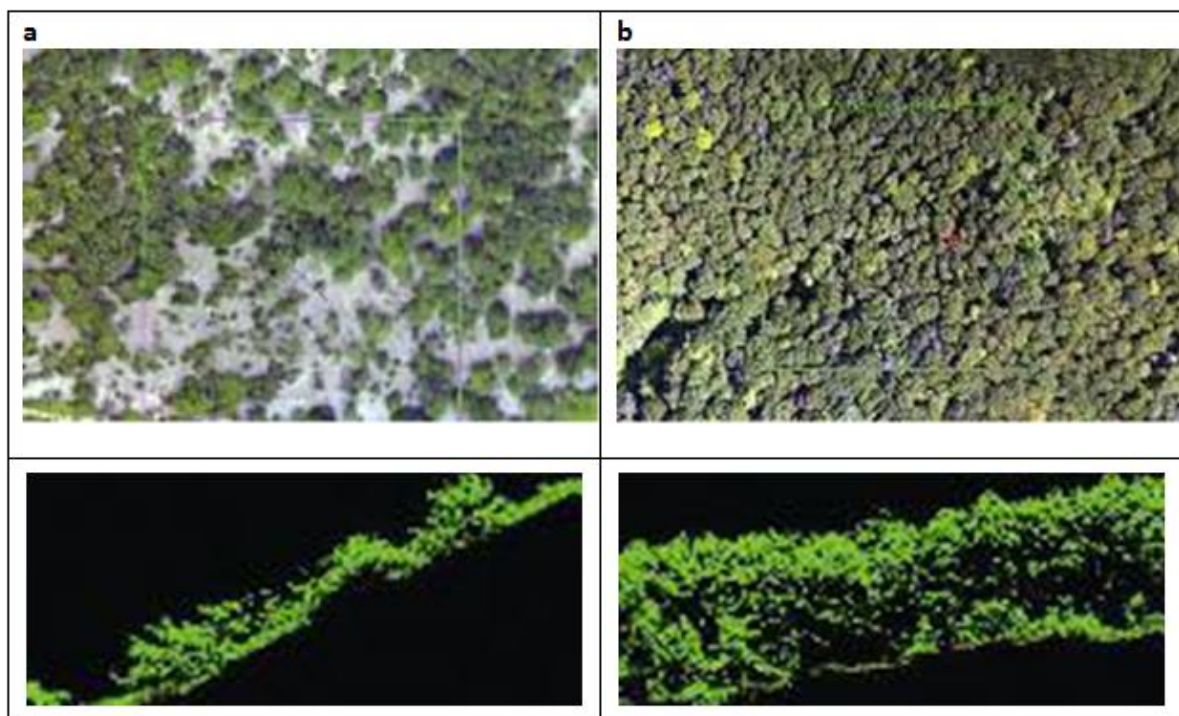
Slika 5: Prerez skozi oblak laserskih točk; podatki so ločeni glede na red odboja (Nayegandhi, 2007)

Da lahko iz oblaka laserskih točk pridobimo digitalne modele površin (DMP), ki povezujejo objekte z določenimi lastnostmi, moramo iz oblaka točk najprej izpeljati digitalni model reliefa (DMR), ki opisuje tla. Večina klasifikatorjev, ki se uporablja pri diskretnih snemalnih sistemih, predpostavlja, da so zadnji odboji v 3D-oblaku točk dejansko odbiti od tal (pri tem je potrebna pazljivost pri predhodni obdelavi laserskih podatkov, da se osamele točke (angl. outliers) in grobe napake odstranijo pred postopkom klasifikacije) (Lim et al., 2003). Točke, ki zadenejo tla, predstavljajo osnovo za generiranje digitalnega modela reliefa za obravnavano območje (Vosselman et al., 2010, str. 213). Prvi odboji posameznih laserskih impulzov so običajno posledica odboja na vrhovih vegetacije in stavb in definirajo digitalni model površin (DMP). Na neporaslih in nepozidanih območjih DMP sovpada z DMR. Z razliko med DMP in DMR dobimo normaliziran digitalni model površja (nDMP). Ta model vključuje samo še objekte nad zemeljskim površjem (Grigillo, 2010). V aplikacijah na področju gozdarstva se za ta model uporablja izraz digitalni model krošenj (DMK). DMK prikazuje relativne višine gozdne vegetacije nad golimi tlemi (Kobler, 2011).

Glede na velikost laserskega odtisa in glede na strukturo krošenj (oz. njihovo gostoto) značilen odstotek laserskih žarkov prodre skozi krošnje dreves in se odbije od nižjih delov krošenj (od vej, debla) ali od gozdnih tal. Odstotek laserskih žarkov, ki prodrejo do posameznega višinskega razreda, je opredeljen z deležem prodiranja laserskih žarkov. Delež prodiranja je odvisen od parametrov

skeniranja (predvsem od gostote laserskih točk in divergence laserskega žarka) (Vosselman et al., 2010, str. 217) ter od vrste in gostote vegetacije. Pri listavcih je potrebno upoštevati letni čas snemanja, saj je penetracija laserskih žarkov v času njihove olistanosti manjša. Za evropski tip iglastih in listnatih gozdov lahko ob približno vertikalnem vpadnem kotu laserskega žarka pričakujemo 20-40 % delež prodiranja do tal. V zimskem času se za listnate gozdove odstotek odbojev, ki prikazujejo tla, približa 70 % (Ackermann, 1999).

Na sliki 6 sta prikazana dva tipa vegetacije v olistanem delu leta: redko mediteransko rastje (slika 6a) in gost termofilni gozd (slika 6b). V olistanem delu leta je delež odbojev, ki prikazujejo tla, v primeru redkega mediteranskega rastja 20 %, v primeru gostega termofilnega gozda pa je takšnih odbojev samo 6 % (Triglav Čekada, 2011).



Slika 6: Primera različnega rastja na izsekih ortofota merila 1 : 1000 in prečnem prerezu skozi laserske točke z gostoto 20 točk/m²: a) redko mediteransko rastje - pretežno nizko grmičevje (prevladujejo črnika, puhasti hrast, črni gaber) in b) termofilni gozd mešanih listavcev z gostim prepletom drevesnega rastja (prevladujejo hrast graden, javor maklen, akacija, bela breza)
(Triglav Čekada, 2011)

2.2.3 Gostota laserskih točk

Pri načrtovanju laserskega skeniranja je eden najpomembnejših parametrov gostota laserskih točk. Gostota laserskih točk na enoto površine je število točk na m^2 . Ta vrednost nam pove, kakšne objekte bomo še lahko rekonstruirali iz oblaka laserskih točk, kakšna bo natančnost določitve oblik objektov in kdaj bomo še lahko ločili dva objekta med seboj. Večina obstoječih tehnik za obdelavo laserskih podatkov predvideva enako gostoto za celoten oblak točk. Vendar pa doseganje enotne gostote točk na obravnavanem območju v praksi ni mogoče. Razlike v gostoti so posledica različnega števila redov odbojev posameznih laserskih žarkov na območju skeniranja (na stavbi dobimo en laserski odboj, na rastju več), različnih stopenj prekrivanja snemalnih pasov in različnih odbojnih in absorpcijskih lastnosti objektov, od katerih naj bi se laserski žarek odbil (Triglav Čekada, 2009).

Želena gostoto laserskih točk na enoto površine se določi glede na namen laserskega skeniranja, npr. za 3D-modele poseljenih območij, za poplavno ogrožena območja, za analize z vegetacijo poraslih območij itd. Za izdelavo splošnih digitalnih modelov reliefa (DMR) za celotno državo je primerno že snemanje z majhno gostoto laserskih točk (do 5 točk/ m^2) (Triglav Čekada, 2011). Pri uporabi aerolaserskega skeniranja za potrebe v gozdarstvu (npr. za določitev gozdne biomase, ocenjevanje značilnosti posameznih dreves ipd.) je zahtevana gostota točk višja in z gostejšo vegetacijo na obravnavanem območju še narašča.

Z gostoto laserskih točk ni povezana samo natančnost pridobljenih podatkov, ampak tudi stroški oziroma morebitni prihranki, če nam uspe zagotoviti optimalno gostoto glede na namen skeniranja. Ker večja gostota točk pomeni časovno daljše in posledično dražje zajemanje podatkov, želimo zagotoviti ravno pravo (minimalno, vendar še zadostno) gostoto točk za določen namen.

Z upoštevanjem teorema vzorčenja⁶ izračunamo teoretično minimalno gostoto laserskih točk s pomočjo enačbe (2). Ob tem predpostavljamo, da so točke, ki prodrejo do tal, razporejene v isti ravnini, ki opisuje tla.

$$\rho_t = \frac{1}{(GA/2)^2} \quad (2)$$

GA je geometrijska točnost zemljevida izražena v metrih, ki jo izračunamo kot zmnožek grafične točnosti in merila zemljevida.

⁶ Teorem vzorčenja, imenovan tudi Nyquist-Shannonov teorem, je eno osnovnih načel diskretne obdelave signalov. V primeru lidarskih podatkov teorem vzorčenja služi za izračun minimalne frekvence oz. minimalne gostote vzorčenja; $f_s = f_r/2$, kjer je f_r prava frekvenca (gostota) objektov v fizičnem prostoru in f_s frekvenca (gostota) vzorčenja, ki še omogoča pravilno predstavitev fizičnega prostora (Triglav Čekada, 2009).

Minimalna gostota točk, izračunana po enačbi (2) bi veljala le, če bi bil delež penetracije laserskih žarkov do tal 100 %. Ker pa v praksi velikokrat želimo pridobiti tudi podatke o objektih, skritih pod vegetacijo, je potrebno prej izračunano teoretično minimalno gostoto laserskih točk povečati, saj se delež penetracije zaradi vegetacije zmanjša. Triglav Čekada (2009, str. 105) imenuje želeno gostoto laserskih točk pod vegetacijo optimalna gostota laserskih točk. Optimalno gostoto lahko izračunamo iz minimalne gostote laserskih točk ρ_t in deleža prodiranja DP (tega lahko določimo na osnovi testnega območja z določeno vegetacijo – glej Triglav Čekada, 2009):

$$\rho_0 [\text{tč}/\text{m}^2] = \frac{\rho_t [\text{tč}/\text{m}^2] \cdot 100}{DP [\%]} \quad (3)$$

Območje obravnave je smiselno razdeliti na manjša območja z istim tipom vegetacije in za vsak takšen tip določiti delež laserskih točk, ki se bodo odbile od tal. Naročnik podatkov se tako lahko odloči za naročilo snemanja z optimalno gostoto točk glede na namen oz. vrsto vegetacije (Triglav Čekada, 2009).

2.2.4 Odbojnost laserskega žarka od tarče

Podatki, ki jih pridobimo z laserskim skeniranjem, vsebujejo poleg koordinat posameznih točk tudi informacijo o intenziteti odbojev od teh točk. Intenziteta v sprejemnik vrnjenih impulzov nam podaja informacijo o odbojnosti površine objektov, kar lahko izkoriščamo za klasifikacijo rabe tal in zaznavanje različnih vrst tarč oz. objektov in pojavov na terenu.

Intenziteta je razmerje med izsevano energijo oddanega laserskega žarka in izmerjeno prejeta energijo laserskega odboja. Energija odboja je vedno manjša od oddane energije in je odvisna od več faktorjev (Triglav Čekada, 2011):

- razdalje med oddajnikom in tarčo
- divergence laserskega žarka (intenziteta pada z večjo divergenco)
- velikosti laserskega odtisa
- kota skeniranja - t.j. kota pod katerim laserski žarek zadane tarčo
- atmosferskih pogojev (vsebnost vlage in aerosolov)
- lastnosti tarče (velikost, struktura (hrapavost), odbojnost)
- tehničnih karakteristik sprejemnika.

Podatkov o izmerjeni intenziteti posameznih točk zaradi zgoraj navedenih vplivov ni mogoče neposredno uporabiti za identifikacijo tipa tarč. Zaradi motečih faktorjev so namreč merjene vrednosti

intenzitete popačene, zato je njihova uporaba za natančno rekonstrukcijo jakosti odboja neprimerna. Vplive, ki popačijo moč intenzitete odboja, je potrebno odstraniti oziroma minimizirati. Vplive višine leta in kota skeniranja lahko odstranimo z radiometrično kalibracijo podatkov intenzitete in tako dobimo karto psevdo-odbojnosti, ki omogoča približno samodejno klasifikacijo laserskih točk na osnovi intenzitete (Triglav Čekada, 2011). Za natančnejšo avtomatsko klasifikacijo morajo biti upoštevani še preostali vplivi, ki popačijo meritve intenzitete.

Topografski laserski sistemi uporabljajo bližnjo infrardečo svetlobo (angl. NIR⁷). Meritve, ki so bile izvedene v Sloveniji, so bile večinoma opravljene z laserskimi sistemi, ki uporabljajo valovno dolžino 1064 nm. Pri tej valovni dolžini je prosojnost atmosfere velika in tudi albedo rastlinstva in tal je dovolj visok, poleg tega pa je nevarnost za človekov vid majhna (Triglav Čekada, 2011).

Dobri odbojniki imajo odbojnost blizu 1. Takšni odbojniki so dobra izbira za kontrolne točke, ki služijo za preverjanje natančnosti laserskega skeniranja ali za vezne točke, preko katerih lahko povežemo oblak laserskih točk z drugimi podatki (npr. slikovnimi).

Vrednosti intenzitet, ki pripadajo posameznim laserskim točkam, so v rastrskem modelu predstavljene v slikovnih elementih (angl. pixels) različnih tonskih vrednosti (običajno v sivih tonih). Takšen slikovni prikaz je podoben ortofotu (glej sliki 7 in 8). Podoba intenzitete je že georeferencirana in ortorektificirana, na njej ni senc (kot so npr. pri ortofotu) in ima pravo merilo. Medtem ko ortofoto (ali druge pankromatske podobe) zajema vse valovne dolžine vidnega spektra, zajema podoba intenzitete, pridobljena z aerolaserskim skeniranjem, eno samo valovno dolžino. Posamezne valovne dolžine naprav laserskega skeniranja se nahajajo bodisi znotraj vidnega dela spektra bodisi v bližnjem infrardečem spektru elektromagnetnega valovanja. Podoba intenzitete odbitih laserskih žarkov je zato precej podobna naravnemu dožemanju odbite vidne svetlobe (Švab Lenarčič, 2009).

⁷ NIR je kratica za »Near infrared«.



Slika 7: Slikovni prikaz laserskih točk naselja Praproče na Podgorskem krasu glede na intenziteto točk



Slika 8: Ortofoto naselja Praproče na Podgorskem krasu

V gozdarstvu si z intenziteto pomagamo pri identifikaciji različnih vegetacijskih tipov.

2.3 Obdelava laserskih podatkov

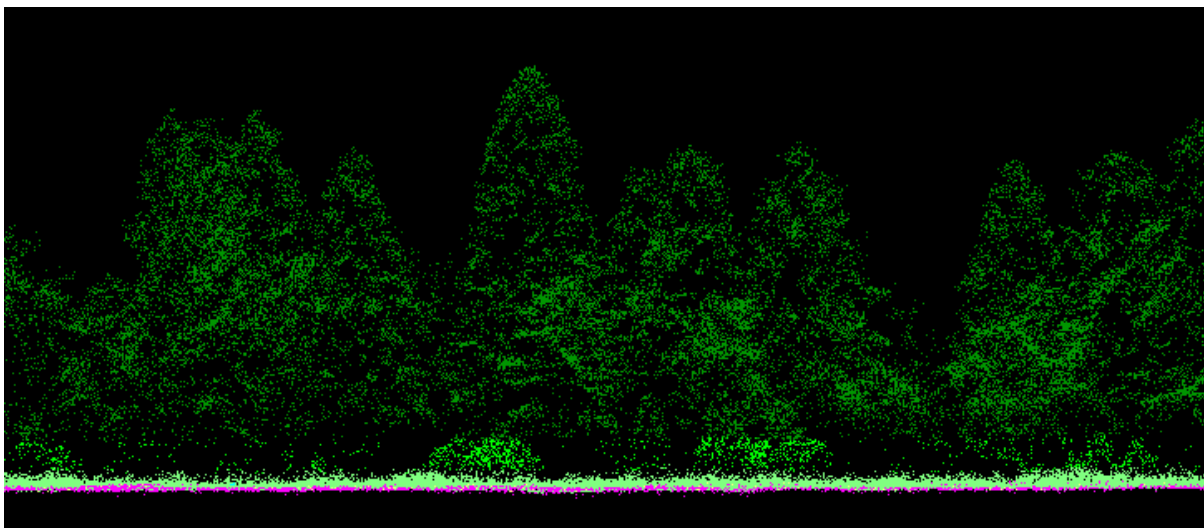
Oblak laserskih točk je zapisan s tremi koordinatami in običajno več atributi. Taka oblika zapisa pa ni najbolj primerna za analize, zato je potrebno laserske podatke še dodatno obdelati (Oštir, 2006). Glavni komponenti naknadne obdelave sta filtriranje in klasifikacija podatkov.

2.3.1 Filtriranje

Filtriranje podatkov je postopek ločevanja zelenih podatkov od neželenih. Oblak laserskih točk vsebuje odboje, ki so se odbili na različnih predmetih. Pri tem gre za odboje od vrhov stavb, vegetacije, za odboje znotraj vegetacije (npr. od vej) ali vode, pa tudi za odboje od golih tal. Pri meritvah topografskih lastnosti površja se s postopkom filtriranja loči točke, ki pripadajo oz. ne pripadajo tlom; po postopku filtriranja v izhodni datoteki obdržimo bodisi ene ali druge točke. Rezultat je tako digitalni model reliefa (DMR) ali digitalni model površja (DMP).

2.3.2 Klasifikacija

Pri interpretaciji laserskih podatkov je pomemben korak tudi klasifikacija. Gre za proces prepoznavanja določenih geometrijskih struktur ali objektov (zgradbe, ceste, drevesa ipd.). Točke na podlagi skupnih lastnosti razdelimo v razrede, katerih število je poljubno oz. odvisno od zahtev.



Slika 9: Oblak klasificiranih laserskih točk

»Ta stran je namenoma prazna.«

3 UPORABLJENI PODATKI, METODOLOGIJA IN PROGRAMSKA OPREMA

3.1 Podatki

Za raziskavo deleža prodiranja laserskih žarkov sem imela na voljo podatke aerolaserskega skeniranja in ortofoto posnetke cikličnega aerofotografiranja Slovenije (CAS) v merilu 1 : 5000. Ortofoto posnetki so mi bili v pomoč pri izbiri testnih območij in pri določitvi koordinat obodov teh območij. Pomagala sem si še s podatkovno podlago, ki prikazuje razdelitev Slovenije na posamezne liste merila 1 : 5000.

Za območji Ljubljansko barje in Podgorski kras sem v diplomski nalogi uporabila podatke, pridobljene v okviru projekta Lasersko skeniranje in aerofotografiranje 2011. Podatki za območje Mali graben so bili pridobljeni že leta 2007, zato so ti podatki na voljo le v starem koordinatnem sistemu. Zaradi lažje primerjave sem tako tudi za območji Ljubljansko barje in Podgorski kras uporabila laserske podatke, ki so bili transformirani iz D96/TM v Gauss-Kruegerjev koordinatni sistem (D48).

3.1.1 Lasersko skeniranje in aerofotografiranje 2011: A8 in B21

Na podlagi javnega naročila, ki ga je leta 2010 izdala Geodetska uprava Republike Slovenije, se je leta 2011 pričelo izvajanje projekta Lasersko skeniranje in aerofotografiranje 2011. Namen projekta je bil zagotoviti natančne podatke o reliefu za celotno Slovenijo, ki bi služili predvsem kot podlaga pri izdelavi kart poplavne nevarnosti ter načrtovanju in urejanju prostora. Projekt se je pred koncem izvedbe nenačrtovano prekinil.

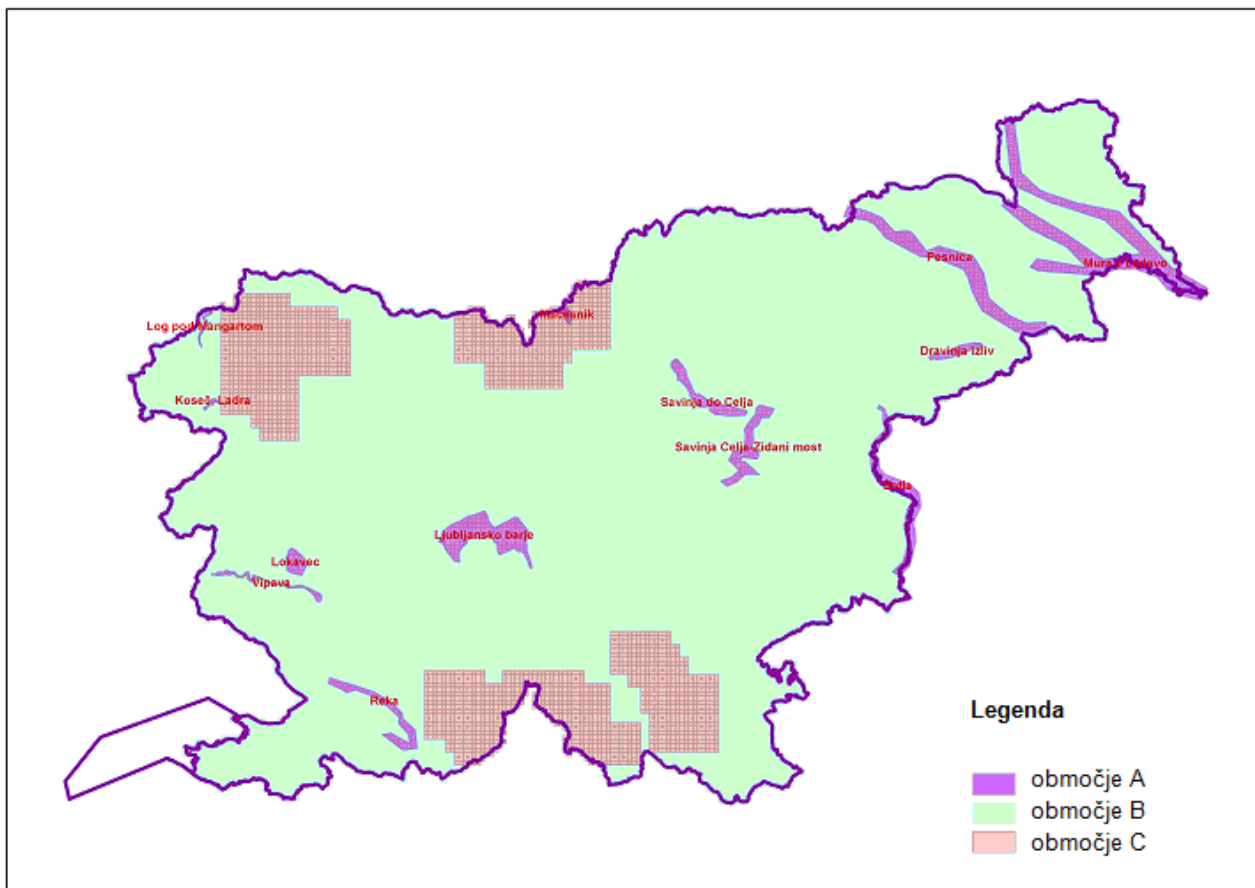
Območje projekta obsega območje celotne Slovenije (20.273 km²) in čezmejni pas v širini 250 m. Glede na namen je bila Slovenija razdeljena na območja A, B in C (Slika 10), ki se razlikujejo v gostoti laserskih točk:

- območje A: 10 točk/m² (štiri območja zemeljskih plazov in devet poplavnih območij)
- območje B: 5 točk/m² (večji del države oz. osrednja Slovenija)
- območje C: 2 točki/m² (visokogorje in območja velikih gozdov)

Osnovni izdelki za posamezna območja so:

- območje A: georeferenciran oblak točk laserskega skeniranja, aerofotografije, DMR in ortofoto
- območji B in C: georeferenciran oblak točk laserskega skeniranja in DMR.

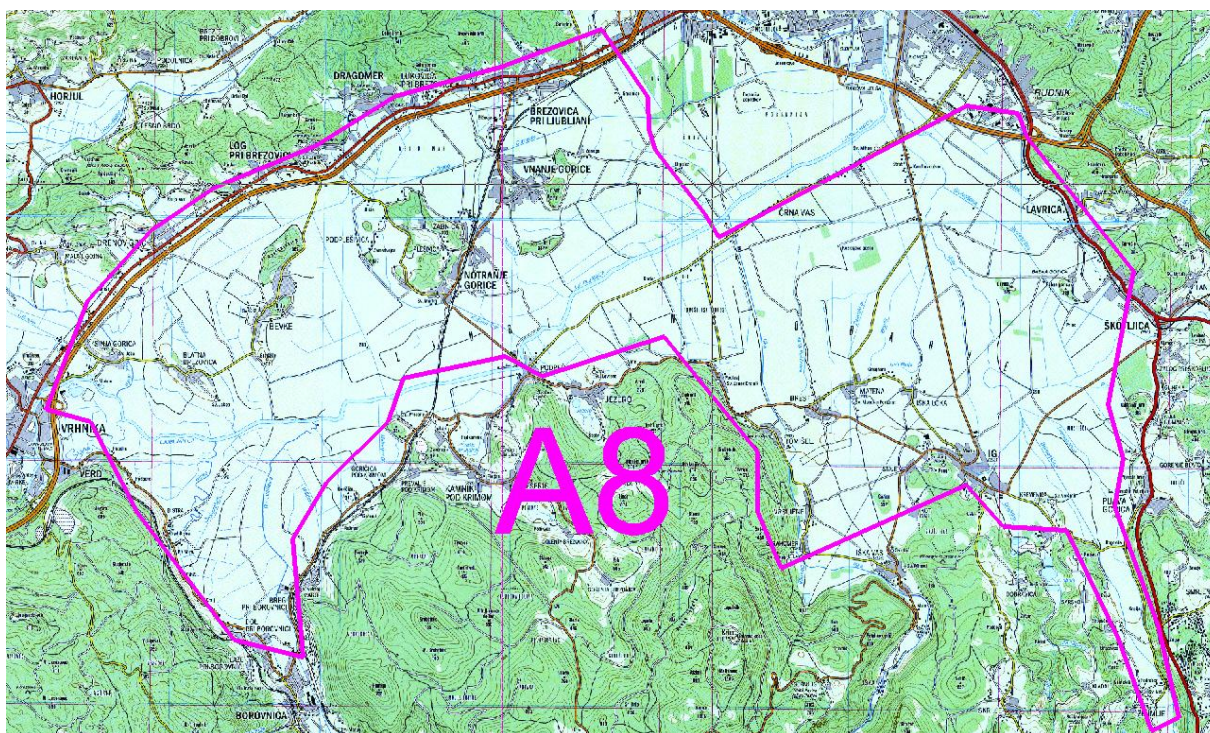
Vsi podatki so pripravljene v novem državnem koordinatnem sistemu D96/TM, transformirani pa so tudi v stari Gauss-Kruegerjev koordinatni sistem (D48) (GURS, 2011).



Slika 10: Območja različnih gostot Laserskega skeniranja Slovenije 2011 (Ministrstvo za okolje in prostor, 2010)

3.1.1.1 Lasersko skeniranje območja A8 – Ljubljansko barje

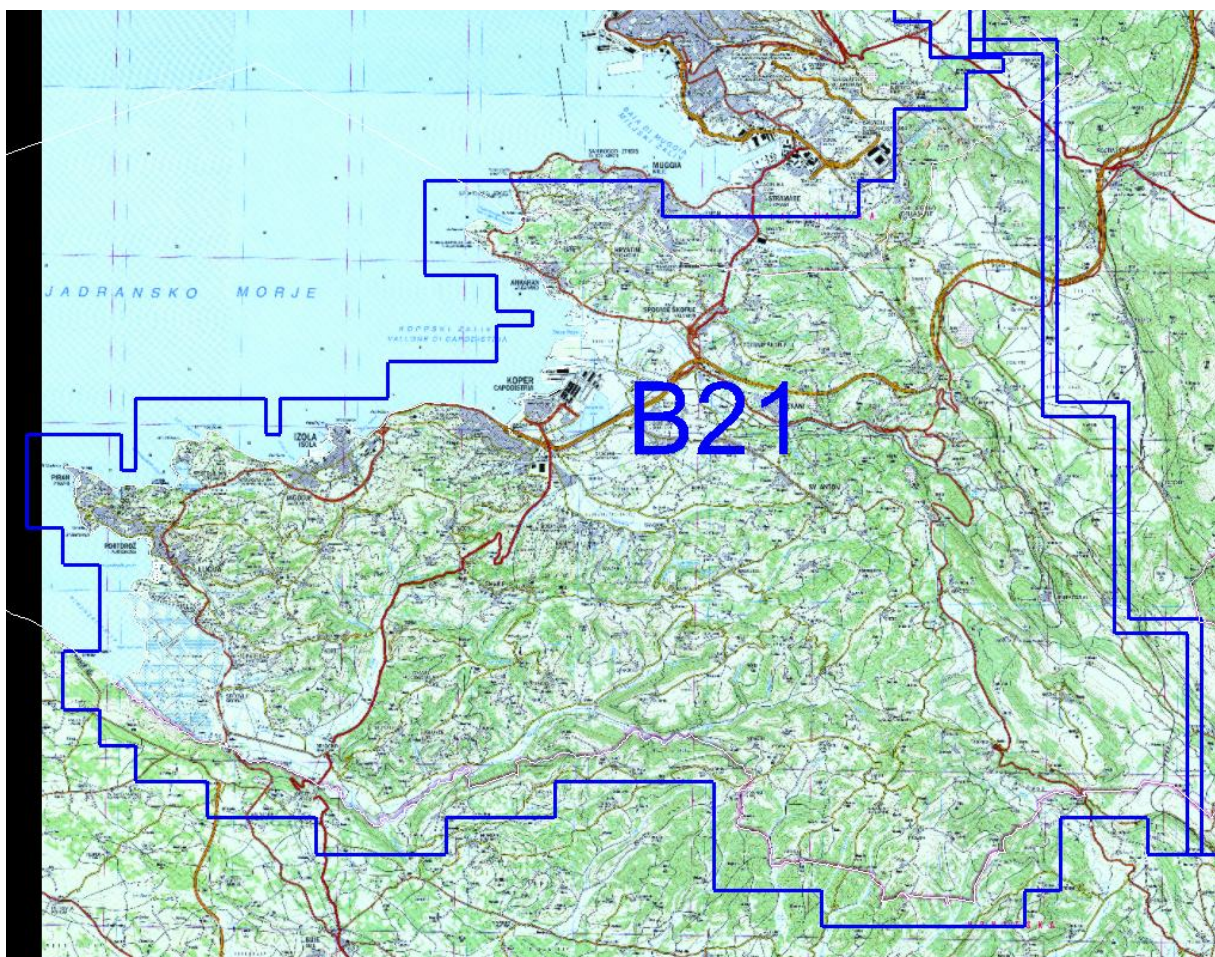
Lasersko skeniranje območja A8 - Ljubljansko barje (slika 11) je izvedlo podjetje GEOIN iz Maribora 9. marca 2011. Območje je bilo posneto z laserskim skenerjem Optech ALTM Gemini 167, nominalna gostota snemanja pa je bila 10 točk na m² (GEOIN, 2011).



Slika 11: Območje laserskega skeniranja: blok A8 (Ljubljansko barje) (GEOIN, 2011)

3.1.1.2 Lasersko skeniranje območja B21 – Primorje

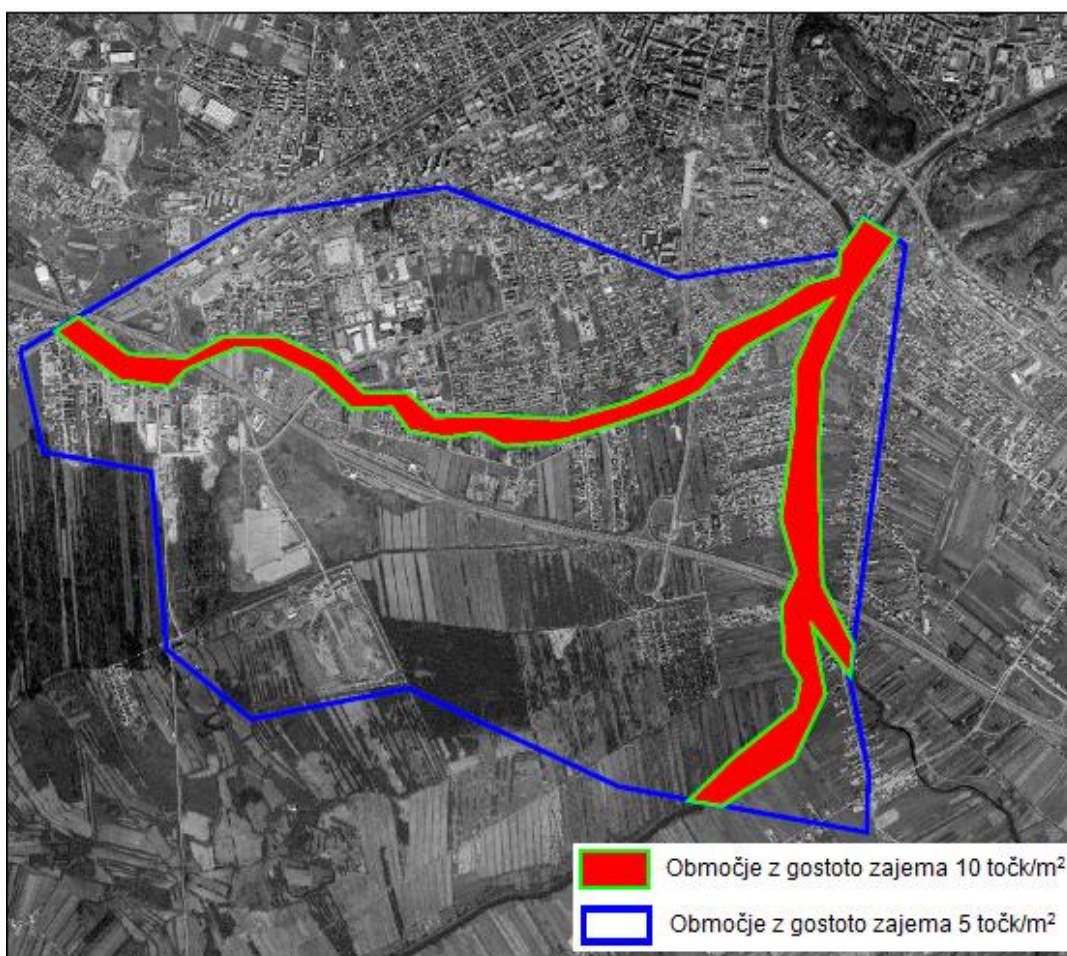
Dne 4., 5. in 8. marca 2011 je podjetje GEOIN izvedlo lasersko skeniranje za območje bloka B21 – Primorje (slika 12). Uporabljen je bil laserski skener Optech ALTM Gemini 167, nominalna gostota snemanja je bila 5 točk na m² (GEOIN, 2011).



Slika 12: Območje laserskega skeniranja: blok B21 (Primorje) (GEOIN, 2011)

3.1.2 Lasersko skeniranje Malega grabna

Laserski podatki za območje Malega grabna (slika 13) so bili posneti 5. aprila 2007. Projekt je izvedlo podjetje Flycom na podlagi javnega naročila »Izdelava digitalnega modela višin z lidar tehnologijo in ortofoto posnetkov za potrebe upravljanja z vodami«, ki ga je marca 2007 izdalo Ministrstvo za okolje in prostor. Zahtevana gostota snemanja je bila 5 točk na m² oz. za območje vodotokov 10 točk na m², kot prikazuje slika 13 (Projektna naloga za izdelavo digitalnega modela višin..., 2007).



Slika 13: Območje laserskega skeniranja: Mali graben (Projektna naloga za izdelavo digitalnega modela višin..., 2007)

Vse podatke laserskega skeniranja sem pridobila v formatu LAS. Podatki so bili predhodno že klasificirani v programu TerraScan po standardnih klasifikacijskih kodah, sprejetih s strani ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing), ki jih prikazuje preglednica 1.

Preglednica 1: Klasifikacija laserskih točk v razrede (ASPRS, 2009)

Klasifikacijska vrednost	Pomen	Angl. pomen
0	ustvarjeno	created, never classified
1	neklasificirano	unclassified
2	tla	ground
3	nizka vegetacija	low vegetation
4	srednja vegetacija	medium vegetation
5	visoka vegetacija	high vegetation
6	stavbe	building
7	šum	low point (noise)
8	ključna točka	model key-point (mass point)
9	voda	water
10	rezervirano za ASPRS definicijo	reserved for ASPRS definition
11	rezervirano za ASPRS definicijo	reserved for ASPRS definition
12	dvojne točke	overlap points
13-31	rezervirano za ASPRS definicijo	reserved for ASPRS definition

3.1.3 Državni ortofoto

Pogosto se hkrati z laserskim skeniranjem izvaja tudi aerofotografiranje, ki omogoča izdelavo ortofota. Značilnost aeroposnetkov je, da predstavljajo upodobitev fizičnega prostora v centralni projekciji. Ortofoto pa je aerofotografija, ki je z upoštevanjem podatkov o reliefu pretvorjena v ortogonalno projekcijo. Natančnost ortofota je tako v veliki meri odvisna od natančnosti vhodnega DMR.

Ortofoto se običajno uporablja kot rastrska podlaga za različne prostorske aplikacije, v okviru izdelave diplomske naloge sem ga npr. učinkovito uporabila za interpretacijo vegetacijskih podatkov laserskega skeniranja.

Na voljo sem imela liste državnega ortofota, ki so bili izdelani v letih 2009-2011. Barvni ortofoto DOF050 je bil izdelan po razdelitvi na liste merila 1 : 5000 za celotno območje Republike Slovenije + 250 m pas preko državne meje.

3.2 Uporabljena programska oprema

3.2.1 LAStools – odprtokodna programska oprema za upravljanje z aerolaserskimi podatki

LAStools je zbirka orodij za obdelavo laserskih podatkov, shranjenih v formatu LAS, ki jo je razvil in jo ves čas dopolnjuje in izboljšuje Martin Isenburg. Orodja omogočajo transformacijo med različnimi formati (angl. converting), filtriranje, pregledovanje in stiskanje podatkov (Stavbar, 2011).

V preglednici 2 je podanih nekaj zanimivejših orodij za obdelavo laserskih podatkov vključno s tistimi, ki sem jih uporabila tekom diplomskega dela. Preostala orodja in podrobnejši opis delovanja ter navodila za uporabo (README.txt) pa so zbrana na spletni strani programa *LAStools* (LAStools, 2012).

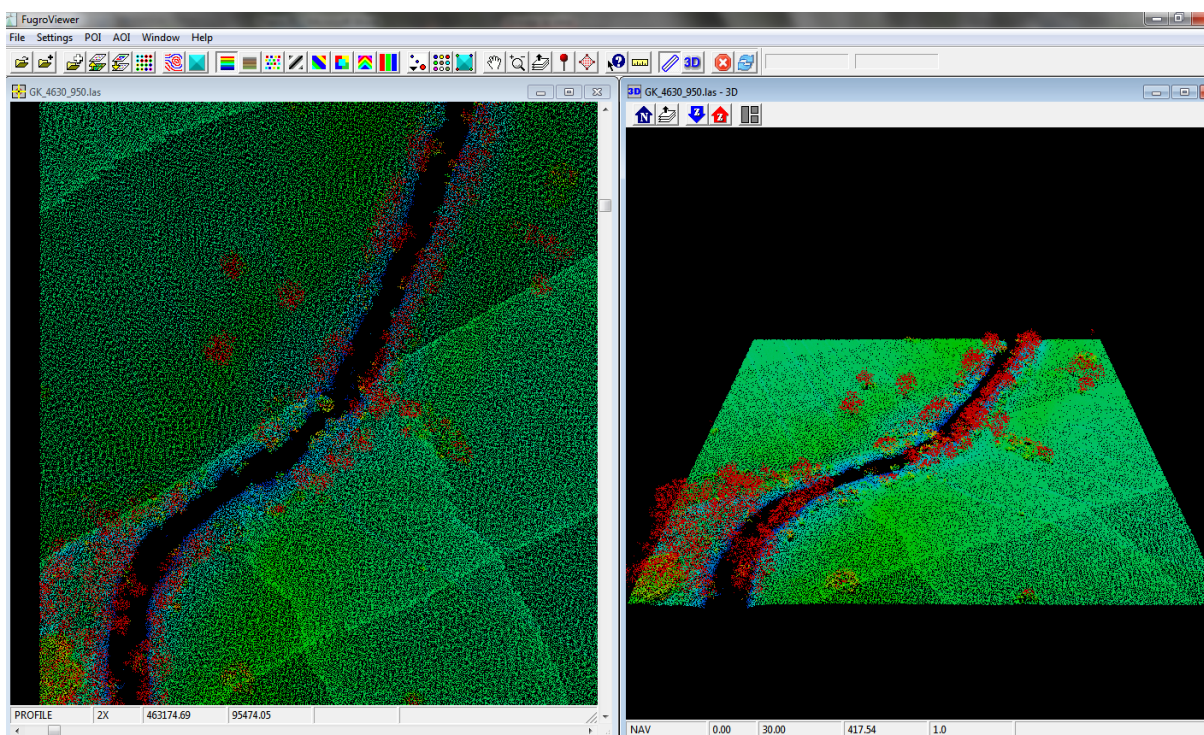
Preglednica 2: Seznam nekaterih LAStools orodij

Orodje	Opis
lasinfo.exe	Omogoča splošen pogled vsebine LAS datoteke.
lasview.exe	Preprost pregledovalnik, ki omogoča izračun in prikaz TIN ⁸ .
las2las.exe	Bere in zapisuje LAS/LAZ/ASCII datoteke, ki jih na kakršenkoli način spreminjamo (filtriranje, transformiranje, redčenje,...).
las2txt.exe	Pretvori binarni LAS format v tekstovni ASCII format.
lasground.exe	S klasifikacijo točk v talne in ne-talne omogoča definiranje golega površja (bare-earth extraction).
lasheight.exe	Na podlagi klasifikacije določi točke, ki predstavljajo tla in tvorijo DMR, nato pa izračuna višino vseh ne-talnih točk nad tlemi.
las2shp.exe	Pretvori LAS format v ESRI-jev Shape format.
las2dem.exe	Točke začasno triangulira v TIN nato pa TIN rasterizira v DMR.
lastile.exe	Velike LAS datoteke razreže na manjše.

⁸ TIN (angl. triangulated irregular network) je nepravilna mreža trikotnikov. TIN se uporablja za prikaz terena s trikotniškimi ploskvami, katerih vogali se združujejo v znanih višinskih točkah (Zore, 2007).

3.2.2 FugroViewer

FugroViewer je program, ki omogoča pregledovanje in analiziranje 3D-prostorskih podatkov. Namenjen je predvsem pregledovanju laserskih točk, pa tudi fotogrametričnih in IFSAR podatkov. Program omogoča prikaz laserskih točk, obarvanih glede na različne lastnosti, ki so jim pripisane (npr. glede na višino (slika 14), glede na klasifikacijo...). V njem je mogoče odpreti tudi georeferencirane rastrske slike, npr. ortofoto.



Slika 14: Prikaz oblaka laserskih točk, obarvanih glede na višino, v pregledovalniku FugroViewer:
levo - tlorisni pogled, desno - 3D-pogled

Pri izdelavi diplomske naloge sem si pomagala predvsem z dvema orodjema: 3D-pogled (angl. *3D View*) in prečni profil (angl. *Profile tool*). Prvo orodje je namenjeno prikazovanju oblaka točk, ki ga lahko poljubno zavrtimo okoli katerekoli osi, orodje Prečni profil pa omogoča zajem izbranega območja točk pravokotne oblike in njegov prikaz v prečnem preseku (FugroViewer, 2013; Šoič, 2012).

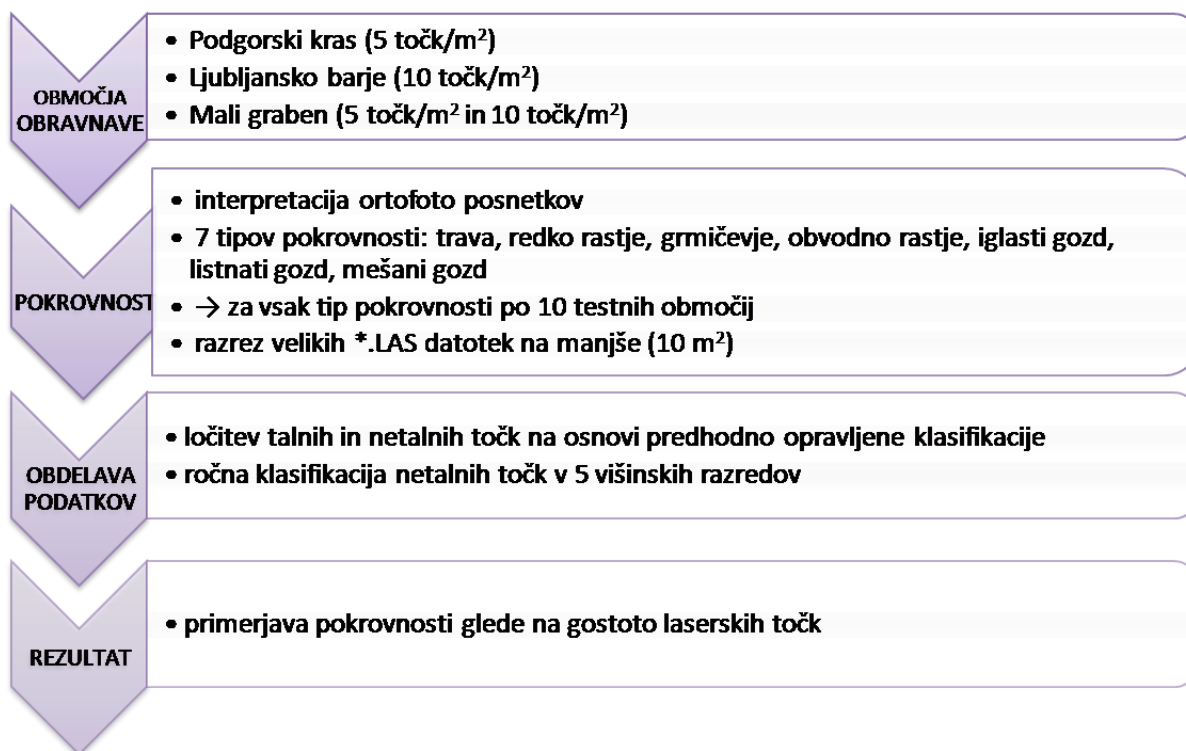
3.2.3 Quantum GIS

Quantum GIS (QGIS) je uporabniku prijazen odprtokodni namizni GIS program, napisan v programskem jeziku C++, ki ga je razvil Gary Sherman. Avtorjev prvotni cilj je bil razviti pregledovalnik prostorskih podatkov (prva različica programa je izšla leta 2002), vendar se je program skozi čas razvil v več kot samo pregledovalnik. Program *Quantum GIS* tako omogoča (Quantum GIS, 2011):

- pregledovanje vektorskih in rastrskih podatkov v različnih formatih in projekcijah
- izdelavo kartografskih prikazov in interaktivno raziskovanje prostorskih podatkov
- izdelavo, urejanje in izvoz prostorskih podatkov
- izvajanje prostorskih analiz
- objavlanje kartografskih prikazov na spletu.

3.3 Metodologija

Delež prodiranja laserskih točk bom ocenila s preštevanjem točk, ki padejo v posamezen razred, ki sem ga določila glede na ocenjeno višino določenega tipa rasti. Pri analizi deleža prodiranja bom upoštevala tudi gostoto snemanja (št. točk na m²). Metodologija je poenostavljeno prikazana v obliki diagrama na sliki 15.



Slika 15: Diagram poteka raziskave

V programu *Quantum GIS* sem s pomočjo ortofoto posnetkov določila testna območja obravnave. Za vsak tip pokrovnosti⁹ (Preglednica 4) sem na obravnavanih območjih Podgorski kras, Ljubljansko barje in Mali graben našla po deset testnih območij.

Testna območja sem izbrala na predelih brez prekrivanja, na območju Podgorskega krasa pa sem za vse izbrane tipe pokrovnosti naredila test še na območjih s prekrivajočimi se pasovi laserskega skeniranja. Gostota točk na teh območjih je bila dvakrat večja od nominalne gostote na območjih brez prekrivanja.

⁹ Pokrovnost tal je opazovan biofizični pokrov na površju zemlje, viden z očmi ali s pomočjo daljinsko zaznavnih tehnik, ki ni opredeljen po namenu oziroma uporabi (Statistični urad Republike Slovenije, 2007). Baza podatkov o pokrovnosti tal Slovenije je rezultat projekta CORINE Land Cover (CLC), ki je bil razvit za oblikovanje konsistentnih in homogenih podatkov o pokrovnosti tal za celotno Evropsko unijo (Agencija Republike Slovenije za okolje, 2013.)

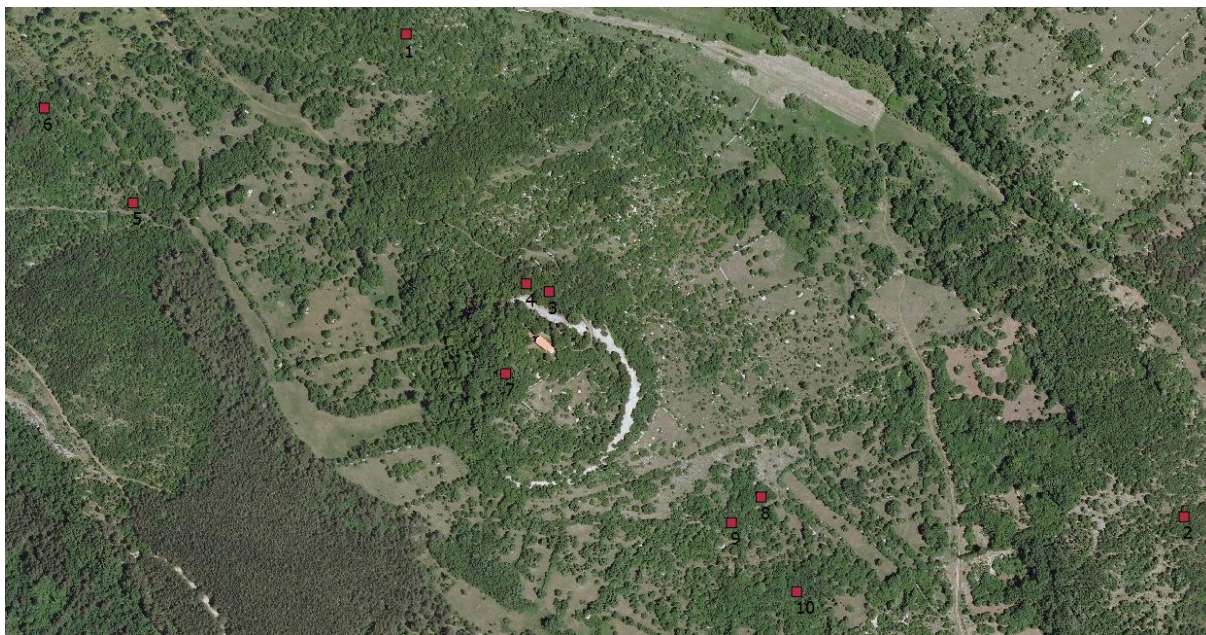
Hkrati z ugotavljanjem deleža prodiranja laserskih točk sem ugotavljala tudi višino rastja, zato je bilo najprej potrebno opraviti klasifikacijo točk po višinskih razredih. Laserski podatki, ki sem jih imela na voljo, so bili že predhodno klasificirani. Ker sem klasifikacijo želela opraviti neodvisno od programske opreme, sem se poslužila le postopka filtriranja za ločitev talnih točk od ne-talnih, ki je bil opravljen na osnovi klasifikacije točk v programu *TerraScan*. Postopek filtriranja je namreč osnova za generiranje modela reliefa in vsako nadaljnjo analizo, kot je npr. pridobitev informacij o višini vegetacije ali stavb. Nadaljnja klasifikacija ne-talnih točk pa je bila opravljena »ročno« s preštevanjem točk, ki padejo v posamezen višinski razred. Višino vsake ne-talne točke nad DMR sem določila s pomočjo orodja *lasheight.exe* v programski opremi *LAStools*. Orodje deluje tako, da najprej opravi filtracijo točk: točke s klasifikacijo 2 (talne točke; angl. ground points) uporabi za izračun DMR. Nato izračuna višino vseh ne-talnih točk s predpostavko, da imajo talne točke višino enako 0.

Ker imam v diplomski nalogi opravka predvsem z vegetacijo, sem laserske točke klasificirala po razredih samo glede na višino. Drugih atributov (npr. intenziteto odbitega impulza) pri klasificiranju nisem upoštevala. Višinske razrede znotraj oblaka laserskih točk sem določala ročno s preštevanjem točk, ki padejo v določen razred. Obseg razredov je bil ocenjen približno glede na značilnosti rastja na obravnavanih območjih. Določila sem 5 višinskih razredov: tla, trava, grmičevje, srednja vegetacija in visoka vegetacija, ki so prikazani v preglednici 3.

Preglednica 3: Višinski razredi in njihove meje

Višinski razred	Meje razreda (nad tlemi)
tla	0
trava	0 m – 0,3 m
grmičevje	0,3 m – 2 m
srednja vegetacija	2 m – 5 m
visoka vegetacija	> 5 m

Metodologijo bom prikazala še na konkretnem primeru enega tipa pokrovnosti: na območju Podgorskega krasa sem preučevala pokrovnost »listnati gozd«. S pomočjo interpretacije ortofoto posnetka v programu *Quantum GIS* sem poiskala deset testnih območij, poraščenih z listnatim gozdom (slika 16). Da bo analiza korektna, morajo biti območja enake velikosti. Razrez datotek z velikimi količinami laserskih točk na manjše, ki vključujejo le točke na zelenem območju, velikosti 10 m², sem opravila v programu *LAStools* z orodjem *lastile.exe*.






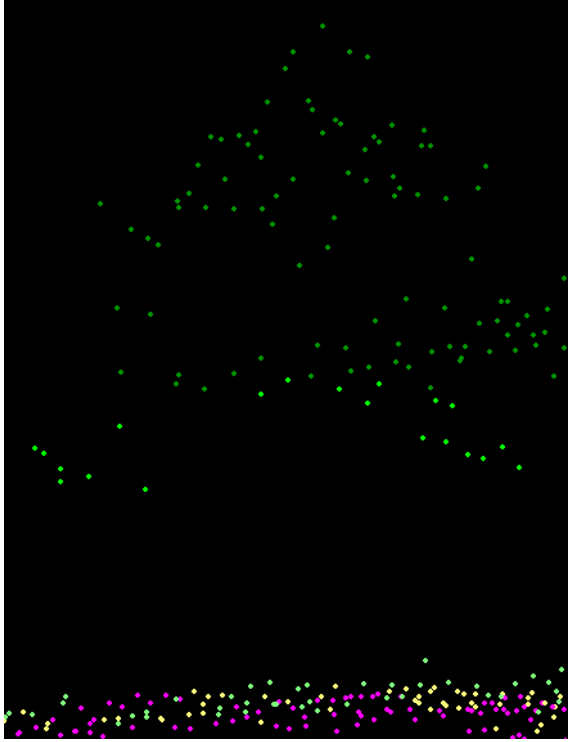
Slika 16: Testna območja za pokrovnost "listnati gozd" na Podgorskem krasu


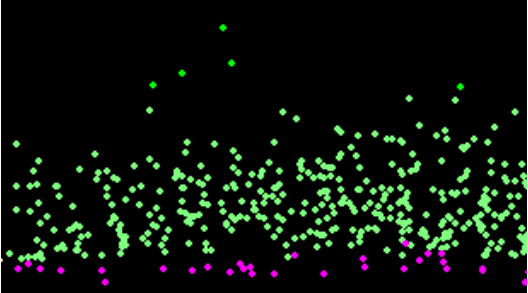

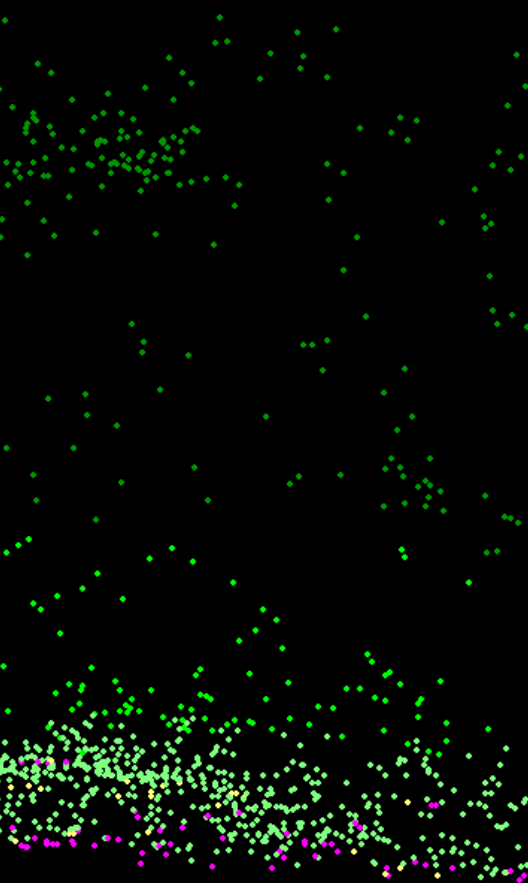
Sledil je postopek klasifikacije: višine laserskih ne-talnih točk znotraj enega testnega območja sem določila s pomočjo orodja *lasheight.exe*. Rezultat obdelave točk v programu *lasheight.exe* je datoteka, v kateri je vsaka posamezna točka opredeljena s horizontalnimi koordinatami in višino nad tlemi. Ker je takšna datoteka v binarnem LAS formatu, sem jo z orodjem *las2txt.exe* pretvorila v tekstovno datoteko. V takšni obliki sem nato podatke izvozila v program *Excel*, kjer sem točke klasificirala po višinskih razredih. Na koncu sem iz vseh desetih testnih območij pokrovnosti »listnati gozd« izračunala povprečja deležev točk, ki padejo v določen višinski razred.


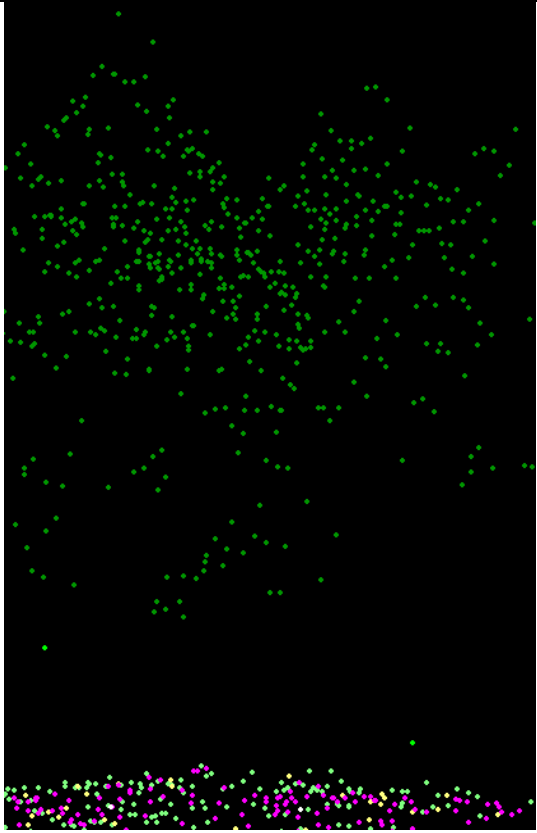

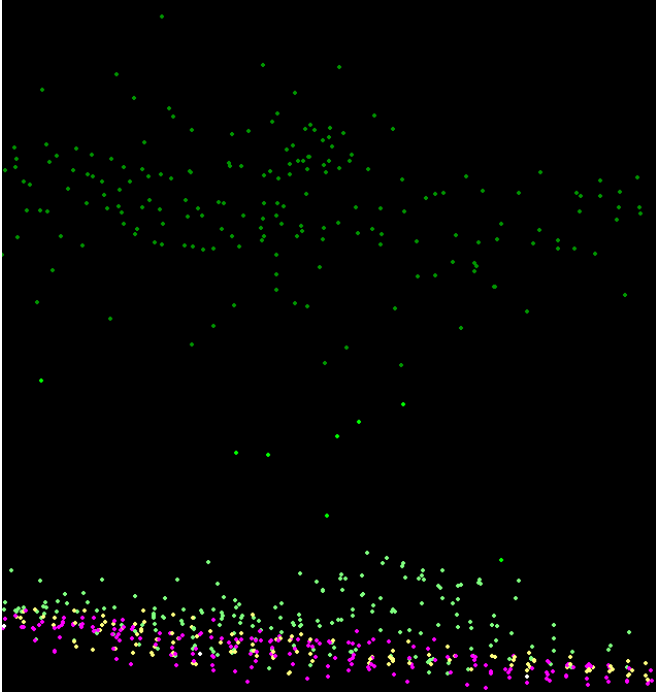
Enak postopek sem nato ponovila še za preostale tipe pokrovnosti.

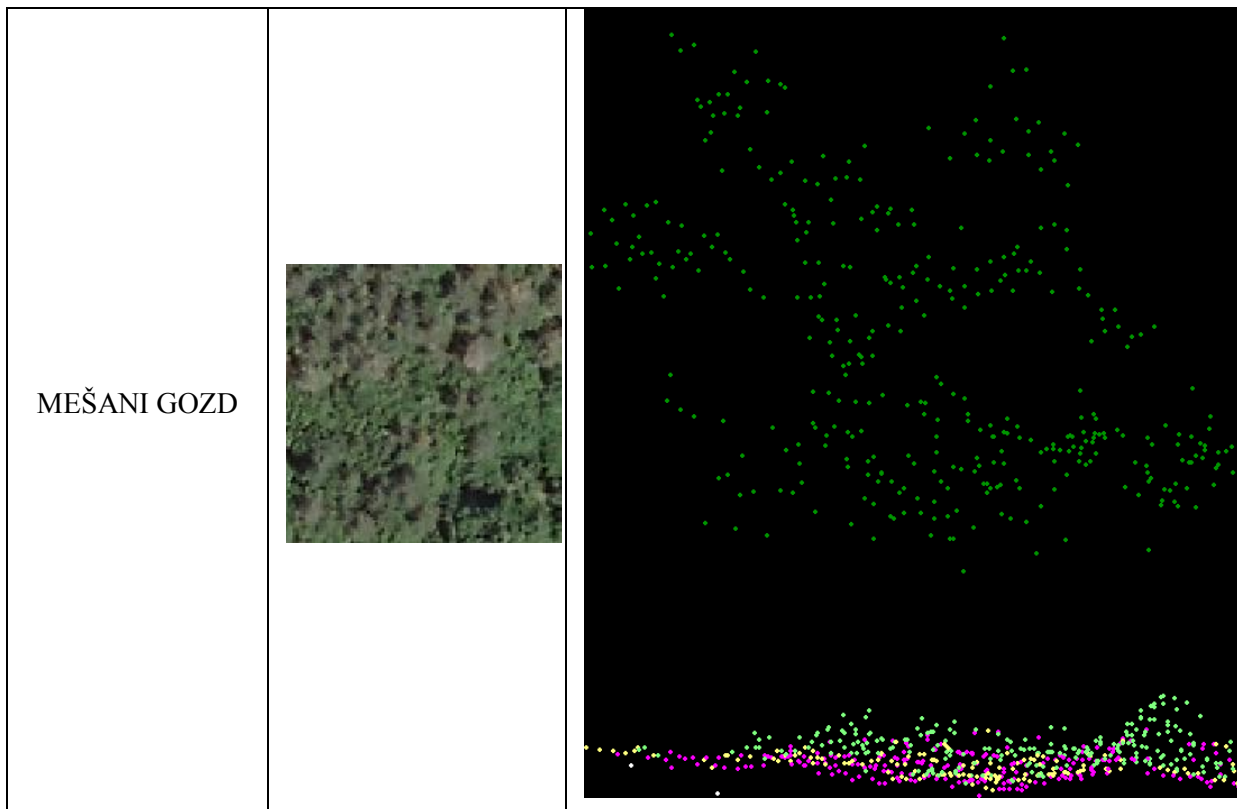
Metodologija določanja pokrovnosti na osnovi ortofota, ki sem jo uporabila, je primerljiva z metodologijo zajema podatkov za evidenco dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč, ki jo vodi Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Podatke o dejanski rabi ministrstvo zajema s pomočjo fotointerpretacije, pri čemer se kot podlaga uporablja ortofoto (z ločljivostjo slikovnega elementa do 1 meter) (Pravilnik o evidenci dejanske rabe..., 2008). Opis metodologije določanja pokrovnosti s primeri iz narave in primeri interpretacije na ortofoto posnetkih je podrobneje prikazan v priročniku Interpretacijski ključ (Interpretacijski ključ, 2011).

Preglednica 4: Tipi pokrovnosti

TIP POKROVNOSTI	TIPIČEN PRIMER POKROVNOSTI PRIKAZAN NA ORTOFOTU	TIPIČEN PRIMER POKROVNOSTI PRIKAZAN S PREČNIM PROFILOM LASERSKIH TOČK
TRAVA		
REDKO RASTJE		

GRMIČEVJE		
OBVODNO RASTJE		

<p>IGLASTI GOZD</p>		
<p>LISTNATI GOZD</p>		



4 PRAKTIČNI DEL

4.1 Značilna vegetacija na območjih obravnave

V diplomski nalogi sem primerjala delež prodiranja laserskih žarkov in posledično sklepala o vegetaciji na treh območjih: Ljubljansko barje, Mali graben in Podgorski kras. Med seboj sem primerjala podobne vegetacijske tipe, od trave in redkega grmičevja do gostih večslojnih gozdov.

4.1.1 Podgorski kras

Območje Podgorskega krasa se nahaja deloma na območju občine Koper in deloma na območju občine Hrpelje-Kozina (slika 17). Območje zajema Srednji, Veliki in Petrinjski kras. Gozd porašča 43 % površja mezoregije, zaradi zaraščanja kmetijskih zemljišč pa njegov delež še narašča (Podgorski kras..., 2013). Prevladuje submediteranski gozd, ki zaradi svoje sestave na posameznih predelih bolj spominja na grmičast sestoje. Na skrajnem severnem, predvsem pa na južnem predelu prevladuje termofilna vegetacija. Poleg črnega gabra in puhastega hrasta najdemo tu še mali jesen, maklen, ruj, rešeljiko in druge vrste grmov. Vmes so vtankani manjši homogeni ali z listavci mešani sestoji črnega bora. Pestrost rastlinske odeje dodatno bogatijo številne vrtače različnih velikosti in oblik (Kras, 2013).

V nalogi sem se omejila na del Podgorskega krasa, ki ga pokrivata dva lista ortofota merila 1 : 5000 z nomenklaturama C2023 in C2033.

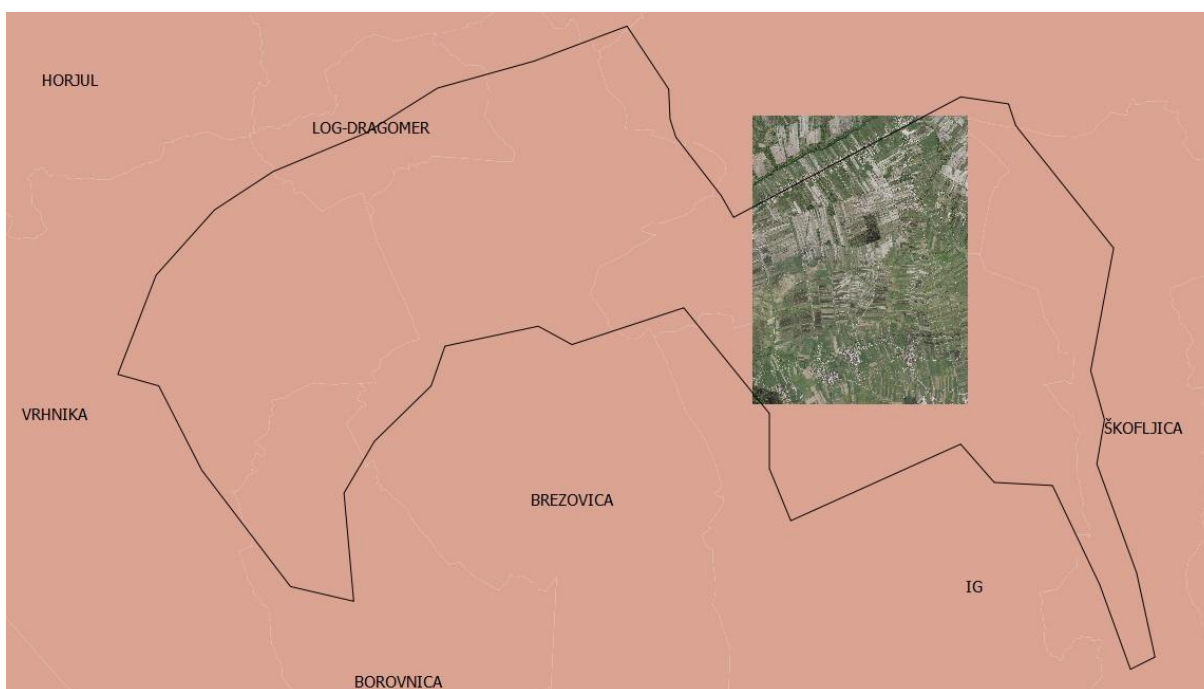


Slika 17: Območje obravnave Podgorski kras

4.1.2 Ljubljansko barje

Ljubljansko barje je območje, ki leži med Ljubljano, Vrhniko, Krimom in Škofljico. Območje se razprostira na okoli 160 km² površine, od tega je 135 km² zavarovanih kot krajinski park (Ljubljansko barje – krajinski park, 2013). V vegetacijskem smislu je območje mozaik travnikov, steljnikov, njiv, jarkov in mejic, ki jih dopolnjujejo sklopi gosteje zaraščenih predelov. Slednje sestavljajo listavci kot so jelša, hrast, breza, bukev, gaber, med iglavci pa najdemo rdeči in zeleni bor, smreko in jelko (Zavod za gozdove Slovenije, 2013).

V diplomski nalogi sem obravnavala del barja, ki ga pokrivajo listi ortofota merila 1 : 5000 z nomenklaturami E2313, E2314, E2323 in E2324.



Slika 18: Območje obravnave Ljubljansko barje

4.1.3 Mali graben

Območje Mali graben, ki se nahaja severno od Ljubljanskega barja, je dobilo ime po umetno zgrajenem kanalu Mali graben. Z zgrajenim kanalom se reka Gradaščica na Bokalškem jezcu razdeli na Mestno Gradaščico, ki teče po Viču mimo Trnovega v Ljubljano in na Mali graben, ki teče po območju Dolgega Mostu mimo Murgel in se kot levi pritok izliva v Ljubljano tik nad Špico. Obravnavano območje je sicer gosto poseljeno, vendar pa lahko vmes najdemo manjša območja travnih površin in grmičevja ter posamezna območja listavcev. Ob vodotoku raste obrežna vegetacija – prevladujejo listavci (vrba, jelša) z vmesnim grmičevjem (npr. japonski dresnik) in nekaj smrekami (Jamnik, 2007).

V nalogi sem obravnavala del Malega grabna, ki ga pokrivajo listi ortofota merila 1 : 5000 z nomenklaturami E2303, E2304, E2313, E2314.



Slika 19: Območje obravnave Mali graben

4.2 Rezultati

Rezultati so prikazani v obliki grafov in tabel. Najprej sem primerjala nominalno gostoto točk, s katero naj bi bila posamezna območja posneta, z dejansko gostoto, izračunano kot povprečje gostot na desetih testnih območjih.

Za vsak tip pokrovnosti sem med seboj primerjala povprečne deleže točk, ki so prodrli do posameznih višinskih razredov na obravnavanih območjih (Podgorski kras, Mali graben in Ljubljansko barje). Izračunala sem tudi povprečen delež točk, ki prodre do različnih višinskih razredov – v izračun so bila vključena le območja Podgorski kras (5 točk/m²), Ljubljansko barje (10 točk/m²) in Podgorski kras (10 točk/m²). Malega grabna v izračun nisem vključila, saj se trend prodiranja točk do posameznih razredov zelo razlikuje od trenda prodiranja na preostalih območjih. Z upoštevanjem rezultatov Malega grabna bi dobili popačeno povprečje, zato sem to območje obravnavala samostojno.

Med seboj sem primerjala še delež prodiranja laserskih žarkov samo na z gozdom poraslih območjih (iglasti gozd, listnati gozd in mešani gozd), da bi ugotovila, kako tip gozda vpliva na prodiranje. Na koncu sem v poglavju 4.3 strnila ključne ugotovitve.

Rezultati za posamezna testna območja so podrobno prikazani v prilogah, kjer so razdeljeni po vrsti pokrovnosti in po območju obravnave.

4.2.1 Trava

Testna območja, poimenovana »trava«, omogočajo določitev dejanske gostote laserskih točk, s katero je bilo posamezno območje posneto. Ker na teh območjih ni ostale vegetacije, ki bi povzročila odboj laserskih žarkov od višjih delov, se vse točke odbijejo od trave oz. tal. Na osnovi testiranja teh območij sem lahko preverila, ali se nominalna gostota snemanja, ki jo je navedel izvajalec, ujema z dejansko gostoto.

Iz rezultatov (preglednica 5) je razvidno, da se nominalna in dejanska gostota snemanja na desetih testnih vzorcih skoraj ujemata na območjih Podgorskega krasa in Ljubljanskega barja. Na območju Malega grabna, kjer naj bi bila gostota 5 točk/m², pa prihaja do večjih odstopanj. Rezultati kažejo, da je bila izvedena več kot trikrat večja gostota snemanja, t.j. 16,8 točk/m². Gostote na posameznih testnih območjih, iz katerih sem nato izračunala povprečno dejansko gostoto, kažejo še, da je bilo območje posneto precej nehomogeno. Iz grafov (Priloga A) je razvidno, da se je na območjih Podgorskega krasa in Ljubljanskega barja večji delež točk odbil v višinskem razredu »trava«, na

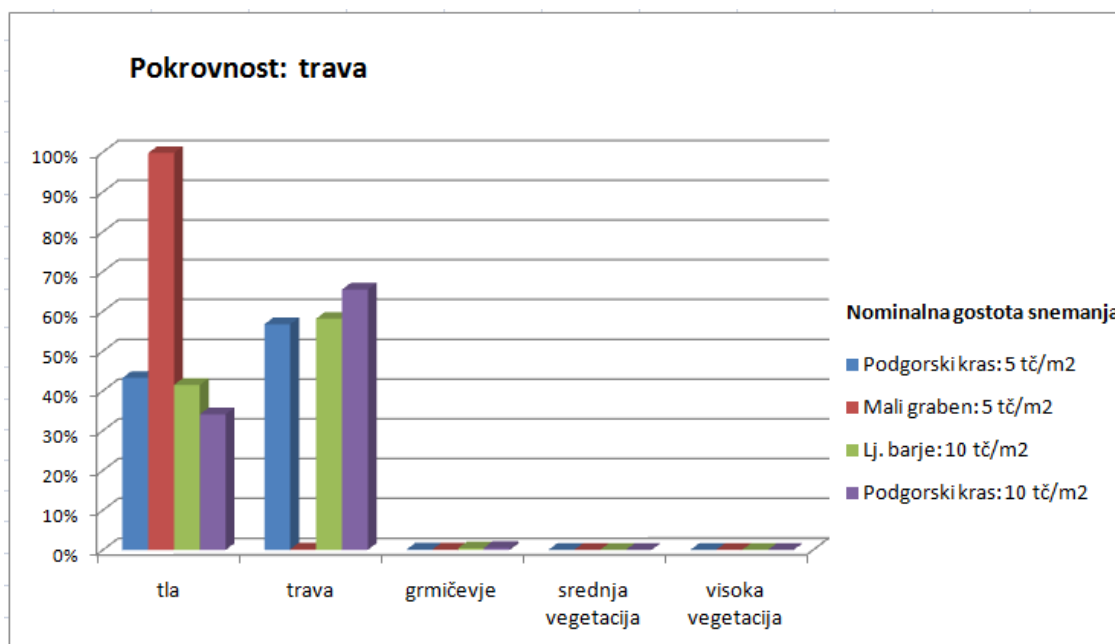
primeru snemanja območja Malega grabna pa so vsi laserski žarki dosegli tla. Sklepam, da je razlog za to večja gostota snemanja.

Test za območje pokrovnosti s travo sem na Podgorskem krasu opravila še na območju prekrivajočih se pasov laserskega skeniranja. Ker je bila siceršnja nominalna gostota snemanja 5 točk/m², sem na tem območju torej pričakovala dvakrat večjo gostoto. Rezultat, pridobljen na osnovi desetih testnih območij je to hipotezo tudi potrdil. Dejanska gostota snemanja na tem območju je bila 13,1 točk/m².

Preglednica 5: Povprečna gostota laserskih točk na m² za tip pokrovnosti »trava«

Območje obravnave	Gostota točk (št. točk na m ²)
Podgorski kras	6,3
Mali graben	16,8
Ljubljansko barje	12,3
Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)	13,1

Na grafu (slika 20) lahko vidimo, da so se vse laserske točke na vseh obravnavanih območjih odbile v višinskih razredih »trava« in »tla«, v Malem grabnu so celo vsi žarki dosegli tla. Takšen rezultat je posledica dejanske gostote snemanja, ki je v Malem grabnu v primerjavi z gostoto na ostalih območjih največja.



Slika 20: Deleži točk v posameznih višinskih razredih za tip pokrovnosti »trava«

V preglednici 6 je prikazan povprečen delež točk, ki je dosegel posamezen višinski razred. Največji del točk se je odbil v višinskem razredu »trava« (kar 60%), 40 % vseh laserskih točk pa je doseglo tla.

Preglednica 6: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (»trava«)

Razred	Delež točk v razredu
tla	40 %
trava	60 %
grmičevje	0 %
srednja vegetacija	0 %
visoka vegetacija	0 %

4.2.2 Redko rastje

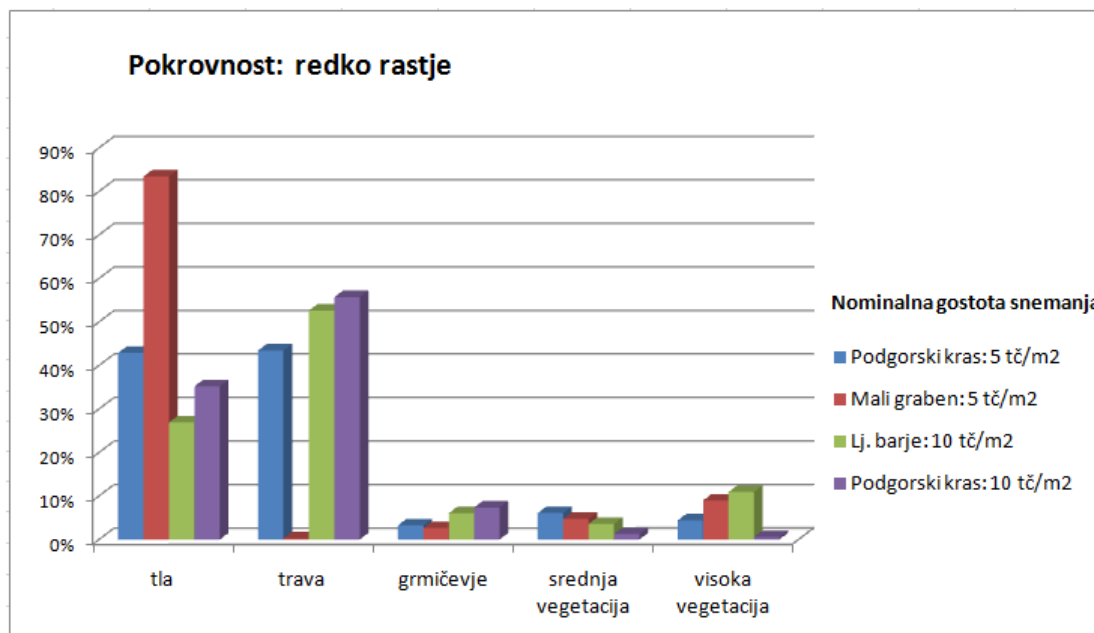
Na območjih s pokrovnostjo »redko rastje« so povprečne gostote laserskih točk za posamezna obravnavana območja nekoliko višje od tistih s pokrovnostjo »trava«. Takšen rezultat je bilo pričakovati, saj zaradi vegetacije pride do več redov odbojev laserskih žarkov in posledično več laserskih točk. Če primerjamo gostoto laserskih točk (preglednica 7) z nominalno gostoto laserskega snemanja, vidimo, da je na območju Podgorskega krasa gostota laserskih točk le malo večja od nominalne, na Ljubljanskem barju je dvakrat, na območju Malega grabna pa skoraj petkrat večja od nominalne gostote laserskega snemanja.

Preglednica 7: Povprečna gostota laserskih točk na m² za tip pokrovnosti »redko rastje«

Območje obravnave	Gostota točk (št. točk na m²)
Podgorski kras	6,6
Mali graben	23,2
Ljubljansko barje	20
Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)	12,9

Kot je razvidno iz grafa na sliki 21, je delež prodiranja laserskih žarkov največji do višinskih razredov »trava« in »tla«. Največji delež prodiranja do tal je na območju Malega grabna, kar je posledica večje gostote snemanja kot na ostalih območjih. Primerjajmo še rezultate snemanja z različno gostoto laserskih točk na enoto površine na Podgorskem krasu: v primeru snemanja z manjšo gostoto točk je do višinskega razreda »tla« in do višinskega razreda »trava« prodrli enak odstotek točk (nekaj več kot

40 %). V primeru snemanja z večjo gostoto laserskih točk pa se je več kot 50 % vseh točk odbilo v višinskem razredu »trava«, do tal je prodrlo 35 % točk.



Slika 21: Deleži točk v posameznih višinskih razredih za tip pokrovnosti »redko rastje«

Če pogledamo še povprečen delež točk, ki je dosegel posamezne višinske razrede (preglednica 8), vidimo, da se je v najnižjih razredih (»tla« in »trava«) odbilo 86 % vseh točk, 6 % točk se je odbilo v razredu »grmičevje«, preostale točke pa so se odbile od »srednje« oz. »visoke vegetacije« (9 % vseh točk).

Preglednica 8: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (»redko rastje«)

Razred	Delež točk v razredu
tla	35 %
trava	51 %
grmičevje	6 %
srednja vegetacija	4 %
visoka vegetacija	5 %

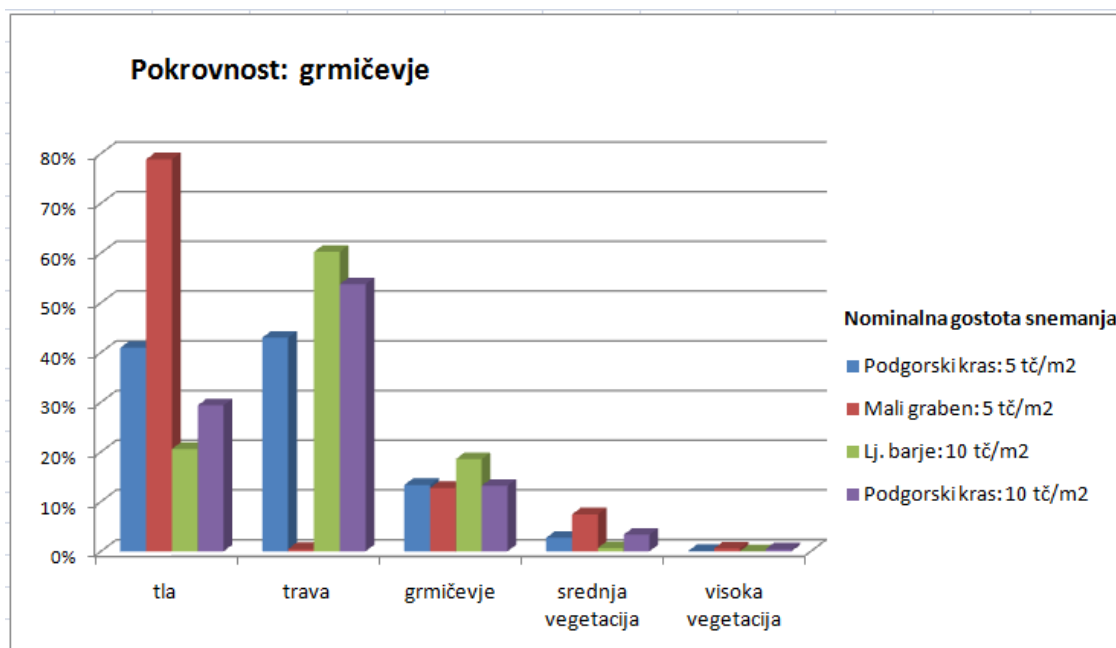
4.2.3 Grmičevje

Pri pokrovnosti »grmičevje« ponovno izstopa Mali graben, saj je izračunana gostota laserskih točk trikrat večja od nominalne. Gostoti se skoraj ujemata na območju Podgorskega krasa, na območju Ljubljanskega barja pa je gostota laserskih točk nekoliko večja od nominalne.

Preglednica 9: Povprečna gostota laserskih točk na m² za tip pokrovnosti »grmičevje«

Območje obravnave	Gostota točk (št. točk na m ²)
Podgorski kras	6,1
Mali graben	16
Ljubljansko barje	15,7
Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)	12,9

Na vseh območjih je najnižja višinska razreda (»tla« in »trava«) dosegel približno enak delež točk, t.j. okoli 80 %. Pri tem je večina točk v Malem grabnu dosegla tla, na ostalih območjih pa se je večji odstotek točk odbil v razredu »trava«. Na Podgorskem krasu in v Malem grabnu se je v višinskem razredu »grmičevje« odbil enak odstotek točk, na Ljubljanskem barju pa se je v tem razredu odbilo 5 % točk več. Kljub različni dejanski gostoti snemanja (6 točk/m² in 13 točk/ m² – glej preglednico 5) se je na Podgorskem krasu v obeh primerih približno enak delež točk odbil v razredih »srednja vegetacija« in »grmičevje«, različen odstotek točk pa je dosegel »tla« in »travo«. Pri snemanju z večjo gostoto se je večji delež točk odbil v razredu »trava« in manjši v razredu »tla«, pri snemanju z manjšo gostoto točk na m² pa je razred »tla« in »trava« dosegel skoraj enak odstotek točk.



Slika 22: Deleži točk v posameznih višinskih razredih za tip pokrovnosti »grmičevje«

Iz preglednice 10 je razvidno, da je do višinskih razredov »tla« in »trava« prodrla večina točk (82 %), v razredu »grmičevje« pa se je odbilo 15% vseh laserskih točk.

Preglednica 10: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (»grmičevje«)

Razred	Delež točk v razredu
tla	30 %
trava	52 %
grmičevje	15 %
srednja vegetacija	2 %
visoka vegetacija	0 %

4.2.4 Obvodno rastje

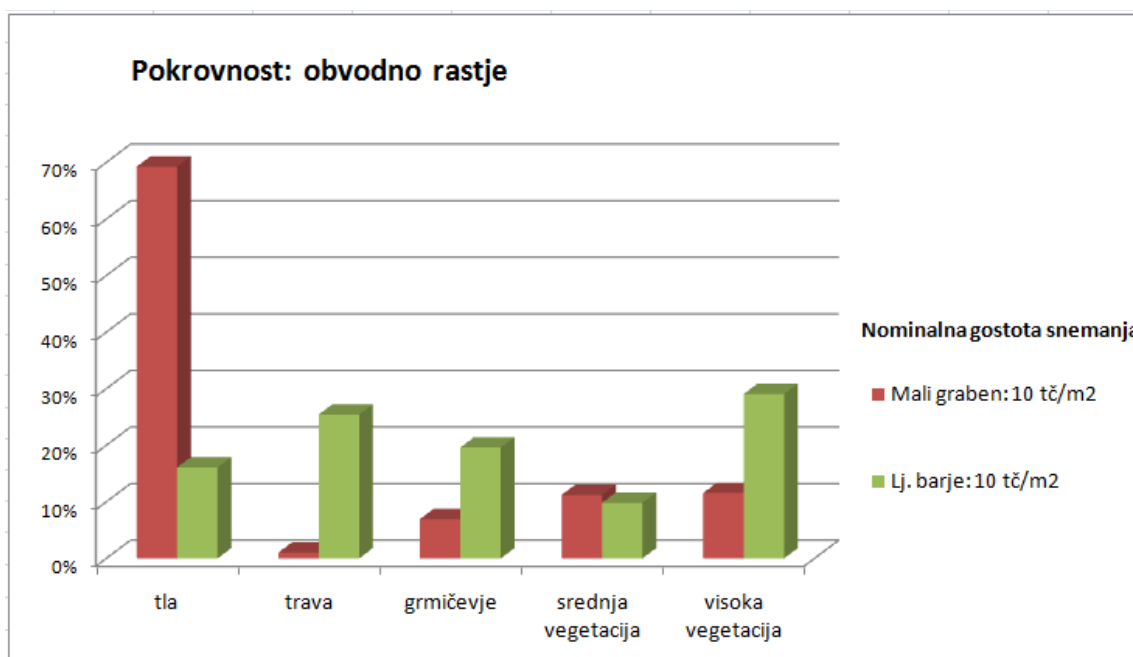
Območja z obvodnim rastjem sem obravnavala le na Ljubljanskem barju in v Malem grabnu, saj na Podgorskem krasu zaradi značilnosti površja ni površinskih voda in posledično ni obvodnega rastja.

Gostota laserskih točk v Malem grabnu je dvakrat večja od gostote na Ljubljanskem barju (preglednica 11), kljub temu, da je nominalna gostota, ki jo navajata naročnik oz. izvajalec snemanja, enaka (10 točk/m²). Razlog za takšno razliko je najverjetneje različna dejanska gostota snemanja, pa tudi različno obvodno rastje na enem in drugem območju.

Preglednica 11: Povprečna gostota laserskih točk na m² za tip pokrovnosti »obvodno rastje«

Območje obravnave	Gostota točk (št. točk na m ²)
Mali graben	28,2
Ljubljansko barje	14,7

Iz grafa na sliki 23 lahko razberemo, da se je na območju Ljubljanskega barja več točk odbilo v višinskem razredu »visoka vegetacija« kot v Malem grabnu, je pa v Malem grabnu veliko večji delež točk prodrl do tal. Sklepamo lahko, da je obvodna vegetacija na izbranih testnih lokacijah na Ljubljanskem barju višja in hkrati redkejša, kot v Malem grabnu.



Slika 23: Deleži točk v posameznih višinskih razredih za tip pokrovnosti »obvodno rastje«

Ker Mali graben ni vključen v izračun povprečnega deleža točk v posameznem višinskem razredu in ker obvodnega rastja na Podgorskem krasu ni, so povprečni deleži točk v preglednici 12 enaki deležem prodiranja pri snemanju območja Ljubljanskega barja. V preglednici 12 lahko vidimo, da je odstotek točk v posameznih razredih skoraj enakomerno razporejen. Največ točk se je odbilo v razredu »visoka vegetacija«, najmanj pa v razredu »srednja vegetacija«. V razredih »tla« in »trava« se je skupaj odbilo približno 40 % točk.

Preglednica 12: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (»obvodno rastje«)

Razred	Delež točk v razredu
tla	16 %
trava	25 %
grmičevje	20 %
srednja vegetacija	10 %
visoka vegetacija	29 %

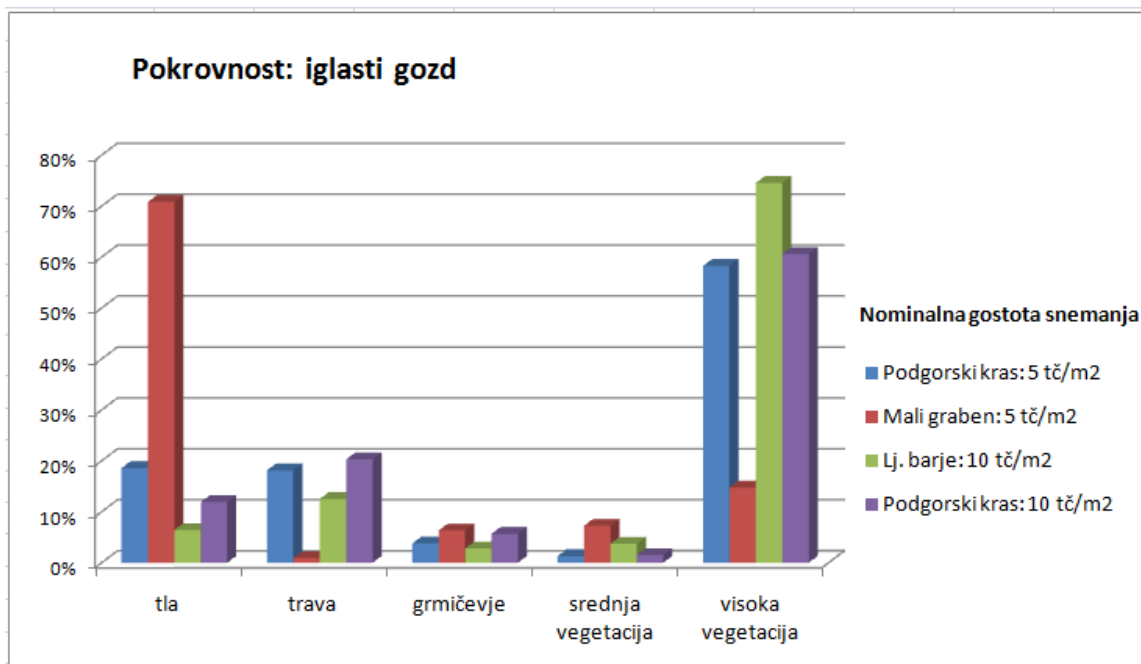
4.2.5 Iglasti gozd

Gostota laserskih točk je največja na območju Ljubljanskega barja, najmanjša pa na Podgorskem krasu. V primerjavi z nominalnimi gostotami snemanja je gostota laserskih točk na Podgorskem krasu še enkrat večja, v Malem grabnu in na Ljubljanskem barju pa skoraj trikrat večja od nominalne gostote, kar je posledica več redov odbojev na različnih delih vegetacije.

Preglednica 13: Povprečna gostota laserskih točk na m² za tip pokrovnosti »iglasti gozd«

Območje obravnave	Gostota točk (št. točk na m²)
Podgorski kras	9,8
Mali graben	13,9
Ljubljansko barje	26,7
Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)	21,1

Na grafu (slika 24) vidimo, da je na Podgorskem krasu pri gostoti snemanja 5 točk/m² skoraj 40 % točk prodrlo do višinskih razredov »tla« in »trava«, več kot polovica vseh točk pa se je odbila od visoke vegetacije. V primeru prekrivajočih se pasov na Podgorskem krasu je delež točk, ki so dosegle najnižja višinska razreda, nekaj več kot 30 %, v razredu »visoka vegetacija« se je odbilo približno 60 % laserskih točk. Na Ljubljanskem barju se je v razredu »visoka vegetacija« odbilo več kot 70 % vseh točk, do »tal« in »trave« je prodrlo okrog 30 % točk, preostale točke so se odbile v višinskih razredih »grmičevje« in »srednja vegetacija«. V Malem grabnu se je v višinskih razredih »visoka« in »srednja vegetacija« odbilo le okrog 20 % točk, večina točk (70 %) pa je prodrla do tal.



Slika 24: Deleži točk v posameznih višinskih razredih za tip pokrovnosti »iglasti gozd«

Ker je na območju Malega grabna odstotek točk v višinskem razredu »visoka vegetacija« presenetljivo nizek, sem opravila še terenski ogled tega območja, da bi ugotovila, ali sem testna območja iglavcev z ortofoto posnetkov pravilno interpretirala. Vsa testna območja za pokrovnost »iglasti gozd« v Malem grabnu se nahajajo v bližini Azilnega doma na Viču. Na obrobju gozdnega sestoja so prisotni tako iglavci kot listavci, v notranjosti pa je mogoče najti tudi večje sklope iglavcev. Razlog za tako majhen delež točk v razredu »visoka vegetacija« je višina iglavcev na tem območju. Veliko je namreč mladih dreves, ki še niso dosegla svoje končne višine.

V preglednici 14 vidimo, da se je več kot polovica vseh laserskih točk odbila že v razredu »visoka vegetacija«, do višinskih razredov »tla« in »trava« pa je prodrlo skoraj 30 % točk. Le majhen odstotek točk se je odbil v višinskih razredih »grmičevje« in »srednja vegetacija«, najverjetneje so se tu točke odbile od vej.

Preglednica 14: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (»iglasti gozd«)

Razred	Delež točk v razredu
tla	12 %
trava	17 %
grmičevje	4 %
srednja vegetacija	2 %
visoka vegetacija	64 %

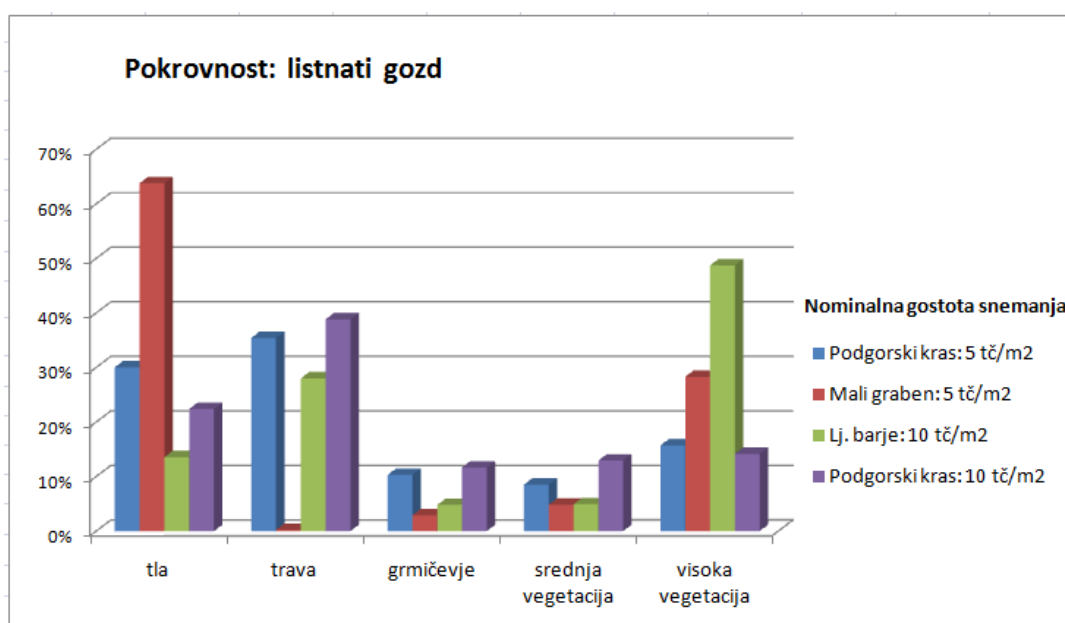
4.2.6 Listnati gozd

Največja gostota laserskih točk je na območju Malega grabna, sledi območje Ljubljanskega barja. Na Ljubljanskem barju je gostota laserskih točk skoraj trikrat, v Malem grabnu pa šestkrat večja od nominalne gostote snemanja. Najmanjša gostota točk je na Podgorskem krasu, ki je dvakrat večja od nominalne gostote.

Preglednica 15: Povprečna gostota laserskih točk na m² za tip pokrovnosti »listnati gozd«

Območje obravnave	Gostota točk (št. točk na m ²)
Podgorski kras	9,2
Mali graben	32,7
Ljubljansko barje	28,6
Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)	18,1

Na Podgorskem krasu je v obeh primerih (z gostoto snemanja 5 točk/m² in 10 točk/m²) več kot 60 % točk prodrlo do najnižjih višinskih razredov (»tla« in »trava«), v višinskem razredu »visoka vegetacija« se je odbilo približno 15 % vseh laserskih točk. Na Ljubljanskem barju je do »tal« in »trave« prodrlo nekaj več kot 40 % točk, skoraj polovica vseh točk se je odbila v višinskem razredu »visoka vegetacija«. Ravno obratno pa je največ točk prodrlo do tal v Malem grabnu (več kot 60 %), manj kot 30 % točk pa se je odbilo od »visoke vegetacije«.



Slika 25: Deleži točk v posameznih višinskih razredih za tip pokrovnosti »listnati gozd«

Pri laserskem skeniranju območij z listnatim gozdom je do tal prodrlo več kot pol vseh laserskih točk, nekaj manj kot 30 % točk se je odbilo od »visoke vegetacije«, skoraj 20 % točk pa od »grmičevja« in »srednje vegetacije« (preglednica 16).

Preglednica 16: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (»listnati gozd«)

Razred	Delež točk v razredu
tla	22 %
trava	34 %
grmičevje	9 %
srednja vegetacija	9 %
visoka vegetacija	26 %

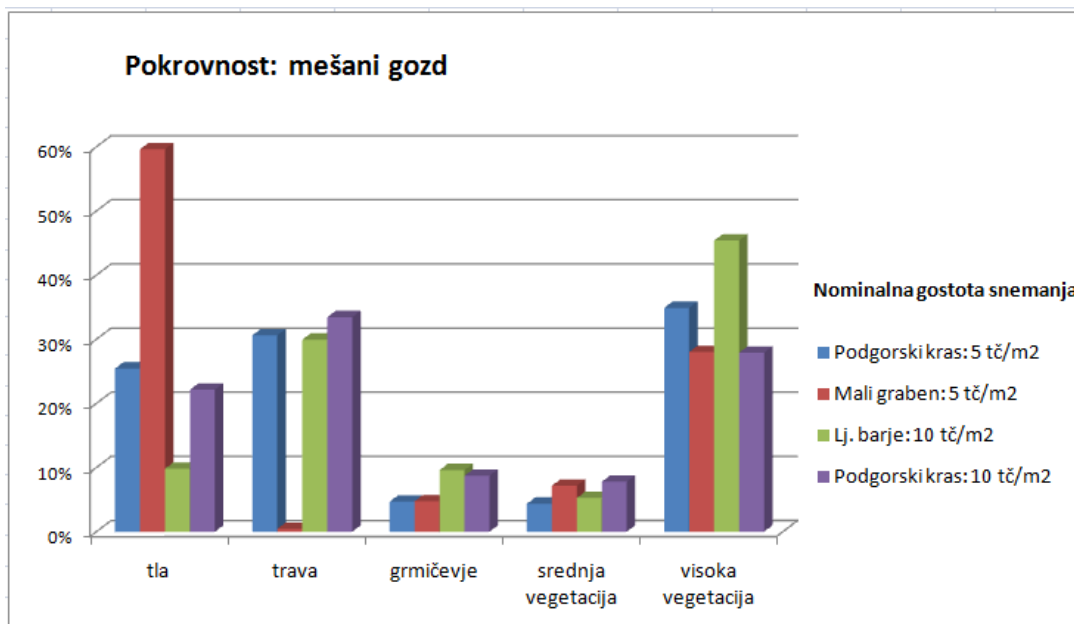
4.2.7 Mešani gozd

Največja gostota laserskih točk je na Ljubljanskem barju, gostota v Malem grabnu in na Podgorskem krasu je primerljiva. Gostota laserskih točk na Podgorskem krasu in v Malem grabnu je dvakrat večja, na Ljubljanskem barju pa skoraj trikrat večja od nominalne gostote snemanja.

Preglednica 17: Povprečna gostota laserskih točk na m² za tip pokrovnosti »mešani gozd«

Območje obravnave	Gostota točk (št. točk na m²)
Podgorski kras	10,2
Mali graben	11,3
Ljubljansko barje	26,8
Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)	17,4

Višinska razreda »tla« in »trava« je na območju Podgorskega krasa v primeru laserskega skeniranja z gostoto 5 točk/m² pa tudi z gostoto 10 točk/m² doseglo približno 55 % laserskih točk, v razredih »visoka« in »srednja vegetacija« se je skupaj odbilo skoraj 40 % točk. Na Ljubljanskem barju se je v razredih »visoka« in »srednja vegetacija« odbila polovica vseh laserskih točk, v višinskih razredih »tla« in »trava« pa skupaj 40 % točk. Pri laserskem skeniranju Malega grabna je do tal prodrlo 60 % točk, v razredih »visoka« in »srednja vegetacija« se je odbilo 35 % točk.



Slika 26: Deleži točk v posameznih višinskih razredih za tip pokrovnosti »mešani gozd«

Iz preglednice 18 lahko razberemo, da je polovica vseh točk prodrla do najnižjih višinskih razredov, v razredu »visoka vegetacija« pa se je odbilo skoraj 40 % vseh laserskih točk.

Preglednica 18: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (»mešani gozd«)

Razred	Delež točk v razredu
tla	19 %
trava	31 %
grmičevje	8 %
srednja vegetacija	6 %
visoka vegetacija	36 %

4.2.8 Primerjava med iglavci, listavci in mešanim gozdom

Gostota laserskih točk na območju Podgorskega krasa se ne spreminja bistveno glede na vrsto gozda. V primeru snemanja Malega grabna je gostota laserskih točk pri iglastem in mešanem gozdu skoraj enaka, veliko večja pa je v primeru pokrovnosti z listnatim gozdom. Ravno tako kot na Podgorskem krasu se tudi na Ljubljanskem barju gostote laserskih točk ne spreminjajo bistveno glede na tip gozda. Nekoliko večja gostota je le v primeru listavcev.

Preglednica 19 prikazuje deleže laserskih točk, ki so prodrli do posameznih višinskih razredov. Deleži so izračunani kot povprečja za območja Podgorski kras (5 točk/m²), za Podgorski kras (10 točk/m²) in za Ljubljansko barje. Vidimo lahko, da je največji delež točk do višinskih razredov »tla« in »trava« prodrli na območju listavcev (56 %). 6 % točk manj je do tal prodrlo na območju mešanega gozda, najmanj pa na območju iglavcev (29 %). V razredu »visoka vegetacija« se je glede na vrsto gozda največ točk odbilo na območju iglavcev (64 %), na območju mešanega gozda skoraj polovica točk manj (36 %), najmanj pa na območju listnatega gozda (26 %).

Preglednica 19: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (Podgorski kras in Ljubljansko barje)

Razred	Delež laserskih točk		
	Iglasti gozd	Listnati gozd	Mešani gozd
tla	12 %	22 %	19 %
trava	17 %	34 %	31 %
grmičevje	4 %	9 %	8 %
srednja vegetacija	2 %	9 %	6 %
visoka vegetacija	64 %	26 %	36 %

Mali graben obravnavam samostojno, saj se trend prodiranja laserskih žarkov glede na ostala obravnavana območja zelo razlikuje. V preglednici 20 vidimo, da se je v Malem grabnu pri vseh tipih gozdov več kot polovica vseh laserskih točk odbila v višinskem razredu »tla«. Največ točk se je v višinskem razredu »visoka vegetacija« odbilo v listnatem in mešanem gozdu. Glede na deleže prodiranja za pokrovnost »mešani gozd« sklepam, da v mešanem gozdu prevladujejo listavci, saj je trend prodiranja skoraj enak tistemu na območju iglavcev. Delež točk v višinskem razredu »visoka vegetacija« je na primeru »iglastega gozda« presenetljivo majhen.

Preglednica 20: Skupni povprečni delež točk v posameznem višinskem razredu (Mali graben)

Razred	Delež laserskih točk (Mali graben)		
	Iglasti gozd	Listnati gozd	Mešani gozd
tla	71%	64%	60%
trava	1%	0%	0%
grmičevje	6%	3%	5%
srednja vegetacija	7%	5%	7%
visoka vegetacija	15%	28%	28%

4.3 Bistvene ugotovitve

Gostota laserskih točk, izračunana na podlagi testnih primerov, se večinoma razlikuje od nominalnih gostot, ki so jih navedli izvajalci oz. naročniki laserskega snemanja. Na primeru pokrovnosti »trava« se nominalna gostota snemanja in empirično ocenjena gostota laserskih točk ujemata, saj se zaradi neporaščenosti z vegetacijo vse točke odbijejo od tal. V primeru ostalih pokrovnosti z več vegetacije pa se ti dve gostoti bolj ali manj razlikujeta. Razlog za to je sposobnost laserskega žarka, da se lahko odbije na različnih delih vegetacije. V primeru z vegetacijo poraslih območij tako pride do več odbojev in posledično do večjega števila laserskih točk. Iz rezultatov lahko vidimo, da je bilo največ odbojev oz. laserskih točk v primeru listavcev (na primeru pokrovnosti »listnati gozd« in »obvodno raste«), pričakovano pa najmanj na območju pokrovnosti »trava«.

Na delež prodiranja do določenih višinskih razredov vpliva tudi vrsta vegetacije oz. pokrovnost. Iz rezultatov je razvidno, da se delež razlikuje v primeru različnih tipov gozdov. V primeru iglastega gozda se večina vseh točk odbije že v višinskem razredu »visoka vegetacija« (64 %), le majhen delež se odbije v višinskih razredih »srednja vegetacija« in »grmičevje«, ostale točke prodrejo do tal (29 %). V primeru listnatega gozda je delež točk, ki je prodril do razreda »visoka vegetacija«, v primerjavi s pokrovnostjo »iglasti gozd« manjši (26 %). Takšen rezultat smo pričakovali, saj je bilo snemanje opravljeno še v času neolistanosti, zato ni prišlo do velikega števila odbojev na vrhovih ali v krošnjah dreves, ampak je lahko večina laserskih točk lahko prodrila do nižjih višinskih razredov (predvsem do »tal« in »trave«). Pri snemanju mešanega gozda se je v razredu »visoka vegetacija« odbilo 36 % vseh laserskih točk, polovica točk pa je prodrila do razredov »trava« in »tla«. Skleпам lahko, da so v primeru pokrovnosti »mešani gozd« prevladovali listavci, saj je trend prodiranja laserskih točk do posameznih višinskih razredov bolj podoben trendu na primeru »listnatega gozda« kot na primeru »iglastega gozda«.

Včasih je interpretacija vegetacije z ortofoto posnetkov težavna. Različne tipe vegetacije lahko razlikujemo npr. po barvi (iglasti gozd je temno zelene barve, listnati je svetlo zelene barve), zgodi pa se, da se tipov rastja ne da razlikovati po barvi, ampak le po višini (npr. razlikovanje grmičevja od ostalega rastja). Pri empirični raziskavi sem naletela na težavo v primeru »iglastega gozda« na območju Malega grabna. Kljub temu, da je vegetacija na izbranih testnih primerih po barvi pa tudi po obliki krošenj ustrezala iglavcem, se je le majhen delež točk odbil v višinskih razredih »visoka« in »srednja vegetacija«. Zaradi nepričakovanih rezultatov sem za to območje opravila še terenski ogled in ugotovila, da je na tem območju večina iglavcev še v fazi rasti in še ni dosegla svoje končne višine. Prav tako pa je iglasti gozd na tem območju redkejši, kar pojasni velik odstotek točk, ki je prodrl do tal. Terenski ogled lahko torej zelo pripomore k pravilni interpretaciji vrste vegetacije in kasneje pri utemeljevanju rezultatov laserskega skeniranja.

5 ZAKLJUČEK

Pri načrtovanju laserskega skeniranja določenega območja je potrebno vedeti, za kakšen namen se bo skeniranje izvedlo. Če je namen skeniranja pridobiti podatke, ki bodo omogočali izdelavo čim natančnejšega modela reliefa, je potrebno snemanje izvesti v neolistanem delu leta, da listje na drevju ne preprečuje prodora laserskih žarkov do tal. Snemanje pa je smiselno izvajati v olistanih delih leta, če želimo podatke uporabiti npr. za izdelavo digitalnega modela krošenj (DMK). Zaradi listja na drevesih se namreč večina laserskih žarkov odbije od vrhov oz. krošenj dreves.

V diplomski nalogi sem izbrana območja rastja (t.i. pokrovnosti) določala na podlagi interpretacije ortofoto posnetkov. Ločevanje listavcev in iglavcev je bilo precej očitno, nekoliko težje pa je bilo ločiti npr. grmičevje od ostalih dreves, saj je z ortofotov težko določiti višino rastja. Tipe rastja bi lahko prepoznavali tudi s pomočjo stereoparov, bolj zanesljivo pa bi vegetacijske tipe določili s terenskim ogledom obravnavanih območjih.

Z raziskavo deleža prodiranja laserskih žarkov sem ugotovila, da preučevanje deleža prodiranja do različnih višinskih razredov omogoča ugotavljanje vrste vegetacije na obravnavanem območju. Predvsem je mogoče ločiti različne tipe gozda (listavce od iglavcev). V primeru iglastega gozda se večina točk odbije v razredu »visoka vegetacija«, do nižjih višinskih razredov prodre le manjši delež laserskih točk. Pri listnatem gozdu (v času neolistanosti) je prodiranje do nižjih višinskih razredov v primerjavi z iglastim gozdom večje. Če preučujemo mešani gozd, lahko glede na delež prodiranja laserskih točk do posameznih višinskih razredov ugotovimo, ali v gozdu prevladujejo listavci ali iglavci.

S preučevanjem deleža prodiranja laserskih žarkov je deloma mogoče ugotavljati tudi vertikalno strukturo vegetacije, vendar menim, da je za zanesljive rezultate potrebno opraviti tudi terenski ogled obravnavanega območja.

Ugotovila sem, da razlika v gostoti snemanja 5 ali 10 točk/m² ne vpliva bistveno na podrobnost določitve vertikalne strukture vegetacije. To je razvidno iz rezultatov testnih območij Podgorskega krasa, kjer sem med seboj primerjala iste vrste pokrovnosti na območjih brez prekrivanja (gostota 5 točk/m²) in na območjih s prekrivajočimi se pasovi (gostota 10 točk/m²). Rezultati se glede na eno in drugo gostoto med seboj ne razlikujejo bistveno. Predpostavke, da lasersko skeniranje z gostoto 10 točk/m² omogoča podrobnejšo določitev vertikalne strukture vegetacije kot skeniranje z gostoto 5 točk/m², torej na našem testnem vzorcu ne moremo sprejeti.

Večja gostota snemanja pa vseeno pripomore k natančnosti izdelkov, kadar želimo laserske podatke uporabiti npr. za izdelavo DMR. Večja gostota namreč pomeni tudi večje število točk, ki bodo dosegle tla.

Menim, da bi morali za bolj zanesljive rezultate v obravnavo vključiti večje število vzorcev z različnimi in še večjimi gostotami laserskih podatkov na območjih snemanja. Natančnejše rezultate bi najverjetneje zagotovili tudi aerolaserski podatki z bolj homogeno gostoto snemanja, zagotovo pa bi na rezultate vplival tudi drug način določanja rastja na posameznih območjih (interpretacija z ortofotov namreč ni najbolj zanesljiva).

VIRI

Uporabljeni viri:

Ackermann, F. 1999. Airborne laser scanning – present status and future expectations. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 54 (1999): str. 64-67

<http://gazoo.warnercnr.colostate.edu/~lefsky/isprs/1134.pdf> (Pridobljeno 10. 10. 2012.)

Agencija Republike Slovenije za okolje. 2013. Pokrovnost tal-CLC, EIONET v Sloveniji.

http://nfp-si.eionet.europa.eu/Podatki_in_informacije/F1126172740 (Pridobljeno 30. 3. 2013.)

ASPRS. 2009. LAS Specification version 1.3 – R10.

http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/asprs_las_spec_v13.pdf (Pridobljeno 6. 1. 2013.)

Asselman, N. E. M., Middelkoop, H., Ritzen, M. R., Straatsma, M.W. 2002. Assesment of the hydraulic roughness of river floodplains using laser altimetry, The Structure, function and management implications of fluvial sedimentary systems. Proceedings of international symposium, Alice Springs, Australia, 2-6 September 2002: str. 381-388.

http://iahs.info/redbooks/a276/iahs_276_381.pdf (Pridobljeno 20. 11. 2012.)

Bednjanec, M. 2011. Calibration of ALS Intensity Data. Master's of Science Thesis in Geodesy. Stockholm, Sweden, School of Architecture and the Built Environment, KTH: 54 str.

<http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?searchId=1&pid=diva2:438876> (Pridobljeno 28. 9. 2012.)

Bric, V., Triglav Čekada, M., Bitenc, M. 2012. Uporaba laserskega skeniranja pri zaščiti in reševanju ter vojaških aktivnostih. V: Balas, J. (ur.), Kokalj, A. (ur.), Kovič, B. (ur.). Geoprostorska podpora obrambnemu sistemu Republike Slovenije. Ljubljana: Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije, Direktorat za obrambne zadeve, Sektor za načrtovanje: Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU: Geodetski inštitut Slovenije, 2012, str. 181-204.

English Heritage, 2010. The Light Fantastic: Using Airborne LIDAR in Archaeological Survey.

<http://www.english-heritage.org.uk/publications/light-fantastic/light-fantastic.pdf>

(Pridobljeno 3. 11. 2012.)

FugroViewer. 2013.

<http://www.fugroviewer.com/> (Pridobljeno 18. 2. 2013.)

GEOIN. 2011. Tehnična dokumentacija laserskega skeniranja.

GURS. 2011. Projekt Lasersko skeniranje in aerofotografiranje 2011. Sporočilo za javnost, Arhiv novic, Geodetska uprava Republike Slovenije, Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, 2011.

http://www.gu.gov.si/si/splosno/cns/arhiv_novic/ (Pridobljeno 25. 11. 2012.)

Grigillo, D. 2010. Samodejno odkrivanje stavb na visokoločljivih slikovnih virih za potrebe vzdrževanja topografskih podatkov. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Grigillo): 156 str.

http://eprints.fgg.uni-lj.si/781/1/GED_0197_Grigillo.pdf (Pridobljeno 10. 11. 2012.)

Hassan, T., Ellum, C., El-Sheimy, N. 2006. Bridging land-based mobile mapping using photogrammetric adjustments. ISPRS Commission I Symposium. From Sensors to Imagery, Pariz, Francija, 4.-6. maj 2006, ISPRS: 6 str.

<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/part1/Papers/T10-44.pdf> (Pridobljeno 28. 2. 2013.)

Heurich, M., Schneider, T., Kennel, E. 2003. Laser scanning for identification of forest structures in the Bavarian forest national park. Proceedings Scandlaser Workshop, 3-4 September 2003, Umeå, Sweden, str. 98-107.

<http://w3.forst.tu-muenchen.de/~waldbau/org1/006.pdf> (Pridobljeno 1. 10. 2012.)

Hyypä, J. 2011. State of the Art in Laser Scanning. Fotogrammetrische Woche 2011.

<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo11/210Hyypa.pdf> (Pridobljeno 1. 10. 2012.)

Interpretacijski ključ, 2011. Podroben opis metodologije zajema dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Direktorat za kmetijstvo, Služba za register kmetijskih gospodarstev.

http://rkg.gov.si/GERK/documents/RABA_IntKljuc_20110101.pdf (Pridobljeno 15. 3. 2013.)

Isenburg, M. 2012. LASindex – simple spatial indexing of LiDAR data. European Lidar Mapping Forum 2012, Salzburg, Austria, 2012.

<http://www.youtube.com/watch?v=FMcBywhPgdc> (Pridobljeno 20. 12. 2012.)

Jamnik, P. 2007. Optimizacija struge Malega grabna na območju Viča, Ljubljana. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo (samozaložba P. Jamnik): 51 str.

http://eprints.fgg.uni-lj.si/854/1/GRU_2957_Jamnik.pdf (Pridobljeno 26. 3. 2013.)

Kobler, A. 2011. Nove metode za obdelavo podatkov letalskega laserskega skenerja za monitoring gozdnih ekosistemov. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo (samozaložba A. Kobler): 126 str.

http://eprints.fgg.uni-lj.si/1798/1/GED_0216_Kobler.pdf (Pridobljeno 8. 11. 2012.)

Kras. 2013.

<http://vodnik.kras-carso.com/> (Pridobljeno 26. 3. 2013.)

LAStools. 2012.

<http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/> (Pridobljeno 18. 12. 2012.)

Lim, K., Treitz, P., Wulder, M., St-Onge, B., Flood, M. 2003. Lidar remote sensing of forest structure., *Progress in Physical Geography* 27, 1: 88-106.

<http://courses.washington.edu/cfr530/reading1a.pdf> (Pridobljeno 23. 10. 2012.)

Ljubljansko barje – krajinski park. 2013.

<http://www.ljubljanskobarje.si/> (Pridobljeno 17. 3. 2013.)

Methods of Indirect Measurements. Six flags Math activities [1].

<http://ebookbrowse.com/six-flags-math-activities-1-pdf-d320523367> (Pridobljeno 18. 3. 2013.)

Ministrstvo za okolje in prostor. 2010. Razpisna dokumentacija za oddajo javnega naročila po odprtem postopku. Predmet javnega naročila: Lasersko skeniranje in aerofotografiranje 2011. Ministrstvo za okolje in prostor, Geodetska uprava Republike Slovenije, Javna naročila.

[http://www.gu.gov.si/si/javne_objave/javna_narocila/?tx_t3javnirazpis_pi1\[show_single\]=875](http://www.gu.gov.si/si/javne_objave/javna_narocila/?tx_t3javnirazpis_pi1[show_single]=875)

(Pridobljeno 12. 11. 2012.)

Nayegandhi, A. 2007. Lidar Technology Overview. Workshop - Airborne Lidar Technology and Applications. Baton Rouge, LA. June 20-21, 2007. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.

http://lidar.cr.usgs.gov/airborne_lidar.php (Pridobljeno 3. 11. 2012.)

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

http://books.google.si/books?id=i3_ADx_cMQC&printsec=frontcover&hl=sl&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (Pridobljeno 5. 9. 2012)

Podgorski kras, Čičarija in Podgrajsko podolje. 2013.

http://e-lookout.tripod.com/podgorski_kras.htm (Pridobljeno 14. 3. 2013.)

Pravilnik o evidenci dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč. Uradni list RS, št. 122/2008.

<http://www.uradni-list.si/1/content?id=90059> (Pridobljeno 4. 3. 2013.)

Projektna naloga za izdelavo digitalnega modela višin z LIDAR tehnologijo in ortofoto posnetkov za potrebe upravljanja z vodami. 2007. Priloga F2 – 1.1, Sklop 1: območje urbane poselitve na območju vodotoka Mali graben. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Republika Slovenija: loč. pag.

Quantum GIS. 2011.

<http://www.qgis.org/> (Pridobljeno 3. 1. 2013.)

Renslow, M., Greenfield, P., Guay, T. 2000. Evaluation of multi-return lidar for forestry applications. US Department of Agriculture Forest Service – Engineering, Remote sensing applications center, ZDA: 17 str.

http://www.ndep.gov/USDAFS_LIDAR.pdf (Pridobljeno 18. 2. 2013.)

Statistični urad Republike Slovenije. 2007. Statistični GIS pokrovnosti tal. Metodološka pojasnila.

http://www.stat.si/doc/metod_pojasnila/01-103-mp.htm (Pridobljeno 30. 3. 2013.)

Stavbar, G. 2011. Pregled odprtokodnih programov za obdelavo lidarskih podatkov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo.

http://eprints.fgg.uni-lj.si/1792/1/GEV_0865_Stavbar.pdf (Pridobljeno 23. 12. 2012.)

Stopar, B. 2006/2007. Izravnalni račun 1. Zapiski predavanj. Neobjavljeno študijsko gradivo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: loč. pag.

Šoič, G. 2012. Izdelava geodetskega načrta na podlagi podatkov aerolaserskega skeniranja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba G. Šoič): 27 str.

http://drugg.fgg.uni-lj.si/3984/1/BGG012_Soic.pdf (Pridobljeno 20. 2. 2013.)

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

http://eprints.fgg.uni-lj.si/753/1/GEM_0047_SvabLenarcic.pdf (Pridobljeno 18. 12. 2013.)

The University of Montana. Project: Individual Tree Species Identification Using Laser Altimetry Intensity in Mixed Conifer Forests of Western Montana. National Center for Landscape Fire Analysis, College of Forestry and Conservation, University of Montana, Missoula. 2013.

<http://firecenter.umt.edu/index.php/project/Individual-Tree-Species-Identification-Using-Laser-Altometry-Intensity-in-Mixed-Conifer-Forests-of-Western-Montana/ID/5a7d907c/fuseaction/projects.projectDetail.htm> (Pridobljeno 3. 3. 2013.)

Triglav Čekada, M. 2009. Optimizacija metodologije obdelave in analiza natančnosti letalskega laserskega skeniranja pri zajemu geodetskih podatkov za lokalno prostorsko planiranje. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Triglav Čekada): 202 str.

http://drugg.fgg.uni-lj.si/780/1/GED_0188_TriglavCekada.pdf (Pridobljeno 12. 11. 2012.)

Triglav Čekada, M. 2011. Možnosti uporabe zračnega laserskega skeniranja (lidar) za geomorfološke študije. Geografski vestnik 83-2: 81-93.

http://zgs.zrc-sazu.si/Portals/8/Geografski_vestnik/vestnik-83-2-cekada.pdf (Pridobljeno 7. 10. 2012.)

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

Wagner, W., Ullrich, A., Melzer, T., Briese, C., Kraus, K. From single-pulse to full-waveform airborne laser scanners: Potential and practical challenges. ISPRS Archives, Vol. XXXV, part B3, 2004.

<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm3/comm3.aspx> (Pridobljeno 10. 10. 2013.)

Zavod za gozdove Slovenije. 2013. Gozdni sestoji na območju Ljubljanskega barja. Osebna komunikacija. (11. 3. 2013.)

Zore, M. 2007. Izdelava 3D modela mesta za spletno uporabo. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo (samozaložba M. Zore): 42 str.

http://eprints.fgg.uni-lj.si/813/1/GEV_0237_Zore.pdf (Pridobljeno 12. 12. 2012.)

Ostali viri:

Australian Wetlands, Rivers and Landscapes Centre. 2010.

<http://www.wetriders.unsw.edu.au/2010/09/remote-sensing-of-flooding-in-arid-australia/>

(Pridobljeno 24. 12. 2012.)

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

http://eprints.fgg.uni-lj.si/179/1/GEU_0702_Bitenc.pdf (Pridobljeno 3. 12. 2012.)

Dowman, I. 2004. Integration of LIDAR and IFSAR for mapping. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Commission II papers, Vol. XXXV, part B2.

<http://w3.forst.tu-muenchen.de/~waldbau/org1/006.pdf> (Pridobljeno 5. 10. 2012.)

Podobnikar, T. 2002. Model zemeljskega površja – DMR ali DMV? Geodetski vestnik 46/2002 – 4: 347-353.

<http://www.geodetski-vestnik.com/46/gv46-4.pdf> (Pridobljeno 2. 11. 2012.)

Warner, A. Timothy, Nellis, M. Duane, Foody, Giles M. 2009. The SAGE Handbook of Remote Sensing.

<http://books.google.si/books?id=nvxCQL->

[8pScC&printsec=frontcover&dq=The+SAGE+Handbook+of+Remote+Sensing&source=bl&ots=bmnjlxYJeF&sig=WBN0tnng3wNVN-LqdhRjDDPMObI&hl=sl&sa=X&ei=Suh-UKTpNYT-](http://books.google.si/books?id=nvxCQL-8pScC&printsec=frontcover&dq=The+SAGE+Handbook+of+Remote+Sensing&source=bl&ots=bmnjlxYJeF&sig=WBN0tnng3wNVN-LqdhRjDDPMObI&hl=sl&sa=X&ei=Suh-UKTpNYT-)

[4QTK1IDoCQ&ved=0CCwQ6AEwAA](http://books.google.si/books?id=nvxCQL-4QTK1IDoCQ&ved=0CCwQ6AEwAA) (Pridobljeno 22. 10. 2012.)

PRILOGA A: POKROVNOST »TRAVA«

A.1 Podgorski kras

Preglednica A.1: Pokrovnost »trava«, območje Podgorski kras

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,23	0,00	271,8	43 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	356,7	57 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	0,4	0 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	0	0 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	0	0 %
					628,9	Št. vseh točk v datoteki
					6,3	Št. točk na m²

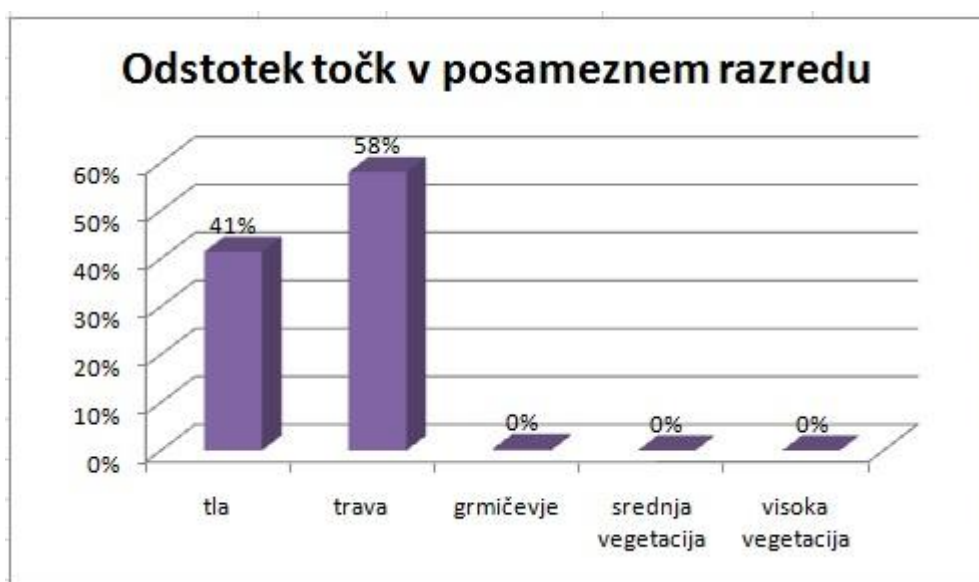


Slika A.1: Pokrovnost "trava", območje Podgorski kras

A.2 Ljubljansko barje

Preglednica A.2: Pokrovnost »trava«, območje Ljubljansko barje

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,02	0,00	511,5	41 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	716,9	58 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	5,1	0 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	0	0 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	0	0 %
					1233,5	Št. vseh točk v datoteki
					12,3	Št. točk na m²



Slika A.2: Pokrovnost "trava", območje Ljubljansko barje

A.3 Mali graben

Preglednica A.3: Pokrovnost »trava«, območje Mali graben

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,13	0,00	1676,8	100 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	2,5	0 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	1,1	0 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	0	0 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	0,2	0 %
					1680,6	Št. vseh točk v datoteki
					16,8	Št. točk na m²

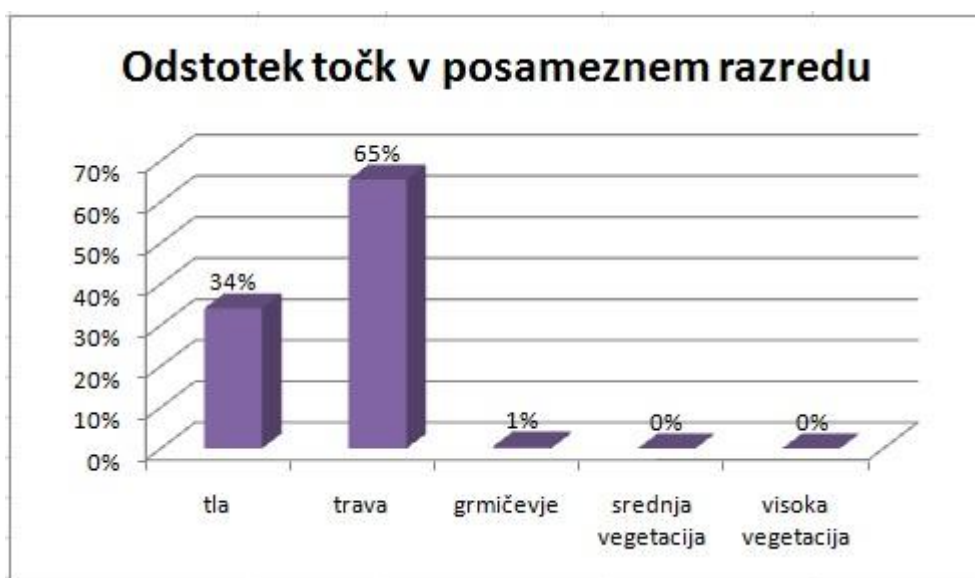


Slika A.3: Pokrovnost "trava", območje Mali graben

A.4 Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

Preglednica A.4: Pokrovnost »trava«, območje Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,19	0,00	446	34 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	856,7	65 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	6,7	1 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	0	0 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	0	0 %
					1309,4	Št. vseh točk v datoteki
					13,1	Št. točk na m²



Slika A.4: Pokrovnost "trava", območje Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

PRILOGA B: POKROVNOST »REDKO RASTJE«

B.1 Podgorski kras

Preglednica B.2: Pokrovnost »redko rastje«, območje Podgorski kras

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,19	0,00	284,8	43 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	288,4	43 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	21,5	3 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	40,3	6 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	29,2	4 %
					664,2	Št. vseh točk v datoteki
					6,6	Št. točk na m²

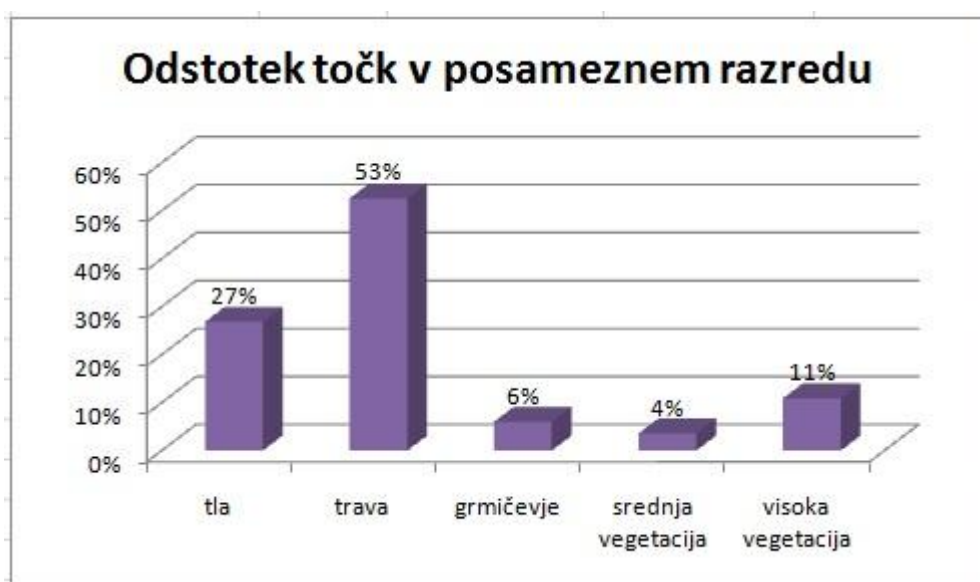


Slika B.1: Pokrovnost "redko rastje", območje Podgorski kras

B.2 Ljubljansko barje

Preglednica B.2: Pokrovnost »redko rastje«, območje Ljubljansko barje

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,47	0,00	536,7	27 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	1050,3	53 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	120,6	6 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	71,5	4 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	217,7	11 %
					1996,8	Št. vseh točk v datoteki
					20,0	Št. točk na m²



Slika B. 2: Pokrovnost "redko rastje", območje Ljubljansko barje

B.3 Mali graben

Preglednica B.3: Pokrovnost »redko rastje«, območje Mali graben

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-6,41	0,00	1935,6	83 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	5,8	0 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	61,2	3 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	109,5	5 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	207,6	9 %
					2319,7	Št. vseh točk v datoteki
					23,2	Št. točk na m²

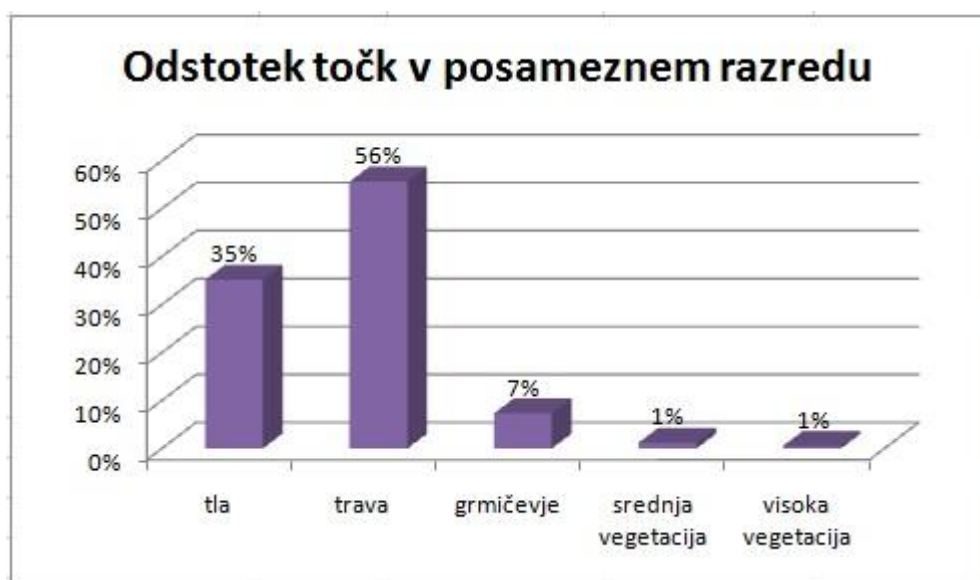


Slika B. 3: Pokrovnost "redko rastje", območje Mali graben

B.4 Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

Preglednica B.4: Pokrovnost »redko rastje«, območje Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,39	0,00	453	35 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	717	56 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	94,6	7 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	15,8	1 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	7,1	1 %
					1287,5	Št. vseh točk v datoteki
					12,9	Št. točk na m²



Slika B.4: Pokrovnost »redko rastje«, območje Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

PRILOGA C: POKROVNOST »GRMIČEVJE«

C.1 Podgorski kras

Preglednica C.3: Pokrovnost »grmičevje«, območje Podgorski kras

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,23	0,00	248,7	41 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	261	43 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	81	13 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	16,5	3 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	0,3	0 %
					607,5	Št. vseh točk v datoteki
					6,1	Št. točk na m²

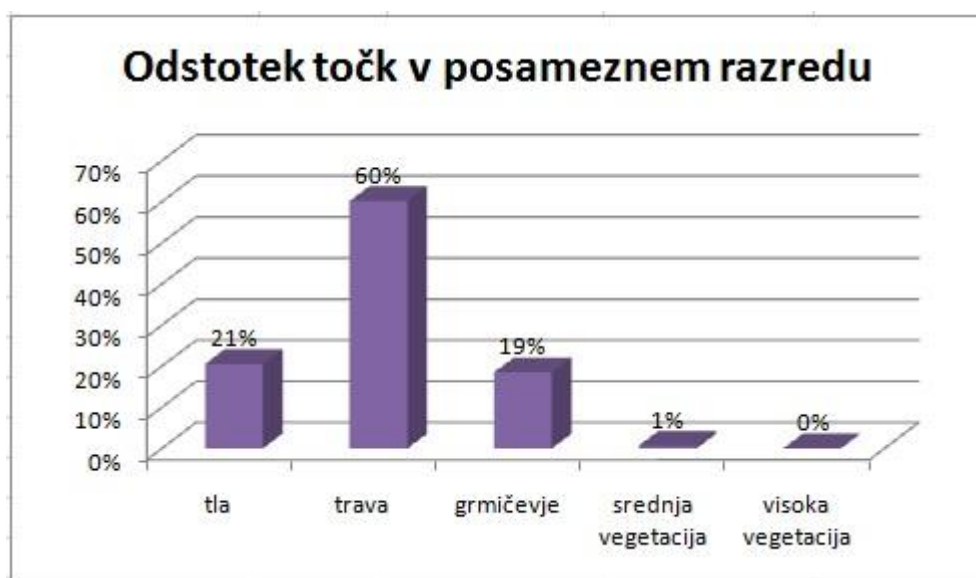


Slika C.1: Pokrovnost "grmičevje", območje Podgorski kras

C.2 Ljubljansko barje

Preglednica C.2: Pokrovnost »grmičevje«, območje Ljubljansko barje

	Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,01	323,5	21 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	947,3	60 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	291,7	19 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	10,4	1 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	0 %
				1572,9	Št. vseh točk v datoteki
				15,7	Št. točk na m²

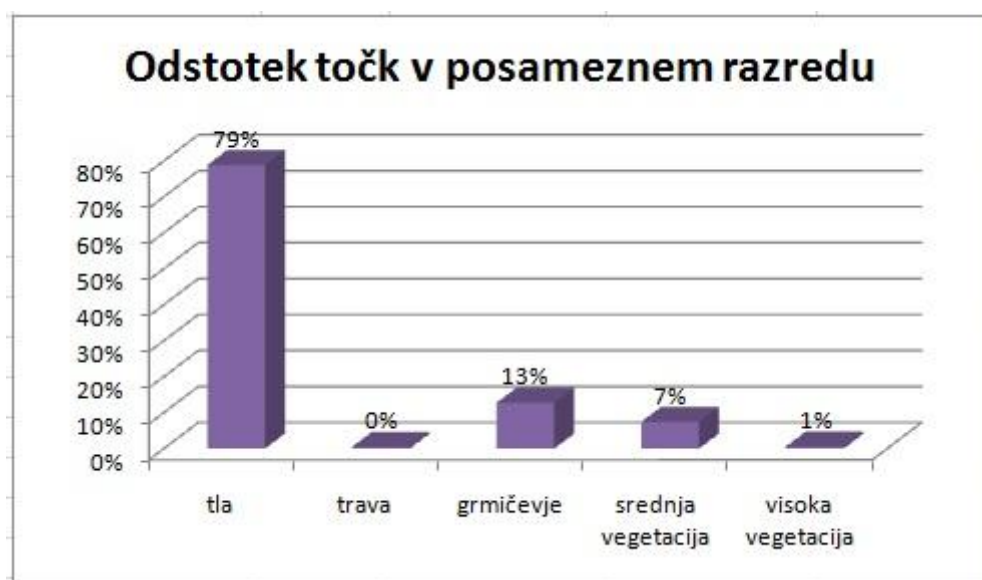


Slika C.2: Pokrovnost "grmičevje", območje Ljubljansko barje

C.3 Mali graben

Preglednica C.3: Pokrovnost »grmičevje«, območje Mali graben

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-3,29	0,00	1262,4	79 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	7,2	0 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	203,7	13 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	118,9	7 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	9	1 %
					1601,2	Št. vseh točk v datoteki
					16,0	Št. točk na m²

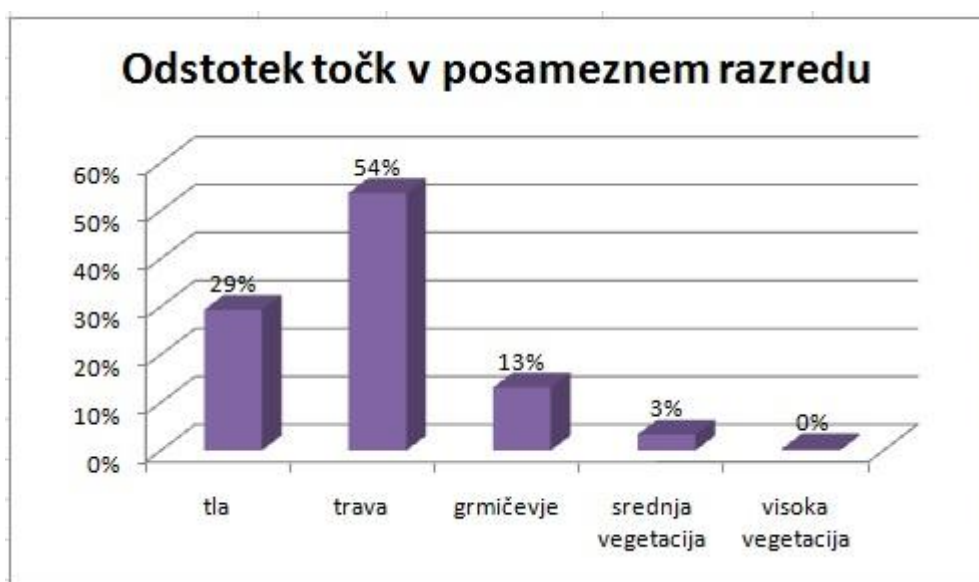


Slika C.3: Pokrovnost "grmičevje", območje Mali graben

C.4 Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

Preglednica C.4: Pokrovnost »grmičevje«, območje Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,31	0,00	378,8	29 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	693,3	54 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	170,1	13 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	43,1	3 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	5,5	0 %
					1290,8	Št. vseh točk v datoteki
					12,9	Št. točk na m²



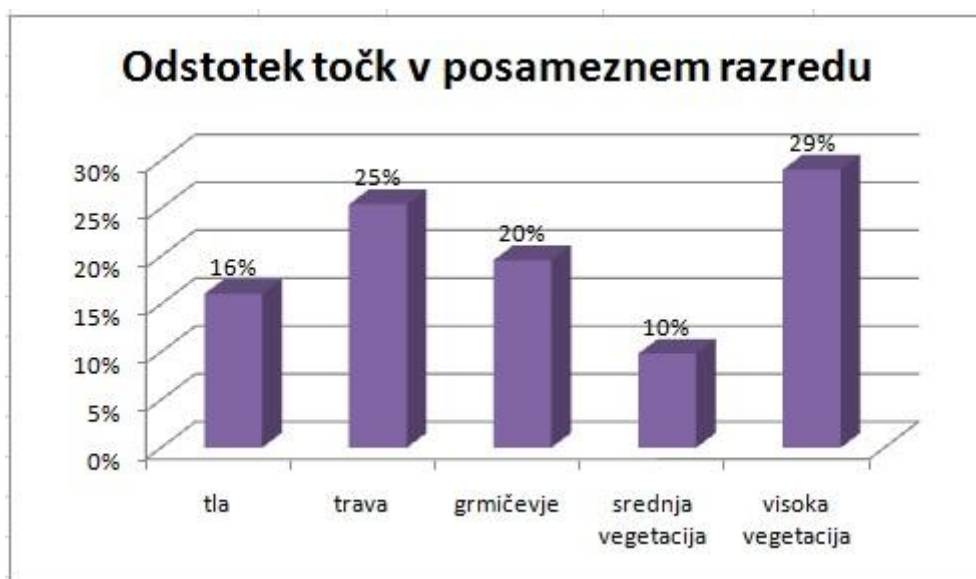
Slika C.4: Pokrovnost "grmičevje", območje Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

PRILOGA D: POKROVNOST »OBVODNO RASTJE«

D.1 Ljubljansko barje

Preglednica D.1: Pokrovnost »obvodno rastje«, območje Ljubljansko barje

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,47	0,00	236,6	16 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	374,2	25 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	288,5	20 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	144,6	10 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	427,7	29 %
					1471,6	Št. vseh točk v datoteki
					14,7	Št. točk na m²

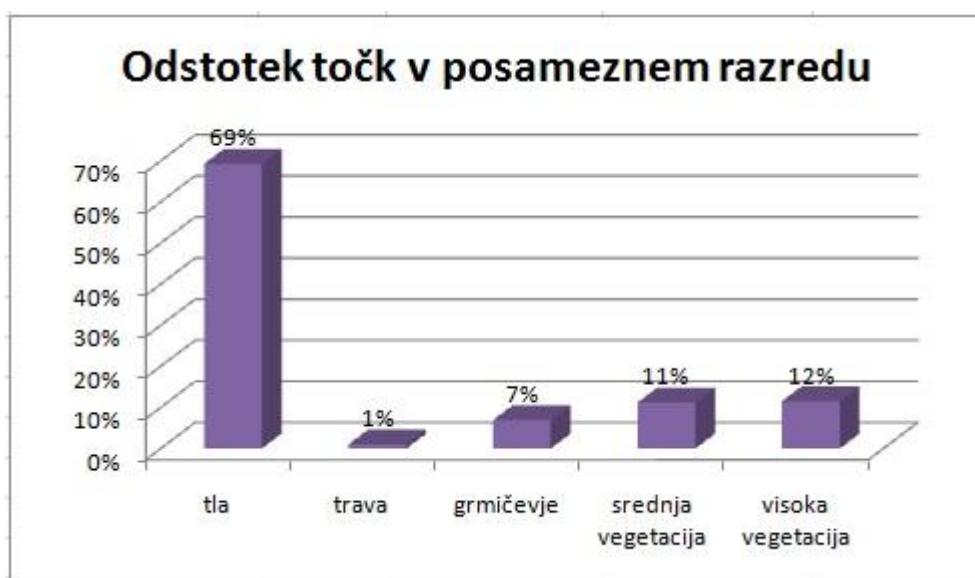


Slika D.1: Pokrovnost "obvodno rastje", območje Ljubljansko barje

D.2 Mali graben

Preglednica D.2: Pokrovnost »obvodno rastje«, območje Mali graben

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-14,08	0,00	1953,4	69 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	28,7	1 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	195,9	7 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	316,2	11 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	326,2	12 %
					2820,4	Št. vseh točk v datoteki
					28,2	Št. točk na m²



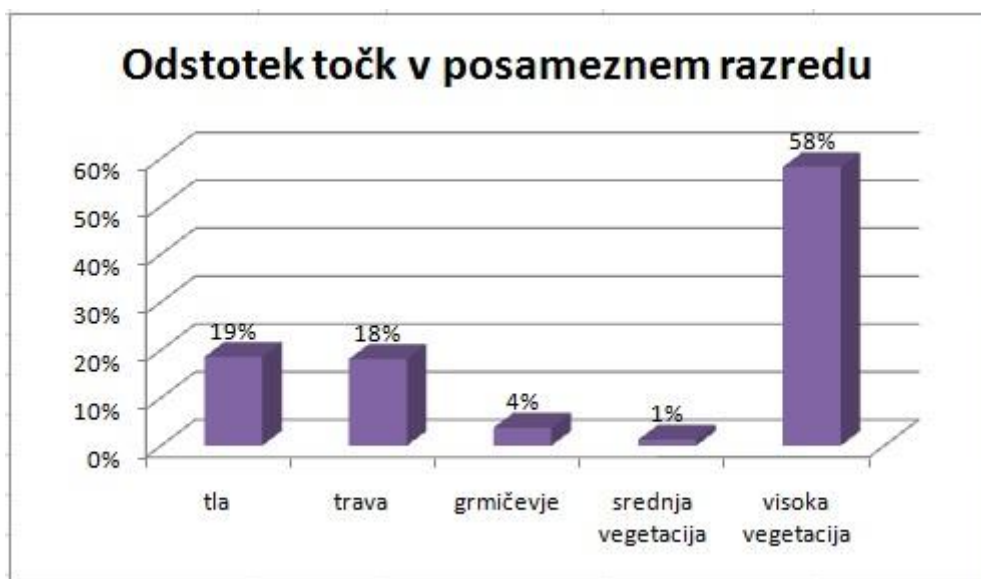
Slika D.2: Pokrovnost "obvodno rastje", območje Mali graben

PRILOGA E: POKROVNOST »IGLASTI GOZD«

E.1 Podgorski kras

Preglednica E.1: Pokrovnost »iglasti gozd«, območje Podgorski kras

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,48	0,00	182,9	19 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	178,4	18 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	37,2	4 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	12,6	1 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	573,8	58 %
					984,9	Št. vseh točk v datoteki
					9,8	Št. točk na m²

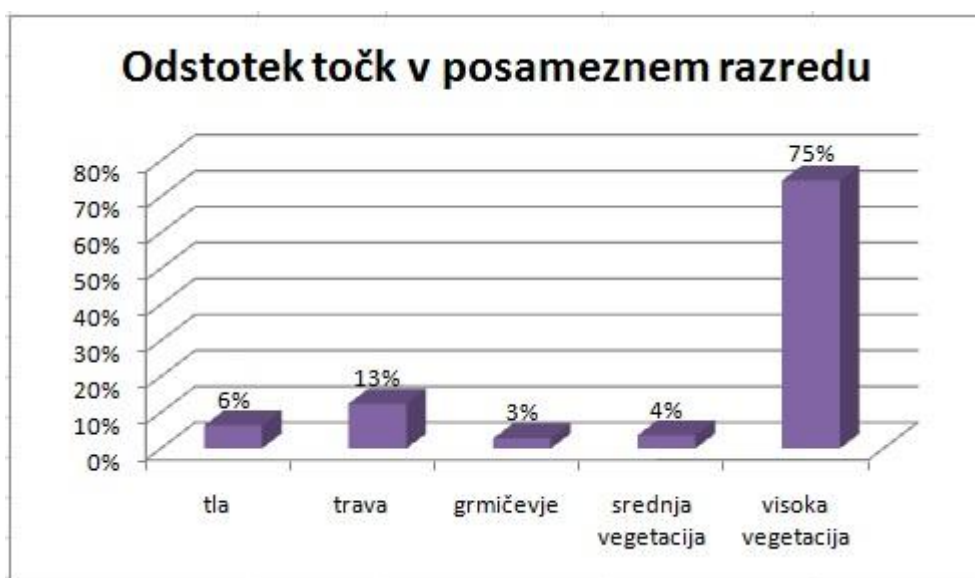


Slika E.1: Pokrovnost "iglasti gozd", območje Podgorski kras

E.2 Ljubljansko barje

Preglednica E.2: Pokrovnost »iglasti gozd«, območje Ljubljansko barje

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	0,00	0,00	171,6	6 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	334,7	13 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	74,8	3 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	99,1	4 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	1993,3	75 %
					2673,5	Št. vseh točk v datoteki
					26,7	Št. točk na m²



Slika E.2: Pokrovnost "iglasti gozd", območje Ljubljansko barje

E.3 Mali graben

Preglednica E.3: Pokrovnost »iglasti gozd«, območje Mali graben

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-27,67	0,00	986,9	71 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	11,9	1 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	88,1	6 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	101,1	7 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	205,5	15 %
					1393,5	Št. vseh točk v datoteki
					13,9	Št. točk na m²

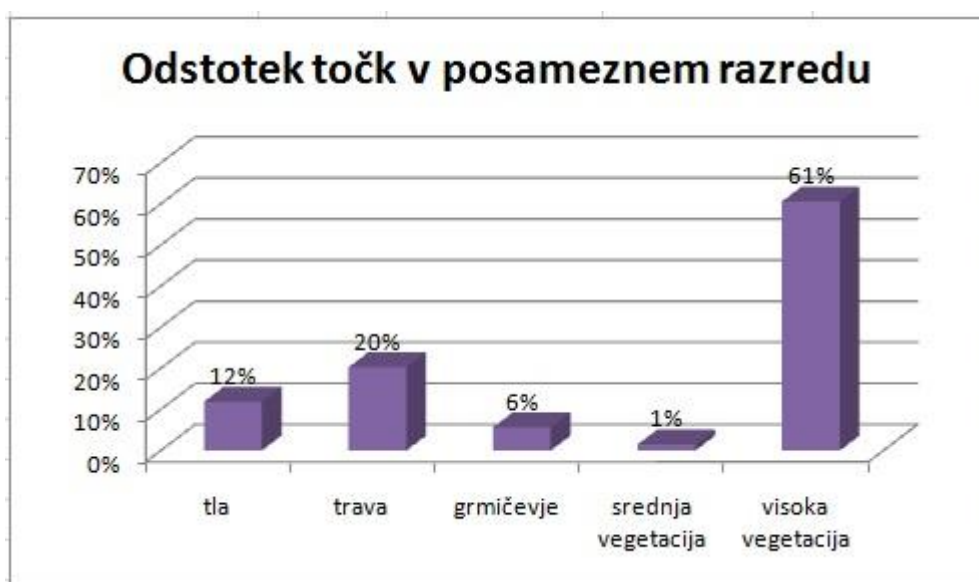


Slika E.3: Pokrovnost "iglasti gozd", območje Mali graben

E.4 Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

Preglednica E.4: Pokrovnost »iglasti gozd«, območje Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-1,98	0,00	252,8	12 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	430,3	20 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	120,3	6 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	31,6	1 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	1285,7	61 %
					2120,7	Št. vseh točk v datoteki
					21,2	Št. točk na m²



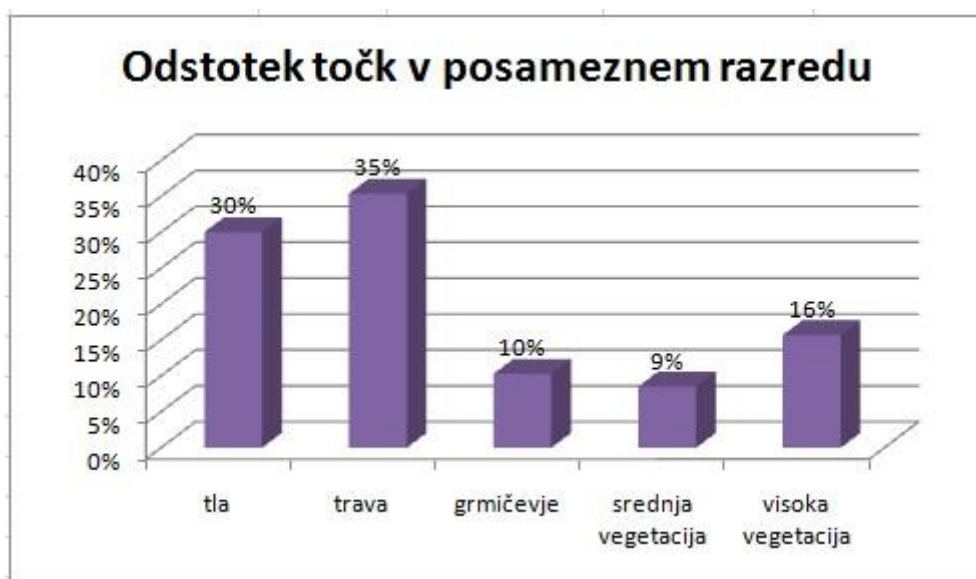
Slika E.4: Pokrovnost »iglasti gozd«, območje Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

PRILOGA F: POKROVNOST »LISTNATI GOZD«

F.1 Podgorski kras

Preglednica F.4: Pokrovnost »listnati gozd«, območje Podgorski kras

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,50	0,00	277,4	30 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	327	35 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	95,2	10 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	78,8	9 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	145,1	16 %
					923,5	Št. vseh točk v datoteki
					9,2	Št. točk na m²

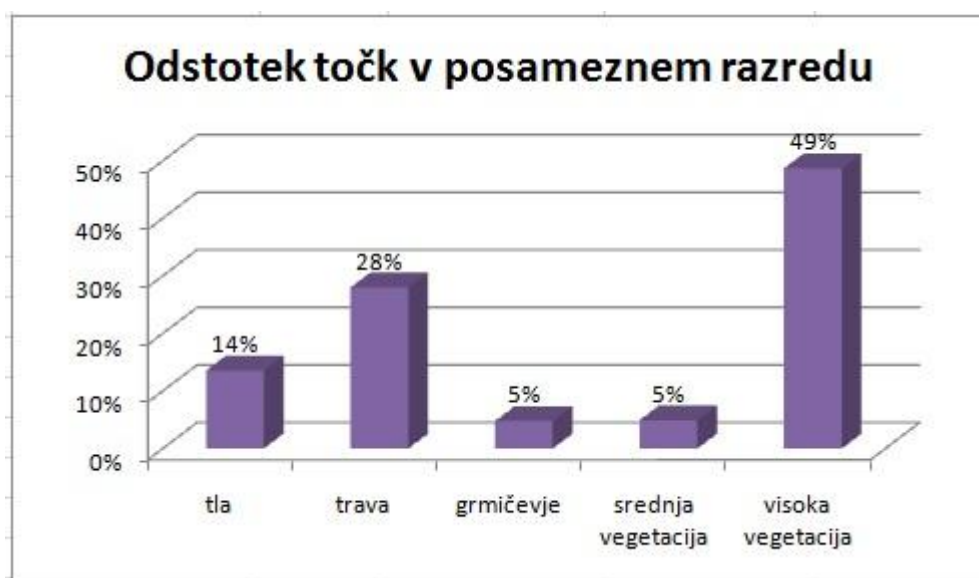


Slika F.1: Pokrovnost "listnati gozd", območje Podgorski kras

F.2 Ljubljansko barje

Preglednica F.2: Pokrovnost »listnati gozd«, območje Ljubljansko barje

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,24	0,00	388,3	14 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	802	28 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	137,2	5 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	141,3	5 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	1395,4	49 %
					2864,2	Št. vseh točk v datoteki
					28,6	Št. točk na m²



Slika F.2: Pokrovnost "listnati gozd", območje Ljubljansko barje

F.3 Mali graben

Preglednica F.3: Pokrovnost »listnati gozd«, območje Mali graben

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-25,42	0,00	2084,8	64 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	7,1	0 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	94,4	3 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	157,4	5 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	924,5	28 %
					3268,2	Št. vseh točk v datoteki
					32,7	Št. točk na m²



Slika F.3: Pokrovnost "listnati gozd", območje Mali graben

F.4 Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

Preglednica F.4: Pokrovnost »listnati gozd«, območje Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,98	0,00	406,2	22 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	704,4	39 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	211,5	12 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	234,7	13 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	256,8	14 %
					1813,6	Št. vseh točk v datoteki
					18,1	Št. točk na m²



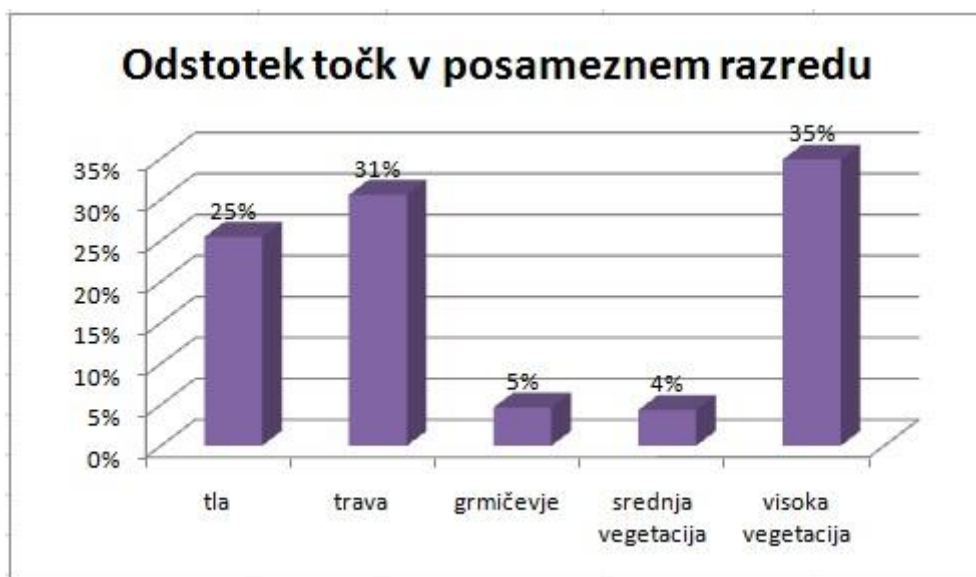
Slika F.4: Pokrovnost "listnati gozd", območje Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

PRILOGA G: POKROVNOST »MEŠANI GOZD«

G.1 Podgorski kras

Preglednica G.5: Pokrovnost »mešani gozd«, območje Podgorski kras

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,47	0,00	259,9	25 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	312,6	31 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	47,8	5 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	44,5	4 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	356,4	35 %
					1021,2	Št. vseh točk v datoteki
					10,2	Št. točk na m²

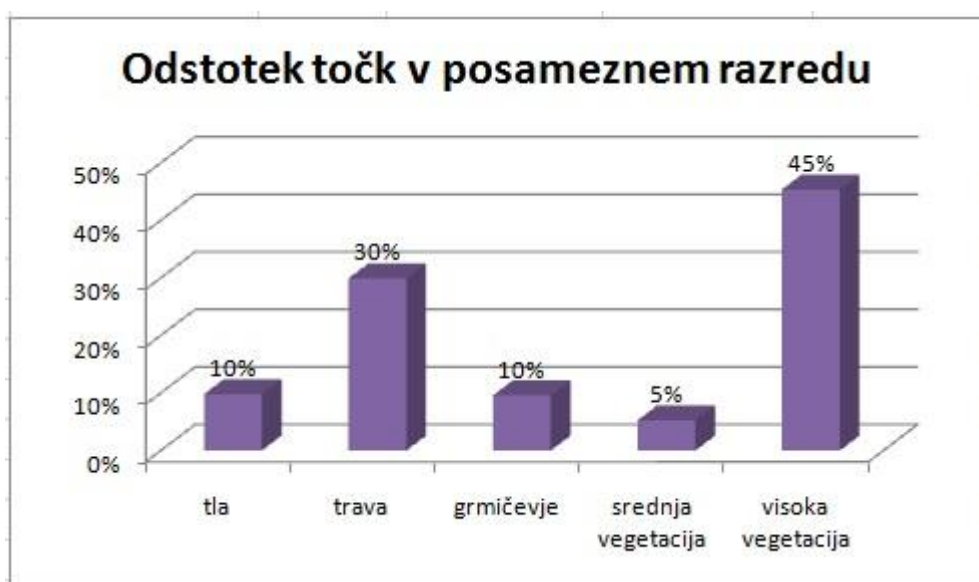


Slika G.1: Pokrovnost "mešani gozd", območje Podgorski kras

G.2 Ljubljansko barje

Preglednica G.2: Pokrovnost »mešani gozd«, območje Ljubljansko barje

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,08	0,00	262,5	10 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	800,9	30 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	256,9	10 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	140,6	5 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	1214,3	45 %
					2675,2	Št. vseh točk v datoteki
					26,8	Št. točk na m²



Slika G.2: Pokrovnost "mešani gozd, območje Ljubljansko barje

G.3 Mali graben

Preglednica G.3: Pokrovnost »mešani gozd«, območje Mali graben

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-18,38	0,00	671,1	60 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	4,9	0 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	53,5	5 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	80,6	7 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	315,3	28 %
					1125,4	Št. vseh točk v datoteki
					11,3	Št. točk na m²

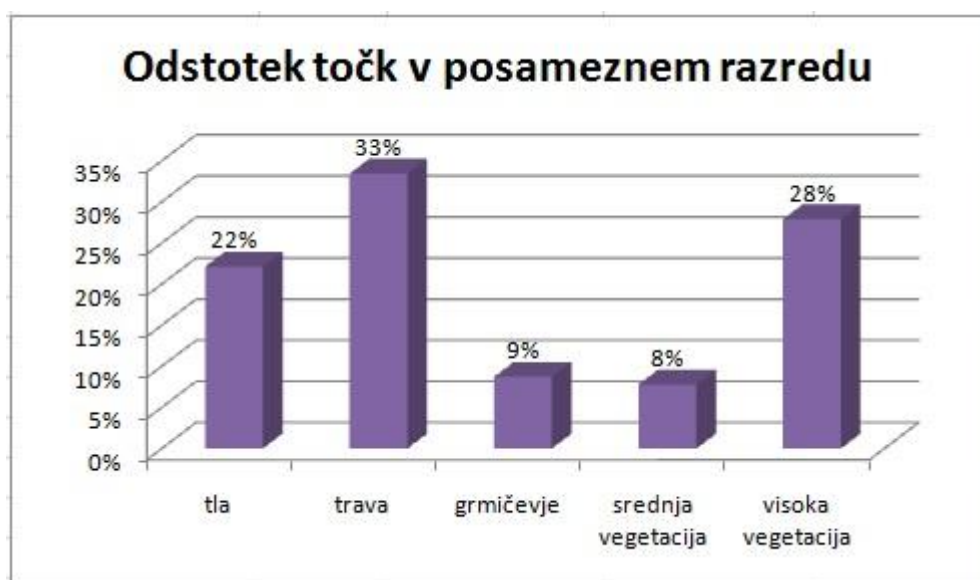


Slika G.3: Pokrovnost "mešani gozd", območje Mali graben

G.4 Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

Preglednica G.4: Pokrovnost »mešani gozd«, območje Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)

		Razred	Sp. meja razreda [m]	Zg. meja razreda [m]	Št. točk	št. točk v odstotkih
0 m	Tla	1	-0,46	0,00	385,4	22 %
0-0,3 m	Trava	2	0,00	0,30	582,3	33 %
0,3-2 m	Grmičevje	3	0,30	2,00	151,9	9 %
2-2,5 m	Srednja vegetacija	4	2,00	5,00	135,6	8 %
več kot 5 m	Visoka vegetacija	5	5,00	40,00	485,8	28 %
					1741	Št. vseh točk v datoteki
					17,4	Št. točk na m²



Slika G.4: Pokrovnost "mešani gozd", območje Podgorski kras (prekrivajoči se pasovi)