

UNIVERZA V LJUBLJANI
FILOZOFSKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GEOGRAFIJO

LARA MARTINČIČ

**3D modeliranje in prikazi z uporabo LiDARsko zajetih
podatkov**

Magistrsko delo

Ljubljana, 2017

UNIVERZA V LJUBLJANI
FILOZOFSKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GEOGRAFIJO

LARA MARTINČIČ

**3D modeliranje in prikazi z uporabo LiDARsko zajetih
podatkov**

Magistrsko delo

Mentor: doc. dr. Blaž Repe

Univerzitetni študijski program
druge stopnje: GEOGRAFIJA

Ljubljana, 2017

Zahvala

Za strokovno pomoč, podporo, nasvete in veliko mero potrpežljivosti se zahvaljujem mentorju doc. dr. Blažu Repetu.

Zahvaljujem se tudi družini in vsem ostalim, ki so me podpirali med študijem in pri izdelavi magistrskega dela.

Izvleček

3D modeliranje in prikazi z uporabo LiDARsko zajetih podatkov

V raziskavi so bili uporabljeni podatki laserskega skeniranja Slovenije z gostoto 5 točk/m². Predstavili smo tri metode, kako pridobiti obrise stavb iz LiDARskih podatkov. Metode smo izvedli v programu ArcMap. Prva metoda je bila avtomatizirana vektorizacija poligonov stavb, ki smo jo opravili deloma s pisanjem skripte in deloma z izdelavo modela. Druga metoda je bila izdelava obrisov stavb iz digitalnega modela reliefa in digitalnega modela površja, ki je bila prav tako avtomatizirana. Po tretji metodi smo zajem stavb opravili ročno, kar pa se je izkazalo za zelo dolgotrajen postopek. Za 3D model stavb smo v zadnjem koraku izračunali še višine stavb. 3D model stavb smo grafično predstavili s programom ArcScene. Po metodološkem delu smo glede na dobljene višine izračunali še okvirno število nadstropij in poiskali spremembe v katastru stavb iz leta 2012. Ugotovili smo, da se je na našem preučevanem območju pojavilo v treh letih kar nekaj novogradenj.

Ključne besede: daljinsko zaznavanje, lasersko skeniranje, obrisi stavb, 3D stavbe, kataster stavb

Abstract

3D modelling and displays with data from LiDAR technology

The present thesis shows a data research of a laser scan of Slovenia with 5 points/m² density. Three methods have been introduced, which show how to obtain outlines of buildings from LiDAR data. The methods were carried out in the program ArcMap. The first method is an automatic vectorization of a polygon of buildings, which was partly accomplished with a script writing and partly with the construction of a model. The second method is the construction of outlines of buildings from a digital model of a relief and a digital model of the surface, which is also automatic. The collection of building data with the third method was carried out manually and revealed itself as a very lengthy process. After the construction of the 3D model, a measurement of the heights of buildings was carried out. The 3D model of the buildings was presented with a graph in the program ArcScene. After the methodological part, the potential number of floors was analyzed and calculated in regard to the collected heights and changes in the cadaster of buildings of 2012. The study of this area has shown that many new buildings were built in the past three years.

Key words: remote sensing, airborne laser scanning, building footprints, 3D buildings, cadastre

KAZALO VSEBINE

I. SLOVAR IZRAZOV IN KRATIC	I
1. UVOD	1
1.1. NAMEN RAZISKAVE.....	1
1.2. CILJI RAZISKAVE	1
1.3. DELOVNE HIPOTEZE	1
1.4. METODOLOGIJA.....	2
2. OSNOVE LASERSKEGA SKENIRANJA	2
2.1. TEHNOLOGIJA LASERSKEGA SKENIRANJA.....	2
2.2. FIZIKALNE LASTNOSTI LASERSKEGA ŽARKA	3
2.2.1. Zaporedni odboj	3
2.2.2. Intenziteta odboja	3
2.3. PROCES UMESTITVE ZAJETIH PODATKOV	4
2.3.1. Kakovost podatkov	4
2.4. GOSTOTE LASERSKIH TOČK.....	5
3. MOŽNOSTI UPORABE PODATKOV LASERSKEGA SKENIRANJA ZA GEOGRAFE	6
3.1. GEOMORFOLOGIJA	6
3.2. POPLAVE	6
3.3. 3D MODELI STAVB	6
4. PROJEKT LASERSKO SKENIRANJE SLOVENIJE	7
5. PROGRAMSKA OPREMA ZA PREGLEDOVANJE LiDARSKIH PODATKOV	8
5.1. IZBIRA OBMOČJA IN PRIPRAVA PODATKOV	8
5.2. NAPAKE PRI KLASIFIKACIJI LiDARSKIH PODATKOV V RAZREDE	11
6. METODE ZA PRIDOBITEV OBRISOV STAVB IZ LiDARSKIH PODATKOV	14
6.1. AVTOMATIZIRANA VEKTORIZACIJA POLIGONOV STAVB.....	14
6.2. IZDELAVA OBRISOV STAVB IZ DMR-ja in DMP-ja.....	17
6.3. ROČNA VEKTORIZACIJA POLIGONOV STAVB	21
7. VREDNOTENJE UPORABLJENIH METOD	22
8. METODA ZA PRIDOBIVANJE VIŠIN STAVB	25
8.1. VREDNOTENJE REZULTATOV METODE ZA DOLOČANJE VIŠIN STAVB	27
8.2. 3D KARTOGRAFSKA PRIKAZA STAVB	32
8.3. OCENA ŠTEVILA NADSTROPIJ GLEDE NA VIŠINE STAVB	34
9. KAKOVOST KATASTRA STAVB GLEDE NA LiDARSKO STAVBE	36
9.1. PRIMERJAVA KATASTRA STAVB Z LiDARSKIMI STAVBAMI	36

10. ZAKLJUČEK.....	38
11. SUMMARY	40
12. VIRI IN LITERATURA	42
13. SEZNAM KART, PREGLEDNIC IN SLIK	44

I. SLOVAR IZRAZOV IN KRATIC

LiDAR – Tehnologija laserskega skeniranja.

DMR – Digitalni model reliefa, ki ga sestavljajo talne točke.

DMP – Digitalni model reliefa, ki ga sestavljajo talne točke, vrhovi vegetacije in infrastrukture.

Normaliziran DMP – Razlika med DMR-jem in DMP-jem.

Regularizacija – Proces, s katerim se normalizirajo oblike stavb z izločitvijo nepravilnosti v geometrijski obliki (Regularize Building Footprint, 2017).

1. UVOD

1.1. NAMEN RAZISKAVE

Namen raziskave je predstaviti, primerjati in vrednotiti metodologijo, kako iz LiDARskih podatkov ustvariti 3D kartografski prikaz stavb izbranega območja.

1.2. CILJI RAZISKAVE

- Izbrati heterogeno območje za izvedbo metodologije, na katerem se bodo nahajale fakultativne stavbe, nizki stanovanjski bloki in stanovanje hiše.
- Izbrati LiDARske podatke izbranega območja za izdelavo obrisov stavb in 3D kartografskega prikaza stavb.
- Poiskati in izbrati optimalno programsko opremo za obdelavo LiDARsko zajetih podatkov.
- Poiskati, izbrati in vrednotiti optimalno programsko opremo za izdelavo 3D kartografskega prikaza.
- Ponovno klasificirati že klasificirane točke, ki so bile napačno uvrščene v razrede.
- Izdelati avtomatiziran model, ki bo oblak točk stavb vektoriziral v poligone stavb.
- S pomočjo orodij za ročni zajem podatkov vektorizirati stavbe.
- Poiskati in izdelati avtomatiziran način za 3D modeliranje stavb.
- Primerjati kataster stavb s 3D LiDARskimi stavbami in preveriti spremembe katastra stavb glede na stavbe pridobljene iz LiDAR podatkov in obratno.

1.3. DELOVNE HIPOTEZE

V procesu raziskave bomo sprejeli ali ovrgli naslednje delovne hipoteze:

1. Gostota 5 točk/m² pridobljenih z LiDAR snemanjem je dovolj podrobna za izdelavo podrobnih 3D prikazov.
2. Zaradi nizke gostote LiDARskih točk na m² obstajajo razlike v obliki in velikosti med 3D prikazi stavb, ki smo jih pridobili z uporabo različnih metod.
3. Primerjava katastra stavb s stavbami, pridobljenimi iz LiDARskih podatkov, bo pokazala spremembe v prostoru.

1.4. METODOLOGIJA

Raziskava je razdeljena na dva dela – teoretičnega in raziskovalnega. V teoretičnem delu raziskave so predstavljene naslednje prvine: osnove laserskega skeniranja, uporaba podatkov laserskega skeniranja v geografiji in projekt Lasersko skeniranje Slovenje. Raziskovalno delo je bilo opravljeno kabinetno, izvedli smo ga v programski opremi ArcGIS in z orodji paketa Lastools, in deloma tudi terensko. LiDARske podatke za izvedbo metodologije smo dobili na portalu eVode Agencije Republike Slovenije za okolje in prostor. Sestavljeno je iz treh delov. V prvem delu smo s pomočjo avtomatizirane vektorizacije, metode pridobivanja obrisov stavb iz digitalnega modela reliefa in digitalnega modela površja, ter ročne vektorizacije pridobili obrise stavb iz LiDARskih podatkov. Vse metode smo izvedli v programu ArcMap. V drugem delu smo z metodo določanja višin stavb pridobili še zadnjo komponento za 3D prikaz stavb, ki smo jih prikazali v programu ArcScene. Na podlagi dobljenih višin in minimalne višine stropa, ki je določena zakonsko, smo izračunali še okvirno število nadstropij stavb. V zadnjem delu raziskave smo obrise stavb, pridobljene iz LiDARskih podatkov, primerjali s katastrom stavb. Primerjali smo obliko in obseg. Ob zaključku smo podali še strokovno oceno kvalitete katastra stavb glede na LiDARske stavbe.

2. OSNOVE LASERSKEGA SKENIRANJA

2.1. TEHNOLOGIJA LASERSKEGA SKENIRANJA

Lasersko skeniranje je postalo v zadnjih dvajsetih letih popolnoma avtomatiziran in natančen način zbiranja podatkov. Glavna značilnost te tehnologije je, da se v razmeroma kratkem času pridobi velika količina prostorskih zelo natančnih 3D podatkov (Belenović, Alberti, Marjanović, 2015). Prvič je za snemanje ledu na Arktiki in Antarktiki LiDARsko tehnologijo uporabila NASA v 70-ih letih (Airborne Laser Scanning, 2016). Glede na aplikacijo ločimo štiri vrste laserskega skeniranja – satelitsko, aerolasersko, terestično in lasersko skeniranje s kratkih razdalj (Belenović, Alberti, Marjanović, 2015). V nalogi bomo uporabili podatke, pridobljene iz aerolaserskega skeniranja. Pogosto se za to tehnologijo uporablja okrajšava LiDAR; izhaja iz angleškega opisa tehnologije *Light Detection and Ranging* (Forlani in sod., 2006). Prednost te tehnologije je, da zazna objekte in oblike pod rastjem (Triglav Čekada, 2011). Aerolasersko skeniranje je aktivni sistem, kar pomeni, da je neodvisen od svetlobnih pogojev – deluje podnevi in ponoči. Edina ovira je dež, ker vodne površine laserske žarke absorbirajo in ne odbijajo kot drugi objekti (Belenović, Alberti, Marjanović, 2015).

Aerolasersko skeniranje se izvaja iz zračnih plovil (letalo, helikopter, brezpilotni letalnik). Podatke zajema aktivni senzorski sistem, ki za merjenje uporablja laserski žarek. Snemalni sistem je sestavljen iz laserskega skenerja, GNSS in IMU sistema ter napravo za beleženje in shranjevanje podatkov. Laser proti površju z veliko hitrostjo pošilja laserske impulze, ki se od ovir na površju odbijajo nazaj proti skenerju, kjer se tudi zabeležijo. Točke, ki nastanejo, imenujemo oblak točk (ang. *point cloud*) (Belenović, Alberti, Marjanović, 2015).

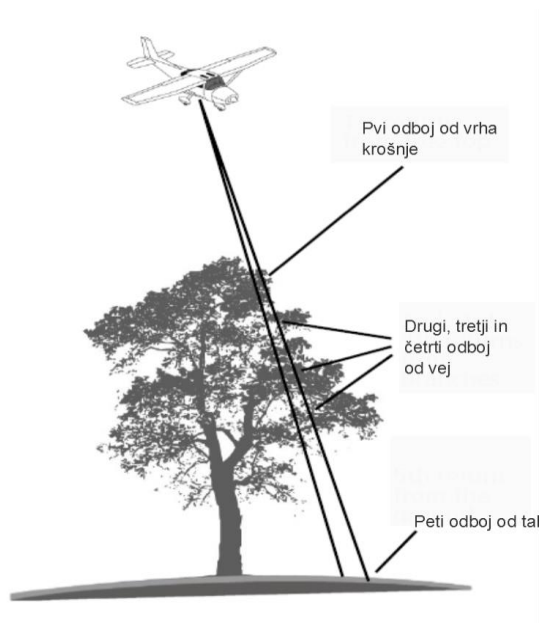
2.2. FIZIKALNE LASTNOSTI LASERSKEGA ŽARKA

2.2.1. Zaporedni odboj

Laserski žarek se v prostoru razširi v obliki stožca. Na poti med laserjem in tlemi se lahko žarek večkrat odbije. Ko žarek naleti na prvo oviro se del energije žarka odbije nazaj v napravo, to se zabeleži kot prvi odboj, preostala energija žarka pa potuje naprej proti tlem, če objekt ni pregost. Preostali žarek se potem v nižjih delih objekta odbije kot drugi, tretji, četrti in kot zadnji peti odboj od tal. Ta proces odbojev imenujemo zaporedni odboj. Do zaporednih odbojev pride pogosto v gozdovih, kjer imajo krošnje dreves vrzeli. V teoriji bi morali zadnji odboji vedno priti od tal, vendar v praksi ni vedno tako. Študije so pokazale, da prihaja samo 50 % zadnjih odbojev od tal (Belenović, Alberti, Marjanović, 2015).

Zato je potrebno z različnimi postopki filtriranja klasificirati, kateri zadnji odboji so od tal, kateri pa prihajajo od spodnjih vegetacijskih slojev (Belenović, Alberti, Marjanović, 2015).

Slika 1: Zaporedni odboj



Vir: Belenović, Alberti, Marjanović, 2015

2.2.2. Intenziteta odboja

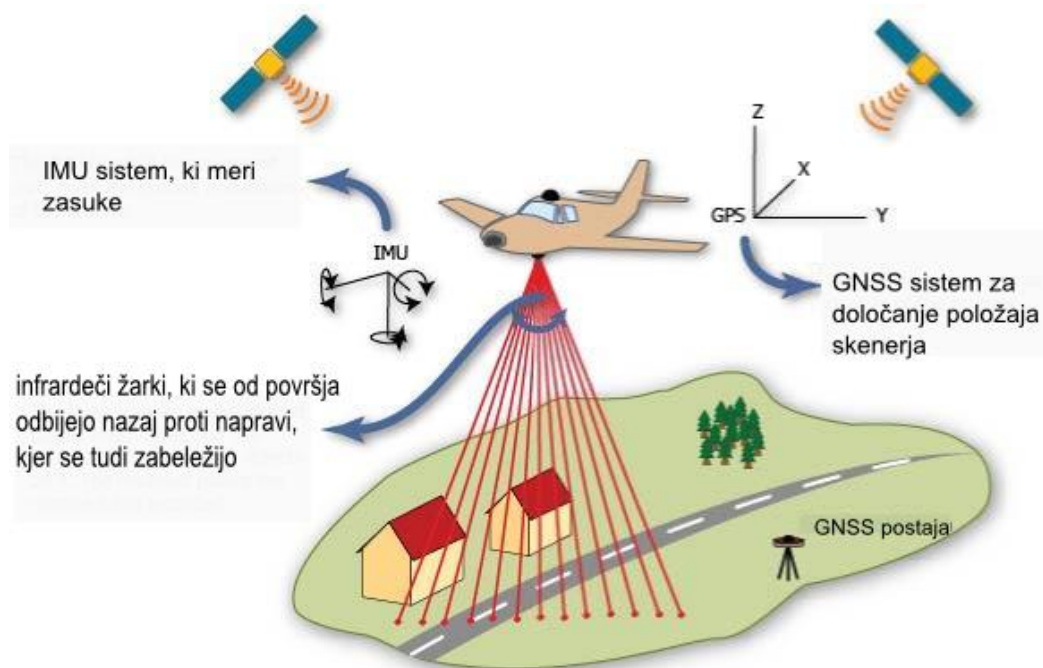
Pri laserskem skeniranju se meri tudi moč vrnjenega žarka. Intenziteta odboja je razmerje med močjo oddanega žarka in prejetega žarka. Moč pa je odvisna od karakteristik materiala, od katerega se žarek odbije (Song in sod., 2002). Objekti z visoko stopnjo odbojnosti, kot sta na primer sneg in kovinske strehe, imajo višjo intenziteto kot na primer temni objekti (asfalt), ki večino žarka posrkajo, zato je njihova intenziteta nižja. Iz intenzitetnih vrednosti

dobimo barvno sliko. Te vrednosti so nam poleg samih odbojev žarkov v veliko pomoč pri klasifikaciji oblaka točk (Characteristics of Lidar Data, 2014).

2.3. PROCES UMESTITVE ZAJETIH PODATKOV

Z metodo neposrednega georeferenciranja se določajo koordinate podatkov, pridobljenih z laserskim skeniranjem. Izmerjeni podatki (točke) se preko te metode neposredno umestijo na zemeljsko površje, brez tradicionalnih metod merjenja oslonilnih točk (Mostafa, Hutton, 2001). Metoda temelji na meritvah intercialnega navigacijskega sistema (sistem za merjenje zasukov) in globalnega navigacijskega satelitskega sistema (GNSS), ki se nahajata na krovu nosilca snemanja. Ti dve komponenti skupaj imenujemo POS sistem (*position and orientation system*) (Shan, Toth, 2009).

Slika 2: Neposredno georeferenciranje



Vir: Airborne Laser Scanning, 2016

2.3.1. Kakovost podatkov

Natančnost georeferenciranih podatkov je odvisna od natančnosti sistema GNSS in INS ter natančnosti kalibracije sistemov. Na natančnost vplivajo tudi drugi faktorji, kot so transformacije med koordinatnimi sistemi, metode interpolacije itd. (Triglav Čekada, 2011).

Če se osredotočimo na kakovost državnega laserskega skeniranja Slovenije, ki je bilo opravljeno v letih 2011 in 2012, se bodo podatki glede na kakovost lahko uporabljali za preučevanje poplav, stanja vodne gladine, ogroženosti infrastrukture, študije povezane z

reliefnimi oblikami in podobne. Višinska natančnost elipsoidnih višin točk laserskega skeniranja naj bi se gibala okrog enega decimetra (Radovan, 2011), položajna natančnost elipsoidnih višin točk pa tri decimetre (Triglav Čekada, 2015). Višina skenerja med snemanjem se meri z GNSS-om, zato se višine izvirno nanašajo na elipsoid (elipsoidne višine). Za pretvorbo v geoidne nadmorske višine pa potrebujemo vrednost geoidne undulacije (oddaljenost geoida od referenčnega elipsoida) v vsaki točki, njena natančnost pa trenutno v Sloveniji znaša več decimetrov. Tako lahko vidimo, da je natančnost tehnologije snemanja nekajkrat boljša od natančnosti transformacije. Geoidske višine s centimetrsko natančnostjo pa bodo po Radovanu izračunane šele čez nekaj let, ko bodo za to zagotovljena sredstva (Radovan, 2011).

2.4. GOSTOTE LASERSKIH TOČK

Poleg poznavanja pozicijske natančnosti LiDARskih podatkov je treba poznati tudi ločljivost teh podatkov. Ta pa se opredeli kot gostota LiDARskih točk na enoto površine. Gostota laserskih točk se meri v številu točk na m^2 . Pove nam, kakšne objekte bomo prepoznali v oblaku točk, kdaj bomo ločili dva objekta med seboj in kako natančno bomo določili obliko teh objektov (Triglav Čekada, 2011).

Gostote laserskih točk delimo na nizko, srednjo in visoko (Triglav Čekada, 2011):

- Do 5 točk na m^2 se obravnava kot nizka gostota laserskih točk. Uporablja se za izdelavo digitalnih modelov višin na državni ravni in je primerljiva z DMV-ji, ki jih izdelamo na podlagi cikličnega aerosnemanja.
- 5–10 točk na m^2 se obravnava kot srednja gostota laserskih točk. Uporablja se za izdelavo podrobnejših DMV-jev, ki so uporabni za preučevanje poplavnih območij.
- 10 in več točk na m^2 se obravnava kot visoka gostota laserskih točk. Uporablja se za izdelavo najbolj podrobnih DMV-jev in 3D modelov mest.

Za gostote 100 točk na m^2 in več pa uporaba aerolaserskega snemanja ni več smiselna. Za tako visoke gostote točk se uporablja terestično lasersko skeniranje. Za snemanje večjih gozdnih območij, še posebej v olistanem delu leta je treba snemati z večjo gostoto točk, saj velik delež žarkov ne prodre skozi krošnje, predvsem če gre za gosto vegetacijo. Smiselno je razdeliti območje glede na iste tipe vegetacije in oceniti, koliko žarkov se bo odbilo od tal, ter tako dobiti smiselno gostoto laserskih točk (Triglav Čekada, 2011).

3. MOŽNOSTI UPORABE PODATKOV LASERSKEGA SKENIRANJA ZA GEOGRAFE

Podatki laserskega skeniranja so uporabni za preučevanje spreminjanja različnih geomorfoloških pojavov, poplavnih območij in za izdelovanje 3D modelov urbanih središč, to metodologijo in uporabnost bomo predstavili v raziskavi (Triglav Čekada, 2011).

3.1. GEOMORFOLOGIJA

Uporaba LiDARskih podatkov v geomorfologiji je zelo raznolika. Velika gostota LiDARskih točk omogoča izdelavo zelo natančnih digitalnih modelov površja, klasifikacijo pokrovnosti, datiranje reliefnih oblik, sprememb v vulkanskem materialu po izbruhu, spremembe v globini in površini ledenika, kartiranju rečnih dolin in rečne erozije (Gallay, 2013). Zračno lasersko skeniranje se uporablja tudi za preučevanje površinskih kraških oblik (vhodi v jame, vrtače, udornice). Ker je naše kraško površje močno poraslo z vegetacijo, je smiselno snemanje opraviti v zimskem delu leta. Gostota točk mora biti med 5 in 12 točk/m² (Triglav Čekada, 2011).

Iskanje geomorfoloških sprememb omogočajo digitalni modeli površja, ki so narejeni iz ponavljajočih se snemanj. Tehnologija laserskega skeniranja se razvija tako, da se podatkom lahko doda tudi radiometrične attribute (Gallay, 2013). LiDARski podatki bodo imeli tudi pomembno vlogo pri snovanju scenarijev sprememb in simulacij površja v prihodnosti (Anders, Seijmonsbergen, 2008).

3.2. POPLAVE

Podatki laserskega skeniranja so primerni za natančne hidrološke študije. Za izdelavo kart poplavne nevarnosti in načrtovanje ukrepov za izboljšanje poplavne varnosti so podatki o obsegu poplav, pridobljeni z laserskim skeniranjem, pomembni za izboljšanje hidroloških modelov in zmanjšanje terenskega dela. Z metodami daljinskega zaznavanja je omogočeno spremljanje časovne in prostorske razporeditve obsega poplav (Veljanovski in sod., 2012).

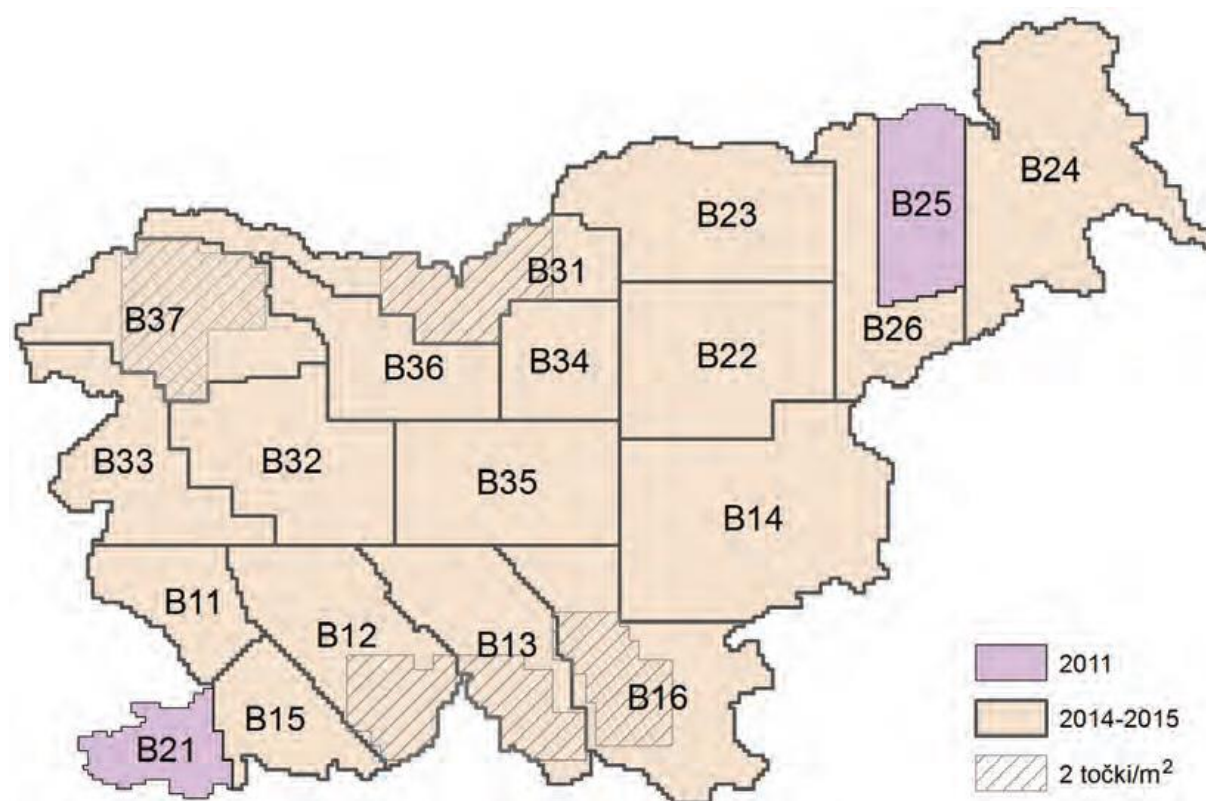
3.3. 3D MODELI STAVB

3D modeli so zelo uporabni pri urbanističnem planiranju, v arhitekturi, pri okoljskem planiranju in 3D vizualizaciji. Na modelu se nahajajo tla, zgradbe, vegetacija, ceste in drugi elementi. V zadnjih desetletjih se povečuje zanimanje za urbanistične modele, ki jih izdelamo z različnimi metodami v GIS programih. Velik korak k natančnejšim 3D modelom je prispevala tehnologija LiDAR (Yousef, 2010).

4. PROJEKT LASERSKO SKENIRANJE SLOVENIJE

Projekt Lasersko skeniranje Slovenije se je začel leta 2011, končal pa leta 2015. Slovenija je bila razdeljena na 19 blokov; bloka B21 in B25 sta bila snemana že leta 2011, ostali pa kasneje. Za posamezni blok so porabili največ enajst mesecev, razlogi za to so bili: neugodno vreme, odstranjevanje grobih napak in ponovno snemanje, spreminjanje mej blokov zaradi različnih časovnih snemanj območij znotraj bloka (Triglav Čekada, 2015).

Karta 1: Razdelitev Slovenije na snemalne bloke



Vir karte: Triglav Čekada, M., Bric, V., 2015

Večina države je bila snemana z gostoto 5 točk/m², območja večjih gozdov pa z gostoto 2 točki/m² (Triglav Čekada, 2015).

Bloke snemanja so združili in razrezali na območja velikosti 1 km² in transformirali elipsoidne višine v nadmorske višine. Nastali so izdelki (Triglav Čekada, 2015):

- Georeferenciran in klasificiran oblak točk v šest razredov; tla, nizka, srednja in visoka vegetacija, stavbe in neklasificirane točke (GKOT).
- Digitalni model reliefa 1m x 1m (DMR1).
- Oblak točk reliefa, kjer so zapisane samo talne točke (OTR).

- Analitično senčenje za območje velikosti 5m x 5m.

Izdelki projekta Lasersko skeniranje Slovenije so na voljo brezplačno na portalu eVode Agencije RS za okolje in so bili uporabljeni v naši raziskavi.

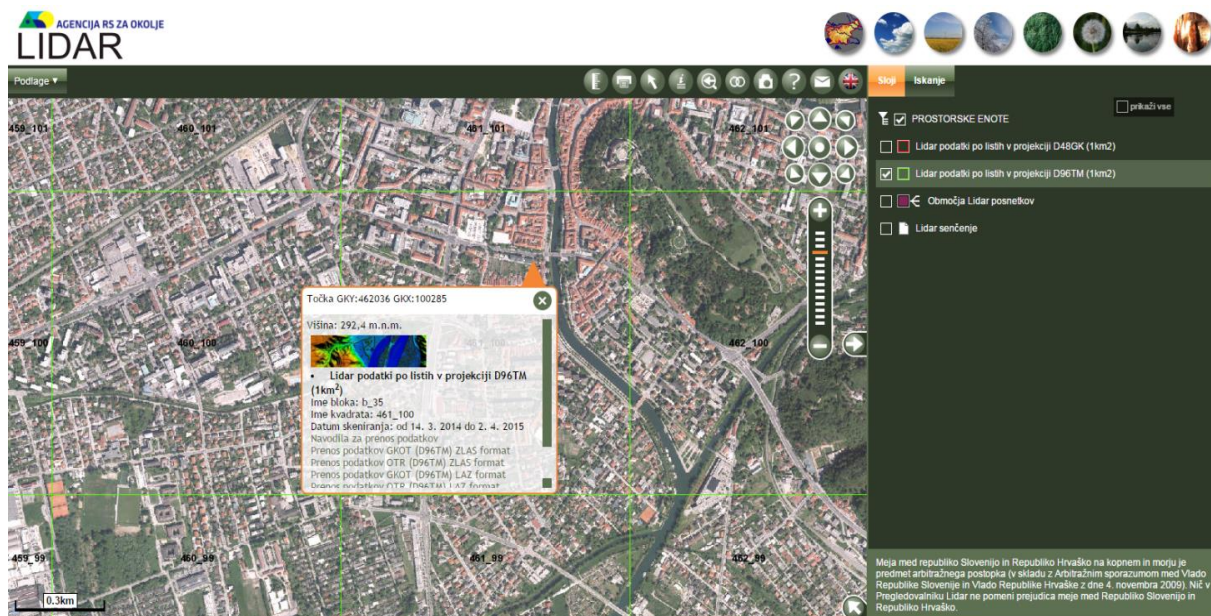
5. PROGRAMSKA OPREMA ZA PREGLEDOVANJE LiDARSKIH PODATKOV

5.1. IZBIRA OBMOČJA IN PRIPRAVA PODATKOV

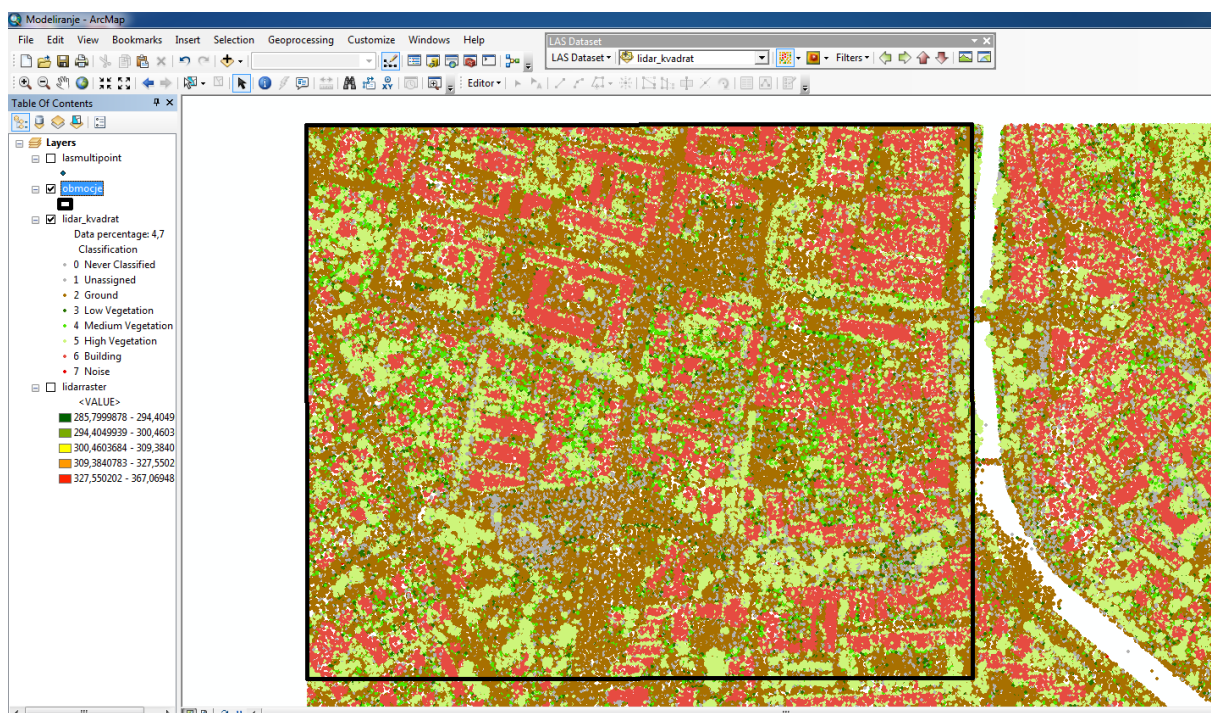
Za območje smo izbrali območje prehoda iz mestnega središča v stanovanjski okoliš Mirje. Podatke laserskega skeniranja za naše območje smo prenesli iz portala eVode Agencije Republike Slovenije za okolje in prostor. Podatki so javno dostopni za pregledovanje in uporabo.

S portala smo prenesli že klasificiran oblak točk v razrede; tla, nizka, srednja in visoka vegetacija, stavbe ter neklasificirane točke (GKOT) v projekciji D96TM. Območje kvadrata 461_100 je veliko 1km².

Slika 3: Portal eVode

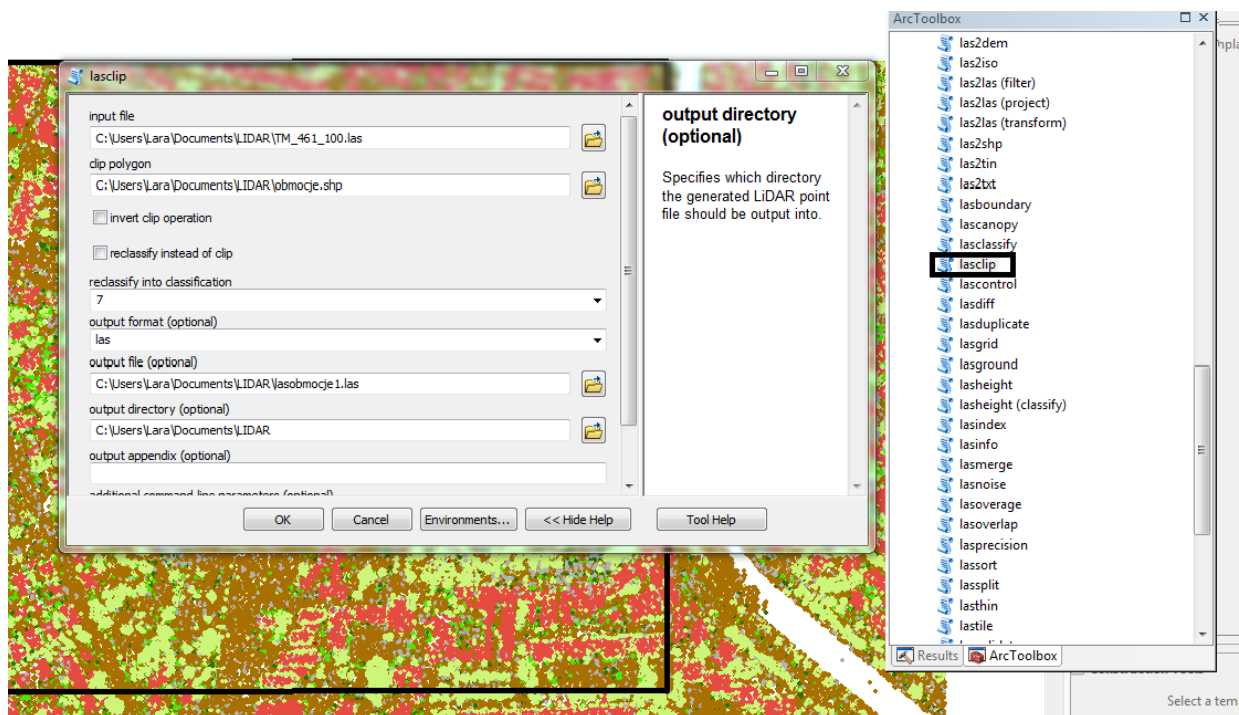


Slika 4: Območje modeliranja



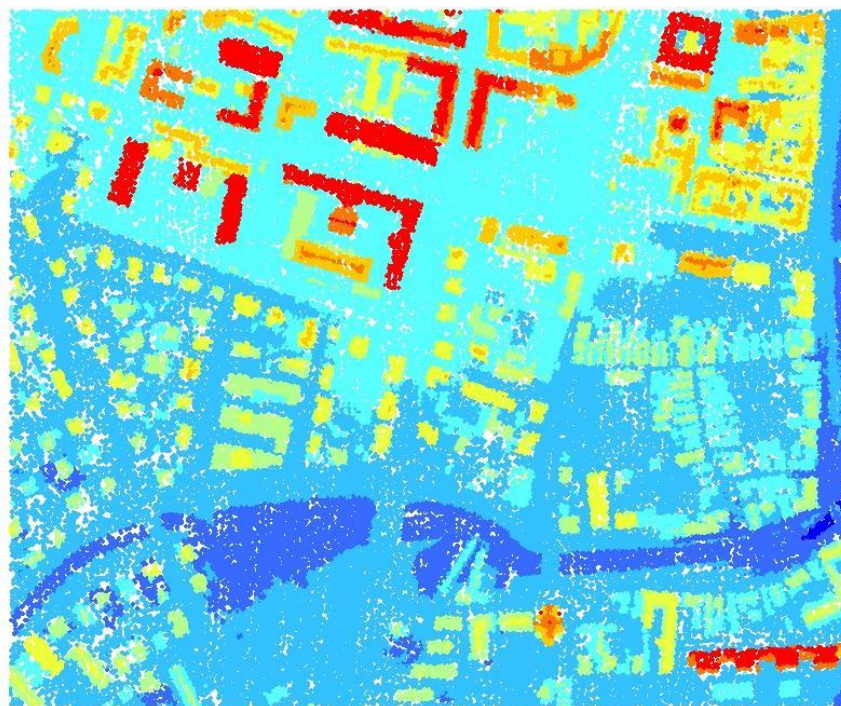
Podatke smo obdelali z orodji LAsTools podjetja Rapidlasso (Rapidlasso GmbH, 2017). Orodja so na voljo v odprtokodni verziji in se jih lahko vključi kot nov sklop orodij v Arctoolbox programa ArcMap. LiDARski podatki za Slovenijo so na portalu eVode razdeljeni na bloke velikosti 1 km². Znotraj našega bloka smo določili 0,44 km² veliko območje modeliranja, pri tem smo upoštevali, da so stavbe čim bolj heterogene. Naše območje smo obrezali z orodjem *Lasclip*, nato pa smo ga uvozili v ArcMap z orodjem *Create LAS Database*.

Slika 5: Izrez območja modeliranja



Karta 2: Višina LiDARskih točk območja modeliranja

Višina LiDARskih točk



Legenda

- 317,89 - 342,56
- 313,39 - 317,89
- 308,89 - 313,39
- 304,39 - 308,89
- 299,89 - 304,39
- 295,39 - 299,89
- 290,89 - 295,39
- 286,39 - 290,89
- 270,57 - 286,39



0 62,5 125 250 Kilometers

Vir podatkov: LiDAR, eVode, Agencija Republike Slovenije za okolje in prostor, 2016
Kartografija in oblikovanje: Lara Martinčič

Karta 2 prikazuje višino LiDARskih točk; rdeče barve predstavljajo najvišje stavbe v našem območju modeliranja in svetlorumene najnižje stavbe. Iz tega lahko razberemo, da so stavbe raznolike in smo lahko v nadaljevanju raziskave določali različne karakteristike (npr. število nadstropij).

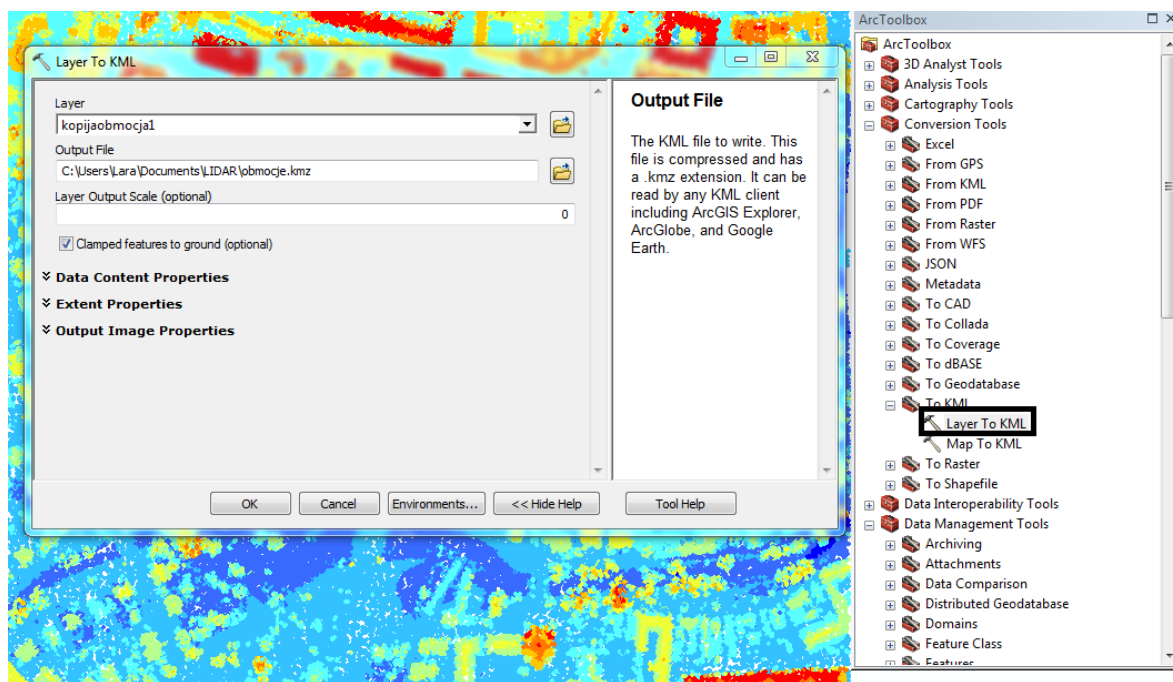
5.2. NAPAKE PRI KLASIFIKACIJI LiDARSKIH PODATKOV V RAZREDE

Napake pri klasifikaciji LiDARskih podatkov so definirane kot napačno uvrščene LiDARske točke v klasifikacijski razred. Med najpogostejše in bolj problematične napake sodijo klasifikacija avtomobila kot srednja vegetacija ali kot neklasificirane točke, klasifikacija elektrovdov in drugih napeljav v visoko vegetacijo, prikolice tovornjakov so klasificirane kot stavbe (Izvedba laserskega skeniranja Slovenije, 2015), prekrivanje streh stavb z vegetacijo, visoke žive meje, pri katerih lahko pride do klasifikacije stavb v vegetacijo, in strehe iz materialov, pri katerih ne pride do odboja.

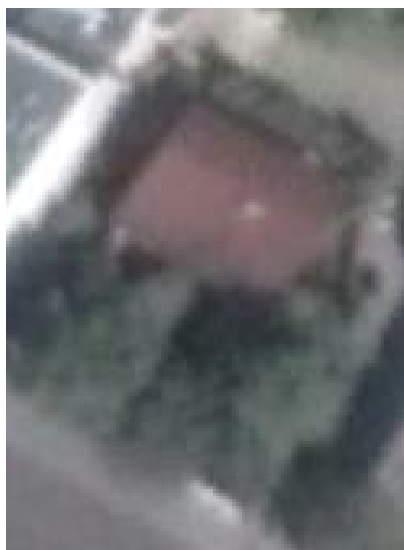
S pregledovalnikom profilov LAS podatkovne baze podatkov v ArcMap-u smo ročno pregledali, katere točke so napačno klasificirane. Poleg profilov LiDARskih podatkov smo si pri določanju napačno klasificiranih točk pomagali tudi s satelitskimi slikami iz Google Zemlje.

Območje modeliranja smo najprej uvozili v Google Zemlja, da smo omejili območje pregledovanja. Uvoz ni mogoč neposredno, ampak mu je bilo treba najprej določiti ustrezno projekcijo.

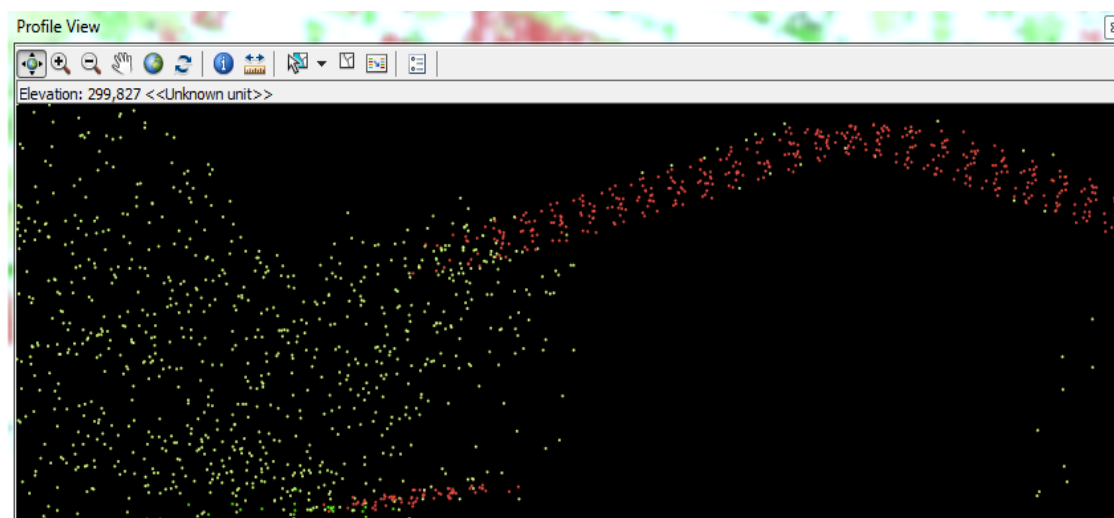
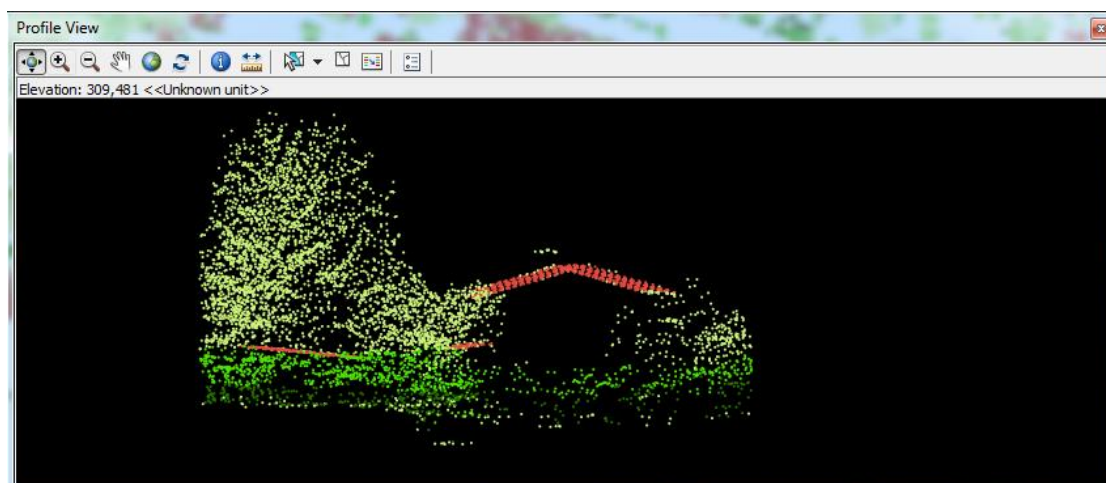
Slika 6: Uvoz območja modeliranja v Google Zemljo



Slika 7: Primer preverjanja klasifikacije LiDARskih točk



Satelitski posnetek iz Google Zemlje prikazuje primer hiše, ki jo obdaja in deloma prekriva vegetacija. Služil nam je kot pomoč prepoznavanja napačno klasificiranih točk.

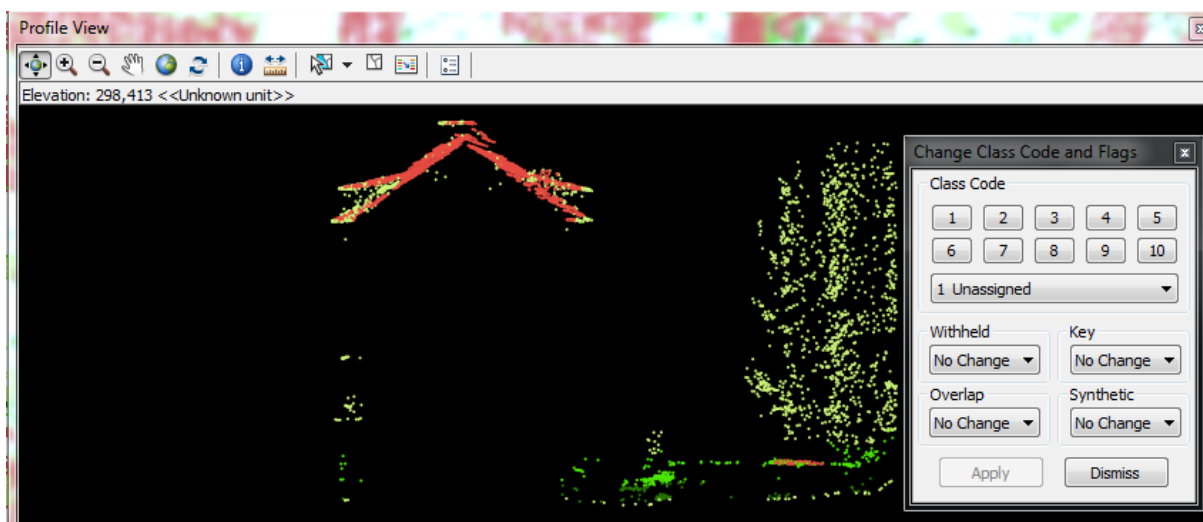


Na zgornjih slikah je prikazan primer stavbe, pri kateri bi lahko bile LiDARske točke napačno klasificirane, saj se tik ob stavbi nahaja visoka vegetacija. Profili so bili narejeni z orodjem *LAS Dataset Profile View* v ArcMapu. Pri prvem profilu skozi oblak točk je pogled nanj bolj oddaljen. Slika daje slutiti, da se bo pri klasifikaciji pojavila napaka (del strehe uvrščen v vegetacijo). Na drugem profilu skozi oblak točk pa je ta del strehe približan, kjer vidimo, da so točke prekritega dela strehe z vegetacijo pravilno klasificirane. Enak postopek preverjanja pravilnosti klasifikacije smo uporabili za celotno naše območje. Preverili smo samo stavbe, ki jih je obdajala ali prekrivala visoka vegetacija glede na posnetke Google Zemlja.

Po pregledu celotnega območja smo prišli do sklepa, da pri klasifikaciji LiDARskih točk ni večjih napak, saj vegetacija nikjer ni preraščala stavb v taki meri, da bi to vplivalo na odboj. Treba je omeniti, da je pravilnost klasifikacije stavb 94,4 % (delež pravilnih od najdenih) in obstaja možnost, da nekatere stavbe na našem območju v prostoru niso stavbe, ter da je popolnost klasifikacije stavb 98,3 % (delež najdenih zgradb od dejanskega deleža vseh zgradb) (Izvedba laserskega skeniranja Slovenije, 2015). Vendar tega s prečnimi prerezi klasificiranih podatkov ne moremo ugotoviti. Vprašljive stavbe bi bilo treba terensko preveriti.

Pri pojavu napačno klasificiranih točk se jim klasifikacijski razred spremeni z orodjem *edit* v orodni vrstici profilnega pogleda.

Slika 8: Spreminjanje klasifikacijskih razredov točk



6. METODE ZA PRIDOBITEV OBRISOV STAVB IZ LiDARSKIH PODATKOV

Za pridobivanje obrisov stavb iz LiDARskih podatkov smo predstavili, primerjali in vrednotili tri metode. Prva metoda je bila avtomatizirana vektorizacija poligonov stavb, pri drugi metodi smo obrise stavb pridobili iz DMR-ja in DMP-ja, tretja metoda je predstavljala ročno vektorizacijo.

6.1. AVTOMATIZIRANA VEKTORIZACIJA POLIGONOV STAVB

Poligonske obrise stavb lahko iz LiDARskih podatkov dobimo z uporabo številnih orodij v ArcMapu. Postopek je dolgotrajen, zato smo ga avtomatizirali z izdelavo skripte in modela.

Postopek je sestavljen iz dveh delov. Prvi del postopka smo izvedli s pomočjo skripte, ki smo jo zapisali v *Python* jeziku. Skripta nam je omogočila, da smo iz LiDARskih točk stavb izdelali stavbe v rastrski obliki. Rezultat smo nato uporabili v drugem delu postopka. Najprej smo izračunali povprečno razdaljo med dvema točkama, da smo dobili velikost rastrske celice. Skripta je bila napisana v taki obliki, da sama poišče podatek o razdalji med točkama in izračuna velikost celice. LiDARske točke stavb smo nato spremenili v točkovni sloj (*LAS to Multipoint*) in nato še v raster (*Point to Raster*).

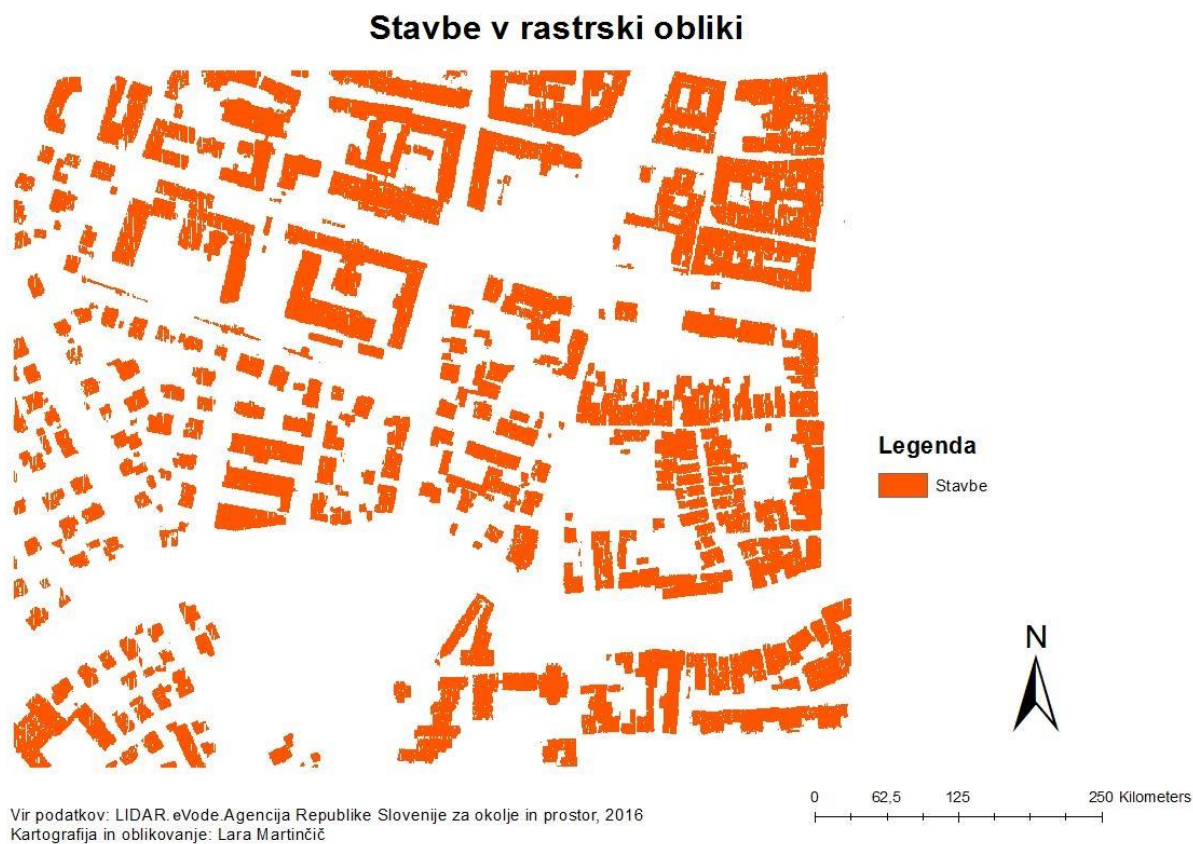
Slika 9: Skripta za izdelavo rastrskega sloja stavb

```

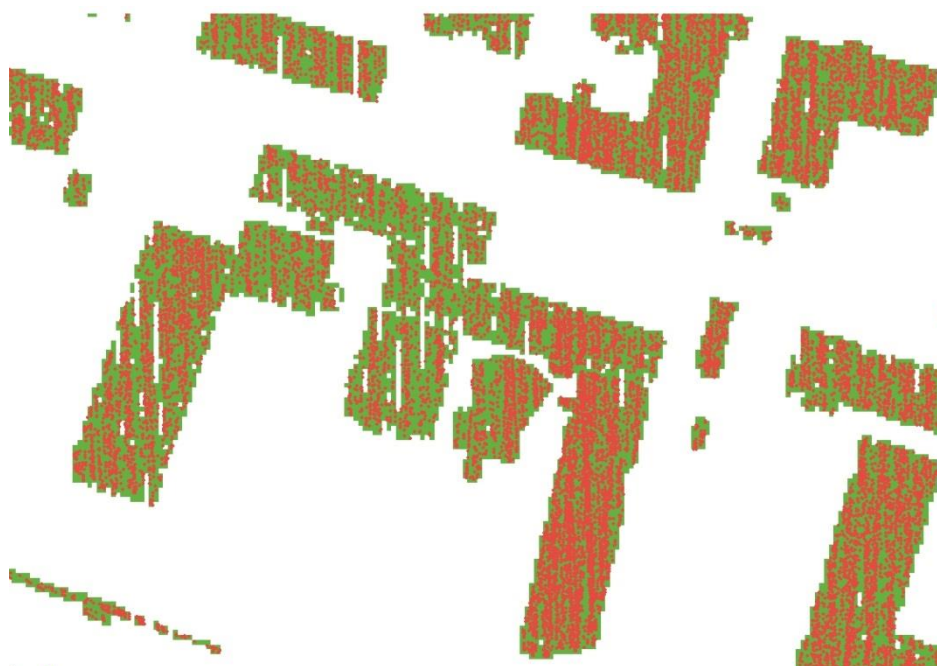
27 # LIDAR
28 #Set local variables for creating Point File Information.
29 las_data = arcpy.GetParameterAsText(3) #input File - kjer so lidarski .las podatki.
30 point_info = '{0}/point_info'.format(GDB_file) #Output Point File Information.
31
32 #Process: Point File Information.
33 pointFile = arcpy.PointFileInformation_3d(las_data, point_info, "LAS", "las", "PROJCS['WGS_1984_World_Mercator',GEOGCS['GCS_
34
35 #v atributivni tabeli najdi informacijo o point file spacing
36 TheRows=arcpy.SearchCursor(point_info)
37 for TheRow in TheRows:
38     Average_Point_Spacing=TheRow.getValue("Pt_Spacing")
39
40 #pomnoži in zaokroži point file spacing da dobiš velikost celice
41 cell = math.ceil(Average_Point_Spacing*2)
42
43 #ANALYSIS 1:
44
45 las_building = '{0}/las_building'.format(feature_dataset)
46
47 #Process: LAS to Multipoint, koda 6 (stavbe).
48 arcpy.LASToMultipoint_3d(las_data, las_building, Average_Point_Spacing, "6", "ANY_RETURNS", "", "PROJCS['WGS_1984_World_Merc
49
50 dem_building = '{0}/dem_building'.format(GDB_file)
51
52 #Process: Point to Raster
53 arcpy.PointToRaster_conversion(las_building, "OID", dem_building, "MAXIMUM", "NONE", cell)

```

Karta 3: Rastrski sloj stavb

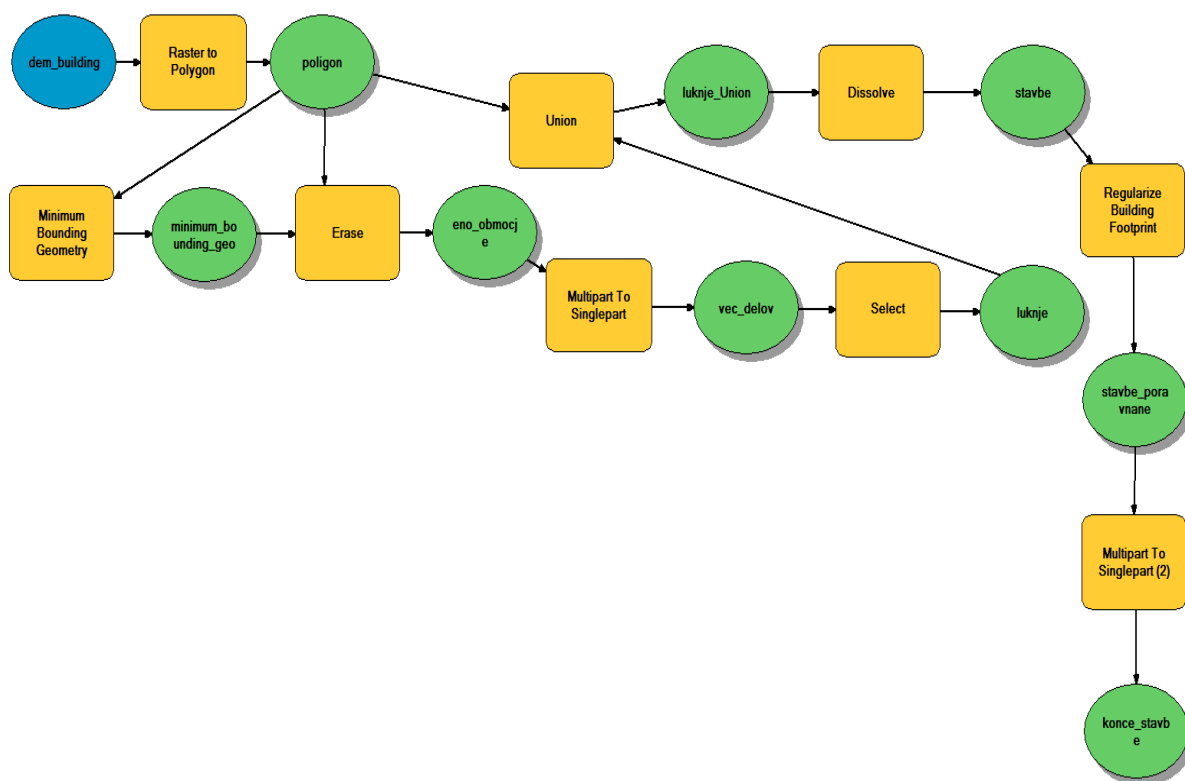


Slika 10: Približan rastrski sloj stavb in LiDARske točke stavb



Karta 3 in slika 10 prikazujeta rastrski sloj stavb. V stavbah se pojavljajo prazne celice, ker ni LiDARskih podatkov ali ker je bilo snemanje opravljeno s prenizko gostoto točk na m² ali pa je prišlo med snemanjem do napak.

Slika 11: Model postopka avtomatizirane vektorizacije stavb

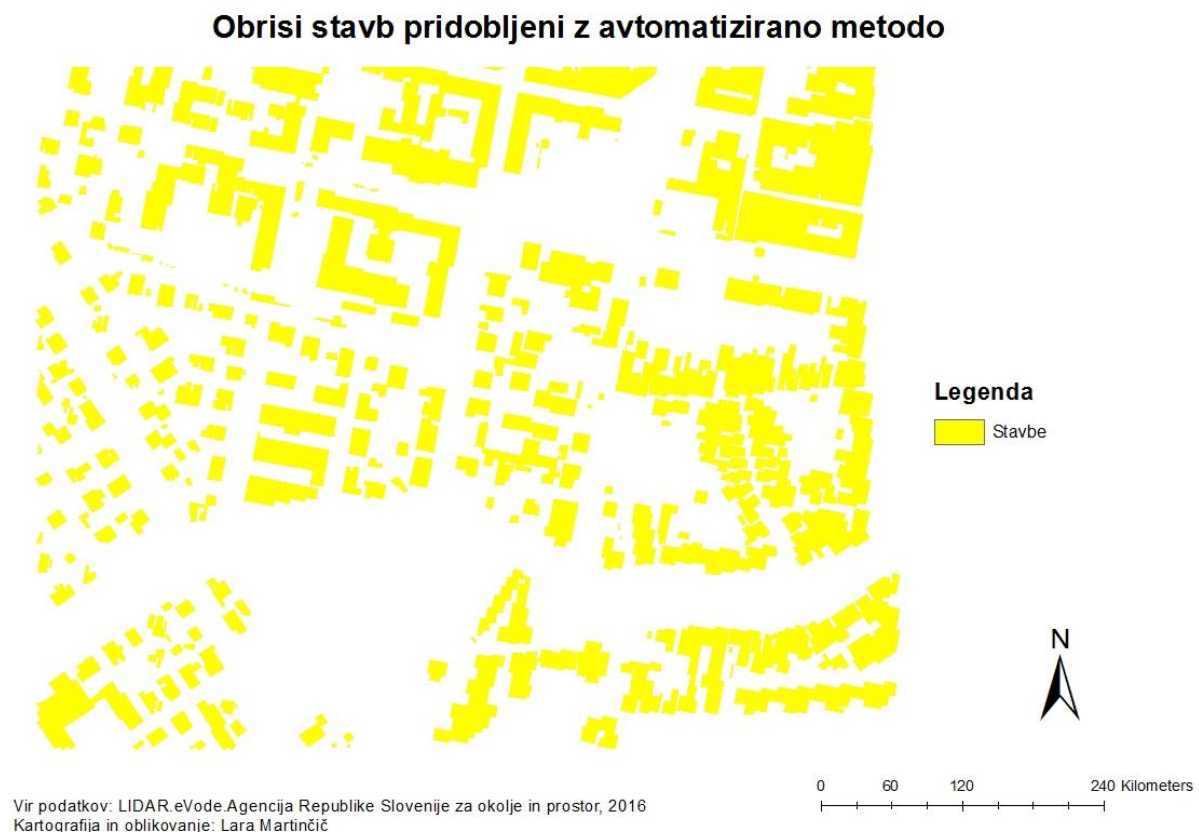


V drugem delu postopka metode avtomatizirane vektorizacije stavb smo izdelali model, s katerim smo dobili končne poligonske obrise stavb. Za izdelavo modela smo uporabili številna orodja v ArcMapu. Rastrski sloj stavb, ki smo ga izdelali v prvem delu postopka, smo najprej transformirali v poligone; vsako od stavb so sestavljali številni poligoni. Z orodji *Minimum Bounding Geometry in Erase* smo poligone združili tako, da so se združili tisti, ki so predstavljali eno stavbo. Poligone smo nato še razstavili na več delov (*Multipart to Singlepart*) tako, da je vsak poligon predstavljal svojo stavbo s pripadajočimi atributivnimi podatki. Z orodjem *Select* smo nato luknje, ki so nastale zaradi pomanjkanja podatkov, združili s poligoni. Prišlo je do težave pri staromeščanskih hišah z notranjim dvoriščem, ki ga je orodje prepoznalo kot luknjo in jo je hotelo združiti s poligonom. Težavo smo skušali rešiti tako, da smo pri orodju *Select* nastavljali parameter *Shape_Area* na vedno manjše območje tako, da so bili veliki prazni prostori, ki predstavljajo dvorišča, izločeni kot del stavbe. Ta rešitev je bila deloma uspešna, saj je prišlo do razdruževanja nekaterih poligonov v dve različni stavbi zaradi pomanjkanja točk med dvema deloma stavbe. Iz satelitskih posnetkov Google Zemlja je razvidno, da ni izločilo vseh dvorišč.

Z orodjem *Dissolve* smo poligone, ki so predstavljali eno stavbo, združili v en poligon. Nepravilne oblike poligonov smo z orodjem *RegularizeBuildingFootprint* spremenili v pravilne.

V zadnjem koraku pa smo poligon zopet razdružili na več delov (*Multipart to Singlepart*) tako, da je imela vsaka stavba svoje atributne podatke.

Karta 4: Poligonski obrisi stavb, pridobljeni z avtomatizirano metodo

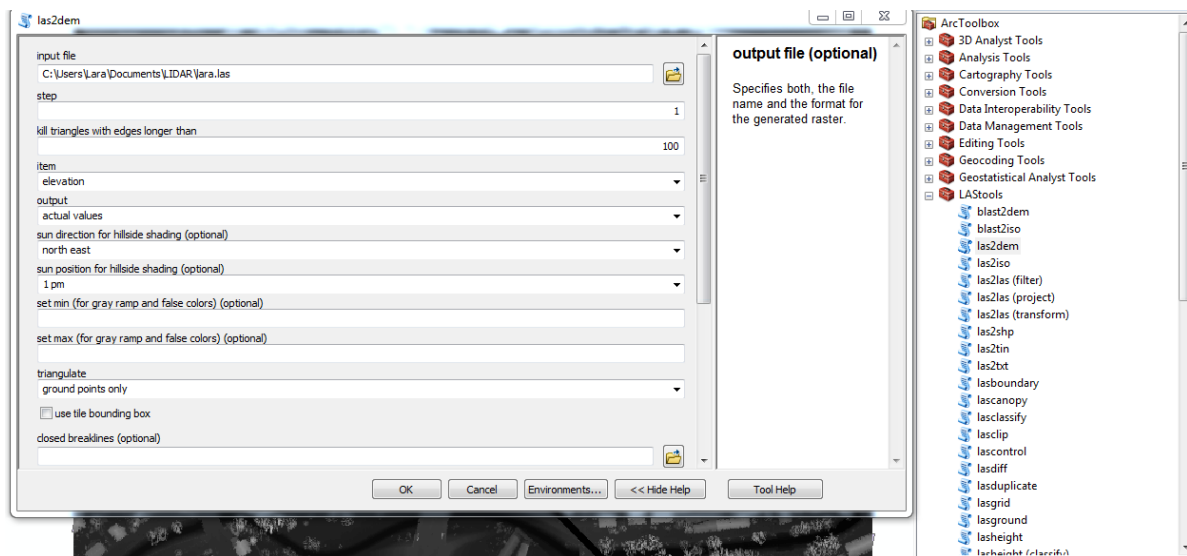


6.2. IZDELAVA OBRISOV STAVB IZ DMR-ja in DMP-ja

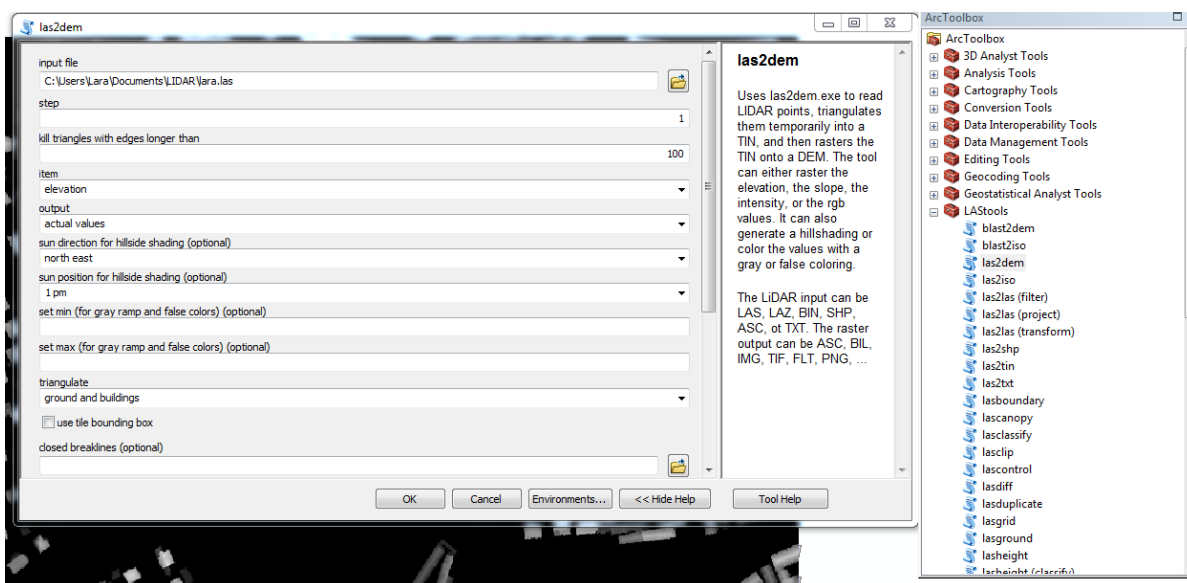
Poligonske obrise stavb smo pridobili tudi iz DMR-ja in DMP-ja, pri tem smo upoštevali samo talne točke in točke stavb.

V prvem koraku smo izdelali DMR in DMP. Uporabili smo orodje *Las2dem* iz paketa *Lastool*, ki smo ga tako kot pri prvi metodi dodali kot nov paket orodij v ArcToolbox.

Slika 12: Izdelava DMR-ja

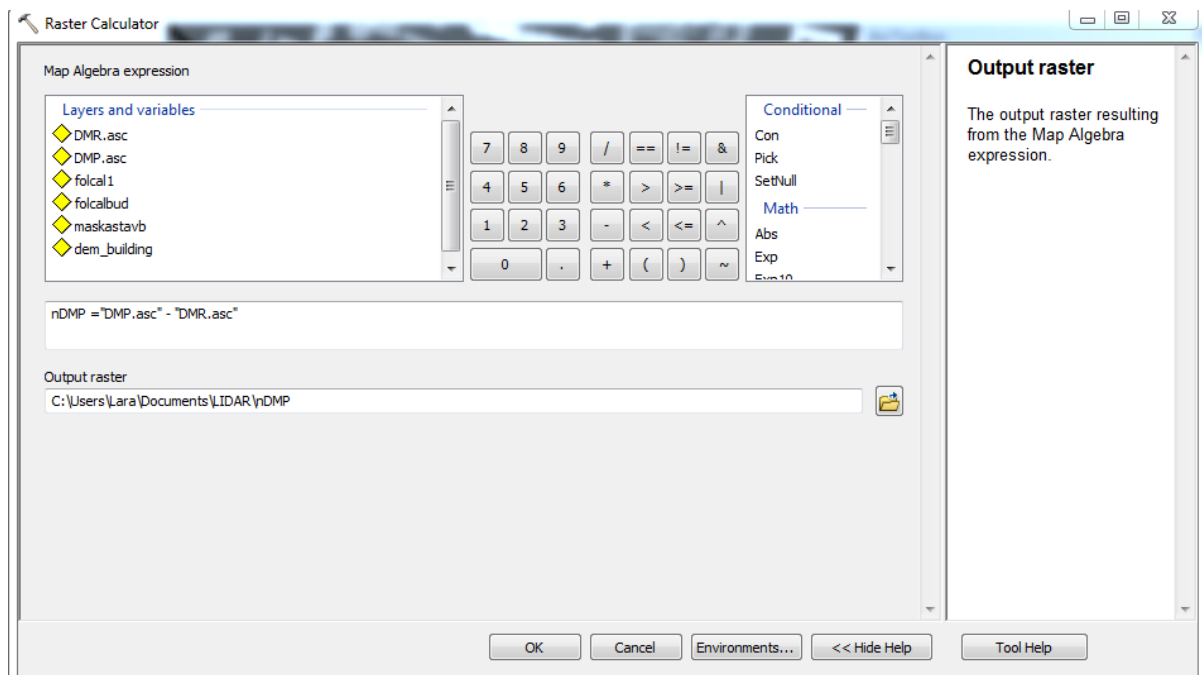


Slika 13: Izdelava DMP-ja

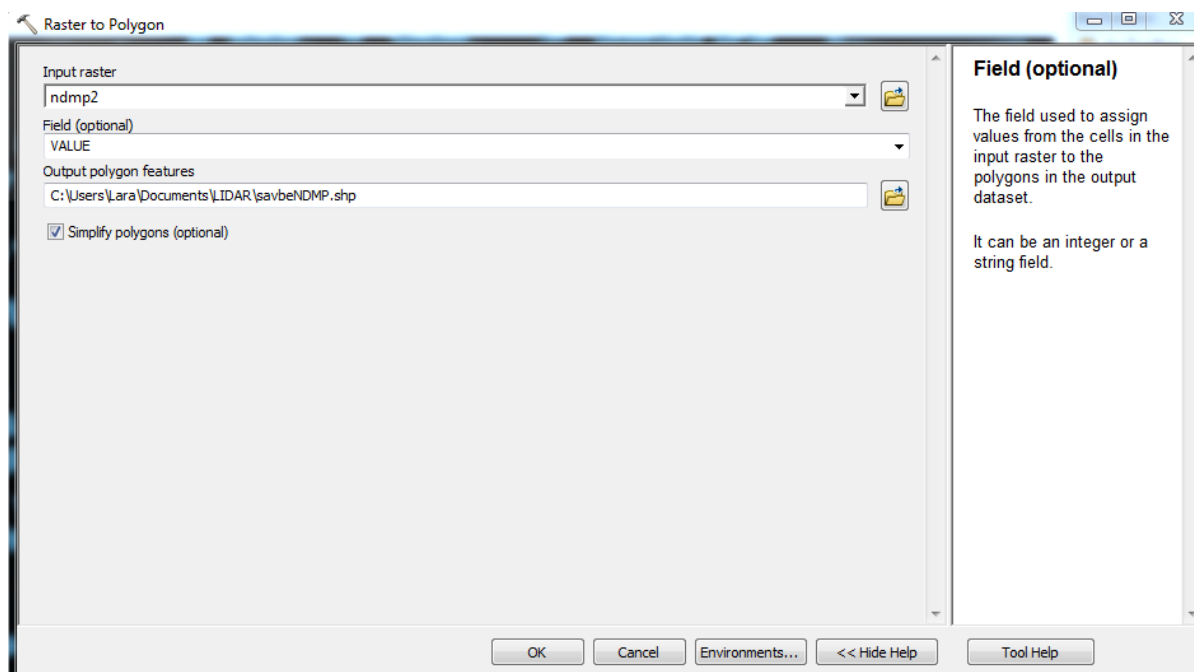


Pri izdelavi DMP-ja smo upoštevali talne točke in točke, klasificirane kot stavbe. Prednost uporabe orodja *las2dem* je ta, da si lahko sami izberemo, katere razrede bomo upoštevali za izdelavo DMP-ja; s tem prihranimo nekaj korakov, kot je na primer upoštevanje vegetacijskega indeksa NDVI. Normaliziran DMP (digitalni model stavb) smo dobili tako, da smo odšteli DMR od DMP-ja.

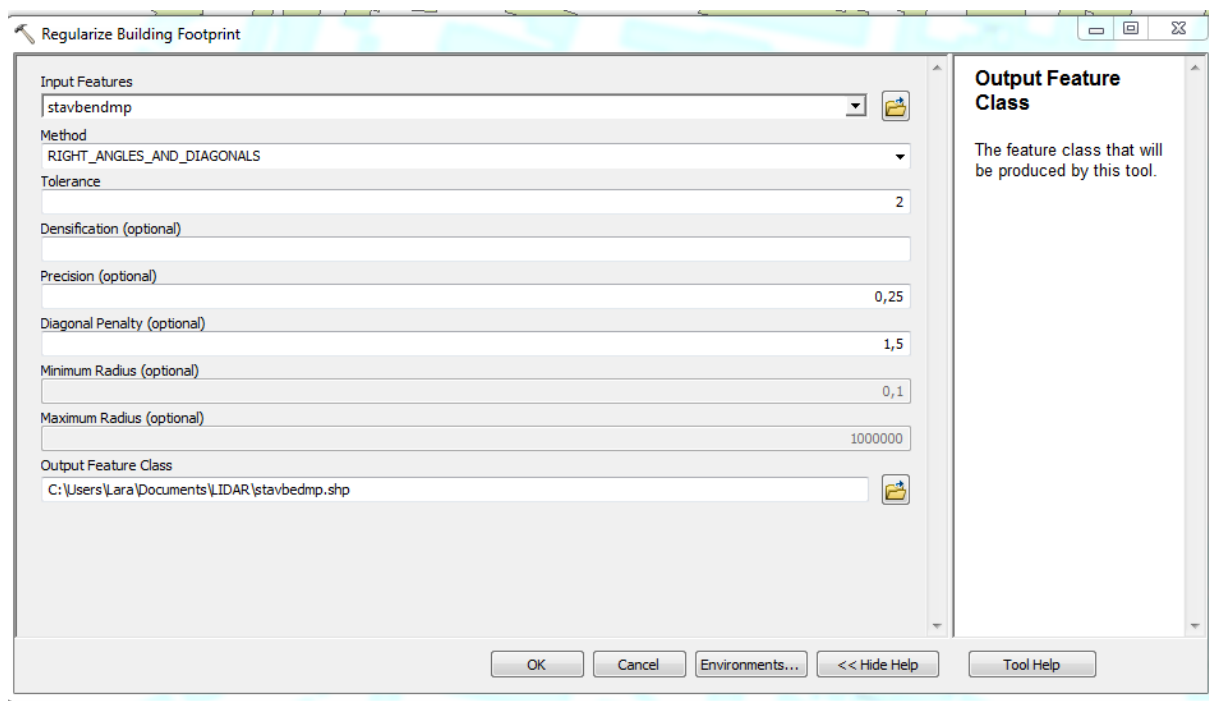
Slika 14: Izračun normaliziranega DMP-ja



Slika 15: Pretvorba rastra v poligon

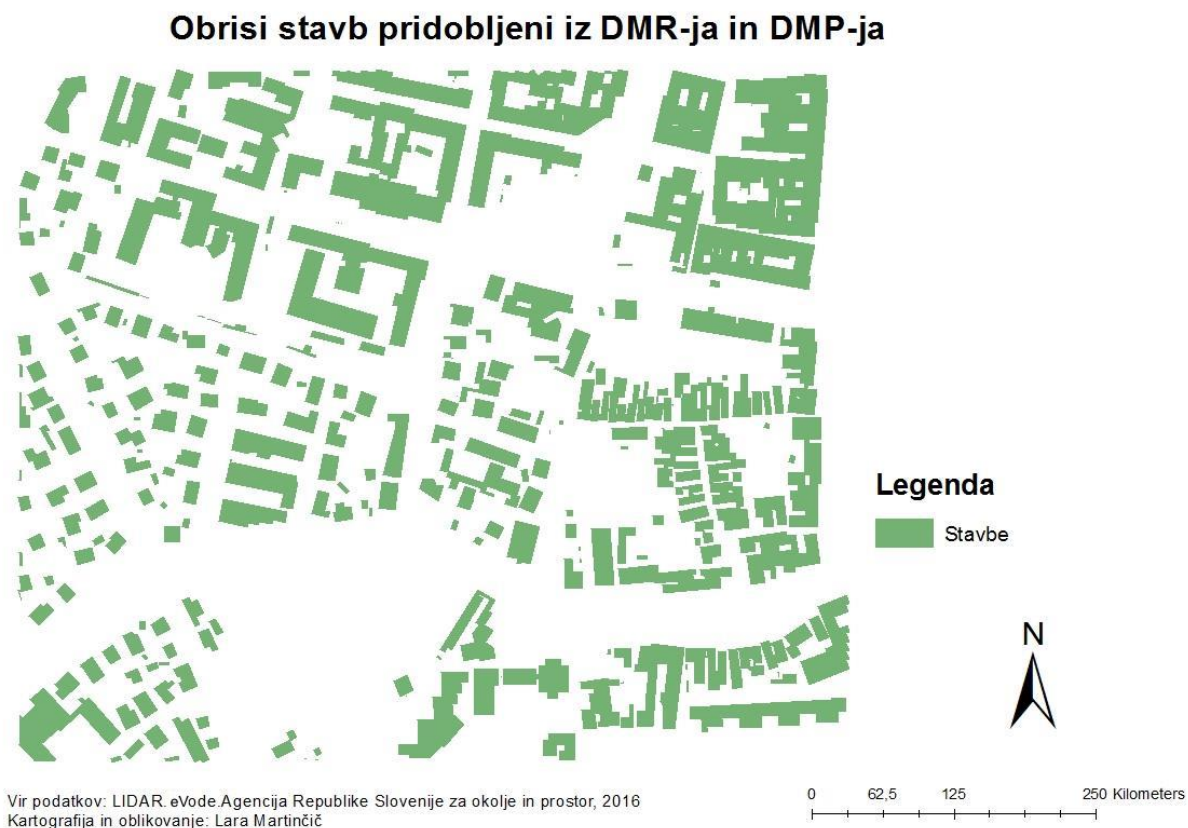


Slika 16: Regularizacija poligonov stavb



Ob zaključku postopka smo rastrski sloj stavb pretvorili v poligonskega in regularizirali oblike poligonov, tako da so vsi dobili pravilne poligonske oblike.

Karta 5: Poligonski obrisi stavb, pridobljeni iz DMR-ja in DMP-ja

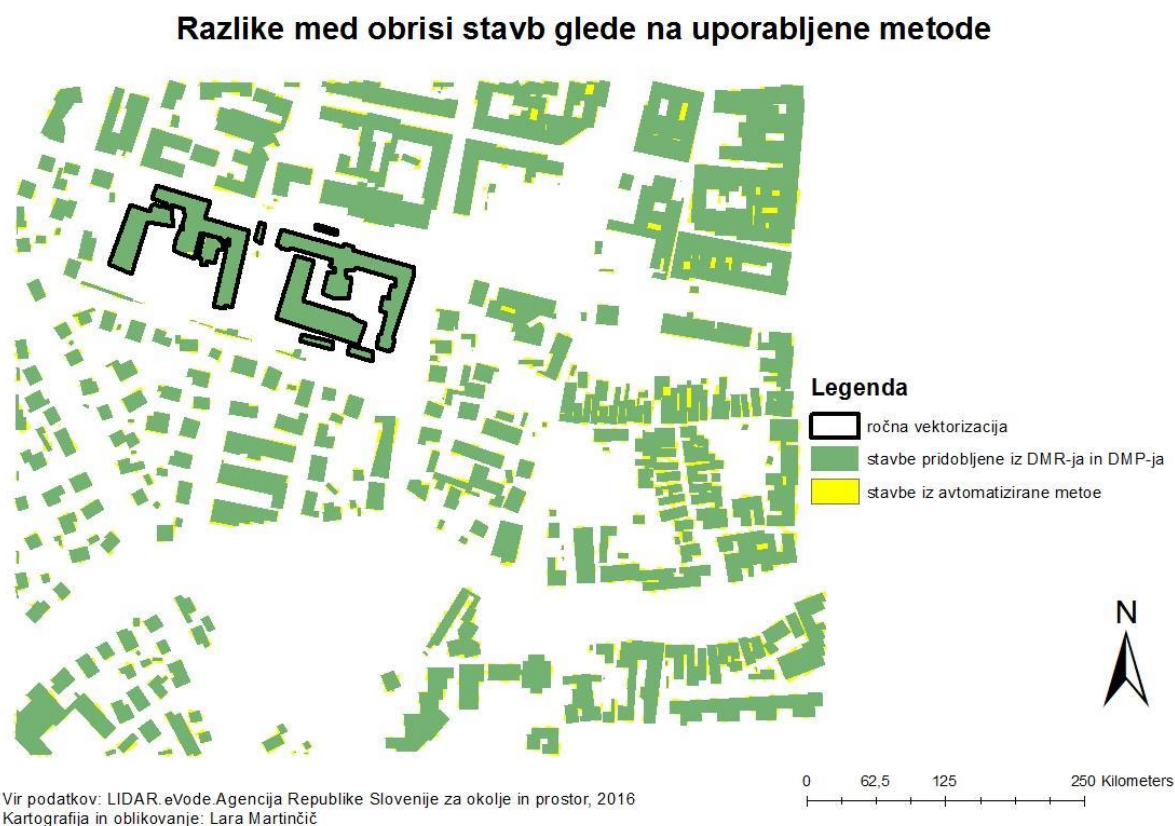


6.3. ROČNA VEKTORIZACIJA POLIGONOV STAVB

Pri ročni vektorizaciji je treba zajeti vsako stavbo posebej; ta postopek zahteva veliko časa, posledično je ta metoda najdalgotrajnejša.

Z avtomatično vektorizacijo je bilo na našem območju prepoznanih 263 stavb, ročno pa smo za primer metode vektorizirali 7 stavb; za to smo porabili 30 min. Če bi želeli vektorizirati vse stavbe našega območja, bi potrebovali približno 17 ur. Obrisi, dobljeni z ročno vektorizacijo, so natančni samo pri stavbah, kjer je gostota LiDARskih točk visoka in lahko natančno določimo potek robov stavbe. Pri stavbah, kjer je gostota LiDARskih točk nizka in so točke neenakomerno razporejene, ne moremo natančne linije robov določiti, ampak lahko samo sklepamo, kako naj bi rob stavbe potekal.

Karta 6: Razlike med obrisi stavb glede na uporabljene metode

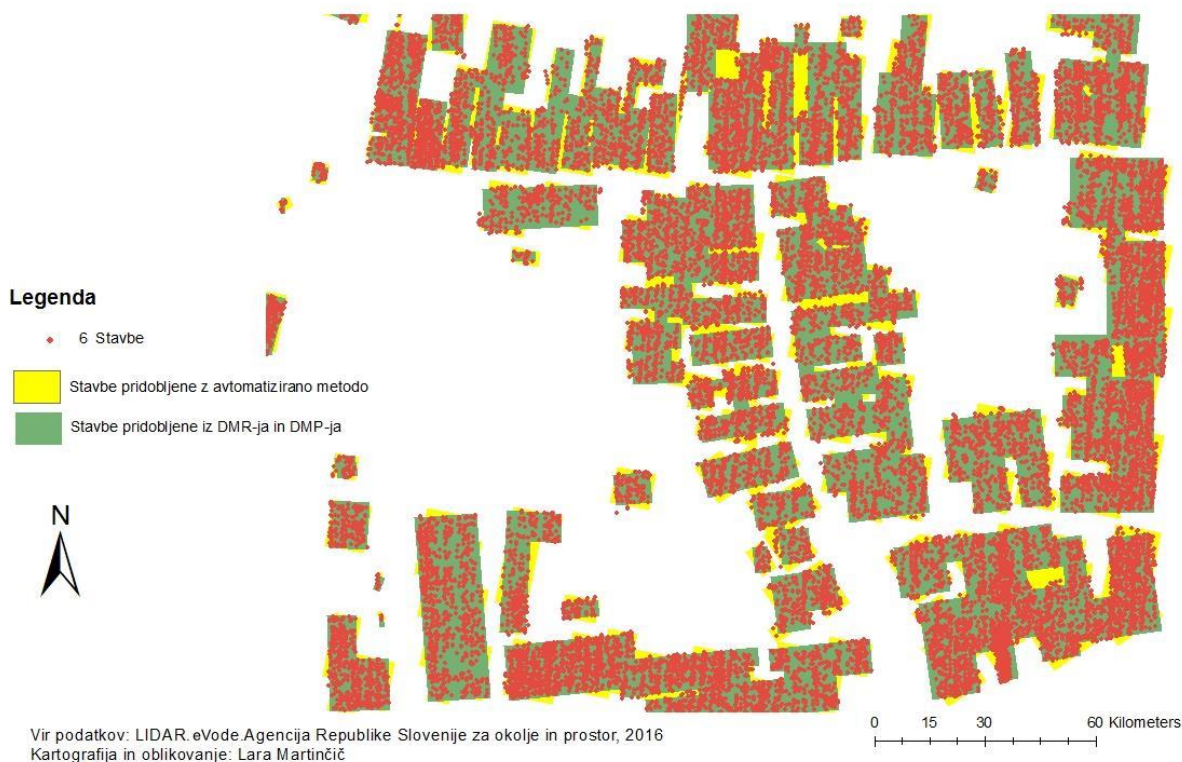


7. VREDNOTENJE UPORABLJENIH METOD

Avtomatizirana vektorizacija poligonov stavb se je izkazala kot učinkovita metoda, s katero lahko hitro pridobimo obrise stavb. Oblike stavb se v večini primerov skladajo s potekom LiDARskih točk.

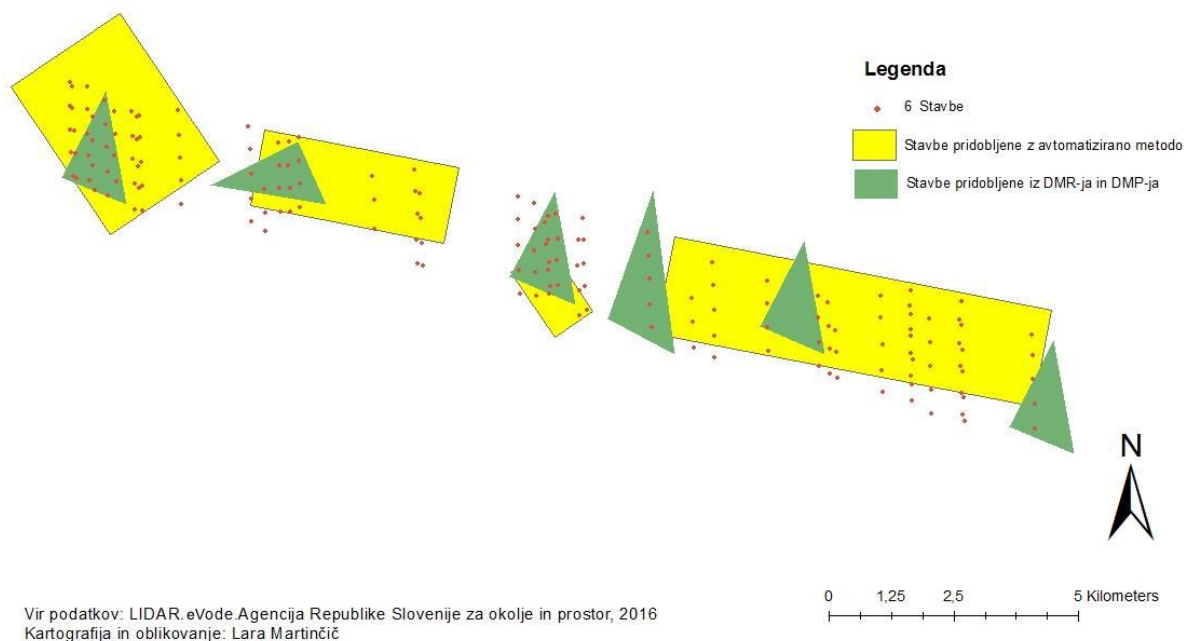
Pri kompleksnejših stavbah (glej karto 7), kjer je bila gostota točk nizka oziroma na nekaterih delih stavb točk ni bilo, pa je prišlo do težav pri določanju oblike poligona. Pri stavbah, ki so imele na levi in desni strani zelo visoko gostoto točk ter zgoraj in spodaj zelo visoko gostoto točk, vmes pa je bil pas nizke gostote točk, je postopek lahko prepoznal dve različni stavbi, čeprav je v resnici morda samo ena. Zunanji obodi stavb niso bili prepoznani kot deli stavb, če je bila gostota točk zelo nizka ali točke niso bile klasificirane; potencialno bi pa lahko bili deli teh stavb. Pri nizki gostoti točk in neenakomerno razporejenih točkah na sredini stavb je bila tudi sredina stavb prepoznana, ker je preostali del stavb prekrivala visoka gostota točk.

Karta 7: Razlike med obrisi stavb pri vrstnih hišah in blokih

Razlike v obrisih stavb glede na metode z LiDARskimi točkami stavb

Druga metoda, ki smo jo uporabili, je bila metoda pridobivanja obrisov stavb iz DMR-ja in DMP-ja. Če rezultate primerjamo z rezultati avtomatizirane metode, lahko ugotovimo, da dobimo v nekaterih primerih boljše v drugih pa slabše rezultate. Natančnejše rezultate smo dobili pri staromeščanskih hišah z notranjimi dvorišči. Po tej metodi so se tudi najmanjša dvorišča ločila, za razliko od avtomatizirane vektorizacije; ta jih ni prepoznala ne glede na to, kako smo nastavili orodje *Shape_Area*. Natančnejše rezultate smo dobili tudi pri vrstnih hišah. Avtomatizirana vektorizacija je vse vrstne hiše združila v en poligon, metoda DMR/DMP pa je nekatere vrstne hiše prepoznala kot ločene stavbe. Zaradi te razlike je prišlo tudi do različnega števila poligonov. Z avtomatizirano vektorizacijo smo dobili 263 poligonov stavb, z metodo pridobivanja obrisov iz DMR-ja in DMP-ja pa 302 poligona. Obe metodi nista učinkoviti pri kompleksnejših stavbah z nizkimi gostotami točk, ker je prišlo do različnih oblik stavb. Avtomatizirana vektorizacija je nudila boljše rezultate kot metoda pridobivanja obrisov iz DMR-ja in DMP-ja pri stavbah, kjer so LiDARske točke razporejene v tanki liniji in kjer je gostota točk nizka. Te stavbe je metoda pridobivanja obrisov iz DMR-ja in DMP-ja prepoznala kot več trikotnih stavb, medtem ko je avtomatizirana vektorizacija prepoznala pravokotne stavbe (glej karto 8).

Karta 8: Razlike v obrisih stavb glede na predstavljene metode

Razlike v obrisih stavb glede na metode z LiDARskimi točkami stavb

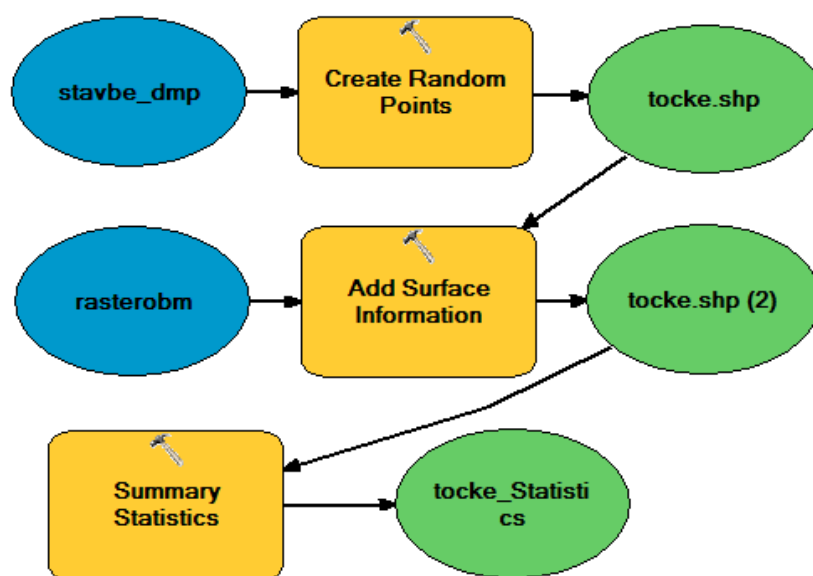
Kot tretjo metodo smo prikazali ročno vektorizacijo stavb. Postopek je dolgotrajnejši v primerjavi s prvo in drugo metodo, ki sta avtomatizirani. Obrisi ročno vektoriziranih stavb so se večinoma ujemali z obrisi stavb avtomatizirane vektorizacije in obrisi stavb, pridobljenih iz DMR-ja in DMP-ja. Prišlo pa je do manjših razlik pri linijah obrisov stavb, ki so pri prvi in drugi metodi bolj pravilnih geometrijskih oblik. Do razlik je prišlo po vseh treh metodah tudi pri določanju linij pri zelo nizki gostoti točk. Te težave smo zaznali pri kompleksnejših oblikah stavb, ker ne vemo, ali so v teh delih stavb točke, ki niso bile klasificirane, ali so točke neenakomerno razporejene ali gre za zelo nizko gostoto točk. Ročna vektorizacija bi lahko rešila težavo pri stavbah, kjer sta prvi dve metodi zajeli tudi del okolice kot stavbo ali pa so kakšno LiDARsko točko izpustile. Na območjih, ki niso bila klasificirana v nobeno od kategorij klasifikacije, pa tudi z ročno vektorizacijo ne moremo določiti, ali je to del stavbe ali ne.

Rešitev za natančnejše rezultate pri vseh uporabljenih metodah vidimo v večji gostoti točk, ki bi nam podala točne linije stavb tudi pri kompleksnejši obliki. Zato pa različni viri navajajo (Triglav Čekada, 2011; Yousef, 2010), da je treba za natančne obrise in 3D modele stavb opraviti snemanje z vsaj 10 točkami/m².

8. METODA ZA PRIDOBIVANJE VIŠIN STAVB

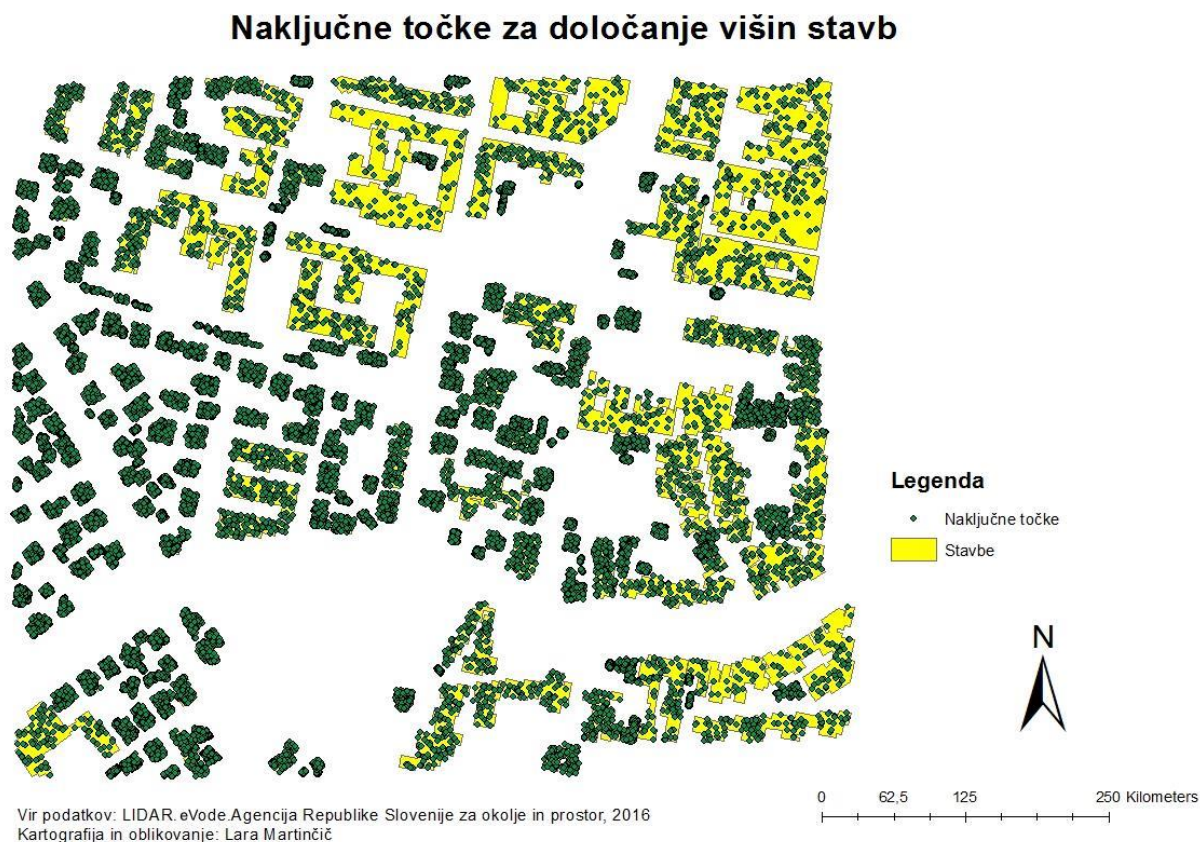
Za 3D prikaz stavb, ki smo jih pridobili z zgornjimi metodami, je bilo treba pridobiti še višine obrisov stavb. Postopek smo avtomatizirali z izdelavo modela v orodju Model Builder programa Arcmap. Metoda je predstavljena na spletni strani Desktop ArcGIS (Obtaining elevation information for building footprints, 2016).

Slika 17: Avtomatiziran postopek izračuna nadmorskih višin in talnih delov stavb



V prvem koraku smo z orodjem *Create Random Points* ustvarili naključne točke za vsak poligon, ki predstavlja stavbo.

Karta 9: Naključne točke in obrisi stavb pri avtomatizirani metodi



Naključnim točkam smo nato z orodjem *Add Surface Information* dodali podatke o nadmorskih višinah na podlagi višin DMP-ja. Povprečno nadmorsko višino streh stavb smo izračunali iz povprečja višin točk z orodjem *Summary Statistics*. Nato pa smo podatke o nadmorskih višinah združili s tabelo o podatkih stavb.

Za določitev višine stavb smo morali izračunati še nadmorsko višino vsake stavbe pri tleh. Za določanje nadmorske višine stavb pri tleh smo uporabili isto metodo kot za določanje nadmorskih višin stavb, razlika je bila le ta, da smo pri določanju slednje uporabili DMR, ki predstavlja površje območja. Ob zaključku postopka pa smo ti dve nadmorski višini odšteli z *Field Calculatorjem* in tako dobili višine stavb.

Isti postopek smo uporabili za stavbe, pridobljene z avtomatizirano vektorizacijo kot za stavbe, pridobljene iz DMR-ja in DMP-ja.

8.1. VREDNOTENJE REZULTATOV METODE ZA DOLOČANJE VIŠIN STAVB

Pri 21 stavbah je izračun višine stavb pokazal, naj bi le-te imele višino 1,7–3 m, kar ni realna višina za stavbe. Stavbe z višino med 2,5 m in 3 m bi lahko potencialno predstavljale le garaže, vrtne ute ali kakšna manjša zasebna skladišča, če upoštevamo zakonsko določeno minimalno višino stropa 2,5 m (Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj, 2005) z ravno streho ali s streho majhnega naklona.

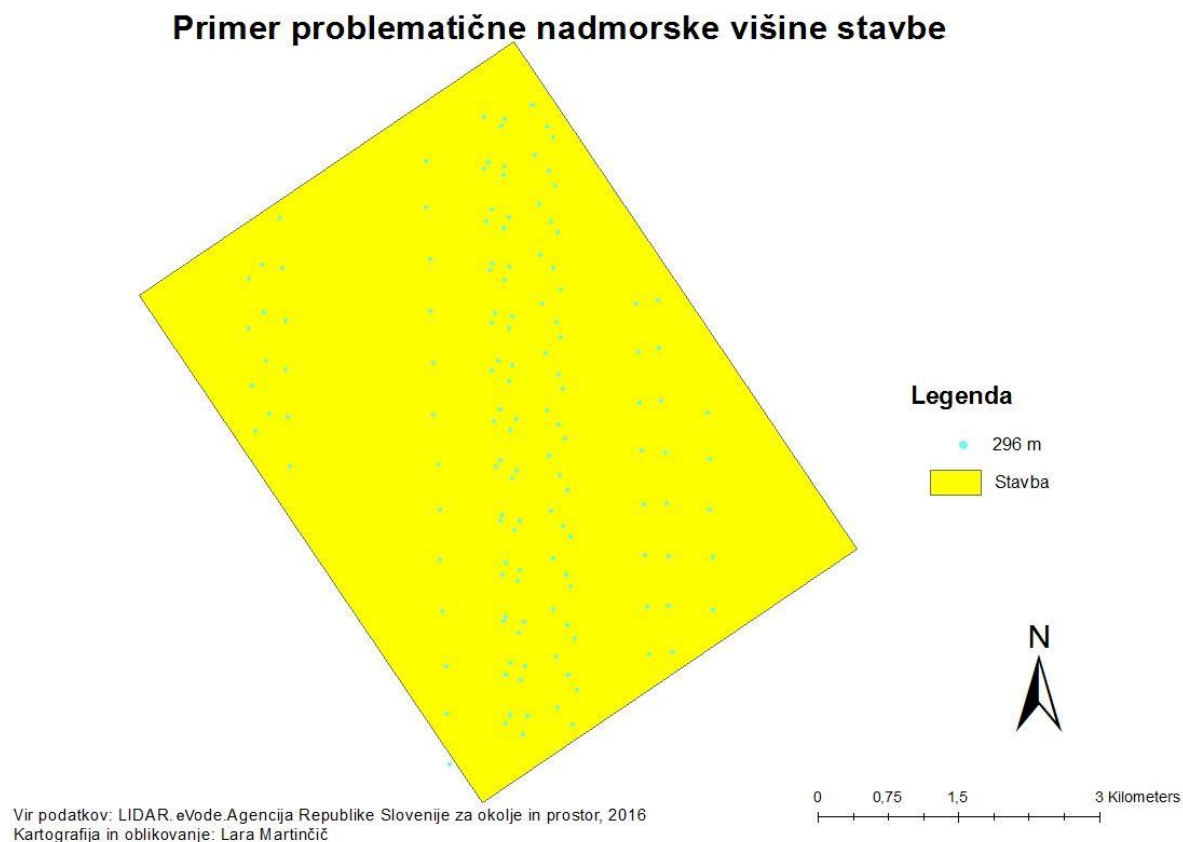
Pri metodi avtomatizirane vektorizacije in metodi pridobivanja obrisov stavb iz MDR-ja in DMP-ja so se pojavile problematične višine (1,7–3 m) pri istih stavbah (glej preglednici 1 in 2), iz česar lahko sklepamo, da je težava v LiDARskih podatkih. Treba je omeniti, da obstaja za naš blok snemanja (B35) 94,4 % pravilnost klasifikacije stavb, ki jo je Geodetski inštitut dobil pri kontroli kakovosti klasifikacije stavb po blokih (Triglav Čekada, Bric, 2015). Nerealne višine stavb so se pojavile pri 21 stavbah od 263 poligonov pri prvi metodi in pri 21 stavbah od 302 poligonov pri drugi metodi. Ko smo preverili višine odboja žarkov pri problematičnih stavbah (višin 1,7–3 m), smo ugotovili, da so se žarki teh stavb odbili iz višine 1,7–3 m od tal in so klasificirane kot stavbe. Razlago za take napake v višinah lahko poiščemo v dveh vzrokih. Prvi vzrok je ta, da je prišlo do napake pri merjenju nadmorskih višin LiDARskih točk stavb; drugi pa, da ne gre za stavbe oziroma so to garaže, garažni nadstreški, ki so lahko tudi višine 2 m. Prišlo je do manjših razlik v višinah stavb tudi glede na uporabljeni metodi. Zaradi nizke gostote LiDARskih točk so nekatere stavbe dobile različne oblike in obseg. Posledično so se naključne točke, ki so služile kot pomoč za določanje višin stavb, razporedile na različne dele stavb. Ker so strehe stavb različnih naklonov, smo zato dobili različna povprečja višin stavb.

Karta 10: Razlike v naključnih točkah glede na uporabljeni metodi



Karta 10 prikazuje razlike v položaju naključnih točk glede na metodo avtomatizirane vektorizacije (metoda 1) in metode pridobivanja obrisov stavb iz DMR-ja in DMP-ja (metoda 2).

Karta 11: Primer problematične nadmorske višine stavbe



Karta 11 prikazuje stavbo, za katero je bila izračunana višina 1,7 m. Izmerjena nadmorska višina LiDARskih točk prikazane stavbe je bila 296 m, izračunana nadmorska višina talnih točk pod stavbo pa 294,3 m.

Preglednica 1: Problematične višine stavb po metodi avtomatizirane vektorizacije

Stavba ID	Višina stavb
74	2,347995946
82	1,749588944
110	2,68900341
124	2,720120434
137	2,634128986
183	2,586442825
185	2,654956525
188	1,933453121
189	2,848215528
195	2,666666635
196	2,897920109
197	2,704486456
200	2,769688228
204	2,927368138
207	2,014955138
217	2,874065463
218	2,226541737
219	2,382755304
223	2,924918193
233	2,869088985
243	2,787791842

Avtorica: Lara Martinčič

Preglednica 2: Problematične višine stavb po metodi izdelave stavb iz DMR-ja in DMP-ja

Stavba ID	Višina stavb
18	2,913899199
39	2,978049385
43	2,595051496
44	2,751766034
50	2,042122399
58	2,022110185
68	2,897903292
69	2,798661645
71	2,850785934
72	2,707106012
77	1,934047279
78	2,82163628
79	2,203349093
83	2,626287181
90	2,673509394
133	2,552975662
158	2,654184729
171	2,791247705
208	1,861910772
228	2,390170667
284	2,628064915

Avtorica: Lara Martinčič

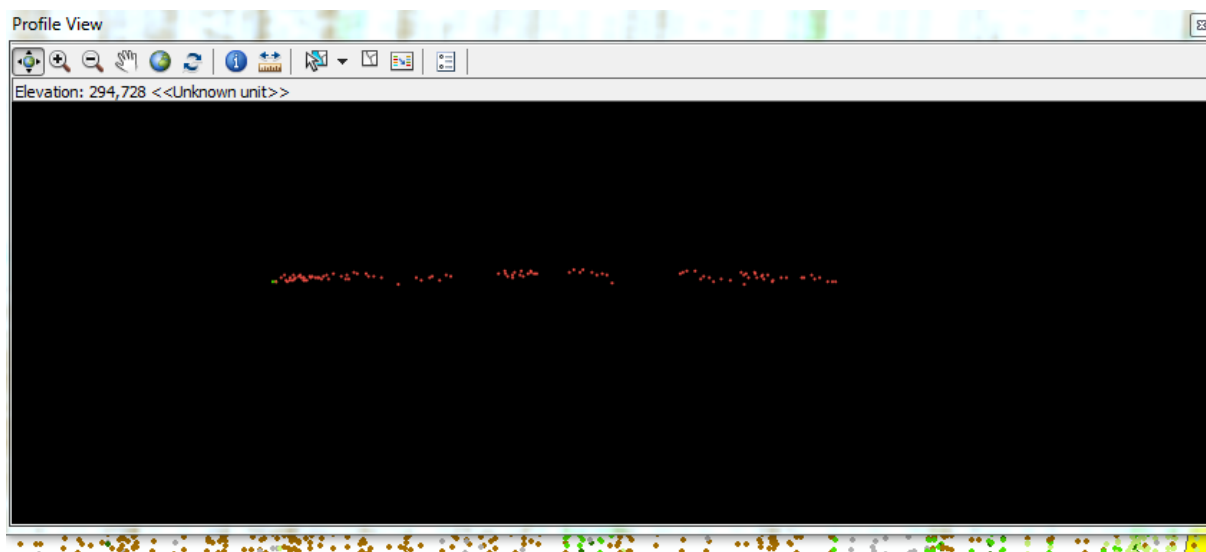
Preglednici 1 in 2 prikazujeta poligone stavb z višinami med 1,7 in 3 m. Če upoštevamo zakonsko določeno minimalno višino stropa, lahko sklepamo, da gre za stavbe ki bi načeloma lahko predstavljale le garaže ali manjša zasebna skladišča.

Problematične stavbe smo preverili tudi na terenu in ugotovili, da so stavbe z nizkimi višinami garažni nadstreški, garaže in kontejnerji za prodajo hrane. Vse te stavbe imajo ravno streho. Kot stavbo je zaznalo tudi Rimski zid v Ljubljani pri Fakulteti za farmacijo in del zidu pri Križankah. Kot napako pa smo prepoznali poligone, ki se nahajajo med Filozofsko fakulteto in Srednjo šolo Antona Aškerc (na karti 12 obarvano svetlo zeleno). Po terenskem ogledu tega območja stavb, ki so bile v procesu klasifikacije opredeljene kot stavbe, tam ni. Stavbe, ki se nahaja znotraj veleposlaništva Italije, pa na terenu nismo mogli preveriti, saj je zemljišče ograjeno. Kasneje smo to stavbo preverili tudi na Google Zemlja posnetkih in ugotovili, da jo v celoti prekriva vegetacija, zato ne moremo vedeti ali realno ta stavba obstaja ali pa gre za napako.

Karta 12: Napake pri določanju stavb iz LiDARskih podatkov



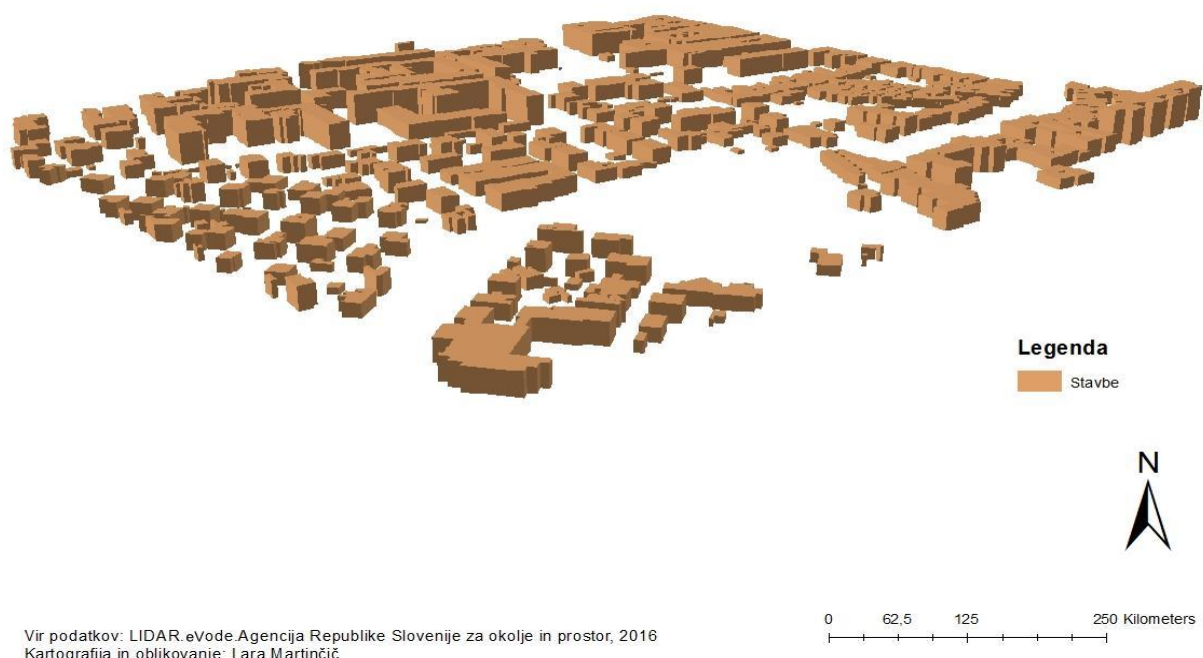
Slika 18: Primer ravne strehe stavbe z višino 2,6 m



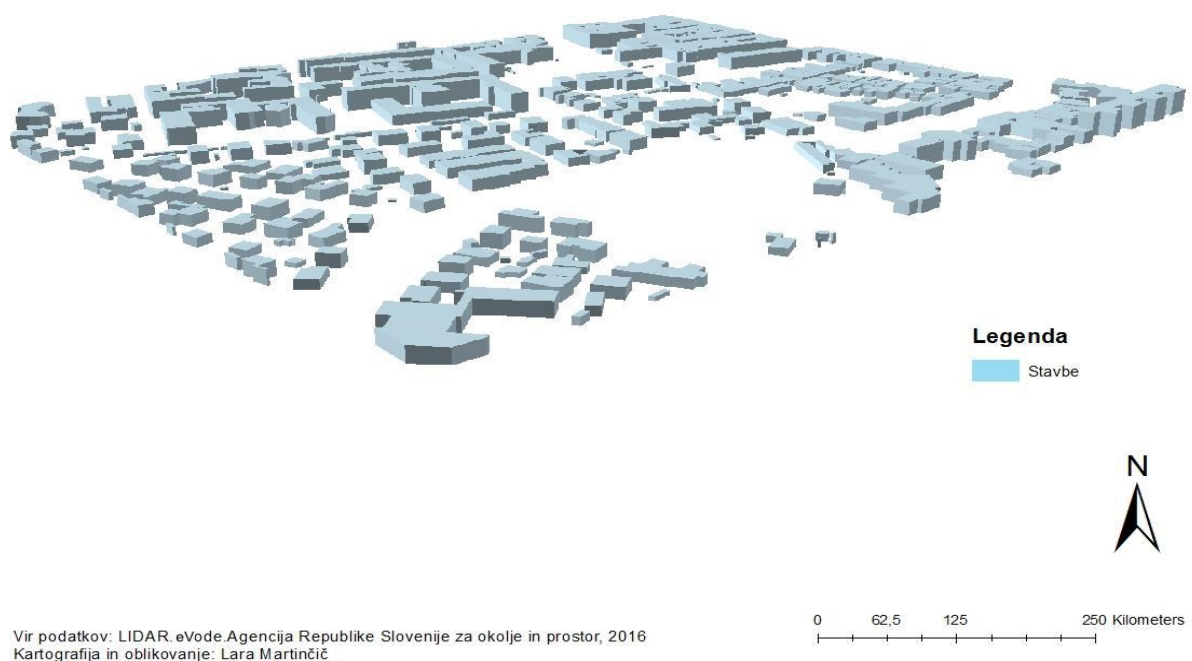
8.2. 3D KARTOGRAFSKA PRIKAZA STAVB

Obrise stavb, ki smo jih pridobili z avtomatizirano metodo in metodo pridobivanja obrisov iz DMP-ja in DMR-ja, smo predstavili v 3D obliki s programom ArcScene. Za tretjo komponento 3D prikaza smo po metodi določanja višin stavb uporabili izračune, pridobljene v poglavju 7.

Karta 13: 3D prikaz stavb pridobljenih z avtomatizirano vektorizacijo

3D prikaz stavb pridobljenih z avtomatizirano vektorizacijo

Karta 14: 3D prikaz stavb pridobljenih iz DMR-ja in DMP-ja

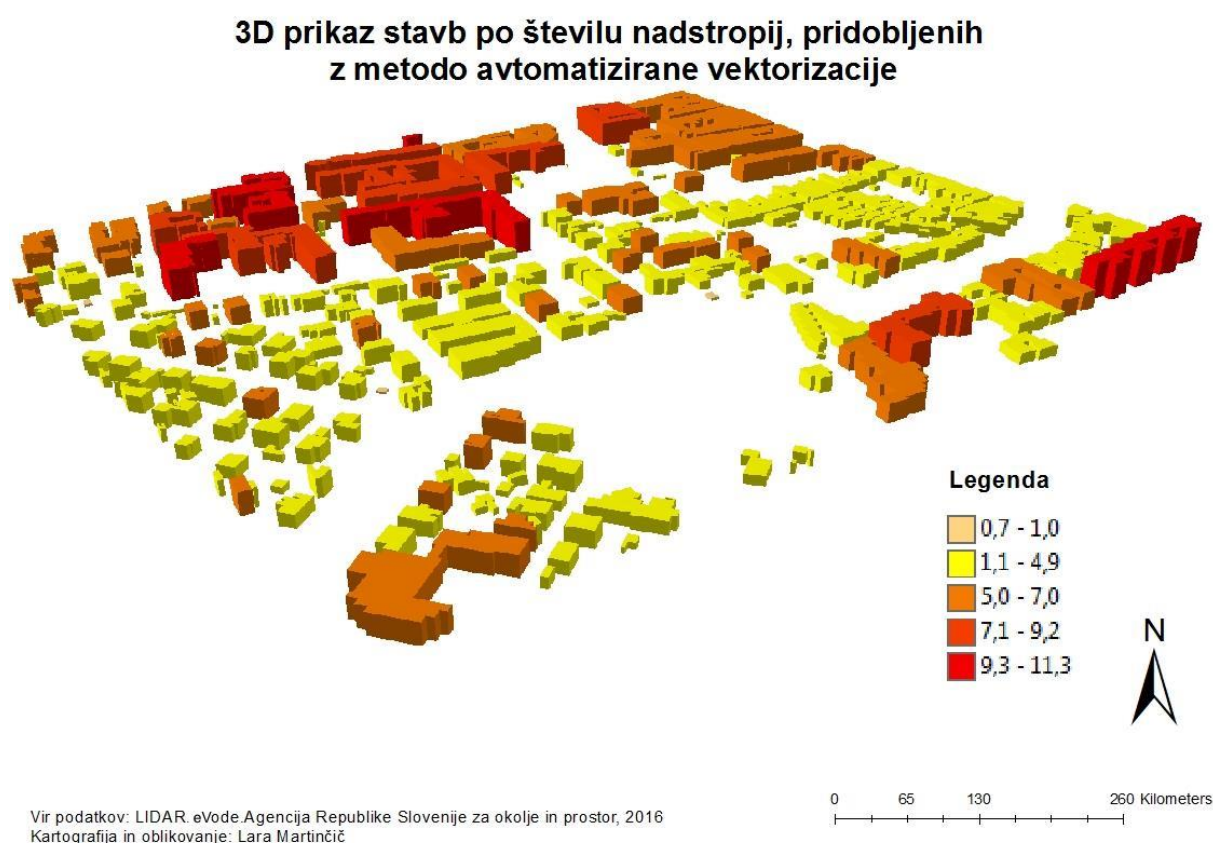
3D prikaz stavb pridobljenih iz DMR-ja in DMP-ja

Karti 13 in 14 prikazujeta 3D stavbe glede na uporabljene metode. Iz kart lahko razberemo, da prihaja do razlik v obliki in višini stavb. Razlogi za te razlike so predstavljeni v naslednjem poglavju.

8.3. OCENA ŠTEVILA NADSTROPIJ GLEDE NA VIŠINE STAVB

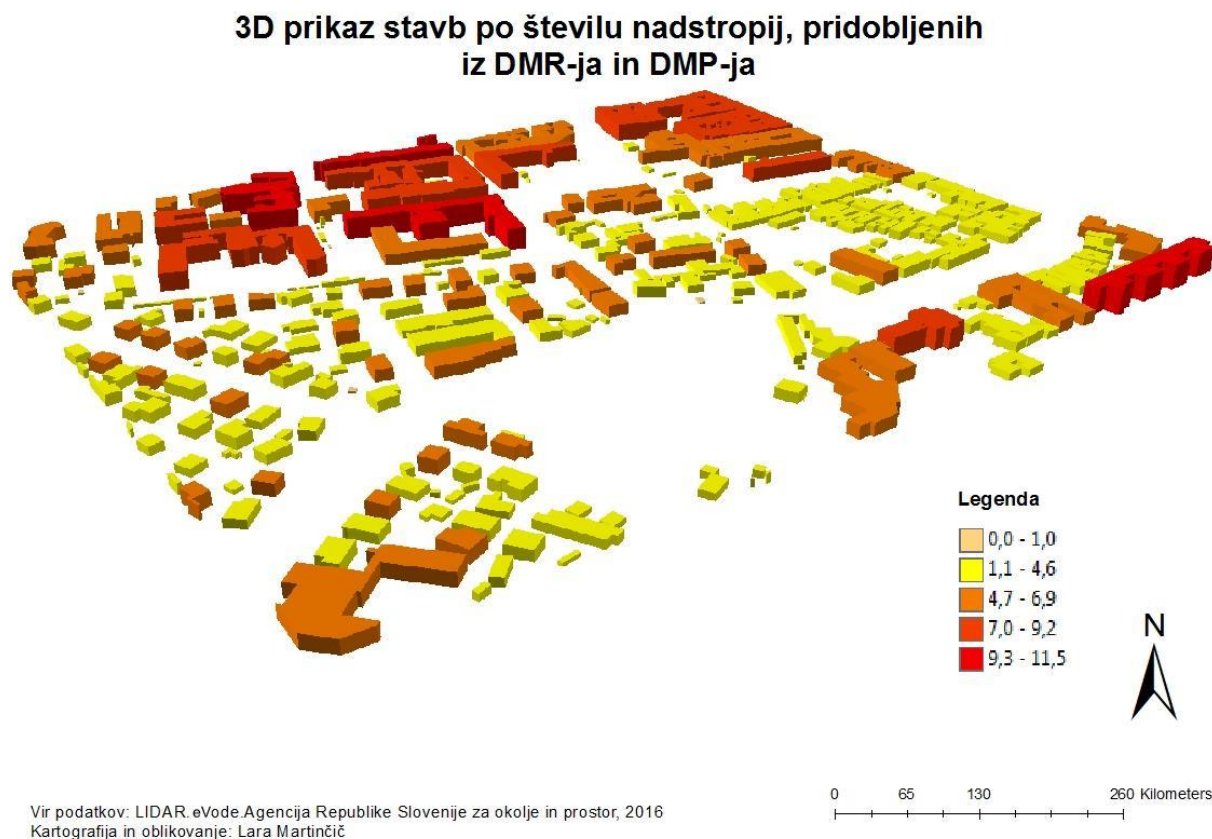
Glede na zakonodajo o minimalnih tehničnih zahtevah o graditvi stanovanjskih stavb (Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj, 2005) smo izračunali okvirno število nadstropij glede na višine stavb. Uporabili smo LiDARske višine stavb, ki smo jih izračunali z metodologijo predstavljeno v poglavju 7. Zakonodaja določa minimalno višino stropa pri stanovanjskih objektih 2,5 m; višino stavb smo delili z višino stropa in tako dobili ocenjeno število nadstropij. Natančno število nadstropij je iz same višine stavb težko določiti, saj vse stavbe nimajo enake višine stropov.

Karta 15: 3D prikaz stavb po številu nadstropij na podlagi avtomatizirane vektorizacije stavb



Karta 15 prikazuje 3D stavbe, kategorizirane glede na ocenjeno število nadstropij. Stavbe na karti so bile pridobljene z metodo avtomatizirane vektorizacije. Število nadstropij smo izračunali na podlagi dobljenih LiDARskih višin stavb in minimalne višine stropa.

Karta 16: 3D prikaz stavb pridobljenih iz DMR-ja in DMP-ja po številu nadstropij



Karta 16 prikazuje 3D stavbe, kategorizirane glede na ocenjeno število nadstropij. Stavbe so bile pridobljene iz DMP-ja in DMR-ja. Število nadstropij je bilo izračunano iz dobljenih LiDARskih višin stavb in minimalne višine stropa.

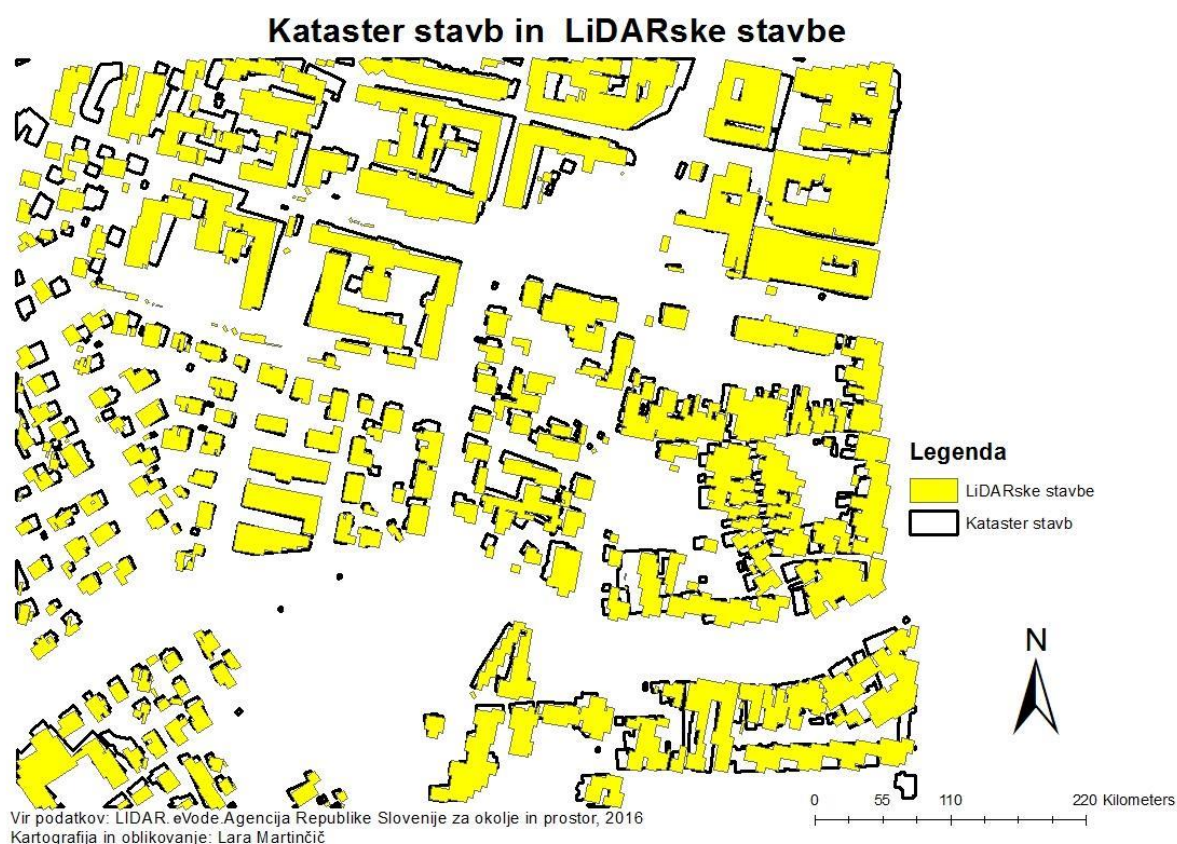
Število nadstropij stavb se glede na metodi razlikujejo. Največji odstop je 0,5 nadstropja, kar znaša v višini 1,25 m, najmanjši pa 0,1 nadstropja, kar znaša 0,25 m. Do teh razlik je prišlo, zaradi nizke gostote LiDARskih točk. Stavbe imajo glede na uporabljeni metodi različne oblike, lahko tudi obseg; posledično imajo različno razporeditev naključnih točk, s pomočjo katerih smo izračunali višine stavb. Zaradi različnih višin stavb glede na metodi prihaja tudi do razlik v številu nadstropij.

9. KAKOVOST KATASTRA STAVB GLEDE NA LiDARske STAVBE

Kataster stavb je nastal s fotogrametričnem zajemom na podlagi stereoparov cikličnega snemanja Slovenije. Posnetki Slovenije so bili merila 1 : 17.500, torej je bila natančnost stereoparskega zajema stavb 0,5 m, kar pomeni, da bi načeloma LiDARske podatke lahko uporabili za kontrolo katastra stavb. Za iskanje sprememb v katastru stavb (identifikacija nevpisanih novogradenj in črnih gradenj) bi bila primerna že nizka do srednja gostota točk s povprečno natančnostjo meritev pri letih z letalom od 800 do 1000 m nad morjem in povprečno natančnostjo merilnika INS. Za kontrolo katastra stavb pa je priporočena uporaba visoke gostote točk (15 do 30 točk/m²). Za nove izmere novogradenj pa je priporočena uporaba visoke gostote točk (več kot 10 točk/m²). Primerna gostota za ažuriranje katastra stavb oziroma evidence nepremičnin bi bila 30 točk/m². Kombinacija ortofota in LiDARskih podatkov bi poenostavila identifikacijo novogradenj, iz oblaka točk bi pridobili višine novogradenj (Triglav Čekada, 2010).

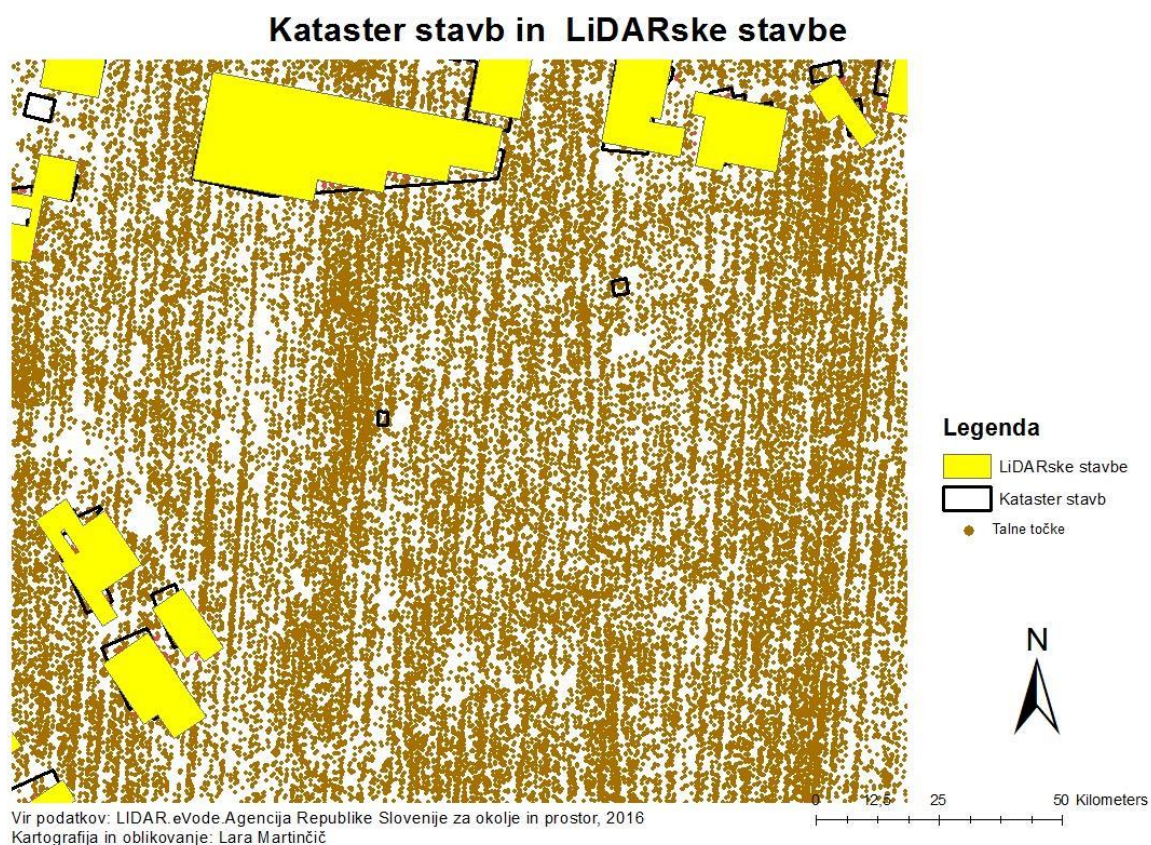
9.1. PRIMERJAVA KATASTRA STAVB Z LiDARSKIMI STAVBAMI

Karta 17: Spremembe v katastru stavb glede na LiDARske stavbe



Iz karte 17 lahko razberemo, da se oblika in površina LiDARskih stavb in katastra ne ujemata. Razlog za to je, da je bila uporabljena prenizka gostota LiDARskih točk, da bi lahko primerjali obliko in površino stavb in tako določili, katera metoda zajema omogoča izdelavo natančnejših obrisov stavb. Nam pa nizka gostota točk že omogoča iskanje spremembe v katastru stavb. Za raziskavo smo uporabili kataster stavb iz leta 2012 in LiDARske podatke iz leta 2015. Iz karte 17 lahko razberemo, da se je na našem območju v času treh let pojavilo kar nekaj novogradenj – gre za stavbe, ki presegajo 2,5 m višine – in stavbe, ki te višine ne presegajo. V poglavju 7.1. smo jih opredelili kot problematične stavbe in jih tudi terensko preverili. Na našem območju so tudi stavbe, ki so zajete v katastru stavb, pri LiDARskem snemanju pa te stavbe niso bile klasificirane kot stavbe, ampak kot tla, kar lahko pomeni, da so bile te zgradbe porušene (glej karto 18).

Karta 18: Spremembe v katastru stavb



10. ZAKLJUČEK

Lasersko skeniranje je postalo v zadnjih dvajsetih letih popolnoma avtomatiziran in natančen način zbiranja podatkov. Glavna značilnost te tehnologije je, da se v razmeroma kratkem času pridobi velika količina prostorskih zelo natančnih 3D podatkov. Prednost te tehnologije je, da zazna objekte in oblike pod rastjem. Podatki laserskega skeniranja so v geografiji uporabni za preučevanje spreminjanja različnih geomorfoloških pojavov, poplavnih območij in izdelovanju 3D modelov urbanih središč. Projekt Lasersko skeniranje Slovenije se je začel leta 2011, končal pa leta 2015; izdelki tega projekta so predstavljali osnovo naše raziskave. Za območje smo izbrali območje prehoda iz mestnega središča v stanovanjski okoliš Mirje. Za ta del Ljubljane smo se odločili, ker je območje zelo heterogeno; tu se nahajajo visoke fakultativne stavbe, nizki stanovanjski bloki in stanovanjske hiše.

Pred začetkom izvedbe metodologij za pridobivanje obrisov stavb iz LiDARskih podatkov smo preverili pravilnost klasifikacije LiDARskih točk stavb. Po pregledu našega območja smo prišli do sklepa, da ni večjih napak pri klasificiranih točkah, ker vegetacija nikjer ni preraščala stavb v taki meri, da bi to vplivalo na odboj, pri vegetaciji, ki je v višini streh, pa so točke prav tako pravilno klasificirane. Potrebno pa je omeniti, da je pravilnost klasifikacije stavb 94,4 % in obstaja možnost, da nekatere stavbe na našem območju v prostoru niso stavbe, vendar tega s prečnimi prerezi klasificiranih podatkov ne moremo ugotoviti.

V raziskavi smo predstavili tri metode, kako pridobiti poligonske obrise stavb iz LiDARskih podatkov. Prva metoda je bila avtomatizirana vektorizacija poligonov stavb, ki smo jo avtomatizirali deloma s pisanjem skripte in deloma z izdelavo modela. Druga metoda je bila izdelava obrisov stavb iz DMR-ja in DMP-ja, ki smo jo izvedli po korakih. Zadnja možna metoda pa je ročni zajem stavb, to je dolgotrajni postopek, saj zahteva zajem vsake stavbe posebej. Metode so nam podale različne oblike stavb, saj pri vseh stavbah ni bila dovolj visoka gostota točk; v nekaterih primerih točk ni bilo za natančen obris stavb. Rešitev za natančnejše rezultate pri vseh uporabljenih metodah vidimo v večji gostoti točk, ki bi nam podala natančne linije stavb tudi pri kompleksnejši obliki. Različni viri navajajo, da je treba za natančne obrise in 3D modele stavb opraviti snemanje z vsaj 10 točkami/m².

Za 3D model stavb smo v zadnjem koraku pridobili še višine stavb, postopek smo avtomatizirali v ArcMapu. Pri nekaterih stavbah je izračun višine pokazal, naj bi le-te imele višino med 1,7–3 m, kar pa seveda ni realna višina za stavbe. Te stavbe bi potencialno lahko predstavljale garaže, vrtno ute ali manjša zasebna skladišča. Zato smo te stavbe preverili tudi na terenu in ugotovili, da so stavbe, prepoznane med Filozofsko fakulteto in Srednjo šolo Antona Aškercarja, napaka. Druge preverjene stavbe pa so se izkazale za garaže, garažne nadstreške in kontejnerje za prodajo hrane. Vse te stavbe so imele ravno streho.

Za iskanje sprememb v katastru stavb (identifikacija nevpisanih novogradenj in črnih gradenj) bi bila primerna že nizka do srednja gostota točk, kar pomeni, da z našimi LiDARskimi podatki lahko iščemo spremembe v katastru stavb, ne moremo pa primerjati natančnosti zajema obrisov stavb, saj bi za to potrebovali gostoto vsaj 15 do 30 točk/m². Ugotovili smo, da se je na našem območju v času treh let pojavilo kar nekaj novogradenj, gre za stavbe, ki presegajo višino 2,5 m, in tudi stavbe, ki te višine ne presegajo. Na našem območju so tudi stavbe, ki so

zajete v katastru stavb, pri LiDARskem snemanju pa te stavbe niso bile prepoznane kot stavbe, ampak kot tla, kar lahko pomeni, da so bile te zgradbe porušene.

V raziskavi smo predstavili, primerjali in vrednotili različne metodologije, kako iz LiDARskih podatkov ustvariti 3D kartografski prikaz stavb izbranega območja. Za dosego namena smo določili devet ciljev raziskave, od katerih enega nismo dosegli, in sicer na našem območju nismo imeli napačno klasificiranih točk, saj vegetacija, ki v večini primerov predstavlja težavo pri klasifikaciji stavb, ni preraščala stavb v taki meri, da bi to vplivalo na samo klasifikacijo.

Prvo hipotezo gostota 5 točk/m² pridobljenih z LiDAR snemanjem je dovolj podrobna za izdelavo podrobnih 3D prikazov, lahko ovržemo. Gostota 5 točk/m² ni dovolj podrobna za izdelavo podrobnih 3D prikazov, je pa dovolj velika za predstavitev, primerjavo in vrednotenje naše metodologije. Če bi želeli natančne in podrobne 3D stavbe, bi morali uporabiti gostoto točk vsaj 10 točk/ m². Zaradi nizke gostote točk smo dobili različne oblike stavb in izračunano višino stavb glede na uporabljene metode, s tem smo potrdili **drugo hipotezo**, ki govori, da zaradi nizke gostote LiDARskih točk na m², obstajajo razlike v obliki in velikosti med 3D prikazi stavb, ki smo jih pridobili z uporabo različnih metod. Primerjava katastra stavb iz leta 2012 s stavbami, pridobljenimi iz LiDARskih podatkov, je pokazala številne novogradnje in porušene stavbe, tako da lahko potrdimo tudi **tretjo hipotezo**: primerjava katastra stavb s stavbami, pridobljenimi iz LiDARskih podatkov, bo pokazala spremembe v prostoru. Če bi želeli preveriti tudi obliko in površino katastra stavb glede na LiDARske stavbe, bi potrebovali gostoto vsaj 15 točk/m² za izdelavo obrisov s predstavljenimi metodami.

Uporabljene metode so se izkazale za učinkovite in bi jih lahko uporabili tudi za izdelavo 3D modelov stavb z visokimi gostotami LiDARskih točk. LiDARski podatki, ki smo jih imeli na voljo, so za študijske potrebe in potrebe po predstavljanju in vrednotenju metodologij dovolj natančni, niso pa primerni za pomembnejše študije, saj gostota točk ni dovolj velika.

Z dodatno programsko opremo in algoritmi bi lahko tudi zmodelirali strehe stavb z nakloni in izdelali realistični 3D model mesta s pomočjo popolnega ortofota.

11. SUMMARY

In the past twenty years, laser scanning has become an accurate and completely automatic way of collecting data. The main feature of this technology is that it can collect large quantities of very accurate area data in a relatively short period of time. The advantage of this technology is that it senses objects and forms beneath vegetation. Laser data is in geography used in studies of changes of different geomorphological phenomena, flooded areas and creating 3D models of urban centers. The project Lasersko skeniranje Slovenije (Laser scanning of Slovenia) started in 2011 and ended in 2015, the products of this project are the base of this research. The area of research is the passage from city center to residence area Mirje. This part of Ljubljana was chosen because of its heterogeneity, here you can find faculties, block of flats, and residential houses.

Before proceeding with the methodology for collecting outlining of buildings from LiDAR data, the regularity of the LiDAR classification of building points was inspected. After the inspection of the selected area, the conclusion was set forth that there are no significant mistakes in the classification points, because vegetation did not grow over buildings to influence reflections. The points of where vegetation has reached the roofs have also been correctly classified. It is important to mention that the accuracy of building classification is 94,4 % and there is a possibility that some buildings in this area are not buildings, but it is not possible to determine this with a diagonal cross section of classified data.

Three methods on how to collect polygon outlining of buildings from LiDAR data are presented in this research. The first method is an automatic vectorization of building polygons, which was made partly automatic with a script writing and partly with the construction of a model. The second method is the construction of building outlining from DMR and DMP, which was carried out in steps. The last possible method is to separately and manually collect all building data. The methods show different forms of buildings, because the density of points of all buildings was not high enough; in some cases, there were not enough points for a precise outlining of buildings. To achieve more accurate results in all methods, a higher density of points would be needed, which would give more accurate building outlining even in a more complex form. Different sources suggest that recording with 10 points/m² would provide accurate outlining and 3D models of buildings.

For the creation of a 3D model, the heights of buildings were obtained and the process was automated in ArcMap. The calculations of some buildings have shown that the heights of buildings were 1,7–3 meters, which is not the real height of buildings. These buildings could potentially be garages, garden sheds or smaller private warehouses. These buildings therefore underwent a field inspection and was discovered that the buildings were the Faculty of Arts and Anton Aškerc Highschool and therefore a mistake. Other buildings were garages, garage jutting roofs and food bins. All the buildings had a straight roof.

For the search of buildings in the cadaster (identification of not recorded new buildings and illegal buildings) a lower to middle high point density would be suitable. With the LiDAR data, one can find differences in the building cadaster, but cannot compare the accuracy of the collected building outlining, because a density of 15 to 30 points/m² would be needed. Results have shown that many new buildings were built in the selected area in the past three

years. Included are buildings which exceed the height 2,5 meters and buildings that do not exceed this height. There are some buildings in the selected area, which are in the cadaster, but during the LiDAR recording they were not recognized as buildings but as ground. This may be due to the demolition of these buildings.

The research consists of a presentation, comparison and valuation of different methods on how to make a 3D cartographic display of buildings from a selected area with LiDAR data. For this purpose, nine research goals were determined, of which one was not accomplished. In the selected area, a false classification of points was present, because the vegetation, which caused problems with the classification of buildings, did not over grow the buildings so that it would influence the classification itself.

The first hypothesis, which suggests that the density of 5 points/m² collected with a LiDAR recording is detailed enough to construct detailed 3D displays, can be refuted. The density of 5 points/m² is not detailed enough to construct detailed 3D displays, but it is large enough for a presentation, comparison and valuation of the selected methodology. If one wished to collect accurate and detailed 3D buildings, a density of at least 10 points/m² would be needed. Because of low point density, different building points and calculated building heights depending on the used methods, were collected. Therefore, **the second hypothesis** was confirmed, which suggests that because of lower density, LiDAR points per m² differences in forms and sizes between the 3D displays of buildings exist. These were collected with different methods. A comparison between the building cadaster from 2012 and the buildings, collected from LiDAR data, showed many new built buildings and demolished buildings. **The third hypothesis** can therefore also be confirmed, as it suggests that the comparison between the building cadaster and buildings collected from LiDAR data will show differences in space. To test the form and surface of the buildings cadaster depending on the LiDAR buildings, a density of at least 15 points/m² would be needed to create outlining with the introduced methods.

The used methods proved to be effective and could be used for the construction of 3D models of buildings with high density LiDAR points. The LiDAR data is accurate enough for study purposes and for presenting and valuation of methodologies, but the point density is not large enough for more significant studies.

With additional software and algorithms one could also model slope roofs of buildings and construct realistic 3D models of a city with the help of a complete orthophoto.

12. VIRI IN LITERATURA

- Airborne Laser Scanning. Geospatial Modeling & Visualization. 2016. URL: <http://gmvc.cast.uark.edu/scanning-2/airborne-laser-scanning/> (Citirano 18. 1. 2016).
- Anders, N., Sejmonsbergen, H., 2008. A Revolution in Geomorphology. GIM International. URL: <https://www.gim-international.com/content/article/a-revolution-in-geomorphology> (Citirano 10. 5. 2017).
- Balenović, I., Alberti, G., Marjanović, H., 2013. Airborne Laser Scanning – the Status and Perspectives for the Application in the South-East European Forestry. SEEFOR (South-east European forestry), 4, 2, str. 59–79. URL: http://www.seefor.eu/images/arhiva/vol4_no2/balenovic/balenovic.pdf (Citirano 18. 11. 2016).
- Burdeos, M., D., A., Makinano-Santillan, M., Amora, A., M. Burdeos, M. D. A., Makinano-Santillan, M., & Amora, A. M. Automated building footprints extraction from DTM and DSM in Arcgis. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.742.2429&rep=rep1&type=pdf> (Citirano 10. 3. 2017).
- Characteristics of Lidar Data. Topographic Mapping with Lidar. 2014. URL: https://www.e-education.psu.edu/geog481/l1_p6.html (Citirano 9. 12. 2016).
- Forlani, G., Nardinocchi, C., Scaioni, M., Zignaretti, P., 2006. Complete classification of raw LIDAR data and 3D reconstruction of buildings. Pattern Analysis and Application, 8, 4, 357–374 str. URL: https://www.researchgate.net/publication/220654533_Complete_Classification_of_Raw_LiDAR_Data_and_3D_Reconstruction_of_Buildings (Citirano 8. 12. 2016).
- Gallay, M., 2013. Direct Acquisition of Data: Airborne laser scanning. Geomorphological techniques, 2, 1.4, 1–17 str. URL: http://www.geomorphology.org.uk/sites/default/files/geom_tech_chapters/2.1.4_LiDAR.pdf (Citirano 30. 5. 2017).
- Izvedba laserskega skeniranja Slovenije. Blok 35-tehnično poročilo o izdelavi izdelkov. 2015. Ljubljana, Geodetski inštitut. 20 str. URL: http://gis.arso.gov.si/related/lidar_porocila/b_35_izdelava_izdelkov.pdf (Citirano 1. 6. 2017).
- LIDAR. eVode. Agencija Republike Slovenije za okolje. 2016. URL: http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso (Citirano 6. 12. 2016).
- Mostafa, M., Hutton, J., 2001. Direct positioning and orientation systems. How do they work? What is the attainable accuracy? St. Louis, Proceedings, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing Annual Meeting, 11 str. URL: http://www.applanix.com/pdf/POSAV_2001_04_DirectPositioning.pdf (Citirano 5. 12. 2016).
- Obtaining elevation information for building footprints. Extensions. ArcMap. ArcGIS Desktop. 2016. URL: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/3d-buildings-obtaining-elevation-information-for-building-footprints.htm> (Citirano 10. 5. 2017).

- Popravek pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj. 2005. Uradni list RS, št. 110-1/2005. URL: http://www.mzi.gov.si/fileadmin/mzi.gov.si/pageuploads/zakonodaja/graditev/minimalne_tehnicne_zachteve_graditev_precisceno.pdf (Citirano 10. 5. 2017).
- Radovan, D., 2011. Kaskadna neakovost geodetskih podatkov. Geodetski vestnik, 22, 5, str. 205–213.
- Rapidlasso GmbH. 2017. URL: <https://rapidlasso.com/> (Citirano 1. 6. 2017).
- Regularize Building Footprint. 3D Features toolset. Tool Reference. ArcMap. ArcGIS Pro. 2016. URL: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/regularize-building-footprint.htm> (Citirano 12. 1. 2017).
- Song, J., H., Han, S. H., Yu, K., Kim, Y., 2002. Assessing the possibility of land-cover classification using LIDAR intensity data. International archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences, 34(3/B), str. 259–262. URL: <http://www.isprs.org/proceedings/xxxiv/part3/papers/paper128.pdf> (Citirano 9. 12. 2016).
- Topographic Laser Ranging and Scanning. Principles and Processing. 2008. Shan, J., Toth, K., C. (ur.). Boca Raton, CRC Press, 598 str.
- Triglav Čekada, M., Bric, V., 2015. Končan je projekt laserskega skeniranja Slovenije. Geodetski vestnik, 59, 3, str. 586–592.
- Triglav Čekada, M., 2011. Možnosti uporabe zračnega laserskega skeniranja (LIDAR) za geomorfološke študije. Geografski vestnik, 2, 83, str. 81–93.
- Triglav Čekada, M., 2010. Zračno lasersko skeniranje in nepremičninske evidence. Geodetski vestnik, 54, 2, str. 181–194.
- Veljanovski, T., Pehani, P., Lamovec, P., Oštir, K., 2012. Uporabnost podatkov satelitskega in letalskega daljinskega zaznavanja za opazovanje in kartiranje vodnih površin. Geodetski vestnik, 56, 4, str. 786–801.
- Yousef, A. A., 2010. The use of Geographical Information Systems for 3D Urban Models Reconstruction from Aerial Lidar Data. Faculty of Forest and Environmental Sciences, Albert – Ludwigs - Universität Freiburg im Breisgau, Germany, 173 str. URL: <https://freidok.uni-freiburg.de/fedora/objects/freidok:7892/datastreams/FILE1/content> (Citirano 10. 3. 2017).

13. SEZNAM KART, PREGLEDNIC IN SLIK

Seznam kart

Karta 1: Razdelitev Slovenije na snemalne bloke.....	7
Karta 2: Višina LiDARskih točk območja modeliranja.....	10
Karta 3: Rastrski sloj stavb.....	15
Karta 4: Poligonski obrisi stavb, pridobljeni z avtomatizirano metodo	17
Karta 5: Poligonski obrisi stavb, pridobljeni iz DMR-ja in DMP-ja.....	21
Karta 6: Razlike med obrisi stavb glede na uporabljene metode	22
Karta 7: Razlike med obrisi stavb pri vrstnih hišah in blokih.....	23
Karta 8: Razlike v obrisih stavb glede na predstavljene metode	24
Karta 9: Naključne točke in obrisi stavb pri avtomatizirani metodi.....	26
Karta 10: Razlike v naključnih točkah glede na uporabljeni metodi	28
Karta 11: Primer problematične nadmorske višine stavbe.....	29
Karta 12: Napake pri določanju stavb iz LiDARskih podatkov.....	31
Karta 13: 3D prikaz stavb, pridobljenih z avtomatizirano vektorizacijo.....	33
Karta 14: 3D prikaz stavb, pridobljenih iz DMR-ja in DMP-ja.....	33
Karta 15: 3D prikaz stavb po številu nadstropij na podlagi avtomatizirane vektorizacije stavb	34
Karta 16: 3D prikaz stavb, pridobljenih iz DMR-ja in DMP-ja po številu nadstropij.....	35
Karta 17: Spremembe v katastru stavb glede na LiDARske stavbe.....	36
Karta 18: Spremembe v katastru stavb	37

Seznam preglednic

Preglednica 1: Problematične višine stavb pri metodi avtomatizirane vektorizacije	30
Preglednica 2: Problematične višine stavb pri metodi izdelave stavb iz DMR-ja in DMP-ja ...	30

Seznam slik

Slika 1: Zaporedni odboj.....	3
Slika 2: Neposredno georeferenciranje.....	4
Slika 3: Portal eVode	8
Slika 4: Območje modeliranja	9
Slika 5: Izrez območja modeliranja.....	10
Slika 6: Uvoz območja modeliranja v Google Zemlja	11
Slika 7: Primer preverjanja klasifikacije LiDARskih točk	12
Slika 8: Spreminjanje klasifikacijskih razredov točk	13
Slika 9: Skripta za izdelavo rastrskega sloja stavb	14
Slika 10: Približan rastrski sloj stavb in LiDARske točke stavb.....	15
Slika 11: Model postopka avtomatizirane vektorizacije stavb.....	16
Slika 12: Izdelava DMR-ja	18
Slika 13: Izdelava DMP-ja	18
Slika 14: Izračun normaliziranega DMP-ja.....	19

Slika 15: Pretvorba rastra v poligon	19
Slika 16: Regularizacija poligonov stavb.....	20
Slika 17: Avtomatiziran postopek izračuna nadmorskih višin in talnih delov stavb	25
Slika 18: Primer ravne strehe stavbe z višino 2,6 m.....	32

Izjava o avtorstvu

Izjavljam, da je magistrsko delo v celoti moje avtorsko delo pod mentorstvom doc. dr. Blaža Repeta, ter da so uporabljeni viri in literatura navedeni v skladu z strokovnimi standardi in veljavno zakonodajo.

Ljubljana, 18. 8. 2017

Lara Martinčič