

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:

Stamenković, M., 2016. Možnost vzpostavitve 3D-katastra stavb na osnovi meritev brezpilotnih letal. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Lisec, A., somentorica Kosmatin Fras, M.): 43 str.

Datum arhiviranja: 20-09-2016

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:

Stamenković, M., 2016. Možnost vzpostavitve 3D-katastra stavb na osnovi meritev brezpilotnih letal. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Lisec, A., co-supervisor Kosmatin Fras, M.): 43 pp.

Archiving Date: 20-09-2016

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 ŠTUDIJSKI
PROGRAM GEODEZIJA
SMER GEODEZIJA

Kandidat:

MIRKO STAMENKOVIĆ

**MOŽNOST VZPOSTAVITVE 3D-KATASTRA STAVB NA
OSNOVI MERITEV BREZPILOTNIH LETAL**

Diplomska naloga št.: 1001/G

**FEASIBILITY OF ESTABLISHING OF 3D-BUILDING
CADASTRE BASED ON DATA ACQUISITION BY UAV**

Graduation thesis No.: 1001/G

Mentorica:

izr. prof. dr. Anka Lisec

Somentorica:

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

Ljubljana, 16. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisani študent Mirko Stamenković, vpisna številka 26202794, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Možnost vzpostavitve 3D-katastra stavb na osnovi meritev brezpilotnih letal

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*
 - a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

 - b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programske opreme za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: _____

Datum: 26. 8. 2016

Podpis študenta/-ke: _____

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.44 (043.2)
Avtor:	Mirko Stamenković
Mentor:	izr. prof. dr. Anka Lisec
Somentor:	doc. dr. Mojca Kosmatin Fras
Naslov:	Možnost vzpostavitve 3D-katastra stavb na osnovi meritev brezpilotnih letal
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – Univerzitetni študij
Obseg in oprema:	43 str., 9 pregl., 29 sl.
Ključne besede:	zemljiški kataster, kataster stavb, 3D-kataster, UAV, brezpilotni letalniki, oblak točk, CityGML

Izvleček

V diplomski nalogi je kratko predstavljen sistem zemljiške administracije v Sloveniji, posebej pa so predstavljeni trendi v svetu na tem področju, s poudarkom na vzpostavitvi 3D-katastra nepremičnin. Pri tem smo obravnavali izzive uporabe brezpilotnih letalnikov. Uporabo brezpilotnih letal v današnjem času srečamo na različnih področjih. Tako je tudi v geodetski stroki, kjer meritve s pomočjo brezpilotnih letalnikov postajajo vse pogostejši način zajemanja prostorskih podatkov.

V diplomski nalogi je predstavljena tovrstna tehnologija, opisan je postopek meritev na terenu, kot tudi sama obdelava pridobljenih podatkov v različnih programskih orodjih. Generiran je oblak točk, na osnovi katerega so pridobljeni podatki potrebni za izris 3D-modela stanovanjske hiše.

Končni cilj naloge je poskušati ugotoviti, ali so podatki zajeti na takšen način kakovostno dovolj uporabni in natančni za vzpostavitev 3D-modelov stavb v okviru 3D-katastra. Nadalje so podani rezultati primerjave med podatki zajetimi z uporabo brezpilotnih letal s podatki iz katastra.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC 528.44 (043.2)
Author: Mirko Stamenković
Supervisor: Assoc. Prof. Anka Lisec, Ph.D.
Co-advisor: Assist. Prof. Mojca Kosmatin Fras, Ph.D.
Title: Feasibility of establishing of 3D-building cadastre based on data acquisition by UAV
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 43 p., 9 tab., 29 fig.
Key words land cadastre, building cadastre, 3D-cadastre, unmanned aerial vehicle, point cloud, CityGML,

Abstract

In the diploma thesis, the Slovenian land administration system as well as global trends in this area are presented, where the importance of establishing of a 3D real property cadastre is outlined. Here, challenges in the field of mass data acquisition using UAV are discussed. Nowadays, unmanned aerial vehicles are found in different areas, including land survey profession, where measurement carried out by unmanned aerial vehicles, are becoming more and more common way of spatial data acquisition.

The thesis presents this technology, describing the process of surveying, as well as the processing of the acquired data in a variety of software tools. The point cloud is generated, based on which was made a 3D-model of a residential house.

The ultimate goal of this study is to determine whether the data, acquired in such a manner, is sufficient in quality and precision for the feasibility of establishing of 3D-building cadastre. Furthermore, the results of data acquired using unmanned aerial vehicles are compared with data from the land cadastre.

ZAHVALA

Za vso strokovno pomoč, usmerjanje in vložen trud, se iskreno zahvaljujem mentorici izr. prof. dr. Anki Lisec in somentorici doc. dr. Mojci Kosmatin Fras.

Zahvaljujem se tudi Marku Mesariču in Vidu Petermanu iz podjetja Modri planet d.o.o, ki sta mi omogočila izvedbo meritev in podala številne koristne nasvete. Iskrena hvala Robertu Bravaru iz podjetja ARC GEO d.o.o., za vso pomoč pri obdelavi podatkov.

Posebna zahvala pa družini in dekletu, ki sta z mano do konca vztrajala na tej poti. Brez vas tega ne bi bilo mogoče. Hvala vam.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
1.1 Cilji in namen diplomske naloge.....	1
2 OPREDELITEV KATASTRA IN ZEMLJIŠKEGA INFORMACIJSKEGA SISTEMA (LIS)	3
2.1 Zemljiški informacijski sistem in zemljiška administracija	3
2.1.1 Evidentiranje nepremičnin v Sloveniji	5
2.1.2 Podatki katastra stavb v Sloveniji	7
2.1.3 City GML	10
2.2 Možnost vzpostavitve 3D-katastra z uporabo UAV-tehnologije	13
2.2.1 3D-kataster nepremičnin	13
2.2.2 Tehnologija UAV in princip delovanja brezpilotnih letalnikov	15
3 ŠTUDIJSKO OBMOČJE IN METODE OBDELAVE PODATKOV.....	19
3.1 Opis študijskega območja.....	19
3.2 Terenska izmera	20
3.3 Obdelava podatkov.....	21
3.3.1 Obdelava podatkov v programu <i>3D Survey</i>	22
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	27
4.1 Ocena natančnosti oslonilnih in detajlnih točk.....	27
4.2 Določitev obrisa stavbe	29
4.3 Določitev oboda strehe.....	34
4.4 Izdelava 3D-modela v <i>Google SketchUp-u</i>	36
4.5 Razprava.....	38
5 ZAKLJUČEK.....	39
VIRI	41

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 2.1: Pomembni dokumenti na področju mednarodnih smernic (Zupan in sod., 2014)	4
Preglednica 2.2: Detajlna delitev brezpilotnih letalnikov (Kolarek, 2010)	16
Preglednica 3.1: Koordinate oslonilnih točk v državnem koordinatnem sistemu D96/TM in z ortometričnimi višinami	22
Preglednica 3.2: Območje zajetega oblaka točk	24
Preglednica 4.1: Aposteriori ocena natančnosti izravnave posnetkov	27
Preglednica 4.2: Ocena natančnosti detajlnih točk	28
Preglednica 4.3: Ocena natančnosti fasad	32
Preglednica 4.4: Primerjava med oblakom točk in podatkov zemljiškega katastra	33
Preglednica 4.5: Določitev odstopanj (ΔH) višin posameznih slemen glede na srednjo vrednost	35

KAZALO SLIK

Slika 2.1: Katastrski načrt študijskega območja z izrisom parcelnih mej in zemljišča pod stavbo, dodane so parcelne številke in višine točk (Vir: GP Domžale).....	9
Slika 2.2: Uradni logo <i>City GML</i> (Vir: www.citygml.org).....	11
Slika 2.3: Stopnje podrobnosti – LoD (Level of details) (Vir: www.biljecki.com)	11
Slika 2.4: Prikaz 3D-modela mesta Dubrovnik (Vir: www.croatia.gdi.net).....	12
Slika 3.1: Parcela 834/50 v k .o. Trzin ima tudi že katastrsko vpisano stavbo (Vir: www.e-prostor.gov.si)	19
Slika 3.2: Hiša, posneta z brezpilotnim letalnikom <i>Microdrone md4-100</i> , 45 m nad tlemi.....	20
Slika 3.3: Signalizacija in GNSS-izmera oslonilnih točk.....	21
Slika 3.4: Izravnava slikovnega snopa v programu <i>3D Survey</i>	22
Slika 3.5: Izbor oslonilnih točk na posnetkih	23
Slika 3.6: Rezultat samodejnega prepoznavanja oslonilnih točk na posnetkih.....	23
Slika 3.7: Oblak točk, v generiran v <i>3D Survey</i> -u.....	24
Slika 3.8: Konfiguracija bloka fotografij v prostoru	24
Slika 4.1: Georeferencirani 3D-model stanovanjske hiše: od fotografije do modela.....	27
Slika 4.2: Detajlne točke 1, 2 in 3	29
Slika 4.3: Detajlna točka 2 na oblaku točk	29
Slika 4.4: Vogali hiše, določeni na osnovi preseka premic robov hiše.....	30
Slika 4.5: Določitev snopa točk za nadaljnjo obdelavo.....	31
Slika 4.6: Diagram velikostnih razredov odstopanj točk od linearne regresijske premice.....	32
Slika 4.7: Nedoločene točke vogalov stavbe	33
Slika 4.8: Prikaz prečnih profilov: A-A, B-B, C-C in D-D	34
Slika 4.9: Profil A-A.....	34
Slika 4.10: Profil B-B.....	34
Slika 4.11: Profil C-C	35
Slika 4.12: Profil D-D.....	35
Slika 4.13: Diagram odstopanj višin točk od srednje vrednosti	35
Slika 4.14: Nastavitev modela na višino kapi.....	36
Slika 4.15: Nastavitev modela na višino slemen	36
Slika 4.16: Modeliranje strehe.....	37
Slika 4.17: Končni 3D-model stanovanjske hiše.....	37

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

V današnjem času omogoča hitri razvoj informacijske tehnologije vse bolj kakovostno zbiranje in predstavitev prostorskih podatkov. Prostorski podatki imajo pomembno vlogo pri upravljanju, odločanju in vodenju družbe, zato je kakovost infrastrukture prostorskih podatkov eden od temeljnih interesov vsake razvite države. Če želimo smotrno ter pravilno gospodariti s prostorom, ki nas obdaja, potrebujemo med drugim tudi čim bolj kakovostne in popolne evidence oziroma registre o nepremičninah, saj je večina naših odločitev ali dejavnosti neposredno ali posredno povezana z zemljišči in njihovimi sestavinami.

V Sloveniji sta, poleg zemljiške knjige, zemljiški kataster in kataster stavb osnovni uradni nepremičninski evidenci, v katerih se zbirajo in shranjujejo podatki o zemljiških parcelah, stavbah in delih stavb. V preteklosti sta se evidenci spreminjali ter izpopolnjevali. Medtem ko je zemljiški kataster evidenca, ki se je razvijala in posodabljala skoraj dve desetletji, je kataster stavb relativno nova evidenca, ki je nastala pred petnajstimi leti predvsem zaradi pomanjkljivosti katastrskih vpisov stavb in omejenosti podatkovnega modela zemljiškega katastra, ki ni omogočal evidentiranja podatkov o delih stavb. Predvsem za zemljiški kataster velja, da so se načini zbiranja, hranjenja in posodabljanja podatkov, pa tudi prikazovanja podatkov o nepremičninah stalno spreminjali in razvijali.

Kljub relativno novi evidenci o stavbah in katastru stavb se v Sloveniji, podobno kot v drugih razvitih državah, kažejo potrebe po bolj sodobnem evidentiranju nepremičnin, in sicer v obliki 3D-modelov nepremičnin. Trend v številnih državah v svetu, ki že imajo vzpostavljeno sodobno nepremičninsko administracijo, je vzpostavitev 3D-nepremičninskih evidenc, na kar so med drugim v svojih raziskavah in objavah nakazali tudi Stoterjeva (2004), Paulssonova (2007), Vučić (2015) ter Paasch s sod. (2016). V določenih, tako imenovanih »zapletenih« primerih vse pogosteje prihaja do prekrivanja različnih pravic pod in nad površjem (mostovi, podhodi, podzemne garaže) in se takrat tlorisna rešitev prikazovanja in zapisovanja pravic izkaže kot neustrezno. Prav iz teh razlogov je potrebno razmišljati o spreminjanju katastrskega sistema iz trenutnega dvorazsežnega v 3D-kataster nepremičnin.

1.1 Cilji in namen diplomske naloge

Cilj diplomske naloge je predstavitev trenutnega stanja zemljiške administracije v Sloveniji, kjer se osredotočamo na katastra, to je zemljiški kataster in kataster stavb in sicer s poudarkom na možnosti za posodobitev teh evidenc v 3D-katastrski sistem. Namen je, poleg zgoraj omenjenega, še predstavitev možnosti zajema prostorskih podatkov z uporabo brezpilotnih letal (angl. *Unmanned Aerial Vehicle*, UAV), na osnovi katere smo pridobili podatke za izdelavo 3D-modela stanovanjske hiše, ki je bil tudi končni cilj empiričnega dela te diplomske naloge.

Teoretični del obsega predstavitev zemljiškega katastra in katastra stavb v Sloveniji ter možnosti za nadgradnjo teh evidenc v trirazsežni sistem, kjer se omejujemo le na 3D-grafično predstavitev nepremičnin. Poleg tega je opisana tehnologija zajemanja podatkov z uporabo brezpilotnih letal (UAV), ki se zaenkrat uporablja v manjši meri v ta namen, je pa to način zajemanja, ki bo v prihodnosti zagotovo dobil več prostora v geodetski stroki. Nadalje je predstavljen standardni jezik *City GML* kot možen pristop za modeliranje 3D-modelov stavb v okviru katastrskih sistemov.

Praktični del prikazuje primer uporabe brezpilotnih letal kot možnega načina zajemanja prostorskih podatkov za nepremičninske evidence. V sodelovanju s podjetjem Modri planet d. o. o., so bile opravljene meritve s pomočjo brezpilotnega letalnika *Microdrone md4-100*, na osnovi katerih so bili pridobljeni podatki za izdelavo 3D-modela stanovanjske hiše. Model smo pripravili za ravni podrobnosti LoD2 (angl. *Level of details*), torej se nismo ukvarjali z notranjostjo stavbe, temveč le z zunanjo obliko stavbe. Opisan je postopek meritev oziroma zajema prostorskih podatkov na terenu in obdelava pridobljenih podatkov v različnih programskih orodjih. Na koncu je opravljena še evalvacija natančnosti podatkov, pridobljenih z meritvami brezpilotnega letalnika, ter analitična primerjava končnih rezultatov s podatki iz zemljiškega katastra in katastra stavb.

2 OPREDELITEV KATASTRA IN ZEMLJIŠKEGA INFORMACIJSKEGA SISTEMA (LIS)

V tem poglavju je opredeljen nepremičninski administrativni sistem v Sloveniji, kot ga določa trenutna zakonodaja. Podrobneje sta opisani temeljni nepremičninski evidenci v Sloveniji, ki ju vzdržuje Geodetska uprava RS, to sta zemljiški kataster in kataster stavb in skupaj z zemljiško knjigo predstavljata celovit podatkovni sistem zemljiške administracije.

Posebej obravnavamo 3D-kataster nepremičnin, ki je aktualen izziv na področju nepremičninskih evidenc. Predstavljen je tudi standard konzorcija OGC (angl. *Open Geospatial Consortium*) za kodiranje 3D-podatkov *CityGML*, kot eden od možnih pristopov za modeliranje 3D-objektov. Zadnji del poglavja pa namenjen opisu tehnologije zajemanja podatkov s pomočjo brezpilotnih letalnikov, katero smo tudi uporabili pri tej diplomski nalogi z namenom pridobiti 3D-podatke o nepremičnini in na osnovi teh podatkov izdelati 3D-modela stavbe.

2.1 Zemljiški informacijski sistem in zemljiška administracija

Cilj vsake države je splošen družbeni in gospodarski razvoj in ker so številne odločitve neposredno ali posredno vezane na prostor, država za to potrebuje čim bolj kakovosten sistem prostorskih podatkov. Takšne potrebe po prostorskih informacijah je treba na področju nepremičninske administracije kot pomembnega segmenta javne uprave reševati z izgradnjo tako imenovanega zemljiškega informacijskega sistema (angl. *Land information system*, LIS). Zemljiški informacijski sistem je pri tem lahko mišljen kot orodje in podatkovna podpora za sprejemanje pravnih, administrativnih in ekonomskih odločitev in predstavlja pomoč pri načrtovanju in razvoju. Glede na to, da je sama nastavitve zemljiškega informacijskega sistema zapletena in draga, je treba najti ustrezno pot in metodo za izgradnjo takšnega sistema (Ferlan, 2005).

Zemljiški informacijski sistem sestoji (Ferlan, 2005):

- iz zbirke podatkov, ki vsebujejo prostorsko umeščene in zemljiško usmerjene podatke za določena območja ter
- iz procesov in tehnik za sistematično zbiranje, spremljanje, obdelovanje in porazdeljevanje podatkov o zemljiških oziroma nepremičninah.

Namen LIS-a je sistematično zbiranje, posodabljanje, obdelovanje in porazdeljevanje zemljiško orientiranih podatkov uporabnikom. Pomembna je tudi podpora pravnim, administrativnim in ekonomskim odločitvam, ki nastopajo pri razvoju planiranja ter pri tržnem vrednotenju ali določevanju posledic različnih ukrepov v prostoru (Ferlan, 2005).

Zemljiški kataster je danes v mnogih državah, tudi v Sloveniji, parcelno orientiran in sprotno vzdrževan prostorski informacijski sistem, ki lahko vsebuje različne zapise o zemljišču in njegovih sestavinah. Običajno vsebuje geometrijski opis parcel v povezavi z drugimi evidencami, kjer so opisane fizične lastnosti zemljišč, lastništvo, pogosto pa tudi vrednost zemljišč ter drugi opisni podatki, ki so pomembni za upravljanje zemljišč. Različne države so razvile različne rešitve na tem področju. Ne glede na to pa se danes na mednarodni ravni oblikujejo skupne smernice in standardi, katerih namen je usmerjati posamezne države, da zagotovijo rešitve, ki bodo zadovoljile vsaj najmanjše zahteve sodobne družbe, torej bodo zagotavljal podpora varovanju pravic na zemljiščih, zemljiškem trgu, upravljanju zemljišč ter prostorskemu načrtovanju. Med vodilne organizacije, ki podajajo take smernice, so Združeni narodi (angl. *United Nations*, ZN) in Mednarodna zveza geodetov (angl. *International Federation of Surveyors*, FIG). V nadaljevanju je podan seznam pomembnejših dokumentov (Preglednica 2.1), ki sta jih te dve organizaciji izdali v preteklih dveh desetletjih in so pomembno usmerili razvoj zemljiške administracije v svetu (Ferlan, 2005; Zupan in sod., 2014).

Preglednica 2.1: Pomembni dokumenti na področju mednarodnih smernic (Zupan in sod., 2014)

Leto	Pomembni dokumenti na področju oblikovanja mednarodnih smernic razvoja zemljiške administracije	Organizacija
1992	Agenda 21	ZN
1995	Izjava o zemljiškem katastru FIG	FIG
1996	Agenda Habitat in Carigrajska deklaracija o človekovih naseljih	ZN
1996	Smernice zemljiške administracije	ZN
1996	Bogorska deklaracija	FIG, ZN
1998	Bathurtska deklaracija o zemljiški administraciji za vzdržni razvoj	FIG, ZN
1998	Kataster 2014	FIG
2004	Smernice določevanja nepremičninskih enot in njihovih identifikatorjev	ZN
2005	Zemljiška administracija v Evropi – razvojni trendi in temeljna načela	ZN
2007	Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta o vzpostavitvi infrastrukture za prostorske informacije v Evropski skupnosti INSPIRE	EU
2012	Mednarodni standard ISO 19152:2012 (LADM)	ISO
2012	Prostorsko usposobljena družba	FIG
2014	Kataster 2014 in naprej	FIG

Med temi dokumenti velja izpostaviti najprej Kataster 2014 (angl. *Cadastre 2014*) iz leta 1998, ki podaja trende in smernice glede oblikovanja sodobnih rešitev v zemljiškem katastru in ki je postal izhodišče mednarodnega standarda ISO 19152:2012 *Geographic Information* na področju zemljiške administracije LADM (angl. *Land Administration Domain Model*), uradno izdan leta 2012. Logična nadgradnja dokumenta Kataster 2014 in drugih smernic v preteklem desetletju je Kataster 2014 in naprej (angl. *Cadastre 2014 and beyond*) iz leta 2014, ki predstavlja koncept sodobne zemljiške administracij

Glede potrebe po 3D-modelih nepremičnin velja omeniti leto 2004, ko se v smernicah Združenih

narodov prvič več pozornosti namenja tudi določevanju trirazsežnih nepremičninskih enot in konceptu trirazsežnega podatkovnega modela, 3D-katastra. Poleg tega velja omeniti še Direktivo Evropskega parlamenta in Sveta o vzpostavitvi infrastrukture za prostorske informacije v Evropski skupnosti INSPIRE (angl. *Directive of the European Parliament and of the Council establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community*), ki izpostavlja pomembno vlogo zemljiške parcele, kot povezava med informacijami iz različnih pravno in prostorsko orientiranih domen (Zupan in sod.2014).

2.1.1 Evidentiranje nepremičnin v Sloveniji

Nepremičninski sistem v Sloveniji je vzpostavljen tako, da se podatki o zemljiščih in stavbah zbirajo in vzdržujejo v dveh temeljnih evidencah in sicer v zemljiškem katastru in katastru stavb, za kateri je zadolžena Geodetska Uprava Republike Slovenije (GURS). Podatki o stvarno pravnih pravicah so evidentirani v zemljiški knjigi, za katero je pristojno zemljiškoknjižno sodišče, podatkovna zbirka zemljiške knjige pa je informacijsko povezana z zemljiškim katastrom in katastrom stavb. Tudi zemljiški kataster in kataster stavb sta dve ločeni evidenci, ki pa sta med sabo povezani. Za razliko od zemljiškega katastra, ki je parcelno orientiran, se v katastru stavb evidentirajo prostorski in fizični podatki o stavbah in njenih delih. Evidenci sta se v preteklosti spreminjali, toliko bolj zemljiški kataster, ki na velikih območjih Slovenije izvira celo iz prve polovice 19. stoletja. Kataster stavb je novejša evidenca, ki je bila vzpostavljena pred petnajstimi leti (Ferlan, 2015; Liseč in sod., 2015). Z razvojem načina zajemanja podatkov in informacijske tehnologije (IT) se je tudi kakovost samih evidenc močno izboljšala. V nadaljevanju sledi kratek opis obeh evidenc in sicer od leta 2000, ko je bila vzpostavljena takrat nova evidenca, to je kataster stavb.

Leta 2000 je Državni zbor Republike Slovenije sprejel Zakon o evidentiranju nepremičnin, državne meje in prostorskih enot (ZENDMPE, Uradni list RS št. 52/2000). Evidentiranje nepremičnin po tem zakonu je vključevalo vzpostavitev, vodenje in vzdrževanje zemljiškega katastra in katastra stavb. Zakon je določal, da sta zemljiški kataster in kataster stavb temeljni evidenci o zemljiščih in stavbah, ki se povezujeta z zemljiško knjigo (ZENDMPE, 2000).

Leta 2006 je po sprejetju novega zakona v Državnem zboru Republike Slovenije, ZENDMPE (2000) nadomestil Zakon o evidentiranju nepremičnin (ZEN, Uradni list RS št. 47/2006). Ta ureja področja evidentiranja nepremičnin, državne meje in prostorskih enot, postopke urejanja in spreminjanja meje zemljiških parcel, postopke vpisa podatkov o stavbah in delih stavb v kataster stavb in njihovih sprememb in za razliko od ZENDMPE-ja še dodatno novo podatkovno zbirko geodetske uprave Register nepremičnin (REN), ki je opredeljen kot »večnamenska zbirka podatkov o nepremičninah na območju Republike Slovenije, ki se vzpostavi in vodi zaradi zagotavljanja podatkov, ki odražajo

dejansko stanje v naravi» (ZEN, 2006, 96. člen).

Podatki, ki se evidentirajo v registru nepremičnin, so (ZEN, 2006, 98. člen):

- *»identifikacijska številka nepremičnine,*
- *lastnik nepremičnine,*
- *uporabnik nepremičnine,*
- *najemnik nepremičnine,*
- *upravljavec nepremičnine,*
- *površina nepremičnine,*
- *dejanska raba nepremičnine,*
- *boniteta zemljišča,*
- *številka stanovanja ali poslovnega prostora,*
- *drugi podatki o nepremičninah.*«

Zakon v 100. členu (ZEN, 2006) navaja, da se v REN prevzemajo *»podatki iz zemljiškega katastra, katastra stavb, zemljiške knjige, registra prostorskih enot, centralnega registra prebivalstva, poslovnega registra Slovenije, iz zbirk podatkov samoupravnih lokalnih skupnosti ter iz javnih in drugih zbirk podatkov*«. Register naj bi odražala dejansko stanje nepremičnin v naravi, kar pomeni, da je treba sprotno posodabljati podatke (Lisec in sod., 2015).

Pri tem je nepremičnina opredeljena kot *»zemljišče s pripadajočimi sestavinami*«, zemljišče pa je *»zemljiška parcela, ki je evidentirana v zemljiškem katastru*«. Za 3D-kataster nepremičnin je pomembna tudi nadaljnja opredelitev pojma sestavin nepremičnine, ki *»so lahko stavbe in deli stavb, ki so evidentirani v katastru stavb*« (ZEN, 2006).

Zemljiški kataster sestavljajo zadnji vpisani podatki o zemljiščih ter zbirka listin in podatkov, ki omogočajo historični pregled sprememb. Osnovna prostorska enota za vodenje podatkov je katastrska občina (k. o.). V zemljiškem katastru se vodijo naslednji podatki (ZEN, 2006: 17. člen):

- *»identifikacijska oznaka parcele,*
- *meja,*
- *površina,*
- *lastnik,*
- *upravljavec,*
- *dejanska raba,*
- *zemljišče pod stavbo,*
- *boniteta zemljišča.*«

ZEN (2006) tudi loči dve vrsti grafičnih prikazov podatkov zemljiškega katastra, in sicer:

- ZKN (zemljiško katastrski načrt), ki je grafični prikaz mej parcel in delov parcelnih mej ter zemljišča pod stavbo, ki so evidentirani s koordinatami zemljiško-katastrskih točk s predpisano natančnostjo v referenčnem državnem koordinatnem sistemu (D48/GK ali D96/TM);
- ZKP (zemljiško katastrski prikaz), ki je slika oblike in medsebojne lege parcel, ki je zgolj informativne narave in se ne sme neposredno uporabljati za ugotavljanje poteka meje.

ZKP, ki smo ga v času digitalizacije analognih katastrskih načrtov poznali pod imenom digitalni katastrski načrt (DKN) je nastal na podlagi digitalizacije (pretvorbe rastrskih v vektorske podatke) predhodno skeniranih katastrskih načrtov in sicer v obdobju med leti 1992 in 2004. Nastajanje DKN-ja je potekalo v treh fazah. Najprej je bil opravljen zajem podatkov, kjer so skenirani in vektorizirani katastrski načrti. Zatem je sledila transformacija točk v državni referenčni koordinatni sistem, kjer je šlo za približno transformacijo zveznega sloja zemljiških parcel v D48/GK. Za ta namen so bile izmerjene identične točke, na osnovi katerih so izračunali transformacijske parametre in na podlagi teh parametrov so določene koordinate mejnih točk parcele. Zadnja faza je bila usklajevanje meje po posameznih katastrskih občin. Z letom 2004 je postala celotna Slovenija pokrita z digitalnimi katastrskimi načrti (Grilc, 2007).

Veliko težavo v zemljiškem katastru so poleg heterogenosti položajne natančnosti lomnih točk zemljiških parcel predstavljali manjkajoči ali zastareli podatki o stavbah. Zaradi potrebe po teh podatkih se je Slovenija odločila, da vzpostavi novo, z zemljiškim katastrom povezano evidenco o stavbah in delih stavb, to je kataster stavb (glej tudi Lisec in sod., 2015).

2.1.2 Podatki katastra stavb v Sloveniji

Kataster stavb je novejša evidenca od zemljiškega katastra, ki je dobila pravno podlago s predhodno omenjenim Zakonom o evidentiranju nepremičnin, državne meje in prostorskih enot (ZENDMPE, 2000). Sama vzpostavitev evidence katastra stavb pa je potekala skozi več faz (Grilc, 2007):

- fotogrametrični zajem podatkov o stavbah – podatki o obliki, velikosti in lokaciji stavbe,
- zajem opisnih podatkov o stavbah iz različnih evidenc (začasni zajem) in povezava z grafiko,
- razgrnitev podatkov o stavbah – Popis nepremičnin.

Osnovni sestavini katastra stavb sta stavba in del stavbe. Zakon določa pojma (ZEN, 2006):

- *stavba*, ki je objekt (prej zgradba), v katerega lahko človek vstopi in ki je namenjen njegovemu stalnemu ali začasnemu prebivanju, opravljanju poslovne ali druge dejavnosti ali zaščiti ter je ni mogoče prestaviti brez škode za njeno substanco.
- *del stavbe*, ki si vpiše v kataster stavb, je opredeljen kot stanovanje, poslovni prostor ali drug prostor oziroma skupina prostorov v stavbi, ki je lahko samostojen predmet pravnega prometa.

Kot del stavbe se v katastru stavb evidentirajo tudi skupni prostori.

Pravilnik o vpisih stavb v kataster stavb (Uradni list RS št. 73/2012) navaja, da imajo podatki o stavbah in delih stavb lahko različen status in sicer katastrski in registrski. Pri tem opozarjamo, da beseda »registrski« ni izbrana ustrezno, saj se v tem primeru nanaša na manj zanesljive, popisne podatke, medtem ko pojem »register« praviloma označuje pravno zavezujoče, uradne podatke. Katastrski podatki se danes v kataster stavb vpišejo na podlagi elaboratov za vpis stavbe v kataster stavb, ki jih lahko na predlog lastnika stavbe izdela pooblaščen geodetsko ali projektantsko podjetje, vpis stavbe v kataster stavb pa je tudi osnova za vpis lastništva ali drugih pravic na delih stavbe v zemljiško knjigo (Grilc in sod., 2003). V preteklih letih je več predpisov in pravilnikov vplivalo na vzpostavitev zakonodaje na področju katastra stavb, med katerimi omenjamo:

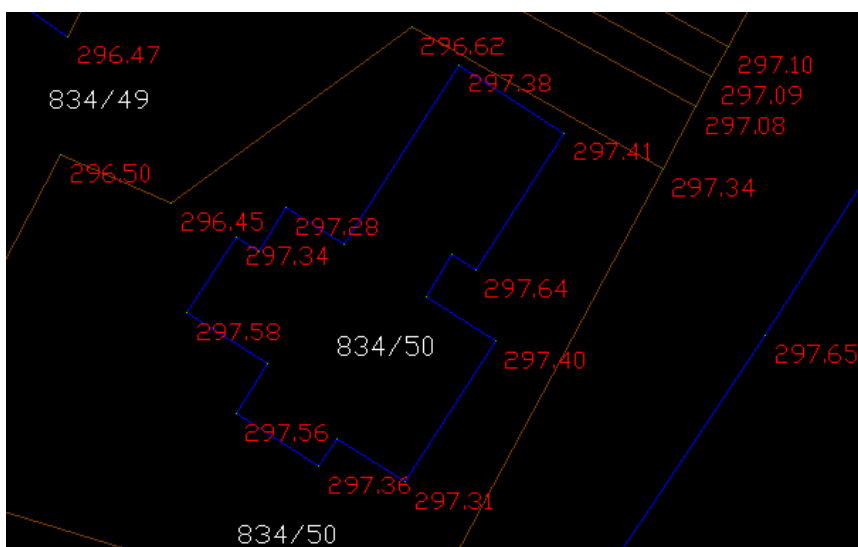
- *Stvarnopravni zakonik – SPZ* (Uradni list RS št. 87/2002),
- *Stanovanjski zakon – SZ-I* (Uradni list RS št. 69/2003),
- *Pravilnik o vpisih v kataster stavb* (Uradni list RS št. 73/2012),
- *Uredba o načinu vpisa upravljavcev nepremičnin v zemljiški kataster in kataster stavb* (Uradni list RS št. 121/2006),
- *Uredba o označevanju stanovanj in poslovnih prostorov* (Uradni list RS št. 63/2006),
- *Zakon o geodetski dejavnosti – ZGeoD-1* (Uradni list RS št. 77/2010).

Povezavo evidence katastra stavb z zemljiškim katastrom, zemljiško knjigo in registrom prostorskih enot omogoča uporaba enotnih identifikacijskih oznak, ki predstavljajo podatki, ki se vodijo v katastru stavb in ostalih navedenih evidencah hkrati. Ti podatki so številka stavbe in dela stavbe, številka zemljiške parcele in katastrska občina ter enolični identifikator hišne številke iz registra prostorskih enot. Zbirka podatkov o stavbah in delih stavb je podlaga za zapisovanje stvarnih pravic na nepremičninah v zemljiško knjigo in je osnova za varovanje pravnega prometa (Janežič, 2004). V katastru stavb se za stavbo ali del stavbe vpisujejo naslednji podatki (ZEN, 2006, 73. člen):

- *»identifikacijska oznaka,*
- *lastnik,*
- *upravljavec,*
- *lega in oblika,*
- *površina,*
- *dejanska raba,*
- *številka stanovanja ali poslovnega prostora.«*

Lego in obliko stavbe, ki jo evidentiramo v katastru stavb, določajo tloris stavbe (Slika 2.1), višina stavbe in število etaž v stavbi. Tloris je pri tem navpična projekcija zunanjih obrisov stavbe na

horizontalno ravnino, ki je določena s točkami v referenčnem državnem koordinatnem sistemu. Višina stavbe je razlika med nadmorsko višino najvišje in nadmorsko višino najnižje točke stavbe. Število etaž je zaporedje števil, ki se označuje od najnižje etaže v stavbi navzgor. Posebej se določi etaža, ki je pritličje (ZEN, 2006, 77. člen). Izpostaviti velja, da imajo novejši ZK-točke praviloma tudi določeno višino (nadmorsko ali elipsoidno višino). Čeravno vedno ni enostavno ugotoviti, katere vrste višine ZK-točk so v podatkovni zbirki katastra in kako so bile določene, so praviloma ti podatki izredno pomembni pri vzpostavljanju 3D-katastra.



Slika 2.1: Katastrski načrt študijskega območja z izrisom parcelnih mej in zemljišča pod stavbo, dodane so parcelne številke in višine točk (Vir: GP Domžale)

2.2.3 Dodatni podatki, potrebni za vzpostavitev 3D-katastra nepremičnin

Za izdelavo 3D-modela nepremičnine bi morali v Sloveniji poleg uradnih katastrskih podatkov na terenu pridobiti še nekatere dodatne podatke. Meritve za vpis stavbe v kataster stavb praviloma opravljamo s pomočjo kombinacije klasične tahimetrične metode izmere in izmere GNSS (angl. *Global Navigation Satellite System*). Za izdelavo grafičnega 3D-modela stavbe bi poleg trenutno evidentiranih podatkov o stavbah v katastru stavb potrebovali dodatne podatke, ki določajo obod in notranjost stavbe.

Če se osredotočimo na zunanost stavbe, kar je predmet te naloge, bi lahko za zajem dodatnih podatkov uporabili različne metode množičnega zajema prostorskih podatkov, kot je npr. laserski skener ali pa uporaba brezpilotnega letalnika, ki je tudi opisan v nadaljevanju te diplomske naloge. Kot omenjeno, se pri pripravi vpisa stavbe v kataster stavb v državnem koordinatnem sistemu določijo obod objekta – zemljišče pod stavbo, obod strehe, točka z najvišjo in najnižjo višino ter karakteristična

višina terena. Za vzpostavitev 3D-katastra nepremičnin, to je za izgradnjo 3D-grafičnega modela stavbe, bi bilo treba poleg omenjenega določiti koordinate več točkam strehe, slemena in kapi, okna, vrata in tako naprej. Obseg izmere je odvisna od tega, kakšen rezultat oziroma kakšno stopnjo podrobnosti prikaza želimo doseči. Obstaja več različnih stopenj podrobnosti prikaza 3D-objektov - LoD (angl. *Level of Details*). V naslednjem podpoglavju je predstavljen standard *CityGML*, s katerim so povezane tudi omenjene stopnje podrobnosti prikaza 3D-objektov.

2.1.3 City GML

Z razvojem geoinformatike in geografskih informacijskih sistemov (GIS) postajajo 3D-prostorski podatki in 3D-modeli stvarnega sveta sestavni del infrastrukture prostornih podatkov. Pomemben standard na področju modeliranja 3D-modelov stvarnega sveta je *CityGML*, ki je na *XML* (angl. *Extensible Markup Language*) in *GML* (angl. *Geography Markup Language*) temelječ format za označevanje, prikazovanje, shranjevanje in izmenjavo navideznih 3D-modelov mest in pokrajin. *CityGML* se lahko uporablja v različnih 3D-rešitvah, cilj tega standarda konzorcija OGC pa je poenotena opredelitev sestave prostorskih pojavov, njihovih opisnih podatkov oziroma atributov in relacij (Šumrada, 2009).

Sam razvoj standarda *CityGML* (Slika 2.2) se je sicer začel že leta 2002 s strani skupine *SIG 3D* (angl. *Special Interest Group 3D*). Skupina združuje več kot 70 podjetij, uprav in inštitutov iz različnih držav, kot so Nemčija, Švica, Velike Britanija in Avstrija, ki koordinirano delajo na razvoju in komercialni uporabi 3D-modela podatkov in njegovi vizualizaciji. V avgustu leta 2008 je konzorcij OGC (angl. *Open Geospatial Consortium*) sprejel *CityGML* kot uradni OGC-standard. S tem je potrdil njegovo pomembnost in potrebo ter odprl pot močnemu razvoju 3D-prostornih podatkov. *CityGML* vsebuje kompleksne in georeferencirane vrste 3D-geometrije, vključujoč semantična pravila. Za razliko od ostalih modelov geoprostornih podatkov, temelji *CityGML* na odprtem, bogatem in obsežnem informacijskem modelu podatkov, kar omogoča možnost uporabe v različnih aplikacijah in za različne namene (angl. *reusability*) (Kolarek, 2010; Cetl, Tomić in Lisjak, 2013).

Osnovne lastnosti standarda *CityGML* (Kolarek, 2010):

- model podatkov je namenjen za predstavitev urbanih območij (ISO191xx),
- uporablja GML3 model za predstavitev 3D-geometrije objektov (ISO19107),
- omogoča predstavitev površja objektov (materiali in teksture),
- omogoča modularnost,
- možnost sočasnega prikaza objektov različnih stopnji podrobnosti,
- topološka povezanost med objekti,
- omogoča nadaljnjo razširitev modela podatkov.



Slika 2.2: Uradni logo *City GML* (Vir: www.citygml.org)

Stopnja podrobnosti prikaza objektov LoD, ki jo definira oziroma opredeljuje *CityGML*, se delijo glede na stopnjo posploševanja oziroma na ločljivost objekta in se začne z najenostavnejšim prikazom, na primer model kvadra oziroma škatle (angl. *box model*) za prikaz stavbe (LoD1), in se postopoma povečuje z dodajanjem podrobnosti oziroma detajlov, teksture objektov in obliko strehe (LoD2), dodajanjem zunanje arhitekture objektov (LoD3) ter na koncu z modeliranjem notranjosti objekta (LoD4).

Hierarhično definirane ravni podrobnosti LoD (Slika 2.3) bi lahko opredelili kot (Šumrada, 2009; Kolarek, 2010):

- LoD 0 – prikaz detajlnega tlorisa stavbe v dveh razsežnostih,
- LoD 1 – prikaz osnovnih oblik objektov, to je 3D-model na temelju tlorisa in višine, z ravno streho,
- LoD 2 – prikaz modelov stavb z oblikovano streho, natančnim prikazom oblik sten in delno razpoznavnimi fasadami,
- LoD 3 – prikaz podrobne zunanje arhitekture objektov z podrobno strukturo strehe in katerih podobjekti so tudi manjši detajli (dimniki, zunanja stopnišča, balkoni, oblika oken),
- LoD 4 – podrobni prikaz notranjosti objektov, vključuje dodatne semantične, topološke in opisne podatke za različna poizvedovanja.



Slika 2.3: Stopnje podrobnosti – LoD (Level of details) (Vir: www.biljecki.com)

Sicer *CityGML* ni edini način za modeliranje in vizualizacijo 3D-objektov, med katerimi velja izpostaviti (Šumrada, 2009):

- KML (angl. *Keyhole Markup Language*), ki je na XML-shemi temelječ jezik za podajanje vizualizacije navideznih 2D- ali 3D-prostorskih prikazov v brskalnikih, kot je *Google Earth*. KML je hkrati odprt standardni format za modeliranje in izmenjavo 3D-modelov mest in pokrajin. Tako kot *CityGML* je tudi KML priznan kot uradni OGC-standard,
- VRML (angl. *Virtual Reality Modeling Language*)/3XD: je tudi na XML-shemi temelječ jezik, ki se uporablja za splet za modeliranje navidezne resničnosti: omogoča prikazovanje različnih 3D-prikazov prostorskih podatkov na spletnih straneh.

Osnovne prednosti *CityGML* glede na ostale formate so (Cetl, Tomić in Lisjak, 2013):

- predstavitev in vključevanje semantike in odnosov med objekti (semantika in topologija sta izjemno pomembna za številne aplikacije),
- medopravilnost (angl. *interoperability*): možnost izmenjave 3D-modelov med različnimi sistemi,
- osnovni model *CityGML* semantično že definira objekte, opisne podatke in relacije, ki se uporabljajo v večini aplikacij.



Slika 2.4: Prikaz 3D-modela mesta Dubrovnik (Vir: www.croatia.gdi.net)

CityGML je že danes uporabljen v številnih programskih rešitvah in se uporablja v raznolikih projektih v svetu, tudi v okviru uradne prostorske podatkovne infrastrukture. Omenjen model podrobnosti je primeren predvsem tudi za topografske modele, medtem ko se model ravni podrobnosti modelov prilagajajo nadalje drugim potrebam – na primer katastru nepremičnin. 3D-modeli prostorskih podatkov so se začeli vključevati v nacionalne infrastrukture prostorskih podatkov številnih držav, kot so Nizozemska, Nemčija, Francija. *CityGML* je, kot zanimivost, tudi prevzet v

Evropski direktivi za prostorske informacije INSPIRE za izdelavo 3D-modelov stavb (Cetl, Tomić in Lisjak, 2013).

2.2 Možnost vzpostavitve 3D-katastra z uporabo UAV-tehnologije

Cilj diplomske naloge je preizkusiti, ali je možno na osnovi meritev brezpilotnega letalnika pridobiti dovolj kakovostne podatke, s katerimi bi lahko vzpostavili 3D-kataster nepremičnin. Pri tem se omejujemo na grafične 3D-modele in vizualizacijo modelov nepremičnin v tri-razsežnem okolju. V tem pod poglavju je opisan pojem 3D-katastra, njegove lastnosti in značilnosti. Opisana je tudi tehnologija UAV in princip delovanja brezpilotnih letalnikov.

2.2.1 3D-kataster nepremičnin

Glede na to, da potrebe po zemljiščih vse bolj naraščajo, prihaja do večjega interesa za uporabo prostora pod površjem in nad njim. Takšni primeri so na primer mostovi, predori, rudniki, podhodi, zgradbe v strnjenih naseljih, kjer so večstanovanjske stavbe in stavbe, ki segajo na tuje zemljišče. Če se na eno parcelo nanaša več različnih imetnikov stvarnih pravic in so pravice višinsko gledano ena na drugo, pride do tako imenovanih zapletenih primerov evidentiranja nepremičnin (Janežič, 2004).

Problem, kateremu zemljišču pripada stavba ali del stavbe na, nad ali pod tujim zemljiščem, v slovenski zakonodaji delno rešuje stavbna pravica. Stavbna pravica pomeni odstopanje od tradicionalnega načela »*superficies solo cedit*«, kar je zgrajeno na zemljišču, je od zemljišča. Poleg stavbne pravice predstavlja odstopanje od navedenega načela še etažna lastnina, ki omogoča evidentiranje delov stavb v katastru stavb in registracijo pravic na le-teh v zemljiški knjigi (Ferlan, 2005).

Vučić (2015) na primeru hrvaškega katastrskega sistema navaja, da bi obstoječi katastrski sistem bilo potrebno nadgraditi s tretjo dimenzijo. To bi omogočalo vpis stavbe in delov stavb ter boljši opis zapletenih stavb. Vzpostavitev 3D-katastra je zagotovo finančni strošek za državo, toda podrobneje urejene prostorske evidence omogočajo dodano vrednost pri urejenosti nepremičninskih razmerij (Zupan in sod. 2014).

Kakovostno podobo o celotnem prostoru lahko dobimo le na osnovi kakovostne povezave trirazsežno prikazanih objektov z zemljiškim katastrom in zemljiško knjigo. Janežič (2004) navaja, da je najverjetneje najenostavnejši način vključitev 3D-geometrijskih modelov za predlagane stavbe v tloris katastra stavb (2D), ki je nadalje povezan z zemljiškim katastrom (2D). Mnenje Janežičeve izvira iz obdobja nastavitve katastra stavb v Sloveniji, ko še ni bilo toliko tehničnih možnosti za 3D-

modeliranje stvarnega sveta v informacijskih okoljih. Predvsem v grajenem, urbanem okolju se je pokazalo, da je treba posodobiti sistem zemljiške administracije v smislu uveljavitve 3D-modelov nepremičnin, tako da bodo na voljo ustrezne informacije o nepremičninah za zagotavljanje pravne varnosti nosilcem pravic na nepremičninah, pravično obdavčitev, spremljanje sprememb v prostoru ter načrtovanje in izvajanje ukrepov zemljiške oziroma nepremičninske politike (Lisec in sod., 2015).

Razvoj informacijske tehnologije in potrebe uporabnikov katastrskih podatkov nakazujejo, kako niso več dovolj samo 2D-prostorni podatki in višina kot opisni podatek, ampak bi bilo treba bolj detajlno prostorsko opisati pravice na objektu. Raziskovanja (Stoter, 2004) so pokazala, da vpis 3D-podatkov v kataster ponuja številne prednosti na področju pravne varnosti nepremičnin. Glede na to, da v Sloveniji vodimo evidenco podatkov o stavbah ločeno od zemljiškega katastra, bi bilo treba za vzdrževanje odnosov stavb nad površjem in pod njim s parcelami na površju vključiti 3D-stavbe v tlorisni zemljiški kataster ali pa vzpostaviti tako imenovani popoln 3D-kataster. Na takšen način katastrski sistem zagotavlja boljši vpogled v pravne in resnične situacije nad in pod površjem, kar poudarja tudi Stoterjeva (2004).

Eden osnovnih ciljev katastra je zagotavljati pravno varnost nosilcem pravic na nepremičninah, ki je tem boljše zagotovljena, čim večja je možnost za kakovostno registracijo in ustrezen prikaz obsega pravic tudi v zapletenih primerih. Iz tega sledi, da morajo biti tudi zapleteni primeri evidentirani in shranjeni tako, da pravilno prikazujejo stvarno situacijo na enostaven in pregleden način. Vendar je prehod iz tlorisnega načina prikaza nepremičnin v 3D-prikaze in opredelitev 3D-prostorskih pravic boljša rešitev od obširnega, tekstovnega opisovanja. V številnih državah, ki vzpostavljajo 3D-katastrski sistem, imajo različno opredeljene stvarne pravice. Glede nato, da se sama zakonodaja od države do države razlikuje, je težko definirati enoten sistem 3D-katastra in vpisa pravic na 3D-objektih. Najpogostejši način, ki ga srečujemo, je etažna lastnina, ki jo Stvarnopravni zakonik (SZ, 2002) opredeljuje kot lastnino posameznega dela zgradbe in solastnino skupnih delov. Nastane na podlagi pravnega posla ali z odločbo sodišča in z vpisom v zemljiško knjigo (Janežič, 2004; Mahne, 2011).

Za prikaz prostorske razporeditve lastninskih pravic so potrebni 3D-geometrijski modeli stavb in delov stavb (Lisec in sod., 2015). Paulsson (2007) v svoji doktorski disertaciji omenja dve najbolj pogosti obliki, s katerimi se je srečala v času raziskave, in sicer etažna lastnina ter neodvisna 3D-pravica.

Glavne oblike registracije nepremičnin, ki zahtevajo tudi višinsko razsežnost in so trenutno v svetu najbolj pogoste, so (Mahne, 2011):

- 2D-katastrski model, kjer se lahko prepletajo s podmnožicami 3D-katastrskega modela – hibridni katastrski sistem,

- 2D-model, ki lahko vzdržuje pravne in fizične 3D-objekta. Parcela postane volumska ali prostorska parcela in vzpostavi se lahko popoln 3D-kataster nepremičnin,
- neodvisna 3D-pravica (Nordijske države) in
- klasična etažna lastnina (lastnina, skupna lastnina, solastnina, najem), tudi v Sloveniji.

Vključevanje višin in tudi časovne komponente v okvir katastra bo velik izziv v bližnji prihodnosti in bo zahtevalo modeliranje in vizualizacijo v tretji in četrti dimenziji. Tehnološki napredek bo omogočil, da se tradicionalni 2D-kataster nadgradi na nove razsežnosti (Bennett in sod., 2011). Janežič (2004) navaja, da so prednosti, ki jih omogoča 3D-kataster, naslednje:

- v zapletenih primerih je zagotovljena večja pravna varnost nepremičnin (prostorsko opredeljena pravica),
- možnost prostorskega načrtovanja, bolj logična izraba prostora, ki sega tudi pod in nad površje,
- boljša vizualizacija oddaljenosti do obstoječih podzemnih vodov (če so podatki o gospodarski javni infrastrukturi seveda del katastrskih podatkov ali so vsaj povezani s katastrom),
- možnosti izdelave različnih prostorskih analiz, rezultat le teh so lahko: vsota stanovanjskih površin, višina stavbe, analiza določevanja vplivov za potrebe vrednotenja nepremičnin.

Načinov kako pridobiti podatke, s katerimi bi posodobili obstoječi sistem evidentiranja nepremičnin in ga nadgradili s 3D-modeli, je več. Poleg klasične izmere lahko za vzpostavitev 3D-katastra uporabimo meritve brezpilotnega letalnika oziroma tehnologijo UAV (angl. *Unmanned Aerial Vehicle*). Sicer bi na ta način lahko pridobili podatke le za objekte, ki se nahajajo nad zemeljskim površjem. V nadaljevanju je podan kratek opis tehnologije UAV – brezpilotnih letal kot možni način pridobivanja podatkov za izdelavo 3D-modela objektov v okviru katastrov.

2.2.2 Tehnologija UAV in princip delovanja brezpilotnih letalnikov

Brepilotna letala lahko danes srečamo na številnih področjih. Začetna uporaba je sicer bila namenjena potrebam vojske, kjer so se zaradi velikosti in mobilnosti uporabljala za opazovanje in pridobivanje podatkov o nasprotniku. V današnjem času jih lahko srečamo na različnih področjih, kot so civilna zaščita, varovanje okolja, kmetijstvo, snemanje športnih in ostalih dogodkov, v medicini za prenos zdravil na težko dostopna mesta in še na veliko področij. Glede na to, da je glede cene tehnologija v današnjem času vse bolj dostopna, število uporabnikov se izjemno povečuje. Tudi v geodeziji se brezpilotni letalniki vse bolj pogosto uporabljajo. Prednost pred klasično izmero je predvsem v hitrosti zajema podatkov, kjer se po relativno nizki ceni lahko pridobi velika količina podatkov (Bitenc, 2014).

Osnovna delitev brezpilotnih letalnikov je odvisna od njihove višine letenja in se deli na dve osnovni skupini: letalniki, ki letijo na višini od 3000 m in višje, imajo možnost dlje časa pridobivati podatke z

minimalno porabo energije za ohranjanje letenja, in letalniki, katerih je maksimalna relativna višina letenja do 300 m (mikro in mini kategorija brezpilotnih letalnikov) (Kolarek, 2009). Detajlna delitev je prikazana v preglednici 2.2.

Preglednica 2.2: Detajlna delitev brezpilotnih letalnikov (Kolarek, 2010)

Kategorija (angl)	Oznaka	Teža (kg)	Doseg (km)	Najvišja višina letenja (m)	Avtonomija letenja (h)
<i>Micro</i>	Micro	< 5	< 10	250	1
<i>Mini</i>	Mini	25–150	< 10	150–300	< 2
<i>Close range</i>	CR	25–150	10–30	3000	2–4
<i>Short range</i>	SR	50–250	30–70	3000	3–6
<i>Medium range</i>	MR	do 1250	70–200	5000	6–10
<i>Medium range endurance</i>	MRE	do 1250	> 500	8000	10–18
<i>Low altitude Deep penetration</i>	LADP	do 350	> 250	50–9000	0,5–1
<i>Low altitude Long endurance</i>	LALE	< 350	> 500	3000	> 24
<i>Medium altitude Long endurance</i>	MALE	do 1500	> 500	14000	24–48

Brepilotni letalniki so pri tem opredeljeni kot zračna plovila, ki so zmožna letenja brez prisotnosti ali upravljanja pilota. Sam postopek pridobivanja prostorskih podatkov temelji na aerotriangulaciji nemetričnih posnetkov na osnovi referenčnih položajev oslonilnih točk. Natančnost zajema podatkov je odvisna od konfiguracije fotoaparata, hitrosti in višine leta, samo stabilnostjo med letom in uporabo terenskih oslonilnih točk. Upravljanje brezpilotnih letalnikov je lahko ročno ali pa samodejno, s pomočjo GNSS-sprejemnika in drugih senzorjev za določevanje položaja. V tem primeru je potrebno določiti načrt leta in parametre, kot so višina leta in odstotek prekrivanja med posnetki. Največja prednost brezpilotnih letalnikov je ta, da omogočajo zajem velike količine podatkov v relativno kratkem času, glavna pomanjkljivost pa je trajanje baterije (Bitenc, 2014).

Zaradi vse pogostejše in široke uporabe brezpilotnih letalnikov so države primorane zakonsko urediti to področje, tako je tudi Republika Slovenija sprejela Uredbo o sistemih brezpilotnih zrakoplovov (Uradni list RS št. 52/2016), kjer je brezpilotni zrakoplov opredeljen kot zrakoplov, »namenjen izvajanju letov brez pilota ali drugih oseb na krovu, ki je daljinsko krmiljen ali programiran ali avtonomen.«

Po omenjeni uredbi se brezpilotni zrakoplovi delijo glede na operativno maso na (Uredba o sistemih brezpilotnih zrakoplovov, 2016):

- razred 5: do vključno 5 kg;
- razred 25: nad 5 do vključno 25 kg;
- razred 150: nad 25 do 150 kg.

Pravila oziroma obveznosti in omejitve za letenje z brezpilotnimi zrakoplovi so določena glede na kategorijo zrakoplova po masi in območju letenja, kjer uredba (Uredba o sistemih brezpilotnih zrakoplovov, 2016) loči naslednje razrede:

- *»razred I je področje, kjer ni objektov in ljudi, razen upravljavcev in osebja, ki je potrebno za letenje;*
- *razred II je področje, kjer so pomožni objekti ali objekti, ki niso namenjeni bivanju ljudi in kjer ni ljudi, razen upravljavcev in osebja, ki je potrebno za letenje, in kjer je dovoljen le občasni prehod brez zadrževanja ljudi na tem področju (npr. kolesarji, sprehajalci);*
- *razred III je področje, na katerem so objekti, namenjeni za stanovanje, za poslovanje ali rekreacijo (npr. stanovanjske zgradbe, stanovanjske hiše, šole, pisarne, športni objekti, parki), ali na katerem so objekti nizke gradnje, kjer so ljudje (npr. avtoceste);*
- *razred IV je področje ožjih urbanih con.«*

Zajem prostorskih podatkov z brezpilotnim letalnikom smo izvedli pred uveljavitvijo te uredbe, zato je podrobneje nismo preučevali v okviru te naloge.

»Ta stran je namenoma prazna.«

3 ŠTUDIJSKO OBMOČJE IN METODE OBDELAVE PODATKOV

Cilj, katerega smo si zastavili pri nalogi, je, da poskušamo s pomočjo meritev z brezpilotnega letalnika pridobiti podatke, iz katerih bomo kasneje izrisali obris stanovanjske hiše in izdelali 3D-model stavbe za potrebe vzpostavitve 3D-katastra stavb. Poleg meritev z brezpilotnega letalnika smo s pomočjo sprejemnika GNSS (angl. *Global Navigation Satellite System*) v državnem koordinatnem sistemu (D96/TM) določili še položaje oslonilnih točk, potrebnih za orientacijo posnetkov, ter nekaj detajlnih točk, ki smo jih kasneje primerjali s točkami, katerih položaj je bil določen tudi s posnetkov iz brezpilotnega letalnika. Namen slednjega je bilo ugotoviti razlike med oblakom točk in točkami, ki smo jih merili z GNSS napravo.

Namen je bil najprej v programu *3D Survey* pridobiti oblak točk (angl. *Point Cloud*), ki smo ga nato izvozili v *Auto CAD Civil 3D 2015* in z dodatkom *Aplitop MDT*-ja obdelali, tako da smo iz njega lahko pridobili podatke, potrebne za izdelavo 3D-modela hiše v *Google SketchUp*-u. V nadaljevanju je opisan celotni postopek od generiranja oblaka točk do izrisa 3D-modela stanovanjske hiše.

3.1 Opis študijskega območja

Za študijsko območje je izbrana stanovanjska hiša v katastrski občini Trzin. Hiša je katastrsko evidentirana (Slika 3.1), sama zunanost enostanovanjske hiše pa je z vidika izdelave podrobnega 3D-modela na temelju podatkov, zajetih z brezpilotnim letalnikom iz zraka zanimiva, saj gre za dokaj zapleteno obliko strehe in tlorisa stavbe (Slika 3.2).



Slika 3.1: Parcela 834/50 v k.o. Trzin ima tudi že katastrsko vpisano stavbo
(Vir: www.e-prostor.gov.si)

Hiša je namensko izbrana, ker ima katastrski vpis in je relativno na odprtem območju, kjer se da nemoteno opravljati meritve z brezpilotnim letalnikom. Zanimiva je tudi z vidika oblike, saj ima dokaj razgibano streho, zaradi česa je primerna za izdelavo nekoliko zahtevnejšega 3D-modela stavbe srednje stopnje podrobnosti – v nalogi izdelujemo model za stopnjo podrobnosti LoD2.



Slika 3.2: Hiša, posneta z brezpilotnim letalnikom *Microdrone md4-100*, 45 m nad tlemi

3.2 Terenska izmera

Inštrumenti in oprema, ki smo jo potrebovali za izvedbo izmere, so bili:

- brezpilotni letalnik *Microdrone md4-100* z nameščenim fotoaparatom *Olympus E-P2*,
- signali za oslonilne točke (tarče velikosti 50 cm x 50 cm s črnim krogom premera 36 cm);
- sistem *GNSS Leica Viva*.

Geodetske meritve smo po predhodnem dogovoru z lastniki stanovanjske hiše izvedli dne 4. 8. 2015. Zajem podatkov je opravilo podjetje Modri planet d.o.o. iz Ljubljane in sicer z brezpilotnim letalnikom *Microdrone md4-100* (Microdrones GmbH) z nameščenim fotoaparatom *Olympus E-P2*. Nekaj dni pred samimi meritvami smo preverili, ali bodo meteorološki pogoji ustrezali. Tako kot je bilo napovedano, smo imeli dobre pogoje za let, to je sončno vreme brez vetra. Idealno bi sicer bilo, če bi imeli namesto sončnega rahlo oblačno vreme, ker bi v tem primeru sence bile manj izražene.

Najprej smo si ogledali samo lokacijo in določili, kam bomo postavili signale za oslonilne točke (5 tarč velikosti 50 cm x 50 cm), ki smo jih takoj potem opazovali s sprejemnikom *GNSS Leica Viva* (Slika 3.3). Oslonilne točke uporabljamo z namenom georeferenciranja posnetkov na položaj v državnem koordinatnem sistemu D96/TM. Opazovanja smo izvajali v skladu s pravili za *GNSS*-izmero v katastru. Ko so opazovanja oslonilnih točk bile končane, smo v programu *Ground Station*

izdelali načrt leta brezpilotnega letalnika. Nastavili smo parametre, kot so višina leta, odstotek prekrivanja med posnetki (minimalno 65 %) ter interesno območje snemanja. Program je na osnovu teh parametrov podal čas trajanja leta in število posnetkov.



Slika 3.3: Signalizacija in GNSS-izmera oslonilnih točk

V trenutku, ko je bilo vse pripravljeno za vzlet, smo na nosilec letalnika namestili fotoaparata. Vzlet je potekal ročno, nato pa smo upravljanje letalnika namestili na samodejno, tako kot je bilo predhodno načrtovano. Začetna višina leta je bila 60 m nad tlemi, nato pa je letalnik ponovil zajemanje podatkov še na višinah 80 m, 45 m in 30 m. Da bi čim bolj kakovostno zajeli tudi vertikalne podrobnosti objekta, kot so fasade objekta, smo naredili tudi stranske fotografije iz različnih perspektiv, ki so bile vključene v izračun skupaj z nadirnimi slikami. Zajem je bil končan po približno 20-ih minutah, kjer smo posneli 199 fotografij. Na koncu smo s sprejemnikom GNSS določili položaje še nekaj detajlnim točkam, ki so kasneje pri obdelavi uporabne kot kontrolna meritev.

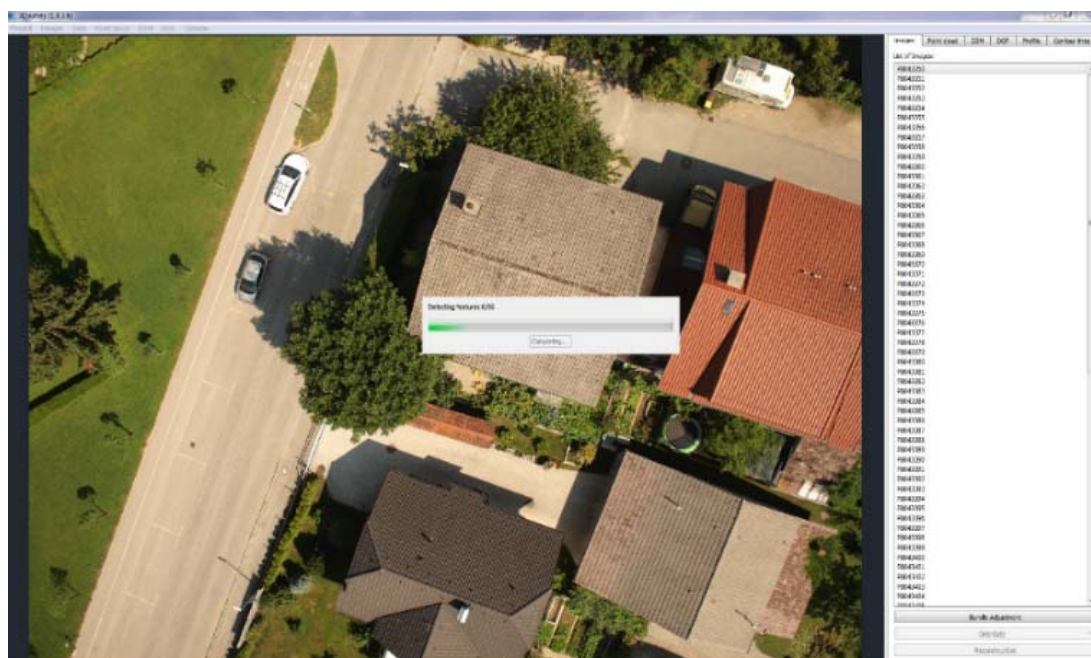
3.3 Obdelava podatkov

Po opravljenih meritvah je sledila obdelava zajetih posnetkov v pisarni. Slike ter koordinate oslonilnih in detajlnih točk smo najprej prenesli na računalnik, nato pa smo začeli z obdelavo podatkov. Celoten proces obdelave je sicer zahteval več različnih programskih orodij:

- *3D Survey* (za izračun 3D-oblaka točk ter digitalnega ortofota – DOF),
- *Auto CAD Civil 3D* z dodatkom *Aplitop MDT-ja* (za izdelavo tlorisnega oboda hiše in prečnih profilov),
- *Google SketchUp* (za izris 3D-modela nepremičnine oziroma stavbe) ter
- *Microsoft Excel*.

3.3.1 Obdelava podatkov v programu 3D Survey

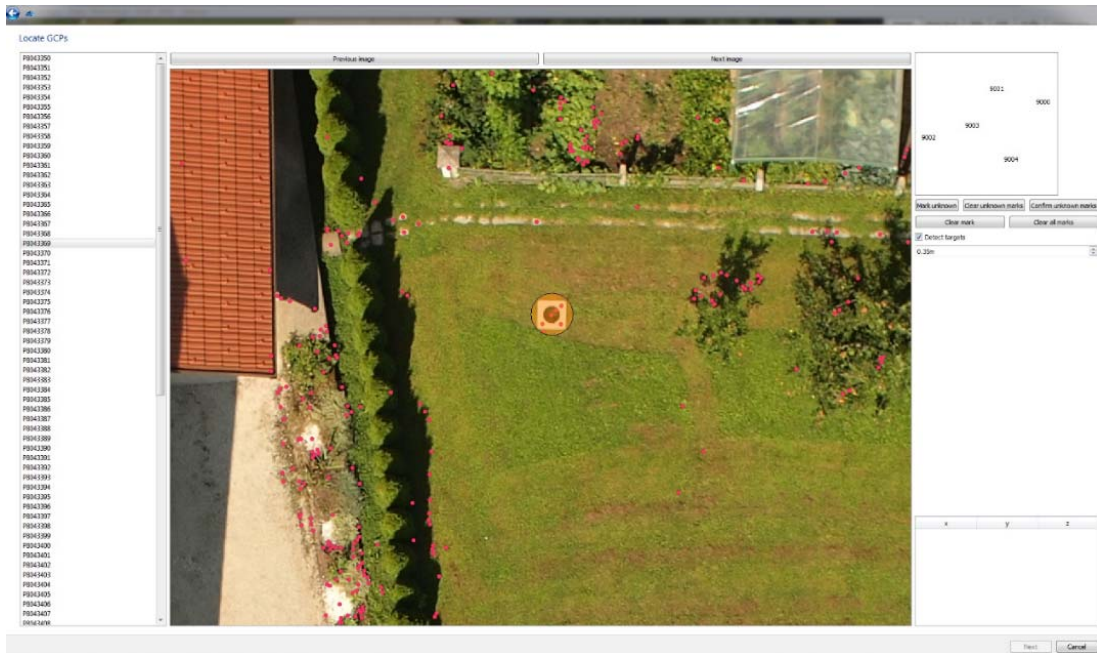
Prvi korak je bil uvoz fotografij v program *3D Survey*, in sicer skupno 199 fotografij, ki jih bo programska rešitev s pomočjo algoritma uporabila za izdelavo oblaka točk. Sledil je ukaz izravnave slikovnega snopa (angl. *bundle adjustment*) (Slika 3.4). Po opravljeni izravnavi slikovnega snopa je sledila orientacija samih posnetkov. V program smo uvozili koordinate oslonilnih točk (Preglednica 3.1), ki smo jih na terenu opazovali s sprejemnikom GNSS. Zatem smo na posnetkih poiskali (Slika 3.5) in izbrali oslonilne točke. Ko smo označili prve 3 točke, je algoritem samodejno prepoznal ostale oslonilne točke na vseh posnetkih. Nato smo jih pregledali in po potrebi premaknili na pravi položaj. V primeru, ko je bila vidljivost tarče na določenem posnetku slaba, je bila izločena iz obdelave (Slika 3.6).



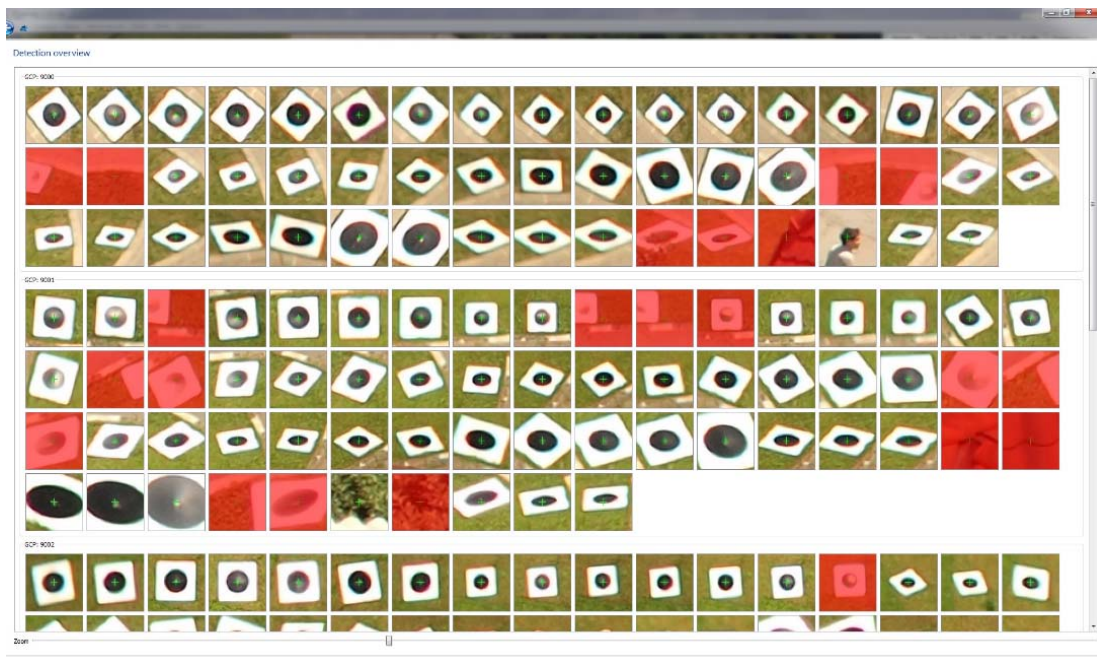
Slika 3.4: Izravnava slikovnega snopa v programu *3D Survey*

Preglednica 3.1: Koordinate oslonilnih točk v državnem koordinatnem sistemu D96/TM in z ortometričnimi višinami

Oslonilna točka	e (m)	n (m)	H (m)
9000	466.191,70	109.359,50	297,40
9001	466.171,93	109.365,02	296,65
9002	466.143,21	109.344,44	296,14
9003	466.161,53	109.349,59	297,42
9004	466.177,98	109.335,35	297,25

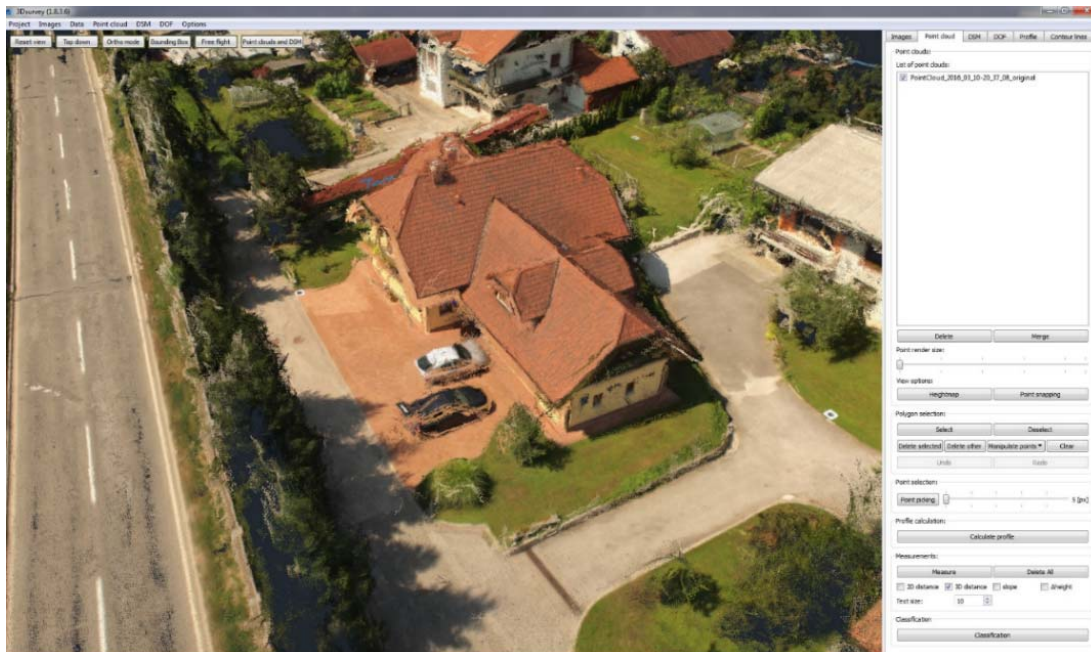


Slika 3.5: Izbor oslonilnih točk na posnetkih



Slika 3.6: Rezultat samodejnega prepoznavanja oslonilnih točk na posnetkih

Zatem je sledila izdelava oblaka točk (angl. *point cloud*), ki predstavlja osnovo za vse nadaljnje obdelave. Izbrali smo gostoto oblaka in stopnjo detajla "Extreme". Nastavili smo parametre za izračun ob minimalnem prekrivanju treh slik in izbrali optimizacijo izračuna. Tako je programska rešitev *3D Survey*, po določenem času, ki je odvisen od specifikacijah in zmognosti računalnika, generiral oblak točk (Slika 3.7).

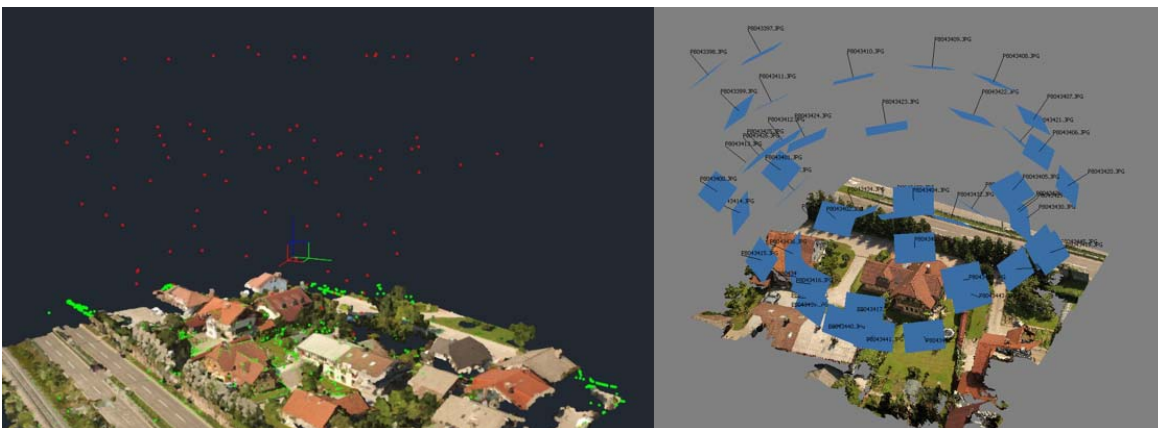


Slika 3.7: Oblak točk, v generiran v 3D Survey-u

Oblak točk, ki je v formatu *.ply (angl. *Polygon File Format*), smo shranili v obliko zapisa *.las (angl. *Laser file Format*) zaradi uvoza v *Auto CAD Civil 3D 2015* in nadaljnje obdelave. Območje, ki ga je oblak točk zajel, je znašalo 99,10 m x 101,91 m. Zajeto je bilo skupno 11.905.565 točk. V preglednici 3.2 so podane koordinate in velikost območja, ki ga zajema oblak točk ter konfiguracija bloka fotografij v prostoru (Slika 3.8).

Preglednica 3.2: Območje zajetega oblaka točk

	Min (m)	Max(m)	Dolžina (m)
e	466.124,42	466.232,52	99,10
n	109.296.85	109.398,76	101,91
H	293,34	307,84	14,50



Slika 3.8: Konfiguracija bloka fotografij v prostoru

Oblak točk smo nato uvozili v program *Auto CAD Civil 3D 2015*, kateremu smo namestili dodatek *Aplitop MDT* in v katerem smo lahko obdelovali oblak točk. Treba je bilo določiti obris stavbe v tlorisu ter obliko strehe z višinami zaradi izdelave 3D-modela v *Google SketchUp-u*. Na koncu je sledila še analiza podatkov kot tudi primerjava s katastrskimi podatki.

3.3.2 Idejne rešitve za izdelavo elementov stavbe

Po tem, ko smo v programu *3D Survey* obdelali posnetke z brezpilotnega letalnika, smo si zastavili vprašanje, kako iz generiranega oblaka točk zajeti potrebne detajle, na osnovi katerih bomo lahko izdelali 3D-model obravnavanega objekta, to je obris stavbe, vključno s streho.

Prva možnost oziroma ideja, ki se je ponudila, je bila ta, da skušamo v samem programu *3D Survey* povezati karakteristične točke vogalov in strehe ter nato takšne linije izvoziti v *Google SketchUp*, kjer bi dokončali izdelavo 3D-modela stavbe, model je tudi mogoče izpopolniti z dodajanjem barv fasade in strehe. Rešitev se je izkazala kot neustrezna iz razloga, ker je sama povezava robnih točk s to programsko rešitvijo bila težko izvedljiva, potrebovali bi neko srednjo vrednost koordinat točk, kot tudi oceno odstopanja od srednje vrednosti.

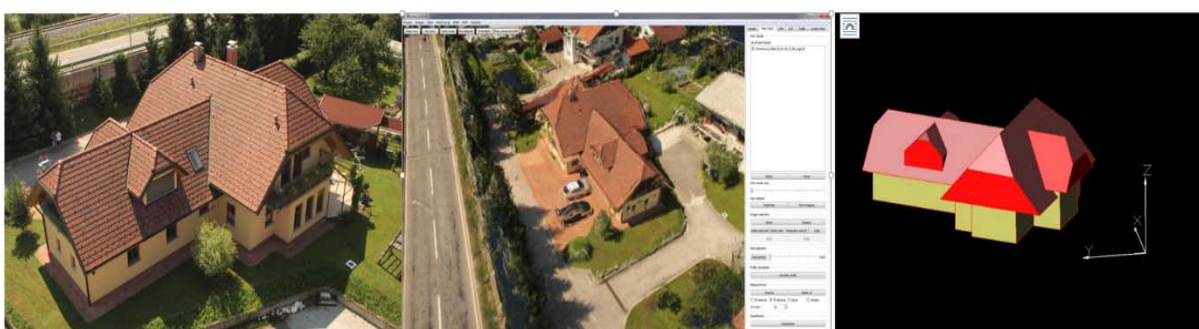
Iz omenjene ugotovitve je izhajala naslednja možnost, in sicer za izris obrisa objekta. Ideja je bila naslednja. Na posameznih vogalih naj bi določili vmesno območje, tako imenovano „*buffer cono*“ izbranega premera, na primer 20 cm, in na osnovi tako izbranih točk bi pridobili srednjo vrednost koordinat vogalnih točk. Pri tem bi točke preslikali v ravnino, tako bi dobili koordinate točk v položajnem smislu. Pomanjkljivost takega pristopa je bila ta, da določenih vogalov stavbe, glede na gostoto oblaka točk, ni bilo možno določiti. Razlog tega pa izvira iz dejstva, da so določeni deli stavb ostali „skriti“, glede na pozicijo posnetkov brezpilotnega letalnika. Ta problem bi lahko rešili na ta način, da bi v same meritve vključili še klasičen način izmere. Več o tem bo omenjeno v nadaljevanju.

Končni pristop, za katerega smo zaključili, da bi lahko podal najboljše rezultate, temelji na določitvi vogalov stavbe iz preseka premic. Na osnovi vzorca točk, ki predstavljajo fasado hiše, naj bi izračunali linearno regresijsko premico, z izračunom oddaljenosti od regresijske premice pa še odstopanja posameznih točk. Koordinate vogalov hiše, določenih na takšen način, bi lahko potem primerjali s podatki iz katastra stavb oziroma zemljiškega katastra. Glede višin smo se odločili, da je najbolj praktično, če bi določili prečne profile glede na različne dele stavbe, odvisno od konfiguracije same strehe. Na temelju teh prečnih profilov naj bi pridobili podatke, uporabne za izdelavo 3D-modela hiše. V naslednjem poglavju so predstavljeni postopek in rezultati uporabe opisanega pristopa.

»Ta stran je namenoma prazna.«

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

V tem poglavju so predstavljeni rezultati obdelave podatkov, pridobljenih s pomočjo meritev z brezpilotnega letalnika za namen vzpostavitve 3D-modela stavbe za stopnjo podrobnosti LoD2. Opisani pristop, na osnovi katerega so iz generiranega oblaka točk (Slika 4.1) pridobljeni podatki za izris obrisa in strehe stavbe. Podane so ocene natančnosti vmesnih in končnih rezultatov, opravljena je tudi analiza primerjave rezultatov s podatki iz zemljiškega katastra in katastra stavb. Na koncu je še prikazan postopek izdelave žičnega 3D-modela objekta z orodji programske rešitve *Auto CAD* in izdelan je 3D-model v okolju *Google SketchUp*.



Slika 4.1: Georeferencirani 3D-model stanovanjske hiše: od fotografije do modela

4.1 Ocena natančnosti oslonilnih in detajlnih točk

Orientacija posnetkov, zajetih s pomočjo brezpilotnega letalnika, se izvaja na osnovi oslonilnih točk, katerih koordinate določamo v državnem koordinatnem sistemu D96/TM s terensko izmero. To je potrebno zaradi tega, da lahko generiran oblak točk georeferenciramo v prostoru, to je v referenčnem koordinatnem sistemu. Preglednica 4.1 prikazuje oceno notranje natančnosti izravnave posnetkov (aposteriori ocena natančnosti). Cenilka, ki smo jo pri tem uporabili, je koren srednjega kvadratnega pogreška RMSE (angl. *Root Mean Square Error*).

Preglednica 4.1: Aposteriori ocena natančnosti izravnave posnetkov

	$\Delta e(m)$	$\Delta n(m)$	$\Delta H(m)$	$\Delta 2D(m)$	$\Delta 3D(m)$
9000	0,000	-0,007	0,015	0,007	0,017
9001	-0,003	0,000	-0,010	0,003	0,010
9002	-0,002	0,004	0,014	0,004	0,015
9003	-0,006	-0,001	-0,013	0,006	0,014
9004	-0,011	0,005	-0,005	0,012	0,013
RMSE	0,006	0,004	0,012	0,007	0,014

RSME je koren srednjega kvadratnega pogreška in je izračunan na osnovi naslednjih enačb (Pucelj in sod.,2005):

$$\begin{aligned}
 RMSE(e) &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta e^2}{N}}, & RMSE(n) &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta n^2}{N}}, & RMSE(H) &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta H^2}{N}} \\
 RMSE(2D) &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta 2D^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta e^2 + \Delta n^2)}{N}}, \\
 RMSE(3D) &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta 3D^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta e^2 + \Delta n^2 + \Delta H^2)}{N}}, \tag{1}
 \end{aligned}$$

kjer je n število oslonilnih točk, e , n in H so koordinate oslonilnih točk v sistemu D96/TM oziroma ortometrična višina. Vrednosti Δe , Δn in ΔH predstavljajo razlike med terensko izmerjenimi oslonilnimi točkami in koordinatami, izračunanimi v izravnavi bloka posnetkov. Podatki iz preglednice (Preglednica 4.2) kažejo, da so odstopanja v vseh koordinatnih oseh zelo majhna, položajno odstopanje ($\Delta 2D$) znaša le 0,7 cm, prostorsko ($\Delta 3D$) pa 1,4 cm.

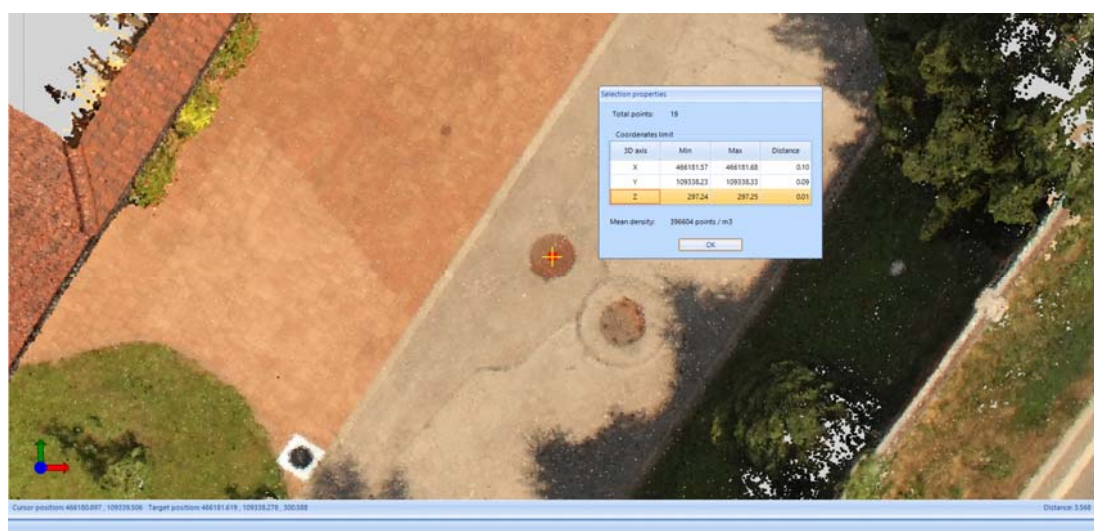
Za ocenjevanje kakovosti generiranega oblaka točk smo na terenu izmerili še ne nekaj detajlnih točk (Slika 4.2; Slika 4.3), ki so nam služile kot kontrolne točke, katerih položaje (koordinate) smo primerjali z identičnimi točkami v oblaku točk. Razlika v položaju med točkami GNSS in točkami iz oblaka točk znaša 2 cm, prostorsko pa 4 cm (Preglednica 4.2). Iz tega se da zaključiti, da podatke, pridobljene s pomočjo meritev z brezpilotnega letalnika, lahko uporabimo za namene zemljiškega katastra, ker zadostujejo predpisani natančnosti določitve koordinat zemljiškokatastrskih točk, kjer mora biti daljša polos elipse zaupanja krajša od 4 cm.

Preglednica 4.2: Ocena natančnosti detajlnih točk

Točka	GNSS			Oblak točk			Odstopanja koordinat kontrolnih točk				
	e(m)	n(m)	H(m)	e(m)	n(m)	H(m)	Δe (m)	Δn (m)	ΔH (m)	$\Delta 2D$ (m)	$\Delta 3D$ (m)
1	466.182,63	109.337,29	297,35	466.182,64	109.337,31	297,28	-0,01	-0,02	0,07	0,02	0,07
2	466.181,62	109.338,28	297,24	466.181,63	109.338,27	297,24	-0,01	0,02	0,00	0,02	0,02
3	466.180,08	109.340,10	297,33	466.180,08	109.340,10	297,31	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02
4	466.187,68	109.353,44	297,25	466.187,68	109.353,43	297,24	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02
5	466.194,24	109.354,43	297,49	466.194,23	109.354,41	297,47	0,01	0,03	0,02	0,03	0,04
6	466.178,31	109.363,26	296,51	466.178,31	109.363,26	296,50	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
7	466.169,84	109.362,11	296,43	466.169,87	109.362,10	296,41	-0,03	0,02	0,02	0,03	0,04
8	466.159,89	109.356,35	296,36	466.159,93	109.356,34	296,37	-0,03	0,01	-0,01	0,03	0,03
9	466.152,07	109.339,31	297,43	466.152,09	109.339,32	297,40	-0,02	0,00	0,03	0,02	0,03
10	466.162,60	109.339,63	297,47	466.162,62	109.339,64	297,44	-0,02	-0,01	0,03	0,02	0,04
11	466.169,80	109.333,79	297,53	466.169,77	109.333,80	297,10	0,03	-0,01	0,02	0,03	0,04
						RMSE	±0,02	±0,01	±0,03	±0,02	±0,04



Slika 4.2: Detajlne točke 1, 2 in 3



Slika 4.3: Detajlna točka 2 na oblaku točk

4.2 Določitev obrisa stavbe

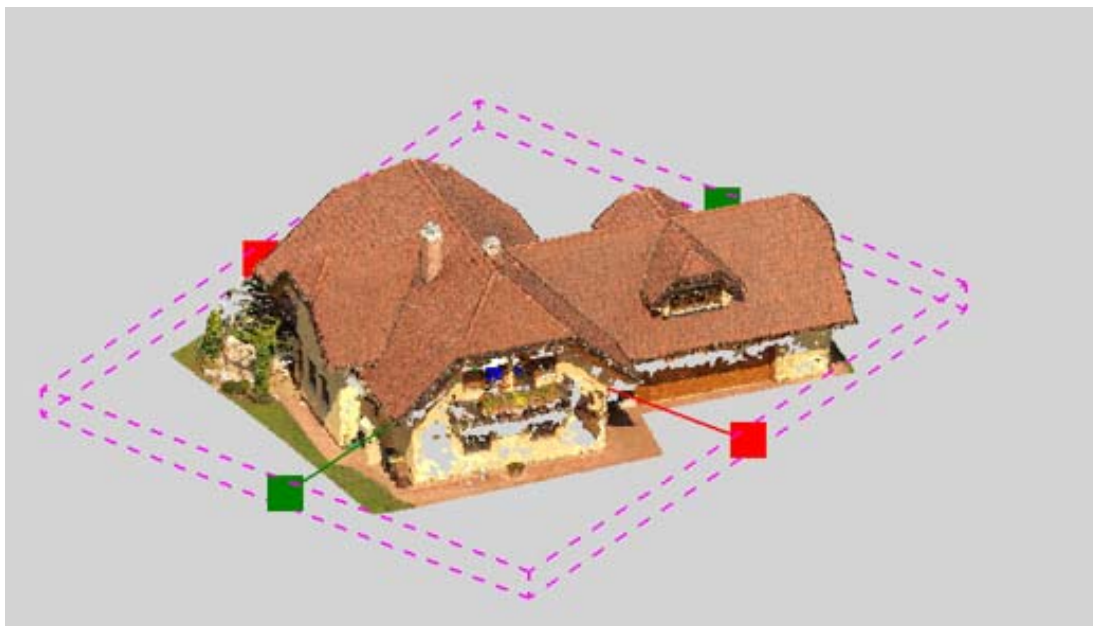
Določitev obrisa stavbe je predstavljal eden večjih izzivov pri izdelavi te diplomske naloge. Bilo je treba določiti pristop, s katerim naj bi iz generiranega oblaka točk čim bolj natančno pridobili koordinate vogalov objekta, ki bi lahko bili primerljivi s podatki katastra stavb. Kot matematično izhodišče smo uporabili linearno regresijsko premico in enačbo oddaljenosti točke od premice, za določitev odstopanja vsake posamezne točke od premice. Namen je bil določiti premico, za vsako fasado objekta posebej (s fasado pri tem označujemo vertikalno ravnino, ki predstavljajo del celotnega vertikalnega oboda hiše), nato pa s preseki teh premic pridobiti vogale stavbe (Slika 4.4).



Slika 4.4: Vogali hiše, določeni na osnovi preseka premic robov hiše

Na začetku je bilo treba določiti pas oziroma snop iz oblaka točk (Slika 4.5), na osnovi katerih smo računali regresijsko premico. Vseh točk vsake fasade (posamezne vertikalne ravnine) ni bilo smiselno vzeti v obdelavo. Odločili smo se za snop, ki se nahaja približno 0,5 m od tal in ki je širok približno 1 m. Izbran je tako, ker je na tej višini fasada bila najbolj vidna. Celotni snop je vseboval 84.489 točk.

Točkam posamezne fasade smo nato izločili višinsko komponento, tako da smo dobili projekcijo točk na ravnino ter jih izvozili v program *Microsoft Excel*, kjer smo opravili celoten izračun. Zaradi velikega števila točk smo v obdelavo vzeli le določen vzorec, ki je znašal 10–50 %, odvisno od dolžine in gostote oblaka točk na posamezni fasadi.



Slika 4.5: Določitev snopa točk za nadaljnjo obdelavo

Sledil je izračun linearne regresijske premice (računali smo koeficienta a in b) za posamezno fasado, to je za posamezno vertikalno ravnino, ki predstavlja premico v ravnini linearne funkcije. Premico smo računali za vsako posamezno fasado, po koordinatnih oseh, na osnovi enačb (Bilić in Kuruc, 2014):

$$n_i = a + b \cdot e_i \quad (2),$$

kjer sta a in b koeficienta premice, e in n pa koordinate posameznih točk v državnem koordinatnem sistemu D96/TM, N pa število točk. Tako smo koeficienta a in b določili kot:

$$b = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^n e_i \cdot n_i - \sum_{i=1}^n e_i \cdot \sum_{i=1}^n n_i}{N \cdot \sum_{i=1}^n e_i^2 - (\sum_{i=1}^n e_i)^2} \quad \text{in} \quad (3)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{N} - b \cdot \frac{\sum_{i=1}^n n_i}{N}.$$

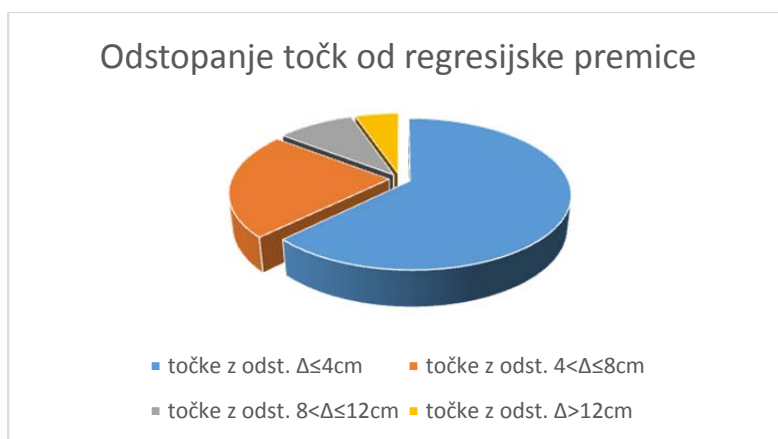
Pravokotno oddaljenost točk oziroma odstopanje od regresijske premice smo računali s pomočjo enačbe premice v implicitni obliki (4), za vsako posamezno točko je bil izračunat popravek Δ :

$$Ax + By + C = 0. \quad (4)$$

Preglednica 4.3: Ocena natančnosti fasad

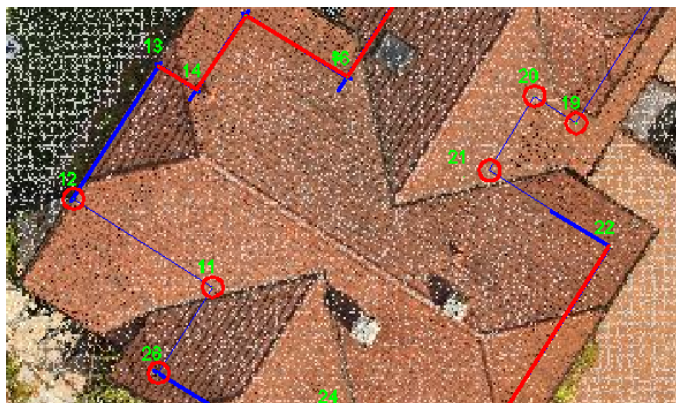
Fasada	Testno število točk	Max odst.(m)	Točke z odst. $v \leq 4\text{cm}$	Točke z odst. $4 < v \leq 8\text{cm}$	Točke z odst. $8 < v \leq 12\text{cm}$	Točke z odst. $v > 12\text{cm}$	RMSE(m)
1	1073	0.19	602	287	152	32	± 0.06
2	1026	0.29	499	303	157	167	± 0.09
3	227	0.23	139	54	21	13	± 0.06
4	1700	0.27	941	455	183	121	± 0.07
5	804	0.20	508	197	61	38	± 0.06
6	1189	0.13	1063	114	10	2	± 0.03
9	1826	0.21	1334	346	115	31	± 0.05
10	1179	0.27	497	315	190	177	± 0.09
11	2209	0.21	1298	516	260	135	± 0.06
12	566	0.20	386	120	45	15	± 0.05
13	1506	0.17	1096	301	95	14	± 0.04
14	1055	0.15	696	286	57	16	± 0.05
Skupaj	14360		9059	3294	1346	761	
			63%	23%	9%	5%	

Iz preglednice 4.3 je razvidno, da znaša največje odstopanje koordinate točke od linearne regresijske premice 29 cm, največ pa je bilo točk, ki so od regresijske premice odstopale za manj kot 4 cm (Slika 4.2). RMSE celotne fasade je znašal ± 6 cm. Pri tem smo opazili, da so največja odstopanja pri krajših fasadah.



Slika 4.6: Diagram velikostnih razredov odstopanj točk od linearne regresijske premice

Problem, ki smo ga pri postopku določevanja vogalnih točk hiše opazili, je ta, da določenih vogalov ni bilo mogoče določiti z opisanim pristopom (Slika 4.7). Razlog je slaba gostota oblaka točk in nekatere zelo kratke razdalje posameznih fasad. Za namen izdelave 3D-modela stavbe smo omenjene vogale določili na ta način, da smo dimenzije prevzeli iz podatkov zemljiškega katastra – katastrskega načrta.



Slika 4.7: Nedoločene točke vogalov stavbe

Sledila je primerjava koordinat vogalov hiše, določenih na podlagi zemljiškega katastra (zemljišče pod stavbo), ter koordinat vogalov hiše, določenih iz oblaka točk. Odstopanja so izračunata iz enačb (5) (Kuhar, 2008):

$$\Delta e = e_{iZK} - e_i, \quad \Delta n = n_{iZK} - n_i, \quad \Delta 2D = \sqrt{(\Delta e)^2 + (\Delta n)^2} \quad (5)$$

kjer so e in n koordinate posameznih točk vogalov hiše v državnem koordinatnem sistemu D96/TM.

Preglednica 4.4: Primerjava med oblakom točk in podatkov zemljiškega katastra

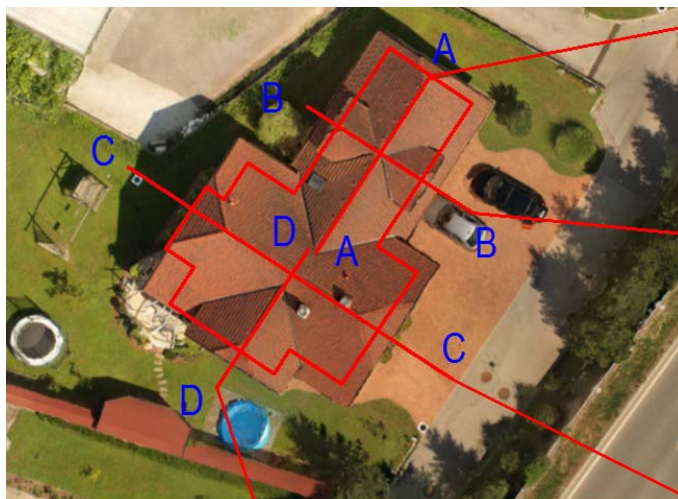
Točka	$e_{ZK}(m)$	$n_{ZK}(m)$	$e(m)$	$n(m)$	$\Delta e(m)$	$\Delta n(m)$	$\Delta 2D(m)$
11	466.166,99	109.343,19					
12	466.163,26	109.345,55					
13	466.165,55	109.349,11	466.165,55	109.349,12	0,00	-0,01	0,01
14	466.166,58	109.348,44	466.166,57	109.348,48	0,01	-0,04	0,04
15	466.167,87	109.350,46	466.167,89	109.350,47	-0,02	-0,01	0,02
16	466.170,57	109.348,77	466.170,10	109.348,82	-0,03	-0,05	0,06
17	466.175,96	109.357,14	466.175,99	109.357,14	-0,02	0,00	0,03
18	466.180,87	109.353,96	466.180,10	109.354,02	0,06	-0,06	0,09
19	466.176,74	109.347,58					
20	466.175,62	109.348,31					
21	466.174,42	109.346,32					
22	466.177,66	109.344,50	466.177,63	109.344,29	0,03	-0,04	0,06
23	466.173,45	109.337,66	466.173,48	109.337,75	-0,03	-0,09	0,09
24	466.170,25	109.339,71	466.170,29	109.339,71	-0,04	0,00	0,04
25	466.169,10	109.338,41	466.169,00	109.338,49	0,01	-0,08	0,08
26	466.165,52	109.340,86					
						RMSE	±0,06

Iz končne primerjave koordinat, določenih iz oblaka točk (e , n) in koordinat zemljiškega katastra (e_{ZK} ,

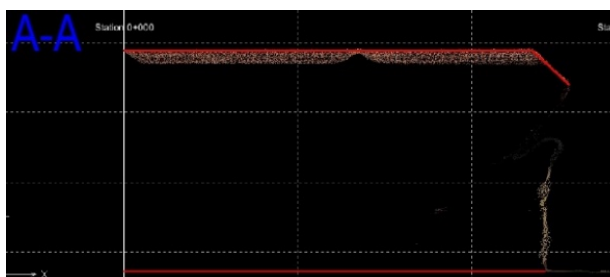
n_{ZK}) (Preglednica 4.4) je razvidno, da znaša koren srednjega kvadrata odstopanja v položajnem smislu ($\Delta 2D$) ± 6 cm, pri tem je najmanjše odstopanje le 1 cm, največje pa 9 cm. Prazna polja v preglednici predstavljajo koordinate vogalov, ki jih iz oblaka točk ni bilo mogoče določiti.

4.3 Določitev oboda strehe

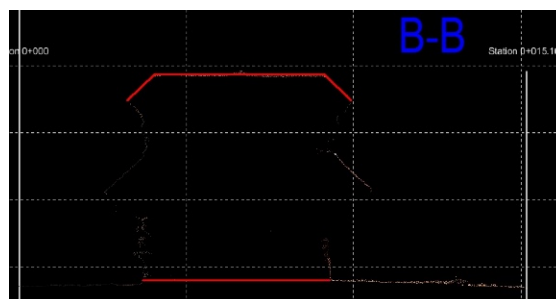
Naslednji korak pri izdelavi 3D-modela stavbe je izdelava prečnih profilov. Profile smo izdelali zato, da lahko iz njih preberemo dimenzije, ki jih bomo v nadaljevanju uporabili za izdelavo 3D-modela stanovanjske hiše. Določili smo 4 prečne profile (A-A, B-B, C-C in D-D) (Slika 4.8, Slika 4.9, Slika 4,10, Slika 4.11, Slika 4.12). Pri tem smo določili širino snopa točk 10 cm, in sicer 5 cm levo in 5 cm desno od linije prečnega profila.



Slika 4.8: Prikaz prečnih profilov: A-A, B-B, C-C in D-D



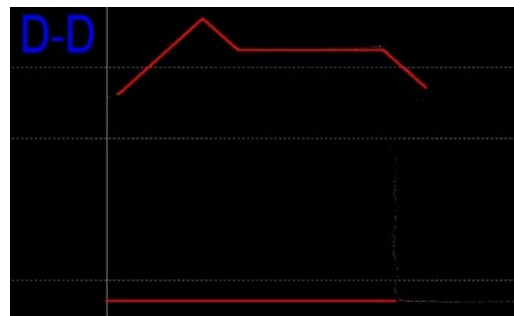
Slika 4.9: Profil A-A



Slika 4.10: Profil B-B



Slika 4.11: Profil C-C



Slika 4.12: Profil D-D

Preglednica 4.5 predstavlja odstopanje posameznih višin slemen od srednje vrednosti, ki smo jo izračunali na osnovi enačbe (6):

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{N}, \quad (6)$$

kjer je N število vseh točk, ki predstavljajo posamezno sleme, H pa ortometrična višina (višinska komponenta položaja) posamezne točke.

Preglednica 4.5: Določitev odstopanj (ΔH) višin posameznih slemen glede na srednjo vrednost

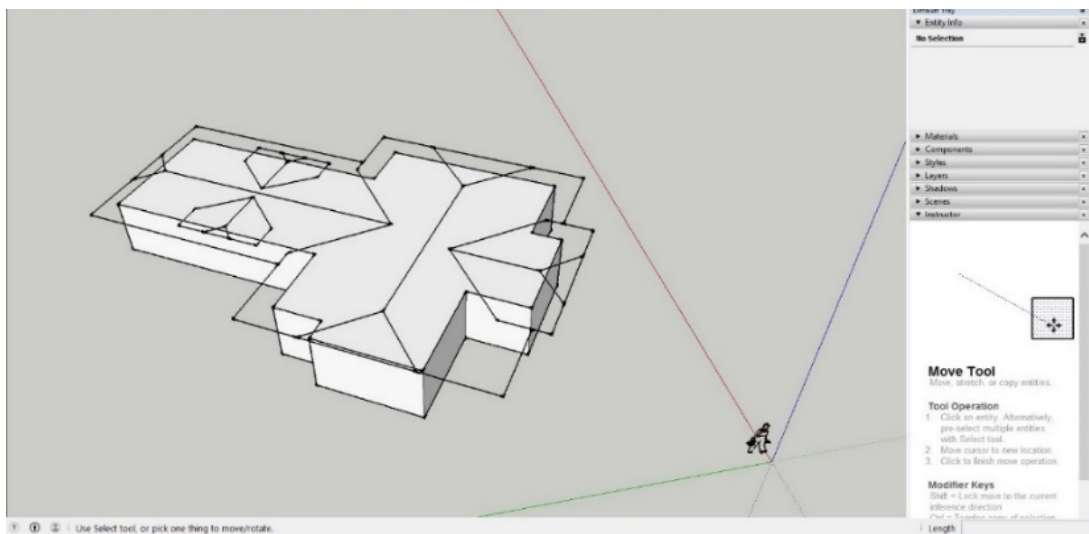
Sleme (profil)	Srednja višina (m)	Število testnih točk	Min ΔH (m)	Max ΔH (m)	Število točk z odstopanjem $\Delta H \leq 4\text{cm}$	Število točk z odstopanjem $\Delta H > 4\text{cm}$	RMSE (H) (m)
A-A	303,79	3614	-0,08	0,09	3204	410	$\pm 0,03$
B-B	303,74	1729	-0,09	0,06	1627	102	$\pm 0,03$
C-C	305,34	2831	-0,04	0,04	2831	0	$\pm 0,01$
D-D	304,53	1321	-0,08	0,05	1252	69	$\pm 0,02$
Skupaj		9495			8914	581	
					94%	6%	



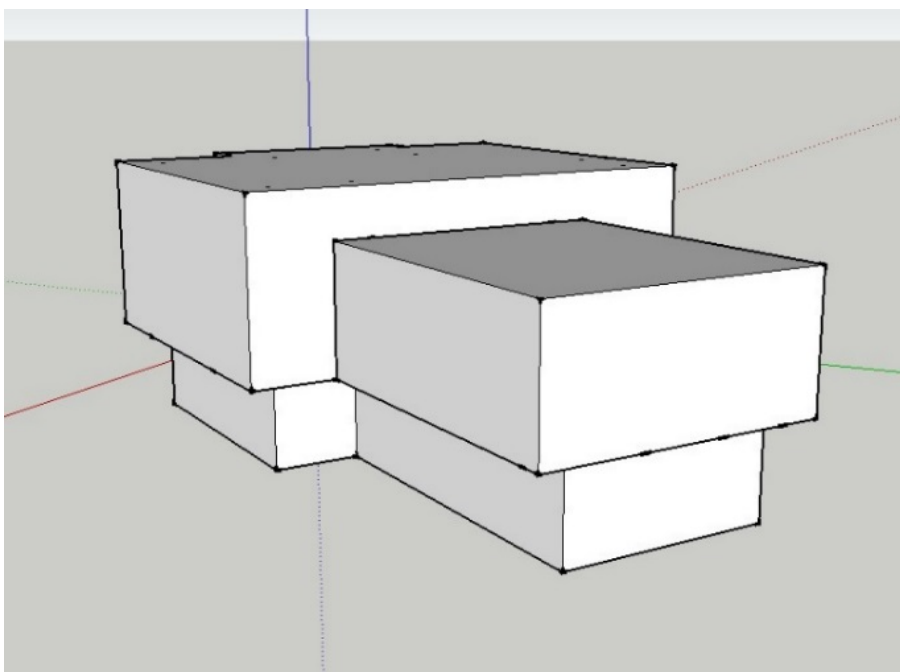
Slika 4.13: Diagram odstopanj višin točk od srednje vrednosti

4.4 Izdelava 3D-modela v *Google SketchUp-u*

Potem ko smo iz obrisa stavbe prečnih profilov strehe pridobili vse potrebne dimenzije objekta, smo lahko nadaljevali z izdelavo 3D-modela hiše. Najprej smo v *Google SketchUp* uvozili izrisan tloris oboda hiše in strehe. Nato je sledila izdelava tlorisa hiše in z orodjem *Push/Pull* smo določili višino kapi, ki smo jo prebrali iz prečnega profila (Slika 4.14). Enako smo postopek ponovili, da bi pridobili končno višino strehe v slemenu (Slika 4.15).

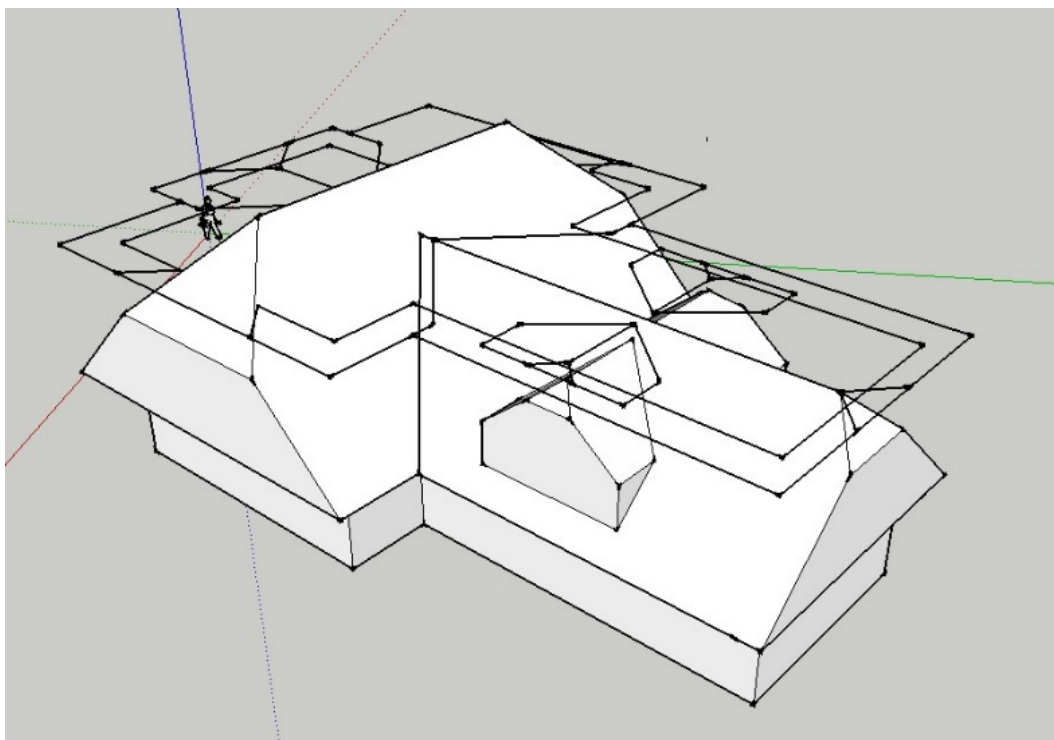


Slika 4.14: Nastavitev modela na višino kapi

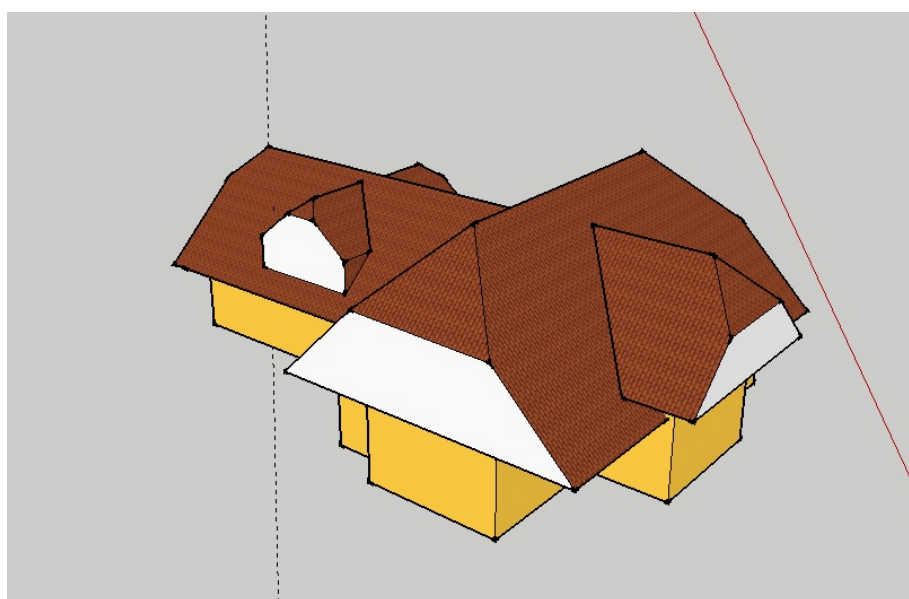


Slika 4.15: Nastavitev modela na višino slemen

Glede na to, da je streha nepravilne oziroma razgibane oblike, je bilo treba previdno nanašati podatke, ki smo jih prebrali iz prečnih profilov. Z dodajanjem oziroma rezanjem modela smo na koncu prišli do končne oblike modela hiše. Zadnji korak je bil dodajanje barve na fasado in streho, tako da smo dobili bolj realen prikaz same hiše (Slika 4.17), za še bolj realen prikaz bi lahko uporabili fotografije fasade.



Slika 4.16: Modeliranje strehe



Slika 4.17: Končni 3D-model stanovanjske hiše

Na ta način smo pridobili končni 3D-model stanovanjske hiše za raven podrobnosti LoD2.

4.5 Razprava

Namen diplomske naloge je bil proučiti možnosti zajema podatkov za vzpostavitev 3D-predstavitve stavb v okviru 3D-katastra nepremičnin, kjer smo se omejili na zunanost stavbe in model podrobnosti 3D-modela LoD 2. Pri tem smo se omejili na možnosti zajema prostorskih podatkov z uporabo brezpilotnih letal (angl. *Unmanned Aerial Vehicle*, UAV). Na praktičnem primeru smo z izbranim letalnikom in v sodelovanju s podjetjem Modri planet d. o. o. pridobili podatke za izdelavo 3D-modela stanovanjske hiše, ter z orodji programskih rešitev *Auto CAD in SketchUp* izdelali 3D-model stavbe, ker je bil tudi končni cilj empiričnega dela te diplomske naloge.

Ugotovili smo, da je mogoče s podatki brezpilotnih letalnikov dobiti podatke, ki so potrebni za izdelavo 3D-modela stavb s stopnjo podrobnosti, kot prikazano v tej nalogi (LoD 2). Težave so predvsem v podrobnostih, ki jih iz zraka ne moremo takoj opaziti (podrobnosti na fasadi ipd.), kjer bi morali kombinirati s terensko izmero. V našem primeru smo si pomagali s podatki zemljišča pod stavbo, vendar tudi brez tega vhodnega podatka smo uspeli iz oblaka točk pridobiti pomembne podatke o podrobnosti fasade stavbe (vertikalne linije, vogale stavb), ki smo jih uporabili za izdelavo 3D-modela stavbe.

Z brezpilotnimi letalniki dobimo tudi bogate podatke o teksturi strehe in fasade, ki bi jih lahko uporabili za vizualizacijo modelov, vendar pa tega v nalogi nismo naredili, ker bi presevalo cilje naloge.

5 ZAKLJUČEK

Glavni cilj diplomske naloge je bil preveriti, ali je možno na osnovi meritev z brezпилotnih letalnikov pridobiti dovolj kakovostne prostorske podatke, ki bi bili lahko primerljivi s podatki, ki se trenutno vodijo v nepremičninskih evidencah oziroma kakšne so možnosti uporabe omenjene tehnologije pri vzpostavitvi 3D-katastra stavb. Pri tem smo se osredotočili na stopnjo podrobnosti LoD2.

Glede na rezultate in odstopanja koordinat točk, pridobljenih s primerjavo koordinat oblaka točk letalskega snemanja in referenčnih katastrskih podatkov, ki se gibljejo okoli 6 centimetrov v položajnem in v višinskem smislu, lahko zaključimo, da je možno s tovrstno tehnologijo priti do uporabnih podatkov za ta namen. Domnevamo, da bi končne rezultate še izboljšali, če bi poleg meritev z brezпилotnega letalnika v nalogo vključili še klasično metodo izmere. Pri tem je predvsem mišljeno to, da bi opazovali tiste karakteristične točke, ki se nahajajo na fasadi objekta in pod streho ter jih je zato na osnovi snemanja iz zraka težko določiti. Na ta način bi imeli tudi več oslonilnih točk, s katerimi bi orientacija posnetkov, še zlasti stranskih, bila bolj natančno izvedena. Iz letalskih posnetkov generiran oblak točk bi bil posledično veliko bolj kakovosten ali pa bi vsaj zmanjšali težave, ki smo jih srečali pri obdelavi podatkov, in sicer da zaradi pomanjkanja oziroma manjše gostote oblaka točk na določenih bolj „skritih“ delih stavbe ne moremo priti do podatkov, s katerimi bi določili položaj vogala objekta.

Ne glede na pravkar omenjeno, ima tovrstna tehnologija zagotovo prednosti v primerjavi s klasično terensko izmero, ki jih velja izpostaviti:

- zajem podatkov je veliko hitrejši od klasičnih metod izmere. Ogromno podatkov smo pridobili v komaj 20-tih minutah,
- število točk, ki smo jih zajeli, je neprimerljivo večja od števila pri klasičnih metodah izmere, ker smo v relativno kratkem času pridobili osnovo za pridobitev več kot 11 milijonov točk,
- takšen način meritev omogoča pridobitev velike količine semantičnih informacij,
- opazna prednost je tudi na primeru izmere strehe, kjer s klasičnimi metodami ni mogoče zajeti vseh detajlov strehe,
- s pomočjo meritev z brezпилotnega letalnika zajamemo podatke veliko večjega območja, tudi pokritost objekta z meritvami je opazno večja.

Naj omenimo tudi nekaj pomankljivosti, s katerimi smo se pri postopku izdelave 3D-modela in obdelave podatkov zajetih z brezпилotnimi letalniki srečali. Poleg že omenjenega problema z določitvijo vogalov stavbe je treba povedati, da zaenkrat ni jasne in preproste metode obdelave podatkov (oblaka točk), na osnovi katere bi lahko enostavno prišli do 3D-modelov objektov, za kar bi bilo treba razviti kakšno dodatno programsko rešitev.

Končni zaključek je ta, da lahko z uporabo brezpilotnih letalnikov pridobimo kakovostne podatke, za vzpostavitev 3D-katastra stavb, katerih natančnost bi lahko še izboljšali v kombinaciji s klasičnimi metodami izmere. V Sloveniji sicer še ni vzpostavljen 3D-kataster nepremičnin, vendar je realno pričakovati, da se bo v prihodnosti tudi to spremenilo. Številne države že razvijajo modele za vzpostavitev 3D-katastra nepremičnin in jim bo Slovenija zagotovo sledila, saj ima navsezadnje že pomemben vir podatkov o stavbah in delih stavb v katastru stavb. Zato bi že sedaj lahko v postopku izmere zajemali nekaj več podatkov, ki bi jih kasneje uporabili za nadgradnjo obstoječega sistema.

VIRI

Bennett, R., Rajabifard, A., Kalantari, M., Wallace, J., Williamson, I. 2011. Cadastral Features. V: Building a new vision for the nature and role of cadastres. International federation of surveyors: 14 str.

Bilić, T., Kuruc, A. Pravac regresije. 2014. Zagreb. Sveučilište u Zagrebu. Seminarska naloga: 21 str.

Bitenc, M. 2014. Brezpilotni letalniki – od igrače do večnamenskih robotov. Geodetski vestnik 58, 1: 155–158.

Cetl, V., Tomić, H., Lisjak, J. 2013. Primjena 3D modela u upravljanju gradom. Študija. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu: 88 str.

Ferlan, M. 2005. Geodetske evidence. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 262 str.

Grilc, M. 2007. Osnovne nepremičninske evidence – zemljiški kataster in kataster stavb. Ljubljana. Izobraževanje nepremičninskih posrednikov: 29 str.

https://issuu.com/digidata_doo/docs/abc_neprem_predavanje_posrednikom (Pridobljeno: 15. 7. 2016.)

Grilc, M., Pogorelčnik, E., Triglav, M., Pegan-Žvokelj, M. 2003. Vzpostavitev katastra stavb – registrski podatki. Geodetski vestnik 47, 3: 193–213.

Janežič, H. 2004. Možnosti vzpostavitve 3D katastra stavb. Ljubljana, Univerza v Ljubljani. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Diplomaska naloga: 101 str.

Kolarek, M. 2009. City GML. Ekscentar 11: 32–35.

Kolarek, M. 2010. Bepilotne letjelice za potrebe fotogrametrije. Ekscentar 12: 70–73.

Kuhar, M. 2008. Izbrana poglavja – študijsko gradivo. Univerza v Ljubljani. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 9 str.

Lisec, A., Ferlan, M., Čeh, M., Trobec, B., Drobne, S. 2015. Analiza kakovosti Registra nepremičnin in predlog sistema za zagotavljanje kakovosti podatkov. Poročilo projekta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 79 str.

Mahne, M. 2011. Možnost vzpostavitve 3D katastra v Sloveniji. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 38 str.

Paasch, J. M., Paulsson, J., Navratil, G., Vučić, N., Kitsakis, D., Karabin, M., El-Mekawy, M. 2016. Building a modern cadastre: legal issues in describing real property in 3D. Geodetski vestnik 60, 2: 256–268. doi:10.15292/geodetski-vestnik.2016.02.256-268

Paulsson, J. 2007. 3D Property Rights – An Analysis of Key Factors Based on International Experience. Doktorska disertacija: 325 str.

Pravilnik o vpisih v kataster stavb. Uradni list RS št. 73/2012: 7273.

Pucelj, B., Kosmatin, F. M., Grigillo, D. 2005. Primerava metrične natančnosti analognega in digitalnega fotoaparata visoke ločljivosti. Geodetski vestnik 49, 2: 208–219.

Stanovanjski zakon (SZ-1). Uradni list RS št. 69/2003: 10633.

Stoter, J. E. 2004. 3D Cadastre. Doktorska disertacija. Delft, University of Technology: 296 str.

Stvarnopravni zakonik (SPZ). Uradni list RS št. 87/2002: 9559.

Šumrada R. 2009. Trirazsežni pristopi za modeliranje stavb, mest in pokrajin. Geodetski vestnik 53, 4: 695–713.

Uredba o sistemih brezpilotnih zrakoplovov. Uradni list RS št. 52/201: 7838.

Uredba o načinu vpisa upravljavcev nepremičnin v zemljiški kataster in kataster stavb. Uradni list RS št. 121/2006: 12931.

Uredba o označevanju stanovanj in poslovnih prostorov. Uradni list RS št. 63/2006: 6839.

Vučić N. 2015. Podrška prijelazu iz 2D u 3D katastar u Republici Hrvatskoj. Doktorska disertacija. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu: 168 str.

ZEN. 2006. Zakon o evidentiranju nepremičnin. Uradni list RS št. 47/2006: 5029.

ZENDMPE. 2000. Zakon o evidentiranju nepremičnin, državne meje in prostorskih enot. Uradni list

RS št. 47/2006: 6921.

ZgeoD-1. 2010. Zakon o geodetski dejavnosti. Uradni list RS št. 77/2010: 11281.

Zupan, M., Lisec, A., Ferlan, M., Čeh, M. 2014. Razvojne usmeritve na področju zemljiškega katastra in zemljiške administracije. Geodetski vestnik 58, 4: 710–723. doi:10.15292/geodetski-vestnik.2014.04.710-723