

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:

Ritlop, K. 2012. Določitev višin stavb iz lidarskih podatkov za namen izdelave popolnega ortofota. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Kosmatin Fras, M., somentor Grigollo, D.): 29 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:

Ritlop, K. 2012. Določitev višin stavb iz lidarskih podatkov za namen izdelave popolnega ortofota. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kosmatin Fras, M., co-supervisor Grigillo, D.): 29 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
PRVE STOPNJE GEODEZIJE
IN GEOINFORMATIKE

Kandidat:

KLEMEN RITLOP

**DOLOČITEV VIŠIN STAVB IZ LIDARSKIH
PODATKOV ZA NAMEN IZDELAVE POPOLNEGA
ORTOFOTA**

Diplomska naloga št.: 15/GIG

**EXTRACTING BUILDING HEIGHTS FROM LIDAR
DATA FOR THE PURPOSE OF CREATING TRUE
ORTHPHOTO**

Graduation thesis No.: 15/GIG

Mentorica:

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Somentor:

asist. dr. Dejan Grigillo

Član komisije:

izr. prof. dr. Krištof Oštir

doc. dr. Anka Lisec

Ljubljana, 24. 09. 2012

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Ta stran je namenoma prazna.

IZJAVE

Podpisani **KLEMEN RITLOP** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**"DOLOČITEV VIŠIN STAVB IZ LIDARSKIH PODATKOV ZA NAMEN IZDELAVE
POPOLNEGA ORTOFOTA"**.

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

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

Kranj, 1. september 2012

.....
(podpis)

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.7(043.2)
Avtor:	Klemen Ritlop
Mentor:	doc. dr. Mojca Kosmatin Fras
Somentor:	asist. dr. Dejan Grigillo
Naslov:	Določitev višin stavb iz lidarskih podatkov za namen izdelave popolnega ortofota
Tip dokumenta:	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	29 str., 1 pregl., 18 sl., 7 en., 1 pril.
Ključne besede:	popolni ortofoto, podatkovna zbirka Vaihingen, višine stavb, lidar

Izvleček

Klasični ortofoto ima kar nekaj slabosti, ki jih odpravimo v procesu izdelave popolnega ortofota. Popolni ortofoto izdelamo v nadgrajenem procesu ortorektifikacije iz letalskih posnetkov z uporabo digitalnega modela površja (DMP). DMP je sestavljen iz digitalnega modela reliefa (DMR), kateremu so dodani podatki o položaju in višinah stavb in mostov. Ti podatki so običajno shranjeni v vektorski obliki in so se v preteklosti običajno zajemali ročno iz letalskih posnetkov z metodo stereozajema. Z razvojem aerolaserskega skeniranja pa so se pojavile različne možnosti in tehnike avtomatskega zajema stavb iz lidarskih podatkov. V okviru diplomske naloge sem razvil enostaven algoritem, ki iz lidarskih podatkov pridobi višine stavb. V teoretičnem delu diplomske naloge na kratko opišem razlike med klasičnim in popolnim ortofotom, razlike v postopku izdelave ter predstavim tehnologijo aerolaserskega skeniranja. V praktičnem delu pa opišem sam algoritem in njegovo realizacijo v ESRI-jevem programskem paketu ArcGIS ter primerjam ortofote izdelane na podlagi različnih digitalnih modelov površja.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	528.7(043.2)
Author:	Klemen Ritlop
Supervisor:	Assist. Prof. Mojca Kosmatin Fras, Ph.D.
Cosupervisor:	Assist. Dejan Grigillo, Ph.D.
Title:	Extracting building heights from lidar data for the purpose of creating true orthophoto
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	29 p., 1 tab., 18 fig., 7 eq., 1 ann.
Keywords:	true orthophoto, Vaihingen data set, building heights, LIDAR

Abstract

Classical orthophoto has some disadvantages, which are eliminated in the process of generating true orthophoto. True orthophoto is generated from aerial photographs and digital surface model (DSM) in a process of enhanced orthorectification. DSM represents the earth's surface and includes objects like buildings and bridges. DSM data are usually stored in one of the vector file formats. In the past, DSM data were mostly acquired through process of stereoscopic data capture, but with a development of airborne laser scanning many different methods for automatic building extraction from lidar data are now available. In graduation thesis a simple algorithm for extracting building heights from lidar data was developed. In the first, theoretical part main differences between classical and true orthophoto are shortly presented as well as differences in their production line. In addition, main principles of airborne laser scanning are described. The second part treats the practical work. It contains presentation of developed algorithm, its realization in ESRI ArcGIS and evaluation of the final orthophoto results produced with different digital surface models.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem staršem in bratu za vso podporo pri študiju.

Za razumevanje in spodbudo se zahvaljujem moji Evi.

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Mojci Kosmatin Fras in somentorju asistentu dr. Dejanu Grigillu za strokovno pomoč in usmerjanje pri pisanju diplomske naloge.

Za možnost uporabe testnih podatkov območja Vaihingen se zahvaljujem Nemškemu združenju za fotogrametrijo, daljinsko zaznavanje in geoinformatiko.

Acknowledgment:

I would like to thank the German Society for Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation (DGPF) for providing the Vaihingen data set.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	POPOLNI ORTOFOTO.....	4
	2.1 Postopek izdelave popolnega ortofota.....	5
3	AEROLASERSKO SKENIRANJE	7
	3.1 Princip aerolaserskega skeniranja	7
	3.2 Podatki aerolaserskega skeniranja.....	8
4	OPIS PODATKOV IN UPORABLJENA PROGRAMSKA OPREMA	9
5	ALGORITEM ZA DOLOČITEV VIŠIN STAVB	11
6	REALIZACIJA ALGORITMA V PROGRAMSKEM PAKETU ARCGIS	19
7	PRIMERJAVA ORTOFOTOV IZDELANIH Z UPORABO RAZLIČNIH MODELOV VIŠIN.....	22
8	ZAKLJUČEK	27
	VIRI	28

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Opis vhodnih parametrov, ki jih zahteva glavni model za izračun višin stavb.....	21
-------------------------------------------------------------------------------------------------	----

KAZALO SLIK

Slika 1:	Primerjava klasičnega ortofota (levo) in popolnega ortofota (desno) (Space Imaging Middle East, 2012).....	1
Slika 2:	Deformacija mostu in nadvoza na klasičnem ortofotu ob uporabi DMR (levo) in pravilen prikaz na pravem ortofotu ob uporabi DMP (desno) (MJ Harden Associates, Inc., 2012)	4
Slika 3:	Kombinacija več posnetkov iz različnih smeri, ki omogočajo zapolnitev zakritih območij (Braun, 2003: 207)	5
Slika 4:	Princip aerolaserskega skeniranja (Oštir, 2006: 74).....	7
Slika 5:	3D model urbanega območja s podloženim popolnim ortofotom (virtualcitySYSTEMS GmbH, 2012).....	8
Slika 6:	Letalski posnek (levo) in lidarski oblak točk (desno) dela mesta Vaihingen (Rottensteiner et al., 2011: 2, 6)	9
Slika 7:	Shema poteka izdelave popolnega ortofota z uporabo izdelanega algoritma za določitev višin stavb.....	11
Slika 8:	Shematski prikaz filtriranja neprimernih točk, ki ležijo pod kapjo strehe.....	13
Slika 9:	Rezultat koraka 4 – točke v pasovih ob kapi in v pasovih, ki povezujejo kap s slemenom	14
Slika 10:	Histogram enega izmed vzorcev stavb, dobljenih v koraku 4.....	15
Slika 11:	Vpliv pogreška določitve višine stavbe na njen horizontalni položaj na ortofotu.....	16
Slika 12:	Pogovorno okno glavnega modela za izračun višin stavb.....	21
Slika 13:	Klasični ortofoto, izdelan z uporabo DMR-ja.....	23
Slika 14:	Popolni ortofoto, izdelan z uporabo DMP-ja, z obodi stavb z višinami, določenimi z mojim algoritmom	23
Slika 15:	Klasični ortofoto, izdelan z uporabo DMP-ja	24
Slika 16:	Popolni ortofoto, izdelan z uporabo DMP-ja, z obodi stavb z višinami, določenimi z mojim algoritmom	24
Slika 17:	Popolni ortofoto, izdelan z uporabo DMP-ja, z obodi stavb z višinami, določenimi z mojim algoritmom	25
Slika 18:	Popolni ortofoto, izdelan z uporabo DMP-ja, z obodi stavb, zajetimi ročno z metodo stereozajema	25

KRATICE

ALS	aerolasersko skeniranje
DMP	digitalni model površja
DMR	digitalni model reliefa
GNSS	globalni navigacijski satelitski sistem
INS	inercialni navigacijski sistem
LIDAR	LIght Detection And Ranging (slov. svetlobno zaznavanje in merjenje razdalj; kratica za lasersko skeniranje, lidar)

1 UVOD

Ortofoto je danes eden izmed najpopularnejših izdelkov sodobne fotogrametrije. Je izdelek, ki nazorno prikazuje zemeljsko površje in grajene objekte. Z razvojem digitalnih slikovnih senzorjev, računalniške tehnologije in laserskega skeniranja je njegova izdelava postala cenejša in hitrejša kot izdelava topografske karte primerljivega merila. Zaradi tega se ortofoto posnetki lahko izdelujejo pogosteje, kar jim v primerjavi s klasičnimi topografskimi kartami zagotavlja večjo ažurnost. Naštete prednosti so vzrok, da je ortofoto na mnogih področjih popolnoma ali vsaj delno nadomestil klasične topografske karte. Končni uporabniki ortofota niso le geodeti, ampak tudi gradbeniki, arhitekti, urbanisti, gozdarji, arheologi idr. Seveda pa ima ortofoto tudi slabosti oziroma omejitve. Ker je rastrski izdelek, njegova vsebina ni interpretirana, posamezni objekti nimajo dodatnih informacij v obliki atributov in med posameznimi objekti niso opredeljeni topološki odnosi. Zaradi tega ortofota ne moremo uporabiti v GIS analizah. V Sloveniji se ortofoto najpogosteje uporablja kot topografska in kartografska podlaga (podlaga v prostorskih aplikacijah, podlaga za prostorsko planiranje ...) ter tudi kot vir za zajem podatkov (zajem rabe zemljišč, dopolnitev topografskih baz/kart ...) (Kosmatin Fras et al., 2006).

Poleg že naštetih slabosti pa so na klasičnem ortofotu prisotna še dodatna popačenja. Klasični ortofoto dobimo, če letalske posnetke, ki so posneti v centralni projekciji, z uporabo digitalnega modela reliefa transformiramo v ortogonalno projekcijo. Ta proces imenujemo ortorektifikacija. Pojem digitalni model reliefa (DMR) bom v nalogi uporabljal kot najširši pojem za digitalni opis oblikovanosti zemeljskega površja (reliefa), ne glede na njegovo fizično strukturo digitalnega zapisa.



Slika 1: Primerjava klasičnega ortofota (levo) in popolnega ortofota (desno) (Space Imaging Middle East, 2012)

Ker v procesu ortorektifikacije uporabimo DMR, se pravilno preslikajo le tista območja, ki jih DMR opredeljuje. To pomeni, da objekti, ki ležijo nad oziroma pod terenom, na ortofotu nimajo pravega položaja in niso prikazani v pravi velikosti. Popačenje je največje pri stavbah, ki so na ortofotu glede na njegovo merilo prevelike in nagnjene stran od glavne točke posnetka (slika 1) ter mostovih, ki se upognejo navzdol, saj sledijo poteku terena pod njimi. Te napake odpravimo v procesu izdelave popolnega ortofota (angl. true orthophoto) (slika 1).

Pri njegovi izdelavi namesto DMR-ja uporabimo digitalni model površja (DMP) zadovoljive kakovosti. Digitalni model površja vsebuje tudi višinske podatke o objektih nad površjem. V aerofotogrametriji običajno DMP poleg terena vsebuje še stavbe in mostove. V tem primeru se tudi stavbe in mostovi v procesu ortorektifikacije preslikajo v pravi velikosti in na pravi položaj. V primerjavi s klasičnim ortofotom lahko na popolnem ortofotu merimo horizontalne razdalje tudi na obodih streh stavb, možna je vektorizacija stavb, v primeru uporabe skupaj z drugimi vektorskimi sloji pa je položajno ujemanje pravilnejše. Prav zaradi omenjenih omejitev klasičnega ortofota in širokega kroga uporabnikov, ki niso geodeti in se pogosto ne zavedajo omejitev klasičnega ortofota, je naloga geodetske stroke v prihodnosti zagotoviti kakovosten izdelek (t.j. kakovosten popolni ortofoto), ki ga bodo lahko uporabniki "varno" uporabljali pri svojem delu.

Kot sem že omenil, za izdelavo popolnega ortofota potrebujemo DMP, ki je nujen vhodni podatek, njegova kakovost pa neposredno vpliva na kakovost ortofota. Glede na to, v kakšni fizični obliki je DMP v praksi zapisan, so pristopi, realizirani v posamezni programski opremi, različni. Program SOCET SET podjetja BAE Systems, ki je v uporabi tudi na naši fakulteti, za izdelavo popolnega ortofota potrebuje naslednje vhodne podatke: letalske posnetke območja, za katerega se bo izdelal popolni ortofoto, DMR tega območja in poligone stavb z določenimi višinami obodov stavb. Višine stavb lahko pridobimo na več načinov – stavbe lahko ročno zajamemo iz stereoparov, lahko pa uporabimo podatke vedno bolj razširjenega aerolaserskega skeniranja (angl. airborne laser scanning). Te podatke imenujemo tudi lidarski podatki. Lidarske podatke pridobimo s terestričnim ali zračnim laserskim skeniranjem. Pri zračnem laserskem skeniranju, ki se običajno izvaja na večjih območjih, je laserski skener najpogosteje nameščen na letalu ali helikopterju. Zajemajo se podatki o odboju laserskega žarka in podatki GNSS (globalni navigacijski satelitski sistem) ter INS (inercialni navigacijski sistem) sistemov. Lidarski podatki so sestavljeni iz oblaka točk, vsaka točka pa ima znane koordinate, intenziteto odboja in red odboja laserskega žarka. Na podlagi teh podatkov lahko lidarske podatke umestimo v prostor in jih tudi klasificiramo. Običajno jih klasificiramo na talne točke (iz katerih lahko izdelamo DMR), vegetacijo (nizka, srednje visoka, visoka), stavbe in vodo. Glavni cilj diplomske naloge je bil sestava enostavnega, a učinkovitega algoritma in izdelava programa, ki že obstoječim poligonom stavb na podlagi klasificiranih lidarskih podatkov določi višino oboda kapi¹

¹ káp: *najnižji rob strehe, s katerega se odteka voda* (SSKJ, 2000)

streh stavb. Tako dobljeni poligoni z znanimi višinami stavb se lahko uporabijo za namen izdelave popolnega ortofota v programu SOCET SET, možna pa je tudi izdelava preprostega 3D modela.

Diplomska naloga je sestavljena iz devetih poglavij. Prvo poglavje je uvodno. Teoretični del naloge sestavljata drugo in tretje poglavje. V drugem poglavju na kratko opišem lastnosti in potek izdelave popolnega ortofota, v tretjem pa princip aerolaserskega skeniranja. Četrto poglavje je namenjeno predstavitvi testnih podatkov, ki jih je za uporabo v raziskovalne namene dalo Nemško združenje za fotogrametrijo, daljinsko zaznavanje in geoinformatiko (DGPF).² Praktični del naloge sestavljajo peto, šesto in sedmo poglavje. Algoritem za določitev višin stavb opišem v petem poglavju, njegovo realizacijo v ESRI-jevem programskem paketu ArcGIS pa v šestem poglavju. Popolni ortofoto, izdelan na podlagi višin, pridobljenih s tem algoritmom, predstavim v sedmem poglavju. V zadnjem, osmem poglavju predstavim zaključne ugotovitve, ovrednotim svoj izdelek (algoritem) in podam predloge za nadaljnje delo. Na koncu naloge je v prilogi A (zgoščenka) priložen algoritem, realiziran v programskem paketu ArcGIS.

² The Vaihingen data set was provided by the German Society for Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation (DGPF) [Cramer, 2010]: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/dgpf/DKEP-Allg.html> (in German).

2 POPOLNI ORTOFOTO

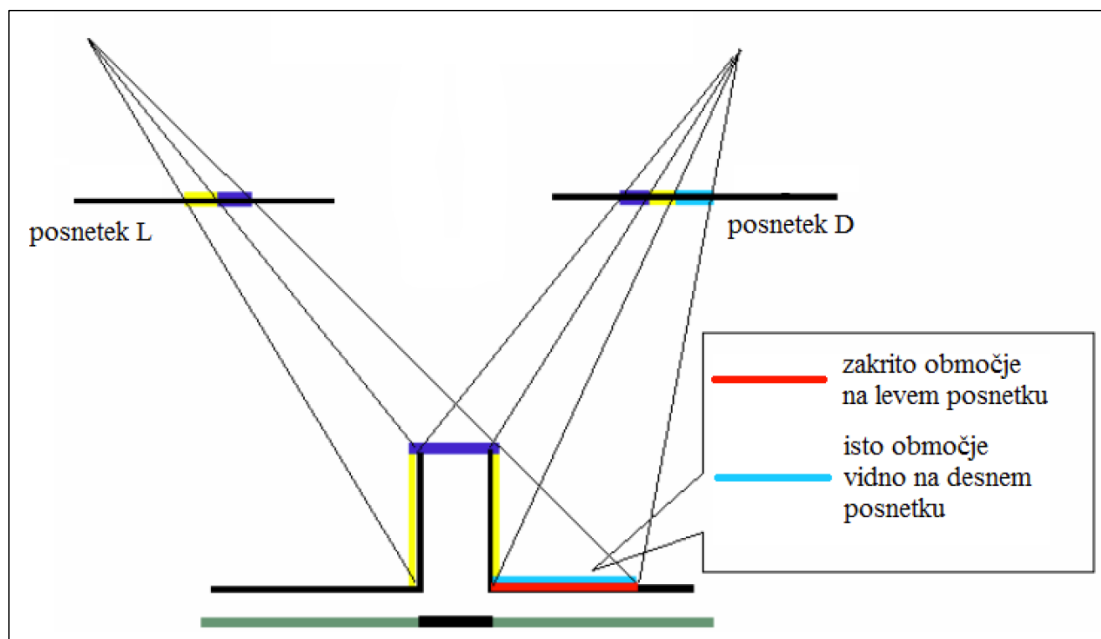
Letalski posnetek nastane po načelu centralne projekcije, kar pomeni, da pride pri preslikavi sveta iz 3D prostora v 2D posnetek do določenih geometrijskih deformacij. Točke, ki se v prostoru v položajnem (horizontalnem) smislu nahajajo na isti lokaciji, a na različnih višinah, se preslikajo na različne položaje na posnetku. Poleg tega so objekti, ki so v času ekspozicije bliže fotoaparatu, prikazani v večjem merilu, kot bolj oddaljeni objekti. To pomeni, da vsebina letalskega posnetka položajno ni pravilno locirana v prostor, posnetek pa nima enotnega merila. Merjenje horizontalnih razdalj na letalskih posnetkih ni mogoče (Hartman, 2008). Ker pa so deformacije letalskega posnetka matematično opisljive, jih lahko odpravimo. To storimo v procesu ortorektifikacije pri katerem kot končni izdelek dobimo ortofoto. Vendar pa so tudi na tako izdelanem ortofotu še prisotna popačenja. Transformacija se iz centralne v ortogonalno projekcijo izvede z uporabo DMR-ja, kar pripelje do tega, da se pravilno preslikajo le točke, ki sovpadajo z DMR-jem. Največje deformacije nastanejo pri visokih objektih (stavbah) in mostovih (slika 2). Te deformacije lahko odpravimo, če DMR dopolnimo s stavbami in mostovi. Tak digitalni model v našem primeru imenujemo DMP, izdelek, ki ga dobimo v procesu ortorektifikacije pa popolni ortofoto. Pri izdelavi popolnega ortofota je potrebno sam proces ortorektifikacije nadgraditi z algoritmi za iskanje in zapolnitev zakritih območij. Visoki objekti so na letalskih posnetkih nagnjeni in s tem zakrivajo del svoje okolice. Če v postopku klasične ortorektifikacije uporabimo DMP, se objekti nad terenom preslikajo na pravo mesto, zakrita območja pa obdržijo prvotne radiometrične vrednosti, čeprav bi morala biti brez radiometrične vrednosti. Rezultat tega je pojav dvojnega kartiranja. Algoritmi za iskanje zakritih območij ta območja najdejo in jih označijo, da jih lahko algoritmi v procesu barvnega ujemanja zaznajo in jim kasneje v procesu mozaičenja dodelijo ustrezno radiometrično vrednost.



Slika 2: Deformacija mostu in nadvoza na klasičnem ortofotu ob uporabi DMR (levo) in pravilen prikaz na pravem ortofotu ob uporabi DMP (desno) (MJ Harden Associates, Inc., 2012)

2.1 Postopek izdelave popolnega ortofota

Za izdelavo popolnega ortofota potrebujemo letalske posnetke z vsaj 60 % prekrivanjem na vseh štirih straneh posnetkov (Ridić, 2012), saj s tem zagotovimo, da so posneta tudi območja, ki so na nekaterih posnetkih zakrita (slika 3). Letalske posnetke je potrebno tudi orientirati, kar se najpogosteje izvede v projektu aerotriangulacije.



Slika 3: Kombinacija več posnetkov iz različnih smeri, ki omogočajo zaplnitev zakritih območij
(Braun, 2003: 207)

Sledi proces ortorektifikacije, ki je lahko posreden ali neposreden. Pri neposredni metodi iščemo preseke slikovnih žarkov središč slikovnih točk letalskega posnetka z DMP. Presek slikovnega žarka z DMP nam da (X,Y,Z) koordinate slikovne točke v izbranem referenčnem koordinatnem sistemu, pri čemer se višina interpolira (največkrat z bilinearno interpolacijo) iz višin vogalnih točk gridne celice DMP, ki jo preseka slikovni žarek. Točko preseka slikovnega žarka z DMP se nato pravokotno projicira na ravnino ortofota. Ker projekcija žarka praviloma ne pade v središče slikovne točke ortofota, je potrebno radiometrično vrednost posamezne slikovne točke interpolirati (metoda najbližjega soseda, bilinearna interpolacija, polinomska interpolacija ...), kar imenujemo prevzorčenje. Posredna metoda poteka podobno, le v obratni smeri. Vsako slikovno točko ortofota, ki že ima (X,Y) koordinate v referenčnem koordinatnem sistemu, se pravokotno projicira na DMP, pri čemer se z interpolacijo izračuna višina točke. Nato se točko preseka poveže s projekcijskim centrom letalskega posnetka, s čimer se rekonstruira slikovni žarek določene slikovne točke posnetka. Seveda žarek slikovne točke posnetka običajno ne prebode v središču, tako da se radiometrična vrednost slikovne točke na ortofotu ponovno interpolira. V praksi se običajno uporablja posredna metoda ortorektifikacije.

Ker izdelujemo popolni ortofoto in smo v procesu ortorektifikacije uporabili DMP, so se tudi visoki objekti preslikali pravilno. Težava se pojavi pri določitvi radiometričnih vrednosti zakritih območjih. Kot sem že omenil, bi v primeru klasičnega postopka ortorektifikacije ta območja ohranila enake radiometrične vrednosti, kot jih imajo na letalskem posnetku – pojav dvojnega kartiranja. Zato pri izdelavi popolnega ortofota med ortorektifikacijo poteka tudi iskanje zakritih območij. Metod za iskanje zakritih območij je veliko, osnovne izmed njih, kot navaja Ridić (2012), so:

- Z-buffer metoda (in njene modifikacije),
- metoda sortiranega DMP,
- metoda primerjave kotov,
- metoda primerjave višin.

Ko je proces ortorektifikacije končan, imamo množico ortorektificiranih posnetkov (z znanimi zakritimi območji), ki se med seboj delno prekrivajo. Končni izdelek bo nastal kot kombinacija vseh posnetkov, za katere pa vemo, da niti dva nista nastala v popolnoma enakih pogojih, zato so posnetki med seboj barvno neusklajeni. Barvno oziroma radiometrično neusklajenost odpravimo v postopku barvnega ujemanja z uskladitvijo kumulativnih histogramov barvnih vrednosti posnetkov (Hartman, 2004). Barvno usklajene posnetke nato v procesu mozaičenja združimo. Ker pa se posnetki med seboj prekrivajo in se posamezne slikovne točke običajno pojavijo na več posnetkih, je potrebno na podlagi določenih kriterijev v procesu mozaičenja izbrati najustreznejšo radiometrično vrednost za posamezno slikovno točko. Kot navajata Schickler in Thorpe (1998) so ti kriteriji:

- bližina nadirja,
- relativna orientacija površine terena do vsake slikovne ravnine,
- oddaljenost od zakritega območja.

Ob upoštevanju enega ali več kriterijev se homolognim točkam izračunajo uteži, slikovni točki popolnega ortofota pa se pripiše radiometrična vrednost točke z največjo utežjo.

V procesu mozaičenja se zapolnijo tudi zakrita območja, če vsaj na enem posnetku tako območje ni zakrito. Končni izdelek mozaičenja je podoba, na kateri je še vedno vidnih mnogo stičnih linij. Te linije zabrišemo z uporabo filtra povprečenja, ki se pomika po njih in jih zgladi.

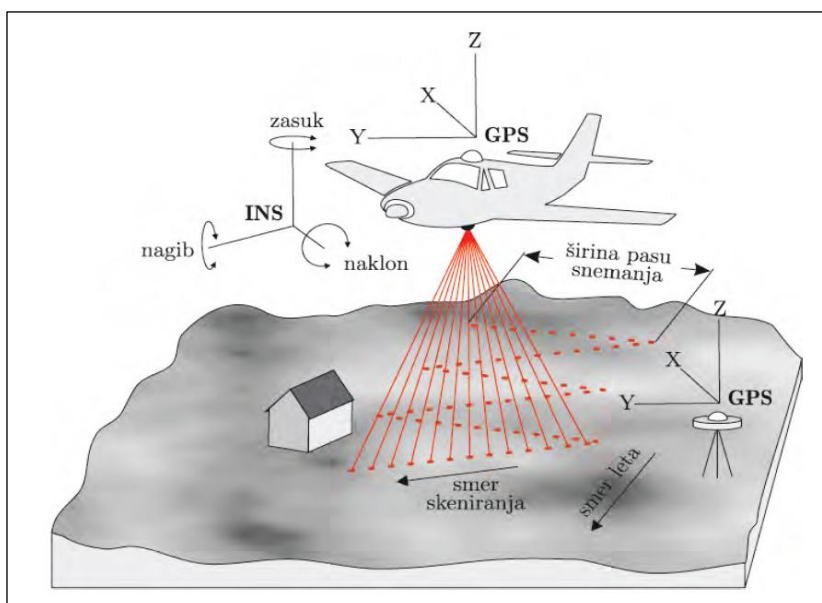
3 AEROLASERSKO SKENIRANJE

Lasersko skeniranje oziroma krajše lidar je trenutno ena izmed najaktualnejših tehnik zajema prostorskih podatkov. Če je laserski skener nameščen na zračnem plovilu (letalo, helikopter ...), govorimo o aerolaserskem skeniranju (ALS) (slika 4). ALS omogoča zajem točk z visoko gostoto (tudi 10 in več točk na m^2) v zelo kratkem času in predstavlja trenutno najnatančnejšo daljinsko tehniko zajema podatkov za izdelavo digitalnih modelov reliefa oziroma površja.

3.1 Princip aerolaserskega skeniranja

Lidar je aktiven instrument, ki ga v osnovi sestavljata laserski razdaljemer in naprava za odklon laserskega žarka. V primeru ALS je laserski skener del integriranega sistema, ki vsebuje še GNSS sprejemnik in INS. Laserski razdaljemer oddaja kratke impulze laserske svetlobe, ki se na napravi za odklon žarka lomijo v različnih smereh. Na ta način poteka skeniranje terena pravokotno na smer leta plovila. Posamezen laserski žarek se odbije od terena nazaj proti detektorju v laserskem skenerju, ki odbit žarek zazna in zabeleži čas potovanja laserskega žarka. Za določitev koordinat posamezne točke v referenčnem koordinatnem sistemu moramo poznati (Oštir, 2006):

- razdaljo med laserskim skenerjem in merjeno točko, ki se izračuna na osnovi registriranega časa potovanja laserskega žarka,
- kot, pod katerim se je žarek odklonil na napravi za odklon,
- položaj skenerja v referenčnem koordinatnem sistemu, ki ga zagotovi GNSS sprejemnik,
- tri kote orientacije skenerja (naklon, nagib in zasuk), ki jih izmeri INS in skupaj s položajem skenerja ter kotom odklona žarka omogočajo določitev smeri oddaje laserskega žarka.



Slika 4: Princip aerolaserskega skeniranja (Oštir, 2006: 74)

Poleg časa potovanja laserskega žarka laserski skener beleži tudi intenziteto odbitega žarka in podatek o redu odboja istega žarka. Predvsem za vegetacijo velja, da se del žarka odbije ob prvem stiku, del pa prodre vse do tal. Ta podatek je nadvse koristen pri filtriranju ne-talnih točk na gozdnatih območjih za namen izdelave DMR.

3.2 Podatki aerolaserskega skeniranja

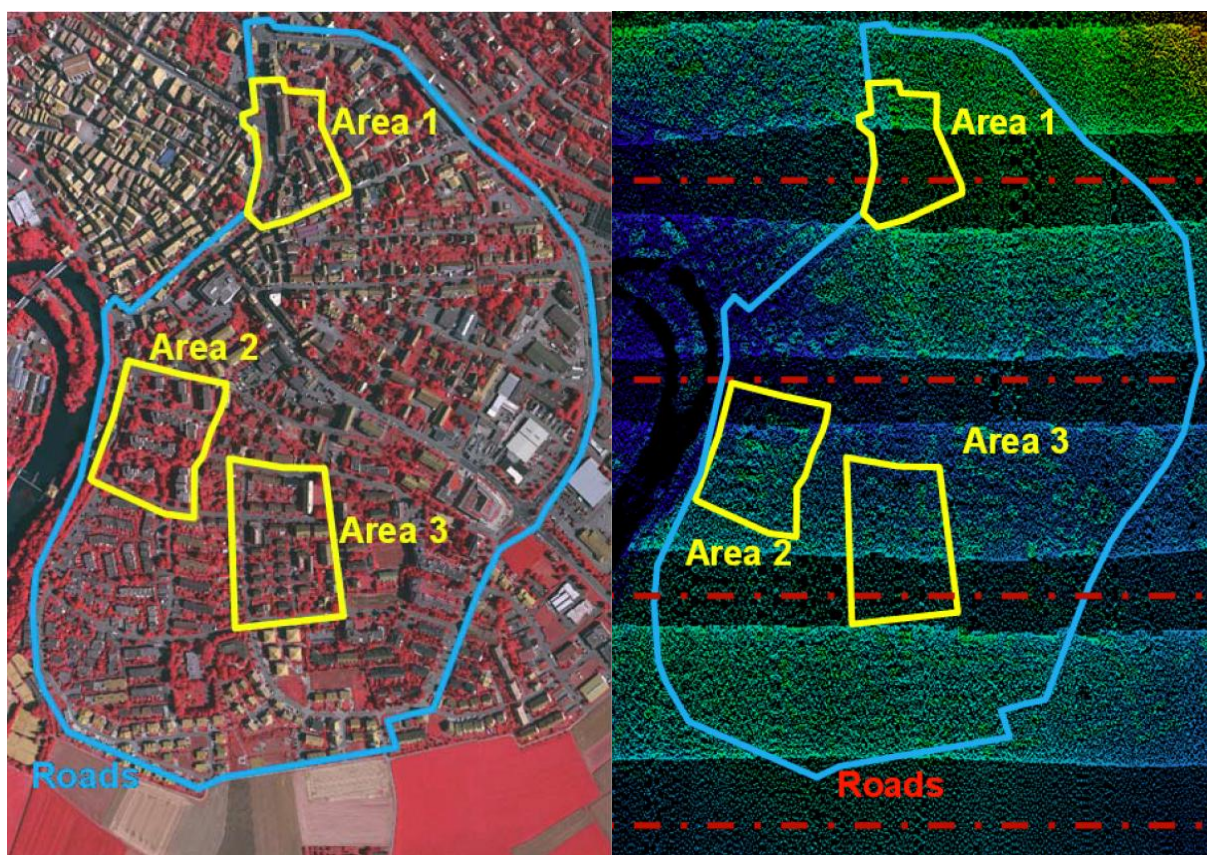
Rezultat laserskega skeniranja je lidarski oblak točk. Vsaka točka ima poleg koordinat tudi podatek o intenziteti in redu odboja. Za nadaljnjo uporabo moramo lidarski oblak obdelati. V proces obdelave spadajo različne vrste filtriranja in klasificiranje. Pri filtriranju oblaka odstranimo neželene točke. Najpogostejše je filtriranje ne-talnih točk od talnih za namen izdelave DMR (pri čemer potrebujemo le talne točke). V procesu klasifikacije pa razvrščamo točke v izbrane razrede kot so: tla, vegetacija (visoka, srednja, nizka), stavbe, voda ... Če imamo tako klasificiran oblak točk in izločimo vse točke razen talnih točk in točk stavb, lahko izdelamo DMP, ki ga je možno uporabiti v procesu izdelave popolnega ortofota. Vse pogosteje pa se lidarski oblak točk uporablja za izdelavo 3D modelov urbanih območij. Na model reliefa se lahko napne popolni ortofoto, na modele stavb pa se dodajo slike fasad, s čimer dobimo izredno realističen prikaz urbanega območja (slika 5).



Slika 5: 3D model urbanega območja s podloženim popolnim ortofotom (virtualcitySYSTEMS GmbH, 2012)

4 OPIS PODATKOV IN UPORABLJENA PROGRAMSKA OPREMA

Za namen izdelave praktičnega dela diplomske naloge sem uporabil podatke testnega projekta Mednarodnega združenja za fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje (ISPRS). Projekt je bil razpisan 7. 3. 2011 in je namenjen testiranju različnih metod avtomatskega prepoznavanja stavb in izdelave 3D modelov urbanih območij. Prvi rezultati projekta bodo predstavljeni na XXII. ISPRS kongresu v Melbournu (24. 8. – 1. 9. 2012), končni rezultati pa bodo objavljeni v glasilu ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Podatke za projekt je zagotovilo Nemško združenje za fotogrametrijo, daljinsko zaznavanje in geoinformatiko (DGPF). Vsebujejo letalske posnetke visoke ločljivosti dela nemškega mesta Vaihingen in lidarski oblak točk istega območja (slika 6). Celotno območje vsebuje 3 testna območja, pri čemer ima vsako območje značilno pozidavo (Rottensteiner et al., 2011). Sam sem uporabil podatke območja 3 (slika 6), v katerem se večinoma nahajajo enodružinske hiše.



Slika 6: Letalski posnek (levo) in lidarski oblak točk (desno) dela mesta Vaihingen
(Rottensteiner et al., 2011: 2, 6)

Letalski posnetki bili so posneti z visokoločljivostnim snemalnim sistemom Intergraph Z/I Imaging DMC z višine 900 m. Prostorska ločljivost (angl. ground sample distance oz. GSD) je bila za namen te naloge s prevzorčenjem zmanjšana iz 8 cm na 25 cm. Posnetki so bili zajeti v rdečem, zelenem in

bližnjem infrardečem spektralnem kanalu z 11-bitno radiometrično ločljivostjo in 60 % vzdolžnim ter prečnim prekrivanjem. Posledica snemanja v rdečem, zelenem in bližnjem infrardečem spektralnem kanalu je ta, da je območje na posnetkih prikazano v lažnih barvah (angl. false colours). Vsi posnetki so tudi orientirani, parametri notranje in zunanje orientacije pa so priloženi letalskim posnetkom, ki so shranjeni kot 16-bitne datoteke formata TIFF. Zaradi visokega vzdolžnega in prečnega prekrivanja je območje 3 v celoti posneto na šestih posnetkih in delno še na dodatnih štirih, kar zagotavlja izredno dobro pokritost zakritih območij pri izdelavi popolnega ortofota.

Aerolasersko skeniranje območja se je izvedlo s snemalnim sistemom Leica ALS50. Območje je bilo posneto v petih snemalnih pasovih. Povprečna višina leta pri skeniranju je bila 500 m, povprečno prekrivanje med dvema pasovoma pa je 30 %. Povprečna gostota točk na delih, kjer ni prekrivanja je 4 točke/m², na območjih prekrivanja pa je približno dvakrat višja, kar je lepo vidno na sliki 6. Ker je položaj točk lidarskega oblaka določen na podlagi opazovanj GNSS in INS sistema, lahko vsebuje sistematične pogreške. Zaradi tega se je položaj lidarskega oblaka naknadno popravil na podlagi letalskih posnetkov, tako da se georeferenciran lidarski oblak kar najbolje ujema z orientiranimi letalskimi posnetki. Oblak točk ni klasificiran in je shranjen v datotekah formata LAS (različica 1.0).

Kot vhodni podatek sem uporabil tudi vektorske obode stavb, pridobljene z avtomatsko vektorizacijo, ki predstavljajo floris strehe. V ta namen se je iz DMP, izdelanega iz lidarskega oblaka točk, izdelala maska stavb. Vektorizacija se je nato izvedla na maski stavb z uporabo Houghove transformacije. Algoritma za vektorizacijo nisem napisal sam, ampak je delo somentorja, dr. Dejana Grigilla. Več o sami vektorizaciji si lahko preberete v Grigillo et al. (2012). Vektorske obode stavb sem pridobil v obliki datotek formata DXF.

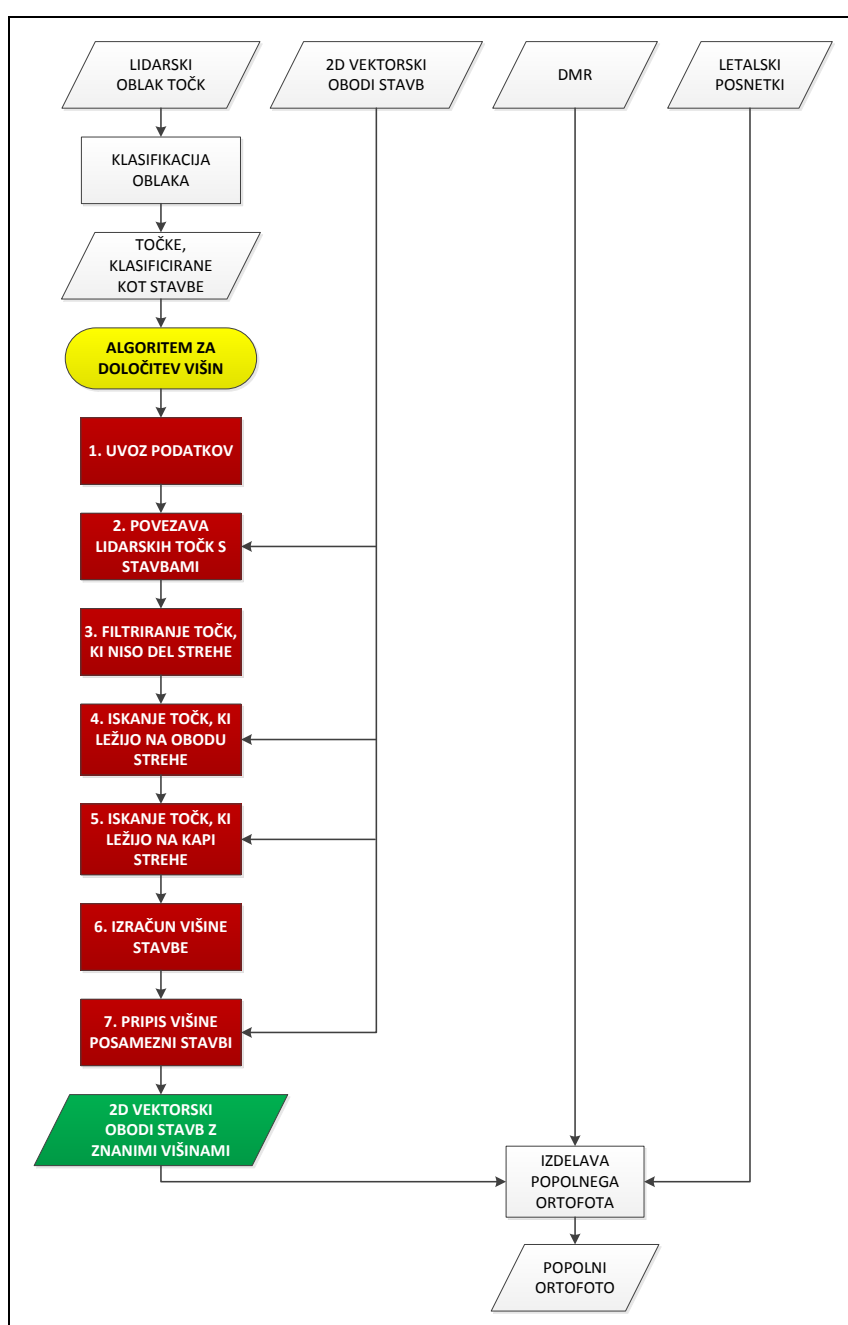
Vse informacije o letalskih posnetkih in lidarskih podatkih so povzete po Rottensteiner et al. (2011).

Pri izdelavi diplomske naloge sem uporabil naslednjo programsko opremo:

- *LAStools*: za klasifikacijo lidarskega oblaka točk,
- *ESRI ArcGIS 10.0 (ArcScene)*: za izdelavo lastnega algoritma za določitev višin stavb na podlagi lidarskega oblaka točk in vektoriziranih obodov stavb,
- *SOCET SET*: za izdelavo različnih ortofoto posnetkov,
- *MATLAB*: za izdelavo histogramov.

5 ALGORITEM ZA DOLOČITEV VIŠIN STAVB

Glavni del praktičnega dela diplomske naloge predstavlja algoritem za določitev višin stavb. Izraz višina stavbe se bo v nadaljevanju vedno nanašal na višino kapi strehe stavbe. Algoritem na podlagi obdelave lidarskih podatkov in 2D vektorskih obodov stavb za vsako stavbo oblikuje vzorec točk, iz katerega se izračuna njena višina, ki se stavbi pripiše kot atribut. Za namene te naloge je DMP, ki je vhodni podatek za izdelavo popolnega ortofota, sestavljen iz DMR-ja in datoteke z obodi stavb z znanimi višinami. Potek izdelave popolnega ortofota z uporabo izdelanega algoritma za določitev višin stavb je prikazan na sliki 7. Koraki algoritma za določitev višin stavb so obarvani rdeče.



Slika 7: Shema poteka izdelave popolnega ortofota z uporabo izdelanega algoritma za določitev višin stavb

Določitev višin stavb poteka v sedmih korakih.

Korak 1 – uvoz podatkov:

Algoritem za določitev višin stavb sprejme dva vhodna podatka:

- klasificiran lidarski oblak, kjer so točke stavb klasificirane kot svoj razred (pri tem so točke stavb mišljene kot točke, ki so se odbile na strehi stavbe),
- obode stavb v vektorski obliki.

V primeru, da lidarski oblak vsebuje še druge entitete kot stavbe, se izvede filtriranje na podlagi enoličnega identifikatorja razreda. Po filtriranju ostanejo samo točke, ki so klasificirane kot stavbe.

Korak 2 – povezava lidarskih točk s stavbami:

V procesu obdelave in izračuna višin mora algoritem vedeti, kateri stavbi pripada posamezna točka. Vsaki točki se pripiše enolični identifikator stavbe, kateri pripada. Točke, ki ne pripadajo nobeni stavbi, se izločijo.

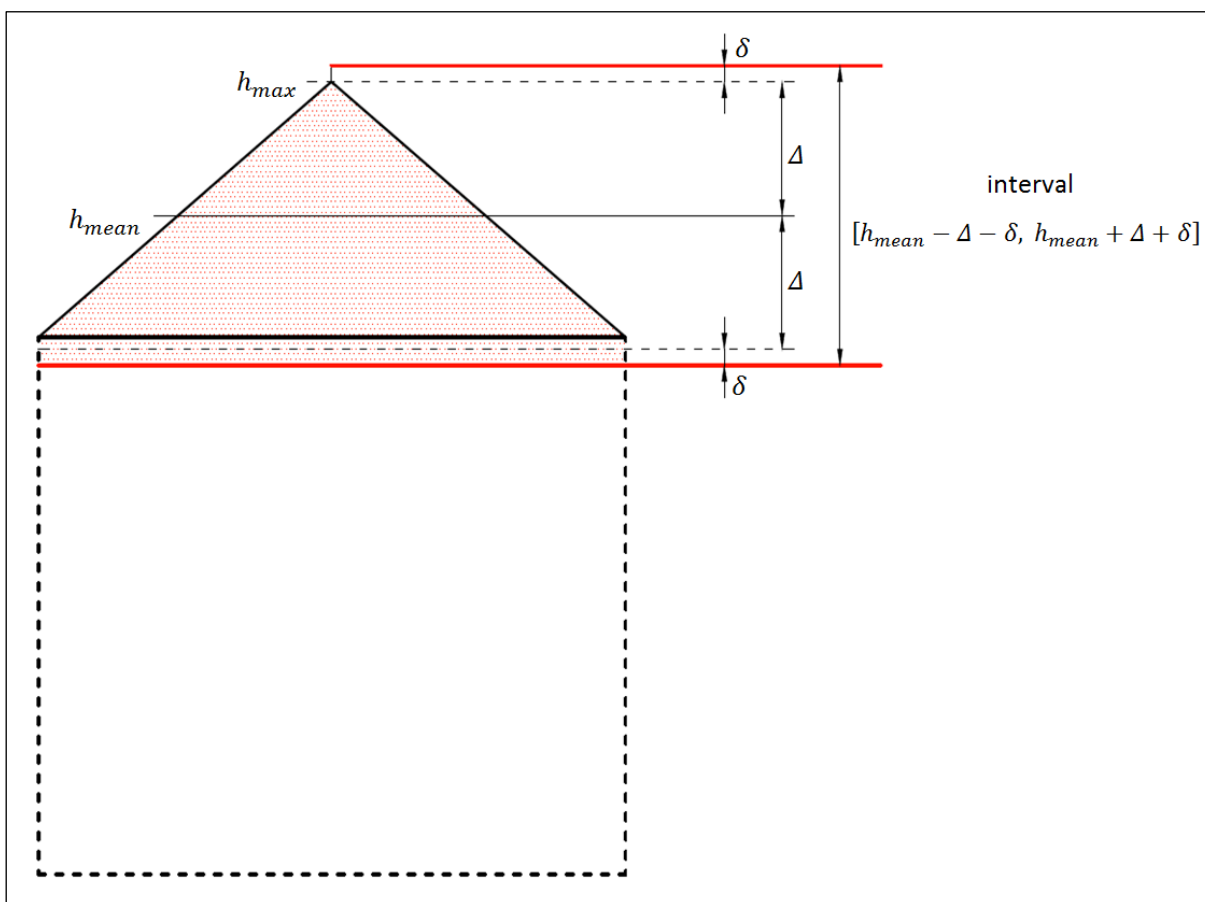
Korak 3 – filtriranje točk, ki niso del strehe:

V postopku klasifikacije lidarskega oblaka se pogosto zgodi, da so kot stavbe (strehe stavb) klasificirane tudi točke, ki to niso (odboji na stenah, dimnikih ...). Lahko se tudi zgodi, da se v postopku avtomatske vektorizacije kot del stavbe zajame še nadstrešek, ki stoji tik ob njej. V takem primeru bodo k stavbi pripadale tudi točke nadstreška, ki so seveda klasificirane kot stavba. Takšne točke je potrebno odstraniti iz nadaljnje obdelave. V ta namen sem sestavil enostaven filter, ki take točke izloči iz nadaljnje obdelave. Filter deluje na vsaki stavbi posebej. V prvem koraku filter izloči točke, ki ležijo previsoko in lahko v veliki meri izničijo učinek drugega dela filtra. Najpogosteje so to točke, ki ležijo na dimnikih. Površina enega dimnika je običajno manjša od $0,5 \text{ m}^2$, hiša pa praviloma nima več kot dva dimnika. Gostota oblaka na območju prekrivanja je 8 točk/m^2 , zato sem se odločil, da enostavno izločim 10 najvišjih točk. Tudi če vse ležijo na strehi ima to v nadaljevanju zanemarljiv vpliv, saj na eni strehi dobimo več 100 odbojev. V primeru večje gostote točk je smiselno število zanemarjenih točk povečati. V drugem koraku pa filter izloči točke, ki ležijo prenizko (npr. odboji na nadstreških, balkonih ...). Najprej algoritem poišče najvišjo točko stavbe h_{max} in izračuna vrednost h_{mean} , ki je povprečje višin vseh točk ene stavbe. Nato se po enačbi (1) izračuna vrednost Δ .

$$\Delta = h_{max} - h_{mean} \quad (1)$$

Z vrednostjo Δ je določena velikost intervala $[h_{mean} - \Delta - \delta, h_{mean} + \Delta + \delta]$ znotraj katerega ležijo točke stavbe. Če katera izmed točk leži zunaj intervala, je neprimerna za izračun višine (v nadaljevanju 'neprimerna točka') in je izločena iz nadaljnjega postopka. Vrednost δ je konstanta, za katero povečamo interval. Vpeljal sem jo zato, ker se lahko zgodi, da se zaradi neenakomerne razpršenosti točk ali drugih anomalij (npr. frčade ...) povprečje h_{mean} ne nahaja na sredini strehe, ampak nekoliko

višje, zaradi česar je vrednost Δ premajhna. V tem primeru bi filter izločil tudi nekatere točke, ki ležijo na obodu strehe, kar pa seveda nočemo. Pri povečanem intervalu se lahko zgodi, da kakšna neprimerna točka, ki se nahaja blizu nivoja kapi strehe, ni najdena, kar pa je vseeno boljše, kot da bi filter izločil večje število točk, ki se nahajajo na obodu strehe.³ Vrednost δ sem določil empirično. Njena privzeta vrednost znaša 0,1 m, po potrebi pa se lahko tudi spremeni. Shema drugega dela filtra je prikazana na sliki 8. Filter dobro deluje pri pogoju, da je neprimernih točk, v primerjavi z ostalimi točkami, sorazmerno malo.



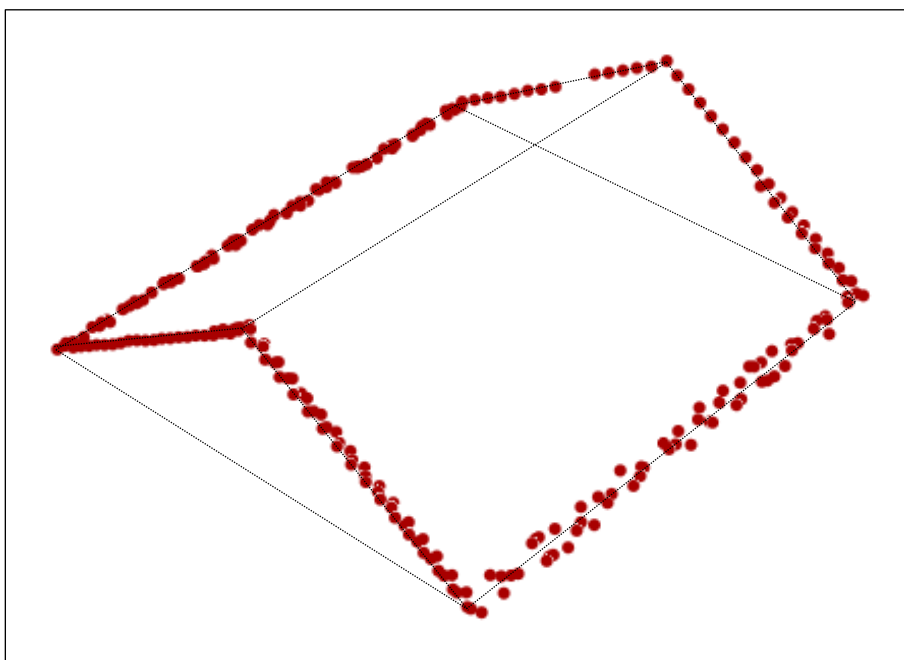
Slika 8: Shematski prikaz filtriranja neprimernih točk, ki ležijo pod kapjo strehe

Korak 4 – iskanje točk, ki ležijo na obodu strehe:

Zaradi možnosti, da so v oblaku točk, dobljenim s korakom 3, še vedno prisotne neprimerne točke, se mi je zdelo najbolje, da bi se višina stavbe izračunala na podlagi točk, ki se nahajajo v pasovih določene širine, ki jih na eni strani omejuje obod strehe. S tem bi dobil dokaj velik vzorec, kar bi močno zmanjšalo vpliv še obstoječih neprimernih točk na izračunano višino. Pasovi se določijo na podlagi vektorskih obodov stavb tako, da se od vsake stranice oboda proti notranjosti odmeri pas izbrane širine. V nadaljevanju se uporabijo le točke, ki ležijo znotraj najmanj enega pasu. Kot je

³ Kot je opisano v nadaljevanju, se višina izračuna kot aritmetična sredina dela vzorca točk, ki se nahajajo v določenem pasu. Ker je teh točk praviloma mnogo več kot neizločenih neprimernih točk, je njihov vpliv na izračun aritmetične sredine zanemarljiv.

razvidno iz slike 9, v primeru enostavne dvokapnice na ta način dobimo dva pasova, ki ležita vzporedno s kapjo strehe in dva pasova, ki povezujeta kap s slemenom. Druga dva pasova nista primerna za končni izračun, vendar algoritem ne zazna, kateri pasovi so uporabni in kateri ne. Zato je potrebno dodatno filtriranje, ki je opisano v koraku 5. V splošnem je število uporabnih in neuporabnih pasov odvisno od tipa strehe. Pri enostavni štirikapnici ali pravokotni ravni strehi dobimo štiri uporabne pasove in nobenega neuporabnega, pri kompleksnejših oblikah streh pa število uporabnih in neuporabnih pasov variira od primera do primera.



Slika 9: Rezultat koraka 4 – točke v pasovih ob kapi in v pasovih, ki povezujejo kap s slemenom

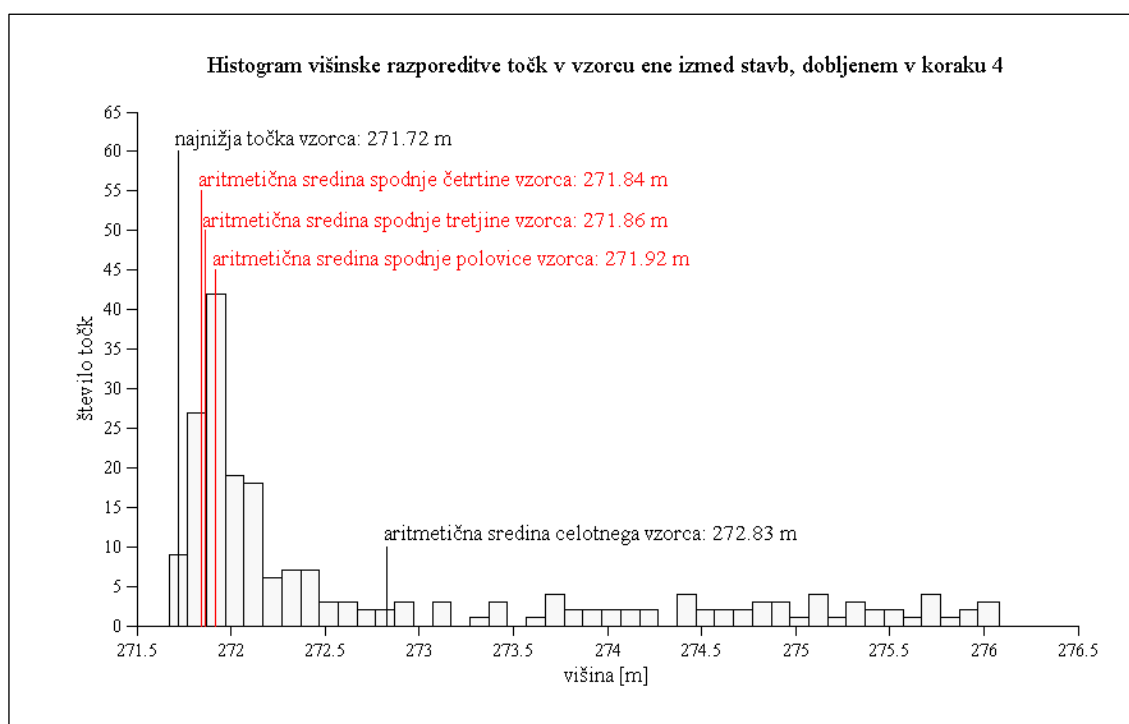
Širina pasu je eden izmed vhodnih parametrov algoritma in se jo lahko poljubno nastavi. Vrednost je odvisna predvsem od naklonov streh, ki so značilni za območje obdelave. V primeru naklona strehe do 40° naj bi bila širina pasu 0,5 m, pri večjih naklonih pa ustrezno manjša (od 0,2 m do 0,3 m).

Korak 5 – iskanje točk, ki ležijo na kapi strehe:

Rezultat koraka 4 so vzorci točk za posamezne stavbe. Vsak vzorec sestavljajo točke, ki ležijo v pasovih vzdolž vseh robov strehe stavbe. Za določitev višine stavbe pa so potrebne samo tiste, ki ležijo v pasovih vzdolž kapi. V primeru dvokapnice to pomeni, da so trenutno v postopku, poleg točk na robovih kapi, tudi točke na robovih, ki povezujejo kap s slemenom (slika 9). Za podrobnejšo analizo sestave vzorcev, dobljenih v koraku 4, sem za več vzorcev izdelal histograme. Ključne ugotovitve bom povzel s pomočjo enega izmed teh histogramov, ki je prikazan na sliki 10:

- Aritmetična sredina celotnega vzorca ni ustrezna statistika za določitev višine kapi, saj je njena vrednost previsoka.

- Pri vseh tipih streh naj bi se večina lidarskih točk se nahajala v pasovih, ki potekajo vzdolž kapi. To skoraj vedno velja tudi za dvokapnice, saj sleme praviloma poteka vzporedno z daljšo stranico hiše, kar pomeni, da je v pasovih vzdolž robov kapi več točk, kot v pasovih vzdolž robov, ki povezujejo kap in sleme. Tudi histogram na sliki 10 je izdelan na primeru dvokapnice.
- Če bi vzel samo določen del vzorca, ki bi vseboval le najnižje točke in iz njih izračunal aritmetično sredino, bi bila to dobra ocena višine stavbe. S tem bi rešil problem dvokapnic, saj bi izločil tiste točke, ki ležijo v pasovih, ki ne potekajo ob kapi strehe in zato niso primerne za izračun višine kapi.

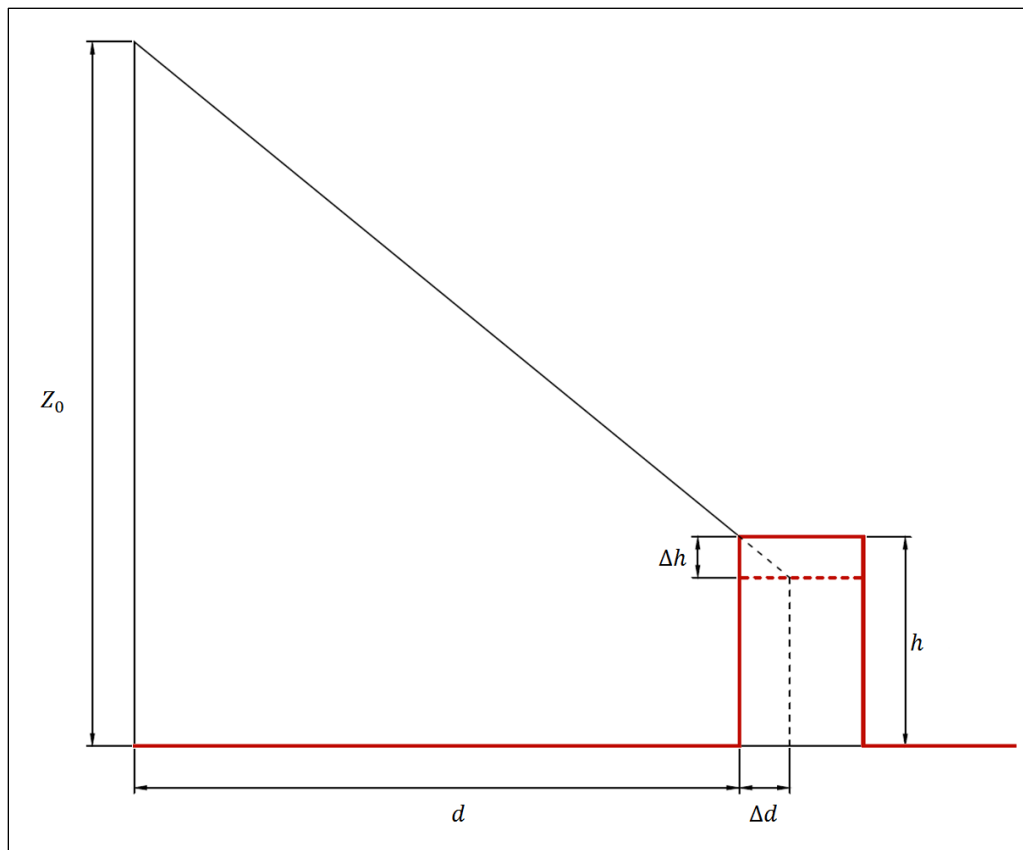


Slika 10: Histogram enega izmed vzorcev stavb, dobljenih v koraku 4

Glavno vprašanje je torej, kolikšen del vzorca je optimalen za izračun višine stavbe. Višina bi se izračunala kot aritmetična sredina višin točk v tem delu vzorca. Po eni strani mora biti del vzorca dovolj velik, da v primeru, če vsebuje še kakšno neprimerno točko, nevtralizira njen vpliv na končni rezultat (kar je bil tudi glavni razlog za vpeljavo pasov v koraku 4). Te neprimerne točke, če obstajajo, vedno ležijo pod nivojem kapi strehe in znižujejo vrednost aritmetične sredine. Po drugi strani pa naj bi bil del vzorca čim manjši. Razlog je ta, da imajo pasovi določeno širino. To pa pomeni, da se znotraj pasov, ki potekajo vzdolž kapi, nahajajo tudi točke, ki ne ležijo čisto na kapi strehe, ampak nekoliko višje in s tem sistematično zvišujejo vrednost končnega izračuna. Čim manjši je del vzorca, tem manj bo takih točk in tem bližje kapi bodo ležale, zato bo sistematični pogrešek manjši. Določiti

optimalen del vzorca je pomenilo najti ustrezno velik spodnji dela vzorca, ki bi v čim večji meri odpravil vpliv širine pasu in hkrati dovolj dobro nevtraliziral vpliv morebitnih neprimernih točk.

Kot izhodišče sem si postavil omejitve, da pogrešek določitve višine stavbe ne sme vplivati na njen horizontalni položaj na ortofotu za več kot eno slikovno točko, kar v mojem primeru znaša 25 cm.



Slika 11: Vpliv pogreška določitve višine stavbe na njen horizontalni položaj na ortofotu

Na sliki 11 je shematsko prikazan vpliv pogreška določitve višine stavbe na njen horizontalni položaj na ortofotu. Iz podobnih trikotnikov lahko izpeljemo enačbo za izračun še sprejemljive vrednosti pogreška določitve višine ob danem pogrešku horizontalnega položaja stavbe na ortofotu:

$$\Delta h = \Delta d \frac{Z_0 - h}{d} \quad (2)$$

kjer je (v oklepajih so podane numerične vrednosti za moj primer):

h ... grobo ocenjena višina najvišje stavbe (20 m)

Δh ... pogrešek določitve višine stavbe

d ... maksimalna možna oddaljenost od nadirja (670 m)

Δd ... vpliv pogreška določitve višine na horizontalni položaj stavbe (25 cm)

Z_0 ... višina leta (900 m).

Da je postavljeni pogoj izpolnjen (pogrešek horizontalnega položaja stavbe ne sme biti večji od ene slikovne točke ortofota), mora biti višina stavbe za naš primer določena z natančnostjo 32 cm.

Višina stavbe se izračuna kot aritmetična sredina vseh točk, ki se nahajajo v izbranem delu vzorca:

$$\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \quad (3)$$

V primeru, da je v delu vzorca velikosti n , k neprimernih točk z višino h_j , in če njihov vpliv na aritmetično sredino \bar{h} označimo s ξ , se enačba (3) prepiše v:

$$\bar{h} + \xi = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^{n-k} h_i + \sum_{j=1}^k h_j \right) \quad (4)$$

Višino vsake neprimerne točke lahko zapišemo kot vsoto višine kapi (to vrednost obravnavamo enako, kot višine primernih točk) in odstopanjem višine neprimerne točke od te vrednosti:

$$h_j = h_i + \varepsilon_j \quad (5)$$

Če enačbo (5) vstavimo v enačbo (4), dobimo:

$$\bar{h} + \xi = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n h_i + \sum_{j=1}^k \varepsilon_j \right) = \bar{h} + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k \varepsilon_j \quad (6)$$

Vpliv k neprimernih točk na aritmetično sredino, izračunano iz n točk, se tako zapiše kot:

$$\xi = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k \varepsilon_j \quad (7)$$

Vemo, da vpliv neprimernih točk ne sme biti večji od 32 cm. Predpostavimo, da filter, opisan v koraku 4, zgreši največ 5 neprimernih točk, ki od kapi strehe niso oddaljene več kot 0,5 m. Iz enačbe (7) lahko izračunamo, da se mora aritmetična sredina izračunati iz vsaj osmih točk, da vpliv neprimernih točk ne bo večji od 32 cm.

Zanima nas še vpliv širine pasu na vrednost aritmetične sredine. Pri naklonih streh do 40° naj bi bila širina pasu 0,5 m. V tako širokem pasu se nahajajo točke, katerih višina je od višine kapi višja za največ 42 cm (obravnavamo pas, ki poteka vzporedno s kapjo). Ob predpostavki, da so točke znotraj pasu razporejene enakomerno, bi se aritmetična sredina vzorca, ki bi zajemal vse točke znotraj pasu, nahajala 21 cm nad nivojem kapi. Če bi ta vzorec razpolovili in izračunali aritmetično sredino le iz

točk spodnje polovice vzorca, bi se tako dobljena aritmetična sredina nahajala 10,5 cm nad nivojem kapi. Teoretično bi bil postavljen pogoj izpolnjen že, če bi aritmetično sredino izračunali iz vseh točk, ki se nahajajo v pasovih, ki potekajo vzporedno s kapjo. Vendar je potrebno upoštevati, da kot rezultat koraka 4 običajno dobimo tudi točke v pasovih, ki povezujejo kap s slemenom. Te točke za izračun končne višine stavbe niso primerne in jih je potrebno izločiti. Glede na to, da je analiza pokazala, da večina točk leži v pasovih, ki potekajo vzporedno s kapjo, to najlažje storimo tako, da izločimo celotno zgornjo polovico vzorca in se višina stavbe izračuna kot aritmetična sredina višin točk iz spodnje polovice vzorca. Vendar je, kot bo razvidno v nadaljevanju, priporočljivo, da se aritmetična sredina izračuna iz še manjšega dela vzorca (npr. iz spodnje tretjine ali spodnje četrtine vzorca).

Sedaj poznamo velikosti posameznih vplivov. Da bi lahko določili optimalen del vzorca, iz katerega se bo izračunala višina stavbe, moramo poznati še število točk v vzorcu posamezne stavbe. Testno območje je sestavljeno iz dveh delov. Na območju prekrivanja dveh pasov snemanja je povprečna velikost vzorca, ki je rezultat koraka 4, 200 točk/stavbo, na območju, kjer prekrivanja ni, pa 60 točk/stavbo.⁴ Da se nevtralizira vpliv morebitnih neprimernih točk, mora biti v delu vzorca vsaj osem točk, kar pomeni, da je za izračun primerna že spodnja četrtina vzorca. Da za izračun zadostuje že spodnja četrtina vzorca je zelo dobro z vidika zmanjševanja sistematičnega vpliva širine pasov. V splošnem je velikost delov vzorcev, iz katerega se izračunajo višine stavb, odvisna predvsem od gostote točk v lidarskem oblaku. Večja kot je gostota točk, manjši so lahko deli vzorcev, ki še vedno dovolj dobro nevtralizirajo vpliv morebitnih neprimernih točk (in obratno). Z manjšanjem dela vzorca se manjša tudi sistematični vpliv širine pasov. Zaradi tega so višine stavb določene natančneje. Natančnejša določitev višin stavb pa je ključnega pomena pri izdelavi popolnega ortofota iz letalskih posnetkov z visoko prostorsko ločljivostjo, saj je preslikava stavb v procesu ortorektifikacije pravilnejša in položajno natančnejša.

Praktična izvedba tega koraka je preprosta. Algoritem razvrsti točke posamezne stavbe od najvišje do najnižje in obdrži le točke iz spodnjega dela vzorca izbrane velikosti (v obravnavanem primeru je to spodnja četrtina vzorca), ki naj bi praviloma vse ležale v ozkih pasovih, ki potekajo vzdolž kapi. Te točke predstavljajo vzorec za končni izračun višine posamezne stavbe.

Korak 6 – izračun višine posamezne stavbe:

V tem koraku se izračunajo višine posameznih stavb kot aritmetične sredine vzorcev, ki so rezultat koraka 6.

Korak 7 – pripis višine posamezni stavbi:

Višina posamezne stavbe, izračunana v koraku 6, se kot atribut pripíše pripadajočemu vektorskemu obodu stavbe.

⁴ V obeh primerih sem povprečno vrednost izračunal kot povprečje petih stavb.

6 REALIZACIJA ALGORITMA V PROGRAMSKEM PAKETU ARCGIS

Algoritem sem realiziral v ESRI-jevem programskem paketu ArcGIS, in sicer v obliki modela, ki sem ga sestavil v orodju *'ModelBuilder'*. Za programski paket ArcGIS sem se odločil zato, ker omogoča uvoz in delo z različnimi formati vektorskih in rastrskih podatkov. Tako sem lahko celoten algoritem realiziral znotraj enega programskega okolja. Model sem izdelal v programu ArcScene, saj omogoča 3D prikaz podatkov, kar mi je med razvojem omogočalo tudi vizualno kontrolo nad delovanjem posameznih delov algoritma. Zaradi preglednosti sem sestavil več pomožnih modelov in jih združil v glavnem modelu. V modelih sem uporabil že obstoječa orodja iz tako imenovanega *'ArcToolbox-a'*. V nadaljevanju poglavja je opisano, katera orodja sem uporabil v modelih, kako dostopamo do glavnega modela in katere vhodne parametre mu moramo podati.

Uvoz podatkov in povezava lidarskih točk s stavbami:

Model kot vhodni podatek sprejme lidarski oblak točk (v formatu LAS) in vektorske obode stavb. Oblak točk mora biti klasificiran (sam sem za klasifikacijo lidarskih podatkov uporabil program LAsTools), pri čemer mora imeti vsak razred enolični identifikator. Po dogovoru, ki temelji na ASPRS standardu za format LAS (od različice 1.1 naprej), se za stavbe uporablja vrednost identifikatorja 6 (LAS Specification, 2005). Identifikator razreda stavb je tudi eden izmed vhodnih parametrov in ima privzeto vrednost 6. V primeru, da pri klasifikaciji nismo uporabili vrednosti identifikatorjev v skladu z omenjenim dogovorom, moramo privzeto vrednost zamenjati z vrednostjo, ki je v skladu z našim izborom vrednosti identifikatorjev. Vektorske obode stavb podamo v obliki poligonov v formatu SHP, DXF ali drugem podprtem formatu.⁵ Za uvoz lidarskih podatkov sem v modelu uporabil orodje *'LAS to Multipoint'*. V naslednjem koraku se izločijo vse točke, ki ne sovpadajo s poligoni stavb (orodje *'Clip'*). Ker je rezultat orodja *'LAS to Multipoint'* *'Feature Class'* oblike *'Multipoint'* ga je potrebno pretvoriti v obliko *'Singlepoint'*. To se stori z orodjem *'Multipart to Singlepart'*. Z orodjem *'Identity'* se točkam dodeli enolični identifikator poligona stavbe s katerimi sovpadajo. Na koncu se z orodjem *'Add XY Coordinates'* v atributno tabelo oblaka točk pripišejo (X,Y) koordinate in višine točk ter z orodjem *'Add Field'* dodata dva dodatna atributa (*pogoj1* in *pogoj2*) s privzeto vrednostjo 0, ki se uporabita v nadaljevanju v procesu filtriranja neprimernih točk. Za namen nadaljnje uporabe se točke posamezne stavbe z orodjem *'Sort'* razvrsti po višini od najvišje do najnižje.

Filtriranje točk, ki niso del strehe:

Filtriranje neprimernih točk poteka za vsako stavbo posebej. V ta namen sem uporabil funkcijo *'Feature Selection'*, ki v vsakem ciklu izbere samo točke ene stavbe. Z orodjema *'Summary Statistics'* in *'Get Value'* se pridobijo vse vrednosti, ki so potrebne za izračun pogoja (orodje *'Calculate Field'*), ki

⁵ Atributna tabela mora obvezno vsebovati stolpec z imenom 'Elevation' (v katerega se shranijo izračunane višine). Poligoni shranjeni v formatu DXF stolpec s tem imenom v atributni tabeli že imajo.

določa, ali je točka primerna ali ne. Princip izračuna je opisan v poglavju 5, korak 3. V primeru, da je točka neprimerna, se ji kot vrednost atributa *pogoj1* dodeli vrednost 0, drugače pa vrednost 1.

Iskanje točk, ki ležijo na obodu strehe:

Filtriranje poteka le na tistih točkah, ki imajo vrednost atributa *pogoj1* enako 1. Orodje '*Select by Location*' izbere tiste točke, ki so od oboda stavbe oddaljene za vrednost, ki je definirana kot širina pasu.

Iskanje točk, ki ležijo na kapi strehe:

Filter deluje le na točkah, ki so bile izbrane v prejšnjem koraku in deluje na vsaki stavbi posebej (uporaba orodja '*Feature Selection*'). Orodji '*Summary Statistics*' in '*Get Value*' pridobita vrednosti, ki so potrebne za izbor spodnje četrtine (privzeta vrednost) preostalih točk. Točkam, ki se nahajajo v spodnji četrtini kot vrednost atributa *pogoj2* pripiše vrednost 1, ostalim vrednost 0. V primeru, da želimo, da se pri izračunu uporabi drugačen del vzorca kot spodnja četrtina, izberemo to v pogovornem oknu.

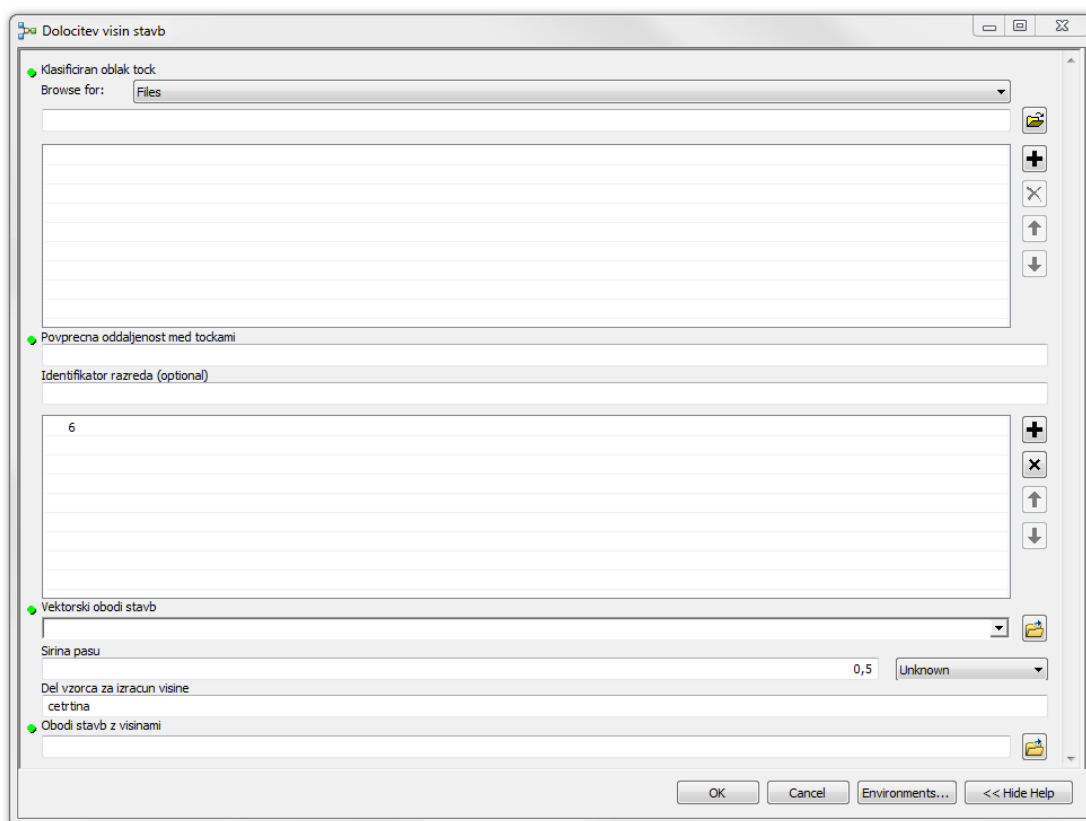
Izračun in pripis višine posameznim stavbam:

Orodje '*Select by Attribute*' izbere le tiste točke, ki imajo vrednost atributa *pogoj2* enako 1. Za vsako stavbo posebej se z orodjem '*Summary Statistics*' iz teh točk izračuna aritmetična sredina, ki predstavlja njihovo višino. Z orodjem '*Add Join*' se izračunane višine na podlagi enoličnih identifikatorjev pripišejo ustreznemu poligonu stavbe. Končni rezultat je DXF datoteka (iz SHP datoteke jo pretvori orodje '*Export to CAD*') s poligoni stavb, ki imajo kot vrednost atribut z imenom '*Elevation*' pripisano svojo višino.

Dostop in uporaba glavnega modela

Glavni model in pomožni modeli so shranjeni kot samostojen '*Toolbox*' z imenom '*DolocitevVisinStavb.tbx*' in se lahko uporabijo tako v programu ArcScene, kot tudi v programu ArcMap. V mapi, kjer se nahaja omenjeni '*Toolbox*', se mora obvezno nahajati tudi '*File Geodatabase*' z imenom '*FileGeodatabase.gdb*'. Če želimo glavni model uporabiti, moramo najprej v '*ArcToolbox*' dodati '*Toolbox*', v katerem so shranjeni glavni model in pomožni modeli. Poleg tega moramo imeti omogočeno ekstenzijo '*3D Analyst*' saj le tako dobimo dostop do orodja '*LAS to Multipoint*'.⁶ Glavni model ima ime '*Dolocitev visin stavb*'. Ko ga zaženemo, se nam odpre pogovorno okno, preko katerega vnesemo potrebne parametre (slika 12). Opisi posameznih polj pogovornega okna so podani v preglednici 1.

⁶ Če te ekstenzije nimamo na voljo, lahko model preoblikujemo tako, da oblaka lidarskih točk ne podamo v obliki datotek formata LAS, ampak v obliki datotek formata SHP. Pretvorbo iz formata LAS v format SHP lahko naredimo s programom LAStools, oziroma katerim koli drugim programom, ki to omogoča.



Slika 12: Pogovorno okno glavnega modela za izračun višin stavb

Preglednica 1: Opis vhodnih parametrov, ki jih zahteva glavni model za izračun višin stavb

POLJE	VSEBINA
Klasificiran oblak točk	pot do klasificiranega lidarskega oblaka točk (oblak je lahko shranjen v eni ali več datotek formata LAS)
Povprečna oddaljenost med točkami	povprečna oddaljenost med točkami v lidarskem oblaku (če imamo v oblaku območja z različnimi gostotami, podamo vrednost, ki ustreza delu oblaka z največjo gostoto)
Identifikator razreda	enolični identifikator razreda klasifikacije (privzeta vrednost je 6)
Vektorski obodi stavb	pot do datoteke z vektorskimi obodi stavb (datoteka v formatu DXF, SHP ali drugem podprtem formatu)
Širina pasu	širina pasu, znotraj katere naj bi ležale točke, iz katerih se nato izračuna višina stavbe (privzeta vrednost znaša 0,5 m) ⁷
Del vzorca za izračun višine	dela vzorca, iz katerega se bodo izračunale višine (privzeta vrednost je četrtnina, možno je izbrati še osmino, tretjino in polovico) ⁸
Obodi stavb z višinami	pot do mape, kamor naj se shrani datoteka DXF z obodi stavb z izračunanimi višinami

⁷ Za dodatno razlago glej poglavje 5, korak 4.

⁸ Za dodatno razlago glej poglavje 5, korak 5.

7 PRIMERJAVA ORTOFOTOV IZDELANIH Z UPORABO RAZLIČNIH MODELOV VIŠIN

Za izdelavo popolnega ortofota sem uporabil program SOCET SET podjetja BAE Systems. Program ni namenjen le izdelavi ortofoto posnetkov, ampak ponuja širok nabor orodij, ki se uporabljajo na digitalni fotogrametrični postaji (stereoizjem podatkov, projekt aerotriangulacije, izdelava DMR-jev, izdelava ortofoto posnetkov ...). Program SOCET SET za izdelavo popolnega ortofota obvezno potrebuje vektorske obode stavb z znanimi višinami. Tudi če kot vhodni podatek uporabimo DMP, se bo ortorektifikacija izvedla na klasičen način, brez postopkov za odkrivanje in zapolnitev zakritih območij. Posledica tega je pojav dvojnega kartiranja na zakritih območjih. Za medsebojno primerjavo sem izdelal naslednje ortofote:

- klasični ortofoto z uporabo DMR-ja, izdelanega iz lidarskih podatkov,
- klasični ortofoto z uporabo DMP-ja, izdelanega iz lidarskih podatkov,
- popolni ortofoto z uporabo DMP-ja, sestavljenega iz DMR-ja, izdelanega iz lidarskih podatkov in avtomatsko vektoriziranih obodov stavb z višinami, izračunanimi z mojim algoritmom,
- popolni ortofoto z uporabo DMP-ja, sestavljenega iz DMR-ja, izdelanega iz lidarskih podatkov in vektorskih obodov stavb, zajetih ročno z metodo stereoizjema (zajame se tudi višina).

Smiselno se mi je zdelo narediti naslednje primerjave:

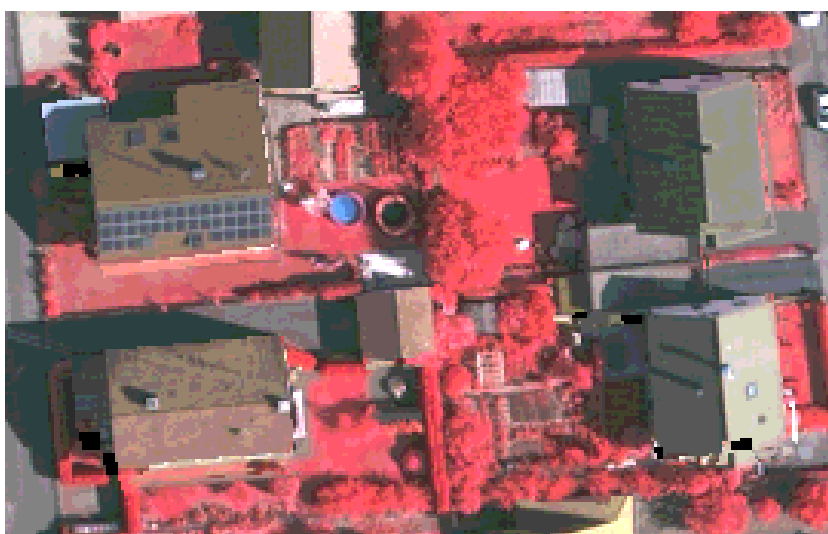
- primerjava klasičnega ortofota izdelanega z uporabo DMR-ja in popolnega ortofota izdelanega iz DMR-ja in obodov stavb z višinami, izračunanimi z mojim algoritmom,
- primerjava klasičnega ortofota izdelanega z uporabo DMP-ja in popolnega ortofota izdelanega iz DMR-ja in obodov stavb z višinami, izračunanimi z mojim algoritmom,
- primerjava popolnega ortofota izdelanega iz DMR-ja in obodov stavb z višinami, izračunanimi z mojim algoritmom in popolnega ortofota izdelanega iz DMR-ja in obodov stavb zajetih ročno z metodo stereoizjema.

Primerjavo med posameznimi izdelki sem izvedel na majhnem izseku iz celotnega ortofota testnega območja, na katerem so vidne vse prednosti oziroma pomanjkljivosti posameznega izdelka. Vse ugotovitve so rezultat vizualne primerjave.

Primerjava 1: klasični ortofoto, izdelan z uporabo DMR-ja in popolni ortofoto, izdelan z uporabo DMP-ja, ki vsebuje obode stavb z višinami, izračunanimi z mojim algoritmom



Slika 13: Klasični ortofoto, izdelan z uporabo DMR-ja



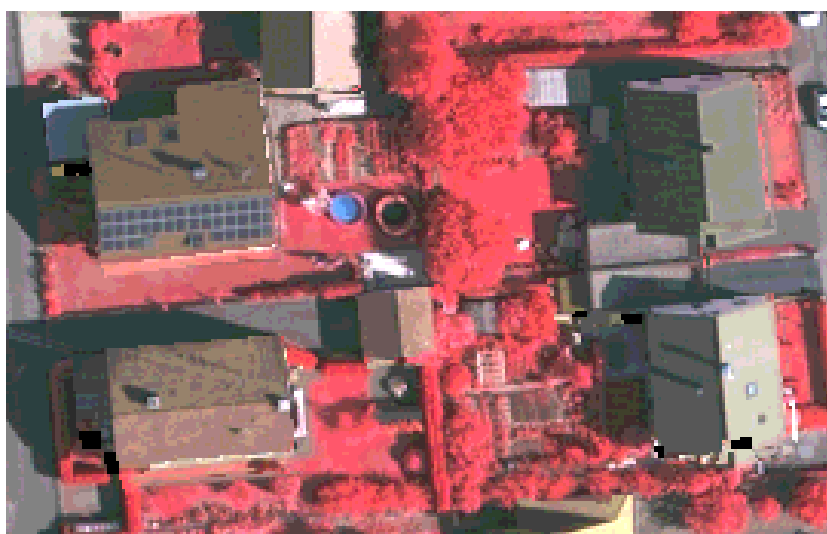
Slika 14: Popolni ortofoto, izdelan z uporabo DMP-ja, z obodi stavb z višinami, določenimi z mojim algoritmom

Če primerjamo položaje stavb na slikah 13 in 14 se lepo opazi, da se v procesu klasične ortorektifikacije z uporabo DMR-ja stavbe ne preslikajo na pravilen položaj, kar je tudi največja pomanjkljivost klasičnega ortofota (slika 13). Na popolnem ortofotu (slika 14) pa lahko opazimo ostanke streh v obliki tankih pasov na mestih, kjer bi se nahajali robovi streh v primeru uporabe DMR-ja. To je posledica avtomatske vektorizacije obodov stavb, saj so ti deli streh padli izven poligonov, ki predstavljajo stavbe in se posledično v procesu ortorektifikacije niso preslikali na pravi položaj. Poleg tega lahko na popolnem ortofotu opazimo nekaj črnih lis. To so območja, ki so v procesu iskanja zakritih območij na vseh letalskih posnetkih označena kot zakrita in jim zato v postopku mozaičenja algoritem ne pripiše radiometrične vrednosti.

Primerjava 2: klasični ortofoto, izdelan z uporabo DMP-ja in popolni ortofoto, izdelan z uporabo DMP-ja, ki vsebuje obode stavb z višinami, izračunanimi z mojim algoritmom



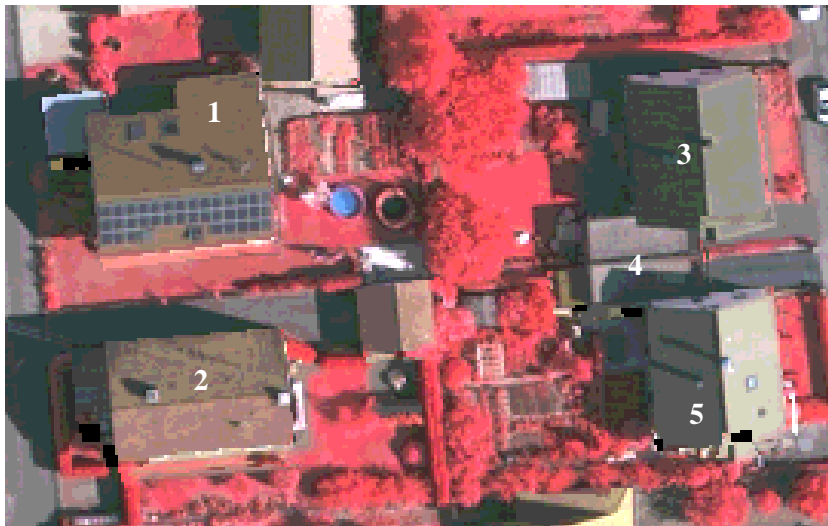
Slika 15: Klasični ortofoto, izdelan z uporabo DMP-ja



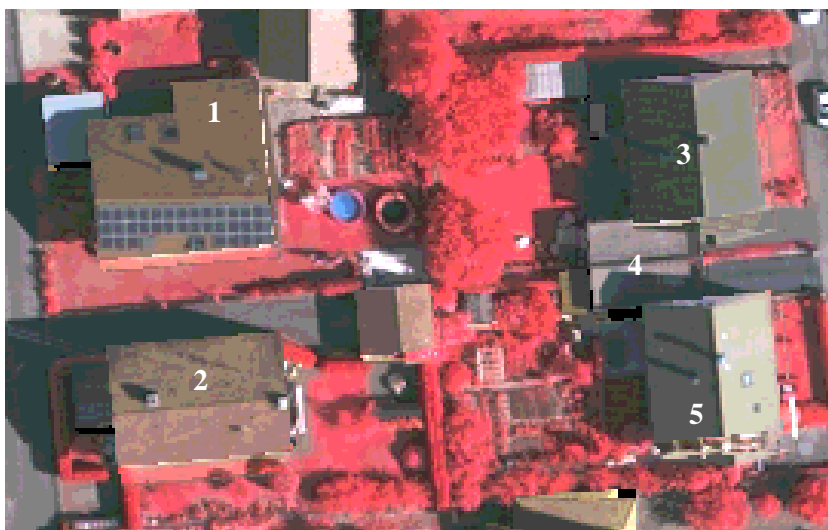
Slika 16: Popolni ortofoto, izdelan z uporabo DMP-ja, z obodi stavb z višinami, določenimi z mojim algoritmom

Glavni namen te primerjave je prikazati razliko med rezultatom klasične ortorektifikacije (slika 15) in rezultatom ortorektifikacije, dopolnjene z algoritmi za iskanje in zapolnitev zakritih območij (slika 16). Ker sta oba izdelka izdelana z uporabo DMP-ja so se stavbe preslikale na prave položaje. Problem nastane pri klasični ortorektifikaciji, saj ne zazna zakritih območij. Zaradi tega slikovne točke, ki se nahajajo v zakritih območjih, pridobijo enake radiometrične vrednosti, kot če bi namesto DMP-ja uporabili DMR. Ta pojav imenujemo dvojno kartiranje. Območja, kjer je dvojno kartiranje najopaznejše so na sliki 15 označena z belimi pravokotniki. Vidimo lahko tudi, da se vsa nezapolnjena zakrita območja na sliki 16 nahajajo na mestih, kjer so na sliki 15 območja dvojnega kartiranja.

Primerjava 3: popolni ortofoto, izdelan z uporabo DMP-ja, ki vsebuje obode stavb z višinami, izračunanimi z mojim algoritmom in popolni ortofoto, izdelan z uporabo DMP-ja, ki vsebuje obode stavb, zajete ročno z metodo stereozajema



Slika 17: Popolni ortofoto, izdelan z uporabo DMP-ja, z obodi stavb z višinami, določenimi z mojim algoritmom



Slika 18: Popolni ortofoto, izdelan z uporabo DMP-ja, z obodi stavb, zajetimi ročno z metodo stereozajema

Namen te primerjave je ugotoviti ali je popolni ortofoto, izdelan z uporabo obodov stavb, katerim se je višina določila z mojim algoritmom (slika 17), primerljiv s popolnim ortofotom, ki se je izdelal z uporabo ročno zajetih obodov stavb (slika 18). Če primerjamo stavbi 1 in 2 večjih razlike v položaju ni. Morda so le pasovi ostankov streh, ki so omenjeni v primerjavi 1 na sliki 18 nekoliko tanjši, kar je posledica natančnejšega ročnega zajema obodov stavb. Opaznejša je razlika pri stavbah 3 in 5. Stavbi 3 in 5 sta na sliki 17 bistveno bolj nagnjeni kot na sliki 18. Razlog za to nepravilnost je napaka pri avtomatski vektorizaciji obodov stavb. Algoritem, s katerim se je izvajala vektorizacija (Grigillo et al., 2012) je stavbe 3, 4 in 5 zaznal kot eno samo stavbo in jo zajel kot en sam poligon. Posledično se je

tudi višina oboda določila na podlagi lidarskih točk, ki so se nahajale na robovih kapi vseh treh stavb. Ker je stavba 4 nadstrešek in je bistveno nižja od stavb 3 in 5, je opazno vplivala na končno višino skupnega oboda, ki je bila, v primerjavi z višinama obodov stavb 3 in 5, prenizka. Zaradi tega se v procesu ortorektifikacije stavbi 3 in 5 nista preslikali popolnoma pravilno. Ko sem skupni obod ročno razdelil na tri dele, tako da je vsak del pripadal posamezni stavbi, jim z mojim algoritmom na novo določil višine in izdelal ortofoto, so bili položaji stavb popolnoma primerljivi s položaji na ortofotu, izdelanim z obodi stavb, zajetimi ročno z metodo stereozajema. Na podlagi te primerjave lahko ugotovim, da avtomatsko določanje višin z mojim algoritmom, v kombinaciji z omenjenim algoritmom za avtomatsko vektorizacijo obodov stavb, za namen izdelave popolnega ortofota prostorske ločljivosti 25 cm dokaj dobro nadomesti ročni stereozajem obodov stavb. Seveda pa algoritma za avtomatski zajem stavb in izračun višin nista stoodstotno zanesljiva. Zato je potrebno rezultate avtomatskega zajema podatkov pred nadaljnjo uporabo pregledati in morebitne nepravilnosti ročno popraviti.

8 ZAKLJUČEK

Danes se ortofoto uporablja na mnogih področjih in predstavlja bogat vir topografskih informacij. Klasični ortofoto dobimo s transformacijo letalskih posnetkov iz centralne v ortogonalno projekcijo, kar imenujemo ortorektifikacija. Ker se v procesu ortorektifikacije uporabi DMR, se pravilno preslikajo le točke, ki sovpadajo z DMR-jem. Največja popačenja so prisotna pri stavbah, saj jih DMR ne vsebuje. Nadgradnjo klasičnega ortofota predstavlja popolni ortofoto. Popolni ortofoto izdelamo v procesu ortorektifikacije, ki je dopolnjen z algoritmi za iskanje in zapolnjevanje zakritih območij. Pri tem uporabimo digitalni model, v katerem so poleg površja modelirane tudi stavbe. Z razvojem lidarskega snemanja se je modeliranje stavb, v primerjavi z ročnim stereozajemom, zelo pohitrilo. Program SOCET SET, ki omogoča tudi izdelavo popolnega ortofota, modele stavb sprejme ločeno od DMR-ja, v obliki vektorskih obodov stavb z znanimi višinami. Obode stavb in njihove višine lahko zajamemo ročno z metodo stereozajema ali pa jih pridobimo z avtomatskimi metodami zajema podatkov. Cilj diplomske naloge je bil izdelati enostaven, a učinkovit algoritem, ki bo iz klasificiranih podatkov lidarskega snemanja in obstoječih 2D obodov stavb določil višine stavb in jih pripisal pripadajočim obodom. Algoritem sem realiziral v programu ArcScene v orodju 'ModelBuilder' pri čemer sem uporabil že obstoječa orodja 'ArcToolbox-a'. Kot razvojno okolje je bil ArcScene odličen, saj se podatki v njem prikazujejo v 3D pogledu, kar mi je omogočalo izredno dobro vizualno kontrolo nad delovanjem posameznih korakov algoritma. Z uporabniškega stališča pa mu ne bi dal tako visoke ocene. Res je, da sem v njem lahko algoritem realiziral tako, da se celoten postopek izvede v enem samem koraku in ni potrebe po uporabi več različnih programov. Toda sama izvedba postopka je izredno počasna. Za določitev višin enainštiridesetim stavbam (kolikor se jih nahaja na testnem območju) je program porabil približno pet minut. Glede na to, da je bil popolni ortofoto testnega območja, izdelan z uporabo tako pridobljenih višin stavb, primerljiv s popolnim ortofotom, izdelanim z uporabo ročno zajetih obodov, bi veljalo razmisliti o realizaciji algoritma v nekem hitrejšem programskem okolju. Če bi se tudi nadaljnja testiranja izkazala za uspešna, bi lahko algoritem za vektorizacijo stavb in algoritem za določevanje višin združili v en program. Vemo, da nobena avtomatska metoda zajema podatkov ni stoddostno zanesljiva, zato je potrebno nastale napake ročno popraviti. Če bi v program dodali še orodja za odpravo napak avtomatskega zajema podatkov, bi dobili celovito aplikacijo za avtomatski zajem obodov in višin stavb, katere bi lahko nato uporabili za izdelavo popolnega ortofota. Trenutno realizacijo algoritma lahko vzamemo kot osnovo, ki omogoča veliko možnosti nadgradnje v različnih smereh.

VIRI

Braun, J. 2003. Aspects on True-Orthophoto Production. Stuttgart, Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart. Photogrammetrische Woche 2003: 205–214.

<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo03/braun.pdf> (Pridobljeno 4. 7. 2012.)

Cramer, M. 2010. The DGPF-Test on Digital Airborne Camera Evaluation – Overview and Test Design. Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation 2010/2: 73-82.

Grigillo, D., Kosmatin Fras, M., Petrovič, D. 2012. Automated building extraction from IKONOS images in suburban areas. International Journal of Remote Sensing Volume 33, Issue 16, 2012: 5149-5170.

[doi:10.1080/01431161.2012.659356](https://doi.org/10.1080/01431161.2012.659356)

Hartman, J. 2008. Različni pristopi k izdelavi "poplnega" ortofota. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Hartman): 61 str.

Kosmatin Fras, M., Drobne, S., Gregorič, H., Oven, J. 2006. Raziskava uporabe ortofota (DOF5) v praksi. Geodetski vestnik 50, 2: 258-269.

MJ Harden Associates, Inc. 2012.

http://www.mjharden.com/assets/images/about/Photogrammetric_Mapping_Image2.jpg

(Pridobljeno 4. 7. 2012)

Oštir, K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, Založba ZRC: 250 str.

Ridič, M., 2012. Izdelava in ocena kakovosti popolnega ortofota. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Ridič): 71 str.

Rottensteiner, F., Baillard, C., Sohn, G., Gerke, M. 2011. ISPRS Test Project on Urban Classification and 3D Building Reconstruction.

<http://www.commission3.isprs.org/wg4/> (Pridobljeno 5. 4. 2012)

Schickler, W., Thorpe, A. 1998. Operational Procedure For Automatic True Orthophoto Generation. V: Fritsch, D., Englich, M., Sester, M. (ur.). ISPRS Commission IV Symposium on GIS- Between Visions and Applications, Vol. 32/4, Stuttgart: 527-532.

<http://www.isprs.org/proceedings/XXXII/part4/schickler58.pdf> (Pridobljeno 20. 7. 2012.)

Space Imaging Middle East. 2012.

<http://www.spaceimagingme.com/Portals/0/data/products/images/trueortho.jpg>

(Pridobljeno 4. 7. 2012)

SSKJ. 2000.

http://bos.zrc-sazu.si/cgi/a03.exe?name=sskj_testa&expression=kap&hs=1 (Pridobljeno 22. 8. 2012)

virtualcitySYSTEMS GmbH. 2012.

<http://www.virtualcitysystems.de/typo3temp/pics/efce715b2a.jpg> (Pridobljeno 4. 7. 2012)

Ta stran je namenoma prazna.

SEZNAM PRILOG

Priloga A: ZGOŠČENKA Z MODELOM ALGORITMA ZA DOLOČITEV VIŠIN STAVB,
REALIZIRANIM V PROGRAMSKEM PAKETU ArcGIS

Ta stran je namenoma prazna.

Priloga A: ZGOŠČENKA Z MODELOM ALGORITMA ZA DOLOČITEV VIŠIN STAVB,
REALIZIRANIM V PROGRAMSKEM PAKETU ArcGIS

Na zgoščenci se nahaja mapa z imenom '*Dolocitev visin stavb*'. Ta mapa vsebuje:

- orodje za določitev višin stavb v obliki ArcGIS-ovega '*Toolbox-a*' z imenom '*DolocitevVisinStavb.tbx*' in
- prazen '*File Geodatabase*' z imenom '*FileGeodatabase.gdb*', ki se mora obvezno nahajati v isti mapi kot orodje za določitev višin stavb.