

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

V zbirki je izvirna različica doktorske disertacije.

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

University
of Ljubljana
Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



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

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

This is an original PDF file of doctoral thesis.

When citing, please refer as follows:

Drobež, P. 2016. Analiza možnosti vzpostavitve 3D katastra ob uporabi virov daljinskega zaznavanja. Doktorska disertacija = Analysis of the possibility of establishing 3D cadastre using the remote sensing technologies. Doctoral dissertation. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 167 str. (mentorica: Lisec, A., somentorica: Kosmatin Fras, M.).

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5903/>

Datum arhiviranja / Archiving Date: 26-09-2016

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

**PODIPLOMSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GEODEZIJA**

Kandidatka:

PETRA DROBEŽ

**ANALIZA MOŽNOSTI VZPOSTAVITVE 3D KATASTRA
OB UPORABI VIROV DALJINSKEGA ZAZNAVANJA**

Doktorska disertacija št.: 254/DR

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF ESTABLISHING
3D CADASTRE USING THE REMOTE SENSING
TECHNOLOGIES**

PhD Thesis No.: 254/DR

Mentorica:

izr. prof. dr. Anka Lisec

Somentorica:

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

Ljubljana, 20. 09. 2016

Spodaj podpisana študentka **Petra Drobež**, vpisna številka **26207215**, avtorica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: **Analiza možnosti vzpostavitve 3D katastra ob uporabi virov daljinskega zaznavanja**

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 pridobila vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označila;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnala v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobila soglasje etične komisije;

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

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

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

V: Ljubljani

Datum: 20. 9. 2016

Podpis študentke:

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 355.227:528.44:528.8(497.4)(043)
Avtor: Petra Drobež, univ. dipl. inž. geod.
Mentor: izr. prof. dr. Anka Lisec
Somentor: doc. dr. Mojca Kosmatin Fras
Naslov: Analiza možnosti vzpostavitve 3D katastra ob uporabi virov daljinskega zaznavanja
Tip dokumenta: doktorska disertacija
Obseg in oprema: 167 str., 15 pregl., 94 sl., 1 en.
Ključne besede: zemljišče, nepremičnina, zemljiški kataster, kataster stavb, zemljiška administracija, 3D-kataster, daljinsko zaznavanje

Izvleček

V doktorski nalogi smo analizirali možnosti vzpostavitve 3D-katastra nepremičnin ob uporabi virov daljinskega zaznavanja. Skupaj smo obravnavali dve področji, in sicer zemljiško administracijo ter daljinsko zaznavanje. Ugotovili smo, da je za popolno in kakovostno evidentiranje pravic, omejitev in odgovornosti na nepremičninah ter za evidentiranje drugih podatkov o nepremičninah potrebna vzpostavitev 3D-katastra. Zemljiška parcela kot osnovna enota parcelnega katastra ne omogoča popolnega in preglednega evidentiranja pravic, omejitev in odgovornosti. Prav tako ne omogoča podatkovne podpore drugim namenom zemljiške administracije, kot so vrednotenje nepremičnin in podpora upravljanju nepremičnin ter prostorskemu načrtovanju. Osnovna enota predlaganega modela 3D-katastra je 3D-nepremičninska enota, ki se nanaša na nepremičnino, ki je prostorsko omejena tako položajno kot višinsko. Za namene vzpostavitve 3D-katastra smo analizirali primernost izbranih tehnologij daljinskega zaznavanja. Ugotovili smo, da so glede na visoke zahteve po natančnosti in točnosti določitve položaja za zajem mejnih znamenj edini primerni brezpilotnimi letalnimi sistemi. Za zajem streh stavb in prometnic se priporoča uporaba stereoparov letalskih posnetkov in aerolaserskega skeniranja. Teoretične izsledke smo preizkusili na praktičnem primeru. Za zajem mejnih znamenj so se kot ustrezni izkazali brezpilotni letalni sistemi, s katerimi smo dosegli visoko točnost položaja, ki je primerljiva klasični terestrični izmeri. Ugotovili smo, da fotogrametrični oblak točk državnega aerolaserskega skeniranja Slovenije z ločljivostjo 5 točk/m² zadošča za zajem značilnih točk streh in prometnic. Poleg podatkov daljinskega zaznavanja so ključnega pomena za vzpostavitev 3D-katastra podatki o prostorskih razsežnostih delov stavb ter prostorskih razsežnosti stavb in drugih gradbeno-inženirskih objektov nad in pod površjem Zemlje, ki jih s tehnologijami daljinskega zaznavanja iz zraka ni mogoče pridobiti. Ugotovitve smo strnili v preučevanju možnosti za vzpostavitev 3D-katastra v Sloveniji v smislu nadgradnje obstoječega sistema. Za primer stavbe smo izdelali trirazsežni model stavbe, ki vključuje katastrske podatke, vključujoč etažne načrte in prereze stavbe. Dodatni podatki, ki jih pri tem potrebujemo, so oblika strehe (te je mogoče dobiti z metodami daljinskega zaznavanja) ter višinska razsežnost etaž oziroma prostorov (to je edini podatek, ki bi ga bilo treba dodatno pridobiti na temelju terenskega ogleda). Obstoječa zakonodaja omogoča trirazsežno evidentiranje stavb. Prometnic in drugih gradbeno-inženirskih, ki niso zemljiška parcela ali stavba, pa v Sloveniji še ni mogoče evidentirati, zato smo predlagali uvedbo 3D-nepremičninske enote, ki se lahko uporabi tudi za druge podzemne in nadzemne trirazsežne objekte. Pomembni nadaljnji izzivi se nanašajo na podrobnejšo opredelitev podatkovnih modelov katastra, uvedbo časovne komponente v podatkovni model katastra nepremičnin in podrobnejšo opredelitev postopkov (»dogodkov«) spreminjanja oziroma vzdrževanja podatkov katastra nepremičnin, pri čemer je treba poleg vidika registracije podatkov upoštevati tudi prostorsko-pravni vidik strukturiranja prostora.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 355.227:528.44:528.8(497.4)(043)
Author: Petra Drobež, B. Sc.
Supervisor: Assoc. Prof. Anka Lisec, Ph. D.
Cosupervisor: Assist. Prof. Mojca Kosmatin Fras, Ph. D.
Title: Analysis of the possibility of establishing 3D cadastre using the remote sensing technologies
Document type: Doctoral Dissertation
Scope and tools: 167 p., 15 tab., 94 fig., 1 eq.
Keywords: land, real estate, land cadastre, building cadastre, land administration, 3D cadastre, remote sensing

Abstract

This doctoral dissertation thoroughly analyzes the possibility of establishing a 3D real estate cadastre by utilizing the resources of remote sensing. A common examination of two fields was conducted, namely land administration and remote sensing. The research revealed that the establishment of a 3D cadastre is necessary for the complete and quality registration of rights, restrictions and responsibilities in regard to real estate and other data. Land parcel as the basic unit of the parcel cadastre is not suitable for the complete and transparent registration of rights, restrictions and responsibilities. Also, it does not offer data support for other purposes of land administration, such as real estate evaluation, support for property management and spatial planning. The basic unit of the proposed 3D cadastral model is a 3D real estate unit, referring to a real property which is spatially limited in terms of position as well as in terms of height. For purposes of establishing a 3D cadastre an analysis of suitability of selected remote sensing technologies was performed. It has been noted that, given the high requirements for accurate position determination of registering boundary markers, only unmanned aerial systems are appropriate. For the registration of building roofs and traffic routes, the use of stereopairs of aerial photographs and airborne laser scanning is recommended. Theoretical results were tested in practice. Unmanned aerial systems were proved to be appropriate for the registration of boundary markers, as these systems provided a highly accurate position that is comparable to the classic terrestrial measurement. It has been established that the photogrammetric point cloud of airborne laser scanning of Slovenia with a resolution of 5 points/m² is sufficient for the registration of characteristic roof points and traffic routes. In addition to remote sensing data, the information about the spatial dimensions of parts of buildings and the spatial dimensions of buildings and other construction-engineering structures above and below the surface of the Earth that cannot be obtained by the airborne remote sensing technologies is particularly crucial for the establishment of a 3D cadastre. The findings were summarized in examining the possibilities of establishing a 3D cadastre in Slovenia in terms of upgrading the existing system. In case of a building a 3D model of a building was made, including cadastral data such as floor plans and building cross sections. The additional data needed are the roof shape (this can be obtained by remote sensing technologies) and the floor or room height (this is the only information that should be additionally obtained on the basis of field examination of the area). The existing legislation enables a 3D building registration. However, traffic routes and other construction-engineering objects that are not considered a land parcel or a building cannot yet be registered in Slovenia. Therefore, an introduction of a 3D real estate unit was proposed to enable the registration of other above-ground and underground 3D objects. Significant further challenges are related to the detailed definition of cadastral data models, the introduction of a temporal component in the data model of real estate cadastre and detailed definition of procedures ("events") of changing and maintaining data of real estate cadastre, while taking into account also the spatial and legal aspects of space structuring, in addition to the perspective of data registration.

ZAHVALA

Najlepša hvala mojima mentoricama Anki Lisec in Mojci Kosmatin – Fras za podporo v času podiplomskega študija, predvsem pa hvala za vse napotke in ideje v zvezi z raziskovalnim delom ter za pomoč pri izdelavi doktorske disertacije.

Iskrena hvala tudi vsem, ki ste omogočili pridobitev in obdelavo podatkov za praktični del naloge, predvsem Dejanu Grigillu za pomoč pri zajemu podatkov, podjetjema Modri planet d. o. o. in Geavis d. o. o. za snemanje z brezpilotnima letalnima sistemoma, Roku Valiču iz podjetja Geavis za uporabo programske opreme in pomoč pri zajemu podatkov ter Petru Prešernu z Geodetske uprave Republike Slovenije za stereopar letalskih posnetkov.

Na koncu pa še velika zahvala moji družini, da ste mi omogočili čas za študij in predvsem, da ste me spodbujali in verjeli vame.

KAZALO VSEBINE

Izjave	I
Stran za popravke, errata	II
Bibliografsko-dokumentacijska stran in izvleček	III
Bibliographic-documentalistic information and abstract	IV
Zahvala	V
1 UVOD	1
1.1 Motivacija in opredelitev problema	2
1.1.1 Raziskave na področju razvoja 3D-katastra	4
1.2 Hipoteze	5
1.3 Metodologija	6
1.4 Vsebina in struktura doktorske disertacije	7
2 STRUKTURIRANJE PROSTORA	9
2.1 Fizično strukturiranje prostora	11
2.2 Abstraktno strukturiranje prostora	15
2.3 Modeliranje prostora	17
2.3.1 Koncept nepremičninske enote	18
3 KONCEPT MODELIRANJA PROSTORA V KATASTRIH	25
3.1 Začetki evidentiranja zemljišč	25
3.2 Začetki katastrskih sistemov v Evropi	29
3.3 Nastanek parcelno orientiranih katastrov na območju današnje Slovenije	32
3.4 Koncept mnogonamenskega katastra	34
3.4.1 Mnogonamenski kataster v podporo trajnostnemu razvoju	35
3.4.2 Nepremičninski kataster kot del sistema zemljiške administracije	35
3.4.3 Nepremičninski kataster kot del prostorske podatkovne infrastrukture	37
3.5 Stanje in trendi v zemljiški administraciji in na področju podatkovnih modelov katastra	38
3.5.1 Zahteve evidentiranja nepremičnin v zapletenem grajenem okolju	41
4 MODEL PREHODA IZ 2D-PARCELNEGA V 3D-KATASTER	45
4.1 Potrebe za vzpostavitev 3D-katastra	45
4.2 Pregled virov in literature na področju 3D-nepremičninskega katastra	48
4.2.1 Pregled stanja po posameznih državah	50
4.2.1.1 Avstralska zvezna država Queensland – razvoj 3D-nepremičninskega katastra	53
4.2.1.2 Kanadska provinca Britanska Kolumbija – razvoj 3D-nepremičninskega katastra	54
4.2.1.3 Nemčija – razvoj 3D-nepremičninskega katastra	55
4.2.1.4 Nizozemska – razvoj 3D-nepremičninskega katastra	56
4.2.1.5 Norveška – razvoj 3D-nepremičninskega katastra	57
4.2.1.6 Švedska – razvoj 3D-nepremičninskega katastra	58
4.3 Model prehoda iz 2D-parcelnega v 3D-kataster nepremičnin	59
4.3.1 Katastrski podatki v 3D-katastru	62

5	TEHNOLOGIJE DALJINSKEGA ZAZNAVANJA PRI VZPOSTAVITVI 3D-KATASTRA	67
5.1	Pregled tehnologij daljinskega zaznavanja	67
5.1.1	Satelitsko daljinsko zaznavanje	67
5.1.2	Topografska fotogrametrija	68
5.1.3	Aerolasersko skeniranje	70
5.1.4	Bližnjleslikovna fotogrametrija in mobilni sistemi	73
5.1.5	Brezpilotni letalni sistemi	74
5.2	Kombinacije različnih tehnologij daljinskega zaznavanja	75
5.3	Analiza primernosti tehnologij daljinskega zaznavanja za vzpostavitev 3D-katastra	78
5.4	Topografski podatki v Sloveniji	80
6	PRIMERJAVA TEHNOLOGIJ DALJINSKEGA ZAZNAVANJA ZA VZPOSTAVITEV 3D-KATASTRA NA PRAKTIČNEM PRIMERU	85
6.1	Zajem mejnih znamenj	87
6.1.1	Snemanje z brezpilotnim letalnim sistemom v vetrovnih pogojih	89
6.1.2	Snemanje z brezpilotnim letalnim sistemom v stabilnih vremenskih pogojih	92
6.1.3	Primerjava rezultatov	93
6.2	Zajem streh stavb	94
6.2.1	Fotogrametrični oblak točk, pridobljen z brezpilotnim snemalnim sistemom	95
6.2.2	Fotogrametrični oblak točk, pridobljen z aerolaserskim skeniranjem visoke ločljivosti	97
6.2.3	Fotogrametrični oblak točk, pridobljen z državnim aerolaserskim skeniranjem	99
6.2.4	Stereopar letalskih posnetkov CAS	102
6.2.5	Primerjava rezultatov iz različnih virov podatkov	104
6.3	Zajem prometne infrastrukture	105
6.4	Razprava	107
7	MODEL VZPOSTAVITVE 3D-KATASTRA V SLOVENIJI	109
7.1	Sistem zemljiške administracije v Sloveniji	109
7.1.1	Evidentiranje nepremičninskih enot in višin v katastru	115
7.1.2	Obstoječi podatkovni model v zemljiškem katastru in katastru stavb	119
7.2	Nadgradnja obstoječega katastrskega sistema v 3D-kataster nepremičnin	124
7.2.1	Evidentiranje stavb v 3D-katastru nepremičnin	128
7.2.2	Evidentiranje prometnic v 3D-katastru nepremičnin	133
7.2.3	Model 3D-katastra nepremičnin	135
7.2.4	Model 3D-katastra nepremičnin – razprava	137
8	ZAKLJUČEK	139
8.1	Rezultati	142
8.2	Sklepne ugotovitve in doprinos k znanosti	144
9	POVZETEK	145
10	SUMMARY	149
	VIRI	153

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 3.1:	Primerjava med parcelnim in sodobnim katastrom	40
Preglednica 4.1:	Različni izzivi vzpostavitve 3D-katastra	60
Preglednica 4.2:	Stopnje prikaza podrobnosti (LoD) v modelu CityGML (Gröger in sod., 2007)	63
Preglednica 4.3:	Primerjava nepremičninskih enot v parcelnem in 3D-katastru (prirejeno po Zhu in Hu, 2010)	65
Preglednica 6.1:	Tehnične karakteristike uporabljenih brezpilotnih letalnih sistemov po podatkih proizvajalcev	88
Preglednica 6.2:	Odstopanja koordinat mejnikov od referenčnih vrednosti pri izmeri z brezpilotnim letalnim sistemom podjetja Modri planet d. o. o.	91
Preglednica 6.3:	Odstopanja koordinat mejnikov od referenčnih vrednosti pri izmeri z brezpilotnim letalnim sistemom podjetja Geavis d. o. o.	93
Preglednica 6.4:	Odstopanja koordinat značilnih točk strehe od referenčnih vrednosti pri izmeri z brezpilotnim letalnim sistemom podjetja Geavis d. o. o.	97
Preglednica 6.5:	Odstopanja koordinat značilnih točk strehe od referenčnih vrednosti pri aerolaserskem skeniranju visoke ločljivosti 40 točk/m ²	99
Preglednica 6.6:	Odstopanja koordinat značilnih točk strehe od referenčnih vrednosti pri državnem aerolaserskem skeniranju LSS	101
Preglednica 6.7:	Odstopanja koordinat značilnih točk strehe od referenčnih vrednosti pri stereoparu CAS	103
Preglednica 6.8:	Odstopanja koordinat značilnih točk streh od referenčnih vrednosti pri različnih tehnologijah daljinskega zaznavanja	104
Preglednica 7.1:	Metode določitve koordinat zemljiškokatastrskih točk v koordinatnem sistemu D96/TM (Vrste digitalnih podatkov in način zapisa, 2016)	113
Preglednica 7.2:	Kakovost določitve položaja zemljiškokatastrskih točk različnih katastrskih izmer glede na zahtevano kakovost po sedanji zakonodaji	117
Preglednica 7.3:	Višine zemljiškokatastrskih točk glede na način določitve (Vrste digitalnih podatkov in način zapisa, 2016)	118

KAZALO SLIK

Slika 2.1	Zemljišča in pravice, ki se nanašajo na zemljišča – fizično (levo) in abstraktno (desno) strukturiranje prostora (Lisec, 2007, prirejeno po Dale in McLaughlin, 1999)	9
Slika 2.2:	Odnos med človekom in zemljiščem (Lisec, 2007)	11
Slika 2.3:	Značilne parcelne strukture v Sloveniji: delci na ravninskem območju v Prekmurju (levo), grude s celki v hribovitih predelih Zasavja (sredina) in proge na Sorškem polju (desno) (Geodetska uprava Republike Slovenije)	12
Slika 2.4:	Raba prostora na ruralnem območju na Danskem (levo) in v mestnem središču v Franciji – Pariz (desno) (osebni arhiv)	13
Slika 2.5:	Večnivojska raba prostora v osrednji Sloveniji (osebni arhiv)	15
Slika 2.6:	Pravice, omejitve in odgovornosti na nepremičninski enoti (prirejeno po Dale in McLaughlin, 1999)	15
Slika 2.7:	Odnos med človekom in zemljiščem na institucionalni ravni (Lisec, 2007, prirejeno po Bittner, 2001)	16
Slika 2.8:	Omejitve na zemljiščih (Lisec, 2007, prirejeno po Dale in McLaughlin, 1999)	16
Slika 2.9:	Dojemanje stvarnosti (prirejeno po Šumrada, 2005)	17
Slika 2.10:	Modeliranje stvarnosti v zgodovini: prehod z 2D-modela na 3D-model	18
Slika 2.11:	Katastrski načrt, ki je delno prikazan skupaj z ortofotom (Geodetska uprava Republike Slovenije)	19
Slika 2.12:	Prikaz stavbe na 2D-katastrskem načrtu (prirejeno po Paulsson, 2013)	20
Slika 2.13:	Stavbna pravica (prirejeno po Paulsson, 2013)	20
Slika 2.14:	Etažna lastnina (prirejeno po Paulsson, 2013)	21
Slika 2.15:	2D-model evidentiranja nepremičnin za primer rabe prostora v več prostorskih ravneh (prirejeno po Aien, 2013)	22
Slika 2.16:	3D-model evidentiranja nepremičnin za primer rabe prostora v več prostorskih ravneh (prirejeno po Aien, 2013)	22
Slika 2.17:	Podzemna prometnica (prirejeno po Paulsson, 2013)	23
Slika 3.1:	Levo načrt mesta Nippur iz 15. stol. pr. n. št., desno načrt zemljišč v Mezopotamiji iz 17. stol. pr. n. št. (original, cit. po Korošec, 1978)	26
Slika 3.2:	Glinasta plošča iz Mezopotamije z načrtom zemljišč iz 2500 let pr. n. št. (original, cit. po Korošec, 1978)	26
Slika 3.3:	Papirusna karta rudnika zlata v Nubiji, okoli 1300 pr. n. št. (original, cit. po Korošec, 1978)	27
Slika 3.4:	Capodelmontska mapa iz obdobja 1600–1400 pr. n. št. (original, cit. po Korošec, 1978)	27
Slika 3.5:	Rimska zemljemersko-topografska skica predela v Porenju (original, cit. po Korošec, 1978)	28
Slika 3.6:	Urbar gospodstva Kostanjevica iz 2. polovice 18. stoletja (Arhiv Republike Slovenije)	29
Slika 3.7:	Katastrski načrt milanskega katastra v merilu 1 : 2000 (levo) in pregledna karta občine v merilu 1 : 8000 (desno) (original, cit. po Ferlan, 2005)	30
Slika 3.8:	Popis terezijanskega katastra (Arhiv Republike Slovenije)	31
Slika 3.9:	Jožefinski kataster za Kranjsko, naborni okraj Goričane, davčna občina Zgornja Šiška (Arhiv Republike Slovenije)	31

Slika 3.10:	Katastrski načrt francoske grafične izmere (Arhiv Republike Slovenije)	32
Slika 3.11:	Katastrski načrt franciscejskega katastra (Arhiv Republike Slovenije)	33
Slika 3.12:	Katastrsko-topografski načrt v k. o. Zagorje - mesto (Geodetska uprava Republike Slovenije)	34
Slika 3.13:	Osnovne entitete v katastru (prirejeno po Henssen, 1995)	36
Slika 3.14:	Zemljiška administracija kot temelj upravljanju zemljišč in zemljiški politiki (Zupan in sod., 2014, prirejeno po Kaufmann, 2008)	37
Slika 3.15:	Katastrski podatki kot pomemben del prostorske podatkovne infrastrukture (Zupan in sod., 2014, prirejeno po Williamson in sod., 2010)	38
Slika 3.16:	Zahteve družbe vplivajo na razvoj zemljiškega katastra	39
Slika 3.17:	Primer etažnega načrta v italijanskem katastru stavb (cit. po Lisec in sod., 2015)	42
Slika 3.18:	Prikaz nadzemnega dela stavbe v nemškem zemljiškokatastrskem Načrtu (AdV)	43
Slika 3.19:	Grafični prikaz evidentiranja stavbe v državi Queensland, Avstralija (Karki, 2013)	43
Slika 4.1:	Potrebe za vzpostavitev 3D-katastra	47
Slika 4.2:	Grafična predstavitev 3D-nepremičninske enote, ki zajema zemljišče, stavbo in zračni prostor (Aien in sod., 2013)	49
Slika 4.3:	Konceptualna shema LADM z razredi (ISO/TC211, 2012)	52
Slika 4.4:	Volumska parcela za del predora, ki se nahaja pod zemljiščem (levo), ki je prikazano črtkano na katastrskem načrtu (desno) (Karki, 2013)	54
Slika 4.5:	Levo načrt zračne 3D-nepremičninske enote (Gerremo in Hanssen, 1998) in desno prostorski model stavbe v etažni lastnini (Pouliot in sod., 2011)	55
Slika 4.6:	Levo evidentiranje 3D-modela stavbe v nepremičninskem modelu AAA (Aringer in Hümmer, 2011) in desno prikaz 3D-modelov stavb v katastrskih načrtih (Gruber in sod., 2014)	56
Slika 4.7:	Obstoječi način evidentiranja stavbe v nizozemskem katastru s prerezom stavbe (levo) in etažnim načrtom (sredina) ter predlog trirazsežnega modela stavbe (desno) (Stoter in sod., 2013)	57
Slika 4.8:	Različne oblike 3D-nepremičninskih enot v švedskem katastru (Paulsson, 2013)	58
Slika 4.9:	Katastrski podatki kot del sistema zemljiške administracije (Zupan in sod., 2014, prirejeno po Enemark, 2004)	60
Slika 4.10:	Model prehoda iz parcelnega v 3D-kataster (prirejeno po Aien, 2013)	61
Slika 4.11:	Shema prehoda iz parcelnega v 3D-kataster	61
Slika 4.12:	Pet stopenj LoD pri evidentiranju stavb in njihovih delov (prirejeno po Zhu in Hu, 2010)	64
Slika 5.1:	Tehnologije daljinskega zaznavanja glede na vrsto platforme	67
Slika 5.2:	Model stavbe, pridobljen iz točk aerolaserskega skeniranja in katastrskega načrta (Kraus, 2004)	72
Slika 5.3:	Primerjava med stereofotogrametrijo (levo) in laserskim skeniranjem (desno) (Kraus, 2004)	76
Slika 5.4:	Združen 3D-model stavbe s fasado in notranjimi zidovi (Wang in Sohn, 2011)	77
Slika 5.5:	Ortofoto in topografski podatki DTK 5 (Geodetska uprava Republike Slovenije)	81

Slika 5.6:	Zajem stavb (levo) in cest (desno) v DTM (DTM – navodila za zajem topografskih podatkov, 2015)	83
Slika 6.1:	Testno območje v Radovljici z grafičnim slojem zemljiškega katastra (zeleno) in katastra stavb oranžno) (Geodetska uprava Republike Slovenije)	86
Slika 6.2:	Mejna znamenja na severnem delu testnega območja (ortofoto: Modri planet d. o. o.)	88
Slika 6.3:	Mejna znamenja na južnem delu testnega območja (ortofoto: Modri planet d. o. o.)	89
Slika 6.4:	Signaliziranje plastičnih mejnikov: s sprejem označena kapa mejnika (levo) in okolica mejnika (sredina) ter označba s tarčo (desno) (ortofoto: Modri planet d. o. o.)	90
Slika 6.5:	Signaliziranje jeklenih klinov: s sprejem označeni dve črti (levo) in krog (sredina) na asfaltu ter označba s tarčo (desno) (ortofoto: Modri planet d. o. o.)	90
Slika 6.6:	Primeri slabe vidljivosti točk pri betonskem mejniku zaradi sence (levo) in pri tarči zaradi drevesne krošnje (desno) (ortofoto: Modri planet d. o. o.)	91
Slika 6.7:	Od prejšnjega snemanja vidna signalizacija jeklenih klinov s sprejem (levo in sredina) in nesignaliziran jekleni klin, ki ne omogoča zajema (desno) (ortofoto: Geavis d. o. o.)	92
Slika 6.8:	Zajem nesignaliziranih plastičnih mejnikov na travi in betonskega mejnika (desno) (ortofoto: Geavis d. o. o.)	92
Slika 6.9:	Značilne točke streh na testnem območju v Radovljici (ortofoto: Geodetska uprava Republike Slovenije)	95
Slika 6.10:	Zajem značilnih točk streh s klasificiranega oblaka točk zelo visoke ločljivosti (Geavis d. o. o.)	96
Slika 6.11:	Oblak točk aerolaserskega skeniranja visoke ločljivosti 40 točk/m ² (Flycom d. o. o.)	98
Slika 6.12:	Oblak točk državnega aerolaserskega skeniranja LSS z ločljivostjo 5 točk/m ² (Geodetska uprava Republike Slovenije)	100
Slika 6.13:	Strehe stavb (rdeče) kot dodatni element v zemljiškokatastrskem načrtu (črno) v panoramskem pogledu	102
Slika 6.14:	Lokalna cesta (levo) in zemljiškokatastrski prikaz nivojskega križanja avtoceste ter lokalne ceste na testnem območju Radovljica (desno)	106
Slika 6.15:	Rezultat zajema nivojskega križanja avtoceste (nad) in lokalne ceste (na zemeljskem površju) iz stereopara CAS	106
Slika 6.16:	Zajem nivojskega križanja avtoceste (nad) in lokalne ceste (na zemeljskem površju) iz oblaka točk LSS s povprečno gostoto 5 točk/m ²	106
Slika 7.1:	Podatkovni modeli zemljiške administracije v Sloveniji in povezave med njimi	110
Slika 7.2:	Zemljiškokatastrski prikaz (zeleno barva, levo) in zemljiškokatastrski načrt (rdeča barva, desno) v k. o. Podkraj (Geodetska uprava Republike Slovenije)	111
Slika 7.3:	Obrazca K-2 in K-3 v elaboratu za vpis stavbe v kataster stavb za stanovanjsko stavbo z enim delom stavbe – prerez in tloris stavbe ter etaže (Geodetska uprava Republike Slovenije)	115
Slika 7.4:	Grafični katastrski načrt v merilu 1 : 2880 v k. o. Zagorje (Geodetska uprava Republike Slovenije)	116

Slika 7.5:	Skici katastrske izmere v k. o. Murska Sobota iz leta 1982 (levo) in iz leta 2012 (desno) (Geodetska uprava Republike Slovenije)	117
Slika 7.6:	Evidentiranje višin v katastru stavb (Geodetska uprava Republike Slovenije)	118
Slika 7.7:	Primeri zapisa izmenjevalnih datotek zemljiškega katastra VK1.DAT, VK5.DAT in VK6.DAT z razlagami (Vrste digitalnih podatkov in način zapisa, 2016)	120
Slika 7.8:	Primeri zapisa izmenjevalnih datotek zemljiškega katastra VGEO.PKV, VGEO.PLV, VGEO.ZKV, VGEO.POV, VGEO.MEJ in VGEO.RSP z razlagami (Vrste digitalnih podatkov in način zapisa, 2016)	121
Slika 7.9:	Struktura formata za izmenjavo podatkov katastra stavb in razlaga oznak <i>xml</i> -datoteke (Format izmenjevalnih datotek katastra stavb in registra nepremičnin, 2015)	123
Slika 7.10:	Primer <i>xml</i> -datoteke s podatki o stavbi (Format izmenjevalnih datotek katastra stavb in registra nepremičnin, 2015)	123
Slika 7.11:	Primer <i>xml</i> -datoteke s podatki o delih stavbe (Format izmenjevalnih datotek katastra stavb in registra nepremičnin, 2015)	124
Slika 7.12:	Postopek nadgradnje zemljiškega katastra in katastra stavb za vzpostavitev 3D-katastra v Sloveniji	126
Slika 7.13:	Vzpostavitev 3D-katastra v Sloveniji z zagotovitvijo manjkajočih podatkov	127
Slika 7.14:	Konceptualni model razredov v 3D-katastru (prirejeno po ISO/TC211, 2012)	128
Slika 7.15:	Podatki za prehod z obstoječega evidentiranja stavb v trirazsežni način evidentiranja	128
Slika 7.16:	Obstoječe evidentiranje večstanovanjske stavbe v zemljiškem katastru in katastru stavb	129
Slika 7.17:	Konceptualni model za evidentiranje stavbe (parcele) s stopnjo podrobnosti LoD 1 (prirejeno po Zhu in Hu, 2010)	130
Slika 7.18:	Konceptualni model za evidentiranje stavbe s stopnjo podrobnosti LoD 2 (prirejeno po Zhu in Hu, 2010)	131
Slika 7.19:	Konceptualni model za evidentiranje stavbe s stopnjo podrobnosti LoD 3 (prirejeno po Zhu in Hu, 2010)	132
Slika 7.20:	Konceptualni model za evidentiranje stavbe s stopnjo podrobnosti LoD 4 (prirejeno po Zhu in Hu, 2010)	133
Slika 7.21:	Evidentiranje prometnic v prikazu LoD 1 (levo) in predlagan 3D-način evidentiranja (desno)	134
Slika 7.22:	Konceptualni model za evidentiranje 3D-nepremičninskih enot s stopnjo podrobnosti LoD 2 (prirejeno po Zhu in Hu, 2010)	134
Slika 7.23:	Glavni razredi standarda LADM (ISO/TC211, 2012)	135
Slika 7.24:	Konceptualni model 3D-katastra v Sloveniji	136

LIST OF TABLES

Table 3.1:	Comparison between parcel-based and modern cadastre	40
Table 4.1:	Different challenges of 3D cadastre establishment	60
Table 4.2:	Levels of detail (LoD) in the CityGML model (Gröger et al., 2007)	63
Table 4.3:	Comparison between the real estate units in parcel-based and 3D cadastre (adapted from Zhu and Hu, 2010)	65
Table 6.1:	Technical characteristics of the applied unmanned aerial systems according to data, provided by manufacturers	88
Table 6.2:	Positional deviations of the boundary marks from the reference values captured while using the UAS of the Modri planet Ltd.	91
Table 6.3:	Positional deviations of the boundary marks from the reference values captured while using the UAS of the Geavis Ltd.	93
Table 6.4:	Positional deviations of the characteristic roof points from the reference values captured while using the UAS of the Geavis Ltd.	97
Table 6.5:	Positional deviations of the characteristic roof points from the reference values captured while using the airborne laser scanning with high density of 40 points/m ²	99
Table 6.6:	Positional deviations of the characteristic roof points from the reference values captured while using the airborne laser scanning LSS	101
Table 6.7:	Positional deviations of the characteristic roof points from the reference values captured from stereopair CAS	103
Table 6.8:	Positional deviations of the characteristic roof points from the reference values captured with different remote sensing technologies	104
Table 7.1:	Methods for determining the coordinates of land cadastre points in the D96/TM coordinate system (Types of digital data and the method of registration, 2016)	113
Table 7.2:	The quality of position of the land cadastre points of different cadastral surveys with regard to the required quality under current legislation	117
Table 7.3:	The heights of the land cadastre points in regard to the survey method (Types of digital data and the method of registration, 2016)	118

LIST OF FIGURES

Figure 2.1:	Land and land related rights – physical (left) and abstract (right) space structuring (Lisec, 2007, adapted from Dale and McLaughlin, 1999)	9
Figure 2.2:	The relationship between man and land (Lisec, 2007)	11
Figure 2.3:	Typical parcel structures in Slovenia: particles in lowlands of Prekmurje (left), clods with enclosures in hills of the Central Sava Valley (centre) and lines in Sorško field (right) (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia)	12
Figure 2.4:	Land use in the rural area in Denmark (left) and in the city centre in France - Paris (right) (personal archive)	13
Figure 2.5:	Multilevel use of space in the central Slovenia (personal archive)	15
Figure 2.6:	Rights, restrictions and responsibilities on a real estate unit (adapted from Dale and McLaughlin, 1999)	15
Figure 2.7:	Relationship between man and land at institutional level (Lisec, 2007, adapted from Bittner, 2001)	16
Figure 2.8:	Land restrictions (Lisec, 2007, adapted from Dale and McLaughlin, 1999)	16
Figure 2.9:	The perception of reality (adapted from Šumrada, 2005)	17
Figure 2.10:	Modelling of reality in history: the transition from 2D model to 3D model	18
Figure 2.11:	Cadastral map, partially shown together with orthophoto (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia)	19
Figure 2.12:	Building represented on the 2D cadastral map (adapted from Paulsson, 2013)	20
Figure 2.13:	Right of superficies (adapted from Paulsson, 2013)	20
Figure 2.14:	Condominium (adapted from Paulsson, 2013)	21
Figure 2.15:	2D model of real estate registration in the case of a multilevel use of space (adapted from Aien, 2013)	22
Figure 2.16:	3D model of real estate registration in the case of a multilevel use of space (adapted from Aien, 2013)	22
Figure 2.17:	Underground traffic route (adapted from Paulsson, 2013)	23
Figure 3.1:	City map of Nippur from the 15th century BC on the left, land map of Mesopotamia from the 17th century BC on the right (original, adapted from Korošec, 1978)	26
Figure 3.2:	Land map of Mesopotamia on the clay plate, 2500 years BC (original, adapted from Korošec, 1978)	26
Figure 3.3:	Papyrus map of gold mine of Nubia, around 1300 BC (original, adapted from Korošec, 1978)	27
Figure 3.4:	Capodimonte map from 1600–1400 BC (original, adapted from Korošec, 1978)	27
Figure 3.5:	Rome cadastral-topographic sketch of the Rhineland area (original, adapted from Korošec, 1978)	28
Figure 3.6:	»Urbar« of Kostanjevica dominion from the 2nd half of the 18th century (Archives of the Republic of Slovenia)	29
Figure 3.7:	Cadastral map of the Milan cadastre on a scale of 1: 2000 (left) and a general map of municipality on a scale of 1: 8000 (right) (original, adapted from Ferlan, 2005)	30

Figure 3.8:	Register of the Theresian cadastre (Archives of the Republic of Slovenia)	31
Figure 3.9:	The Josephine cadastre of Carniola, recruitment district of Goričane, tax municipality of Zgornja Šiška (Archives of the Republic of Slovenia)	31
Figure 3.10:	Cadastral map of the French graphic survey (Archives of the Republic of Slovenia)	32
Figure 3.11:	Cadastral map of the Franziscean cadastre (Archives of the Republic of Slovenia)	33
Figure 3.12:	Cadastral-topographic plan of the cadastral municipality of Zagorje - city (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia)	34
Figure 3.13:	Basic entities in a cadastre (adapted from Henssen, 1995)	36
Figure 3.14:	Land administration as the basis of land management and land policy (Zupan et al., 2014, adapted from Kaufmann, 2008)	37
Figure 3.15:	Cadastral data as an important part of spatial data infrastructure (Zupan et al., 2014, adapted from Williamson et al., 2010)	38
Figure 3.16:	The influence of the demands of the society on the development of a land cadastre	39
Figure 3.17:	Example of the storey plan in the Italian Building Cadastre (adapted from Lisec et al., 2015)	42
Figure 3.18:	Representation of the overground part of a building on the German land cadastre plan (AdV)	43
Figure 3.19:	Graphical representation of the building registration in Queensland, Australia (Karki, 2013)	43
Figure 4.1:	The needs for 3D cadastre establishment	47
Figure 4.2:	Graphical representation of the 3D real estate unit, including land, building and airspace (Aien et al., 2013)	49
Figure 4.3:	Conceptual LADM scheme with classes (ISO/TC211, 2012)	52
Figure 4.4:	Volume parcel for the part of the tunnel located below the land surface (left) and its representation with a dashed line on the cadastral map (right) (Karki, 2013)	54
Figure 4.5:	Plan of the 3D airspace real estate unit on the left (Gerremo and Hanssen, 1998) and building model with condominium ownership on the right (Pouliot et al., 2011)	55
Figure 4.6:	Registering of the 3D building model in the real estate model AAA on the left (Aringer and Hümmer, 2011) and representation of the 3D building models on cadastral plan on the right (Gruber et al., 2014)	56
Figure 4.7:	The existing registration of a building in the Dutch Cadastre with cross-section (left) and floor-plan (centre) and proposal of a three-dimensional building model (right) (Stoter et al., 2013)	57
Figure 4.8:	Different forms of 3D real estate units in the Swedish cadastre (Paulsson, 2013)	58
Figure 4.9:	Cadastral data as a part of land administration system (Zupan et al., 2014, adapted from Enemark, 2004)	60
Figure 4.10:	The model of transition from the parcel-based cadastre into the 3D cadastre (adapted from Aien, 2013)	61
Figure 4.11:	The scheme of transition from the parcel-based cadastre into the 3D cadastre	61

Figure 4.12:	Registering buildings and their parts by using five different LoDs (adapted from Zhu and Hu, 2010)	64
Figure 5.1:	Remote sensing technologies according to the type of the platform	67
Figure 5.2:	Building model derived from airborne laser scanning points and cadastral map (Kraus, 2004)	72
Figure 5.3:	Comparison between stereophotogrammetry (left) and laser scanning (right) (Kraus, 2004)	76
Figure 5.4:	Complete 3D model of a building with facade and inner walls (Wang and Sohn, 2011)	77
Figure 5.5:	Orthophoto and topographic data of DTK 5 (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia)	81
Figure 5.6:	Buildings (left) and roads (right) capturing in the DTM (DTM – instructions for capturing the topographic data, 2015)	83
Figure 6.1:	The Radovljica testing area covered with graphical layer of the Land Cadastre (green) and the Building Cadastre (orange) (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia)	86
Figure 6.2:	The boundary marks on the northern part of the testing area (orthophoto: Modri planet Ltd.)	88
Figure 6.3:	The boundary marks on the southern part of the testing area (orthophoto: Modri planet Ltd.)	89
Figure 6.4:	Signalization of plastic boundary marks: colour marked boundary mark (left), the area around the boundary mark (centre) and the target designation (right) (orthophoto: Modri planet Ltd.)	90
Figure 6.5:	Signalization of steel boundary marks: the two lines (left) and the circle (centre) colour marked on the asphalt and the target designation (right) (orthophoto: Modri planet Ltd.)	90
Figure 6.6:	Two examples of poor visibility of the concrete boundary mark due to shade (left) and poor visibility of the target due to treetop (right) (orthophoto: Modri planet Ltd.)	91
Figure 6.7:	Steel boundary mark signalization, visible from the previous survey (left and centre) and unmarked steel boundary mark that cannot be captured (right) (orthophoto: Geavis Ltd.)	92
Figure 6.8:	Capturing of unmarked plastic boundary marks on the grass and capturing of concrete boundary mark (right) (orthophoto: Geavis Ltd.)	92
Figure 6.9:	Characteristic points of roofs on the Radovljica testing area (orthophoto: Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia)	95
Figure 6.10:	Characteristic points of roofs captured from the classified very high density point cloud (Geavis Ltd.)	96
Figure 6.11:	High density point cloud obtained from airborne laser scanning with density of 40 points/m ² (Flycom Ltd.)	98
Figure 6.12:	Medium density point cloud obtained from airborne laser scanning LSS with density of 5 points/m ² (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia)	100
Figure 6.13:	Building roofs (red) as an additional element on the land cadastre map (black) in the panoramic view	102
Figure 6.14:	Local road (left) and land cadastral map representing level intersection of motorway and local road on the Radovljica testing area (right)	106

Figure 6.15:	Result of the capture of level intersection of motorway (above) and local road (on the surface) from the CAS stereopair	106
Figure 6.16:	Capture of the level intersection of motorway (above) and local road (on the surface) from the LSS point cloud with an average density of 5 points/m ²	106
Figure 7.1:	Data models of land administration in Slovenia and connections between them	110
Figure 7.2:	Graphical layer of land cadastre (green colour, left) and land cadastral plan (red colour, right) in the cadastral municipality of Podkraj (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia)	111
Figure 7.3:	Forms K-2 and K-3 in the Building Cadastre report in case of the apartment building with one part of a building – cross section, ground and floor plan of the building (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia)	115
Figure 7.4:	Graphical cadastral plan on a scale of 1 : 2880 in the cadastral municipality of Zagorje (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia)	116
Figure 7.5:	Sketches of the cadastral survey in the cadastral municipality of Murska Sobota from 1982 (left) and 2012 (right) (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia)	117
Figure 7.6:	Registration of heights in the Building Cadastre (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia)	118
Figure 7.7:	Examples of VK1.DAT, VK5.DAT and VK6.DAT data exchange formats in the Land Cadastre with interpretations (Types of digital data and the methods of registration, 2016)	120
Figure 7.8:	Examples of VGEO.PKV, VGEO.PLV, VGEO.ZKV, VGEO.POV, VGEO.MEJ and VGEO.RSP data exchange formats in the Land Cadastre with interpretations (Types of digital data and the methods of registration, 2016)	121
Figure 7.9:	<i>Xml</i> file data exchange format in the Building Cadastre with interpretations (Data exchange format in the Building Cadastre and Real Estate Database, 2015)	123
Figure 7.10:	Example of <i>xml</i> file with building data (Data exchange format in the Building Cadastre and Real Estate Database, 2015)	123
Figure 7.11:	Example of <i>xml</i> file with parts of building data (Data exchange format in the Building Cadastre and Real Estate Database, 2015)	124
Figure 7.12:	The upgrade process of the Land Cadastre and the Building Cadastre for 3D cadastre establishment in Slovenia	126
Figure 7.13:	Establishment of 3D cadastre in Slovenia by providing missing data	127
Figure 7.14:	Conceptual model of classes in 3D cadastre (adapted from ISO/TC211, 2012)	128
Figure 7.15:	Data for the transition from the existing building registration into a three-dimensional registration	128
Figure 7.16:	Existing registration of multi-apartment building in the Land Cadastre and The Building Cadastre	129
Figure 7.17:	Conceptual model for building (parcel) registration in the LoD 1 level of detail (adapted from Zhu and Hu, 2010)	130

Figure 7.18:	Conceptual model for building registration in the LoD 2 level of detail (adapted from Zhu and Hu, 2010)	131
Figure 7.19:	Conceptual model for building registration in the LoD 3 level of detail (adapted from Zhu and Hu, 2010)	132
Figure 7.20:	Conceptual model for building registration in the LoD 4 level of detail (adapted from Zhu and Hu, 2010)	133
Figure 2.21:	Registration of traffic routes in the LoD 1 level of detail (left) and the proposed 3D-registration (right)	134
Figure 7.22:	Conceptual model for 3D real estate unit registration in the LoD 2 level of detail (adapted from Zhu and Hu, 2010)	134
Figure 7.23:	Basic classes of LADM standard (ISO/TC211, 2012)	135
Figure 7.24:	Conceptual model of a 3D cadastre in Slovenia	136

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ALS	Aerolasersko skeniranje (angl. airborne laser scanning)
B-rep	Boundary representation (angl.)
CAD	Computer-aided design (angl.)
CAS	Ciklično aerofotografiranje Slovenije
CBZK	Centralna baza zemljiškega katastra
CSG	Constructive solid geometry (angl.)
DKN	Digitalni katastrski načrt
DMP (DSM)	Digitalni model površja (angl. digital surface model)
DMR (DTM)	Digitalni model reliefa (angl. digital terrain model)
DMV (DEM)	Digitalni model višin (angl. digital elevation model)
DTK 5	Državna topografska karta v merilu 1:5000
DTM	Državni topografski model
D48/GK	Geodetski datum 1948/Gauss-Krügerjeva projekcija
D96/TM	Geodetski datum 1996/Transverzalna Mercatorjeva projekcija
EU	Evropska unija
FIG	Fédération Internationale des Géomètres (franc.)
GIS	Geografski informacijski sistem
GJI	Gospodarska javna infrastruktura
GNSS	Globalni navigacijski satelitski sistemi
IMU	Inertial measurement unit (angl.)
INS	Inertial navigation systems (angl.)
INSPIRE	Infrastructure for spatial information in the European Community (angl.)
LADM	Land Administration Domain Model (angl.)
LoD	Level of detail (angl.)
LSS	Lasersko skeniranje Slovenije
MLS	Mobilno lasersko skeniranje (angl. mobile laser scanning)
NDVI	Normalized difference vegetation index (angl.)
NDWI	Normalized difference water index (angl.)
OGC	Open Geospatial Consortium (angl.)
POS	Position and orientation system (angl.)
RMSE	Root mean square error (angl.)
RTK	Real time kinematic (angl.)
SDI	Spatial Data Infrastructure (angl.)
TLS	Terestrično lasersko skeniranje (angl. terrestrial laser scanning)
UAS	Unmanned aerial system (angl.)
UML	Unified modelling language (angl.)
UN-ECE	United Nations Economic Commission for Europe (angl.)
UNEP	United Nations Environment Programme (angl.)
ZKN	Zemljiškokatastrski načrt
ZKP	Zemljiškokatastrski prikaz
2D	Dvorazsežno
3D	Trirazsežno

SLOVARČEK

Daljinsko zaznavanje (angl. remote sensing) je znanost in tehnologija zajema, obdelave in analize podob ter drugih podatkov o zemeljskem površju in drugih planetih, pridobljenih iz senzorjev v vesolju in zraku ter na tleh (Chen in sod., 2015).

Digitalni model površja (angl. digital surface model) je računalniška predstavitev nadmorskih višin določenega območja zemeljskega površja, vključno z naravnimi ter umetno ustvarjenimi objekti na njem (Kraus, 2004).

Digitalni model reliefa (angl. digital terrain model) je digitalni opis oblikovanosti zemeljskega površja, vključno z nakloni, ekspozicijo in plastnicami, padnicami, točkami vrhov ter drugimi značilnimi linijami in točkami (Podobnikar, 2001).

Digitalni model višin (angl. digital elevation model) je računalniška predstavitev nadmorskih višin določenega območja zemeljskega površja in vsebuje samo višinske točke, ki so najpogosteje zapisane v obliki pravilnih kvadratnih celic in pogojno tvorijo ploskev zemeljskega površja (Podobnikar, 2001).

Etažna lastnina (angl. condominium) je lastnina posameznega dela stavbe in solastnina skupnih delov, pri čemer mora posamezni del stavbe predstavljati samostojno funkcionalno celoto, primerno za samostojno uporabo, kot je na primer stanovanje, poslovni prostor ali drug samostojen prostor.

Fotogrametrija (angl. photogrammetry) je znanost in tehnologija pridobivanja trirazsežnih geometričnih in semantičnih podatkov o objektih in dogodkih iz fotografij oziroma posnetkov, v novejšem času vključuje tudi obdelavo podatkov laserskega skeniranja (Chen in sod., 2015).

Land Administration Domain Model (skrajšano LADM) je splošen konceptualni model, ki zagotavlja koncepte in terminologijo za opis podatkov zemljiške administracije. LADM je mednarodni ISO standard, ki podpira tudi 3D-evidentiranje nepremičnin.

Lasersko skeniranje (angl. laser scanning) je tehnologija pridobivanja trirazsežnih geometričnih podatkov o objektih z neposredno izmero oddaljenosti med oddajnikom laserskega žarka in objektom, od katerega se laserski žarek odbije (Triglav Čekada, 2010). Glede na vrsto platforme ločimo aerolasersko, mobilno in terestrično lasersko skeniranje.

Mnogonamenski kataster (angl. multipurpose cadastre) poleg pravne varnosti nosilcev pravic na zemljiščih in osnove za obdavčitev zemljišč podaja temelj za pomembne dejavnosti, kot so načrtovanje vrste rabe zemljišč, usmerjanje razvoja zemljišč, upravljanje okolja in podobno. Sodobni katastri nudijo podporo trajnostnemu razvoju in podnebnim ter družbenim spremembam.

Model (angl. model) je abstraktni in poenostavljeni prikaz stvarnega ali navideznega sveta, ki je pogosto subjektivno pogojen v odvisnosti od dojemanja obravnavanega dela stvarnosti (Lisec, 2007).

Modeliranje (angl. modelling) je postopek izdelave modela oziroma poenostavljenega prikaza stvarnega ali navideznega sveta (Lisec, 2007).

Nepremičnina (angl. real estate) je zemljišče, ki ga predstavlja odmerjen prostorski del zemeljske površine, skupaj z vsemi sestavinami.

Nepremičninska enota (angl. real estate unit) je osnovna enota v sistemu zemljiške administracije, na katero se nanašajo enolične in homogene pravice, omejitve in odgovornosti. Nepremičninska enota je lahko zemljišče, zemljišče s stavbami, stavba, del stavbe, drug zgrajeni objekt ali prazen prostor.

Ortofoto (angl. orthophoto) je fotogrametrični izdelek, ki ga dobimo s transformacijo fotografskega posnetka v ortogonalno projekcijo (Kosmatin Fras, 2004).

Posnetek (angl. picture, image) je predstavitev resničnosti ne glede na način in platformo zajema. Nastane z uporabo optičnih naprav ter analognega ali digitalnega senzorja in predstavlja sliko opazovanih predmetov, zajeto v določenem trenutku pri izbrani valovni dolžini (Oštir, 2006).

Prostorska podatkovna infrastruktura (angl. Spatial Data Infrastructure) je skupek tehnologije, predpisov, organizacij, človeških virov in drugih dejavnosti, ki so potrebne za zajem, obdelavo, porazdeljevanje, prikazovanje, analiziranje, shranjevanje in upravljanje s prostorskimi podatki.

Sistem zemljiške administracije (angl. land administration system) opredeljujemo kot obsežen sistem za najpodrobnejše pravno-administrativno strukturiranje prostora ter upravljanje mej pravic, omejitev in odgovornosti na zemljiščih ter sistem za zajemanje, vzdrževanje, analize in posredovanje podatkov o zemljiščih (nepremičninah) in pravicah na njih (Zupan in sod., 2014).

Stavbna pravica (angl. right of superficies) je omejena stvarna pravica na tuji nepremičnini, ki daje njenemu lastniku pravico, da ima na, nad ali pod tujim zemljiščem zgrajen objekt, ali pravico, da isti objekt zgradi. V času trajanja stavbne pravice velja, da je zgrajeni objekt pravno gledano ločen od zemljišča.

Stvarnost (angl. reality) je prostorsko neskončna, po času spremenljiva in vsebinsko zapletena fizična realnost, ki nas obdaja (Šumrada, 2005).

Trajnostni razvoj (angl. sustainable development) je bil definiran v Brundtlandinem poročilu kot *»razvoj, ki zadovoljuje potrebe sedanjih generacij, ne da bi pri tem ogrozil možnosti prihodnjih generacij za zadovoljevanje njihovih potreb«* (World Commission on Environment and Development, 1987).

Zemljišče (angl. land) predstavlja tla sama po sebi in vse, kar je v ali na njih kot naravna danost. V pravnem smislu je zemljišče zaokrožen del zemeljske površine, na katero se vežejo pravice, omejitve in odgovornosti, skupaj z naravnimi in ustvarjenimi danostmi, ki se vežejo na zemljišče in so predmet pravic na zemljiščih (Lisec, 2007).

Zemljiška administracija (ang. land administration) so postopki dodeljevanja, registracije in porazdeljevanja informacij o lastništvu, vrednosti in rabi zemljišč pri izvajanju zemljiške politike, katerih cilj je trajnostna uporaba in razvoj zemljišč (UN-ECE, 1996).

Zemljiška knjiga (angl. land register) je temeljni register o nepremičninah ter pravicah, omejitvah in odgovornostih na njih ter zagotavlja pravno varnost nosilcem pravic, ki so vpisani v zemljiški knjigi.

Zemljiški kataster (angl. land cadastre) je ena ali več zbirk podatkov o zemljiščih, pri čemer je osnovna enota v parcelno zasnovanih katastrih zemljiška parcela, na katero se nanašajo podatki o meji, površini, rabi in vrednosti zemljišča.

Zemljiška parcela (angl. land parcel) je strnjeno zemljišče z identifikacijsko številko, ki predstavlja osnovno enoto zemljiškega katastra, na katero se nanašajo pravice, omejitve in odgovornosti.

3D-kataster (angl. 3D-cadastre) je kataster, ki omogoča evidentiranje pravic, omejitev in odgovornosti ne (le) na parcelah, ampak tudi na 3D-nepremičninskih enotah, ki so osnovna enota 3D-katastra (Stoter, 2004).

3D-nepremičninska enota (angl. 3D-real estate unit) je omejeno prostorsko območje, na katerega se nanašajo stvarne pravice, omejitve in odgovornosti (Stoter, 2004).

1 UVOD

Odnos človeka do zemljišč je bil od nekdaj pomemben v družbi, a se je spreminjal s spremembami oziroma z razvojem družbe (Larsson, 1991; Dale in McLaughlin, 1999; Lisec in Ferlan, 2012). Zemljišča so že v pradavnini ljudem zagotavljala temelj za pridobivanje hrane in prostor za bivanje ter tako predstavljala pomemben pogoj za preživetje. Zaradi velikega pomena zemljišč za ljudi so se že v zelo zgodnji zgodovini človeške družbe pojavili poskusi zavarovanja pravice do rabe oziroma posesti zemljišč, v ta namen so poznane tudi najdbe izredno starih grafičnih prikazov zemljišč. Prvi načrti zemljišč so ohranjeni še iz časov starih civilizacij na območju nekdanje Mezopotamije in Egipta. Grafično so zemljišča prikazovali najprej na kamnitih tleh in stenah, ki so jih kasneje zamenjale glinene ploščice in šele nato papir. Z razvojem družbe se je spreminjala vloga zemljišč in praviloma povečevala tudi vrednost le-teh, večal se je pomen varstva zemljiških posestnih pravic. Zemljišča so kmalu postala prepoznana kot pomembno in osnovno premoženje držav, saj so bila priročni predmet obdavčenja pri iskanju virov financiranja države (Larsson, 1991; Dale in McLaughlin, 1999; Twaroch in sod., 2015).

V zgodovini so se zemljišča različno evidentirala v različnih državah; nekje so se uveljavili popisi zemljišč, spet drugje so bili ti dopolnjeni z grafičnimi prikazi; v nekaterih državah so načrti zemljišča prikazani le na posameznih listinah, drugje pa so zemljišča evidentirana na načrtih, ki so pokrivali večja območja. Sistematični popisi zemljišč za namen obdavčevanja, ki temeljijo na izmeri zemljišč in izdelavi tako imenovanih katastrskih načrtov, so se v mnogih evropskih državah pojavili že v srednjem veku, ko so bile izvedene obsežne zemljiške katastrske izmere. V državah, kjer so se odločili za parcelni kataster, ki temelji na izmeri zemljišč in katastrskih načrtih, so se v tistem obdobju evidentirale zemljiške parcele, kot so izhajale iz takratnega posestnega stanja. Takratna zemljiško-parcelna struktura prostora je bila rezultat upravljanja in rabe zemljišč v več stoletjih, premalo zavedanja je bilo, da se to strukturiranje prostora stalno spreminja. Po prvih sistematičnih katastrskih izmerah (op. v Sloveniji je bila za izvedena v 18. stoletju) so spremembe družbenih ureditev, zemljiške reforme, urbanizacija in pojav drugih dejavnosti v prostoru ter tehnološki razvoj obdelave zemljišč in podobno povzročili številne spremembe v prostoru, ki so bile povezane tudi s spremembo posestne oziroma lastniške in parcelne strukture zemljišč. Danes smo v obdobju, v katerem imajo prostorske-informacijske znanosti pomembno vlogo pri upravljanju prostora in zemljišč. Informacije o zemljiščih oziroma prostoru so ključnega pomena za sprejemanje odločitev v prostoru, kjer se srečujemo s številnimi izzivi, kot so podnebne spremembe, trajnostni razvoj, mobilnost in zagotavljanje zdravja ter varnosti ljudi (Ferlan, 2005; Van der Molen, 2009; Williamson in sod., 2010; Aien in sod., 2011). Samo podatki, ki so položajno in časovno točni ter celovito predstavljajo realno stanje v prostoru, lahko nudijo podporo pri odločanju v zahtevnih družbenih nalogah (Kalantari in sod., 2008; Bennett in sod., 2011). Evidentiranje zemljišč je dobilo novo vlogo pri načrtovanju in spremljanju rabe prostora, v prostorskem razvoju ter splošno v gospodarstvu (Bennett in sod., 2008; Lemmens, 2011; Rajabifard in sod., 2012).

Podatki o zemljiščih in njihovih sestavinah so v sodobnih družbah praviloma vodeni v uradnih zemljiških evidencah, ki so v digitalni obliki (zemljiški informacijski sistemi). Ti predstavljajo pomemben del sistema zemljiške administracije, ki v osnovi pomeni sistem za upravljanje zemljiških posesti, vrednotenje zemljišč in spremljanje ter načrtovanje rabe zemljišč. Sistem zemljiške administracije je obsežen sistem za najpodrobnejše pravno-administrativno strukturiranje prostora ter upravljanje mej pravic, omejitev in odgovornosti na zemljiščih ter sistem za zajemanje, vzdrževanje, analize in posredovanje podatkov o zemljiščih in pravicah na njih (Bennett in sod., 2012; Zupan in sod., 2014). Vsaka država potrebuje za svoje delovanje in razvoj učinkovit sistem zemljiške

administracije, ki se danes smatra kot kritična javna infrastruktura (Bennett in sod., 2013). V okviru sistema zemljiške administracije se izvajajo tudi postopki zbiranja, obdelave in posredovanja podatkov o zemljiščih, ki so zbrani v podatkovni zbirki zemljiškega oziroma nepremičninskega informacijskega sistema, pogosto imenovanega tudi zemljiški ali nepremičninski kataster. Kataster je pri tem ena ali več zbirk podatkov o nepremičninskih enotah, ki med drugim vključuje podatke o legi in velikosti nepremičninske enote, pravicah na njej, vrednosti in dejanski ter planski rabi (Stuedler, 2004). Osnovna naloga katastra je kar najboljše služiti potrebam družbe, pri tem pa je pomembno, da se zagotavlja varne in dolgoročne rešitve, ki so v podporo raznolikim odločitvam v prostoru (Kalantari in sod., 2008; Paulsson, 2013).

V sistemu zemljiške administracije zemljišče obravnavamo kot fizično stvar, ki zajema zemeljsko površje z vsemi sestavinami nad in pod njim. Je tudi abstraktni pojem, ki je predstavljen kot skupek pravic, omejitev in odgovornosti, ki se nanašajo na zemljišče, ter ima vrednost; ta abstraktna definicija zemljišča omogoča, da lahko trgujemo z zemljišči oziroma nepremičnino kljub dejstvu, da fizičnega objekta ne premikamo (Dale in McLaughlin, 1999). Osnovna enota evidentiranja zemljišč oziroma nepremičnin je v večini srednjeevropskih katastrov še danes zemljiška parcela, to je določen (ali odmerjen) del zemeljskega površja z vsemi sestavinami, na katero so vezane pravice, omejitve in odgovornosti. Zemljiški kataster, pri katerem je osnovna enota evidentiranja parcela, imenujemo parcelni kataster.

Zaradi vse pogostejšega odstopanja od načela pripadnosti sestavin k zemljišču evidentiranja pravic, omejitev in odgovornosti na zemljiških parcelah več ne zadostuje. Z razvojem družbe se spreminja zasnova oziroma definicija nepremičninske enote kot prostorske enote, na katero se nanašajo podatki o pravicah, omejitvah in odgovornostih v sistemu zemljiške administracije. Nepremičninska enota v osnovnem pomenu, kot že omenjeno, predstavlja prostorsko omejeno zemljišče z vsemi sestavinami. V parcelnem katastru ga na modelni ravni določa zemljiška parcela. Za namene evidentiranja pravic na stavbah ali delih stavb so se pojavile drugačne oblike opredelitve nepremičninske enote. Ta lahko predstavlja stavbo, ki je lastniško gledano ločena od zemljišča. Nepremičninske enote so lahko tudi posamezni deli stavbe – posamezno stanovanje ali poslovni prostor. Opredelitev nepremičninskih enot pa ni omejena le na zemljišča in stavbe, ampak se nepremičninske enote uporabljajo tudi za evidentiranje vodnih površin in infrastrukture nad in pod površjem Zemlje.

1.1 Motivacija in opredelitev problema

Potreba za vzpostavitev 3D-katastra se pojavlja predvsem v primerih mnogokratne rabe prostora na več prostorskih ravneh, kjer naletimo pri tradicionalnem 2D-evidentiranju in prikazu podatkov o nepremičninah na določene omejitve, saj so pravice, omejitve in odgovornosti predstavljene tudi s tretjo razsežnostjo, to je z višino ali globino (Stoter in Ploeger, 2003). Objekti, ki v splošnem zahtevajo trirazsežno evidentiranje, so stavbe in drugi gradbeni objekti, ki so umeščeni v prostor eden nad drugim, infrastruktura nad in pod površjem Zemlje ter stavbe z več deli. Ti fizični trirazsežni nepremični objekti ne morejo biti kakovostno evidentirani kot nepremičninske enote v tradicionalnih 2D-katastrih (Stoter in Salzmann, 2003).

Pomemben vidik razvoja 3D-katastra se nanaša na prostorske podatke in prostorske informacijske sisteme. To področje tako imenovanih prostorsko-informacijskih raziskav se ukvarja z modeliranjem, shranjevanjem, obdelavo, poizvedovanjem, uporabo in izmenjavo informacij, ki se nanašajo na prostor (Chen in sod., 2015). Izdelava konceptov in metod je pomemben korak pri pridobivanju prostorskih podatkov za sodobne prostorske informacijske sisteme. Kakovostni prostorski podatkovni katastrski

modeli v treh razsežnostih so ključna sestavina sodobnega nepremičninskega katastra, saj omogočajo dostop do kakovostnih informacij, jasne odločitve in učinkovito upravljanje zemljišč v skladu z družbenimi, okoljskimi in gospodarskimi razvojnimi smernicami. Trirazsežni (3D) prostorski podatkovni model v sistemu zemljiške administracije je v primerjavi s tradicionalnim parcelnim (2D) katastrom veliko bolj vsestranski in podaja temelje za modeliranje zapletenih primerov nepremičninskih enot v prostoru; tako lahko tudi na bolj transparenten način določamo, evidentiramo in prikažemo informacije o nepremičninskih enotah v 3D-prostoru (Kalantari in sod., 2008; Zlatanova, 2008; Aien in sod., 2013).

Katastrska vsebina je danes grafično še vedno pogosto prikazana na načrtih v dveh razsežnostih. V primeru 3D-katastra potrebujemo za grafično predstavitev prostorskih podatkov poleg položajnih podatkov v 2D-prostoru tudi podatke o višinah. Moderne tehnologije, kot so globalni navigacijski satelitski sistemi (GNSS) in tehnologije daljinskega zaznavanja, omogočajo hiter, množičen in stroškovno sprejemljiv zajem 3D-podatkov, ki so lahko koristno uporabljeni tudi v sistemih zemljiške administracije (Lemmen in Van Oosterom, 2003; Jazayeri in sod., 2014). Viri daljinskega zaznavanja so že tradicionalno glavni vir za zajem topografskih podatkov, ki lahko kot dodaten podatek v katastru služijo za lažjo predstavitev in nedvoumnost njegove vsebine, kar je ustaljena praksa ali pa trend v nekaterih evropskih državah, na primer na Finskem (Vitikainen, 2008) ali v Nemčiji (Gröger in sod., 2007).

Visoko kakovost prostorskih podatkovnih zbirk je mogoče doseči, če so podatki geometrično pravilni, položajno točni, vsebinsko in semantično popolni ter časovno ustrezni. Tehnologije daljinskega zaznavanja ponujajo rešitve za učinkovit zajem prostorskih podatkov, ki jih lahko koristno uporabimo tudi na področju nepremičninskega katastra. Uporabnikom je treba zagotavljati ustrezne informacije o prostorskih objektih v določenem času. Z razvojem tehnologij daljinskega zaznavanja in programske opreme za obdelavo podatkov je možno pridobiti kakovostne podatke na velikih območjih s skrajšanim časom zajema v primerjavi s terenskimi metodami zajema prostorskih podatkov (Cramer, 2011; Whitcraft in sod., 2015). Kombinacija senzorjev na eni platformi namreč poveča obseg in zanesljivost podatkov ter omogoča pridobitev kakovostnih informacij o višini objektov in pripadajočem časovnem atributu. Aerolasersko skeniranje je ena izmed učinkovitih tehnologij za zajem 3D-prostorskih podatkov na območjih velikega obsega, ki ga lahko dopolnujemo z mobilnimi in terestričnimi tehnologijami daljinskega zaznavanja (Lemmen in Van Oosterom, 2003). Pri uporabi virov daljinskega zaznavanja za namen vzpostavitve 3D-katastra je treba upoštevati dejstvo, da so meje lastnine in meje različnih režimov institucionalne, navidezne meje in se jih v naravi, v fizični stvarnosti, določa po posebnih postopkih (Čeh in sod., 2011; Lisec in Ferlan, 2012).

Razvoj rešitev v sistemu zemljiške administracije, tudi uvedba 3D-katastra, mora vsekakor upoštevati potrebe države oziroma družbe. Velik izziv pri tem predstavlja prehod s tradicionalnega dvorazsežnega katastra v trirazsežni kataster, saj gre v katastru za velike podatkovne sisteme, ki so se razvijali več desetletji ali celo stoletij in katerih izvor podatkov je izredno heterogen, mnogi podatki pa so tudi pravno zavezujoči. Pri uvajanju novih rešitev v zemljiškem katastru ali širše v zemljiški administraciji moramo poznati obstoječe stanje in nove modele uvajati v smislu nadgradnje obstoječega sistema. To velja tudi za podatkovni podsistem zemljiške administracije. Podatki katastra so namreč raznoliki in se med seboj nerazdružljivo prepletajo. Katastrski podatki so tako lahko pravni podatki (lastništvo in druge pravice, omejitve in odgovornosti na nepremičninah), podatki o legi in obliki nepremičninske enote (parcelne meje, površine, raba), fiskalni podatki (vrednost nepremičnin), topografski podatki (objekti na parcelah in parcelnih mejah, razgibanost terena, infrastruktura), pomemben vidik pa je tudi njihova grafična predstavitev (Navratil in Frank, 2004).

Uvedba 3D-katastra v posamezni državi torej ni preprosta, ker zastavlja pravna, organizacijska in tehnična vprašanja, ki se med seboj prepletajo in jih je mogoče rešiti le s celovitim pristopom (Van Oosterom in sod., 2011). Tradicionalen zemljiški kataster ima korenine v daljni preteklosti, praviloma je uveljavljen in trden sistem evidentiranja oziroma registracije nepremičnin. V skladu s potrebami družbe in trendi razvoja zemljiške administracije ga je treba ustrezno nadgraditi in posodobiti. Pri vzpostavitvi 3D-katastra je treba upoštevati trenutni način registracije katastrskih objektov na eni strani in tehnične zmožnosti na drugi strani (Stoter in Salzmann, 2003).

V doktorski disertaciji se bomo omejili na vidik uvajanja 3D-katastra v obstoječe sisteme zemljiške administracije, ki temeljijo na tradicionalnem parcelnem katastru. Poleg opredelitve nepremičninske enote kot fizične entitete v prostoru in pravne abstraktne entitete, ki prostor deli na nepremičninske enote, bo poudarek na proučevanju možnosti zajema prostorskih podatkov, potrebnih za trirazsežni grafični prikaz katastrskih objektov, kar je pomemben korak k vzpostavitvi 3D-katastra. Pri tem bomo za namene evidentiranja in grafičnega prikaza 3D-nepremičninskih enot proučili možnosti pridobivanja potrebnih podatkov v okviru obstoječih katastrskih postopkov in z uporabo tehnologij daljinskega zaznavanja.

1.1.1 Raziskave na področju razvoja 3D-katastra

V preteklih desetih letih so se na temo vzpostavitve 3D-katastra na mednarodni ravni izvajale številne raziskave. Na tem področju je aktivna organizacija Mednarodno združenje geodetov FIG (franc. *Fédération Internationale des Géomètres*), v okviru katerega od leta 2001 deluje delovna skupina, ki se ukvarja s problematiko 3D-katastra in predstavlja mednarodni forum za izmenjavo znanstvenih ter strokovnih dosežkov na tem področju. Z vzpostavitvijo 3D-katastra, kjer se izpostavljajo tudi zahteve po kakovostnih podatkih in sistemskem pristopu, se ukvarjajo številne države po svetu: Nizozemska (Van der Molen, 2003; Lemmen in Van Oosterom, 2003; Stoter in Ploeger, 2003; Stoter in Salzmann, 2003; Stoter, 2004; Stoter in sod. 2013), Nemčija (Grünbeck, 2004; Gruber in sod., 2014), Avstrija (Navratil in Unger, 2013), Norveška (Onsrud, 2003), Švedska (Paulsson, 2007; Paulsson, 2013), Kanada (Pouliot in sod., 2011; Pouliot in sod., 2013), Avstralija (Karki in sod., 2010; Karki, 2013; Aien in sod., 2013), Izrael (Benhamu in Doytsher, 2003), Kitajska (Ying in sod., 2011), Malezija (Nasruddin in Rahman, 2007; Hassan in sod., 2007), Hrvaška (Vučić, 2015) itd. Ker je kataster dinamičen model, ki se ves čas spreminja, se je že pojavila potreba po vzpostavitvi 4D-katastra, ki naj bi poleg treh prostorskih razsežnosti vključeval še četrto, to je čas (Döner in sod., 2010). Novejše raziskave obravnavajo konceptualno modeliranje za vzpostavitev 3D-katastra (Lemmen, 2012), s ciljem nadgraditi obstoječi katastrski sistem z evidentiranjem 3D-nepremičninskih enot (Aien, 2013; Stoter in sod., 2013; Karki, 2013; Vučić, 2015; Pouliot in sod., 2013). Vzporedno se pojavljajo posamezni poskusi možnosti uporabe tehnologij daljinskega zaznavanja pri zajemu podatkov o nepremičninah, s katerimi je možno pridobiti koristne podatke za vzpostavitev 3D-katastra (Jazayeri in sod., 2014).

Pogoj za trirazsežno evidentiranje in grafični prikaz nepremičnin so 3D-prostorski podatki. Pri zajemu podatkov v treh razsežnostih so lahko v pomoč sistemi za množičen zajem prostorskih podatkov, kot to omogočajo tehnologije daljinskega zaznavanja. Uporaba tehnologij daljinskega zaznavanja, predvsem fotogrametrije, v zemljiškem katastru sega v 70. leta prejšnjega stoletja (Weissmann, 1971; Dale, 1979), med drugim tudi v Sloveniji, kjer je že leta 1959 potekala aerofotogrametrična detajlna zemljiškokatastrska izmera v šestnajstih katastrskih občinah v vzhodnem delu Prekmurja (Triglav, 2015). Danes omogočajo sodobni merski geodetski sistemi, vključujoč tehnologije daljinskega zaznavanja, učinkovit zajem 3D-podatkov na velikih površinah (Lemmen in Van Oosterom, 2003).

Lasersko skeniranje se tako uspešno uporablja za zajem stavb za namene modeliranja stavb v 3D-katastru (Pfeifer in sod., 2007; Kada in McKinley, 2009; Pu in Vosselman, 2009; Triglav Čekada, 2010; Wang in Sohn, 2011; Elberink in Vosselman, 2011), kot tudi za zajem kompleksnih prometnih križišč (Elberink in Vosselman, 2009; Chen in sod., 2009; Tiwari in sod., 2009). Vzporedno se razvijajo različne metode polavtomatskega in avtomatskega zajema stavb iz letalskih in visoko ločljivih satelitskih podob (Long in Zhao, 2005; Gerke in Heipke, 2008; Trinder in Sowmya, 2009; Dornaika in Hammoudi, 2010; Akca in sod., 2010; Shi in sod., 2011; Vasile in sod., 2010; Weng, 2012). Pri zajemu prostorskih podatkov o objektih avtorji izpostavljajo pomen analize kakovosti podatkov (Elberink in Vosselman, 2009; Akca in sod., 2010). Novejše raziskave so usmerjene v semantične in geometrijske analize uporabe različnih tehnologij daljinskega zaznavanja v katastru (Jazayeri in sod., 2014). Uporabo brezpilotnih letalnih sistemov za izmero mejnih znamenj in drugih objektov so izpostavili številni avtorji (Manyoky in sod., 2011; Cunningham in sod., 2011; Van Hinsbergh in sod., 2013). Za pridobitev podatkov za vzpostavitev 3D-katastra so se uporabljali tudi mobilni sistemi (Taneja in sod., 2012; Hammoudi in sod., 2010; Hao in sod., 2011). Za izdelavo modela notranjosti stavb so se v kombinaciji s tehnologijami daljinskega zaznavanja uporabili katastrski in etažni načrti (Hammoudi in sod., 2010; Wang in Sohn, 2011; Tack in sod., 2012).

1.2 Hipoteze

Tako tradicionalni 2D-parcelni kataster kot 3D-kataster sestavlja zbirka podatkov o nepremičninskih enotah, ki mora praviloma omogočiti tudi grafično predstavitev teh prostorskih podatkov. Za razliko od tradicionalnih katastrskih načrtov v dveh razsežnostih zahteva 3D-grafična predstavitev katastrskih objektov dodatno tretjo razsežnost, ki jo lahko dobimo bodisi s klasično geodetsko izmero ali pa tudi s tehnologijami daljinskega zaznavanja. Pri tem se pojavita vprašanji:

- (1) kako nadgraditi katastrsko izmero za vzpostavitev 3D-katastra v smislu, da se omogoči grafična predstavitev katastrskih podatkov v 3D-okolju in
- (2) ali je mogoče pridobiti ustrezne podatke za vzpostavitev 3D-katastra s tehnologijami daljinskega zaznavanja?

Delovne hipoteze naloge so:

- (1) Za popolno in kakovostno evidentiranje pravic, omejitev in odgovornosti na nepremičninah ter evidentiranje drugih podatkov o nepremičninah je potreben 3D-kataster.
- (2) S sodobnimi metodami daljinskega zaznavanja je mogoče hitro in učinkovito zajeti določene podatke za potrebe vzpostavitve 3D-katastra.
- (3) V Sloveniji je možna uvedba 3D-katastra z nadgraditvijo trenutno delujočega sistema zemljiške administracije.

Za odgovor na raziskovalni vprašanji in za namene preverjanja delovnih hipotez bomo proučili koncept zemljiške administracije in predlagali zasnovo 3D-katastra, ki bi omogočal evidentiranje pravic in drugih podatkov o nepremičninah ter njihovo grafično prostorsko predstavitev. Na študijskih območjih bomo predstavili možnosti uporabe tehnologij daljinskega zaznavanja za zajem 3D-podatkov o nepremičninah, ki jih je mogoče uporabiti za vzpostavitev 3D-katastra. Dodatno bomo za primer Slovenije proučili in predlagali model nadgradnje obstoječega katastra v 3D-kataster.

1.3 Metodologija

V doktorski nalogi proučujemo možnosti vzpostavitve 3D-katastra ob uporabi virov daljinskega zaznavanja. Takšna raziskava v svetovnem merilu še ni bila celovito izvedena in ovrednotena, pomembna pa je tudi z vidika interdisciplinarnosti področja raziskave, ki združuje področja zemljiške administracije, prostorskih informacijskih sistemov in daljinskega zaznavanja. Raziskovalno delo v okviru doktorske naloge smo v splošnem razdelili na tri sklope.

Prvi sklop se nanaša na zemljiško administracijo. Najprej bomo preučili strukturiranje in modeliranje prostora, in sicer bomo pojem zemljišča preučili tako s fizičnega kot tudi s pravnega vidika. Predstavili bomo pojem nepremičninske enote in jo povezali s fizičnimi prostorskimi objekti, na katere se lahko nanaša. Nadalje bomo pripravili pregled pristopov evidentiranja nepremičninske posesti od prvih začetkov do danes. Nato bomo preučili potrebe za vzpostavitev trirazsežnega evidentiranja zemljišč in predstavili izzive pri vzpostavitvi 3D-katastra, s katerimi se srečujejo vodilne države na tem področju. V ta namen bomo pripravili pregled objav in z opisno metodo predstavili stanje na področju obravnave. Na osnovi tega pregleda bomo zasnovali model 3D-katastra, predvsem z vidika prostorskih podatkov, ki so potrebni za modeliranje in 3D-predstavitev prostorskih katastrskih entitet. Predstavili bomo model prehoda iz parcelnega katastra v 3D-kataster in izpostavili podatke, ki so potrebni za trirazsežni prikaz nepremičninskih enot.

V drugem sklopu bomo na temelju kritičnega pregleda literature in z uporabo opisne metode predstavili različne tehnologije daljinskega zaznavanja, ki jih svetovne raziskave predlagajo kot primerne za zajem prostorskih podatkov, ki se lahko koristno uporabijo pri vzpostavitvi 3D-katastra. Na temelju kritičnega ovrednotenja literature bomo izpostavili tehnologije, ki so lahko primerne za zajem podatkov o nepremičninah za vzpostavitev 3D-katastra. Teoretične domneve o uporabnosti tehnik daljinskega zaznavanja za zajem podatkov pri vzpostavitvi 3D-katastra bomo praktično preizkusili na testnem primeru na območju Slovenije. Na osnovi analiz rezultatov bomo predlagali najprimernejši vir za zajem podatkov o nepremičninah za namen vzpostavitve 3D-katastra. Pri tem bomo uporabili obstoječe topografske podatke ter opravili dodatne zajeme prostorskih podatkov s tehnologijami daljinskega zaznavanja, katerih rezultate bomo tudi ovrednotili. Za zajem karakterističnih točk nepremičnin v treh razsežnostih bomo uporabili različne vire podatkov in tehnologije daljinskega zaznavanja:

- podatke brezpilotnih letalnih sistemov različnih proizvajalcev v različnih vremenskih pogojih;
- podatke aerolaserskega skeniranja visoke ločljivosti in državnega aerolaserskega skeniranja;
- podatke, pridobljene z zajemom stereoparov letalskih posnetkov cikličnega aerofotografiranja Slovenije.

Tretji sklop se nanaša na možnosti vzpostavitve 3D-katastra v Sloveniji. Poleg opisne metode bomo uporabili tudi metode grafičnega modeliranja in prikaza rešitev v obliki diagramov. Predstavili bomo obstoječi sistem evidentiranja nepremičnin v zemljiškem katastru in katastru stavb ter podali zasnovo podatkovnega modela 3D-katastra. Pripravili bomo pregled podatkov o nepremičninah, ki so v katastru že evidentirani, in izpostavili podatke, ki so dodatno potrebni za njihovo evidentiranje in grafični prikaz v 3D-okolju. Na podlagi teoretičnih ugotovitev, praktičnih rezultatov analize o najprimernejših tehnologijah daljinskega zaznavanja pri vzpostavitvi 3D-katastra ter analize postopkovnega in podatkovnega modela katastra v Sloveniji bomo predlagali model prehoda iz parcelnega v 3D-kataster. Pri tem se bomo osredotočili predvsem na podatke, ki jih je treba dodatno zajeti za trirazsežno evidentiranje in grafično predstavitev nepremičninskih enot v katastru. Posebej bomo obravnavali primera večstanovanjske stavbe in prometnice s predorom ter viaduktom.

1.4 Vsebina in struktura doktorske disertacije

Doktorska disertacija je vsebinsko razdeljena na osem poglavij.

V uvodnem poglavju predstavimo problemsko področje, osnovni pregled literature na področju trirazsežnega evidentiranja in daljinskega zaznavanja ter pristop k raziskovalnemu delu.

Drugo poglavje je namenjeno predstavitvi področja strukturiranja prostora na nepremičninske enote ter povezavo fizičnega prostora z abstraktnim modelom nepremičninskih enot, ki so predmet evidentiranja v sistemu zemljiške administracije.

V tretjem poglavju je prestavljen koncept modeliranja prostora v katastrih, ki se je razvijal od prvih začetkov evidentiranja nepremičnin do danes.

Četrto poglavje opisuje teoretične izsledke svetovnih raziskav s področja trirazsežnega evidentiranja nepremičnin ter v nadaljevanju podaja možnosti prehoda iz 2D-parcelnega katastra v 3D-kataster.

Peto poglavje je namenjeno predstavitvi tehnologij daljinskega zaznavanja in njihovi primernosti za zajem posameznih katastrskih objektov.

Šesto poglavje se nanaša na testni primer, kjer analiziramo primernost izbranih metod in tehnologij daljinskega zaznavanja za zajem karakterističnih podatkov o nepremičninah za vzpostavitev 3D-katastra. Testni primer je namenjen predvsem ovrednotenju kakovosti rezultatov zajema prostorskih podatkov z izbranimi metodami.

V sedmem poglavju za primer Slovenije predstavljamo možnost uvedbe 3D-katastra v smislu nadgradnje obstoječega sistema evidentiranja nepremičnin. Podan je model prehoda na 3D-kataster s poudarkom na prostorskih podatkih, ki so za izbrane tipične primere nepremičninskih enot potrebni za evidentiranje in grafični prikaz katastrskih podatkov v 3D-okolju.

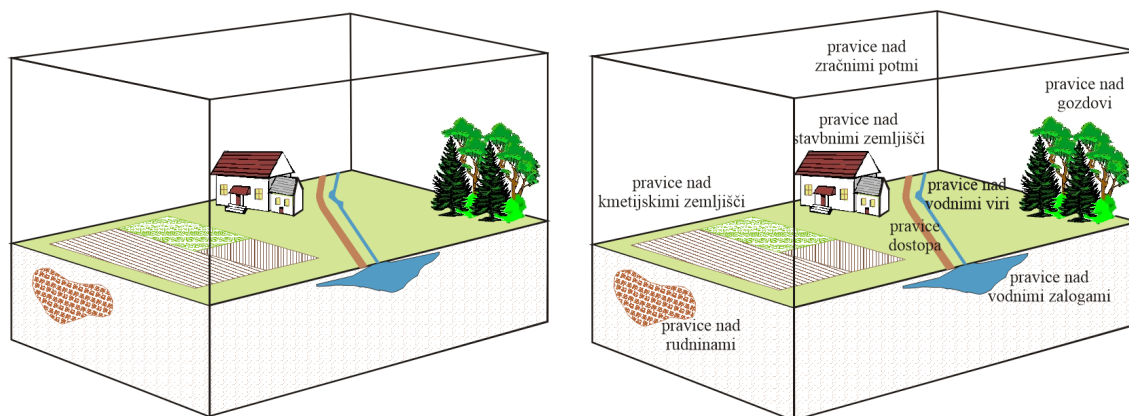
V osmem poglavju strnemo ugotovitve raziskave in podamo zaključke.

»Ta stran je namenoma prazna.«

2 STRUKTURIRANJE PROSTORA

Človek biva in izvaja svoje dejavnosti na zemljiščih, v prostoru. Pojem prostor ima lahko več pomenov in je v splošnem vse, kar je okoli nas. Opišemo ga lahko kot stvarnost, ki je prostorsko neskončna, po času spremenljiva in vsebinsko zapletena fizična realnost, ki nas obdaja (Šumrada, 2005). V naši zgodovini je bil prostor predmet preučevanja številnih filozofov in znanstvenikov. Že v pradavnini se je človek zavedal pomena zemljišč in prostora, saj je bil prostor tisti, kjer je človek prebival in našel dobrine za preživetje. Ljudje so kmalu začeli načrtno pridelovati hrano, in tako so urejali in obdelovali zemljišča, v bližini katerih so ustvarili bivališča. Začela so nastajati prva naselja in kultivirana kmetijska zemljišča. V družbi so se začele prepoznavati in uveljavljati pravice posameznikov ali skupnosti do koriščenja zemljišč (Larsson, 1991; Larsson, 1997; Dale in McLaughlin, 1999; Liseč, 2007).

Pravice do uporabe zemljišč so se v osnovi že od nekdaj navezovale na trirazsežni (3D) prostor, saj lahko s fizičnega vidika zemljišče definiramo le v trirazsežnem prostoru (Slika 2.1). Poleg površja Zemlje k zemljiščem namreč spadajo tla pod površjem in zračni prostor nad površjem Zemlje (Dale in McLaughlin, 1999; Liseč, 2007). Pri tem tla v najosnovnejšem pomenu predstavlja plašč preperelih kamnin na površju Zemlje, ki so rezultat dolgotrajnega procesa nastajanja tal pod vplivi podnebja, topografije površja, rastlinskega pokrova in talnih organizmov na matično kamnino (Liseč, 2007). Predstavljajo temelj za razvoj številnih različnih tipov tal, ta pa vplivajo na rabo zemljišč in navsezadnje tudi na parcelno strukturo zemljišč. Pri obravnavanju pravic na zemljiščih je pomembna pravna definicija zemljišča, ki zemljišče opredeljuje kot zaokrožen del zemeljske površine, na katero se vežejo lastninska in druge stvarne pravice, skupaj z naravnimi in ustvarjenimi danostmi, ki se vežejo na zemljišče in so predmet pravic na zemljiščih (Liseč, 2007). Za zemljišča v strokovni javnosti pogosto uporabljamo tudi besedo nepremičnina, ki opredeljuje zaključeni in omejeni del prostora, vključno z vsemi sestavinami. Številni raznovrstni interesi v prostoru, ki se izražajo z različnimi vrstami rabe zemljišč s pripadajočimi pravicami, omejitvami in odgovornostmi, potrebujejo učinkovito zemljiško administracijo.



Slika 2.1: Zemljišča in pravice, ki se nanašajo na zemljišča – fizično (levo) in abstraktno (desno) strukturiranje prostora (Liseč, 2007, prirejeno po Dale in McLaughlin, 1999).

Figure 2.1: Land and land related rights – physical (left) and abstract (right) space structuring (Liseč, 2007, adapted from Dale and McLaughlin, 1999).

Naše problemsko področje je modeliranje in evidentiranje nepremičnin v katastrskih sistemih v okviru sistemov zemljiške administracije. Pri tem sistem zemljiške administracije opredeljujemo kot obsežen sistem za najpodrobnejše pravno-administrativno strukturiranje prostora ter upravljanje mej pravic,

omejitev in odgovornosti na zemljiščih ter sistem za zajemanje, vzdrževanje, analize in posredovanje podatkov o zemljiščih (nepremičninah) in pravicah na njih (Zupan in sod., 2014). Upravljanje z zemljišči obsega področja zemljiškega prava, prostorskega načrtovanja, varstva okolja in evidentiranja nepremičnin. Gospodarska komisija Združenih narodov za Evropo (UN-ECE) je že leta 1996 preko delovne skupine za zemljiško administracijo definirala zemljiško administracijo kot postopke dodeljevanja, registracije in porazdeljevanja informacij o lastništvu, vrednosti in rabi zemljišč pri izvajanju zemljiške politike. Lastništvo se pri tem smatra kot pravica do zemljiške posesti, na katero se nanašajo pravice do zemljišča, ki temeljijo na ustavnem in civilnem pravu ter na ustaljenih navadah. Pojem vrednosti se razume kot vse vrste vrednosti, ki bi jih lahko zemljišče imelo, odvisno od namena in metode vrednotenja ter rabe zemljišča. Raba zemljišča zajema vse vrste rab, ki bi jih zemljišče lahko imelo, odvisno od namena in uporabe ter klasifikacije in metodologije. Zemljišče se smatra v širšem smislu kot zemeljsko površje, snov pod in zrak nad zemeljskim površjem ter vse sestavine (stavbe in ostale zgradbe), ki so pritrjene na zemeljsko površje. Koncept upravljanja z zemljišči se nanaša na dejavnosti za izpolnitev zastavljenih ciljev pri izkoriščanju zemljišč z upoštevanjem številnih omejitev. Osnovni namen zemljiške administracije je služenje družbi, skupaj z zemljiško politiko, ki se izvaja preko delovanja upravljanja z zemljišči (Van der Molen, 2002; Lemmens, 2011).

Sistem zemljiške administracije mora vsebovati različne podatke o lastnostih zemljišč in razmerjih interesov na nepremičninah ter omejitvah na njih (Zupan in sod., 2014) v podporo upravljanju zemljišč. Upravljanje zemljišč lahko razumemo kot sistem med seboj povezanih oseb in dejavnosti, katerih rezultat zagotavlja najbolj učinkovito porazdelitev in uporabo zemljišč (Lisec in Ferlan, 2012). Je širok izraz za dejavnosti, katerih namen je uresničiti cilje rabe določenih zemljiških virov, pri čemer je treba poleg lastnosti zemljišč obravnavati njihov okoljski, prostorski in družbeno-gospodarski pomen (Lisec in Prosen, 2008). V 1990-ih letih se je uveljavil pojem trajnostne rabe zemljišč, ki morajo kot vir preživetja ostati tudi za prihodnje generacije.

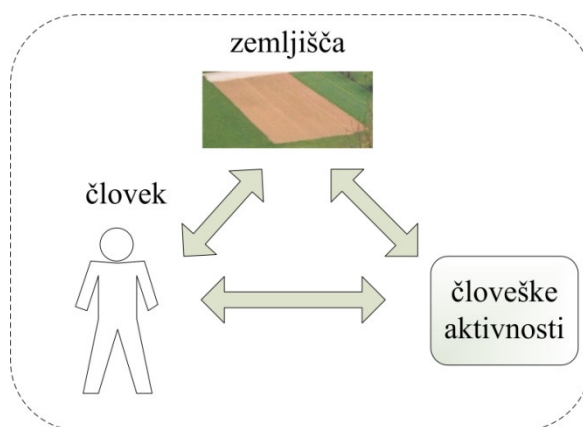
Podatkovni podsistem zemljiške administracije se razlikuje od drugih geografskih informacijskih sistemov v tem, da prikazuje več kot le fizične attribute v odnosu do prostorskih objektov, ampak odnos človeštva do zemljišč v obliki pravic, omejitev in odgovornosti (Van der Molen, 2002). Zaradi velike količine in obsega dejavnosti v sodobnih družbah naj bi bile pravice na zemljiščih lahko razpoznavne in preverljive. Naloga sistema zemljiške administracije je med drugim pridobivanje, shranjevanje in posredovanje informacij, ki se nanašajo na zemljišča kot naravni vir; sistem zemljiške administracije tako predstavlja pomembno podporo odločitvam za trajnostno rabo in razvoj zemljišč (UN-ECE, 1996).

Sistemi zemljiške administracije se pri svojem delovanju opirajo na pravni okvir, ki pokriva zemljiške pravice, zemljiško politiko in načrtovanje rabe zemljišč, institucionalni, organizacijski in administrativni okvir ter tehnološki okvir, ki se osredotoča na zajem, shranjevanje, analizo in posredovanje z zemljišči povezanih informacij (Lemmens, 2011). V sistemih zemljiške administracije shranjeni podatki o zemljiščih oziroma nepremičninah, pravicah in subjektih omogočajo višjo stopnjo varovanja pravic posameznikov in skupin ljudi na zemljiščih. Poleg zagotavljanja pravne varnosti so podatki v sistemih zemljiške administracije koristni za širok nabor dejavnosti, povezanih z zemljišči. Če so podatki in iz podatkov izvedene informacije primerno urejene in predstavljene, zagotavljajo pomembno podporo vodenju obsežnih družbenih, gospodarskih in okoljskih dejavnosti, kot so stanovanjska problematika, infrastruktura, kmetijstvo, ribištvo, gozdarstvo, trajnostni gospodarski razvoj in okoljsko upravljanje. Sistem zemljiške administracije služi tudi politični stabilnosti in družbeni pravičnosti. Ključna zahteva naj bi bila hiter dostop do kakovostnih in posodobljenih podatkov (Bennett in sod., 2012).

Poudarek raziskave je na grafičnem podsistemu zemljiške administracije oziroma zemljiškega katastra, pri čemer poskušamo z ustreznim podatkovnim modelom omogočiti grafično predstavitev posamezne nepremičninske enote na način, da bi lahko bila v skladu s smernicami mnogonamenskega katastra uporabna v različne namene v okoljih geografskih informacijskih sistemov (GIS). V ta namen moramo določiti prostorske nepremičninske enote, ki so predmet evidentiranja v sistemu zemljiške administracije, na katere se nanašajo različni katastrski opisni podatki, kot so raba, vrednost, in na katere se vežejo pravice, omejitve in odgovornosti nosilcev pravic.

2.1 Fizično strukturiranje prostora

Zemljišča skupaj z vodnimi površinami obdajajo celotno Zemljo. Zemljišča so od nekdaj predstavljala ključni naravni vir za obstoj človeka, saj predstavljajo prostor, kjer človek biva in deluje ter vir prehrane, v tržnem gospodarstvu pa predstavljajo zemljišča tudi pomemben vir kapitala. Odnos med človekom in zemljišči je najpomembnejši v celotni družbi (Slika 2.2) in se je spreminjal skladno z razvojem družbe (Larsson, 1991; Dale in McLaughlin, 1999; Lisec in Ferlan, 2012).



Slika 2.2: Odnos med človekom in zemljiščem (Lisec, 2007).

Figure 2.2: The relationship between man and land (Lisec, 2007).

Razdelitev zemljišč na zemljiške parcele, ki v državah z uvedenim parcelnim katastrom predstavljajo določen (odmerjen) del površja Zemlje z vsemi sestavinami nad, pod in na zemljišču, je odvisna od naravnogeografskih pogojev, kot so naklon, osončenost, nadmorska višina, ter od gospodarskega in političnega dogajanja v posamezni državi v preteklosti (Ilešič, 1950) in danes. Kot primer naj navedemo, da je mogoče v Sloveniji še danes najti več značilnih zemljiških razdelitev, ki so nastale predvsem v fevdalnem obdobju (Slika 2.3). Najstarejše so grude nepravilnih oblik, ki so nastale na območjih zaselkov in gručastih vasi z razgibanim reliefom. Na ravninskih predelih so nastali delci, ki so pravilnih oblik in so sistematično razdeljeni po celotnem območju. Na nekaterih območjih so se zemljišča razdelila v obliki prog, ki so segale od domačije do obdelovalnih površin in gozda. V hribovitih in goratih predelih severozahodne Slovenije so nastali celki, za katere je značilno, da ima kmetija vso obdelovalno zemljo strnjeno okoli domačije. Izraziti tipi značilnih posestnih struktur so redki, saj se pojavljajo večinoma prehodne oblike (Ilešič, 1950).



Slika 2.3: Značilne parcelne strukture v Sloveniji: delci na ravninskem območju v Prekmurju (levo), grude s celki v hribovitih predelih Zasavja (sredina) in proge na Soriškem polju (desno) (Geodetska uprava Republike Slovenije).

Figure 2.3: Typical parcel structures in Slovenia: particles in lowlands of Prekmurje (left), clods with enclosures in hills of the Central Sava Valley (centre) and lines in Sorško field (right) (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia).

V 19. stoletju se je z ukinitvijo fevdalizma in zemljiško odvezo pospešil proces drobljenja slovenskih kmetij. Dodatni dejavniki za drobljenje zemljiške posesti na podeželju so bili agrarna prenaseljenost, pomanjkanje kmetijskih zemljišč, dedno pravo, skromne zaposlitvene možnosti v neagrarnih poklicih, industriji in v mestih (Korošec, 2006; Vrišer, 2005). Parcelno prestrukturiranje je nadalje zahtevala urbanizacija – širitev mest, industrializacija in gradnja infrastrukturnih objektov. Mesta so se praviloma tudi na Slovenskem razvijala na ravninskih predelih ob rekah in so vedno predstavljala središče različnih dejavnosti. V Sloveniji so prva mesta nastala v času rimskega imperija. V njih je nastal meščanski sloj prebivalstva, ki se je ukvarjal z obrtjo, trgovino in upravnimi službami. V fevdalnem sistemu srednjega veka so se mesta razvijala okrog gradov. Središča mest so predstavljali trgi, ponekod so bila mesta ograjena z obzidji. Industrializacija in razvoj prometa sta v 19. in 20. stoletju prispevala k razvoju mest ob virih surovin in možnostih za industrijski razvoj. Urbanizacija je povzročila širjenje mest in mestnega prebivalstva na kmetijska in gozdna zemljišča (Sedlar, 1974).

Tudi danes zahteva sprememba planske in dejanske rabe parcelno prestrukturiranje prostora, velik izziv pa predstavlja strukturiranje prostora v zapletenem grajenem okolju, kjer tradicionalna definicija zemljiške parcele ne zadostuje več za registracijo pravic, omejitev in odgovornosti na nepremičninskih enotah. Danes se zemljišča uporabljajo v različne namene, kot so gozdni, kmetijski, poselitveni, industrijski ipd. (Slika 2.4). Država ali hierarhično nižja raven javne službe določi, za kakšen namen se bodo zemljišča uporabljala in kako se bodo razvijala (Dale in McLaughlin, 1999). Vsaka od teh dejavnosti v prostoru ima svoje vplive na okolje in nepogrešljiv pomen za vlogo v družbi.



Slika 2.4: Raba prostora na ruralnem območju na Danskem (levo) in v mestnem središču v Franciji – Pariz (desno) (osebni arhiv).

Figure 2.4: Land use in the rural area in Denmark (left) and in the city centre in France - Paris (right) (personal archive).

Gozdna zemljišča so vir lesne biomase, ki se uporablja v gospodarstvu, energetiki in industriji. Gozdovi imajo poleg proizvodne tudi močno okoljsko vlogo. So ponor ogljikovega dioksida, kar preprečuje nastanek tople grede. Korenine dreves in drugih rastlin preprečujejo odnašanje zemlje in tako delujejo protierozijsko ter v gorskih predelih preprečujejo plazove. Gozdovi zadržujejo vodo, s čimer povzročijo, da se vodni cikel upočasni. Nudijo domovanje različnim vrstam rastlin in živali ter tako podpirajo biološko raznolikost. Imajo pozitiven vpliv na naselja, saj jih ščitijo pred vetrom, blažijo temperaturne razlike, povečujejo vlago in poleti hladijo zrak. Gozdovi povečujejo fizično in duševno zdravje ljudi, saj predstavljajo prostor za rekreacijo, pohodništvo ter sprostitev (Spletni portal Gozd in gozdarstvo, 2016).

Gozdna zemljišča so enostavna z vidika evidentiranja pravic v 3D-prostoru, saj so praviloma vse sestavine na, pod in nad površjem Zemlje del gozdnega zemljišča.

Kmetijska zemljišča so pomembna za pridelavo hrane za ljudi in domače živali, zato so od prvih stalnih naselitev človeka osnovna in nepogrešljiva raba prostora. Obdelana kmetijska zemljišča ohranjajo kulturno krajino in usmerjajo poselitev. Na ruralnih predelih se sočasno s kmetijsko rabo odvijajo rekreacija, turizem, razpršena poselitev in mala podjetja, ki nimajo negativnega vpliva na opravljanje kmetijskih dejavnosti. Kmetije v višinskih in odročnih predelih omogočajo obdelanost tal in skrbijo za poselitev ter posledično za turistični razvoj teh območij (Strategija za izvajanje resolucije o strateških usmeritvah razvoja slovenskega kmetijstva in živilstva do leta 2020, 2014).

Podobno kot za gozdna zemljišča velja, da so kmetijska zemljišča enostavna z vidika evidentiranja pravic v 3D-prostoru, saj so praviloma vse sestavine na, pod in nad površjem Zemlje del kmetijskega zemljišča.

Okoli 70 % površja Zemlje prekriva *voda* v obliki oceanov, morij, jezer in vodotokov. Pod zemeljskim površjem se nahajajo zaloge pitne vode. Voda na splošno omogoča življenje. Voda se uporablja v kmetijstvu za pridelavo rastlin in rejo živali ter v industriji za nemoteno delovanje tehnoloških procesov. Po rekah potekajo prometne poti, zaradi katerih so se ob velikih vodotokih razvile svetovne prestolnice. Pomembno vlogo ima voda tudi v rekreaciji in turizmu, saj so se prav na obalah jezer in

morij razvila pomembna turistična središča (Prostočasne dejavnosti in prostorski razvoj Slovenije, 2002).

Strukturiranje vodnih zemljišč v obliki parcel je zelo raznoliko med državami in je odvisno predvsem od pravne ureditve, ali so lahko vodne površine v zasebni lasti ali so javno dobro.

Na *poselitvenih območjih* ljudje prebivajo in opravljajo različne dejavnosti. Poselitvena območja se med seboj razlikujejo glede na lego in različne potrebe družbe. Na ruralnih območjih praviloma gradnja ni tako zgoščena kot v urbanih središčih, kjer je gradnja strnjena, pri čemer prevladujejo večstanovanjske stavbe ali stanovanjsko poslovne stavbe, ki poleg bivanja služijo opravljanju različnih storitvenih dejavnosti. Grajene površine v naseljih so namenjene tudi drugim družbenim dejavnostim, kot so zdravstvene in izobraževalne ustanove, trgovine, pošta, upravne zgradbe itd. Pomemben del poselitvenih območij so nepozidana zemljišča v obliki zelenic, parkov in otroških igrišč za sprostitve, igro in rekreacijo. Industrijska območja so bila v preteklosti gonilo razvoja in poselitve. Razvila so se blizu nahajališč surovin in energetskih virov. Posledica težke industrije je bilo onesnaževanje okolja, degradacija površin in slab vpliv na zdravje ljudi. Sodobne industrijske cone in podjetniška središča prinašajo veliko število delovnih mest in inovativnih gospodarskih projektov. Škodljive posledice industrije na okolje so danes regulirane z vidika presoje vplivov na okolje ter izborom primerne lokacije industrijskih površin (Študija ranljivosti prostora, 2003).

Urbana območja so danes z vidika strukturiranja prostora v sistemu zemljiške administracije zelo zapletena. Na tradicionalno določenem zemljišču oziroma zemljiški parceli se prepletajo različne pravice, omejitve in odgovornosti. Nad in pod površjem Zemlje se na različnih vertikalnih ravneh nahajajo različne nepremičninske enote in odstopajo od koncepta tradicionalne definicije zemljišča (stanovanja, stavbe na ali pod tujimi zemljišči in grajenimi strukturami ipd.). Podobno velja tudi za območja prometne infrastrukture, ki omogoča povezovanje in prometne tokove med posameznimi kraji. Ceste in železnice dnevno skrbijo za prevoz ljudi in blaga. V urbanih središčih so v velikih obsegih zgoščena pozidana zemljišča, ki so namenjena parkiriščem, kolesarskim potem in pločnikom. Pomembna so tudi velika prometna središča, kot so letališča in pristanišča. Dobre prometne povezave imajo velik vpliv na regionalni razvoj in gospodarsko uspešnost (Kozina, 2010).

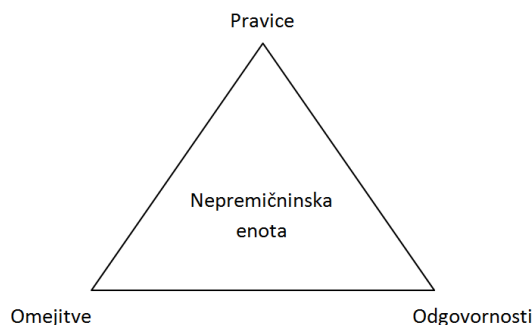
Raba prostora ni omejena le na zemeljsko površje, ampak tudi na prostor nad in pod zemeljskim površjem (Slika 2.5). V globinah Zemlje so že od začetkov planeta zaloge naravnih virov in surovin, ki imajo velik pomen za življenje. To so zaloge pitne vode, termalna voda, nafta, zemeljski plin, rudna nahajališča, premog itd. Prometnice so že nekoč premagovale razgibani relief preko mostov in predorov. Danes so pri gradnji avtocest in drugih hitrih cest v ospredju izven nivojska križanja, kot so podvozi, nadvozi, viadukti, akvadukti in predori. Urbanizacija je narekovala v skladu s potrebami družbe intenzivno rabo prostora na več ravneh. V mestih so nastali več etažni stanovanjski kompleksi, poslovno stanovanjske stavbe, bloki, stolpnice itd. Promet se v metropolah odvija po podzemnih železnicah, ki dnevno skrbijo za hiter pretok množice potnikov. Težave s parkiranjem so v mestnih središčih rešile podzemne garaže. Prečkanje večpasovnih cest se v urbanih središčih odvija v podhodih, ki služijo tudi opravljanju različnim trgovskim in drugim storitvenim dejavnostim (Stoter in Ploeger, 2003).



Slika 2.5: Večnivojska raba prostora v osrednji Sloveniji (osebni arhiv).
Figure 2.5: Multilevel use of space in the central Slovenia (personal archive).

2.2 Abstraktno strukturiranje prostora

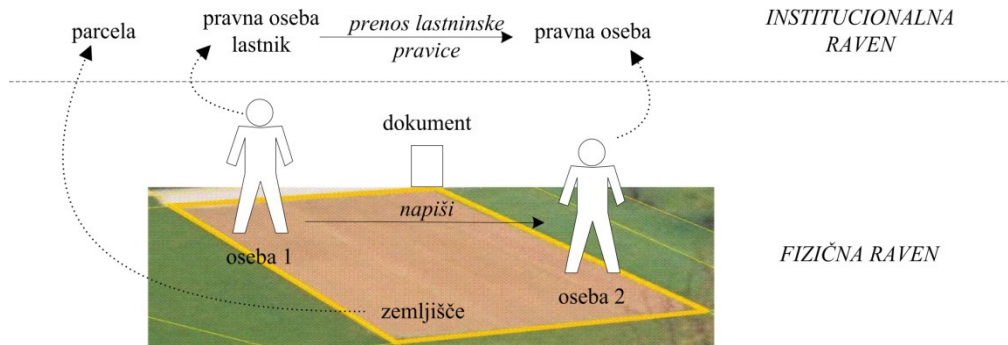
Pomemben vidik zemljišč v sistemu zemljiške administracije niso le fizične lastnosti zemljišča s podatki o legi in velikosti zemljišča, vrsti rabe, razgibanosti reliefa in površini, ampak tudi pravice, omejitve in odgovornosti, ki se nanašajo na zemljišča (Slika 2.6). Zemljišč ne smemo obravnavati le kot fizično enoto, ampak kot sestavni del družbe (Slika 2.8) z vsemi njenimi predpisi, institucijami in družbeno gospodarskimi značilnostmi (Larsson, 1991).



Slika 2.6: Pravice, omejitve in odgovornosti na nepremičninski enoti (prirejeno po Dale in McLaughlin, 1999).
Figure 2.6: Rights, restrictions and responsibilities on a real estate unit (adapted from Dale and McLaughlin, 1999).

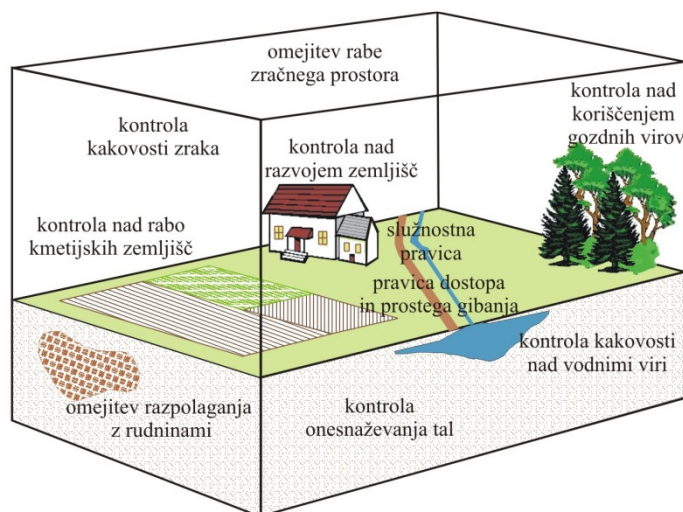
Najmočnejša pravica na nepremičninah je lastninska pravica, ki je ena od temeljnih človekovih pravic (Lisec in Ferlan, 2012). Lastninska pravica je pravica imeti nepremičnino v oblasti, jo uporabljati in uživati na najboljšežnji dovoljeni način in z njo razpolagati. Osebe lahko poleg lastninske uživajo še

druge pravice na nepremičninah. Za dostop do svoje nepremičnine preko tujega zemljišča se lahko v slovenskem pravnem sistemu ustanovi služnostna pravica; lastnino stavbe nad ali pod tujim zemljiščem omogoča stavbna pravica; za poroštvo pri bančnem kreditu se uporablja zastavna pravica itd.



Slika 2.7: Odnos med človekom in zemljiščem na institucionalni ravni (Lisec, 2007, prirejeno po Bittner, 2001).
Figure 2.7: Relationship between man and land at institutional level (Lisec, 2007, adapted from Bittner, 2001).

Pravice, tudi lastninska pravica, na zemljiščih niso absolutne (Slika 2.7). Posameznik ne sme neomejeno izkoriščati svojih zemljišč. Pravice so omejene na institucionalni ravni – z zakonom ali podzakonskimi predpisi. Nanašajo se na rabo zemljišča, in sicer kot omejitve pri gradnji, kmetovanju, gozdarstvu, industriji itd. Državni predpisi določajo splošne omejitve, predpisi lokalnih skupnosti pa so praviloma bolj podrobni. Omejitve so namenjene predvsem zaščiti javnih interesov pred zasebnimi. Fizično okolje in prebivalstvo morajo biti zaščiteni pred interesi posameznikov. Bolj kot sta okolje ter družba obsežna in heterogena, več različnih potreb po izkoriščanju prostora obstaja. Posledično narastejo tudi zahteve za omejitve, usmerjanje in načrtovanje prostora. Omejitve obstajajo za trajnostno kmetijstvo in gozdarstvo, reguliranje gradnje in naselij, zaščito okolja, vodnih virov itd. Na področju prostorskega načrtovanja je veliko javnopravnih omejitev povezanih z informacijo o višini, npr. predpisi o največji dovoljeni višini objektov v bližini letališč, v naseljih zaradi prostega pogleda na vedute, zagotovitev primernega osenčenja ipd. (Navratil, 2012; Lisec in Ferlan, 2012).



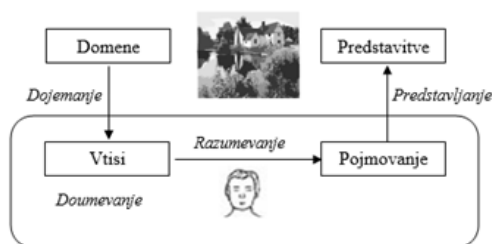
Slika 2.8: Omejitve na zemljiščih (Lisec, 2007, prirejeno po Dale in McLaughlin, 1999).
Figure 2.8: Land restrictions (Lisec, 2007, adapted from Dale and McLaughlin, 1999).

Odgovornosti razumemo kot obvezo družbe do odgovornega ravnanja z zemljišči v skladu s smernicami trajnostnega razvoja. Država ravna odgovorno, s tem ko omogoča izvajanje pravic na zemljiščih in hkrati postavlja ustrezne omejitve za zaščito javnega interesa. Odgovornost posameznikov se nanaša na upoštevanje pravic in omejitev ter odgovornosti, ki izhajajo iz teh pravic. Cilj trajnostnega razvoja je v zadovoljevanju potreb družbe v sedanjosti, ne da bi ogrozili možnosti zadovoljevanja potreb družbe v prihodnosti. Državni organi nosijo odgovornost za izvajanje zemljiške politike, od katerih so najpomembnejši zagotavljanje zaščite pravic na zemljiščih oziroma nepremičninah, usmerjanje nepremičninskega trga, načrtovanje in izvajanje urbanističnega in ruralnega razvoja ipd. Odgovoren odnos do nepremičnin in lastnine se kaže tudi v ustreznem evidentiranju pravic, omejitev in odgovornosti, ki se nanašajo na nepremičnine. S tem je omogočeno pravno varstvo lastnikov zemljišč in učinkovito upravljanje s prostorom (Paulsson in Paasch, 2013).

2.3 Modeliranje prostora

S fizičnega vidika v splošnem ločimo med dvema vrstama prostorskih objektov. Prvi so naravni oziroma fizični objekti. To so kmetijska in gozdna zemljišča, pozidana območja s stavbami, prometna in druga infrastruktura, vode in ostala zemljišča ter objekti. Fizične objekte lahko vidimo in otipamo. Drugi so umetno ustvarjeni oziroma abstraktni prostorski objekti, kot so meje držav, regij, lokalnih skupnosti, katastrskih občin, posesti, zemljiških parcel itd. Abstraktni objekti v stvarnosti niso vidni, njihove meje pa so dogovorjene. Evidentiranje nepremičnin mora obsegati tako fizične kot abstraktne prostorske objekte. Vsebino podatkovnega modela določajo opisni podatki teh objektov, kot so: površina, dejanska in namenska raba ter vrednost. V abstraktnem smislu prostorske objekte določajo meje nepremičninskih enot, na katere se nanašajo pravice, omejitve in odgovornosti (Van der Molen, 2003).

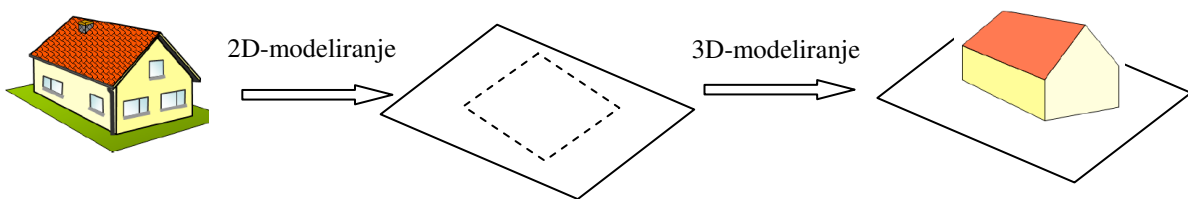
Pomemben vidik evidentiranja nepremičnin je danes koncept mnogonamenskega katastra, ki zahteva ustrezen prostorski podatkovni model in grafično predstavitev takega modela, ki omogoča ponovno rabo podatkov v različnih okoljih GIS. Pri modeliranju stvarnega sveta je poseben izziv vedno predstavljal prehod med neskončno in zapleteno stvarnostjo ter omejenim in končnim prikazom zemljišč. Ljudje stvarnost okoli nas zaznavamo s čutili in jo potem miselno dojamemo. S tem si ustvarimo vtise, s katerimi pojmujeemo stvarnost (Slika 2.9). Zamisli o stvarnosti so poenostavljene in abstraktne. Opišemo jih z modeli, ki so opis ali ponazoritev stvarnosti. Model je vedno abstrakten in posplošen opis nečesa obstoječega ali zamišljenega, pri čemer prikazuje bistvene sestavine in ignorira detajle (Šumrada, 2005). Modeli so izdelani za določen namen uporabe, temu primerna je tudi njihova vsebina. Modeli za evidentiranje zemljišč so v splošnem sestavljeni iz grafičnega prikaza posesti in na njih vezanih pravic, omejitev in odgovornosti.



Slika 2.9: Dojemanje stvarnosti (prirejeno po Šumrada, 2005).

Figure 2.9: The perception of reality (adapted from Šumrada, 2005).

Človek je za predstavitev stvarnosti vedno uporabljal modele. Prvi začetki grafičnega modeliranja zemljišč segajo v obdobje starih civilizacij več kot 3000 let pr. n. št. Na območju takratne Mezopotamije in Egipta so nastali prvi načrti rabe zemljišč, ki so bili prikazani na glinenih ploščah in skalah. Kasneje so bili načrti in karte mest ter podeželja izdelani na papirju. Uporaba dvorazsežnih medijev je povzročila, da je morala biti prostorska stvarnost grafično prikazana na 2D-načrtih. Zemljišča in objekti na njih so bili zato prikazani v tlorisnem pogledu, kot bi realen svet gledali z zraka navpično navzdol (Slika 2.10). Presenetljivo se je tak način modeliranja stvarnosti ohranil vse do danes. V 1990-ih letih je papir začel zamenjevati računalnik, ki v tehnološkem smislu ni več omejen le na dvorazsežno modeliranje. To pomeni, da imamo danes na voljo tehnologijo, ki omogoča modeliranje stvarnosti v treh razsežnostih. Imamo torej možnost, da trirazsežno stvarnost, ki nas obdaja, modeliramo v trirazsežni obliki. Tak način predstavitve stvarnosti je bližje človeškemu dožemanju prostora.



Slika 2.10: Modeliranje stvarnosti v zgodovini: prehod z 2D-modela na 3D-model.

Figure 2.10: Modelling of reality in history: the transition from 2D model to 3D model.

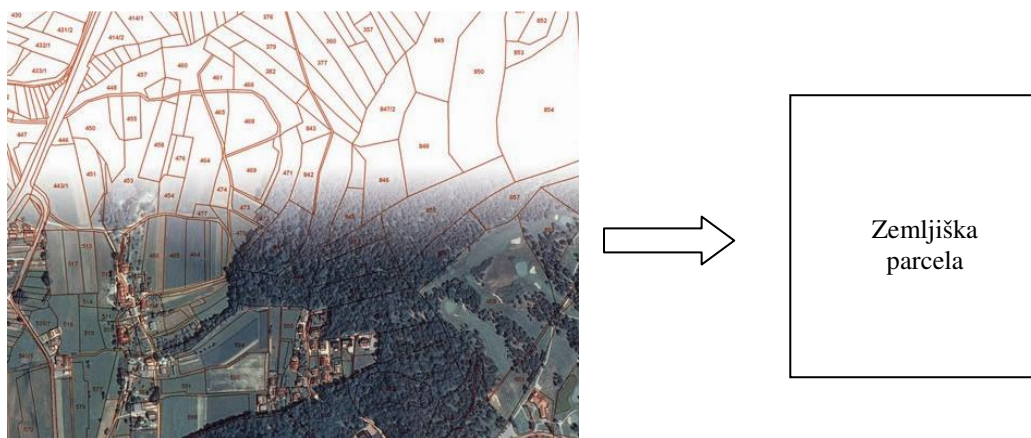
Dvorazsežno modeliranje prostora danes ne ustreza več učinkovitemu evidentiranju strukture prostora z nepremičninskega vidika, ki se uporablja in upravlja na več prostorskih ravneh z višinskega vidika. Če želimo različne rabe prostora oziroma nepremičninske enote na dveh višinskih ravneh v prostoru predstaviti z dvorazsežnimi podatkovnimi modeli, potrebujemo vsaj en prečni prerez in vsaj dva vzdolžna prereza. Za enak primer zadostuje samo en trirazsežen model. V večstanovanjskih stavbah in poslovno-stanovanjskih stavbah so lahko stanovanja in poslovne enote (nepremičninske enote) predstavljene v toliko prostorskih ravneh, kot je nadstropij stavbe. Za ustrezno predstavitev stvarnosti v podatkovnih modelih zemljiške administracije je zato potrebno toliko etažnih načrtov, kot je nadstropij v stavbi ter še pripadajoče vertikalne prereze stavbe. Dvorazsežni modeli stavb so zato splošni javnosti težko razumljivi in lahko povzročijo veliko napak pri evidentiranju nepremičnin. Veliko oviro predstavlja tak pristop tudi pri ponovni uporabi prostorskih podatkov in grafični predstavitvi v 3D-okoljih. Za evidentiranje in grafične predstavitve stavb v okviru sistemov zemljiške administracije so tako ustrežnejši 3D-podatkovni modeli (Stoter in Ploeger, 2003). Trirazsežno modeliranje zahtevajo tudi gradbeno-inženirski objekti, ki ležijo nad ali pod zemeljskim površjem in hkrati z njim niso povezani. To so prometnice, ki potekajo po predorih ali mostovih, infrastruktura za podzemno pridobivanje surovin, stavbe na stebrih, podzemne zaloge pitne vode itd. Takšne objekte je težko predstaviti z dvorazsežnimi načrti, ker se ne dotikajo zemeljskega površja, ki je predmet evidentiranja v tradicionalnih sistemih zemljiške administracije. Potreben je nov pristop modeliranja prostora, ki zahteva trirazsežno modeliranje.

2.3.1 Koncept nepremičninske enote

Sistemi zemljiške administracije so se razvijali iz osredotočenosti na opravljanje osnovnih nalog, ki so urejanje in upravljanje zemljišč, evidentiranje pravic in omejitev na zemljiščih, nadzor rabe zemljišč in obdavčitev. Danes je osnovno vodilo zemljiške administracije večnamenski sistem, ki omogoča uporabo podatkov sistema zemljiške administracije, vključujoč zemljiški kataster, v prostorskem

planiranju, upravljanju zemljišč, upravljanju s tveganji in ukrepanju pri elementarnih nesrečah ter pri drugih številnih odločitvah v prostoru. Pomemben vidik sodobnih sistemov zemljiške administracije je določevanje nepremičninskih enot in grafična predstavitev le-teh v treh razsežnostih, evidentiranje javnega in zasebnega interesa oziroma pravic, evidentiranje omejitev in odgovornosti, prav tako pa tudi evidentiranje drugih opisnih podatkov (atributov), ki so ključnega pomena za upravljanje zemljišč, vrednotenje in druge odločitvene procese (Kalantari in sod., 2008).

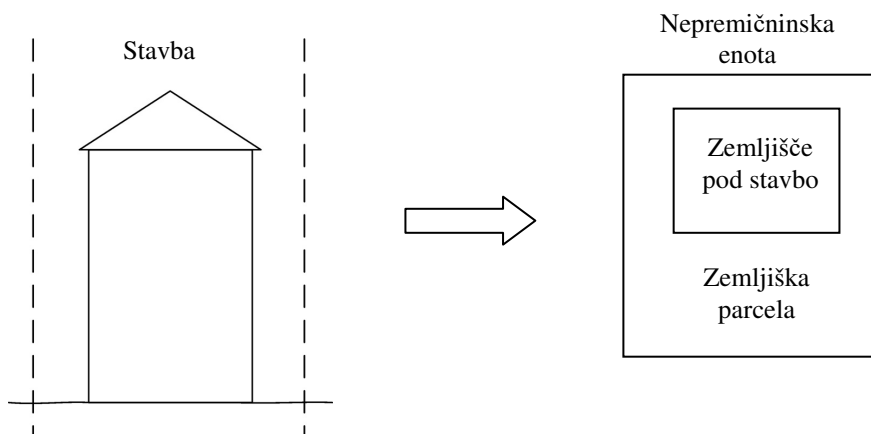
Raba zemljišč in z njo povezane pravice, omejitve in odgovornosti niso omejeni le na zemeljsko površje, ampak tudi na prostor nad in pod njim. V večini držav lastninska pravica sega od središča Zemlje do zemeljskega površja in naprej v nebo po latinskem izreku: "*cujus est solum ejus est usque ad coelum et ad inferos*" (Stoter in Ploeger, 2003). V globino in višino je praviloma lastninska pravica na zemljiščih omejena s predpisi in zakoni, ki posegajo na področja izkoriščanja naravnih virov in rudnin, letalskega prometa, osončenja ipd. V tem primeru je tradicionalni 2D-model prikaza nepremičnin v katastrih ustrezal evidentiranju pravic, omejitev in odgovornosti na nepremičninah. Osnovno nepremičninsko enoto v sistemu zemljiške administracije je predstavljala zemljiška parcela, ki je strnjeno zemljišče z identifikacijsko številko, ki v mnogo evropskih državah predstavlja osnovno enoto zemljiškega katastra in hkrati osnovno enoto, na katero se nanašajo stvarne pravice na zemljiščih (Lisec, 2007). Parcele so grafično prikazane na katastrskih načrtih, ki prikazujejo parcelne meje in parcelne številke kot identifikatorje parcel (Slika 2.11). Zemljiška parcela predstavlja najosnovnejšo obliko nepremičnine. Parcelni kataster zadostuje evidentiranju pravic, omejitev in odgovornosti na zemljiščih, ki se v celoti nahajajo na zemeljskem površju in pri evidentiranju ne potrebujejo višinske komponente. To so običajno kmetijska in gozdna zemljišča.



Slika 2.11: Katastrski načrt, ki je delno prikazan skupaj z ortofotom (Geodetska uprava Republike Slovenije).
Figure 2.11: Cadastral map, partially shown together with orthophoto (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia).

Pojem nepremičnina zajema poleg zemljiške parcele tudi vse sestavine, ki so spojene z zemljiščem (lat. *superficies solo cedit*). To pomeni, da lahko nepremičnino sestavlja tudi zemljiška parcela, na kateri stoji ena ali več stavb. Stavbe so po obliki trirazsežni objekti, ki zahtevajo drugačen pristop k evidentiranju kot zemljišča. Običajno so stavbe, ki stojijo na zemljiščih, v lasti istega lastnika kot zemljišča. Lastniška struktura je v tem primeru na zemljiški parceli in stavbi enaka. Zemljiška parcela je torej še ustrezen model nepremičninske enote, katere pravice, omejitve in odgovornosti pripadajo tako zemljišču kot stavbam, ki stojijo na njem. Stavba je na katastrskem načrtu prikazana kot zemljišče pod stavbo, to je presek stavbe z zemljiščem (Slika 2.12). To je najbolj običajen prikaz

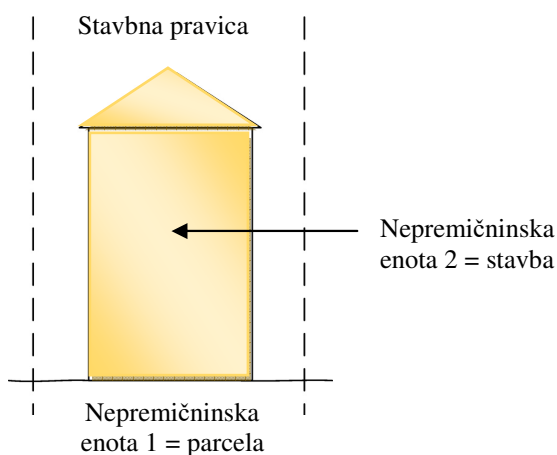
stavbe v številnih državah po svetu (Van Oosterom in sod., 2011). Čeprav je ta način registracije ustrezen z vidika pravnega varstva, pa vseeno ne ustreza zahtevam mnogonamenskega katastra.



Slika 2.12: Prikaz stavbe na 2D-katastrskem načrtu (prirejeno po Paulsson, 2013).

Figure 2.12: Building represented on 2D cadastral map (adapted from Paulsson, 2013).

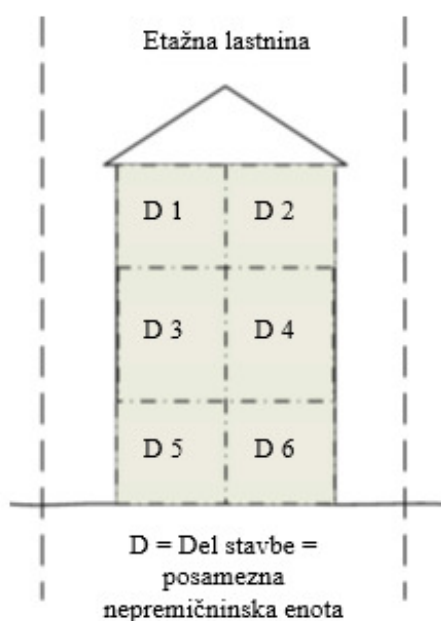
Načelo spojenosti objektov z zemljiščem v mnogih državah zakonsko dopušča izjeme. Lastnik stavbe včasih ni isti kot lastnik zemljišča in v takih primerih je potreben pravni instrument, ki bo zagotovil odstopanje od načela spojenosti stavbe z zemljiščem. V ta namen so številne evropske države razvile stavbno pravico (lat. *superficies*, angl. *right of superficies*), ki je omejena stvarna pravica na tuji nepremičnini, ki daje njenemu lastniku pravico, da ima na, nad ali pod tujim zemljiščem zgrajen objekt, ali pravico, da tak objekt zgradi. Stavbna pravica se ustanovi na imetnika pravice in za določeno časovno obdobje. V tem obdobju velja, da je zgrajeni objekt pravno gledano ločen od zemljišča. Objektu s stavbno pravico pripadajo druge pravice, omejitve in odgovornosti kot zemljišču, na katerem objekt stoji. Stavbna pravica se lahko uporablja za gradnjo večstanovanjskih in poslovnih stavb ter prometne infrastrukture. Je prvi približek trirazsežnega evidentiranja stavb, saj predstavlja vertikalno razdelitev lastniške strukture prostora (Slika 2.13). Stavbna pravica je običajno vpisana v registrih (zemljiški knjigi) in ni predmet grafičnega prikaza na katastrskem načrtu.



Slika 2.13: Stavbna pravica (prirejeno po Paulsson, 2013).

Figure 2.13: Right of superficies (adapted from Paulsson, 2013).

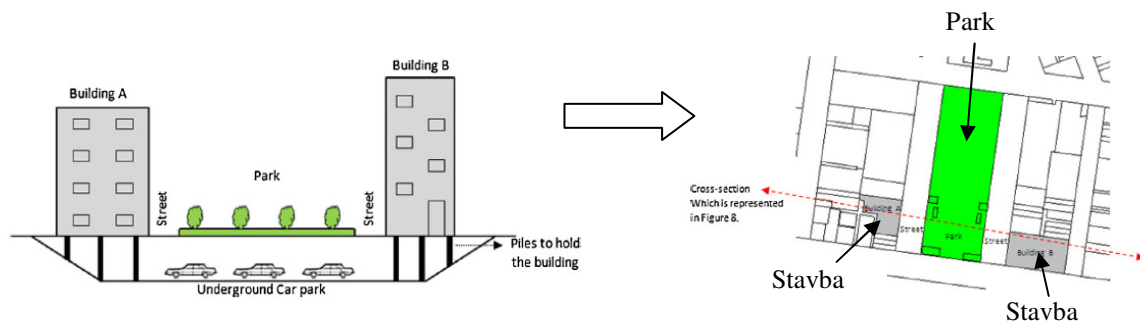
Če stavbo sestavlja več delov z različnimi pravnimi interesi, lahko v mnogih katastrskih sistemih stavbo razdelimo na več nepremičninskih enot. Dele stavb predstavljajo posamezna stanovanja ali poslovne enote, na katere se nanašajo homogene pravice, omejitve in odgovornosti. Evidentiranje pravic na teh nepremičninskih enotah pogosto poznamo pod pojmom etažne lastnine, pri kateri je posameznik lastnik določenega dela stavbe, lahko pa tudi solastnik skupnih prostorov. Etažna lastnina je evidentirana v registrih nepremičnin skupaj s pripadajočimi grafičnimi prikazi. To so običajno načrti posameznih etaž in prerezov stavbe. Posameznemu delu stavbe se v sistemu zemljiške administracije določi enolični identifikator. Z vzpostavitvijo etažne lastnine postane posamezni del stavbe samostojna nepremičninska enota s pripadajočimi pravicami, omejitvami in odgovornostmi ter je lahko predmet samostojnega pravnega razpolaganja (Slika 2.14). Stavba v etažni lastnini je na zemljiškokatastrskih načrtih še vedno praviloma prikazana z zemljiščem pod stavbo. Parcela, na kateri stoji stavba v etažni lastnini, je običajno v solastnini vseh etažnih lastnikov (glej tudi Paulsson, 2013).



Slika 2.14: Etažna lastnina (prirejeno po Paulsson, 2013).

Figure 2.14: Condominium (adapted from Paulsson, 2013).

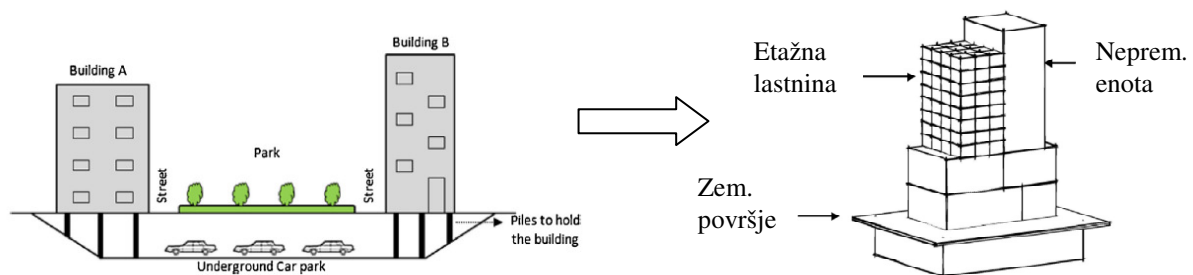
Danes se predvsem v urbanem okolju srečujemo z različnimi rabami in različnimi pravicami na več prostorskih ravneh (v višinskem oziroma vertikalnem smislu). Ko se pojavi več nepremičninskih enot pod ali nad istim delom površja Zemlje (vertikalna razdelitev prostora), je evidentiranje nepremičninskih enot in atributov oteženo. Gre za večetažne objekte z več različnimi lastniki, prometno, komunalno, energetske in drugo gospodarsko infrastrukturo, ki poteka nad ali pod parcelami drugih lastnikov ter podzemne zaloge vode in rudnin. Večetažne stavbe in infrastrukturni objekti nad ali pod zemeljskim površjem ne morejo biti učinkovito evidentirani in grafično prikazani v 2D-katastrskem modelu stvarnosti, zato ne morejo biti uporabljeni kot osnova za evidentiranje na njih vezanih zemljiških pravic, omejitev in odgovornosti (Stoter in Salzmann, 2003). V 2D-katastrskem podatkovnem modelu so objekti lahko prikazani samo z obrisi, ki predstavljajo preseke objektov s površjem Zemlje (Slika 2.15) ali pa z drugačno prekinjeno linijo, ki nakazuje obstoj objektov nad ali pod zemeljskim površjem.



Slika 2.15: 2D-model evidentiranja nepremičnin za primer rabe prostora v več prostorskih ravneh (prirejeno po Aien, 2013).

Figure 2.15: 2D model of real estate registration in the case of a multilevel use of space (adapted from Aien, 2013).

3D-podatkovni modeli zemljiške administracije so v primerjavi z 2D-modeli veliko bolj vsestranski, zmožni upravljanja s širokim razponom podatkov in omogočajo večji pretok informacij ter pregledno združujejo podatke o različnih vrstah pravic, omejitev in odgovornosti, ki se nanašajo na nepremičnine (Kalantari in sod., 2008). Današnja raba prostora zahteva za kakovostno evidentiranje nepremičnin definicijo nepremičninske enote, ki je opredeljena tudi vertikalno (Slika 2.16). Nepremičninska enota, na katero so vezane pravice, omejitve in odgovornosti, mora imeti jasno določene meje in položaj glede na druge posestne pravice, omejitve in odgovornosti v 3D-prostoru (van Oosterom in sod., 2011). Uporabnikom je namreč pomembna informacija o tem, kje določene pravice obstajajo, na koga se nanašajo, kdaj in zakaj obstajajo ter kako se jih lahko spremeni (Bennett in sod., 2008). Nepremičninske enote so tudi v 3D-katastru običajno predstavljene kot odmerjen (določen), zaključen in zaprt prostor z mejami (za razliko od 2D-katastra govorimo v tem primeru o trirazsežnem prostoru), ki označujejo, kje se določena pravica ali omejitev neha in kje se naslednja začne, vključno z njihovo vsebino (Kaufmann and Steudler, 1998). Pomemben vidik 3D-katastra je nadalje grafična predstavitev nepremičninskih enot v 3D-okolju, kar je pomemben pogoj tudi za večnamensko rabo podatkov v okoljih GIS (Aien in sod., 2013).

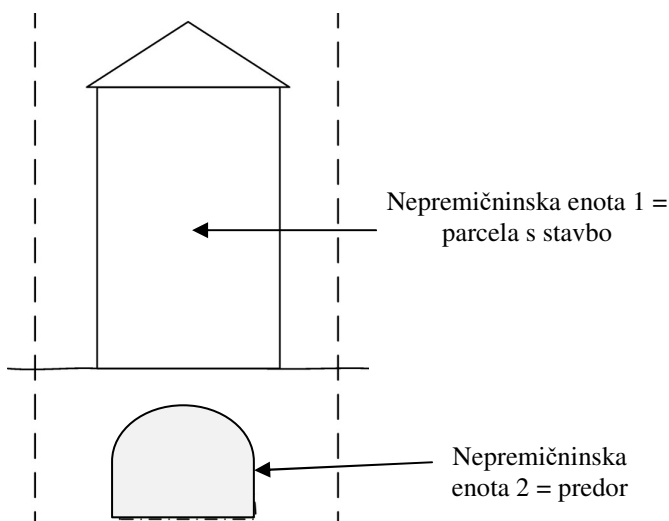


Slika 2.16: 3D-model evidentiranja nepremičnin za primer rabe prostora v več prostorskih ravneh (prirejeno po Aien, 2013).

Figure 2.16: 3D model of real estate registration in the case of a multilevel use of space (adapted from Aien, 2013).

Poleg stavb se lahko nad ali pod zemeljskim površjem pojavljajo tudi drugi objekti. To so običajno prometna in druga infrastruktura, za katere je značilno, da se ne dotikajo zemeljskega površja. Takšni objekti, na katere so vezane drugačne pravice, omejitve in odgovornosti kot na zemeljsko površje,

potrebujejo poseben način evidentiranja v sistemu zemljiške administracije. V teh primerih uporaba stavbne pravice ni smiselna, saj je objekt fizično povsem ločen od zemeljskega površja. Vseeno se jo nekatere države v teh primerih poslužujejo, ker nimajo na razpolago drugih rešitev. Podzemni objekti so trirazsežne oblike in zahtevajo popolnoma nov način evidentiranja (Slika 2.17). Posledično so za take primere nekatere države, kot so: Norveška (Onsrud, 2003), Švedska (Paulsson, 2013) in Queensland v Avstraliji (Karki, 2013), že uvedle posebno trirazsežno nepremičninsko enoto, ki je fizično ločena od zemeljskega površja in na katero se lahko nanašajo posebne pravice, omejitve in odgovornosti.



Slika 2.17: Podzemna prometnica (prirejeno po Paulsson, 2013).

Figure 2.17: Underground traffic route (adapted from Paulsson, 2013).

»Ta stran je namenoma prazna.«

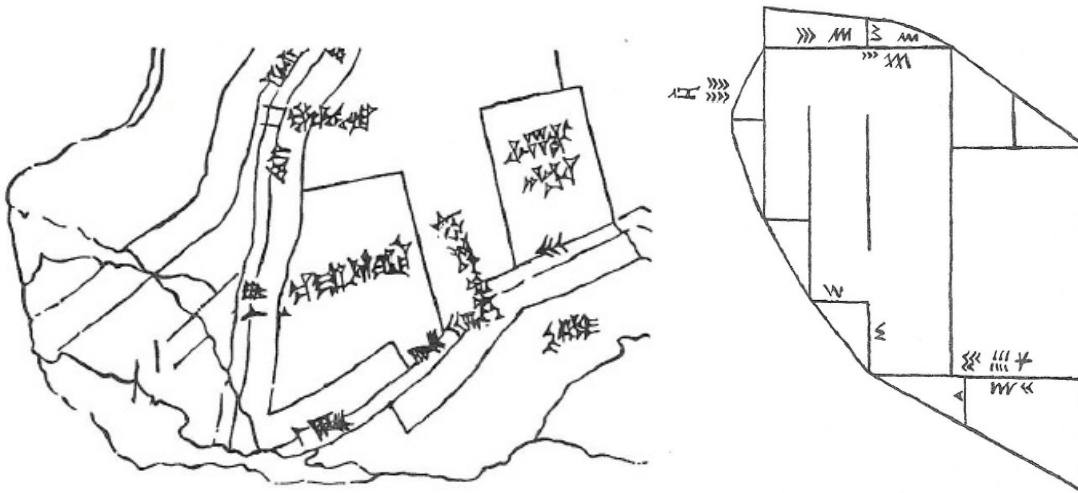
3 KONCEPT MODELIRANJA PROSTORA V KATASTRIH

V tem poglavju je predstavljen razvoj evidentiranja zemljišč od prvih znanih začetkov do danes. Koncept zemljiške administracije, vključno s podatkovnim modelom in grafično predstavitvijo prostorskih podatkov (zemljiški informacijski sistemi), se po svetu razlikuje in je med drugim odvisen od zgodovinskega razvoja ter družbene ureditve. Tudi sam namen evidentiranja zemljišč se je v preteklosti spreminjal. Evidentiranje zemljišč je bilo najprej namenjeno zaščiti pravic na zemljiščih ali davčnim namenom – zemljišča so bila namreč ena od najbolj priročnih predmetov obdavčevanja že v prvih civilizacijah. Razvoj družbe je nato narekoval dodatne zahteve, tako so funkcije zemljiških evidenc presegle zgolj davčni in pravni namen. Prve preproste zemljiške evidence so postopno prerasle v bolj zapletene sisteme, ki so praviloma temeljile na predhodnih sistemih – kontinuum razvoja zemljiške administracije (Dale in McLaughlin, 1999; Ferlan, 2005).

Današnji zemljiški informacijski sistemi morajo poleg osnovne naloge evidentiranja podatkov o zemljiščih za davčne namene in za namene registriranja temeljnih stvarnih pravic na zemljiščih omogočati podporo celostnemu upravljanju z nepremičninami in prostorskemu razvoju, tako morajo med drugim nuditi podporo prostorskemu načrtovanju, varovanju okolja in naravnih virov, prilagajanju rabe zemljišč, podnebnim in družbenim spremembam, ukrepanju pri naravnih in drugih nesrečah itd. Značilnosti konceptov zemljiške administracije so pogosto odvisne od sistemov zemljiške administracije v preteklosti (Lisec in Ferlan, 2012), zato je treba pri razumevanju današnjih konceptov modeliranja prostora preučiti zemljiško upravljanje in zemljiško administracijo v preteklosti.

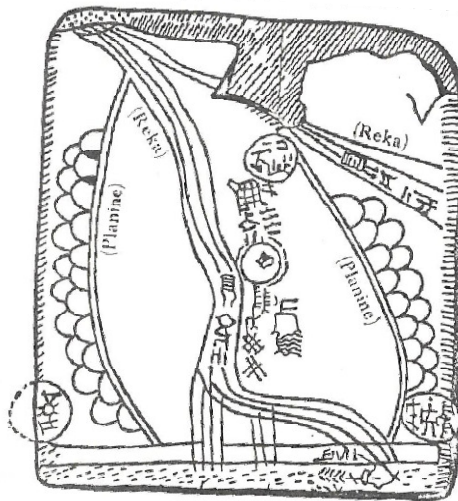
3.1 Začetki evidentiranja zemljišč

Evidentiranje zemljišč zasledimo že v starih civilizacijah, ki so živele na območju porečja rek Evfrat in Tigris ter Nila. Eden najstarejših načrtov urbanega območja je ohranjen iz obdobja Babiloncev v 15. stoletju pr. n. št. Gre za načrt mesta Nippur ob reki Evfrat (Slika 3.1, levo). V bakreni in bronasti dobi je bila na ozemlju Mezopotamije sumerska civilizacija, za katero so značilne številne arheološke najdbe. Pomembna najdba je glinena ploščica z načrtom zemljišč in podatki o vrednosti (Slika 3.1, desno), zelo poznana pa je predvsem glinasta plošča (Slika 3.2), ki jo štejemo za prvi katastrski načrt. Po oceni arheologov je stara več kot 5200 let, na njej pa so bile evidentirane in določene površine posameznih zemljišč, navedena je bila obdelovalna vrsta zemljišč, za posamezna zemljišča so bile določene tudi dolžinske mere (Korošec, 1978; Ferlan, 2005).



Slika 3.1: Levo načrt mesta Nippur iz 15. stol. pr. n. št., desno načrt zemljišč v Mezopotamiji iz 17. stol. pr. n. št. (original, cit. po Korošec, 1978).

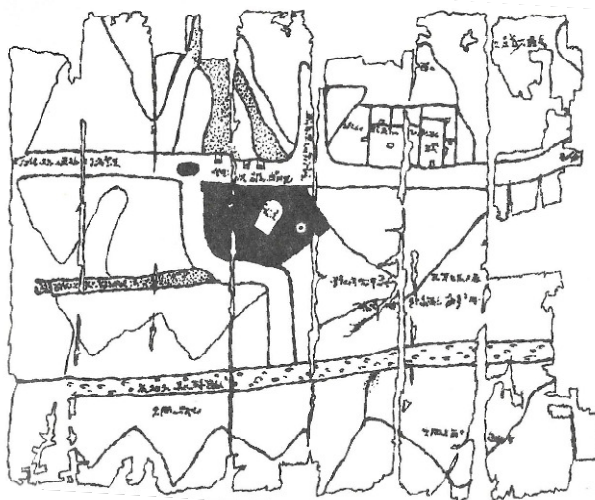
Figure 3.1: City map of Nippur from the 15th century BC on the left, land map of Mesopotamia from the 17th century BC on the right (original, adapted from Korošec, 1978).



Slika 3.2: Glinasta plošča iz Mezopotamije z načrtom zemljišč, 2500 let pr. n. št. (original, cit. po Korošec, 1978).

Figure 3.2: Land map of Mesopotamia on the clay plate, 2500 years BC (original, adapted from Korošec, 1978).

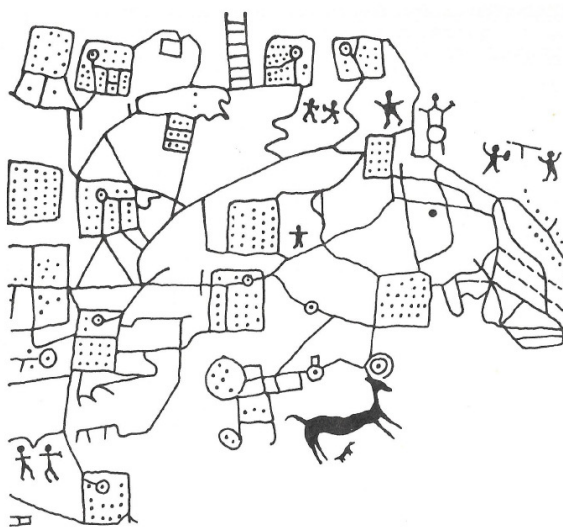
Ob reki Nil je poznana egipčanska civilizacija, ki je imela dobro razvito poljedelstvo. Zaradi pogostih poplav so morali vsako leto na novo izmeriti zemljišča in določiti meje posesti ter na novo oceniti donosnost zemljišč. Cilj izmere in grafičnega prikaza zemljišč je bilo evidentirati stanje pred poplavami, za kar so izvedli popis in izmero zemljišč ter z različnimi zapiski in meritvami izdelali načrte zemljišč. Za meritve so uporabljali preprosta merska orodja, in sicer: merilno palico, merilno vrv, grezilo, kotomer in libelo. Vertikalne kote so določali s pomočjo preproste naprave, ki se je imenovala *merkhet* (Mlakar, 1986). Domnevajo, da je egipčanski zemljiški register obstajal že od leta 3000 pr. n. št., iz tistega obdobja pa so znani tudi načrti rudnika (Slika 3.3).



Slika 3.3: Papyrusna karta rudnika zlata v Nubiji, okoli 1300 pr. n. št. (original, cit. po Korošec, 1978).

Figure 3.3: Papyrus map of gold mine of Nubia, around 1300 BC (original, adapted from Korošec, 1978).

Med najstarejše ohranjene načrte zemljišč v Evropi spada tako imenovana Capodelmontska mapa (Slika 3.4), katere starost je ocenjena na okoli 3500 let. Nastala je v severni Italiji pri selišču Bedolina v Capu del Monte. Stenska risba prikazuje bronastodobno selišče z njivami, nasadi, potoki, vodnjaki in potmi (Korošec, 1978).



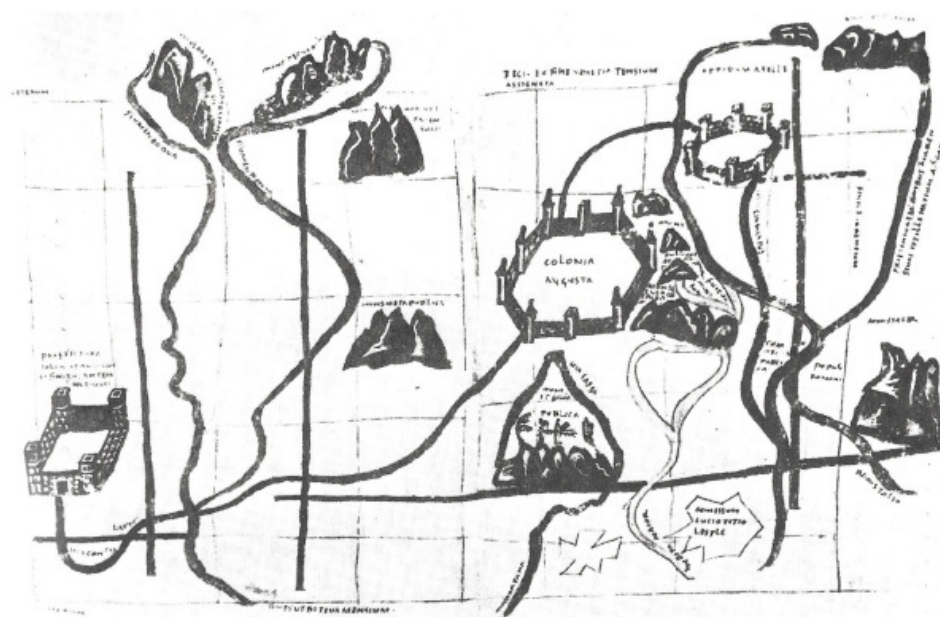
Slika 3.4: Capodelmontska mapa iz obdobja 1600–1400 pr. n. št. (original, cit. po Korošec, 1978).

Figure 3.4: Capodimonte map from 1600–1400 BC (original, adapted from Korošec, 1978).

V antiki so bili postavljeni temelji sodobne znanosti, umetnosti, izobraževalnih sistemov, politike in jezika. V obdobju antične Grčije od okoli leta 800 do 150 pr. n. št. je zaslediti velik razvoj znanosti, tudi na področju geometrije, astronomije in geodezije. Starogrški matematiki so objavljali nova odkritja v matematiki, v to obdobje med drugim segajo Talesov, Pitagorov in Evklidov izrek. Iz tega obdobja poznamo nadalje Heronov izračun ploščine trikotnika. Večji poudarek kot na evidentiranju zemljišč je bilo na opazovanju in določevanju velikosti in oblike Zemlje. Eratosten je izmeril poldnevniški lok med Sieno in Aleksandrijo. Njegov izdelek je zemljevid sveta iz leta 200 pr. n. št. Posestne meritve so se opravljale le za davčni namen. Zemljišča so evidentirali s pomočjo posebne

naprave za merjenje horizontalnih in vertikalnih kotov. Zemljišča so evidentirali samo za davčni namen, pravnega vidika zemljišč niso posebej razvijali (Mlakar 1986; Ferlan, 2005).

Starorimska civilizacija je uradno obstajala v obdobju od leta 753 pr. n. št. do začetkov srednjega veka leta 476 n. št., ko je razpadlo Zahodnorimsko cesarstvo. Rimljani so po nam znanih podatkih prvi uvedli poklic zemljemercev, ki so jih imenovali *agrimenzorji*. Bili so znani po svoji preciznosti. Z uporabo preprostih instrumentov, ki so se imenovali *grome*, so bili zmožni v naravi rekonstruirati ravne linije in prave kote, kar je bilo pomembno predvsem za evidentiranje centurij. *Centurije*, posebne oblike zemljiških parcel, ki so se pojavile predvsem na ravninskih novo osvojenih predelih, so bile pravokotne ali kvadratne oblike (Slika 3.5). Velikost centurij je bila približno 50,4 hektarja. Po izmeri linij so skopali jarke, ki so predstavljali potek posestnih meja. To je bil pet čevljev širok mejni pas, imenovan *limes*, ki je bil označen z mejnimi znamenji, imenovanimi *termini*. Nekateri takšni jarki so se ohranili do danes. Poleg centurij so poznali tudi delitev zemljišča glede na kulturo, imenovano *scannacija*, ki je bila podobna današnji obliki parcel in se je pojavila na reliefno razgibanih območjih. Zemljemerci so imeli v Rimskem imperiju tudi pomembno vlogo izvedencev v rimskem zemljiškem pravu. Tožba imenovana *finum regundorum* je bila ena izmed najpomembnejših tožb v rimskem pravu pri mejnih sporih (Ferlan, 2005).



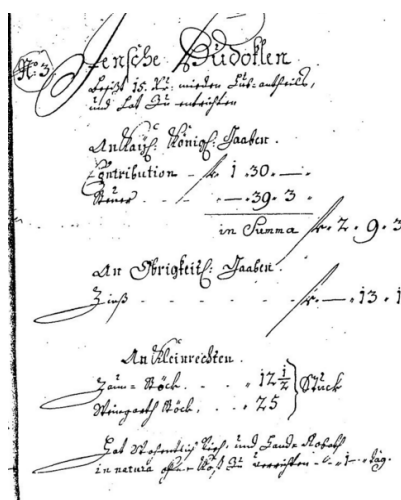
Slika 3.5: Rimska zemljemersko-topografska skica predela v Porenju (original, cit. po Korošec, 1978).

Figure 3.5: Rome cadastral-topographic sketch of the Rhineland area (original, adapted from Korošec, 1978).

Srednji vek (5. do 15. stoletje) je bilo obdobje nazadnjaškega razmišljanja in ni bilo naklonjeno znanosti ter napredku. Obdobje se je v Evropi začelo z množičnim preseljevanji in priseljevanji narodov iz vzhoda, ki so si uredila povsem drugačen način življenja. Iz 8. stoletja so ohranjene skrinjske knjige. To so popisi zemljišč na listih, ki so jih našli v skrinjah. V visokem srednjem veku se je Evropa začela urbanizirati, nastala so številna mesta in trgovska središča ter univerze. Eden prvih novodobnih sistemskih popisov zemljišč sega v daljno 11. stoletje, ko so v Angliji izdelali popis v obliki tako imenovane *domesday book*. Izdelati ga je dal William Osvajalec, vseboval je podatke o vrstah rabe in površinah zemljišč ter posestnikih in živini (Ferlan, 2005).

V srednjem veku se je v srednji in zahodni Evropi začel fevdalizem, ki je trajal vse do 19. stoletja. Zanj je značilen fevdalni družbeni red, ki je takratno družbo razdelil med fevdalne gospode in kmete tlačane. Družbena struktura je bila sicer veliko bolj raznolika, saj se je kmalu pojavilo meščanstvo;

drugo svobodno prebivalstvo, tudi podložništvo, je imelo različne oblike, kot so prosta saja, zakupne kmetije ipd. Podložniški kmetje so morali plačevati fevdalnemu gospodu dajatve v obliki pridelkov ali dela. Fevdalni gospodje so za nadzor nad dajatvami uporabljali urbarje. Urbar je bila knjiga, v kateri so bile popisane podrejene posesti, njihovi uživalci kmetje in njihove dajatve, obveznosti ter služnosti fevdalnemu gospodu (Slika 3.6). Urbar je vseboval seznam kmetij za celotno zemljišče fevdalca, navadno je bil vezan v knjigo. Čeprav urbarji niso vsebovali grafičnih prikazov, veljajo za predhodnike katastrov in registrov zemljišč, saj so v njih opisani različni interesi posameznikov do zemljišč (Korošec, 1978, Ferlan, 2005).



Slika 3.6: Urbar gospostva Kostanjevica iz 2. polovice 18. stoletja (Arhiv Republike Slovenije).

Figure 3.6: »Urbar« of Kostanjevica dominion from the 2nd half of the 18th century (Archives of the Republic of Slovenia).

Srednji vek se je zaključil z mračnim obdobjem vojn in kuge, kar je precej zmanjšalo število prebivalstva. Obdobje je zaznamovala želja po drugačnem življenju, odkrivanje sveta in veselja. Z razvojem trgovine in ladjedelstva se je začelo množično odkrivanje novih dežel, to pa je vplivalo na geopolitične spremembe (kolonizacijo), razvoj trgovine in obrti, vse pomembnejša so postala urbana območja. Meščanska kultura je porasla, fevdalno življenje je pojenjalo (Korošec, 1978).

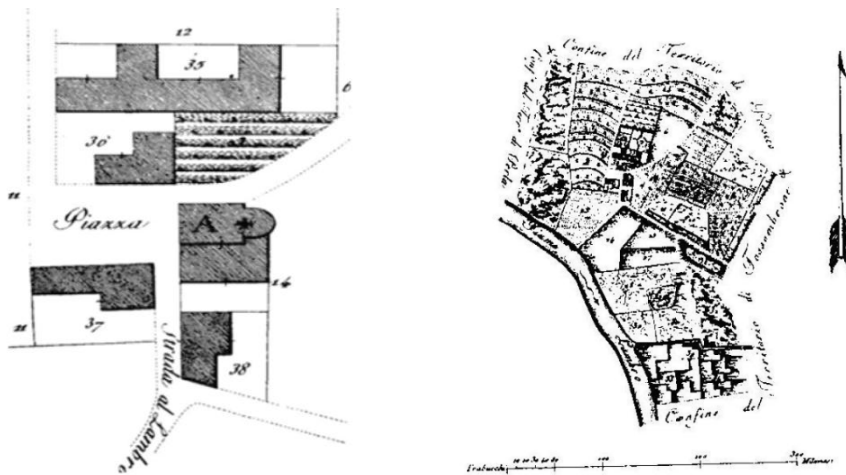
3.2 Začetki katastrskih sistemov v Evropi

Za najstarejši davčni kataster v Evropi velja milanski kataster, ki je služil za zgled kasnejšim katastrskim sistemom. Začetki tega katastra segajo v leto 1183, ko je bil izveden popis zemljišč v posebnih knjigah na današnjem italijanskem ozemlju. Tristo let kasneje je bil na tej osnovi vpeljan nov davčni sistem zaradi pravičnejše razporeditve davkov, ki je poleg popisa vključeval tudi izmero zemljišč. Z geodetsko izmero, ki je bila podlaga za davčno oceno zemljišč, so začeli leta 1564. Leta 1719 so vpeljali novo, grafično metodo izmere zemljišč z mersko mizo. Zanj so veljali naslednji predlogi (Ferlan, 2005):

- izmero je treba izvajati po enakih metodah;
- merska miza je glavni instrument za potrebe izmere;
- uvedba enotne enote za izmero, ki se je imenovala milanski trabucco (1 milanski trabucco = 2,61093 m);
- merilo izmere je 1 : 2000;
- na načrtih morajo biti prikazani potek meje, označene z mejniki, meje kultur, komunikacije, vodovje, nasipi ter naselja (Slika 3.7);

- na vsakem načrtu mora biti podpis geodeta;
- za izračun površine zemljišča se uporabljajo prikazi na načrtu;
- splošna katastrska izmera naj po končanju služi tudi za topografsko karto.

Izmera je trajala tri leta. Skupaj je bilo izmerjenih 2387 davčnih občin, izdelani so bili katastrski načrti v merilu 1 : 2000 ter pregledne karte občin v merilu 1 : 8000. Območje, ki so ga izmerili, je obsegalo 19.220 km², od tega 12.600 km² za namene obdavčitve. Ko je milanski kataster stopil v veljavo, je bil tudi pravno priznan (Ferlan, 2005).



Slika 3.7: Katastrski načrt milanskega katastra v merilu 1 : 2000 (levo) in pregledna karta občine v merilu 1 : 8000 (desno) (original, cit. po Ferlan, 2005).

Figure 3.7: Cadastral map of the Milan cadastre on a scale of 1: 2000 (left) and a general map of municipality on a scale of 1: 8000 (right) (original, adapted from Ferlan, 2005).

V Habsburški monarhiji so se leta 1740 začele davčne in splošne reforme Marije Terezije s ciljem okrepiti centralno oblast na dvoru, napolniti državno blagajno in omejiti prevelik vpliv fevdalcev. Do leta 1780 so si prizadevali za bolj enakomerno obdavčitev zemljišč in povečanje pravic kmetov. V okviru njenih reform je bil med drugim izveden popis gosposke in podložniške posesti (Slika 3.8). Evidence davčnih osnov je vodila vlada, popis zemljiških posesti pa je bila temeljna evidenca za izračun davka – a še vedno ločeno za dominikalno in rustikalno posest. Nadzor so vršile kresije, na katere so bile razdeljene posamezne dežele. Poleg podložniških zemljišč se bila obdavčena tudi gosposka zemljišča (Ferlan, 2005).

Nabmer	Conti.	Conti.	Conti.	Conti.	Conti.	Conti.	Conti.
Anton Stupfl	2	50	22	20	22		
Almuth Schwaner	2	50	22	20	22		
Summa	4	100	44	40	44		
Jacob Zinner	2	0	20	2	45		
Summa	2	0	20	2	45		
Simon Hofbe	2	20	57	20	22		
Summa	2	20	57	20	22		
Mathias Buchner	2	0	20	2	45		
Summa	2	0	20	2	45		

Slika 3.8: Popis terezijanskega katastra (Arhiv Republike Slovenije).
Figure 3.8: Register of the Theresian cadastre (Archives of the Republic of Slovenia).

Leta 1785 je Jožef II. odredil nov davčni zakon (patent). Ta je temeljil na zemljiškem katastru, ki je nastal z izmero zemljiške posesti. Izmera se je opravljala z merskimi latami, verigami in trakovi. Zakon je kot prvi v Evropi uvedel načelo splošne obdavčitve, ki je temeljila le na rabi in donosnosti zemljišča, ne glede na družbeni sloj posameznika. Topografska imena so se morala zapisovati v deželnem jeziku, zato so bila takrat popisana krajevna in ledinska imena tudi za območje slovenskih dežel (Slika 3.9). Pri izmeri zemljišč so sodelovali kmetje – posestniki. Prvič so bile izmerjene in označene meje katastrskih občin. Jožefinski kataster zaradi cesarjeve smrti ni nikoli prišel v veljavo, predstavljal pa je osnovo za kasnejši franciscejski kataster. Podobno kot v Habsburški monarhiji so davčni kataster želeli vzpostaviti tudi v drugih državah, in sicer v Franciji, Prusiji in na Bavarskem (Ferlan, 2005; Liseč in Navratil, 2014).

Rechner	Ramen der Sted und des Grundstückes	Enthalt in A G S und die in m d f	Kontrollirte Erträgniß	Stätt an Erträgniß aus
	Electern			
	1 Aied Ortsplatz			
	21 Aied Pa Klang Aiste	1100	1100	1100
	Summa von Electern	1100	1100	1100
	Meslein			
	1 Aied Ortsplatz			

Slika 3.9: Jožefinski kataster za Kranjsko, naborni okraj Goričane, davčna občina Zgornja Šiška (Arhiv Republike Slovenije).
Figure 3.9: The Josephine cadastre of Carniola, recruitment district of Gorizia, tax municipality of Zgornja Šiška (Archives of the Republic of Slovenia).

Drugačen način evidentiranja kot srednja Evropa pa je v tem obdobju uvedla in še vedno ima Velika Britanija, vključno s svojimi kolonijami. Evidentiranje nepremičnin se je v Veliki Britaniji začelo po letu 1862, ko je bil uveljavljen Zakon o evidentiranju zemljišč. Do leta 1925 je imelo zemljišča v zasebni lasti le 14 % vseh Britancev, ostala zemljišča so bila v najemu ali zakupu. Ker so bile zahteve po točnosti izmere previsoke, se zemljišča niso evidentirala. Zato je bil leta 1875 uveljavljen koncept t. i. splošnih meja, ki se uporablja še danes (Manthorpe, 2004).

3.3 Nastanek parcelno orientiranih katastrov na območju današnje Slovenije

Leta 1807 se je na pobudo Napoleona začela izvajati francoska grafična izmera, v sklopu katere je bilo izmerjenih 100 milijonov parcel. Za vsako parcelo so bili določeni površina, kultura in donos. Francoska grafična izmera predstavlja začetek parcelnega katastra in osnovo katastrskemu sistemu mnogih evropskih držav Srednje in Zahodne Evrope (Baigent in Kain, 1992). Iz časov Ilirskih provinc med letoma 1811 in 1813 so še danes ohranjeni katastrski načrti v nekaterih predelih zahodne Slovenije (Slika 3.10). Katastrski načrti so bili izdelani v metrskem sistemu in merilu 1 : 2000 (Ferlan, 2005). Katastrski načrti francoske izmere so še danes uradni dokumenti na območju Francije.

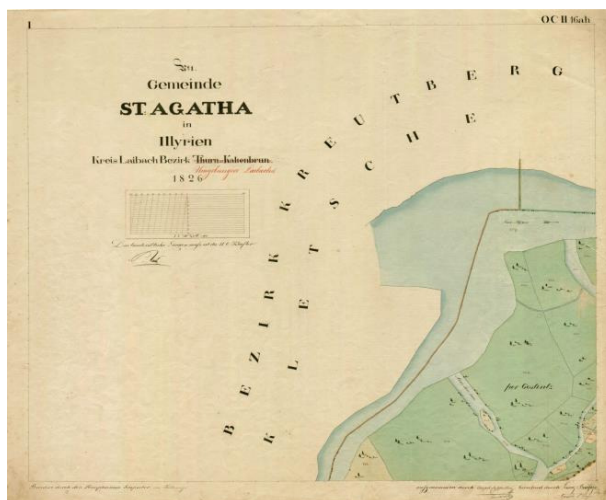


Slika 3.10: Katastrski načrt francoske grafične izmere (Arhiv Republike Slovenije).

Figure 3.10: Cadastral map of the French graphic survey (Archives of the Republic of Slovenia).

Za območje Slovenije je pomemben zakon Franca I. iz leta 1817, tako imenovani Zakon o zemljiškem davku (nem. Grundsteuerpatent), ki je bil osnova za vzpostavitev stabilnega katastra v deželah Habsburške monarhije. Zakon je določal katastrske načrte za vsako katastrsko občino, pri čemer so se morali na parcelo natančno voditi podatki o posestnikih, vrsti rabe, poteku parcelnih meja in poteku mej katastrskih občin. Katastrska izmera je bila opravljena z navezavo na triangulacijsko mrežo, kar je omogočilo enovito matematično osnovo za izmero zemljišč. Davek na zemljišča se je izračunal na podlagi vrste rabe in velikosti parcele, pri tem pa so bila nekatera zemljišča oproščena davka. V ta namen so se v katastrskem operatu vodili tudi podatki, ki so upoštevali podatke o naravnih nesrečah ali pa o posebnih vlaganjih v zemljišča (nove pridelovane površine, trajni nasadi) in sprememb namembnosti zemljišča (Ferlan, 2005). Tako so se prvič poleg podatkov o posesti in vrednosti (davčne obveznosti) pojavili v katastru tudi drugi podatki o različnih drugih družbenih interesih in dejstvih.

Osnovna mreža trigonometričnih točk je bila izračunana s triangulacijo v deželnih koordinatnih sistemih, detajl pa je bil izmerjen grafično z uporabo merske mize in verige. Izmera je obsegala kmetijska zemljišča, gozdove, komunikacije, vode in stavbe. Operat zemljiškega katastra je obsegal grafični del, ki je vseboval katastrske načrte in indikacijske skice, ter pisni del, ki je zajemal seznam zemljiških in stavbnih parcel, seznam posestnikov, opis mej katastrskih občin, seznam kultur, seznam parcel nepoznanih posestnikov, zapisnik o izračunanih površinah in pismene navedbe davkarije o davčnih zavezancih (Lisec, 2015). Katastrski načrti so bili izdelani v seženskem sistemu, praviloma v merilu 1 : 2880, za gorske predele 1 : 5760 in za mesta 1 : 1440 ali 1 : 720 (Slika 3.11).



Slika 3.11: Katastrski načrt franciscejskega katastra (Arhiv Republike Slovenije).

Figure 3.11: Cadastral map of the Franziscan cadastre (Archives of the Republic of Slovenia).

Leta 1861 so se zaključile katastrske meritve v avstrijskem delu monarhije. Leta 1869 je bila izdana Uredba o zemljiškem davku, ki je zahtevala reambulacijo katastra. V sklopu reambulacije so bile izmerjene nove parcelne meje in objekti, predhodno pa je bila izvedena obnova trigonometrične mreže, preverili so tudi obode katastrskih občin. Reambulacija katastrskega operata je obsegala različne dejavnosti, pri čemer so na novo pridobili podatke o posestnikih, zemljiških in vrstah kulture (dejanske rabe zemljišč). Reambulacija katastra je bila končana leta 1882. Katastrski načrti iz tega obdobja še danes predstavljajo osnovo zemljiškega katastra na tem območju, če ni bila v vmesnem obdobju izvedena nova izmera. Katastrski načrti, ki so bili izdelani na podlagi nove izmere, so bili v primerjavi s prejšnjimi natančnejši glede poteka parcelnih mej. Izdelana je bila katastrska klasifikacija in razredi. Določenih je bilo 8 vrst rabe, znotraj teh pa 8 razredov: njiva, travnik, vrt, vinograd, pašnik, planina, gozd in jezero, močvirje, ribnik. Reambulaciji katastra je sledila leta 1870 cenitev zemljišč, pri kateri je bil izračunan donos na enoto površine parcele. Zemljiški davek na osnovi reambulacijskega katastra je bil uveden leta 1883 (Lisec, 2015).

Konec 19. stoletja se je v katastru začela množično uveljavljati poligonska in ortogonalna izmera. V 1920-ih je bila uporaba merske mize v katastru ukinjena, zamenjala jo je polarna metoda izmere. V tem času so se začeli v evropskih državah na področju katastra uvajati enotni geodetski referenčni koordinatni sistemi. Kataster se je redno vzdrževal in dopolnjeval z novimi podatki. Začele so se izvajati nove izmere na območjih, kjer je bil grafični kataster preslab, da bi ustrezal potrebam družbe. Zahteve po novi izmeri so se pojavile predvsem na urbanih območjih ter na območjih intenzivne kmetijske pridelave. Nova izmera je bila praviloma opravljena z navezavo na državno geodetsko mrežo. Mejne točke so tako imele položaj določen v referenčnem koordinatnem sistemu, ki je bil za

območje Slovenije Besselov elipsoid in Gauss-Krügerjeva projekcija meridianskih con z začetnim meridianom v Greenwichu (D48/GK). Izmera se je izvajala s tahimetrično in ortogonalno metodo izmere ter tudi z uporabo fotogrametrične tehnologije. S hitro rastjo prebivalstva po 2. svetovni vojni in hitro urbanizacijo se je pojavila potreba po načrtovanju rabe zemljišč in urejanju naselij, pri čemer so postali katastrski podatki s katastrskimi načrti pomembna podatkovna podlaga za odločitve v prostoru (Dale in McLaughlin, 1999). Prostorsko načrtovanje se je razvijalo tako na urbanih kot tudi na ruralnih območjih. Predvsem v mestih so se katastrski načrti dopolnjevali s topografsko vsebino, zaradi česar so nudili podporo ne samo evidentiranju nepremičnin, ampak tudi drugim dejavnostim v prostoru (Slika 3.12).



Slika 3.12: Katastrsko-topografski načrt v k.o. Zagorje - mesto (Geodetska uprava Republike Slovenije).
Figure 3.12: Cadastral-topographic plan of the cadastral municipality of Zagorje - city (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia).

3.4 Koncept mnogonamenskega katastra

Potreba po mnogonamenskem katastru se je pojavila že po drugi svetovni vojni, ko so postali katastrski podatki pomemben temelj za načrtovanje prostorskega razvoja – poudarek je bil predvsem na gospodarskem vidiku. Pomembno prelomnico v zemljiški administraciji nadalje predstavlja koncept trajnostnega razvoja, pri katerem mora sistem zemljiške administracije slediti ideji trajnostnega razvoja. Na Konferenci o človekovem okolju je bila leta 1972 prvič izpostavljena povezava med človekovimi dejavnostmi in stanjem okolja. Na tej konferenci se je odločilo tudi o ustanovitvi Programa Združenih narodov za okolje (UNEP). Pojem trajnostnega razvoja je bil definiran v Brundtlandinem poročilu iz leta 1987, in sicer kot *»razvoj, ki zadovoljuje potrebe sedanjih generacij, ne da bi pri tem ogrozil možnosti prihodnjih generacij za zadovoljevanje njihovih potreb«* (World Commission on Environment and Development, 1987). Leta 1992 je sledila prva velika konferenca Združenih narodov o trajnostnem razvoju, ki se je imenovala Vrh o Zemlji. Ta predstavlja enega najpomembnejših mejnikov v prizadevanjih mednarodne skupnosti za trajnostni razvoj, saj sta bila na njej sprejeta dva temeljna dokumenta na področju trajnostnega razvoja, in sicer Deklaracija o okolju in razvoju ter Agenda 21, ki predstavlja načrt za uresničitev trajnostnega razvoja. Podpora trajnostnem razvoju je danes ena vodilnih nalog sodobnih sistemov zemljiške administracije po vsem svetu (Bennett in sod., 2008; Kalantari in sod., 2008; Van der Molen, 2009; Williamson in sod., 2010; Bennett in sod., 2011; Lemmens, 2011; Aien in sod., 2011; Rajabifard in sod., 2012).

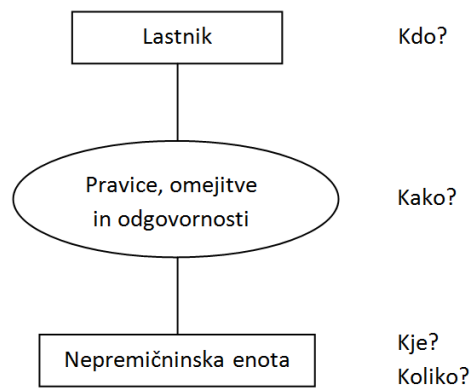
3.4.1 Mnogonamenski kataster v podporo trajnostnemu razvoju

Isto obdobje, to je obdobje po letu 1970, je s tehnološkega vidika zaznamoval hiter razvoj informacijskih tehnologij ter tehnologij za množični zajem prostorskih podatkov. Razvoj informacijskih tehnologij je skupaj z zahtevo po okoljskem, družbenem in gospodarskem trajnostnem razvoju vodil do novih razvojnih ciljev in nalog v katastru. Kot posledica se je v 70. letih prejšnjega stoletja pojavila ideja mnogonamenskega katastra, ki je danes še vedno aktualna. Mnogovrstno vlogo katastra so razvijali in podpirali številni avtorji, kot sta McLaughlin (1975) in Williamson (1985). Mnogonamenski kataster prinaša veliko novih koristi, saj poleg pravne varnosti nosilcev pravic na zemljiščih in osnove za obdavčitev zemljišč podaja temelj za pomembne dejavnosti, kot so: načrtovanje vrste rabe zemljišč, usmerjanje razvoja zemljišč, upravljanje okolja in podobno. Ideja je, da so katastrski podatki temelj celovitemu upravljanju zemljišč in na splošno nepremičnin. Državi kot sta Nemčija in Avstrija ter večina držav Srednje in Vzhodne Evrope ter Skandinavije so sistematično začele razvijati katastrske sisteme v smeri mnogonamenskih katastrov. Uporaba mnogonamenskih katastrov, ki temelji na evropskih izkušnjah, je veljala za primer dobre prakse in je bila osnova za številna druga teoretična dognanja v katastrski znanosti (Bennett in sod., 2011).

V sredini 1990-ih je bil kataster v Bogorski (FIG, 1996) in Bathurstski deklaraciji (UN-FIG, 1999) predstavljen kot orodje za podporo trajnostnemu razvoju. V Bogorski deklaraciji je izpostavljena vloga katastra v boju proti revščini in uničevanju okolja. Bathurstska deklaracija je pripomogla k promociji pojma zemljiška administracija. V njej je sklenjena povezava med dobrim zemljiškim upravljanjem in katastrom: kataster s tem, ko zagotavlja zanesljive in uporabne informacije o zemljiščih, omogoča dobro upravljanje z zemljišči. Ti deklaraciji sta pripomogli k nadaljnjemu razvoju na področju zemljiške administracije, predvsem v državah v razvoju (Bennett in sod., 2011). V zadnjem času se vse bolj izpostavlja tudi vloga katastra pri odzivu na podnebne spremembe (Van der Molen, 2009). Kataster je torej trenutno močno vpleten v svetovno najbolj pereča problema: trajnostni razvoj in podnebne ter družbene spremembe.

3.4.2 Nepremičninski kataster kot del sistema zemljiške administracije

Primarna vloga evropskih katastrov od 16. stoletja dalje je bila služenje pravnim in davčnim namenom. Davčni oziroma fiskalni katastri so se osredotočali na podatkovni model, ki je podpiral sistem obdavčitve zemljišč, medtem ko so bili v splošnem zemljiški registrski sistemi skupaj z zemljiškimi registri namenjeni zaščiti zemljiških pravic, predvsem lastninske pravice. Mednarodno združenje geodetov FIG je leta 1998 v publikaciji *Cadastre 2014* predstavilo vizijo katastrskega sistema za leto 2014. V njej je kataster definiran kot sistematično urejen uradni popis podatkov, ki se nanašajo na vse zemljiško-pravne objekte v določeni deželi ali pokrajini, in je zasnovan na izmeri meja teh objektov. Taki zemljiško-pravni objekti so sistematično opredeljeni s pomočjo enoličnih identifikatorjev. Opredeljuje jih zasebno ali javno pravo. Meje in oznake, vključno z opisnimi podatki, lahko prikažejo za vsak posamezni zemljiški objekt lastnosti, površino, vrednost in pravice ali omejitve, ki so povezane s tem zemljiškim objektom. Poleg teh opisnih podatkov, ki opredeljujejo zemljiške objekte, vsebuje kataster tudi uradne zabeleške o pravicah do zemljiško-pravnih objektov. V dokumentu *Cadastre 2014* (Kaufmann in Steudler, 1998) so v šestih smernicah predstavljeni še vedno aktualni trendi na področju zemljiškega katastra, pomembno pa je izpostaviti, da so te usmeritve osnovane na temelju evropskega parcelno-orientiranega katastra.



Slika 3.13: Osnovne entitete v katastru (prirejeno po Henssen, 1995).

Figure 3.13: Basic entities in a cadastre (adapted from Henssen, 1995).

Osnovni namen zemljiške administracije, vključujoč kataster, je podpora družbenemu razvoju. Zahteve družbe pa se spreminjajo, tako se mora novim družbenim zahtevam prilagajati (razvijati) tudi sistem zemljiške administracije. Pri tem zemljiško administracijo obravnavamo kot sistem in postopke, ki se nanašajo na upravljanje informacij o zemljiščih oziroma nepremičninah, kot so prostorski podatki o nepremičnini (njena prostorska razsežnost in lokacija), pravice, odgovornosti in omejitve na nepremičninah, podatki o njihovih vrednostih ipd. (Steudler, 2004). Zemljiški oziroma nepremičninski kataster je ožji pojem od zemljiške administracije in je del sistema zemljiške administracije. Predstavlja eno ali več zbirk podatkov, ki se nanašajo na zemljišča oziroma nepremičnine. Osnovna enota v parcelno zasnovanih zemljiških katastrih je zemljiška parcela, na katero se v sodobnih katastrih nanaša problem določitve njene razsežnosti v 3D-prostoru (nepremičninska enota v treh razsežnostih). Kataster mora razpolagati s podatki, ki nam dajo odgovor na vprašanja kdo, kako, kje in koliko (Slika 3.13).

Zemljiško administracijo določa praviloma institucionalni okvir, ki vključuje področja nepremičninskega prava, zemljiške politike in načrtovanje rabe zemljišč (prostorsko planiranje), pri tem pa sta pomembna tudi organizacijski in administrativni okvir ter tehnološke rešitve, ki določajo metode in tehnologije za zajem, shranjevanje, analizo in posredovanje z zemljišči povezanih informacij (Lemmens, 2011). Primerno urejeni podatki katastra o zemljiških parcelah oziroma nepremičninskih enotah, o pravicah in omejitvah na njih ter o osebah, ki so nosilci teh pravic in omejitev, lahko v okviru zemljiškega administrativnega sistema zagotavljajo temelj za vodenje raznolikih družbenih, gospodarskih in okoljskih dejavnosti (Slika 3.14). Ključna značilnost naj bi bila hiter dostop do kakovostnih podatkov, ki so organizirani na način, da jih je mogoče uporabiti v različne namene v okviru neodvisnih informacijskih in geo-informacijskih sistemov (Grünbeck, 2004; Bennett in sod., 2011; Rajabifard in sod., 2012).



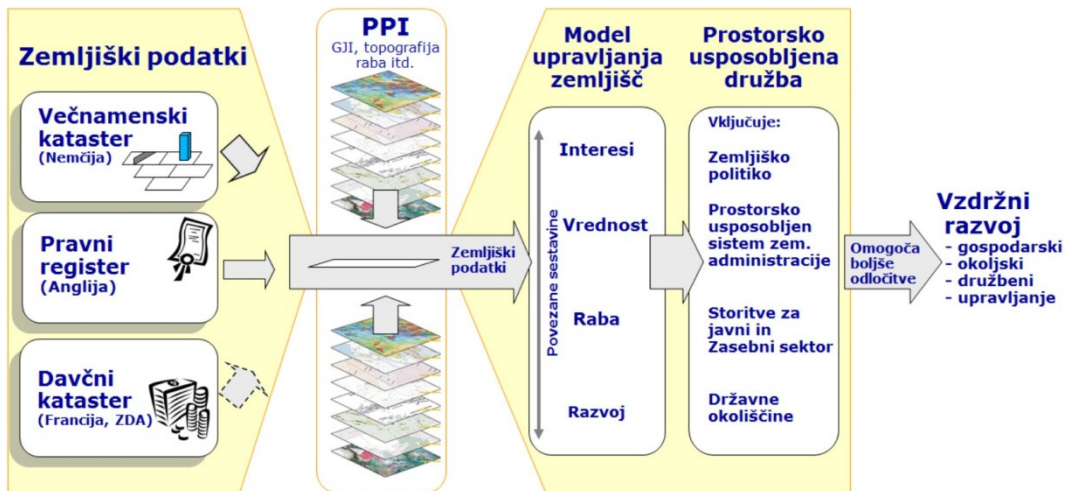
Slika 3.14: Zemljiška administracija kot temelj upravljanju zemljišč in zemljiški politiki (Zupan in sod., 2014, prirejeno po Kaufmann, 2008).

Figure 3.14: Land administration as the basis of land management and land policy (Zupan et al., 2014, adapted from Kaufmann, 2008).

3.4.3 Nepremičninski kataster kot del prostorske podatkovne infrastrukture

V luči mnogonamenskega katastra so se po letu 1990 pojavile usmeritve, da postane podatkovni model zemljiške administracije z grafično predstavitvijo nepremičnin del uradne prostorske podatkovne infrastrukture (angl. *Spatial Data Infrastructures*, skrajšano SDI). Namen raziskav na področju prostorske podatkovne infrastrukture je bil ugotoviti, kako bi prostorske tehnologije lahko podpirale organizacijo in delovanje družbe. Razvoj na področju prostorske podatkovne infrastrukture je imel velik vpliv na razvoj zemljiške administracije in na razvoj katastrov nepremičnin (Slika 3.15). Nepremičninski kataster je po drugi strani podpiral razvoj in uporabo ter postal eden izmed temeljev prostorske podatkovne infrastrukture. Nepremičninske enote so namreč postale temeljne prostorske enote za načrtovanje, izvajanje in nadziranje dejavnosti v prostoru (Enemark, 2004; Williamson in sod., 2010; Steudler in Rajabifard, 2012).

Zamisel zemljiške administracije dopušča ali predpisuje državne sisteme zemljiške administracije. Bennett in sod. (2012) so obravnavali zemljiško administracijo kot infrastrukturo državnega pomena. Z uvedbo državnih infrastruktur zemljiške administracije se bodo pojavili še neodkriti nameni in pozitivni učinki na lokalni, državni in svetovni ravni. Zemljiško administracijo je treba obravnavati kot infrastrukturo, ki je izjemnega pomena za celotno družbo, saj so v nasprotnem primeru ogrožene širše gospodarske, socialne in okoljske koristi učinkovite zemljiške administracije (Bennett in sod., 2013).



Slika 3.15: Katastrski podatki kot pomemben del prostorske podatkovne infrastrukture (Zupan in sod., 2014, prirejeno po Williamson in sod., 2010).

Figure 3.15: Cadastral data as an important part of spatial data infrastructure (Zupan et al., 2014, adapted from Williamson et al., 2010).

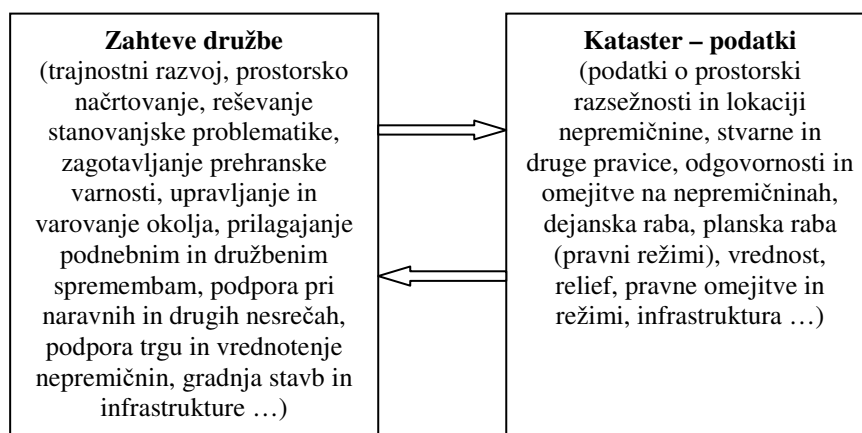
Na razvoj sodobnih katastrskih sistemov vplivajo politični, pravni, okoljski, tehnološki in družbeno gospodarski dejavniki (Bennett in sod., 2011). Dobro organizirani podatki o zemljiških parcelah oziroma nepremičninskih enotah v državnih prostorskih podatkovnih infrastrukturah omogočajo takojšnje in pravilne informacije o dejavnostih, vezanih na zemljišča in splošno na prostor, s tem pa se nudi informacijsko podporo za sprejemanje raznolikih odločitev v prostoru, tudi v povezavi s trajnostnim razvojem, podnebnimi spremembami in naravnih ter drugih nesrečah. Zaradi vse večjih namenov uporabe podatkov nepremičninskih katastrov v okviru državne prostorske podatkovne infrastrukture je treba v obstoječe katastrske sisteme vključiti podatke o tretji razsežnosti (višini), za spremljanje pojavov v prostoru pa bi bila pomembna tudi četrta razsežnost – čas (Döner in sod., 2010). V katastru bi morale biti uveljavljene nove tehnološke rešitve, kot so 3D-grafični modeli prostora, vključno s prikazom 3D-prostorskih interesov, posodabljanje podatkov v realnem času in medopravilnost, ki omogoča hitrejšo porazdeljevanje podatkov med različnimi sistemi (Bennett in sod., 2011).

3.5 Stanje in trendi v zemljiški administraciji in na področju podatkovnih modelov katastra

V preteklih tridesetih letih so razvoj informacijskih tehnologij, vključujoč geografske informacijske sisteme in informacijske komunikacijske tehnologije, ter usmeritve trajnostnega razvoja pripeljale do ustvarjanja novih modelov in vlog zemljiškega katastra v družbi. Koncepti, kot so mnogonamenski kataster, FIG-ova publikacija *Cadastre 2014* (Stuedler in Kaufmann, 1998) in zemljiška administracija ter prostorska podatkovna infrastruktura, so korenito spremenili razumevanje katastra in njegovega namena. Sistemi zemljiške administracije, katerega pomemben del so tudi prostorski podatki zemljiškega katastra, se morajo ves čas posodabljati, da lahko odgovarjajo na izzive sodobnega časa, kot so: revščina, varovanje okolja, podnebne in družbene spremembe ter gospodarska stabilnost (Van der Molen, 2003; Aien in sod., 2011).

Sodobna družba za svoje delovanje zahteva vedno več podatkov v nepremičninskih katastrih, zato se je tudi njihov namen s časom spremenil (Slika 3.16). Temeljna naloga zemljiškega oziroma

nepremičninskega katastra ostaja zagotavljanje varnosti lastninske in drugih pravic, omejitev in odgovornosti, ki se nanašajo na zemljišča oziroma nepremičnine. Prav tako ostaja pomemben vidik podpora davčni politiki ter nepremičninskemu trgu (glej Stoter, 2004). Sodobni nepremičninski katastri pa morajo s svojimi podatki in izvedenimi informacijami podajati tudi temelj za dejavnosti in sprejemanje raznolikih odločitev v prostoru, ki vključujejo odločitve v skladu s smernicami trajnostnega razvoja, usmerjanjem nepremičninskega trga, prostorskim načrtovanjem, reševanjem stanovanjske problematike, zagotavljanjem prehranske varnosti, podporo gradnji in vzdrževanju gospodarske javne infrastrukture, upravljanjem in varovanjem okolja, izkoriščanjem naravnih virov, prilagajanjem podnebnim spremembam, reševanjem problemov revščine in podporo pri ukrepanju v primeru naravnih ter drugih nesreč (Van der Molen, 2003; Lemmen in Van Oosterom, 2003; Grünbeck, 2004; Kalantari in sod., 2008; Aien in sod., 2011; Navratil, 2012; Rajabifard in sod., 2012).



Slika 3.16: Zahteve družbe vplivajo na razvoj zemljiškega katastra.

Figure 3.16: The influence of the demands of the society on the development of a land cadastre.

V sodobnih katastrskih sistemih (Preglednica 3.1) imajo pomembno vlogo zemljiške parcele in enote posesti ter tretja razsežnost nepremičninskih enot; dodatno so pomembni ključni podatki o nepremičninskih enotah v sistemu zemljiške administracije. Čeprav so zemljiške parcele osnovne nepremičninske enote v dosedanjih parcelno-orientiranih katastrih, je njihova pomanjkljivost v nezadostni prožnosti pri evidentiranju naraščajočega števila različnih interesov v prostoru. Večjo vlogo, na primer pri ocenjevanju vrednostni nepremičnin in davčnih podatkovnih modelih, imajo posesti, vendar podobno kot zemljiške parcele niso dovolj prožne, da bi zagotavljale učinkovito evidentiranje in prikazovanje različnih interesov v prostoru. Moderni katastrski sistemi, s tem pa tudi sistemi zemljiške administracije, morajo biti zmožni upravljati s tretjo razsežnostjo. Ta je ključnega pomena predvsem v zapletenem grajenem okolju, kjer se pojavlja več objektov nad in pod zemeljskim površjem, kot so: stavbe, predori, drugi infrastrukturni objekti, navsezadnje tudi naravni objekti, kot so voda, tla itd. Organizacija pravic, omejitev in odgovornosti v prostoru ostaja bistveno vprašanje v postopkih katastrskega podatkovnega modeliranja. Katastrski objekt oziroma vsak njegov del predstavlja svojo enoto v podatkovnem modelu, ki se ji lahko dodeli širok razpon podatkov. Cilj objektno orientiranega katastra ni samo zagotavljanje pravne varnosti nosilcem pravic na nepremičninah, ampak tudi omogočiti podporo davčni, zemljiški in stanovanjski politiki, prostorskemu načrtovanju ter odzivom na naravne in druge nesreče. 3D-nepremičninske meje naj bi bile določene (izmerjene) in evidentirane na ravni natančnosti 2D-zemljiškega katastra. Opisni podatki, ki pripadajo objektom, naj bi bili podrobni in bi morali vključevati pravne in fizične lastnosti ter druge opisne podatke, kot so raba, vrednost itd. (glej tudi Lemmens, 2011).

Preglednica 3.1: Primerjava med parcelnim in sodobnim katastrom.

Table 3.1: Comparison between parcel-based and modern cadastre.

	Tradicionalni parcelni (2D) kataster	Sodobni (3D) kataster
Osnovna enota	Zemljiška parcela	3D nepremičninski objekt
Razsežnost	Položajni (2D)	Prostorski (3D/4D)
Koordinatni sistem	Lokalni, grafični, tudi prostorski referenčni geodetski sistem	Prostorski referenčni geodetski sistem
Ažurnost	Problem posodobitev podatkov, ki jih ni mogoče spremljati s tehnologijami za množični zajem podatkov (spreminjanje parcelnih meja)	Problem posodobitev podatkov, ki jih ni mogoče spremljati s tehnologijami za množični zajem podatkov (spreminjanje parcelnih meja, spreminjanje podatkov o delih stavb) Ažurni podatki o stavbah, skoraj v realnem času
Naloge in področja uporabe	Temelj varovanju pravic na zemljiščih, vrednotenje in obdavčitev zemljišč, podpora prostorskemu načrtovanju in trajnostnemu razvoju (2D-katastrski načrt), podpora zemljiški politiki	Temelj varovanju pravic na nepremičninah, vrednotenje in obdavčitev nepremičnin, trajnostni razvoj, podpora prostorskemu načrtovanju in trajnostnemu razvoju (3D-predstavitev prostora), podpora zemljiški in stanovanjski politiki, podpora ukrepanju v naravnih in drugih nesrečah, podpora upravljanju s stavbami in infrastrukturo, temeljna prostorska informacijska infrastruktura države (registracija bivališč, poslovnih dejavnosti itn.)

Pomemben vidik podatkovnega podsistema je tudi časovna razsežnost, saj se prostor, s tem pa tudi lastniško strukturiranje prostora, stalno spreminjajo. Čas je zato pomembna sestavina vsega zemeljskega prostora v naravnem in družbenem pogledu (Jurlina, 1996), zato je pomemben podatek za preučevanje prostora. Modeli stvarnosti, tudi kataster, bi morali upoštevati časovno komponento (Döner in sod., 2010). Ta pove, kdaj je določeni prostorski objekt nastal in kdaj je bil odstranjen. Čas v katastrske podatkovne sisteme največkrat dodamo v model kot atribut, ki pove stanje nepremičnine na določeni časovni trenutek. Čas je bil vedno del zemljiške administracije, saj je pomemben podatek o stanju prostora na določen časovni trenutek; manj rešitev je razvitih in uveljavljenih za grafični samodejni prikaz časovnih sprememb (Vučić, 2015; Stančić, 2013), a ta vidik ni tema te naloge.

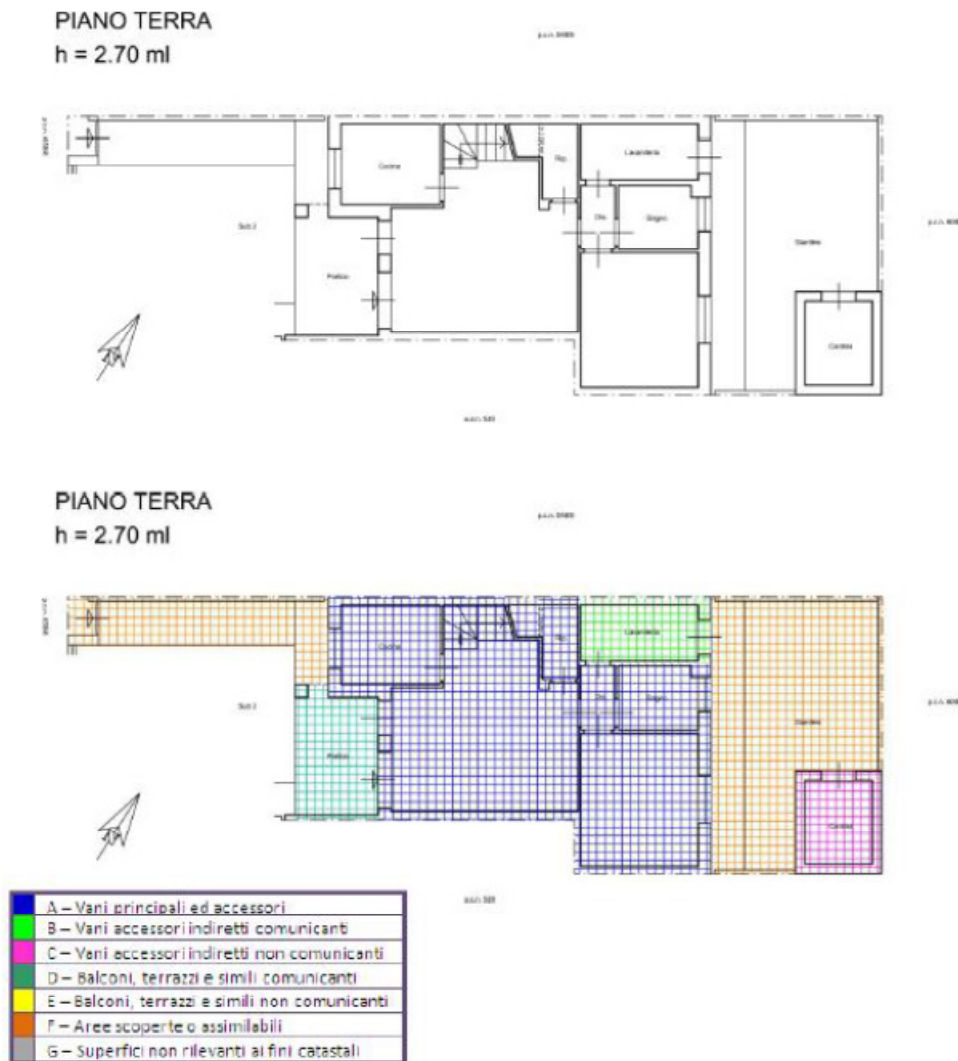
Vključevanje višinske in časovne razsežnosti v katastrske sisteme je vse bolj nujno. Uvedba novih prostorskih razsežnosti v katastre bo lahko pripomogla k izboljšanju informacij in lažjemu razumevanju pravic, omejitev in odgovornosti v prostoru. Pomemben vidik sodobnih katastrov je sprotno posodabljanje podatkov – tehnologija že danes omogoča katastrsko izmero in posodabljanje katastrskih podatkov na terenu v realnem času, postopki pa temu še niso prilagojeni. Za zagotovitev ažurnosti in kakovosti katastrskih podatkov bodo potrebni avtomatizirani postopki preverjanja pravilnosti. Zahteve za vzpostavitev sodobnih katastrov prihajajo tudi iz naravnega okolja, saj bi lahko predstavljali pomembno podporo za spremljanje naravnih pojavov v prostoru in prilagajanje pravic, omejitev ter odgovornosti tem spremembam. Gre na primer za pojave v obmorskih okoljih in spreminjanje reliefa ter topografije zaradi različnih pojavov (plazovi, spreminjanje tokov rek), zaščito rastlinskih in živalskih vrst ipd. Okoljska prostorska inteligenca (angl. *Ambient Spatial Intelligence*) omogoča zvezno spremljanje premikanja meja pojavov in njihovo izmero ter vizualno predstavitev v realnem času znotraj katastrskih sistemov (Duckham in Bennett, 2009).

V katastrih bodo v prihodnosti podatki o lokacijah in razsežnostih nepremičninskih enot določeni v geodetskih referenčnih koordinatnih sistemih, položajno bodo katastri bolj točni, objektno orientirani z vključeno vertikalno razsežnostjo in časom, z možnostjo zagotavljanja podatkov skoraj v realnem času (Bennett in sod., 2011). Visoka položajna točnost katastrov nepremičnin je pogoj za pravilno razumevanje obsežnih in prepletenih interesov na zemljiščih (v prostoru). Tiste države, ki imajo položajno bolj kakovosten zemljiški kataster, so se sposobne bolj učinkovito soočiti z izzivi sodobnega časa. Kakovosten parcelno-orientiran zemljiški kataster je namreč pomemben pri vključevanju dodatnih podatkov v kataster nepremičnin, kot so podatki o stavbah in drugih gradbeno-inženirskih objektih. Pri uveljavljanju tretje razsežnosti v kataster je predvsem na območjih grajenega okolja nujna visoka položajna točnost. Močno povečanje obsega novih pravic na nepremičninah, prav tako omejitev in odgovornosti, zahteva nove pristope k modeliranju nepremičninskih enot (enot posesti). Čeprav je bilo na to temo že opravljenih veliko teoretičnih raziskav (Van Oosterom in sod., 2006; Kalantari in sod., 2008), bo za praktično izvedbo potreben velik finančni vložek in dramatično preoblikovanje obstoječih katastrskih sistemov in postopkov.

3.5.1 Zahteve evidentiranja nepremičnin v zapletenem grajenem okolju

Pomemben izziv v sistemu zemljiške administracije je prinesla urbanizacija po letu 1950, ko se je začela množično pojavljati gradnja zapletenih stavb in drugih gradbeno-inženirskih objektov v več vertikalnih plasteh prostora (pod in nad površjem Zemlje, pod in nad obstoječimi grajenimi objekti). Koncept nepremičninske enote se s tem nekoliko spremeni, razširi se iz volumske zemljiške parcele na stavbe in dele stavb ter na posamezne dele drugih gradbeno-inženirskih objektov. V evropskih državah se uvede pojem stavbne pravice (angl. *right of superficies*), ki pomeni pravico imeti v lasti objekt na, nad ali pod zemljiščem drugega lastnika. To pravno povzroči ločitev stavbe od zemljišča in daje možnost samostojnega razpolaganja s stavbo. V večstanovanjskih stavbah se pojavi lastnina na delih stavb, v slovenskem pravnem sistemu tako imenovana etažna lastnina, ki je lastnina posameznega dela stavbe s solastnino na skupnih prostorih, če le-ti v stavbi obstajajo (Lisec in sod., 2015).

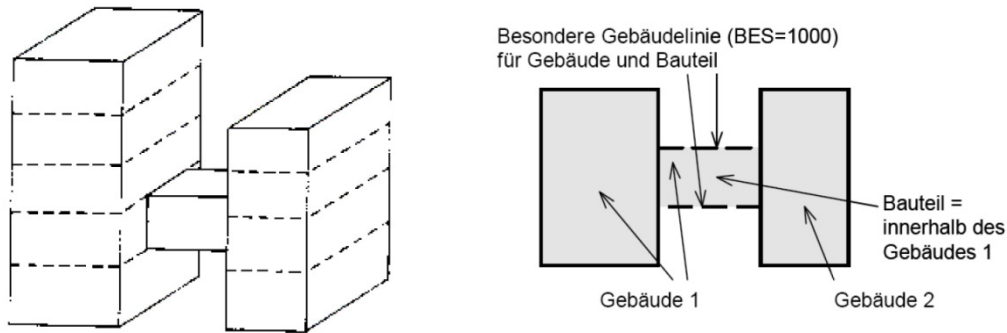
Potreba po katastrskem evidentiranju in pravni registraciji stavb in delov stavb ter drugih gradbeno-inženirskih objektov na tujem zemljišču se je pojavila predvsem zaradi visoke tržne vrednosti stanovanj in razvoja nepremičninskega trga. Tako je na eni strani interes lastnikov zaščititi lastninsko in druge pravice na nepremičnini, na drugi strani pa je tudi interes države, da ima podatke za upravljanje in nadzor nad rabo nepremičnin, usmerjanje prostorskega razvoja ter določitev nepremičninskega davka. Medtem ko so v nekaterih državah poskušali nadgraditi podatkovne modele zemljiških katastrov in registrov, so začeli v nekaterih evropskih državah poleg zemljiškega katastra uvajati kataster stavb. Začetki katastra stavb v Italiji (Slika 3.17) tako segajo v obdobje pred 2. svetovno vojno, saj je bila že leta 1939 objavljena uredba o zajemu podatkov stavb (Lisec in sod., 2015).



Slika 3.17: Primer etažnega načrta v italijanskem katastru stavb (cit. po Lisec in sod., 2015).

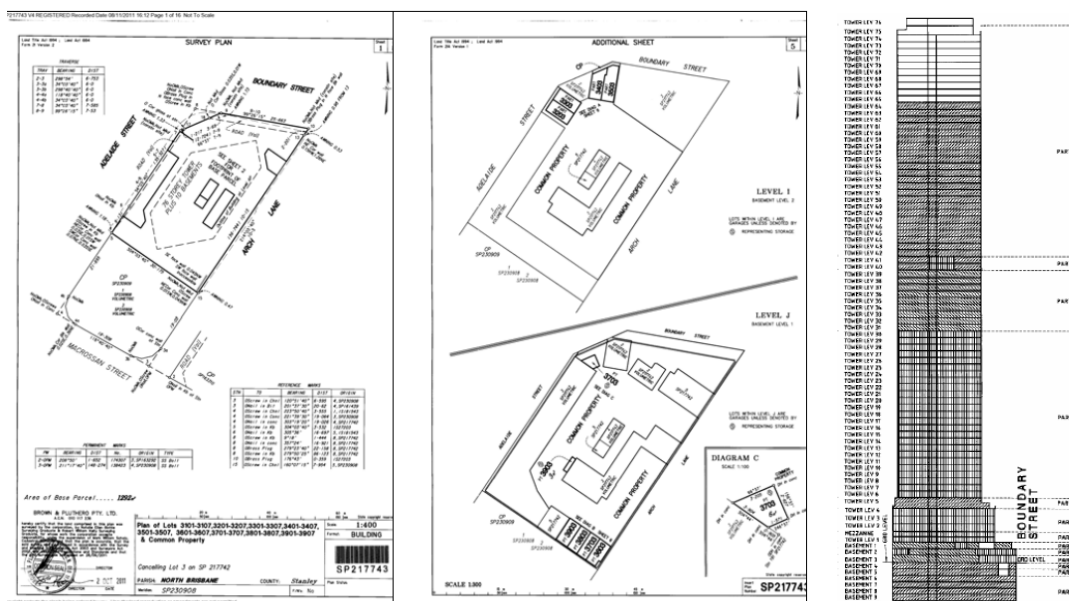
Figure 3.17: Example of the storey plan in the Italian Building Cadastre (adapted from Lisec et al., 2015).

Register zgradb in stanovanj je del večnamenskega zemljiškega informacijskega sistema na Danskem, ki je bil podobno kot v ostalih nordijskih državah vzpostavljen že pred desetletji. V Nemčiji je bila možnost evidentiranja lastnine na posameznih delih stavb, stanovanjih, omogočena z Zakonom o etažni lastnini iz leta 1951 (Lisec in sod., 2015). Nemčija, podobno kot Avstrija, sicer ne pozna katastrskih podatkov o posameznih delih stavb, v katastrskih načrtih pa so na zemljiški parceli prikazani tudi nadzemni ali podzemni deli stavb, kar je pomembno za prikaz zasedenosti prostora (Slika 3.18). Pomembna novost v Nemčiji je od leta 2015 dalje uvajanje modeliranja stavb na temelju katastrskih podatkov v treh razsežnostih, tudi za namene vzdrževanja topografskih podatkov (Lisec in sod., 2015).



Slika 3.18: Prikaz nadzemnega dela stavbe v nemškem zemljiškokatastrskem načrtu (AdV).
Figure 3.18: Representation of the overground part of a building on the German land cadastre plan (AdV).

Kataster stavb v splošnem še danes vsebuje podatke o stavbah in delih stavb, kamor spadajo tloris in prerez stavbe, tlorisi etaž z načrtom delov stavb, površine posameznih delov stavb, višine stavb in etaž ipd. (Slika 3.19). V evropskih državah, pa tudi v primeru Avstralske dežele Queensland, so ti podatki pogosto prikazani na načrtih, ki so poenostavljena verzija arhitekturnih in gradbenih projektov za stavbo.



Slika 3.19: Grafični prikaz evidentiranja stavbe v državi Queensland, Avstralija (Karki, 2013).
Figure 3.19: Graphical representation of the building registration in Queensland, Australia (Karki, 2013).

Po letu 2000 se je zaradi vse bolj kompleksne rabe prostora pojavilo več raziskovalnih in aplikativnih projektov na področju vzpostavitve 3D-katastrov nepremičnin (Van der Molen, 2003; Lemmen in Van Oosterom, 2003; Stoter in Ploeger, 2003; Stoter in Salzmann, 2003; Benhamu in Doytsher, 2003). V novembru 2001 je bila v okviru FIG-a v Delftu na Nizozemskem prvič organizirana mednarodna delavnica na temo 3D-katastrov, katere cilj je bil predstaviti mednarodno zavedanje problematike v zvezi z registracijo pravic, omejitev in odgovornosti v 3D-okolju. Tradicionalni katastrski podatkovni model in grafični prikaz podatkov, ki temelji na zemljiških parcelah v 2D-prostoru, namreč ne omogoča popolnega evidentiranja nepremičninskih pravic, omejitev in odgovornosti, ki se nanašajo na stavbe, dele stavb in druge gradbeno-inženirske objekte na, nad in pod površjem Zemlje oziroma nad

ali pod obstoječimi nepremičninskimi enotami. V nalogi smo se osredotočili na 3D-kataster in na vizualizacijo podatkov v obliki 3D-grafične predstavitev.

Poleg s splošnimi razvojnimi usmeritvami so se morale postsocialistične države jugovzhodne Evrope spopasti z dvojnimi izzivi družbene tranzicije in strukturnih sprememb. V času gospodarske tranzicije v zgodnjih 1990-ih so se te države soočale s spremembami ob prehodu z družbeno-planskega gospodarstva na tržno gospodarstvo. Na področju evidentiranja nepremičnin je bila za to obdobje značilna ponovna vzpostavitev pravne podlage za zasebno lastnino in sprejetje nekaterih aktov za podporo vračanja premoženja in z njim povezanih nadomestil v postopku denacionalizacije (Lisec in Ferlan, 2012). Vsaka izmed držav jugovzhodne Evrope se je na svoj način soočala s problemi tranzicije in v napredku teh držav so se pojavile očitne razlike. Postopno vključevanje teh držav v Evropsko unijo (EU) in druge mednarodne skupnosti je zahtevalo vrsto novih ali spremenjenih zakonov, predpisov in institucij, katerih cilj je bila med drugim pravica do vzpostavitve zasebne lastnine na zemljiščih oziroma nepremičninah in pravica do učinkovitega sistema upravljanja zemljišč kot podpora razvoju trga nepremičnin in prostorskemu razvoju.

4 MODEL PREHODA IZ 2D-PARCELNEGA KATASTRA V 3D-KATASTER

V tem poglavju so najprej predstavljene potrebe za vzpostavitev 3D-katastra nepremičnin v sodobni družbi. Sledi pregled virov in literature, ki se nanašajo na področje trirazsežnega evidentiranja nepremičnin. Z izzivi vzpostavitve 3D-katastra se soočajo številne države po svetu – v tem delu so predstavljene zasnove in poskusi uvajanja 3D-katastra v Avstraliji, Kanadi, Nemčiji, Nizozemski, Norveški in Švedski. Izkušnje uvajanja 3D-katastra v obravnavanih državah so služile za oblikovanje predloga modela prehoda iz parcelnega 2D-zemljiškega katastra v 3D-kataster, s poudarkom na proučevanju potrebnih prostorskih podatkov za evidentiranje in grafično prostorsko predstavitev nepremičninskih enot v 3D-okolju.

4.1 Potrebe za vzpostavitev 3D-katastra

Svetovno prebivalstvo se povečuje in vse bolj urbanizira; ni zanemarljivo dejstvo, da danes že več kot polovica svetovnega prebivalstva živi v mestih. Informacije o zemljiščih in stavbah, ki temeljijo na geometrijskih, vizualnih in pravnih podatkih o nepremičninskih objektih, so še danes večinoma dvorazsežne in so osnovane na 2D-parcelnem katastru. Podatki o višinah so lahko prikazani na načrtih kot opisni podatek, a so pogosto tudi pomanjkljivi in nejasni. Čeprav je tak način evidentiranja nepremičnin trenutno še v široki uporabi in poskuša podpirati dejavnosti na področju upravljanja zemljišč ter drugih dejavnosti v prostoru, je njegova uporaba omejena zaradi omejenosti podatkov, saj ni jasnega in učinkovitega opisa ali grafične predstavitve prostorskih podatkov v treh razsežnostih. Nepremičninski podatki v dveh razsežnostih so evidentirani in grafično prostorsko zapleteno predstavljeni, zato jih je s prostorskega vidika težko razumeti, prav tako je težko prostorsko umeščati tudi podatke o lastništvu in drugih pravicah, omejitvah in odgovornostih na nepremičninah (Jazayeri in sod., 2014). Zaradi vse večjega števila zapletenega strukturiranja prostora z vidika nepremičninskih enot, na katere se navezujejo razne pravice in omejitve glede rabe in posesti prostora, so se za namene evidentiranja pojavili načrti zapletenih stavb in drugih zapletenih 3D-primerov nepremičninskih enot v prostoru, ki so razumljivi le strokovnjakom. Modeli stavb, delov stavb ter drugih prostorskih nepremičninskih struktur, ki so bolj zapleteni od tradicionalne 2D-zemljiške parcele, morajo podpirati tako pravni vidik evidentiranja nepremičnin in omogočati evidentiranja pravic, omejitev in odgovornosti kot koncept mnogonamenskega katastra. Za oba vidika je možna rešitev uvedba 3D-nepremičninskega katastra s podatki in prostorsko predstavitevijo v treh razsežnostih, ki opisuje fizično razsežnost nepremičninskih enot, zemljišč in stavb.

Znatno povečanje vrednosti nepremičnin v mestih, številna infrastruktura, podzemni parkirni prostori, nakupovalna središča, stavbe nad cestami oziroma železnicami in drugi primeri več-etažnih objektov je dodatno povzročilo zanimanje za 3D-katastrsko evidentiranje nepremičnin. Število stavb in drugih gradbeno-inženirskih objektov na več prostorskih ravneh z višinskega vidika se je v zadnjih desetletjih zelo povečalo, zato se je v sistemih zemljiške administracije pojavila tudi večja potreba po 3D-modelih prostora. 3D-modeliranje prostora v sodobnih informacijskih sistemih se je sicer pojavilo tudi na drugih področjih (geografski informacijski sistemi, prostorsko načrtovanje, upravljanje z naravnimi in drugimi nesrečami ipd.), kar je prispevalo k razvoju tehničnih rešitev tudi za namene 3D-katastrskega evidentiranja (Stoter, 2004).

Pomemben podatek pri uvajanju 3D-modelov stvarnosti v sistemih zemljiške administracije je podatek o višinskem položaju in razsežnosti posameznih entitet v prostoru (Navratil in Unger, 2013). Brez uvedbe višinske razsežnosti (poleg 2D-položajne razsežnosti) nepremičninskih enot v prostoru je evidentiranje številnih pojavnih oblik nepremičninskih enot kot prostorskih entitet z istim pravno-

lastniškim stanjem ter registracija pravic, omejitev in odgovornosti na njih nemogoče ali pomanjkljivo (primeri večetažnih objektov, infrastrukture nad in pod zemeljskim površjem). Nepremičninski informacijski sistemi (katastri) se morajo prilagoditi novim zahtevam in interesom v družbi, kamor spada tudi potreba po evidentiranju prostorske razsežnosti nepremičnin in s tem uvajanje tretje razsežnosti (Kalantari in sod., 2008). 3D-kataster omogoča evidentiranje in upravljanje pravic, omejitev in odgovornosti v prostoru in bi moral biti del sodobnega sistema zemljiške administracije. Sposoben bi moral biti shranjevanja, upravljanja, poizvedovanja, analiz, posodabljanja in grafične predstavitve pravic, odgovornosti in omejitev na nepremičninah v treh razsežnostih (Aien in sod., 2011). Višinski podatki o zemljiščih in stavbah imajo nadalje velik vpliv na vrednost nepremičnin in posledično na njihovo obdavčitev. Zato je ena od glavnih nalog tako parcelnega kot tudi 3D-katastra podpora tržnemu vrednotenju nepremičnin in z njim povezana obdavčitev nepremičnin, ki so v primeru 3D-katastra prostorske (volumske) enote (Van der Molen, 2003; Lemmen in Van Oosterom, 2003; Grünbeck, 2004). 3D-kataster bi moral biti tudi del temeljne prostorske podatkovne infrastrukture, med drugim v podporo topografskim 3D-modelom prostora (Grünbeck, 2004).

Uveljavitev 3D-katastra oziroma 3D-grafičnega modeliranja in predstavitve nepremičnin v treh razsežnostih ima pomen tudi za pravni vidik varovanja interesov na nepremičninah. Sistem zemljiške administracije (katastrov) mora namreč delovati po načelih javnosti in specialnosti. Načelo javnosti je upoštevano tako, da so vsi dokumenti glede vpisa, prenosa in izbrisa pravic odprti za javnost, kar zagotavlja tretjim osebam, da imajo možnost biti informirani o pravnem statusu in drugih značilnostih nepremičnine. Načelo specialnosti pomeni, da so vsi subjekti, objekti in njihovi medsebojni odnosi podrobno navedeni, kar omogoča tretjim osebam, da točno vedo, kateri upravičenci razpolagajo s katerimi pravicami in zahtevami v zvezi točno določenim delom prostora (odmerjeno in v katastru grafično predstavljeno nepremičninsko enoto). Težko je popolnoma ugoditi zgornjima zahtevama, je že pred leti izpostavil Van der Molen (2003). V državah s tradicionalnim parcelnim zemljiškim katastrom je običajna praksa ta, da je glavna pravica na zemljiščih, to je lastništvo, dobro evidentirana in podrobno opisana (vključno z grafično predstavitvijo na temelju geodetske izmere), ostale pravice in dejstva (stavbna pravica, služnost, najem, hipoteka ...) ter grajeni objekti na zemljiških parcelah (stavbe, poti, komunalni vodi ...) pa so pogosto pomanjkljivo evidentirani. Prednosti obstoječih evropskih parcelno-orientiranih 2D-katastrov in povezanih zemljiških registrov so visoka zanesljivost, državna podpora in pravno varovanje za evidentirane nosilce lastninske ter drugih pravic na nepremičninah, metodološko standardizirano in sistemsko pokritje z informacijami o zemljiščih, kartiranje in možnost uporabe teh podatkov tudi za druge namene (izven sistema zemljiške administracije), medtem ko je slabo to, da so ti katastri z vidika prostorskega podatkovnega modela in grafične predstavitve dvorazsežni in praviloma obravnavajo le pravice na površju Zemlje (Benhamu in Doytsher, 2003). Rešitev je v dopolnitvi zakonodaje in določitvi novega prostorskega katastrskega modela (3D-katastra).

Potrebe po 3D-katastrskem evidentiranju nepremičnin so bile med drugim javno izražene na mednarodni FIG-ovi delavnici na temo 3D-katastrov v Delftu na Nizozemskem že leta 2001, kjer so obravnavali problem evidentiranja nepremičnin na gosto poseljenih urbanih območjih. Pri obstoječem 2D-parcelnem zemljiškem katastru ni mogoče evidentirati pravic, omejitev in odgovornosti, ki se pojavljajo v večetažnih stanovanjskih in poslovnih stavbah ter pri prometnicah in ostali infrastrukturi, ki poteka na več višinskih ravneh v prostoru. Nujnost vzpostavitve 3D-katastra nepremičnin kot nadgradnjo tradicionalnega 2D-parcelnega katastra so podali številni avtorji (Lemmen in Van Oosterom, 2003; Van der Molen, 2003; Stoter in Ploeger, 2003; Stoter in Salzmann, 2003; Onsrud, 2003; Benhamu in Doytsher, 2003; Stoter, 2004; Grünbeck, 2004; Lemmens, 2011; Jazayeri in sod., 2014).

Potrebe za vzpostavitev 3D-katastra lahko v splošnem razdelimo na (Slika 4.1):

- osnovne potrebe: evidentiranje pravic, omejitev in odgovornosti na nepremičninah, kamor kot glavno uvrščamo lastninsko pravico, služnostne pravice, pravni režimi rabe prostora ipd.;
- fiskalne potrebe: vrednotenje nepremičnin in z njo povezana obdavčitev nepremičnin;
- ostale potrebe: različni nameni sodobnega katastra, kot so njegova uporaba za prostorsko načrtovanje, podpora odločitvam v prostoru v skladu smernic trajnostnega razvoja, celovito upravljanje s prostorom, odločitve in ukrepanje pri naravnih in drugih nesrečah, poplavne študije, uporabo podatkov za predstavitev prostora v informacijskih sistemih (navidezna resničnost) itd.



Slika 4.1: Potrebe za vzpostavitev 3D-katastra.

Figure 4.1: The needs for 3D cadastre establishment.

Sodobni kataster pa mora poleg svojih osnovnih nalog zagotavljati učinkovito podporo pri odločanju in zadovoljevati številne družbene potrebe na področju trajnostnega prostorskega razvoja, varstva okolja ter preprečevanja in upravljanja v primeru naravnih in drugih nesreč. Sodoben sistem zemljiške administracije s 3D-modeli nepremičninskih enot mora biti objektno orientiran, ažuren in mora poleg osnovnih potreb zadostiti tudi drugim potrebam družbe (Benhamu in Doytsher, 2003; Kalantari in sod., 2008). Različni avtorji so izpostavili različne namene sodobnega trirazsežnostnega katastra, ki bi lahko služil:

- urbanističnemu in podeželskemu prostorskemu razvoju (Van der Molen, 2003; Grünbeck, 2004; Navratil, 2012),
- nepremičninskim trgov (Van der Molen, 2003; Grünbeck, 2004),
- analizam sprememb na površju Zemlje (Lemmen in Van Oosterom, 2003; Kalantari in sod., 2008),
- mobilni komunikacijski tehnologiji pri določevanju položajev oddajnikov (Lemmen in Van Oosterom, 2003; Grünbeck, 2004),
- modeliranju naravnih virov in območij pod površjem Zemlje (Lemmen in Van Oosterom, 2003; Kalantari in sod., 2008),
- varstvu okolja pri modeliranju in analizi onesnaževanja okolja s hrupom in drugimi onesnaževalci (Lemmen in Van Oosterom, 2003; Grünbeck, 2004; Kalantari in sod., 2008),
- preprečevanju in odločitvam v primeru naravnih in drugih nesreč, tudi varstvu pred poplavami in ukrepanju (Lemmen in Van Oosterom, 2003; Grünbeck, 2004),
- turizmu (Grünbeck, 2004),
- upravljanju objektov (Grünbeck, 2004),
- navigaciji (Grünbeck, 2004),
- objektom zgodovinske kulturne dediščine in spomeniškega varstva (Grünbeck, 2004),
- trajnostnemu razvoju (Aien in sod., 2011; Rajabifard in sod., 2012).

4.2 Pregled virov in literature na področju 3D-nepremičninskega katastra

Na prvi mednarodni FIG-ovi delavnici na temo 3D-katastrov nepremičnin v Delftu na Nizozemskem leta 2001 je bil glavni namen odpreti mednarodno razpravo in izmenjavo stanja, izkušenj ter načrtovanega razvoja v zvezi s 3D-katastri nepremičnin. V okviru delavnice so bili obravnavani nekateri glavni vidiki, kot so pravni status 3D-nepremičninskih objektov, omejitve na tem področju in ideje za njihovo pravno rešitev, možnosti registracije 3D-nepremičninskih objektov v sistemih zemljiške administracije, vključno s pravnim statusom in geometrijo nepremičnine, ter tehnološki in metodološki vidiki za vzpostavitev 3D-katastra. Ta mednarodna delavnica je predstavljala začetek povezanega mednarodnega raziskovanja na področju 3D-zemljiških informacijskih sistemov in na splošno zemljiške administracije. Sledile so številne znanstvene raziskave (Van der Molen, 2003; Lemmen in Oosterom, 2003; Stoter in Ploeger, 2003; Stoter in Salzmann, 2003; Onsrud, 2003; Benhamu in Doytsher, 2003; Stoter, 2004; Grünbeck, 2004; Van Oosterom in sod., 2006; Paulsson, 2007; Nasruddin in Rahman, 2007; Hassan in sod., 2007; Kalantari in sod., 2008; Pouliot in sod., 2011; Karki in sod., 2010; Döner in sod., 2010; Ying in sod., 2011; Karki in sod., 2013; Stoter in sod., 2013), ki so osredotočene večinoma na pravne vidike določevanja 3D-nepremičninskih enot in katastrske vidike določitve razsežnosti teh enot v prostoru (izmere), evidentiranja in grafičnega prikaza v treh razsežnostih.

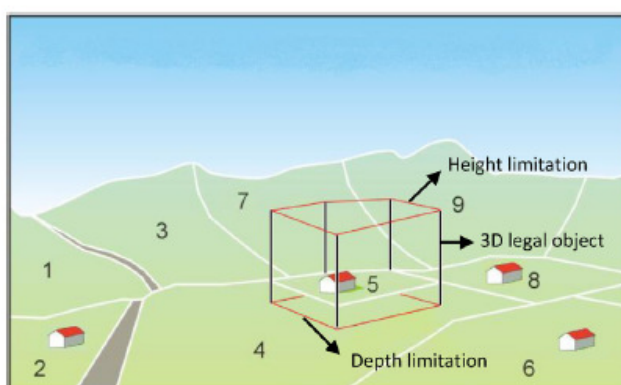
Novejše raziskave gredo v smeri združitve 3D-pravno določenih nepremičninskih enot, opredelitve in modeliranja fizičnih objektov znotraj konceptualnih in podatkovnih modelov (Lemmen, 2012; Aien in sod., 2013) ter zajema 3D-podatkov za evidentiranje nepremičnin (Jazayeri in sod., 2014). S konceptualnimi modeli in nadgradnjo obstoječih katastrskih sistemov, ki bi omogočili evidentiranje 3D-nepremičninskih enot, so se v preteklih letih ukvarjali številni avtorji (Aien, 2013; Pouliot in sod., 2013; Stoter in sod., 2013; Karki, 2013; Vučić, 2015).

Glavni načeli katastra ostajata javnost in specialnost. Izhodišče za 3D- (prostor) in 4D- (čas) katastrska stanja naj bi bilo, da načelo specialnosti zahteva zadovoljivo modeliranje in prikaz 3D- in 4D-pravnih objektov v katastru (Van der Molen, 2003). Naloge katastrov oziroma nepremičninskih informacijskih sistemov še vedno ostajajo podpora za zagotavljanje zemljiško-posestne varnosti, podpora za delovanje zemljiških trgov, podpora urbanističnemu in podeželskemu načrtovanju, podpora odločitvam pri usmerjanju rabe in upravljanju zemljišč, zagotavljanje temeljev za obdavčitev zemljišč ipd.

Stoter (2004) je v doktorski disertaciji definirala osnovne pojme, kot so: 3D-kataster, 3D-nepremičninska enota in 3D-nepremičninski objekt. 3D-kataster je kataster, ki omogoča evidentiranje in grafično predstavitev pravic ter omejitev ne le na 2D-zemljiških parcelah, ampak tudi na 3D-nepremičninskih enotah. 3D-nepremičninska enota je omejeno prostorsko območje, na katero se nanašajo temeljne nepremičninske pravice, ki imajo enak pravni status v prostoru določene enote. 3D-nepremičninski objekt (ali skrajšano 3D-objekt oziroma večetažne nepremičninske enote) se nanašajo na stanja, v katerih so različne prostorske nepremičninske enote (tudi z različnimi vrstami rabe) nameščene ena nad drugo v višinskem smislu ali sestavljene v še bolj kompleksne strukture. V 3D-nepremičninskih objektih posamezni uporabniki uporabljajo določen prostor, ki je omejen v treh razsežnostih.

Zakonska načela, ki veljajo za 2D-parcelni zemljiški kataster, so enako pomembna tudi za 3D-kataster. Brez določitve tretje razsežnosti v zakonskih osnovah pri upravljanju s pravicami na nepremičninah, 3D-katastri nimajo smisla. Pomemben namen katastra je omogočanje evidentiranja pravic, ki se

nanašajo na posamezen, zaprt in zaključen del prostora. Območje pravic je v tradicionalnem 2D-parcelnem katastru omejeno s katastrsko mejo zemljiške parcele. Evidentiranje pravic in grafični prostorski prikaz 3D-nepremičninskih enot bo omogočen le, če bodo te pravice in meje nepremičninskih enot pravno in tehnično določene (Van der Molen, 2003). Dvorazsežna zemljiška parcela v tradicionalnih katastrih je pravzaprav poseben primer 3D-nepremičninske enote, čeprav večinoma ni jasno prostorsko omejena (Karki in sod., 2010). Čeprav so v tradicionalnih katastrih parcele evidentirane v dveh razsežnostih, so bile nepremičninske pravice, ki so se nanašale na parcele, vedno evidentirane v 3D-prostoru (Slika 4.2). Stoterjeva (2004) je na primer izpostavila, da lastninska pravica na zemljiški parceli ni vezana le na zemeljsko površje, ki je evidentirano v parcelnem katastru, brez višine in globine. Če bi se lastninska pravica nanašala le na zemeljsko površje, bi bila uporaba takšne nepremičnine praktično nemogoča. Zaradi tega je bilo s pravnega vidika katastrsko evidentiranje zemljiške parcele vedno trirazsežno (Stoter, 2004).



Slika 4.2: Grafična predstavitev 3D-nepremičninske enote, ki zajema zemljišče, stavbo in zračni prostor (Aien in sod., 2013).

Figure 4.2: Graphical representation of the 3D real estate unit, including land, building and airspace (Aien et al., 2013).

Modeliranje prostorskih entitet in grafična predstavitev teh objektov v 3D-katastru med drugim obsega obravnavo 3D-nepremičninskih enot, prostorskih odnosov med 3D-nepremičninskimi enotami (tudi v povezavi z 2D-zemljiškimi parcelami), prostorskih odnosov med 3D-nepremičninskimi enotami in odgovarjajočimi fizičnimi objekti, prostorskih odnosov med posameznimi 3D-nepremičninskimi enotami in prostorsko predstavitev objektov v prostorskih informacijskih sistemih. Nepremičninske enote ne sovpadajo nujno z enotami fizičnih prostorskih objektov, so pa večinoma z njimi povezane. V nekaterih primerih, kot so recimo stavbe in podzemne konstrukcije, se meja nepremičninske enote povsem prilega fizičnemu objektu, kar pomeni, da je grafična predstavitev fizičnega objekta temelj za prostorsko predstavitev nepremičninske enote v 3D-katastru (Wang in sod., 2012). Na drugi strani nepremičninske enote določajo tudi navidezne meje v prostoru, kot je meja zemljiške parcele, ki je sicer tudi lahko materializirana z mejnimi znamenji ali s posebnimi topografskimi entitetami (na primer z ograjo ali živo mejo). Z evidentiranjem fizičnih objektov oziroma topografskih entitet v 3D-katastru je lahko položaj in velikost nepremičninskih enot bolj nedvoumen in lažji za razumevanje. Geometrijo fizičnih objektov je lažje izmeriti, uveljaviti in primerjati z geometrijo abstraktnih nepremičninskih enot, pri tem si lahko pomagamo tudi s sodobnimi tehnologijami za množični zajem prostorskih podatkov.

V podporo razvoju 3D-katastra nepremičnin so poleg tehnologij za množični zajem prostorskih podatkov v pomoč tudi številne 3D-tehnologije za ustvarjanje, načrtovanje in upravljanje s prostorskimi podatki (Rajabifard in sod., 2012). Za določitev položaja mej nepremičninskih enot v

prostoru za namene vzpostavitve 3D-katastra so potrebni ustrezni geodetski referenčni sistemi, ki poleg položaja v horizontalnem smislu nedvoumno določajo tudi višinski položaj. Ti referenčni sistemi morajo biti prilagojeni dejstvu, da so katastrski sistemi ustvarjeni oziroma da obstajajo stoletja, zemeljsko površje pa se neprestano spreminja (Navratil in Unger, 2011). Definicija višine nasploh ni preprosta, saj fizično predstavljive višine v globalnih referenčnih sistemih (ti so pomembni zaradi koncepta mnogonamenskega katastra, da je mogoče prostorske podatke 3D-katastra uporabiti tudi v druge namene) ni mogoče preprosto določiti. Pojavlja se tudi vprašanje absolutnih in relativnih višin. Absolutne višine so zanimive za mnogonamenski kataster, uporabniku pa ne dajo dobre prostorske predstave o tem, ali se objekt nahaja nad ali pod površjem Zemlje. Relativne višine omogočajo boljše prostorsko predstavo, vendar se nanašajo na določeno referenčno ploskev (na primer površje Zemlje), ki se lahko s časom spremeni (zemeljski plaz, rekonstrukcija ceste...). Tako za položajno (2D) kot za višinsko razsežnost nepremičninske enote je treba upoštevati, da se zahteve po kakovosti znotraj posameznih držav razlikujejo (na urbanih območjih je zahtevana večja kakovost določitve položaja kot v ruralnih predelih in na redko poseljenih območjih), in da je lokalna točnost položaja v katastru bolj pomembna od globalne.

Sodobni katastri nepremičnin naj bi bili trirazsežni, prostorsko usmerjeni, večnamenski in naj bi tako kot trenutni 2D-katastri imeli poudarek na odnosu med nepremičnino, pravicami in ljudmi (Benhamu in Doytsher, 2003). Sodobni nepremičninski kataster naj bi predstavljal povsem izčrpno, metodološko in ažurno dokumentacijo zasebnih in javnih pravic, odgovornosti ter omejitev, ki se nanašajo na nepremičnino v prostoru. Model nepremičninskih enot v prostorskem informacijskem sistemu mora zajemati evidentiranje in predstavitev pravnih ter fizičnih objektov, katastrski podatki pa morajo biti uporabni tudi za topografsko modeliranje, načrtovanje rabe zemljišč in prostorsko okoljsko načrtovanje (Nasruddin in Rahman, 2007). Uvajanje in podpora razvoju 3D-katastra kot dela zemljiške administracije je v veliki meri odvisna od pravne ureditve in razpoložljive tehnologije. V številnih državah pravni predpisi podpirajo registracijo trirazsežnih nepremičnin, ponekod se pojavljajo tudi prostorski 3D-modeli nepremičninskih enot v prostorskih informacijskih sistemih zemljiške administracije. V splošnem velja, da so tako pravne rešitve kot tehnični vidiki shranjevanja, poizvedovanja, upravljanja in prikazovanja 3D-podatkov šele v razvoju. Težave se pojavljajo pri določitvi podatkovnega modela, povezanem delovanju z obstoječimi podatkovnimi zbirkami, metodah zajema podatkov ter nizu možnih oblik in kombinacij evidentiranja ter prikaza 3D-objektov (Karki in sod., 2010).

4.2.1 Pregled stanja po posameznih državah

V visoko urbaniziranih državah se je v preteklih desetletjih povečala potreba po zapletenem pravnem strukturiranju prostora, ki omogoča določevanje nepremičninskih enot za namene bivanja, storitvenih dejavnosti in infrastrukture na več prostorskih ravneh v višinskem smislu – nad in pod površjem Zemlje ter nad in pod posameznimi nepremičninskimi enotami. Čeprav so nekatere države, kot so Norveška, Švedska, avstralski Queensland in kanadska Britanska Kolumbija, primerno uredile pravna vprašanja, ki se nanašajo na etažno lastnino, rešitve še vedno niso popolne v smislu 3D-katastrskega evidentiranja nepremičnin, saj objekti še vedno niso v vsem svojem obsegu evidentirani in v grafično prikazani trirazsežno. Premik od evidentiranja parcel kot 2D-objektov do prostorskih 3D-objektov je zahteven in zahteva spremembo definicije katastrskega koncepta (Lemmens, 2011). Države, ki imajo tradicionalni 2D-zemljiški kataster kot podatkovni temelj v sistemu zemljiške administracije, se vsaka po svoje spopadajo z izzivi prehoda na 3D-kataster. Izzivi in tudi negotovosti glede vzpostavitve 3D-katastra nepremičnin v posamezni državi se pojavljajo zaradi tehnoloških omejitev in izzivov na eni ter katastrskega in pravnega vidika na drugi strani. Vzpostavitev 3D-katastra v posamezni državi, ki že

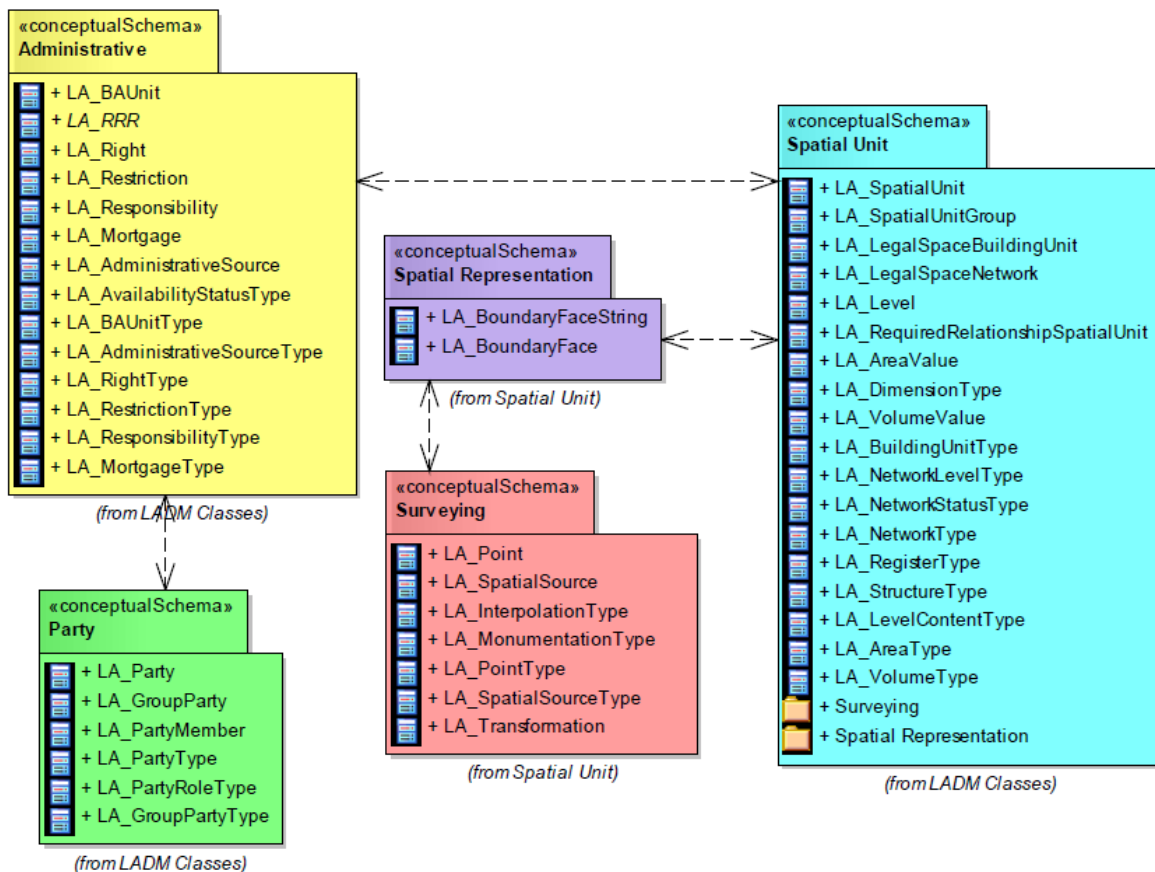
ima uveljavljen sistem zemljiške administracije, bo vedno odvisna od značilnosti zemljiškega prava in obstoječega sistema zemljiške registracije. Rešitve za vzpostavitev 3D-katastra določajo tudi mednarodni standardi s področja zemljiške administracije. Najmanjša zadostna količina informacij, ki so potrebne za predstavitev nepremičninskih objektov v sistemu zemljiške administracije, so zemljiške parcele, 3D-nepremičninske enote in fizični objekti, potrebni za določitev lege in razsežnosti v prostoru (Stoter in sod., 2012). Fizični objekti naj bi bili v 3D-katastru prikazani vsaj tako podrobno, kot so zajeti v tradicionalnem 2D-zemljiškem katastru.

Pomembni pogoji za vzpostavitev katastrskega modela so bili in še vedno so, da naj model ustreza splošnem načinu evidentiranja nepremičnin po vsem svetu, temelji na konceptu vizije katastra "Cadastre 2014" (Kaufmann in Steudler, 1998), upošteva mednarodne ISO in OGC standarde, istočasno pa mora biti model kar se da preprost, da bo čim bolj uporaben v praksi (van Oosterom in sod., 2006). 3D-kataster je dobro graditi na obstoječih standardih z namenom, da se zagotovi večopravnost na tem področju (van Oosterom, 2013). 3D-evidentiranje nepremičnin je vključeno v mednarodni standard ISO 19152 – Land Administration Domain Model (skrajšano LADM). LADM določa splošen konceptualni model, ki zagotavlja koncepte in terminologijo za opis podatkov zemljiške administracije. LADM sestavlja pet osnovnih skupin razredov (Slika 4.3):

- *osebe*: fizične in pravne osebe;
- *osnovne administrativne enote, pravice, omejitve in odgovornosti*: lastninska in ostale pravice;
- *prostorske enote*: parcele, stavbe in infrastruktura;
- *prostorski viri*: zajem podatkov;
- *prostorska predstavitev*: geometrija in topologija.

Osnovna enota (angl. *basic administrative unit* oziroma skrajšano *BAUnit*) je definirana kot administrativna entiteta, sestavljena iz nič ali več prostorskih enot, s katero je povezanih ena ali več edinstvenih in homogenih pravic (npr. lastninska pravica), omejitev ali odgovornosti. Prostorske enote so prilagodljiv koncept predstavitve realnosti in so sestavljene tako, da podpirajo nastanek in upravljanje osnovnih administrativnih enot. LADM omogoča uvedbo 3D-nepremičninskih enot, pravzaprav se vse 2D-parcele smatrajo kot prostorske enote, ki so določene kot prostor nad in pod površjem Zemlje brez določene višinske razsežnosti; meja nepremičninske enote je v tem primeru določena kot vertikalna ploskev, ki jo na površju Zemlje določa meja zemljiške parcele (Lemmen, 2012; ISO/TC211, 2012). Osnovno administrativno enoto predstavlja 3D-nepremičninska enota, ki je lahko opisana s primeri:

- stanovanje v večstanovanjski stavbi z dvema prostorskima enotama (npr. stanovanje s shrambo v kleti, stanovanje s podzemno garažo);
- kmetijsko zemljišče z eno prostorsko enoto (npr. zemljiško parcelo);
- služnostna pravica na eni prostorski enoti (npr. cesta, ki predstavlja pravico svobodnega prehoda);
- neplodno zemljišče.



Slika 4.3: Konceptualna shema LADM z razredi (ISO/TC211, 2012).

Figure 4.3: Conceptual LADM scheme with classes (ISO/TC211, 2012).

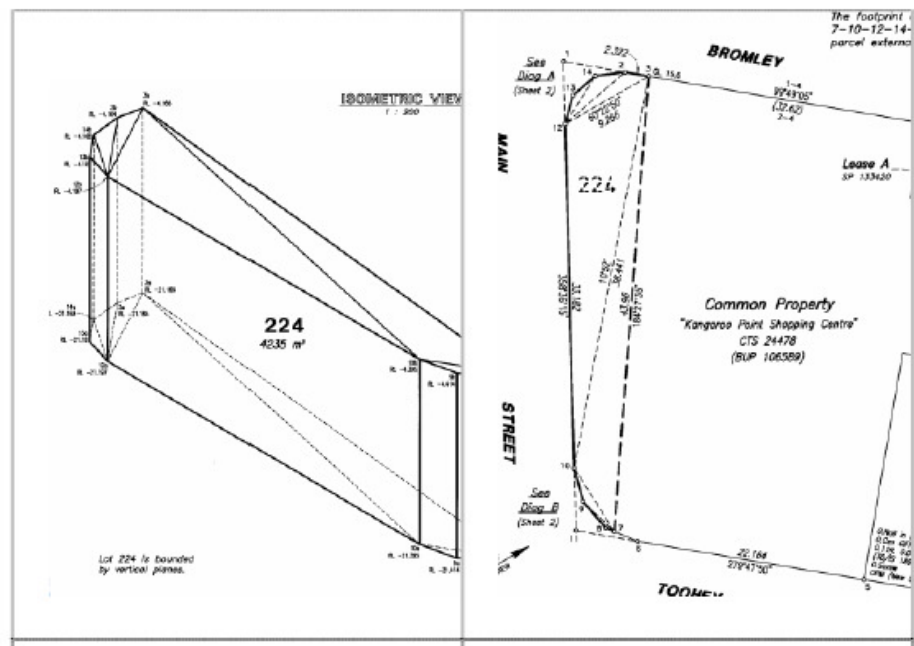
LADM je ogrodje za vzpostavitev katastra v državah v razvoju, lahko pa se uporablja tudi kot osnova za spreminjanje ali nadgradnjo katastra v razvitih državah. Pomembno je upoštevati, da LADM ni mišljen kot dokončen za uporabo v določeni državi. Razširi se lahko za potrebe posamezne države z dodajanjem določenih atributov, relacij in mogoče celo novih razredov. Pomen določevanja 3D-katastrskih objektov se navadno nanaša na fizične (topografske) objekte, kot so stavbe, infrastruktura, ograje itd. Pomemben je odnos med fizičnimi objekti in 3D-nepremičninskimi enotami, na katere se nanašajo pravice, omejitve in odgovornosti na nepremičninah. Obstajajo že tudi študije uporabe mednarodnega standarda LADM v okviru značilnosti posameznih držav. Tako so Stoter in sod. (2013) v okviru standarda LADM predstavili nadgraditev obstoječega katastrskega sistema v 3D-kataster na Nizozemskem. Pripravili so dva predloga. Po prvem predlogu se obstoječi kataster samo nadgradi v smislu grafične predstavitve 3D-podatkov, drugi predlog pa zajema celovito prenovo katastrskega sistema, ki zahteva tudi spremembo zakonodaje in pravne opredelitve nepremičnine. Pouliot in sod. (2013) so izvedli analizo možnosti uporabe LADM na testnih primerih etažne lastnine v Kanadi in Franciji. Ugotovili so, da shema LADM omogoča lažjo, jedrnato in jasno primerjavo med obema sistemoma zemljiške administracije, vendar pa shema ni očitna in zanjo uporabnik potrebuje kar nekaj izkušenj s področja podatkovnega modeliranja. Poleg konceptualnega modela LADM obstajajo še drugi modeli, razviti za potrebe posameznih držav. Eden takšnih je 3D-katastrski podatkovni model (skrajšano 3DCDM), ki je nadgradnja splošnega konceptualnega modela LADM in razvit za potrebe evidentiranja nepremičnin v Avstraliji (glej Aien in sod., 2013). Model temelji na ISO-standardih, za modeliranje je uporabljena notacija UML (angl. *unified modelling language*).

4.2.1.1 Avstralska zvezna država Queensland – razvoj 3D-nepremičninskega katastra

Avstralska zvezna dežela Queensland je vodilna na svetu v uvajanju trirazsežnega evidentiranja nepremičnin, saj so 3D-nepremičninske enote del njihovega katastra že od 1960-ih let dalje. Kot razlog za razvito trirazsežno evidentiranje nepremičnin navajajo fleksibilnost pravnega sistema in zmožnost katastra, da je lahko tehnično izvedel trirazsežno evidentiranje. Do leta 1997 so za evidentiranje večstanovanjskih stavb uporabljali prereze in načrte stavb po etažah. Leta 1997 so uvedli pojem volumske parcele in od takrat dalje je možno evidentirati 3D-nepremičninske enote trirazsežno z uporabo prostorskih geometrijskih modelov. Parcela je danes v avstralskem katastru definirana kot zemljišče, ki ni omejeno v višino in globino (*Land Title Act*, 1994). Pojem zemljiške parcele ni torej več omejen na odmerjen del površja Zemlje, ampak je zemljiška parcela postala trirazsežno telo. Tako je možno evidentirati tudi t. i. zračne enote brez objektov. Poleg t. i. višinsko neomejenih parcel poznajo še štiri vrste 3D-nepremičninskih enot (Stoter in sod., 2004):

- stavbe, ki so omejene s stenami, tlemi in stropovi,
- višinsko omejene parcele,
- volumske parcele, ki so fizično ločene od zemeljskega površja in neodvisne od zemljiških parcel ter
- preostanki parcel, od katerih je bila v postopku parcelacije odtujena volumska parcela ali stavba.

V katastrskih načrtih je prikazana projekcija 3D-nepremičninske enote s povezavo na trirazsežni model 3D-nepremičninske enote (Slika 4.4). Višinsko praviloma neomejena zemljiška parcela se lahko razdeli s parcelacijo zemljišča, stavbe ali drugega prostorskega (prostorninskega) objekta v geodetskem načrtu (Karki, 2013). Zemljiški načrt parcelacije se izdela za višinsko neomejene in višinsko omejene prostorninske parcele. Za slednje se določi višina ali globina mejne ploskve, in sicer relativno glede na površje Zemlje. Stavbni načrti služijo za evidentiranje stavb z več stanovanjskimi ali poslovnimi enotami ter skupnimi prostori. Prostorninski načrt določa prostorninsko parcelo, ki je prostorsko omejena z mejnimi ploskvami in leži nad, pod ali delno nad in delno pod površjem Zemlje. Položaj, obliko in velikost mejnih ploskev v prostoru določajo absolutne položajne in višinske koordinate mejnih točk. Za prostorninske parcele višina oziroma globina nista podani relativno glede na površje Zemlje kot pri višinsko omejenih parcelah. Posamezna prostorninska parcela lahko seka poljubno število višinsko neomejenih parcel. V zemljiškem katastru so evidentirane tudi služnosti, od katerih se posamezna služnost lahko nanaša na več parcel. Gospodarska infrastruktura, razen prometne, je evidentirana v posebni evidenci. Kljub temu avstralski kataster še nima v celoti vzpostavljenega 3D-katastra, saj so 3D-nepremičninske enote prikazane ločeno s povezavami na njihovo predstavitev na 2D-katastrskem načrtu. Trenutno izvajajo raziskave na področju katastrskih modelov, ki bi zamenjali katastrske načrte in bi omogočali evidentiranje in prikaz 3D-nepremičninskih enot (Aien, 2013).

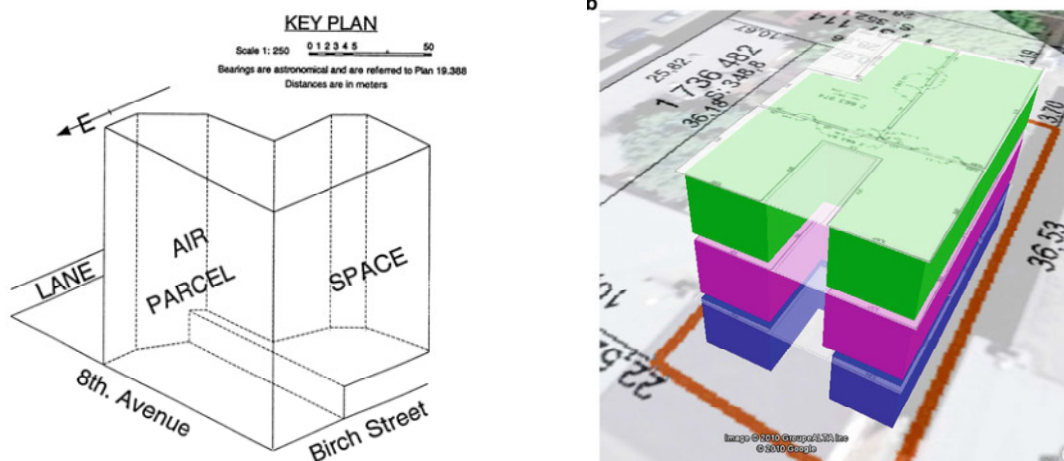


Slika 4.4: Volumska parcela za del predora, ki se nahaja pod zemljiščem (levo), ki je prikazano črtkano na katastrskem načrtu (desno) (Karki, 2013).

Figure 4.4: Volume parcel for the part of the tunnel located below the land surface (left) and its representation with a dashed line on the cadastral map (right) (Karki, 2013).

4.2.1.2 Kanadska provinca Britanska Kolumbija – razvoj 3D-nepremičninskega katastra

Britanska Kolumbija v Kanadi do leta 2004 ni imela vzpostavljenega grafičnega prikaza zemljiških parcel, to je katastrskega načrta, ki bi pokrival celotno območje države. Nepremičnine so bile evidentirane le v registrih skupaj s priloženimi geodetskimi načrti. To je omogočalo grafični izris samo za posamezno parcelo in ne za velika območja. Po digitalizaciji posameznih načrtov zemljiških parcel je bil vzpostavljen katastrski načrt. Lastniki parcel imajo skladno z veljavno zakonodajo (*Land Title Act*, 1996) možnost, da razdelijo svoja zemljišča v 3D-nepremičninske enote, za katere ni potrebno, da se nanašajo na določen zgrajen objekt, ampak lahko predstavljajo tudi prazen prostor nad ali pod površjem Zemlje. Nova 3D-nepremičninska enota mora biti povezana z obstoječo zemljiško parcelo. Za evidentiranje in grafični prikaz tako zemljiških parcel kot 3D-nepremičninskih enot je treba izdelati geodetski načrt (Slika 4.5, levo). Pri tem se določijo tudi položajne in višinske koordinate 3D-nepremičninske enote, in sicer se višina določi vsaj eni točki na površju Zemlje in vsem točkam, ki ležijo nad in pod zemeljskim površjem relativno glede na zemeljsko površje. 3D-nepremičninske enote se lahko pri stavbah uporabijo za evidentiranje etažne lastnine ali pa kot prosta prostorninska enota ob stavbi, s čimer se na primer zavaruje razgled s stanovanja (angl. *right of view*). Večstanovajske stavbe se evidentirajo s prerezi stavb in etažnimi načrti, na katerih so prikazane posamezne stanovajske ali poslovne enote. Naslednja stopnja je prostorski model 3D-nepremičninske enote (Slika 4.5, desno), katerih trirazsežni prikaz mora biti povezan z zemljiškimi parcelami (Pouliot in sod., 2011). Gospodarska infrastruktura, ki zajema komunalno, energetska in telekomunikacijsko omrežje ter podzemno železnico, je evidentirana v ločenem registru (angl. *Register or real right of State resource development*). Lastnik objektov gospodarske infrastrukture lahko zahteva njeno evidentiranje v katastru, vendar se to redko realizira. Obstaja pa podatek, na kateri oziroma pod katero nepremičnino se infrastruktura nahaja (Van Oosterom in sod., 2011).



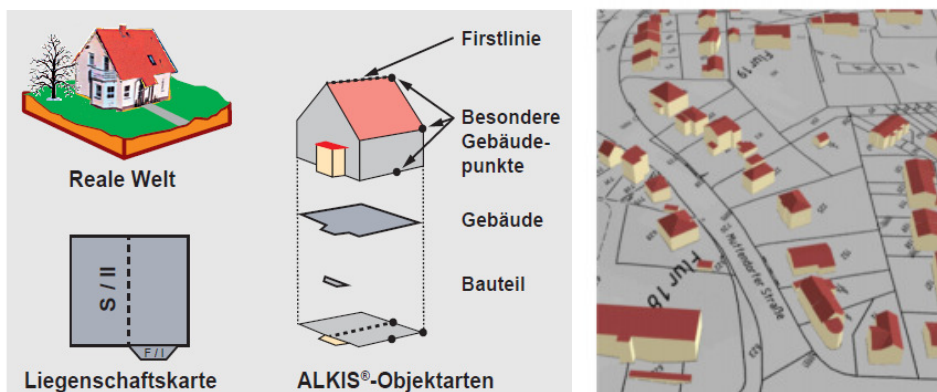
Slika 4.5: Levo načrt zračne 3D-nepremičninske enote (Gerremo and Hanssen, 1998) in desno prostorski model stavbe v etažni lastnini (Pouliot in sod., 2011).

Figure 4.5: Plan of the 3D airspace real estate unit on the left (Gerremo and Hanssen, 1998) and building model with condominium ownership on the right (Pouliot et al., 2011).

4.2.1.3 Nemčija – razvoj 3D-nepremičninskega katastra

Nemški sistem evidentiranja nepremičnin je podoben avstrijskemu in slovenskemu. Osnovno enoto zemljiškega katastra predstavlja zemljiška parcela. Evidentiranje 3D-nepremičninskih enot se je v nemškem pravnem sistemu začelo že v 1950-ih letih z Zakonom o etažni lastnini. Današnji izraz nepremičnina (nem. *der Liegenschaft*) se lahko nanaša na zemljiško parcelo, na zemljiško parcelo skupaj s stavbo ali le na stavbo oziroma njen del (Liseč in sod., 2015). Katastrski podatki so del nepremičninskega modela AAA, ki ga sestavljajo katastrski informacijski sistem ALKIS (nem. *Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem*), kartografski informacijski sistem ATKIS (nem. *Amtliche Kartographisch-Topographisches Informationssystem*) in referenčni geodetski informacijski sistem AFIS (nem. *Festpunktinformationssystem*). Model AAA temelji na mednarodnih standardih skupine ISO/TC 211 Geographic Information/Geomatics in Open Geospatial Consortium (skrajšano OGC).

Parcele so grafično prikazane na katastrskih načrtih, ki vključujejo tudi topografsko vsebino. Stavbe so na katastrskih načrtih poleg zemljišča pod stavbo prikazane s tlorisom razsežnosti stavbe pod in nad zemeljskim površjem. Poleg stavbe se v njenem modelu lahko evidentirajo tudi konstrukcijski elementi, ki so deli stavb s posebnimi značilnostmi, in posebne gradbene linije, kot so linija strehe ter podzemna ali nadzemne razsežnosti stavbe. Možno je tudi evidentiranje dveh stavb, ki se med seboj vertikalno prekrivata. Leta 2015 so v model AAA uvedli trirazsežno evidentiranje nepremičnin. Modeli stavb so izdelani v dveh ločljivostih, in sicer kot LoD 1 in LoD 2 ter so povezani z zemljiškimi parcelami (Slika 4.6). Stavbe so v majhnih merilih prikazane v modelu LoD 1, ki prikazuje stavbe kot kvadre. Pri ločljivosti LoD 2 so kvadrom dodane strehe, pri čemer so strehe ločene na različne tipe (Aringer in Hümmer, 2011). Takšen prostorski model ustreza sodobnim potrebam družbe po mnogonamenskem katastru, ki vključuje tudi predstavitev stavb v treh razsežnostih in uporabo podatkov v topografskih modelih, ne omogoča pa evidentiranja in grafičnega prikaza delov stavb.

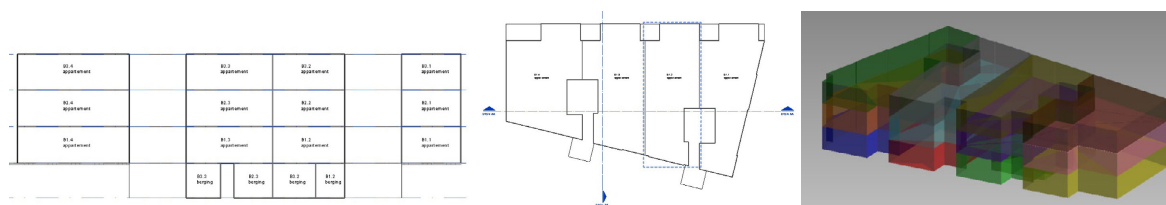


Slika 4.6: Levo evidentiranje 3D-modela stavbe v nepremičninskem modelu AAA (Aringer in Hümmer, 2011) in desno prikaz 3D-modelov stavb v katastrskih načrtih (Gruber in sod., 2014).

Figure 4.6: Registering of the 3D building model in the real estate model AAA on the left (Aringer and Hümmer, 2011) and representation of the 3D building models on cadastral plan on the right (Gruber et al., 2014).

4.2.1.4 Nizozemska – razvoj 3D-nepremičninskega katastra

Nizozemsko pravo opredeljuje nepremičnino kot zemljišče z vsemi sestavinami. 3D-nepremičninske enote je možno evidentirati tudi z vzpostavitvijo etažne lastnine, stavbne pravice, zakupa ali služnosti – to so pravice, ki so evidentirane v zemljiški administraciji na temelju podatkov katastra. Stavbna pravica (niz. *opstal*) pomeni imeti v lasti objekt, ki je zgrajen na zemljišču v lasti druge osebe. Stavbna pravica se na Nizozemskem uporablja tudi za podzemne parkirne hiše, cestne in železniške predore, komunalne in energetske vode, vetrne elektrarne in celo za tehnične prostore v stavbah (Stoter in sod., 2013). Zakup (niz. *erfpacht*) pomeni pravico do uporabe nepremičnine, ne da uporabnik postane njen lastnik. Je neke vrste dolgoročni najem za vsaj 10 let. V večini primerov se zakup uporablja za celotno zemljišče s stavbami, vendar je lahko tudi omejen v prostoru. Zakupi se lahko na primer prostor nad podzemno železnico za gradnjo stanovanjskih hiš, poznan pa je tudi zakup same podzemne železnice. Služnosti med drugim uporabljajo za določevanje nujne poti, za dozidavo hiše na sosedovo zemljišče ter za infrastrukturne vode. Možna je tudi ustanovitev služnosti za prosti razgled in za prepoved gradnje. V tem primeru se služnosti lahko uporabijo za zavarovanje prostega pretoka vetra pri vetrnih elektrarnah ali za prosti pretok radio signalov v mestih. Stavbna pravica se vedno nanaša na fizične objekte, služnost pa se lahko nanaša tudi na prazen prostor oziroma ozračje. Grafični prikaz 3D-nepremičninskih enot je v katastru mogoč le v primeru etažne lastnine. Takrat se stavba razdeli na posamezna stanovanja ali poslovne enote ter skupne prostore. To je prikazano v prerezu stavbe in na pripadajočih etažnih načrtih (Slika 4.7, levo in sredina). Trenutno so v postopku zamenjave prerezov in etažnih načrtov s trirazsežnimi modeli stavbe (Slika 4.7, desno), ki naj bi bili povezani z zemljiškimi parcelami. Višinsko komponento upoštevajo tudi pri evidentiranju kablovodov in cevovodov, od leta 2007 dalje je ta infrastruktura del zemljiškega katastra s svojimi identifikatorji (Van Oosterom in sod., 2011).



Slika 4.7: Obstojeci način evidentiranja stavbe v nizozemskem katastru s prerezom stavbe (levo) in etažnim načrtom (sredina) ter predlog trirazsežnega modela stavbe (desno) (Stoter in sod., 2013).

Figure 4.7: The existing registration of a building in the Dutch Cadastre with cross-section (left) and floor-plan (centre) and proposal of a three-dimensional building model (right) (Stoter et al., 2013).

4.2.1.5 Norveška – razvoj 3D-nepremičninskega katastra

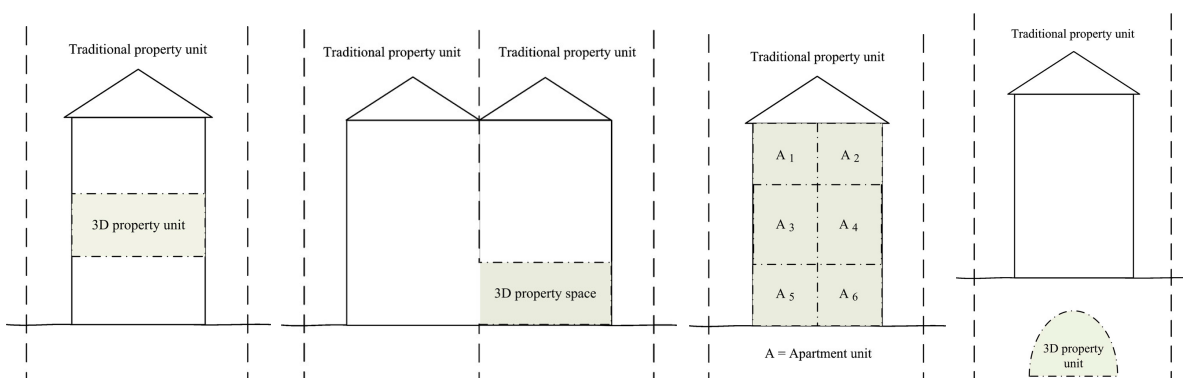
V norveškem katastru je osnovna enota evidentiranja zemljiška parcela, del katere so tudi stavbe, ki stojijo na tej parceli. Lastništvo na stavbah je torej praviloma enako lastništvu parcel. Za evidentiranje lastništva na delih stavb se uporablja etažna lastnina (nor. *Eierseksjan*), pri čemer mora biti v solastnini tudi del zemljiške parcele. V začetku 1990-ih se je na Norveškem pojavila potreba po evidentiranju 3D-nepremičninskih enot, ki so fizično ločene od zemeljskega površja in katerih do takrat ni bilo možno evidentirati v sistemu zemljiške administracije. Zahtevo so podali zaradi zaščite pravic, omejitev in odgovornosti na nepremičninah, ki ležijo nad ali pod zemeljskim površjem, in s tem povezanimi vlaganji v gradnje objektov. Leta 1995 so se odločili o treh vrstah objektov, ki se lahko evidentirajo kot 3D-nepremičninska enota v sistemu zemljiške administracije. To so prostorske nepremičninske enote pod zemeljskim površjem (npr. podzemne parkirne hiše in prodajalne ter predori), stavbe ali druge zgradbe na stebrih nad zemeljskim površjem in zgradbe na stebrih nad vodnimi površinami (Onsrud, 2003).

Leta 1999 je sledil predlog Zakona o katastru (nor. *Lov om eiendomsregistrering*), kateri še vedno določa zemljiške parcele kot osnovno enoto evidentiranja nepremičnin, vključno z vsemi pripadajočimi sestavinami in objekti, razen v primeru, ko je zgradba ločena od zemeljskega površja. 3D-nepremičninska enota nastane z delitvijo od zemljiške parcele in je lahko pod ali nad številnimi zemljiškimi parcelami (Van Oosterom in sod., 2011). Tako se ohrani povezava med zemljiško parcelo in 3D-nepremičninsko enoto. 3D-nepremičninske enote so tlorisno prikazane na katastrskih načrtih s povezavo do trirazsežnega prikaza. Odločitev o izvedbi 3D-nepremičninskih enot podajo lastniki oziroma investitorji, ki se lahko namesto evidentiranja 3D-nepremičninskih enot poslužijo tudi že od prej obstoječih instrumentov (služnosti). 3D-nepremičninske enote se lahko uporabi le za evidentiranje zgrajenih objektov skladno s prostorskimi akti in se ne morejo nanašati na prazen prostor. Če se 3D-nepremičninska enota vzpostavi pred gradnjo, mora biti zgradba dokončana v treh letih od evidentiranja 3D-nepremičninske enote (Stoter in sod., 2004). Za evidentiranje podzemnih objektov oziroma 3D-nepremičninskih enot pred gradnjo se prevzamejo položajne in višinske koordinate gradbenih načrtov. Pogoj za uvedbo 3D-nepremičninske enote je, da je dejanska raba na zemeljskem površju drugačna od rabe 3D-nepremičninske enote in z njo povezanih pravic, omejitev in odgovornosti. Ne uporablja se za stavbe, ki so trajno in neločljivo spojene z zemljišči, niti za evidentiranje stanovanjskih enot. Za slednje se še naprej uporablja etažna lastnina in etažni načrti. V norveškem katastru se od infrastrukture registrirajo samo prometnice (ceste in železnice), komunalna in energetska infrastruktura pa ne.

4.2.1.6 Švedska – razvoj 3D-nepremičninskega katastra

V švedskem katastru do leta 2004 ni bilo mogoče evidentirati nobene vrste 3D-nepremičninske enote. Zahtevo za uvedbo trirazsežnega evidentiranja nepremičnin so podali uporabniki stanovanjskih enot v večstanovanjskih stavbah, saj so bile te v celoti last raznih stanovanjskih podjetij. Etažna lastnina ni bila možna, s tem pa je bila nemogoča tudi zastavna pravica na posameznih stanovanjih. Stanovanjska posest v večstanovanjskih stavbah je bila urejena z najemom, podzemne prometnice pa s služnostmi. Januarja 2004 je stopil v veljavo nov zakon o evidentiranju nepremičnin, ki je uvedel evidentiranje 3D-nepremičninskih enot (šved. *3D-fastighet*, *3D-utrymme*). Zakon določa 3D-nepremičninsko enoto kot nepremičninsko enoto, ki je prostorsko omejena tako položajno kot višinsko (Paulsson, 2013). Ta zakon omogoča tudi vzpostavitev etažne lastnine. Pri pripravi zakona so upoštevali smernico, da morajo biti 3D-nepremičninske enote konceptualno podobne zemljiškim parcelam tradicionalnega zemljiškega katastra. 3D-nepremičninske enote so neodvisne in ločene od zemljiških parcel ter morajo vsebovati svoje pravice, omejitve in odgovornosti. Tako so lahko predmet samostojnega razpolaganja in pravnega prometa. 3D-nepremičninske enote se lahko vzpostavijo le za grajene objekte in se ne morejo nanašati na prazen prostor. Nahajajo se lahko nad ali pod večjih številom zemljiških parcel in se tlorisno prikažejo v katastrskih načrtih s povezavo na trirazsežen prikaz. Meje 3D-nepremičninskih enot se določijo glede na obseg zgrajenega objekta ali s položajnimi in višinskimi koordinatami, pri čemer se višina določi relativno glede na zemeljsko površje (Van Oosterom in sod., 2011).

V švedskem katastru se 3D-nepremičninska enota pojavlja v različnih oblikah (Slika 4.8). 3D-nepremičninska enota se nanaša na večje nepremičninske sklope, npr. skupino stanovanj, poslovnih enot ali infrastrukturnih objektov. 3D-nepremičninski prostor se nanaša na manjše prostore, in sicer na posamezno stanovanje ali poslovni prostor. Etažna lastnina pomeni, da imajo posamezni lastniki v lasti posamezne stanovanjske ali poslovne enote v stavbi. Prometnice se evidentirajo tako, da predstavljajo samostojno in od zemljiških parcel neodvisno 3D-nepremičninsko enoto. Uvedba 3D-nepremičninskih enot je v švedsko družbo prinesla večjo zaščito pravic, omejitev in odgovornosti na nepremičninah, povečala vlaganje v stanovanjske gradnje in infrastrukturne projekte ter omogočila evidentiranje dejanske rabe na več višinskih ravneh v prostoru (Paulsson, 2013).



Slika 4.8: Različne oblike 3D-nepremičninskih enot v švedskem katastru (Paulsson, 2013).

Figure 4.8: Different forms of 3D real estate units in the Swedish cadastre (Paulsson, 2013).

4.3 Model prehoda iz 2D-parcelnega v 3D-kataster nepremičnin

Če povzamemo ugotovitve uvajanja 3D-katastra v izbranih državah, ugotovimo, da nobena nima v celoti vzpostavljenega 3D-katastra, kar so ugotovili tudi Van Oosterom in sod. (2011). Uvedbo 3D-nepremičninskih enot v obstoječ kataster mora najprej podpirati zakonodaja. Trend v državah po svetu kaže, da se 3D-nepremičninske enote najprej uvedejo pri stavbah, pri čemer 3D-modeli stavb zamenjujejo etažne načrte in prereze stavb (Nizozemska, Nemčija, Avstralija itd.). Modeli stavb so prikazani posebej in so povezani z zemljiškimi parcelami. Nekatere države omogočajo uvedbo 3D-nepremičninskih enot, ki se poleg evidentiranja stavb lahko uporabijo tudi za prometnice in drugo infrastrukturo (Švedska, Norveška, Avstralija). V Avstraliji in Kanadi se lahko 3D-nepremičninske enote nanašajo tudi na prazen prostor, vključno s pravicami, omejitvami in odgovornostmi. Trenutne raziskave potekajo v smeri vzpostavitve modela 3D-katastra, ki ne bi bil omejen le na trirazsežni prikaz objektov, temveč bi omogočal tudi izvedbo vseh aplikacij, ki jih omogoča parcelni kataster (Stoter in sod., 2013; Aien, 2013; Vučić, 2015).

Da sistemi zemljiške administracije lahko zadovoljujejo potrebe družbe, morajo biti kakovostni (Van der Molen, 2002). Pri proučevanju in razvoju sistemov zemljiške administracije, vključno s podatkovnim katastrskim podsistemom, je pomemben sistemski pristop. Tak pristop omogoča celovito obravnavanje problema v obliki nerazdružljive celote in iskanje pravil, ki so skupna sistemom v splošnem, kar podaja temelj za jasnejše razmišljanje o namenih in ciljih kateregakoli sistema ter o metodah za doseg le-teh (Maani in Cavana, 2000). Posamezne sestavine se lahko analizirajo individualno, vendar je pomembno, da je središče analiza celote. To je pristop k reševanju problema, ki zahteva širši pogled, upošteva vse vidike in se osredotoča na povezave med posameznimi deli problema. Izmed vseh teorij, ki so bile uporabljene v raziskavah s področja katastra, sistemska teorija ustreza teoriji analize in teoriji razlage, saj omogoča opis in analizo skupine entitet, ki skupaj tvorijo celoto in ustvarijo rezultate (Çağdaş in Stubkjær, 2011).

Zanimivo je, da se sistemska teorija na področju katastra že dolgo uporablja. Dale (1979) je predstavil konceptualni model katastra v sistemski obliki, kamor je vključil različne vidike (pravni, fiskalni, mnogonamenski), sestavine (zemljišča, pravo, ljudje) in zunanje vplive katastra (tehnologija, zgodovina, izobraževanje). Podobno je Nichols (1993) opisal sistemski model za evidentiranje zemljišč z vidikov tehnologije, katastra, zemljiške politike in prenosa lastništva. Zevenbergen (2002) je preučeval evidentiranje zemljišč s pomočjo sistema pristopa in se je osredotočil na tehnični, pravni, organizacijski, družbeni in ekonomski vidik. Çağdaş in Stubkjær (2011) sta se osredotočila na razvijanje teoretičnih smernic za raziskovanje na področju katastra s sistemskim pristopom. Čeprav so bili poskusi opravljeni, je za uspešno zemljiško administracijo nujno potrebna nadaljnja sistematična analiza strogih pogojev.

Kot smo podali že v uvodnih poglavjih, moramo zemljiško administracijo obravnavati kot obsežen sistem za najpodrobnejše pravno-administrativno strukturiranje prostora ter upravljanje mej pravic, omejitev in odgovornosti na zemljiščih ter kot sistem za zajemanje, vzdrževanje, analize in posredovanje podatkov o zemljiščih (nepremičninah) in pravicah na njih (Zupan in sod., 2014). Pomemben del takega sistema je podatkovni podsistem zemljiškega katastra, ki vsebuje podatke, ki se nanašajo na zemljišča oziroma nepremičnine (Slika 4.9). Med najpomembnejše sodijo položaj in oblika nepremičninskih enot, površina, raba, vrednost ter pravice, omejitve in odgovornosti.



Slika 4.9: Katastrski podatki kot del sistema zemljiške administracije (Zupan in sod., 2014, prirejeno po Enemark, 2004).

Figure 4.9: Cadastral data as a part of land administration system (Zupan et al., 2014, adapted from Enemark, 2004).

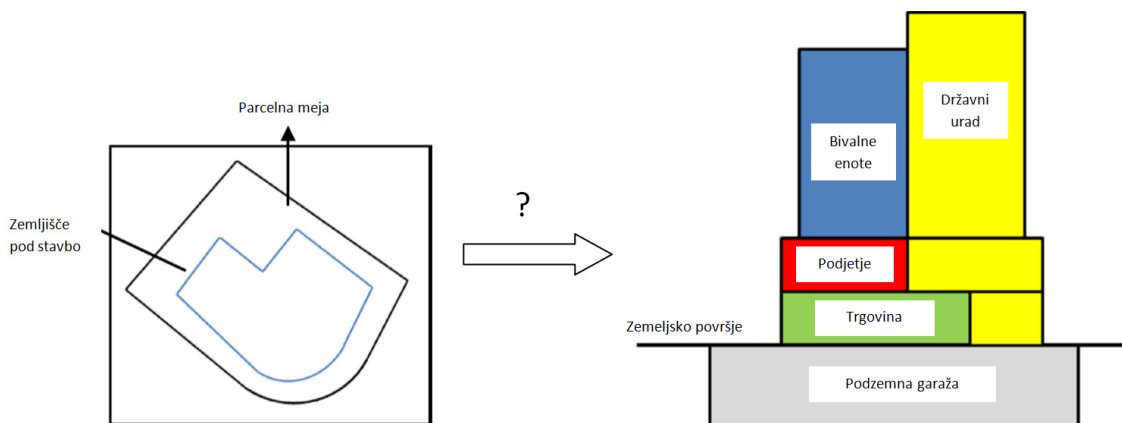
Različne družbe se soočajo z različnimi izzivi vzpostavitve 3D-katastra. Pri tem je pomembno poznavanje obstoječega stanja, ali ima država kataster sploh vzpostavljen in v kakšni obliki (Preglednica 4.1). V državah v razvoju se kataster šele vzpostavlja. Zato je za te države pomembno, da se zgledujejo po primerih dobrih praks držav, ki imajo dobro delujoč sistem evidentiranja nepremičnin a se hkrati osredotočajo na posebnosti upravljanja zemljišč in pravic, ki se nanašajo na zemljišča. V nekaterih državah, kot je Avstralija, imajo registrski sistem evidentiranja nepremičnin. Nepremičnine so evidentirane opisno v registrih, pri čemer je na listinah grafično prikazana posamezna nepremičnina. To pomeni, da katastrski načrti, ki bi pokrivali večja območja, ne obstajajo. Za uvedbo 3D-katastra je treba registrski kataster spremeniti tako, da se doda grafična predstavitev v 3D-modelu. Nekateri države imajo že uveljavljeno grafično predstavitev nepremičnin v 2D-okolju (2D-parcelni kataster). Te države morajo izhajati iz obstoječega načina evidentiranja nepremičnin, ki se je vzpostavljalo stoletja in dobro deluje še danes, ter ga nadgraditi v 3D-kataster. Prehod na nov način evidentiranja 3D-nepremičninskih enot ne sme biti moteč za uporabnike in kakorkoli onemogočati že obstoječe načine evidentiranja nepremičnin.

Preglednica 4.1: Različni izzivi vzpostavitve 3D-katastra.

Table 4.1: Different challenges of 3D cadastre establishment.

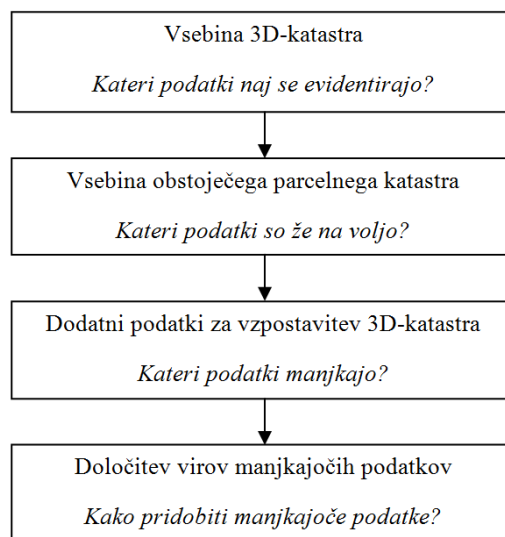
Trenutni sistem evidentiranja nepremičnin	Prehod iz trenutnega sistema evidentiranja nepremičnin v 3D-kataster	Cilj
Ne obstaja	Vzpostavitev	3D-kataster
Registrski	Sprememba	
Parcelni kataster	Nadgradnja	

V naši nalogi se osredotočamo na nadgradnjo obstoječega parcelnega katastra, predvsem katere dodatne podatke potrebujemo za namen trirazsežnega evidentiranja in grafičnih predstavitev nepremičninskih enot, kar predstavlja pomemben korak k vzpostavitvi 3D-katastra (Slika 4.10).



Slika 4.10: Model prehoda iz parcelnega v 3D-kataster (prirejeno po Aien, 2013).

Figure 4.10: The model of transition from the parcel-based cadastre into the 3D cadastre (adapted from Aien, 2013).



Slika 4.11: Shema prehoda iz parcelnega v 3D-kataster.

Figure 4.11: The scheme of transition from the parcel-based cadastre into the 3D cadastre.

Pri vzpostavitvi 3D-katastra izhajamo iz dejstva, da je vsebina 3D-katastra načeloma enaka vsebini, ki je že prisotna v 2D-parcelnem katastru. Razlika je le v tem, da v parcelnem katastru manjkajo višinski podatki in 3D-grafična predstavitev. Za grafično predstavitev 3D-modela nepremičnine je treba podatkom v parcelnem katastru dodati višinski atribut. Prehod iz katastrskega načrta v trirazsežno grafično predstavitev nepremičnin poteka v štirih stopnjah (Slika 4.11). Najprej je treba določiti vsebino 3D-katastra, torej kateri podatki naj se evidentirajo, da bo iz njih možno izdelati trirazsežne predstavitve katastrskih objektov. Sledi pregled obstoječih katastrskih in topografskih podatkov, ki so v posamezni državi že na voljo in jih lahko uporabimo tudi za trirazsežni prikaz nepremičninskih enot. Za vzpostavitev 3D-katastra potrebujemo dodatne podatke, ki morajo določati položaj značilnih točk nepremičnine v prostoru. Če določimo položaj značilnih točk nepremičnine v prostoru, dobimo 3D-model nepremičnine. Zato je treba določiti manjkajoče podatke, ki jih je treba dodatno pridobiti, da lahko izdelamo trirazsežni prikaz nepremičninskih enot. V zaključku določimo vire podatkov, ki bi lahko bili primerni za zajem manjkajočih podatkov v 3D-katastru.

4.3.1 Katastrski podatki v 3D-katastru

Kataster vsebuje raznolike podatke o zemljiščih oziroma nepremičninah, ki so nujni za različne naloge, s katerimi se mora kataster soočiti in jih reševati (Navratil in Frank, 2004). To so pravni podatki, ki se nanašajo na pravice, omejitve in odgovornosti, ter tehnični podatki za določitev položaja, obdavčitev in prostorsko načrtovanje, ki se nanašajo na koordinate mejnih točk, površino in vrsto rabe. Prostorski obseg pravic, omejitev in odgovornosti se v katastru lahko določi z zemljiško parcelo ali s 3D-nepremičninsko enoto, medtem ko so pravni opisi (pravni akti in podatki o lastništvu) pogosto zbrani v zemljiškem registru oziroma zemljiški knjigi (Aien in sod., 2013); podobno je sistem zemljiške administracije urejen tudi v Sloveniji. Pri vzpostavitvi 3D-katastra je treba izhajati iz obstoječega parcelnega katastra in ga ustrezno nadgraditi.

Osnovna enota 3D-katastra je 3D-nepremičninska enota, ki se navadno nanaša na nepremičnino, ki je pravno omejena tako položajno kot višinsko (Paulsson, 2007). Je prostor na, nad ali pod zemeljskim površjem, ki določa in predstavlja enoto, na katero se nanašajo pravice, omejitve ali odgovornosti (Aien in sod., 2013). Pravica na 3D-nepremičninski enoti je bolj prožen pojem kot pravni koncept lastninske pravice, ker lahko vključuje številne druge pravice (Bennett in sod., 2008). Sodobni sistem 3D-katastra naj bi bil zmožen evidentiranja raznolikih političnih, okoljskih, družbenih in gospodarskih pravic, ki se nanašajo na nepremičninske prostorske enote. V primeru 3D-nepremičninskih enot se vse pravice in njihov prostorski obseg združijo v entiteto, ki je določena z zakonom in predstavlja fizični prostor na, nad ali pod površjem Zemlje (Kalantari in sod., 2008).

Evidentiranje pravnih in fizičnih objektov v 3D-katastru se je izkazalo kot izjemno koristno za številne namene katastra (Rajabifard in sod., 2012). 3D-katastre naj bi zato sestavljali enotni podatkovni modeli, v katerih so združeni 3D-pravni in fizični objekti ter prikazane povezave med njimi (Aien in sod., 2013). Pomembno izhodišče mnogonamenskega sodobnega katastra je, da mora biti preprost in verodostojen, njegova zanesljivost pa je odvisna od popolnosti katastrskih podatkov (Navratil in Frank, 2004). Kataster pa ne more biti popoln brez vključevanja prostorskih nepremičninskih fizičnih entitet (fizičnih objektov) v katastrski model. Če nepremičninski fizični objekti v prostoru ne bi bili predstavljeni, potem kataster ne more biti preprost in uporabnikom prijazen. Uporabniki namreč brez fizičnih objektov ne bi bili zmožni umestiti nepremičnine v dejanski prostor in ne bi vedeli, kje se njihova posest konča in začne sosedova. Nekateri fizični objekti neposredno ali posredno določajo potek meja nepremičninskih enot v naravi. To so ograje, oporni zidovi, brežine itd. Pri teh objektih je treba navesti, kje poteka parcelna meja glede na objekt (po sredini, po eni ali drugi strani, po vrhu ali spodaj ...). Poleg tega, da fizični objekti tudi v smislu dejanske rabe pripomorejo k zanesljivosti in uporabnikom prijaznem katastru, so zelo pomembni za določitev vrednosti nepremičnin. Na primer nepremičnina s stanovanjsko hišo ima drugačno vrednost od nezazidanega stavbnega zemljišča.

Stavbe so zaradi visoke vrednosti in s tem povezanim pravnim varstvom pravic na njih postale najpomembnejši fizični objekti, ki so nepogrešljivi del 3D-katastra. V primeru stavb dejanska struktura stavbe določa nepremičninske enote v stavbi, torej so lahko pravni objekti enaki fizičnim objektom (Aien in sod., 2013). Stavba je lahko v lasti enega ali več lastnikov. Če je stavba razdeljena na dele z različnimi lastniki, govorimo o etažni lastnini. Za vzpostavitev etažne lastnine je nujno razdeliti stavbo na dele – nepremičninske enote (stanovanje, poslovni prostor, skupni deli), kar mora upoštevati tudi podatkovni model katastra.

Poleg notranje delitve stavb mora mnogonamenski kataster omogočati tudi evidentiranje in grafični prostorski prikaz celotnih stavb. Stavba je tako sestavljena iz različnih elementov, ki določajo njeno

obliko. Za potrebe prostorskega prikaza 3D-modela stavbe so pomembni podatki: streha in njena oblika, torej sleme in kap strehe, stik stavbe z zemljiščem oziroma zemljišče pod stavbo, višina in globina stavbe, število etaž, zunanji zid in fasada ter v primeru etažne lastnine notranji zidovi, ki razmejujejo posamezna stanovanja ali poslovne prostore in skupne prostore.

Pri 3D-modelu katastra je treba določiti, kako podrobno mora biti stavba predstavljena v katastru. Za to se smiselno uporabi koncept podrobnosti prikaza prostora LoD (angl. *level of detail*). LoD je stopnja podrobnosti prikaza detajla glede na merilo, ki ga med drugim podpira CityGML (Kolbe, 2009; Gröger in Plümer, 2012). V CityGML-ju je pet različnih stopenj prikaza detajla (Slika 4.12). LoD 0 je zemljišče brez trirazsežnega prikaza stavb. V LoD 1 se stavbe prikazujejo z osnovnimi gradniki, kot so kvadri in prizme brez streh. Stavba kot fizični objekt se lahko v 3D-katastru prikaže kot model v LoD 2 prikazu, kot je to uporabljeno pri uvajanju 3D-prikaza katastrskih podatkov v Nemčiji. Takšen prikaz že vključuje strehe stavb, ki jih v LoD 1 prikazu še ni. LoD 2 poleg oblike streh omogoča tudi predstavitev značilnosti na zunanjem zidu stavbe, ki lahko vključujejo tudi balkone. Poleg stavb so lahko v prikazu LoD2 dodane prometnice in vegetacija (topografski modeli). V prikazu LoD 3 so stavbe od zunaj prikazane kot arhitekturni modeli, v LoD 4 pa so dodani še notranji elementi. Sistem LoD je v CityGML-ju omejen le na fizično predstavitev stavb in ne vključuje prikaza pravic, omejitev in odgovornosti na delih stavb ter na drugih gradbeno-inženirskih objektih v prostoru, zato ga je za potrebe evidentiranja nepremičnin treba ustrezno razširiti in nadgraditi.

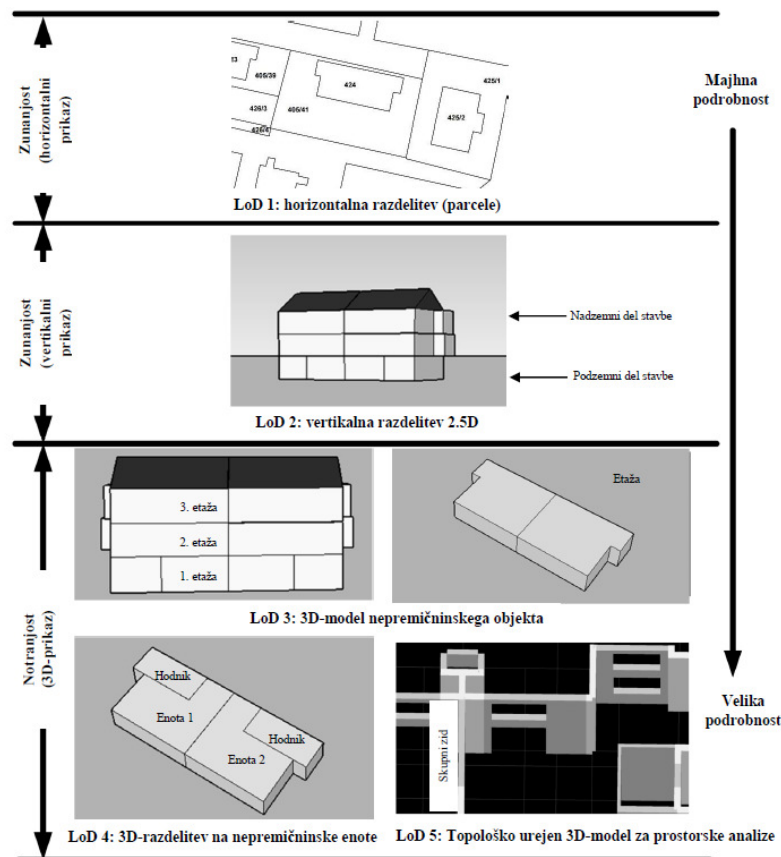
Preglednica 4.2: Stopnje prikaza podrobnosti (LoD) v modelu CityGML (Gröger in sod., 2007).

Table 4.2: Levels of detail (LoD) in the CityGML model (Gröger et al., 2007).

	LoD 0	LoD 1	LoD 2	LoD 3	LoD 4
Opis stopnje prikaza	Regija, podeželje	Mesto, območje	Predeli mesta, projekt	Gradbeni modeli (zunanost)	Gradbeni modeli (notranost)
Točnost	Najnižja	Nizka	Srednja	Visoka	Zelo visoka
Absolutna 3D-točnost (položajna / višinska)	Manjša od 5 m / 5 m	5 m / 5 m	2 m / 2 m	0,5 m / 0,5 m	0,2 m / 0,2 m
Generalizacija	Največja	Objekti so prikazani z osnovnimi gradniki	Objekti so prikazani s strehami	Objekti so prikazani kot dejanski	Objekti so prikazani kot dejanski tudi v notranosti
Detajli stavb	/	/	/	Značilni zunanji detajli	Detajli so prikazani kot dejanski
Oblika strehe	/	ravna	Oblika strehe in usmerjenost	Streha kot dejanska	Streha kot dejanska
Kap strehe	/	/	/	/	Da

Zhu in Hu (2010) sta predlagala pet stopenj LoD, ki se uporabljajo za evidentiranje stavb in njihovih delov v nepremičninskem katastru (Slika 4.13). V LoD 1 je predstavljena horizontalna razdelitev prostora na zemljišča, ki jih v parcelnih katastrih predstavljajo zemljiške parcele. Če na parcelah stojijo stavbe, se v tej stopnji določi povezava stavbe s parcelo, položaj stavbe na parceli in umestitev parcele v prostor. LoD 2 vključuje vertikalni prikaz stavbe, pri čemer je stavba evidentirana kot

samostojna nepremičninska enota. V LoD 2 se prikaže tudi, kateri del stavbe leži pod in kateri nad zemeljskim površjem. Stopnji LoD 1 in 2 obravnavata zunanost nepremičnine, stopnje LoD 3, 4 in 5 pa opisujejo notranjost stavb. V LoD 3 je prikazana vertikalna razdelitev stavbe na posamezne dele, pri čemer je osnovna nepremičninska enota posamezna etaža. Posamezna etaža ali skupine etaž lahko predstavljajo samostojno nepremičninsko enoto. Na stopnji LoD 4 se stavba oziroma posamezna etaža razdeli na dele, pri čemer je osnovna nepremičninska enota posamezno stanovanje ali poslovni prostor v stavbi (nepremičninska enota, na katere se nanašajo pravice, omejitve in odgovornosti). LoD 5 zajema podrobnejše podatke o posamezni enoti, podatki o delih stavb pa so tudi topološko urejeni in omogočajo napredne prostorske analize.



Slika 4.12: Pet stopenj LoD pri evidentiranju stavb in njihovih delov (prirejeno po Zhu in Hu, 2010).

Figure 4.12: Registering buildings and their parts by using five different LoDs (adapted from Zhu and Hu, 2010).

V 3D-katastru se pristop evidentiranja 3D-nepremičninskih enot smiselno uporabi poleg stavb in njihovih delov tudi za prometnice in druge objekte gospodarske infrastrukture, ki potekajo nad in pod površjem Zemlje (Preglednica 4.2). Takšen način evidentiranja je za podzemne prometnice že uveljavljen na Švedskem in Norveškem ter v Kanadi in Avstraliji. V 3D-katastru je lahko upoštevana oziroma modelirana tudi razgibanost terena. Tako kot vrsta rabe je tudi razgibanost terena povezana z mnogonamenskim katastrom, kar je lahko pomembna podpora prostorskemu načrtovanju in vrednotenju ter upravljanju nepremičnin. 3D-kataster lahko razpolaga celo s podatki o zračnem prostoru, ki obdaja posest (Jazayeri in sod., 2014). Zračni prostor je lahko del lastninskih pravic, omejitev in odgovornosti, ki se nanaša na določeno 3D-nepremičninsko enoto. Uporablja se pri zagotavljanju prostega razgleda v določeni smeri ali v določenem kotu, s čimer se omejuje lastnike sosednjih nepremičnin.

Preglednica 4.3: Primerjava nepremičninskih enot v parcelnem in 3D-katastru (prirejeno po Zhu in Hu, 2010).

Table 4.3: Comparison of the real estate units in parcel-based and 3D cadastre (adapted from Zhu and Hu, 2010).

Nepremičninska enota	Parcelni kataster	3D-kataster
Zemljišče	Zemljiška parcela	Prostorska parcela (LoD 1)
Stavba	Zemljišče pod stavbo, načrti etaž in prerezov	3D-model stavbe (LoD 2)
Etaža	Načrt etaže	3D-model etaže (LoD 3)
Stanovanjska ali poslovna enota	Načrt stanovanjske ali poslovne enote	3D-model stanovanjske ali poslovne enote (LoD 4)
Posamezne sestavine delov stavbe	Načrt stanovanjske ali poslovne enote, atribut	3D-model posameznih prostorov, balkona, zidov
Podzemne in nadzemne prometnice	Služnost, stavbna pravica	Neodvisna nepremičninska enota (LoD 2)

Pogoj za vzpostavitev 3D-katastra so podatki, ki vključujejo višinski atribut. Današnje tehnologije daljinskega zaznavanja omogočajo množičen zajem višinskih podatkov z visoko točnostjo. Z laserskim skeniranjem pridobimo oblake točk različnih gostot, iz katerih generiramo digitalne modele površja. Aerofotogrametrija omogoča izdelavo modelov stavb z letalskih posnetkov. Prednost daljinskega zaznavanja je, da se v enkratnem snemanju pridobijo podatki za večkratno uporabo. Podatki o stavbah in prometnicah, ki so zajeti iz zraka, so poleg uporabe v katastru uporabni tudi za topografske baze in v številne druge namene. Pogoj za uporabo tehnologij daljinskega zaznavanja je zagotoviti vidnost objektov na zemeljskem površju. Če objekti niso vidni, je treba uporabiti druge vire podatkov, npr. konstrukcijske načrte, ki so del projektov za gradnjo objektov. Seveda pa podatki daljinskega zaznavanja iz zraka ne omogočajo zajem podatkov znotraj stavb in pod površjem Zemlje. V tem primeru bo treba uporabljati terestrične rešitve geodetske izmere, ki se pri individualnih katastrskih postopkih že danes uporabljajo. Dodaten višinski atribut in druge razsežnosti notranjih in podzemnih prostorov bi torej lahko pridobili v sklopu katastrskih vpisov. Tehnologijo daljinskega zaznavanja pa izpostavljamo z vidika možnosti množičnega zajema podatkov o objektih na površju Zemlje.

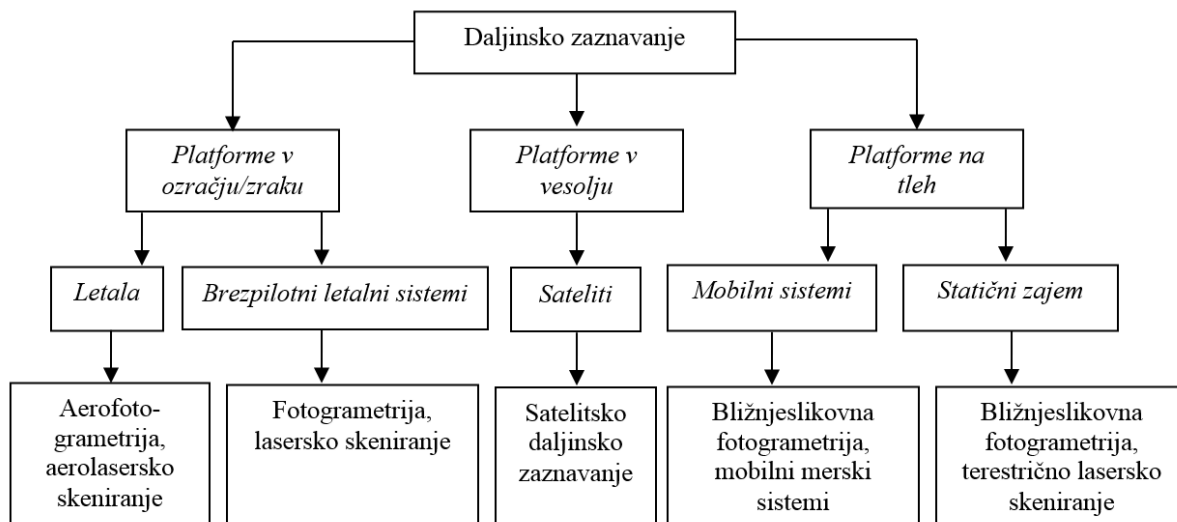
»Ta stran je namenoma prazna.«

5 TEHNOLOGIJE DALJINSKEGA ZAZNAVANJA PRI VZPOSTAVITVI 3D-KATASTRA

V tem poglavju so predstavljene tehnologije daljinskega zaznavanja kot možen vir za vzpostavitev 3D-katastra. Začnemo z opisom različnih tehnologij, to so satelitsko daljinsko zaznavanje, fotogrametrija in lasersko skeniranje, nato predstavimo brezpilotne letalne sisteme in kombinacije različnih tehnologij. V nadaljevanju analiziramo primernost različnih tehnologij daljinskega zaznavanja za zajem posameznih katastrskih objektov. Na koncu opišemo še državne topografske podatke v Sloveniji, ki bi jih lahko koristno uporabili tudi za vzpostavitev 3D-katastra.

5.1 Pregled tehnologij daljinskega zaznavanja

Obstoječi sistemi zemljiške administracije so dvorazsežni, zato jim je treba za vzpostavitev 3D-katastra dodati višinsko komponento. Za doseg tega cilja je treba izbrati tehnologijo, ki omogoča določitev položaja v prostoru, vključujoč višinsko komponento, in je hkrati primerna za množičen zajem podatkov. Te pogoje izpolnjujejo tehnologije daljinskega zaznavanja. Daljinsko zaznavanje je znanost in tehnologija zajema, obdelave in analize podob ter drugih podatkov o zemeljskem površju in drugih planetih, pridobljenih iz senzorjev v vesolju in zraku ter na tleh (Chen in sod., 2015). Včasih se je pojem daljinsko zaznavanje nanašal izključno na satelitski zajem podatkov iz vesolja, danes pa pojem razumemo širše kot splošni izraz za pridobivanje položajnih in semantičnih podatkov o objektih na zemeljskem površju brez vzpostavitve fizičnega stika z objekti. Iz tega izhaja, da je daljinsko zaznavanje nadpomenka, ki vključuje več različnih tehnologij pridobivanja podatkov, med katere spadajo fotogrametrija, lasersko skeniranje in satelitsko daljinsko zaznavanje (Slika 5.1).



Slika 5.1: Tehnologije daljinskega zaznavanja glede na vrsto platforme.

Figure 5.1: Remote sensing technologies according to the type of the platform.

5.1.1 Satelitsko daljinsko zaznavanje

Pojem daljinsko zaznavanje lahko uporabimo tudi v ožjem smislu, in sicer kot tehnologijo, ki se ukvarja s pridobivanjem informacij o površju Zemlje z zaznavanjem in zapisovanjem odbite ali sevane energije v vidnem, infrardečem in mikrovalovnem delu elektromagnetnega spektra (satelitsko daljinsko zaznavanje). Podatki se zajemajo s sateliti in obsegajo velika območja zemeljskega površja.

Položajne in semantične podatke o objektih in dogodkih pridobimo iz eno-, dvo- ali trirazsežnih meritev ter podatkov o elektromagnetnem in zvočnem valovanju, ki jih posredujejo aktivni ali pasivni optični, toplotni in mikrovalovni senzorji. Izdelki daljinskega zaznavanja so torej satelitske podobe različnih vrst in ločljivosti, iz katerih je mogoče izdelati tudi stereopare in ortofote. Satelitske podobe se uporabljajo kot osnova za izdelavo kart in modelov zemeljskega površja, za ciklično sledenje spremembam v okolju, za ugotavljanje ter sanacijo posledic naravnih in drugih nesreč, za oceno zalog neobnovljivih virov energije, ugotavljanje sprememb ozračja in zalog vode, obalne študije, opazovanje ledenikov ter za mnoge druge namene. S tem imajo močno okoljsko vlogo pri spremljanju podnebnih sprememb in trajnostnem razvoju. Prostorska ločljivost satelitskih podob se je povečala od 1970-ih let, ko je znašala za Landsat1 80 m, do 1990-ih let, ko je znašala 30 m za Landsat 7 in do današnjih 0,31 m za satelit WorldView (Chen in sod., 2015). Za zajem topografskih vsebin so primerne visoko ločljive satelitske podobe, ki se primerljive z letalskimi posnetki. Takšne satelitske podobe se uporabljajo za samodejno prepoznavanje stavb (Grigillo, 2009) in za izdelavo modelov stavb (Fraser in sod., 2002; Kocaman in sod., 2006; Lafarge in sod., 2006). Senzorji so občutljivi za različno valovanje svetlobe, zato omogočajo uporabo različnih postopkov klasifikacije glede na material in druge značilnosti objektov (Weng, 2012). Satelitski sistemi kot so npr. SPOT-5, IKONOS, OrbView-3 in Quickbird omogočajo zajem stereopodob zemeljskega površja, ki se lahko uporabijo za izdelavo modelov reliefa in površja. Predvidena prostorska ločljivost WorldView-4 je 0,31 m, vendar obstajajo možnosti, da bi se povečala na 0,25 m, kar omogoča podroben zajem stavb, vidnih iz zraka. Prednost satelitskih podob je, da pokrivajo velika območja, vendar pa je njihova prostorska ločljivost običajno premajhna za potrebe katastra (Jazayeri in sod., 2014).

5.1.2 Topografska fotogrametrija

Fotogrametrija je znanost in tehnologija pridobivanja trirazsežnih geometričnih in semantičnih podatkov o objektih in dogodkih iz fotografij oziroma posnetkov, v novejšem času vključuje tudi obdelavo podatkov laserskega skeniranja (Chen in sod., 2015). Snemanje lahko izvajamo s satelitov, letal, helikopterjev ali z zemeljskega površja na podlagi statičnih ali mobilnih platform z nameščenimi senzorji. S fotogrametrijo se lahko določi položaj, orientacija, oblika in velikost objektov na podlagi posnetkov. Uporablja se za trirazsežni prikaz objektov v kartografiji, inženirstvu, kulturni dediščini, forenzičnih raziskavah, robotiki, medicini, računalništvu itd. Na teh področjih zagotavlja geometrične in semantične podatke za prostorske baze podatkov ali za modele navidezne resničnosti. Rezultati fotogrametričnih snemanj so lahko koordinate posameznih točk v trirazsežnem koordinatnem sistemu (vključujoč višino), posnetki ter iz njih izdelani ortofoti, topografski načrti, karte in trirazsežni modeli stvarnosti (Kraus, 2004). Hiter razvoj digitalnih senzorjev je v zadnjih letih pripomogel k izboljšanju kakovosti zajema podatkov. Z digitalnimi senzorji lahko izvajamo poševna snemanja (ang. oblique airborne photogrammetry), snemamo lahko z velikim prekrivanjem posnetkov v vzdolžni in prečni smeri, posnetke lahko kombiniramo tudi z laserskim skeniranjem. Sodobni snemalni sistemi so dodatno opremljeni s položajnim in orientacijskim sistem POS (ang. position and orientation system), ki ga tvorita GNSS-sprejemnik (globalni navigacijski satelitski sistem) in inercialna merska naprava (IMU, angl. inertial measurement unit). Zato so algoritmi in metode za določitev prostorskega položaja zajetih podatkov zanesljivejši, kar se odraža tudi v kakovostnejših rezultatih. Že nekaj let je trirazsežno modeliranje urbanih mestnih središč v svetu zelo razširjeno. V ta namen je bilo razvitih več pristopov za učinkovito in kakovostno 3D-modeliranje, kot so postopki za obdelavo velikih oblakov točk laserskega skeniranja (Elseberg in sod., 2013) ter gradniki za trirazsežno modeliranje stavb (Xiong in sod., 2015). Primernost uporabe fotogrametričnih metod za vzpostavitev 3D-katastra so že izpostavili številni avtorji (Lemmen in van Oosterom, 2003; Hao in sod., 2011; Cunningham in sod., 2011; Manyoky in sod., 2011; Van Hinsbergh, 2013; Jazayeri in sod., 2014).

Fotogrametrija omogoča izdelavo trirazsežnega prostorskega modela objektov na podlagi merjenja točk z različnih posnetkov. Glede na način pridobivanja podatkov se deli na terestrično in aerofotogrametrijo. Pri terestrični fotogrametriji se objekt fotografira s terena in iz različnih položajev fotoaparata, tako da se posnetki med seboj delno prekrivajo. Rezultat fotogrametrične obdelave in modeliranja je 3D-model objekta, na primer stavbe. Pri aerofotogrametriji se posnetke pridobi z letalskim snemanjem oziroma fotografiranjem zemeljskega površja, pri čemer mora biti detajl na zemeljskem površju, ki ga želimo izmeriti, posnet na najmanj dveh posnetkih. Snemanje se opravi s posebnim merskim fotoaparatom, ki je nameščen na letalo. Letalo je opremljeno tudi s položajnim in orientacijskim sistemom POS, ki služi za določitev položaja in smeri letala med snemanjem. Med snemanjem nastanejo številni posnetki v posameznem pasu oziroma bloku. Za zajem geometrično pravih in georeferenciranih prostorskih podatkov s posnetkov moramo poznati elemente oziroma parametre notranje in zunanje orientacije vsakega posameznega posnetka. Elementi notranje orientacije so vezani na fotoaparatus, medtem ko elementi zunanje orientacije določajo položaj posnetka v prostoru in jih opišemo s tremi premiki in tremi zasuki slikovnega koordinatnega sistema glede na objektni koordinatni sistem. Parametre zunanje orientacije izračunamo z izravnavo v postopku aerotriangulacije. Samodejna orientacija letalskih stereoparov je raziskovalno zanimivo in aktualno področje v fotogrametriji, v preteklosti so bili razviti številni algoritmi (Fischler in Bolles, 1981; Förstner in Gülch, 1987; Harris in Stephens, 1988; Lowe, 2004; Nistér, 2004; Bay in sod., 2008; Frahm in sod., 2010; Mayer, 2014).

Iz orientiranih posnetkov nato lahko določimo 3D-objektne koordinate slikovnim točkam npr. v referenčnem globalnem koordinatnem sistemu ali lokalnem prostorskem koordinatnem sistemu. Položajna točnost objektnih koordinat je v veliki meri odvisna od merila posnetka oziroma njegove prostorske ločljivosti. Zajem točk površja je lahko tudi avtomatiziran z uporabo samodejnih postopkov slikovnega ujemanja, katerih rezultat je fotogrametrični oblak točk (Pierrot-Deseilligny in Paparoditis, 2006; Hirschmüller, 2008; Furukawa in Ponce, 2010; Strecha in sod., 2010; Bulatov in sod., 2011; Haala, 2011). Po zajemu podatkov je običajno naslednji korak izdelava trirazsežnih ploskovnih modelov. Kakovost digitalnih modelov površja izboljšajo optimizacijske metode. Tako so na primer lahko iz digitalnega modela, ki je izdelan na podlagi letalskih posnetkov visoke prostorske ločljivosti od 5 cm do 10 cm, razvidni detajli streh, kot so strešna okna, dimniki in žlebovi (Brédif, 2010). Tako detajlni digitalni modeli površja so osnova za izdelavo popolnih ortofotov (ang. true orthophotos). Področje samodejne prepoznavne in klasifikacije topografskih objektov je že dobro razvito (Mayer, 2008; Yang in Förstner, 2011), na voljo so tudi sodobne metode, kot so AdaBoost (Chan in Paelinckx, 2008), Support Vector Machines (skrajšano SVM, Mountrakis in sod., 2011) in Random Forests (skrajšano RF, Gislason in sod., 2006)

Stereofotogrametrična metoda se najbolj pogosto uporablja za natančno interpretacijo in zajem topografskih vsebin, še posebej je primerna za podroben 3D-zajem stavb. S stereoparov letalskih posnetkov se lahko zajame le streha stavbe oziroma njen najširši obod, ki je viden iz zraka. Pred zajemom je treba določiti stopnjo detajla (angl. LoD, level of detail). Pri zajemu je treba vzpostaviti topološko urejenost podatkov v smislu povezave med točkami, linijami in ploskvami. Fasade stavb in zemljišč pod stavbo ni možno zajeti iz navpičnih letalskih posnetkov, ker iz njih niso vidni. Danes se za ta namen uporabljajo poševna letalska snemanja. Druga možnost za zajem fasad stavb, vključno z zemljišči pod stavbo, je, da se stavbe zajamejo s tal. Poleg stavb so iz letalskih posnetkov lepo vidne posestne meje, če potekajo po vidnih objektih v naravi (npr. ograje, oporni zidovi, brežine ipd.). Dobro vidne so tudi različne rabe zemljišč. Slikovni viri, kot so letalski posnetki, so zato primerni za določitev poteka posestnih mej v naravi (Jazayeri in sod., 2014). Na temo izdelave modelov stavb in tudi trirazsežnih modelov mest je bilo izvedenih veliko raziskav (Mayer, 1999; Baillard in Matre,

1999; Remondino in El-Hakim, 2006). Zajem oboda stavb običajno poteka v treh korakih (Vosselman in Maas, 2010). Prvi je prepoznavanje pikslov ali točk, ki tvorijo obod stavbe in iz njih ustvarimo poligon. Sledi redukcija točk v poligonu, da se ohranijo samo pomembni robovi, pri čemer poskušamo upoštevati dodatna pogoja vzporednosti in pravokotnosti, kjer je to potrebno in smiselno za grajene objekte. Rezultat zajema stavbe je običajno najprej žični 3D-model stavbe, ki se ga nato s postopki modeliranja pretvori v ploskovni model. Geometrično modeliranje stavb poteka v dveh pristopih (Xiong in sod., 2015). Prvi je *B-rep* (ang. boundary representation) način, ki določa linije iz zajetih točk z dodajanjem topoloških podatkov. Drugi pristop je *CSG* (ang. constructive solid geometry) izdelava stavbe s kombinacijo osnovnih prostorskih elementov preko Booleanovih operatorjev. Iz *CSG* predstavitev je možno avtomatično in nedvoumno pridobiti *B-rep* predstavitev. *CSG* pristop je uporabljen v CAD sistemih in vsebuje osnovne elemente za sestavo ploskev streh (ravna, enokapnica, dvokapnica, čopasta dvokapnica in štirikapnica). Novejše raziskave potekajo v smeri čim večje avtomatizacije zajema stavb (Parys in Schilling, 2012). V zadnjem desetletju se raziskave osredotočajo na združitev letalskih posnetkov z drugimi viri, kot so npr. katastrski načrti in lasersko skeniranje (Rottensteiner in sod., 2014).

Poleg letalskih posnetkov oziroma njihovih stereoparov je eden splošno uporabnih izdelkov tudi ortofoto. Ortofoto je fotogrametrični izdelek, ki ga dobimo s transformacijo fotografskega posnetka v ortogonalno projekcijo (Kosmatin Fras, 2004). Čeprav ortofoto ni primeren za modeliranje trirazsežnih objektov, saj je v svoji osnovi to 2D-izdelek, je njegova dostopnost in uporaba zelo velika. Ortofoto je uporaben kot podlaga v geografskih informacijskih sistemih ali za vizualno 3D-predstavitev fasad objektov in animacije. Uporablja se tudi za prepoznavanje objektov in lažjo orientacijo v povezavi z oblaki točk pri laserskem skeniranju. Na kakovost ortofota vplivajo številni dejavniki, kot so nedovršenost posnetkov (optična distorzija, pri analognih fotografijah deformacija filma, položajna napaka skenerja filma, pri digitalnih fotografijah vpliv nepopolnosti slikovnih senzorjev idr.), omejena natančnost določitve parametrov notranje in zunanje orientacije (tudi napake v položaju oslonilnih točk), zamik delov posnetka, ki niso vključeni v digitalni model reliefa (strehe objektov, krošnje dreves...) in višinske napake ter nepopolnost v točkah digitalnega modela reliefa (Kraus, 2004).

5.1.3 Aerolasersko skeniranje

V današnjih časih je v razmahu lasersko skeniranje, katerega rezultat je oblak točk, v katerem je za detajle na zemeljskem površju podan 3D-položaj v prostoru. Lasersko skeniranje je doprineslo veliko novosti pri pridobivanju prostorskih podatkov in modeliranju 3D-objektov na področju topografskega kartiranja in detajlnega zajema prostorskih objektov. Lasersko skeniranje se smatra kot del fotogrametrije, ker se obe tehnologiji ukvarjata z reševanjem geometrijskih nalog pri zajemu in modeliranju podatkov ter imata veliko skupnega pri analizi podatkov (Kraus, 2004). Glavni rezultat laserskega skeniranja je oblak točk s prostorskimi koordinatami v trirazsežnem koordinatnem sistemu, vključno z intenziteto odboja laserskega žarka in drugimi atributi. Zato se lasersko skeniranje uporablja za modeliranje 3D-objektov na zemeljskem površju, zajem stavb, izdelavo digitalnih modelov reliefa itd. Ker ne vsebuje fotografij zemeljskega površja, se za lažjo prepoznavo objektov večinoma uporablja skupaj z digitalnimi posnetki in ortofotom. Lasersko skeniranje se glede na platformo deli na aero- (skrajšano ALS), terestrično (skrajšano TLS) in mobilno (skrajšano MLS) lasersko skeniranje (Triglav Čekada, 2009). Pri izvajanju laserskega skeniranja se zajamejo naključne točke na vseh objektih in zemeljskem površju, ki jih laserski žarki dosežejo. Za uporabo oblaka točk v različne namene je treba oblak točk filtrirati oziroma klasificirati. Klasifikacija se običajno izvede pri vseh oblikah laserskega skeniranja, čeprav je najbolj obsežna pri obdelavi oblaka točk aerolaserskega

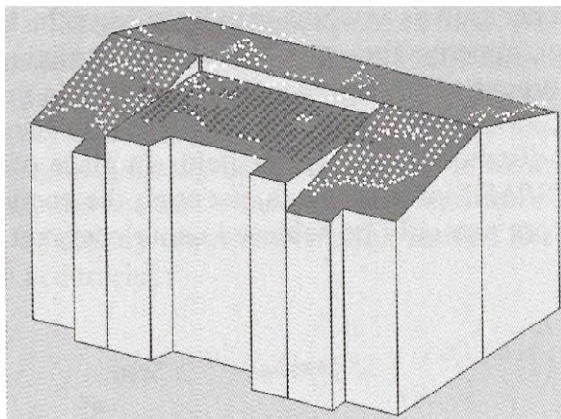
skeniranja. V fazi registracije se posamezni oblaki točk, torej točke iz vseh pasov pri zračnem in iz vseh stojišč pri terestričnem laserskem skeniranju, združijo, da se doseže pokritost vseh objektov. Oblak točk, sestavljen iz različnih virov, se nato transformira v enoten koordinatni sistem. Številne raziskave (Grussenmeyer in sod., 2008; Fowler in Kadatskiy, 2011; Sahin in sod., 2012) so primerjale različne vrste laserskega skeniranja z namenom ugotovitve natančnosti ter prednosti in slabosti posameznih tehnologij. Fowler in Kadatskiy (2011) sta opravila primerjalno študijo in ugotovila, da terestrično lasersko skeniranje omogoča pridobitev višje natančnosti določitve položaja točk kot mobilno ali aerolasersko skeniranje, in sicer lahko s terestričnim laserskim skeniranjem dosežemo natančnost, boljšo od 1 cm. Lasersko skeniranje je učinkovita tehnika za zajem stavb kot celote, pri čemer se fasada zajame s tal preko mobilnega ali terestričnega skenerja, streha iz zraka ter notranji zidovi s pomočjo terestričnega laserskega skeniranja (Jazayeri in sod., 2014).

Pri aerolaserskem skeniranju se s pomočjo laserskega skenerja, ki je nameščen na letalu ali helikopterju, zajamejo točke na zemeljskem površju in objektih na njem. Tehnologija laserskega skeniranja temelji na odboju oddanega laserskega žarka od zemeljskega površja, pri čemer se z merjenjem časa potovanja signala določi razdalja med laserskim skenerjem na letalu in izmerjeno točko na zemeljskem površju. Sistem aerolaserskega skeniranja sestavljajo skener, GNSS-antena, IMU, enota za beleženje in kontrolo podatkov, računalnik ter sistem upravljanja leta (Wehr in Lohr, 1999). Projekt aerolaserskega skeniranja poteka v treh fazah, ki so načrtovanje snemanja, snemanje in zajem podatkov ter obdelava podatkov z nadzorom kakovosti. Rezultat laserskega skeniranja je oblak točk, ki imajo koordinate določene v referenčnem koordinatnem sistemu. Za določitev položaja točk v državnem koordinatnem sistemu je treba določiti položaj laserskega skenerja in njegovih orientacijskih kotov v trenutku snemanja posamezne točke. To zagotavlja položajni in orientacijski sistem POS, ki ga tvorita GNSS-sprejemnik in IMU. Laserski skener je zmožen zabeležiti več odbojev posameznega žarka od ovir na njegovi poti proti zemeljskem površju. Večkratni odboj je možen zaradi rahlega razširjanja žarka na njegovi poti, ki povzroči, da se del žarka odbije že prej, preden prispe do zadnje površine. Na primer v ne preveč gostem gozdu se del žarka odbije na vrhu krošnje, nato lahko sledi več odbojev od posameznih vej dreves in del žarka lahko prispe tudi do tal. Aerolasersko skeniranje je najučinkovitejša metoda za pridobitev digitalnih modelov reliefa (ang. digital terrain model - DTM) in površja (ang. digital surface model - DSM), ker ima v primerjavi z ostalimi metodami visoko gostoto in točnost višinskih podatkov, hiter zajem podatkov kadarkoli, tudi ponoči, ter delen prehod laserskega žarka skozi vegetacijo, npr. v gozdnih območjih je visoka prepustnost žarkov dosežena pozimi, ko listje odpade.

Oblak točk je treba ustrezno filtrirati oziroma klasificirati z namenom, da pridobimo iz oblaka točk tisto, kar uporabnika zanima. S filtriranjem izločimo vse neželene odboje in kot rezultat dobimo digitalni model višin ali površja, medtem ko s klasifikacijo prepoznamo določene geometrijske strukture ali objekte, kot so stavbe, ceste, vegetacija, vode ipd. (Oštir, 2006). Klasifikacija se izvaja avtomatsko z uporabo različnih algoritmov (Vosselman, 2009). Uspešnost klasifikacije je podana z odstotkom pravilno razvrščenih objektov v razrede. Uporablja se več različnih metod filtriranja, kot so morfološko filtriranje (skupina algoritmov temelji na konceptu matematične morfologije, ki je metoda slikovne analize za podajanje kvantitativnega opisa geometrijskih struktur), postopno zgoščevanje (algoritmi pričnejo z majhno skupino v oblaku točk in postopno povečujejo količino podatkov, da se celoten oblak točk razvrsti v razrede korak za korakom; primer je mreža trikotnikov), ploskovno filtriranje (algoritmi delujejo podobno kot pri postopnem zgoščevanju, vendar običajno te metode na začetku predpostavijo, da celoten oblak točk pripada določeni ploskvi, v nadaljevanju pa se izločijo točke, ki ne ustrezajo; primer je robustna interpolacija), segmentno filtriranje (ta pristop ne obravnava posameznih točk posebej, tako kot zgornje metode, ampak celoten del oblaka točk, npr. skupino

sosebnih točk s podobnimi lastnostmi) in drugi (Vosselman in Maas, 2010). V današnjem času je postopek filtriranja in generiranja digitalnega modela reliefa (skrajšano DMR-ja) na podlagi podatkov aerolaserskega skeniranja visoko avtomatiziran, vendar je zaradi zahtevnosti oblike površja običajno potrebna ročna kontrola in popraviljanje. Največ ročnega dela se opravi na urbanih območjih zaradi različnih nivojev terena, stopnic ipd. in v bližini mostov, tudi vegetacija povzroča še veliko težav. Na urbanih območjih klasifikacijo olajšajo dodatni podatki, kot so sloji stavb. Uspešnost klasifikacije na urbanih in gorskih območjih je odvisna tudi od gostote točk v oblaku. Večja je gostota točk, bolj uspešna je klasifikacija.

Zajem stavb je poseben primer prepoznavanja stavb. Tehnike zajema so odvisne od vrste podatkov, značilnosti objektov in cilja izdelave modelov stavb. Zajem stavb iz oblakov točk je predmet številnih raziskav (Pfeifer in sod., 2007; Zhang in sod., 2009; Kada in McKinley, 2009; Hammoudi in sod., 2010; Elberink in Vosselman, 2011; Kim, 2012; Lafarge in Mallet, 2012; Zhao, 2013; Niemeyer in sod., 2014). Gre za postopek, pri katerem se prepoznajo in geometrično izdelajo 3D-modeli stavb. Prepoznavna stavb je klasifikacijska naloga, ki loči stavbe od drugih objektov, to so naravno in umetno ustvarjeno zemeljsko površje ter vegetacija. Za klasifikacijo tistih točk, ki ležijo nad zemeljskim površjem, se uporabljajo standardne tehnike filtriranja. Prepoznavna stavb ni le predhoden postopek pri izdelavi 3D-modelov stavb in mest, ampak je pomembna tudi kot samodejna metoda za ažuriranje kart in baz podatkov. Samodejna prepoznavna stavb je otežena na območjih z veliko vegetacije, ker je težko razlikovati med stavbo in drevesom ali skupino dreves. Posebno zahtevni so primeri, ko leži stavba ob drevesu ali ko drevo prekriva stavbo. Uporabni kriteriji za samodejno prepoznavo stavb so višina stavbe glede na zemljišče, razlika med najnižjo in najvišjo višino v matriki ter tekstura (Sobelovi ali Laplaceovi operatorji). Podatki o večkratnem odboju laserskih žarkov izboljšajo klasifikacijo. Večkratni odboj se pojavi pri vegetaciji, pri stavbah pa se večina laserskih žarkov odbije na strehi. Tudi sam obstoj večkratnih odbojev žarkov je dober podatek, saj je za območja stavb značilna registracija 90 % točk s prvim odbojem, na območjih z vegetacijo pa 50 % ali manj (Vosselman in Maas, 2010). Podobno kot pri aerofotogrametriji se pri aerolaserskem skeniranju pridobijo le podatki o objektih, ki so vidni iz zraka. Zato se lahko pri stavbah zajame le streha oziroma drugi vidni del stavbe (npr. terase in balkoni, ki imajo širši obod kot streha). Izjema je poševno snemanje, pri katerem je možno zajeti tudi podatke o fasadah objektov. Za izdelavo 3D-modela celotne stavbe je treba zemljišče pod stavbo pridobiti iz drugih baz podatkov, običajno iz katastrskega načrta (Slika 5.2). Stavbe so se najprej zajemale iz stereoparov letalskih posnetkov, danes pa se za zajem stavb pogosto uporabljajo podatki aerolaserskega skeniranja.



Slika 5.2: Model stavbe, pridobljen iz točk aerolaserskega skeniranja in katastrskega načrta (Kraus, 2004).
Figure 5.2: Building model derived from airborne laser scanning points and cadastral map (Kraus, 2004).

Kakovost podatkov laserskega skeniranja je odvisna od gostote točk v oblaku, ki je podana kot povprečno število točk na kvadratni meter. Odvisna je od višine in hitrosti letala ter zornega kota in hitrosti zajema skenerja. Lahko jo razdelimo v tri skupine (Triglav Čekada, 2009), in sicer ALS nizke ločljivosti s povprečno gostoto 1 točka/m², ki se uporablja za izdelavo generaliziranih digitalnih modelov reliefa, ki po ločljivosti ustrezajo tistim, ki so pridobljeni s stereoparov letalskih posnetkov; ALS srednje ločljivosti s povprečno gostoto 1–5 točk/m², ki omogoča izdelavo detajlnih DMR-jev za potrebe hidroloških študij ter ALS visoke ločljivosti s povprečno gostoto več kot 5 točk/m², ki se uporablja za izdelavo digitalnih modelov površja v mestih. Na točnost rezultatov vplivajo pogreški zaradi napačne kalibracije skenerja, GNSS in IMU, pogreški z izvorom v smeri poleta, pogreški z izvorom v tarči (pri razgibanem reliefu pogrešek v položaju vodi tudi do pogreška v višini), pogreški zaradi večkratnega odboja žarka (ang. multipath) in pogreški zaradi transformacije koordinat in modela geoida. V praksi je z aerolaserskim skeniranjem možno doseči natančnosti med 0,05 m in 0,2 m v višini in med 0,2 m in 1,0 m v položaju, pri višinah leta do 2000 m (Vosselman in Maas, 2010).

5.1.4 Bližnjelikovna fotogrametrija in mobilni sistemi

Če pri aerosnemanju običajno govorimo o topografski fotogrametriji, se pri zajemu podatkov z zemeljskega površja uporablja izraz bližnjelikovna fotogrametrija. Ta je lahko statična ali mobilna, pri čemer je razlika v tem, ali snemalni sistem miruje ali pa se premika na vozilu. Razlika med topografsko in bližnjelikovno fotogrametrijo, ki je bila nekoč zelo očitna, se danes zaradi sodobnih senzorjev in platform (npr. mali brezpilotni letalni sistemi) ter laserskega skeniranja zmanjšuje (Chen in sod., 2015). Bližnjelikovna fotogrametrija se uporablja pri detajlnem zajemu objektov, v inženirstvu, pri evidentiranju kulturne dediščine, forenzičnih analizah, robotiki, medicini ipd. Podobno kot pri aerofotogrametriji je možno tudi pri terestrični fotogrametriji tvoriti stereopare, jih prostorsko orientirati in iz njih zajeti detajl v referenčnem koordinatnem sistemu. Za izdelavo modelov stavb se v terestričnih in bližnjelikovnih fotogrametričnih aplikacijah uporabljajo algoritmi slikovnega ujemanja. Statična bližnjelikovna fotogrametrija je cenovno ugodna tehnologija, katere rezultat so točni in realistični 3D-modeli z vsemi pripadajočimi detajli (Jazayeri in sod., 2010; Leitch in Coon, 2012). Bližnjelikovna fotogrametrija je zaradi obsežnih in podrobnih podatkov preveč zamudna za potrebe katastrskega evidentiranja. S terestrično fotogrametrijo je možno zajeti tudi podatke o notranjosti objektov, ampak zaradi velikega obsega terenskega dela te podatke hitreje pridobimo z etažnih načrtov.

Terestrično lasersko skeniranje lahko uvrščamo v področje bližnjelikovne fotogrametrije, kadar gre za sicer tradicionalne fotogrametrične aplikacije. Laserski skener je pritrjen na trinožno stojalo in ima možnost premikanja žarka v dveh smereh. Razlikujemo med faznimi in impulznimi skenerji. Pri impulznih skenerjih se meri čas potovanja signala od oddajnika do objekta in nazaj, medtem ko se pri faznih skenerjih razdalja med skenerjem in objektom določi na podlagi fazne razlike oddanega in prejetega signala, kar je uporabno pri kratkih razdaljah. Fazni laserski skenerji na tržišču zagotavljajo pri razdaljah 20–80 metrov natančnost določitve točk 1–3 mm. Sestavni del skenerja je običajno tudi fotoaparati, ki se uporabljajo za obarvanje oblaka točk in 3D-modelov ali za lažjo interpretacijo oblaka točk pri prepoznavanju detajlov. Terestrično lasersko skeniranje se uporablja pri terestrični izmeri za hiter in masoven zajem detajlov na fasadah stavb in strehah (Luo in Liao, 2013; Pu in Vosselman, 2006, 2009). Najbolj pogost namen pa je snemanje in izdelava 3D-modelov mest na gostih urbanih območjih (Voegtle in sod., 2008). Ta tehnologija je pomembna tudi za evidentiranje objektov kulturne dediščine. Zaradi velike gostote in točnosti točk je terestrično lasersko skeniranje za potrebe katastra metoda, ki daje preveč podrobne in obsežne rezultate. Prav tako pri grafični predstavitvi objektov za potrebe katastra niso pomembni majhni detajli na fasadah objektov, zato je za zajem fasad

najprimernejša klasična tahimetrična izmera. Čeprav lasersko skeniranje dobro opiše detajle na stavbah in drugih objektih, ni primerno za določitev posestnih meja (Jazayeri in sod., 2014). Terestrično lasersko skeniranje pa omogoča tudi hiter zajem podatkov v notranjosti stavb in drugih objektov (npr. Trimble Indoor Mapping Solution), vendar so za delitev stavb na več delov v katastru bolj uporabni načrti stavbe po etažah. Masoven zajem stavb je lahko dosežen tudi z mobilnimi sistemi, v katerih sta združena kamera in/ali laserski skener. Na ta način je možno preko videa avtomatsko izdelati teksturne 3D-modele fasad stavb, ki so vidne s prometnic (Gool in Zisserman, 1997; Akbarzadeh in sod., 2006; Tian, 2011). Na spletu so preko ponudnikov Google StreetView in Microsoft StreetSide na voljo posnetki, pridobljeni s pomočjo mobilnih sistemov. Z obdelavo posnetkov in združitvijo s katastrskimi podatki imajo takšni mobilni sistemi potencial za zajem podatkov (Jazayeri in sod., 2014). Vendar pa sta tako terestrična fotogrametrija kot mobilni sistemi omejeni na fasade stavb in se ne moreta uporabljati za določitev poteka posestnih meja.

Mobilno lasersko skeniranje temelji na terestričnem laserskem skeniranju in je sorazmerno mlada in razvijajoča se tehnologija, ki omogoča zajem 3D-podatkov. Mobilno lasersko skeniranje omogoča direkten zajem 3D-podatkov in z dodatnim fotografiranjem ali video-snemanjem omogoča fotorealistične prikaze. Laserski skener je pritrjen na premikajoče se prevozno sredstvo na cesti ali železniških tirih. Zajem lahko poteka statično po metodi »stop-and-go« ali kinematično. Prednosti statičnega snemanja sta visoka natančnost in prostorska ločljivost, medtem ko je prednost kinematičnega snemanja učinkovitost, saj omogoča hiter zajem oblaka točk. Čas za zajem podatkov in njihovo obdelavo do izboljšanega oblaka točk se skrajša za 80 % v primerjavi s terestričnim laserskim skeniranjem. Za georeferenciranje se uporablja visokokakovostna GNSS- in IMU-oprema. Pri mobilnem laserskem skeniranju se lahko v kratkem času posname veliko območje, običajno vzdolž prometnic. Iz podatkov MLS je možno pridobiti višine stavb in nadstropij ter detajlov na fasadah, tudi kapi streh. Natančnost mobilnega laserskega skeniranja pri kinematičnem snemanju je večinoma boljša od 1 dm (Vosselman in Maas, 2010). Natančnost MLS se slabša s povečanjem razdalje med skenerjem in objekti. V kolikor povprečna razdalja med laserskim skenerjem in interesnim območjem ne presega 20 m, lahko MLS sistem dosega absolutno točnost v obsegu 2,5–3,5 cm (Kumar, 2013). Ob dodatno uporabljenih oslonilnih točkah pa se točnost lahko še izboljša. Mobilno lasersko skeniranje je bilo predmet številnih raziskav z namenom izdelave modelov stavb (Sahin in sod., 2012; Zhu in sod., 2011; Rutzinger in sod., 2011; Yang in Dong, 2013). Ugotovljeno je bilo, da je na nekaterih mestih treba mobilno lasersko skeniranje dopolniti s terestričnim. MLS je omejeno na zajem fasad in ga je za celoten model stavbe treba dopolniti z drugimi metodami zajema podatkov.

5.1.5 Brezpilotni letalni sistemi

Prednost brezpilotnih letalnih sistemov pred drugimi metodami za snemanje iz zraka je ekonomičnost in visoka absolutna točnost določitve detajla, ki zadosti tudi najvišjim zahtevam po točnosti v katastru. Sistemi so opremljeni s fotoaparatom za zajem posnetkov in redkeje z laserskim skenerjem. Vgrajen imajo tudi GNSS/IMU-sistem za določitev položaja in nagibov v času snemanja. Prednosti uporabe brezpilotnih letalnih sistemov v katastru sta hiter in točen zajem velike količine podatkov brez terenskega dela, omejitve uporabe pa so pri objektih, ki niso vidni iz zraka (objekti pod strehami, vegetacijo ipd.). V splošnem so uporabni za snemanje na težko dostopnih področjih, kot so območja naravnih nesreč (npr. potresi, vulkani in poplave) in gorska območja ter puščave. Brezpilotni letalni sistemi so bistveno cenejši od klasičnih letal za zajem podatkov iz zraka, tudi snemanje ne zahteva tako velikih stroškov kot klasična letalska izmera. Po drugi strani pa so omejeni s težo, ki jo lahko prenašajo in s kratkim časom poleta. Brezpilotni letalni sistemi lahko prenašajo težo do 5 kg, kar mora vključevati laserski skener in/ali fotoaparater ter navigacijski sistem (Jazayeri in sod., 2014). Ker so

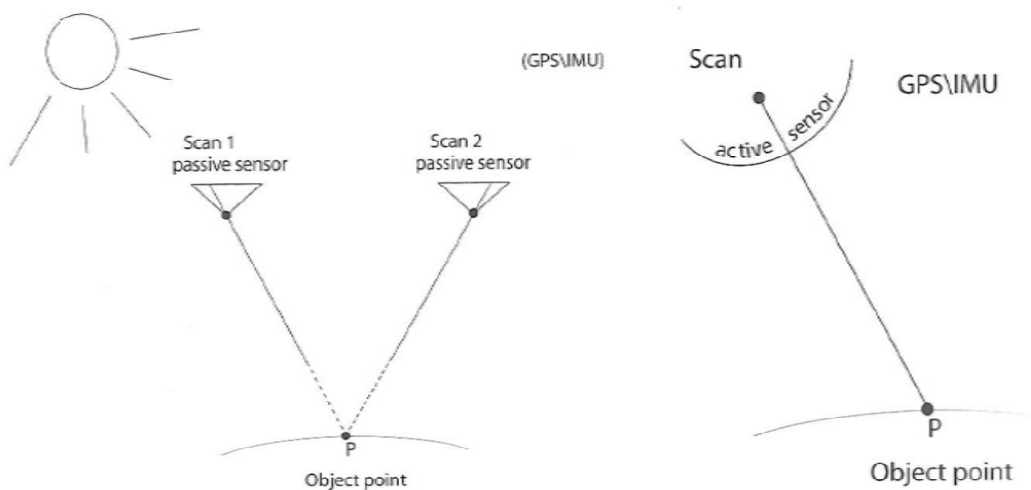
lahki, izmero pogosto ovira veter, zato za svoje delovanje potrebujejo stabilne vremenske razmere. Čas njihovega delovanja je omejen in je odvisen od zmogljivosti baterij, prav tako je omejena oddaljenost od baze na tleh (Jazayeri in sod., 2014). Čeprav snemanje poteka hitro, je obdelava podatkov zamudna in zahtevna. Zaradi velike gostote točk v fotogrametričnem oblaku, ki običajno znaša nad 100 točk/m², je potrebna zmogljiva strojna in programska oprema. Porajajo se tudi vprašanja glede zaščite človekove zasebnosti, saj so zaradi visoke prostorske ločljivosti iz posnetkov razvidni skoraj vsi detajli.

V zadnjem času se veliko raziskav posveča uporabi brezpilotnih letalnih sistemov na področju katastra in izdelave modelov stavb ter reliefa (Cunningham in sod., 2011; Eisenbeiss, 2011; Van Hinsbergh in sod., 2013; Manyoky in sod., 2011). Eisenbeiss (2011) je predstavil njihovo uporabo v katastru za zajem parcelnih mej in stavb, pri čemer je dosežena točnost ustrezala zahtevam v švicarskem katastru. V drugem delu raziskave je bilo zajeto zemeljsko površje in izdelan digitalni model reliefa pri velikem izkopu. Teren je v tem primeru težko dostopen in nevaren, vendar je potrebna visoka točnost zajema zaradi določitve volumna izkopa, zato se je ta tehnologija izmere izkazala za zelo koristno. Van Hinsbergh in sod. (2013) so na Nizozemskem na podlagi snemanja z brezpilotnim letalnim sistemom izdelali ortofoto z visoko prostorsko ločljivostjo in točnostjo ter ga uporabili za zajem posestnih mej. Dosegli so točnost 3 cm, kar ustreza zahtevanim točnostim katastrske izmere v večini držav sveta. V Švici so Manyoky in sod. (2011) zajeli podatke ne le o posestnih mejah, ampak tudi o fasadah stavb in strehah. Dosegli so položajno točnost 2 cm in višinsko točnost 5 cm, kar je boljše od zahtevane točnosti za katastrsko izmero v Švici na urbanih območjih, ki znaša 3,5 cm položajno in 7 cm višinsko. V Aljaski so Cunningham in sod. (2011) uporabili brezpilotni letalni sistem za nastavitev katastra na odročnih območjih, kjer katastrske izmere še niso bile opravljene in posestne meje še niso bile evidentirane. Izdelali so ortofoto visoke ločljivosti in digitalni model površja. Ortofoto so uporabili za določitev poteka posestnih meja in njihovo evidentiranje v katastru. Preko višinskih podatkov v modelu površja so izdelali modele stavb na vseh parcelah za namen prostorskega razvoja in načrtovanja mest. Yang in Chen (2015) sta zaradi napak pri direktnem georeferenciranju razvila avtomatski postopek za georeferenciranje zaporednih slikovnih posnetkov in podatkov laserskega skeniranja. Ta postopek omogoča visoko točnost določitve položaja in odstrani napake, ki so bile posledica slabega direktnega georeferenciranja. Brezpilotni letalni sistemi v kombinaciji s katastrskimi in etažnimi načrti zagotavljajo ekonomično rešitev za zajem posestnih meja in stavb v katastru (Jazayeri in sod., 2014). Zajamejo lahko tako streho kot tudi fasado objektov. Iz slikovnih posnetkov je možno pridobiti položaj, velikost in obliko stavbe. Če vključimo še etažne načrte, model stavbe dopolnimo še z mejami med posameznimi stanovanji oziroma poslovnimi prostori.

5.2 Kombinacije različnih tehnologij daljinskega zaznavanja

Lasersko skeniranje je točen in razmeroma samodejen način zajema podatkov, vendar je po drugi strani z vidika obdelave podatkov precej zamuden in drag. Oblaki točk so velike datoteke, ki za obdelavo zahtevajo zmogljivo strojno in programsko opremo, ki povprečnemu uporabniku ni na voljo. Za ugotovitev poteka posestnih meja je treba podatke laserskega skeniranja združiti s posnetki. Posnetki omogočajo nastavitev stopnje detajla, snemanje je hitro in obdelava krajša, ampak zahtevajo veliko popravkov na območjih, kjer so teksture objektov slabe. Zaradi svojih značilnosti se lasersko skeniranje in posnetki uspešno dopolnjujejo in v kombinaciji prinašajo izboljšanje rezultatov (Ackermann, 1999; Baltsavias, 1999). Lasersko skeniranje in stereofotogrametrija imata zaradi svojih značilnosti različne prednosti oziroma slabosti (Slika 5.3). Za pridobitev DMR-ja je lasersko skeniranje na gosto pozidanih urbanih in gozdnih območjih boljše, ker je za stereofotogrametrijo nujno potrebna vidnost iste točke zemeljskega površja na najmanj dveh posnetkih. Lasersko skeniranje je

tudi neodvisno od sončne svetlobe in tekstura objektov ni pomembna, pri posnetkih pa zajem pogosto ovirajo sence stavb in vegetacije. Točnost DMR-ja je pri aerofotogrametriji odvisna od višine leta in tipa kamere, pri laserskem skeniranju pa od gostote oblaka točk. Aerofotogrametrija omogoča boljše položajno točnost v primerjavi z oblakom točk zaradi tekstur na posnetkih, ki omogočajo boljše prepoznavo objektov in lažje določitev detajla pri zajemu točk, linij in ploskev (Kraus, 2004). Stereofotogrametrija torej omogoča boljše položajno točnost, medtem ko lasersko skeniranje zagotavlja boljše višinsko točnost. V katastru je lasersko skeniranje bolj uspešno pri zajemu stavb, slikovne metode pa pri zajemu posestnih meja (Jazayeri in sod., 2014). Samodejna klasifikacija stavb se je včasih izvajala posebej za stereopare in lasersko skeniranje, ker podatka nista bila na voljo skupaj, sodobni senzorji pa omogočajo obe tehnologiji hkrati. Kombinacija laserskega skeniranja in slikovnih metod je uspešno orodje za 3D-modeliranje. Avtomatska izdelava modelov stavb je možna tako preko podatkov laserskega skeniranja kot tudi preko stereofotogrametrije. Oba pristopa zagotavljata določitev položaja, lege in oblike stavbe z visoko točnostjo in detajli, ampak stereopari so lažji za obdelavo in bolj ekonomični (Jazayeri in sod., 2014).



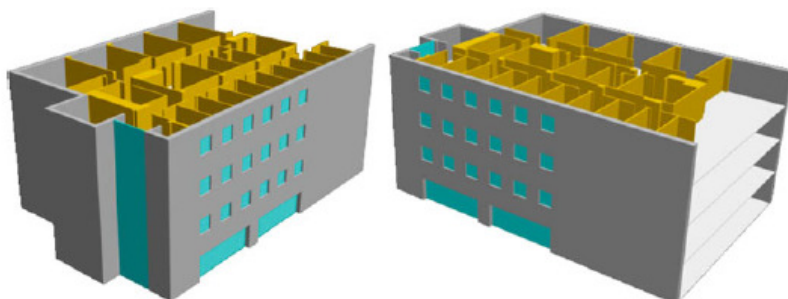
Slika 5.3: Primerjava med stereofotogrametrijo (levo) in laserskim skeniranjem (desno) (Kraus, 2004).
Figure 5.3: Comparison between stereophotogrammetry (left) and laser scanning (right) (Kraus, 2004).

Večina raziskav je bila izvedenih na področju zajema stavb. Stavbe so bile zajete avtomatsko na podlagi kombinacije zajemov iz zraka, in sicer aerolaserskega skeniranja in terestrične fotogrametrije (Chen in sod., 2004), aerolaserskega skeniranja in visokoločljivih satelitskih podob (Sohn in Dowman, 2007; Guo, 2003) ter aerolaserskega skeniranja in letalskih posnetkov (Kwak, 2013). Remondino in El-Hakim (2006) sta preizkusila kombinacijo terestrične fotogrametrije in laserskega skeniranja za izdelavo 3D-modelov stavb. Sahin in sod. (2012) so se v svoji raziskavi osredotočili na 3D-modeliranje stavb iz kombinacije slikovnih metod in laserskega skeniranja. Namen njihove študije je bil analiza, primerjava in izboljšanje prostorskih podatkov iz različnih virov z namenom zajema fasad in streh stavb za potrebe prostorskega načrtovanja. Taneja in sod. (2012) so za zajem stavb uporabili kombinacijo mobilnih sistemov in katastrskih načrtov. Iz vozila zajete sferične panoramske slike so dopolnili s katastrskimi načrti in dobili georeferencirane stavbe na zemljiških parcelah s fotorealističnimi prikazi fasad. Njihov pristop je podatke o stavbah dopolnil s podatki o posestnih mejah. Metoda je uporabna za načrtovanje mest in spremljanje sprememb v okolju.

Hao in sod. (2011) so se dotaknili področja 3D-katastra in raziskali primernost kombinacije mobilnega laserskega skeniranja in posnetkov za 3D-zajem stavb pri vzpostavitvi 3D-katastra v Istanbulu. Oblaki

točk so detajlno opisovali fasade stavb, v kombinaciji s posnetki fasad pa se je iz njih pridobilo višino stavbe, višino etaž in prostornino stavbe ter etaž. Pri stavbah iz stekla MLS ni bil učinkovit zaradi večpotja signala, kar je poslabšalo točnost pri teh stavbah. Pri ostalih stavbah se je metoda izkazala kot primerna za potrebe 3D-katastra. Tehnologija MLS je žal omejena na območja, ki so vidna iz vozila za snemanje. Poleg tega se lahko na ta način zajamejo le fasade objektov, strehe pa ne. Hammoudi in sod. (2010) so združili podatke mobilnega laserskega skeniranja in obstoječega katastrskega načrta. Na ta način so se izdelali modeli fasad objektov. Gruen (2012) je kombiniral posnetke brezpilotnih letalnih sistemov s posnetki in oblaki točk mobilnega snemanja. Rezultat je bil detajlen 3D-model stavb univerzitetnega kampusa v Singapurju. Tack in sod. (2012) so izdelali 3D-model površja, ki je bil zajet s stereopara satelitskih podob v kombinaciji s katastrskim načrtom. Prednost uporabe satelitskih podob je pokritost velikih območij, vendar je prostorska ločljivost običajno preslaba za določitev detajlov pri zajemu stavb in za ugotovitev poteka posestnih mej. Kombinacija satelitskih podob in podatkov aerolaserskega skeniranja ali letalskih stereoparov omogočajo klasifikacijo in modeliranje zemljiških parcel ter stavb (Chen in sod., 2009; Wurm in sod., 2011). Iz hiperspektralnih satelitskih podob je možno poleg geometrijskih pridobiti tudi druge podatke, na primer o materialih streh (Heiden in sod., 2007).

Vse zgoraj opisane metode so zajele le podatke o zunanosti objekta. Wang in Sohn (2011) sta predstavila integriran pristop k izdelavi 3D-modelov stavb iz podatkov terestričnega in aerolaserskega skeniranja ter etažnih načrtov stavb. Tako izdelan model vsebuje tako podatke o zunanosti kot tudi o notranosti stavb (Slika 5.4). Izdelan je bil v treh korakih. Najprej sta bila oblaka točk iz terestričnega in aerolaserskega skeniranja združena v enoten oblak točk v referenčnem koordinatnem sistemu. Nato so se etažni načrti združili v enoten oblak točk z namenom georeferenciranja etažnih načrtov, ki so običajno izdelani v lokalnih koordinatnih sistemih. Rezultat so vertikalno po etažah razporejeni etažni načrti, ki so pravilno prostorsko orientirani in ustrezajo velikosti prereza stavbe. Nato so lahko na podlagi etažnih načrtov preverili položaj zunanjih oken in vrat v stavbi, ki je bila od zunaj zajeta z laserskim skeniranjem. Enako velja za detajle na zunanji fasadi stavbe, na primer balkone in lože. Višino etaže se lahko pridobi iz etažnih načrtov ali računsko kot razliko med oknom v dveh sosednjih etažah. Na koncu se je dodal še model strehe, ki je bil zajet iz točk aerolaserskega skeniranja. Neskladje med podatki terestričnega in aerolaserskega skeniranja se lahko odpravi na podlagi tlorisa strehe v etažnem načrtu. To je prva raziskava o izdelavi celotnega modela stavbe na podlagi daljinskega zaznavanja, ki vključuje tudi podatke o notranosti stavbe.



Slika 5.4: Združen 3D-model stavbe s fasado in notranjimi zidovi (Wang in Sohn, 2011).

Figure 5.4: Complete 3D model of a building with facade and inner walls (Wang and Sohn, 2011).

Pri več raziskavah so se v kombinaciji s tehnikami daljinskega zaznavanja uporabili katastrski načrti ali etažni načrti (Hammoudi in sod., 2010; Wang in Sohn, 2011; Tack in sod., 2012). Katastrski načrti prikazujejo potek posestnih meja in določajo položaj zemljišč pod stavbami. Če jih dopolnimo z

zajemom podatkov iz zraka, dobimo 3D-modele stavb. Če temu dodamo še etažne načrte, model stavbe dopolnimo še z notranjimi zidovi med različnimi stanovanji oziroma poslovnimi prostori. V urbanih mestnih središčih z gosto pozidanimi visokimi stavbami je s tehnikami daljinskega zaznavanja težko zajeti stavbo kot celoto. Etažni načrti so takrat koristni, ker dopolnijo manjkajoče podatke o fasadi stavbe. Če je notranjost objekta razdeljena na prostore pravilnih oblik, se preko etažnih načrtov najhitreje pridobi podatke o notranjosti objekta.

5.3 Analiza primernosti tehnologij daljinskega zaznavanja za vzpostavitev 3D-katastra

Jazayeri in sod. (2014) so izvedli oceno metod daljinskega zaznavanja za zajem podatkov o nepremičninah in posestnih mejah. Pri pregledu raziskav so ugotovili, da je velik poudarek na zajemu zunanjih ovojev stavb, malo je raziskanega glede združevanja zunanjih in notranjih podatkov o stavbi ter še manj od združevanja podatkov o stavbah in posestnih mejah. Predstavljene so semantične in geometrijske analize različnih tehnologij glede na njihovo uporabnost v katastru. Kataster vsebuje veliko količino podatkov, ki jih je treba evidentirati. Nekateri v evidenci že obstajajo, druge pa je treba zajeti na novo. V nadaljevanju so podane predlagane metode daljinskega zaznavanja glede na vrsto katastrskih podatkov, ki jih je treba evidentirati.

Glede na visoke zahteve po natančnosti in točnosti določitve položaja, je za zajem mejnih točk najbolj primerna metoda izmera z brezpilotnimi letalnimi sistemi. Ti so se izkazali kot primerni za potrebe katastra pri številnih mednarodnih raziskavah (Manyoky in sod., 2011; Cunningham in sod., 2011; Van Hinsbergh in sod., 2013). Rezultata takšnih izmer sta običajno ortofoto in oblak točk zelo visoke ločljivosti. Ortofoto se uporabi za določitev položaja mejnih znamenj, oblak točk pa za pripadajoče višine mejnih točk. Ker so mejna znamenja majhnih dimenzij (manjši od 10 cm x 10 cm), mora biti za njihov zajem prostorska ločljivost slikovnih posnetkov čim večja. Če mejna znamenja iz posnetkov niso vidna, jih je treba pred izmero ustrezno signalizirati. Prednost zajema podatkov z brezpilotnimi letalnimi sistemi je hitra izmera velikih območij, tudi na odročnih in težko dostopnih terenih. Pri snemanju se istočasno izdelajo posnetki in oblak točk za celotno obravnavano območje. Torej se lahko podatki uporabijo tudi za zajem stavb, infrastrukture in dejanske rabe. Pred snemanjem morajo biti vse mejne točke označene z mejniki ali še dodatno ustrezno signalizirane. Slabosti take izmere pa so geometrijske ovire, ki lahko preprečijo vidnost mejnih znamenj iz zraka, npr. kapi streh, nadstreški, krošnje dreves, živa meja, grmovje, visoka trava ipd., zato metoda ni primerna za gozdnata in poraščena območja.

Dovolj podrobno prikazan model stavbe, na katerega se nanašajo pravice, omejitve in odgovornosti, omogoča evidentiranje 3D-posesti (Hao in sod., 2011). Strehe stavb se najlažje zajamejo iz zraka, ker so od tam najbolj vidne. Streho je treba zajeti trirazsežno po značilnih točkah in linijah kapi ter slemena. Pri strehi se ne zajema majhnih detajlov, kot so dimniki, žlebovi, pregrade ipd. Zajameta se izključno kap in sleme, ker to zadošča potrebam katastra. Strehe objektov so se najprej zajemale iz stereoparov letalskih posnetkov, danes pa avtomatsko iz oblakov aerolaserskega skeniranja (Pfeifer in sod., 2007; Kada in McKinley, 2009; Wang in Sohn, 2011). Aerolasersko skeniranje in fotogrametrija sta primerni za masovni zajem objektov, ker pokrivata velika območja. Če so posamezna manjša območja posneta z brezpilotnimi letalnimi sistemi, se za zajem streh uporabijo ti podatki, ker so točnejši in bolj detajlni od zajemov za velika območja. Zunanje fasade so najbolj vidne s tal, zato so za njihov zajem najprimernejši mobilni sistemi (Taneja in sod., 2012), vključno z mobilnim laserskim skeniranjem (Hammoudi in sod., 2010; Hao in sod., 2011). Iz teh podatkov je možno pridobiti razgibanost fasade, balkone, terase, atrijske in višine etaž ter terena. Omejitve so glede vidnosti, saj se na ta način lahko zajame samo tisti del stavbe, ki je viden s prometnice, po kateri se premika snemalno

vozilo. Pričakovana ocena točnosti podatkov MLS je okoli 10 cm (Jazayeri in sod., 2014), kar ustreza katastrskim zahtevam za stavbe v številnih državah. Slabost mobilnega skeniranja so visoki stroški in velika količina podatkov. Terestrično lasersko skeniranje je za potrebe katastra preveč podrobno in zamudno. Če se za posamezno stavbo določa zemljišče pod stavbo s tahimetrično izmero, potem naj se s tahimetrično izmero posamejno tudi značilni detajli na fasadi. Pri večini objektov ima fasada enak tloris kot zemljišče pod stavbo; v teh primerih poseben zajem fasade ni potreben. Na koncu se sestavi model celotne stavbe, pri čemer so v glavno pomoč etažni načrti. V 3D-model stavbe se združijo podatki o zemljišču pod stavbo, fasadi, strehi in notranjosti objekta. Sestava 3D-modela stavbe je razen priprave etažnih načrtov avtomatizirana (Wang in Sohn, 2011).

Za zajem cest so najprimernejši letalski in satelitski posnetki, ker zagotavljajo semantične in teksturne podatke, na podlagi katerih lahko razlikujemo med prometnicami in ostalimi strukturami. Za masovni zajem prometnic na velikih območjih so uporabni stereopari letalskih posnetkov. Letalske posnetke lahko uspešno nadomestijo tudi satelitske podobe visoke ločljivosti, ki pokrivajo večja območja in še vedno zagotavljajo zadostno prostorsko ločljivost za zajem podatkov (Long in Zhao, 2005; Gerke in Heipke, 2008; Weng, 2012). Mejo cestnega telesa je možno zajeti stereoskopsko, če so na voljo posnetki s prostorsko ločljivostjo od 0,25 do 0,5 m (Jensen in Cowen, 1999). Za zajem prometnic načeloma niso potrebni posnetki z večjo ločljivostjo, kot na primer posnetki, pridobljeni z brezpilotskimi letalnimi sistemi. Vendar se lahko ti na posameznih območjih vseeno uporabijo, če je bila takšna izmera že izvedena za druge namene (Gruen, 2012). Pri zajemu cest so zelo pomembne geometrične lastnosti, kot sta oblika in sestava, saj se ceste modelirajo kot neprekinjena in podolgovata homogena območja s skoraj konstantno širino (Long in Zhao, 2005). Uspešnost avtomatskih metod ovirajo »šumi«, ki jih povzročajo avti, cestne oznake, sence ipd., cestne površine so lahko tudi napačno klasificirane kot vegetacija ali vodne površine (Weng, 2012). Posnetki se lahko uspešno kombinirajo s podatki aerolaserskega skeniranja, ki zagotavljajo višinsko točne oblake točk (Elberink in Vosselman, 2009; Chen in sod., 2009; Tiwari in sod., 2009). Možna je tudi kombinacija posnetkov s podatki mobilnega laserskega skeniranja, pri čemer se sočasno ob zajemu stavb zajame tudi prometnica, po kateri se premika snemalno vozilo (Gruen, 2012). Lasersko skeniranje pripomore k lažji prepoznavi prometnic in s tem k njihovemu razlikovanju od ostalih objektov. Zato se temu primerno izboljša tudi avtomatska klasifikacija objektov (Elberink in Vosselman, 2009; Tiwari in sod., 2009). Največja ovira pri zajemu cest s tehnikami daljinskega zaznavanja je pokritost z vegetacijo in ostalimi objekti (npr. pokritost z drugimi prometnicami pri nivojskih križanjih, v predorih, pod stavbami ipd.). V teh primerih je potrebna klasična terenska metoda izmere ali pa se uporabi že obstoječe topografske ali katastrske načrte.

Vzpostavitev 3D-katastra zahteva določitev nadmorskih višin vsem zemljiškokatastrskim točkam, saj je to najmanjši možni pogoj, da uporabnik dobi informacijo o razgibanosti terena, ki ima velik vpliv na določitev vrednosti zemljišč. Po drugi strani ima prikaz topografije za uporabnike katastra številne prednosti, saj se človek pri dojemljanju prostora v veliki meri zanaša na naklone in karakteristične točke terena pri lociranju posestnih meja v prostor (Mialhe in sod., 2015). Posestne meje na kmetijskih in gozdnatih območjih običajno potekajo po naravno vidnih mejah, kot so slemena, grabni, brežine, prelomnice ipd. Za potrebe 3D-katastra se lahko digitalni sloj zemljiškega katastra združi z digitalnim modelom reliefa. Najboljša tehnika za zajem podatkov o reliefu je aerolasersko skeniranje. Če lasersko skeniranje primerjamo s stereopari letalskih posnetkov, ugotovimo, da ni ovir na območjih brez tekstur ali s ponavljajočimi teksturami, kar se običajno pojavlja na urbanih območjih (Pfeifer in sod., 2007). Velika prednost aerolaserskega skeniranja je tudi zajem reliefa na gozdnatih območjih, saj je tudi tam dovolj točk za generalizirano predstavitev digitalnega modela reliefa.

Pomemben del katastra je tudi dejanska raba zemljišč, ker močno vpliva na vrednost zemljišč in s tem na odmero nepremičninskega davka. Pri dejanski rabi je pomemben časovni atribut, ki določa časovno obdobje uporabe zemljišč, ki se s časom spreminja. Spremljanje časovnih sprememb dejanske rabe površin je zahtevano na področjih prostorskega načrtovanja, okoljskih študij, trajnostnega razvoja in kmetijske politike. Dejanska raba je pravzaprav dvorazsežen podatek, ki močno prispeva tudi k uporabnikom prijaznem 3D-katastru. Na temo klasifikacije dejanske rabe zemljišč so bile izvedene številne raziskave (Chen in sod., 2009; Weng, 2012; Mialhe in sod., 2015). Dejanska raba zemljišč se določa iz ortofota, izdelanega na podlagi letalskega ali satelitskega snemanja. Satelitske podobe imajo poleg tekstur tudi veliko spektralno ločljivost, zato omogočajo boljšo avtomatsko klasifikacijo različnih vrst rabe kot letalski posnetki. Vegetacijo se med drugim iz satelitskih podob zajame tudi s pomočjo izračuna vrednosti normiranega diferencialnega vegetacijskega indeksa (NDVI, ang. normalized difference vegetation index). Za lažjo klasifikacijo stavb se poleg posnetkov uporabljajo tudi oblaki točk laserskega skeniranja. Lidarski podatki se uspešno uporabljajo tudi za razločevanje med travnatimi površinami in grmovjem na podlagi višine vegetacije, kajti travnate površine zrastejo nižje kot grmovje (Chen in sod., 2009). Če je bila za določeno območje narejena izmera z brezpilotnimi letalnimi sistemi, potem se lahko te podatke sočasno uporabi za določitev dejanske rabe zemljišč (Manyoky in sod., 2011). Praviloma na vodnatih površinah ne pride do odboja signala, čeprav je odboj možen v plitvih in motnih vodah. Zato Chen in sod. (2009) predlagajo izračun normiranega diferencialnega vodnega indeksa (NDWI, ang. normalized difference water index) za filtriranje vodnih površin iz satelitskih podob.

5.4 Topografski podatki v Sloveniji

Topografski sistem v Sloveniji sestavljajo topografski podatki in karte, ortofoto, aerofotografije, digitalni model višin in register zemljepisnih imen. Vodi in vzdržuje ga Geodetska uprava Republike Slovenije. Za potrebe katastra so uporabni topografski podatki velikih meril. To so aerofotografije, ortofoto in topografski podatki merila 1 : 5000. Najnovejši državni podatki so oblaki točk laserskega skeniranja Slovenije in iz njih izdelan digitalni model reliefa. Podatki laserskega skeniranja so na voljo na portalu eVode, ki ga vodi Agencija Republike Slovenije za okolje. Ti podatki imajo potencial, da se lahko uporabijo za vzpostavitev 3D-katastra v Sloveniji.

V Sloveniji se je aerofotogrametrično snemanje začelo leta 1971, od leta 1985 pa se vsaka tri leta izvaja ciklično aerofotografiranje Slovenije (skrajšano CAS). Leta 2003 je bil del ozemlja prvič zajet z barvnimi posnetki, leta 2006 pa je bila prvič uporabljena veliko-formatna digitalna kamera, aerotriangulacija pa je od takrat dalje izboljšana s približnimi vrednostmi parametrov zunanje orientacije, ki so pridobljeni z meritvami GNSS in INS (ang. Inertial Navigation Systems). Ta poleg barvnih posnetkov omogoča snemanje tudi v bližnjem infrardečem spektru, kar je uporabno v kmetijstvu, gozdarstvu, hidrologiji in geologiji. Rezultat snemanja so letalski posnetki s pripadajočimi elementi zunanje orientacije. Prostorska ločljivost posnetkov je 25 cm. Položajna točnost posnetkov znaša 30 cm, višinska pa 40 cm. Radiometrična ločljivost je 24 bitov, torej po 8 bitov za rdeč, moder in zelen podatkovni sloj, pri čemer so posnetki RGB združeni. Stereopari se uporabljajo za trirazsežni zajem topografskih podatkov, evidentiranje stanja v prostoru in kot vhodni podatek za izdelavo digitalnega modela reliefa in ortofota. Iz njih so zajeti tudi tlorisi stavb v katastru stavb, ki so predstavljeni z obrisom kapi strehe in tematskimi atributi, topološko pa s ploskvijo. Vsaki stavbi se določi centroid, ki predstavlja številko stavbe v katastru stavb. Iz stereoparov se zajame tudi višina najvišje točke stavbe in karakteristična višina zemljišča ob stavbi. Stavbe so se zajemale skladno z Operativnim navodilom za zajem podatkov o stavbah (2001), ki ga je pripravila Geodetska uprava Republike Slovenije, in kasnejšimi dopolnitvami navodil. Skladno z navodili naj bi se zajemale

relativno trajne stavbe, običajno s stenami, pokrite s streho in zasnovane za določene namene uporabe, ki imajo površino večjo od 4 m² ter segajo vsaj 2 m nad zemeljsko površje. Zahtevana položajna natančnost zajema stavb je bila 50 cm. Po vzpostavitvi katastra stavb je bila izvedena ocena natančnosti tlorisov stavb s pripadajočimi višinami. Dejanski ocenjeni standardni položajni odklon tlorisa katastra stavb je znašal 0,85 m, standardni odklon višine referenčne točke stavbe pa 0,65 m (Opredelitev natančnosti v katastru stavb, 2009).

Ozemlje države je v celoti pokrito z barvnimi ortofoti s prostorsko ločljivostjo 50 cm, 95 % Slovenije pa z barvnimi ortofoti prostorske ločljivosti 25 cm ter bližnje infrardečimi ortofoti prostorske ločljivosti 50 cm. Leta 2001 je bilo državno ozemlje prvič v celoti pokrito s črno-belimi ortofoti, leta 2006 pa z barvnimi in infrardečimi ortofoti. Od leta 2009 so ortofoti izdelani v prečni Mercatorjevi projekciji, ki ustreza sistemu D96/TM, ki je tudi veljaven referenčni sistem v katastru. Prav tako so transformirani tudi v Gauss-Krügerjev koordinatni sistem D48/GK, kamor so transformirane tudi vse katastrske meritve. Ortofoto se vzdržuje v ciklih od dveh do štirih let. Ortofoto se uporablja kot osnovni sloj v geografskih informacijskih sistemih, za prostorsko načrtovanje in za pomoč pri simulacijah ter vizualizacijah prostora in dogodkov v prostoru. Uporablja se tudi v katastru kot osnova za transformacijo grafičnih katastrskih načrtov v referenčni koordinatni sistem, za kontrolo zajema stavb v katastru stavb, za zajem dejanske rabe zemljišč, za zajem gozdnih sestavov ter za nastavev katastra trajnih nasadov.

Topografski podatki merila 1 : 5000 skupaj sestavljajo DTK 5, ki je vektorska zbirka topografskih podatkov homogene natančnosti in podrobnosti. Podatki so razdeljeni na vsebinska področja, in sicer zgradbe, promet, pokritost tal in hidrografija (Slika 5.5). Zajemajo se iz najnovejših stereoparov cikličnega aerofotografiranja Slovenije, lahko pa se uporabijo tudi drugi viri. Vsi objekti se zajemajo trirazsežno. Položaj je podan v Gauss-Krügerjevem koordinatnem sistemu. Tematski atributi objektov se interpretirajo iz stereoparov CAS ali iz drugih virov. Če so kateri podatki privzeti iz drugih virov, se popravijo in lokacijsko uskladijo s podatki stereoparov. Topografske podatke DTK 5 se uporablja za določitev položaja drugih podatkov v prostoru, kot podlogo za prikaz prostorskih načrtov, za digitalno kartografijo itd. Pri stavbah se zajamejo: tloris stavbe, višina kapi, slemena in temelja ter opis, vir, metodo in datum zajema. Prometnice se ločene na ceste in železnice. Pri cestah se zajame širina ceste in vozišča ter podatki o izven nivojskih objektih na cestah, kot so: most, nadvoz, podvoz, predor, viadukt in galerija. Določijo se tudi atributi, kot so: vrsta in kategorija ceste ter datum in metoda zajema. Tudi pri železnicah je naveden podatek o izven nivojskih potekih, in sicer v nivoju terena, na mostu ali nadvozu in v predoru. Dodani so še vrsta železnice, datum in metoda zajema. Pri pokritosti tal ločimo med: gozdom, trajnim nasadom, neplodnim zemljiščem, parkom in grmičevjem ter zemljišča v posebni rabi. Pri hidrografiji se zajamejo različne vodne površine, kot so: morje, jezero, bajer, močvirje, soline, reka ter braktične vode, os vodotoka in pojavi na vodah. Povsod so na voljo tudi podatki o viru, metodi in datumu zajema.



Slika 5.5: Ortofoto in topografski podatki DTK 5 (Geodetska uprava Republike Slovenije).

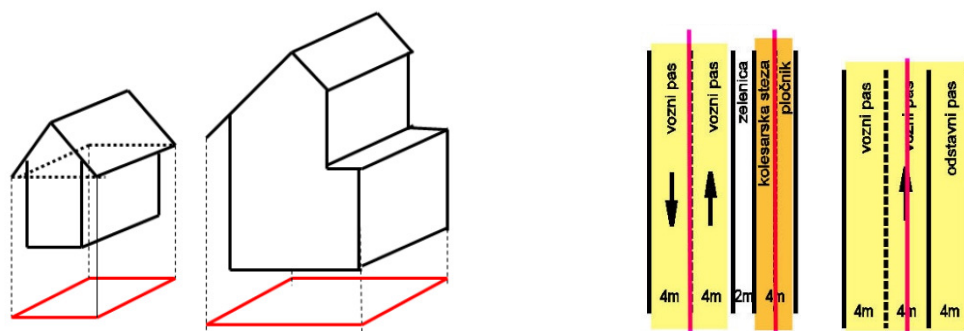
Figure 5.5: Orthophoto and topographic data of DTK 5 (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia).

Digitalni model višin 5 m × 5 m (skrajšano DMV 5) je bil izdelan iz posnetkov cikličnega aerofotografiranja, in sicer prvič leta 2006 s kasnejšimi popravki. DMV 5 pokriva celotno ozemlje države in ima ločljivost 5 m. Višinska natančnost znaša 1 m na odprtih območjih in 3 m na poraščenih območjih. Uporablja se za izvajanje prostorskih analiz in za trirazsežne predstavitve prostora ter kot osnova za izdelavo ortofota. Leta 2011 se je začel projekt Lasersko skeniranje Slovenije (skrajšano LSS) za določitev poplavnih območij, ki je bil zaključen do konca leta 2015. Z aerolaserskim skeniranjem so bili pridobljeni doslej najnatančnejši podatki o reliefu za celotno območje Slovenije, ki služijo za hidravlične analize vodnih razmer, izdelavo kart poplavne nevarnosti, simulacijo poplavnih območij, oblikovanje protipoplavnih ukrepov ter načrtovanje in urejanje prostora. Pri snemanju je bilo območje države razdeljeno na območja A, B in C glede na povprečno gostoto točk laserskega skeniranja na kvadratni meter. V območju A ležijo zemeljski plazovi in poplavno najbolj ogrožena območja, zato je tu določena gostota 10 točk/m². V tem območju je bilo izvedeno tudi aerofotografiranje za pomoč pri interpretaciji podatkov laserskega skeniranja. Za območje B je določena gostota 5 točk/m², ki omogoča izdelavo kakovostnih hidroloških in hidrotehničnih analiz. Območje C zajema visokogorje in gozdove, zato je določena gostota 2 točki/m². Rezultat državnega aerolaserskega skeniranja so trije izdelki. Prvi je georeferenciran oblak točk reliefa, pri katerem so shranjene samo točke, ki so bile klasificirane kot tla. Drugi izdelek je georeferenciran in klasificiran oblak točk, in sicer so točke klasificirane na tla, stavbe, nizko, srednjo in visoko vegetacijo. Tretji izdelek pa je digitalni model reliefa, ki je izdelan z interpolacijo oblaka točk reliefa. Digitalni model reliefa je zapisan v mrežo 1 m x 1 m. Zahtevana položajna natančnost točk pri zajemu je bila 30 cm, višinska pa 15 cm (Pegan Žvokelj in sod., 2014). Oblak točk je georeferenciran v referenčnem sistemu D96/TM, transformiran pa je tudi v sistem D48/GK.

Geodetska uprava Republike Slovenije je konec leta 2013 začela izvajati projekt posodobitve prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav, v sklopu katerega je treba zagotoviti skladnost državnih topografskih podatkov z zahtevami direktive INSPIRE (Duhovnik, 2016). INSPIRE predstavlja kratico za infrastrukturo za prostorske informacije v Evropi, ki določa pravne okvire za vzpostavitev in delovanje evropske prostorske podatkovne infrastrukture, ki predstavlja zbirko medopravilnih infrastruktur za prostorske informacije posameznih držav članic. V ta namen geodetska uprava vzpostavlja nov državni topografski model (DTM), ki vsebuje topografske

podatke DTK 5, osi elektrovodov iz zbirnega katastra GJI, digitalni model reliefa in zemljepisna imena iz registra zemljepisnih imen (Kete, 2016). Za zajem topografskih podatkov uporabljajo kombiniran fotogrametrični zajem na osnovi izdelkov Cikličnega aerofotografiranja Slovenije (CAS) in Laserskega skeniranja Slovenije (LSS). Na odprtem terenu se zaradi lažje fotointerpretacije zajem izvaja iz stereoparov CAS, na območjih, pokritih z vegetacijo, pa iz klasificiranega oblaka točk (DTM – navodila za zajem topografskih podatkov, 2015).

Stavbe se v DTM zajemajo položajno kot najširši obod stavbe, kar je enako tlorisu stavbe v katastru stavb (Slika 5.6). Pri vsaki stavbi pa se kot atribut zajamejo tudi tri nadmorske višine, in sicer nadmorska višina temelja, ki predstavlja zemljišče v neposredni bližini stavbe, višina kapi in slemena strehe. Kadar ima obod strehe na višini kapi različne nadmorske višine vogalov, se zajame pretežna nadmorska višina kapi. Kadar ima streha stavbe več slemen, se zajame nadmorska višina najvišjega slemena. Pri ravnih strehah je višina kapi in slemena enaka. Konstrukcijsko kompleksne in razgibane stavbe se zajame v več delih. Ceste se v DTM zajemajo kot linije s tematskimi atributi oznaka, kategorija, vrsta, ustroj in stanje ceste, širina cestišča in vozišča ter premostitveni objekti (brv, galerija, most, nadhod, nadvoz, podhod, podvoz, predor in viadukt). Kot ploskovni objekti se zajemajo cestne površine, kot so avtobusna in cestninska postaja, parkirišče, počivališče in razširitev ceste. Podobno kot ceste se tudi železnice zajemajo linijsko z atributi o oznaki, vrsti in kategoriji proge, številu tirov, rabi in stanju železnice ter premostitvenih objektih (galerija, most, predor in viadukt). Višinski atributi pri prometnicah niso zajeti (DTM – navodila za zajem topografskih podatkov, 2015).



Slika 5.6: Zajem stavb (levo) in cest (desno) v DTM (DTM – navodila za zajem topografskih podatkov, 2015).

Figure 5.6: Buildings (left) and roads (right) capturing in the DTM (DTM – instructions for capturing the topographic data, 2015).

V sklopu projekta se je izvedla tudi transformacija podatkov v nov državni prostorski koordinatni referenčni sistem (D96/TM). Projekt se je začel izvajati leta 2013 in bo predvidoma zaključen do konca leta 2016. Podatki v državnem topografskem modelu še niso na voljo za celotno ozemlje države, prav tako niso vsi podatki enako ažurni. Topografski podatki so se začeli zajemati že leta 2002, in sicer najprej na poseljenih območjih, zato so na teh območjih danes že zastareli. Uporabnost podatkov bosta povečali prav ažurnost in pokritost celotnega državnega ozemlja (Duhovnik, 2016).

»Ta stran je namenoma prazna.«

6 PRIMERJAVA TEHNOLOGIJ DALJINSKEGA ZAZNAVANJA ZA VZPOSTAVITEV 3D-KATASTRA NA PRAKTIČNEM PRIMERU

V tem poglavju opisujemo praktične teste različnih tehnologij daljinskega zaznavanja za zajem podatkov, ki jih lahko uporabimo pri vzpostavitvi 3D-katastra. Med seboj smo primerjali in ovrednotili zajem mejnikov, stavb in cest iz različnih izdelkov daljinskega zaznavanja. Primernost brezpilotnih letalnih sistemov za zajem mejnih znamenj smo testirali na dveh snemanjih v različnih vremenskih pogojih, ki sta bili opravljena s sistemoma različnih proizvajalcev. Za zajem značilnih točk streh stavb smo med seboj primerjali oblake točk različnih gostot, ki smo jih pridobili iz treh različnih virov, in sicer iz brezpilotnega letalnega sistema, aerolaserskega skeniranja visoke ločljivosti in državnega aerolaserskega skeniranja (Lasersko skeniranje Slovenije – LSS). Stavbe smo zajeli tudi iz stereoparov letalskih posnetkov, ki smo jih pridobili iz cikličnega aerofotografiranja Slovenije (CAS). Za zajem cest smo uporabili dva vira, in sicer oblak točk državnega aerolaserskega skeniranja in stereopar letalskih posnetkov cikličnega aerofotografiranja Slovenije. Podob satelitskega daljinskega zaznavanja nismo vključili, ker smo imeli na voljo že veliko drugih virov.

Za testno območje je bila izbrana okolica Osnovne šole Antona Tomaža Linhart v Radovljici, ki leži zahodno od avtoceste Ljubljana-Jesenice. Za to območje so bili pridobljeni obstoječi katastrski podatki iz uradnih evidenc (Slika 6.1):

- grafični sloj zemljiškega katastra, ki vsebuje podatke o mejah, parcelnih številkah, urejenih mejah in zemljiščih pod stavbo ter
- sloj tlorisov katastra stavb, ki vsebuje tlorise katastra stavb in številke stavb.

Testno območje je bilo vključeno v novo izmero v merilu 1 : 1000, zato imajo vse zemljiškokatastrske točke položajne koordinate določene v takrat veljavnem Gauss-Krügerjevem koordinatnem sistemu. Nekatere točke imajo določeno tudi nadmorsko višino. Na testnem območju leži del avtoceste Ljubljana-Jesenice, priključek na avtocesto, lokalna cesta, nakupovalni center, osnovna šola, športni stadion in enostanovanjske hiše.

Poleg katastrskih podatkov so bili za to testno območje pridobljeni tudi naslednji državni topografski podatki:

- ortofoto prostorske ločljivosti 50 cm, ki ga je za študijske namene posredovala Geodetska uprava Republike Slovenije;
- stereopar letalskih posnetkov cikličnega aerofotografiranja Slovenije z elementi zunanje orientacije, ki ga je za študijske namene posredovala Geodetska uprava Republike Slovenije;
- georeferenciran in klasificiran oblak točk državnega aerolaserskega skeniranja, pridobljen s spletnega portala eVode, ki ga vodi Agencija Republike Slovenije za okolje, s povprečno gostoto 5 točk/m².



Slika 6.1: Testno območje v Radovljici z grafičnim slojem zemljiškega katastra (zeleno) in katastra stavb (oranžno) (Geodetska uprava Republike Slovenije).

Figure 6.1: The Radovljica testing area covered with graphical layer of Land Cadastre (green) and Building Cadastre (orange) (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia).

Na testnem območju so bile z namenom pridobitve dodatnih podatkov opravljene še naslednje fotogrametrične izmere:

- aerolasersko skeniranje visoke ločljivosti s povprečno gostoto 40 točk/m², ki ga je izvedlo podjetje Flycom d. o. o.;
- snemanje z brezpilotnim letalnim sistemom podjetja Modri planet d. o. o., katerega rezultat sta bila fotogrametrični oblak točk zelo visoke ločljivosti s povprečno gostoto 170 točk/m² in ortofoto prostorske ločljivosti 2 cm;
- snemanje z brezpilotnim letalnim sistemom podjetja Geavis d. o. o., katerega rezultat sta bila fotogrametrični oblak točk zelo visoke ločljivosti s povprečno gostoto 350 točk/m² in ortofoto prostorske ločljivosti 3cm.

Kakovost podatkov, pridobljenih z zajemom iz različnih izdelkov fotogrametričnih tehnologij, se je ocenila na podlagi primerjave z referenčnim virom visoke natančnosti in točnosti. Referenčni podatek so predstavljale prostorske koordinate mejnih znamenj in značilnih točk strehe, ki smo jih pridobili z GNSS- in tahimetrično izmero na testnem območju. Koordinate mejnih znamenj in točk geodetske mreže so bile določene z RTK-metodo (ang. real time kinematic) GNSS-izmere v realnem času, pri čemer je bilo vsako mejno znamenje in poligonska točka izmerjena dvakrat neodvisno s 100 epohami. Značilne točke streh, ki jih določajo slemena in kapi streh, so bile zajete s tahimetrično izmero brez prizme, in sicer z uporabo laserja pri merjenju poševnih razdalj. Ocenjena absolutna točnost GNSS-izmere v kombinaciji s tahimetrično metodo izmere znaša okrog 5 cm.

Koordinatni sistem D96/TM je veljaven sistem za evidentiranje katastrskih podatkov, čeprav so bili v preteklosti uporabljeni tudi drugi koordinatni sistemi (D48/GK, lokalni sistemi). GNSS-izmera in vse fotogrametrične izmere so bile zato opravljene v referenčnem sistemu D96/TM, višine točk so bile nadmorske. Prav tako so bili v koordinatnem sistemu D96/TM pridobljeni tudi državni topografski podatki. Katastrski podatki na testnem območju so bili popolnejši v sistemu D48/GK, zato so bili ti transformirani v sistem D96/TM, ki je sorazmerno nov sistem in so v njem izvorno evidentirane samo nekatere novejšje katastrske izmere.

Za izračun korena srednjega kvadratnega pogreška RMSE (angl. root mean square error) točk, to je mejnih znamenj in značilnih točk streh, po posameznih koordinatnih oseh so bile uporabljene enačbe:

$$RMSE(e) = \sqrt{\frac{\sum \Delta e^2}{N}}, \quad RMSE(n) = \sqrt{\frac{\sum \Delta n^2}{N}}, \quad RMSE(H) = \sqrt{\frac{\sum \Delta H^2}{N}},$$

kjer je N število točk, e položaj točke v smeri vzhod - zahod, n položaj točke v smeri sever – jug in H nadmorska višina točke.

6.1 Zajem mejnih znamenj

Za zajem mejnih znamenj smo izvedli dve snemanji z uporabo različnih brezpilotnih letalnih sistemov. Prvo snemanje je izvedlo podjetje Modri planet d. o. o., drugo snemanje pa podjetje Geavis d. o. o. (Preglednica 6.1). Snemanji, ki smo jih izvedli v obdobju 4 mesecev, sta se med seboj razlikovali v vremenskih pogojih in signalizaciji mejnih znamenj. Pri prvem snemanju z dne 10. 5. 2014 so bila mejna znamenja signalizirana, ampak je snemanje oteževal veter. Drugo snemanje z dne 16. 9. 2014 je potekalo v ugodnih vremenskih pogojih, vendar mejnih znamenj tokrat nismo signalizirali. Položaj mejnikov na testnem območju je prikazan na Slikah 6.2 in 6.3.

Obdelavo snemanj so izvedli v podjetjih Modri planet d. o. o. in Geavis d. o. o. ter nam posredovali rezultate, ki so bili v obeh primerih fotogrametrični oblaki točk in ortofoti zelo visoke ločljivosti. Cilj je bil oceniti kakovost določitve položaja mejnikov, pri čemer so se mejniki položajno zajeli z ortofota, višinsko pa iz oblaka točk. Referenčni podatek za oceno kakovosti je bila GNSS-izmera identičnih mejnih znamenj. Kot mejno vrednost položajnega odstopanja za še sprejemljiv rezultat smo izbrali 4 cm, kar določa Pravilnik o urejanju mej ter spreminjanju in evidentiranju podatkov v zemljiškem katastru (Uradni list RS, št. 8/2007 in 26/2007), ki v 35. členu opredeljuje natančnost koordinat zemljiškokatastrskih točk kot »daljšo polos standardne elipse zaupanja v koordinati točke.« Takšno točnost določitve položaja zemljiškokatastrskih točk mora zagotavljati terenska izmera, kamor spadata GNSS- in tahimetrična metoda izmere. Postavili smo si vprašanje, ali je z brezpilotnim letalnim sistemom možen zajem mejnih znamenj s kakovostjo, ki je primerljiva z GNSS- in tahimetrično metodo izmere.

Preglednica 6.1: Tehnične karakteristike uporabljenih brezpilotnih letalnih sistemov po podatkih proizvajalcev.
Table 6.1: Technical characteristics of the applied unmanned aerial systems according to data, provided by manufacturers.

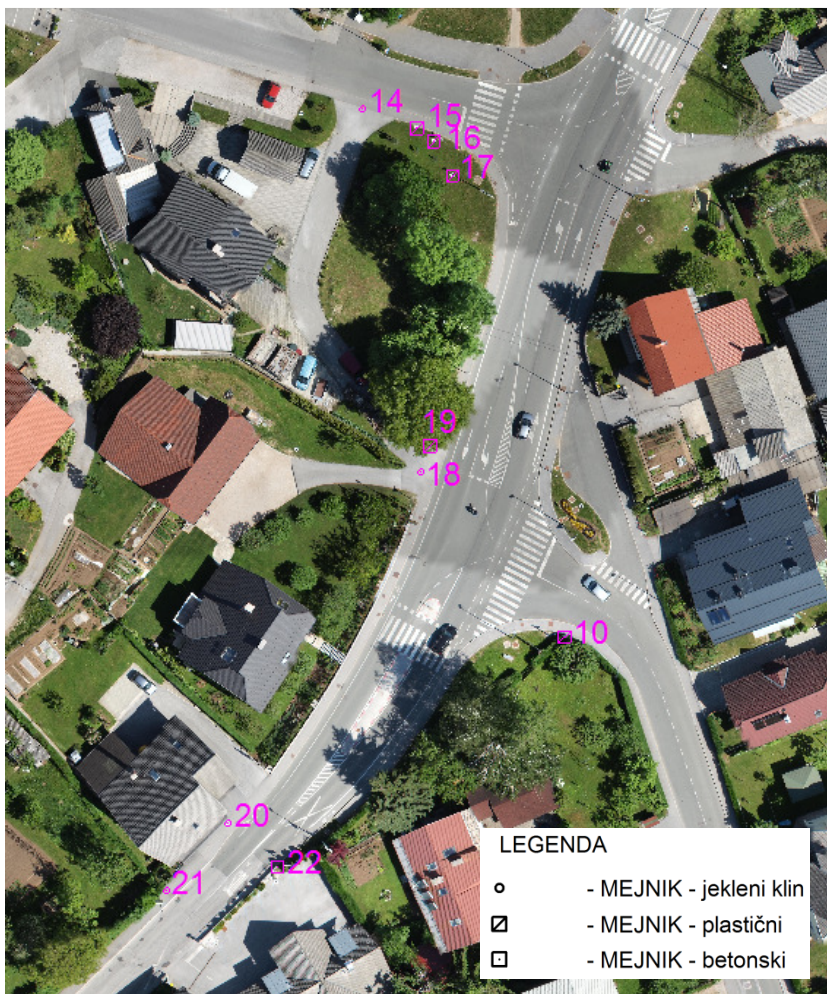
Podatki	Kvadrokopter Microdrones MD4-1000 (Modri planet d. o. o.)	Letalnik eBee senseFly (Geavis d. o. o.)
Masa letalnika	2650 g	690 g
Največja horizontalna hitrost	15 m/s	25 m/s
Trajanje leta z eno baterijo	88 min	50 min
Baterija	22.2 V, 1220 mAh	11.1 V, 2150 mAh
Največji sunki vetra	do 6 m/s	do 12 m/s
Premer med osema rotorja	103 cm	96 cm

Za zagotovitev večje točnosti absolutnega položaja so bile sočasno izmerjene tudi oslonilne točke. Te so bile enakomerno razporejene na celotnem testnem območju. Označene so bile s posebnimi tarčami, ki so bile uporabljene tudi za signalizacijo mejnih znamenj. Položaj oslonilnih točk je bil določen z RTK metodo GNSS-izmere, pri čemer so se točke izmerile dvakrat neodvisno na 100 epoh.



Slika 6.2: Mejna znamenja na severnem delu testnega območja (ortofoto: Modri planet d. o. o.).

Figure 6.2: The boundary marks on the northern part of the testing area (orthophoto: Modri planet Ltd.).



Slika 6.3: Mejna znamenja na južnem delu testnega območja (ortofoto: Modri planet d. o. o.).

Figure 6.3: The boundary marks on the southern part of the testing area (orthophoto: Modri planet Ltd.).

6.1.1 Snemanje z brezpilotnim letalnim sistemom v vetrovnih pogojih

Prvo snemanje z brezpilotnim letalnim sistemom je izvedlo podjetje Modri planet d. o. o. dne 10.5.2014. Fotoaparatus Olympus E-P2 s fiksnim objektivom in goriščno razdaljo 17 mm, ki ima senzor dimenzij 18 mm × 13,5 mm in geometrično ločljivost 12 milijonov slikovnih točk, je bil pritrjen na kvadrokopter MD4-1000, nemškega proizvajalca Microdrones. Brezpilotni letalni sistem je letel na višini 80 m s hitrostjo 4,5 m/s. V času trajanja snemanja približno 23 minut je sistem posnel 98 posnetkov, katerih prostorska ločljivost je bila približno 2 cm. Istočasno se je izvajalo aerolasersko skeniranje, katerega rezultat je bil fotogrametrični oblak točk z ločljivostjo povprečno 170 točk/m². Pred izmero so bili mejniki signalizirani. Za signalizacijo so bile uporabljene tarče in oznake s sprejem (Slika 6.4 in 6.5). Ozračje je bilo vetrovno, zato je bilo snemanje rahlo oteženo.



Slika 6.4: Signaliziranje plastičnih mejnikov: s sprejem označena kapa mejnika (levo) in okolica mejnika (sredina) ter označba s tarčo (desno) (ortofoto: Modri planet d. o. o.).

Figure 6.4: Signalization of plastic boundary marks: colour marked boundary mark (left), the area around the boundary mark (centre) and the target designation (right) (orthophoto: Modri planet Ltd.).



Slika 6.5: Signaliziranje jeklenih klinov: s sprejem označeni dve črti (levo) in krog (sredina) na asfaltu ter označba s tarčo (desno); (ortofoto: Modri planet d. o. o.).

Figure 6.5: Signalization of steel boundary marks: the two lines (left) and the circle (centre) colour marked on the asphalt and the target designation (right) (orthophoto: Modri planet Ltd.).

Mejnike smo ročno zajeli z ortofota, pri čemer nam je za prepoznavo služila ustrezna signalizacija. Rezultati zajema mejnikov so prikazani v Preglednici 6.2. Mejna vrednost za točnost položaja mejnih točk skladno s slovensko zakonodajo znaša 4 cm (Pravilnik o urejanju mej ..., 2007). Z rdečo so označene vrednosti odstopanj, ki presegajo mejno vrednost. V preglednici so navedeni tudi označba mejnih znamenj, signalizacija in razlogi za slab rezultat. Položajna odstopanja koordinat mejnih znamenj so v večini primerov presegala mejno vrednost, zato se višine iz fotogrametričnega oblaka točk niso zajemale. V zemljiškem katastru je pomembno, da vsaka zemljiškokatastrska točka zadošča točnosti, ki je predpisana v zakonodaji. Skupni RMSE (e) znaša 5 cm, RMSE (n) pa 3 cm. Rezultat je slabši od točnosti terenske izmere, vendar lahko sklepamo, da je vzrok v vetrovnemu vremenu.

Preglednica 6.2: Odstopanja koordinat mejnikov od referenčnih vrednosti pri izmeri z brezpilotnim letalnim sistemom podjetja Modri planet d. o. o.

Table 6.2: Positional deviations of the boundary marks from the reference values captured while using the UAS of the Modri planet Ltd.

Mejnik	Δe [m]	Δn [m]	Označba	Signalizacija	Razlog za slab rezultat
1	ni viden		jekleni klin	/	mejnik pod streho
2	0,04	0	jekleni klin	tarča	
3	0	0,02	robnik	sprej - črta	
4	0,03	0,03	robnik	sprej - črta	
5	ni viden		jekleni klin	/	mejnik ob objektu
6	0,06	0	plastični mejnik	sprej – okolica	veter
7	0,02	0,04	plastični mejnik	sprej – kapa	
8	0,03	0,02	plastični mejnik	sprej – kapa	
9	0,03	0,03	plastični mejnik	sprej – kapa	
10	ni viden		plastični mejnik		mejnik v živi meji
11	0,06	-0,05	plastični mejnik	sprej – okolica	veter
12	0,03	-0,05	plastični mejnik	sprej – okolica	veter
13	0,03	-0,05	plastični mejnik	tarča	veter
14	0,06	0,02	jekleni klin	sprej – dve črti	veter, slaba signalizacija
15	0,06	0,04	plastični mejnik	tarča	veter
16	0,06	0,04	plastični mejnik	tarča	veter
17	0,07	0,02	plastični mejnik	tarča	veter
18	0,1	0	jekleni klin	sprej – dve črti	veter, slaba signalizacija
19	0,08	0,03	plastični mejnik	tarča	mejnik pod drevesom
20	0,01	-0,02	jekleni klin	tarča	
21	0,07	-0,06	jekleni klin	sprej - krog	veter
22	0,06	-0,03	betonski mejnik	sprej	veter, senca



Slika 6.6: Primera slabe vidljivosti točk pri betonskem mejniku zaradi sence (levo) in pri tarči zaradi drevesne krošnje (desno) (ortofoto: Modri planet d. o. o.).

Figure 6.6: Two examples of poor visibility of the concrete boundary mark due to shade (left) and poor visibility of the target due to treetop (right) (orthophoto: Modri planet Ltd.).

Istočasno smo izvedli še analizo vidnosti in signalizacije mejnikov. Prepoznavnost mejnikov je najboljša, če so označeni s tarčo. Označba s sprejemom je dobra na asfaltu in slabša na travi. Če so s sprejemom označene le kape plastičnih mejnikov (7, 8 in 9), je prepoznavnost težka. Če je mejno znamenje klin, je krog okoli mejnika (21) boljše signalizacije kot dve pravokotni črti (14 in 18). Črti namreč nista nedvoumna signalizacija, ker se ne ve, ali je mejnik dejansko na notranji ali zunanji strani črte. Zajem

mejniki ni bil možen v neposredni bližini strehe (1), tik ob objektu (5) in v živi meji (10). Zajem je bil kljub signalizaciji s tarčo (19) močno otežen pod krošnjo drevesa, ker zaradi slabe vidnosti ni bila možna določitev centra tarče. Zajem je bil zaradi sence otežen tudi pri betonskem mejniku (22), čeprav je bil označen s sprejem (Slika 6.6).

6.1.2 Snemanje z brezpilotnim letalnim sistemom v stabilnih vremenskih pogojih

Drugo snemanje z brezpilotnim letalnim sistemom je izvedlo podjetje Geavis d.o.o dne 16.9.2014. Snemanje je bilo izvedeno z brezpilotnim sistemom eBee, ki je sestavljen iz brezpilotnega letalnika eBee, kontrolne postaje eMotion in programa za obdelavo posnetkov PostFlight Terra 3D. Na brezpilotni letalnik, ki je letel na višini 100 metrov, je bil pritrjen fotoaparatus Canon IXUS 127 HS. V približno 30 minutnem snemanju je bilo posnetih 796 posnetkov, katerih prostorska ločljivost je znašala 3 cm. Sočasno je bil z aerolaserskim skeniranjem izdelan tudi fotogrametrični oblak točk gostote 350 točk/m². Vremenske razmere so bile tokrat stabilne. V tem primeru mejniki niso bili signalizirani, vendar so se nekatere oznake s sprejem na asfaltu ohranile (Slika 6.7). Pri plastičnih mejnikih na travi prepoznavna brez tarč ni bila možna, če nisi prej vedel približnega položaja mejnika. Ker je bil približen položaj mejnih točk vnaprej znan, je bil zajem nekaterih mejnikov vseeno možen (Slika 6.8).



Slika 6.7: Od prejšnjega snemanja vidna signalizacija jeklenih klinov s sprejem (levo in sredina) in nesignaliziran jekleni klin, ki ne omogoča zajema (desno) (ortofoto: Geavis d. o. o.).

Figure 6.7: Steel boundary mark signalization, visible from the previous survey (left and centre) and unmarked steel boundary mark that cannot be captured (right) (orthophoto: Geavis Ltd.).



Slika 6.8: Zajem nesignaliziranih plastičnih mejnikov na travi in betonskega mejnika (desno) (ortofoto: Geavis d. o. o.).

Figure 6.8: Capturing of unmarked plastic boundary marks on the grass and capturing of concrete boundary mark (right) (orthophoto: Geavis Ltd.).

Tudi v tem primeru smo mejnikom najprej določili položaj, tako da smo jih ročno zajeli z ortofota. Rezultati zajema mejnikov so prikazani v Preglednici 6.3. Položajna odstopanja ne presegajo mejne vrednosti za točnost položaja mejnih točk po slovenski zakonodaji, ki znaša 4 cm (Pravilnik o urejanju mej ..., 2007). Višine točk so bile določene na podlagi točk v fotogrametričnem oblaku iz neposredne bližine mejnika. V preglednici so navedeni tudi označba mejnih znamenj in signalizacija. Skupni RMSE (e) in RMSE (n) znašata 1 cm, višinski RMSE (H) pa 9 cm. Položajni točnosti ustrezata kakovosti GNSS- in tahimetrične metode izmere. Iz rezultatov je razvidno, da je treba predhodno mejnike ustrezno signalizirati, drugače izmera večine mejnikov ni možna. Zajem ni bil možen na asfaltu pri neoznačenih jeklenih klinih (1, 2, 5 in 20) ter s travo prekritih plastičnih mejnikih (7-13, 15 in 19). Pri ostalih plastičnih mejnikih pa je bilo treba vnaprej vedeti, kje približno se mejnik nahaja.

Preglednica 6.3: Odstopanja koordinat mejnikov od referenčnih vrednosti pri izmeri z brezpilotnim letalnim sistemom podjetja Geavis d. o. o.

Table 6.3: Positional deviations of the boundary marks from the reference values captured while using the UAS of the Geavis Ltd.

Mejnik	Δe [m]	Δn [m]	ΔH [m]	Označba	Signalizacija
1	ni viden			/	/
2	ni viden			jekleni klin	/
3	0	-0,02	0,03	robnik	/
4	0,02	0	0,15	robnik	/
5	ni viden				/
6	0,01	0,01	0,15	plastični mejnik	/
7	ni viden			plastični mejnik	/
8	ni viden			plastični mejnik	/
9	ni viden			plastični mejnik	/
10	ni viden				/
11	ni viden			plastični mejnik	/
12	ni viden			plastični mejnik	/
13	ni viden			plastični mejnik	/
14	-0,03	0,02	0,04	jekleni klin	sprej od prejšnjic – dve črti
15	ni viden			plastični mejnik	/
16	0,01	-0,01	0,06	plastični mejnik	/
17	0,01	-0,01	0,03	plastični mejnik	/
18	0	-0,01	0,1	jekleni klin	sprej od prejšnjic – dve črti
19	ni viden			plastični mejnik	/
20	ni viden			jekleni klin	/
21	-0,01	-0,02	0,02	jekleni klin	sprej od prejšnjic - krog
22	0	-0,01	-0,07	betonski mejnik	/

6.1.3 Primerjava rezultatov

Vremenske razmere imajo velik vpliv na kakovost izmere z brezpilotnim letalnim sistemom. Veter poslabša rezultate, zato je treba za zagotovitev visoke točnosti rezultatov meritve opraviti v stabilnih vremenskih razmerah. Izmera pri ugodnih vremenskih pogojih je ustrezna kakovosti GNSS- in tahimetrične metode izmere. Izmera ni mogoča pri geometrijskih ovirah, kot so strehe, objekti in vegetacija. Predhodno je treba mejnike signalizirati, pri čemer morajo biti signali nedvoumni in jasni. Za primeren način signalizacije so se izkazale tarče ali označba s krogom, če tarč ni na voljo. V

takšnih primerih je določitev položajnih koordinat pri ročnem zajemu mejnikov najbolj zanesljiva. Zgornji rezultati torej potrjujejo, da je zajem zemljiškokatastrskih točk z brezpilotnimi letalnimi sistemi primerljiv dosedanjim postopkom izmere z GNSS-tehnologijo in tahimetri. Pogoj je, tako kot pri vseh tehnologijah daljinskega zaznavanja, vidnost zemljiškokatastrskih točk, kar dosežemo z ustrežno signalizacijo točk. Prednost izmere z brezpilotnimi letalnimi sistemi je v množičnem zajemu točk v kratkem času, zato je metoda primerna za izvajanje obsežnih katastrskih izmer, kot so komasacije, nove izmere, izmere dolžinskih objektov itd. Sočasno z izmero zemljiškokatastrskih točk zajamemo tudi veliko topografskih podatkov, ki jih lahko koristno uporabimo v druge namene, in sicer za izdelavo geodetskih načrtov, državnih in občinskih prostorskih načrtov, evidentiranje stavb in prometnic, izdelavo digitalnega modela reliefa in površja itd.

6.2 Zajem streh stavb

Položaj značilnih točk kapi in slemen streh je bil predhodno določen s pomočjo tahimetrične izmere. Za strehe je značilno, da imajo slabo definirane robove, zato je natančnost tahimetrične izmere kot referenčnega vira okoli 10 cm. Poševne razdalje se merijo lasersko brez uporabe prizme. Pri gladkih in svetlečih materialih streh lahko pride do večkratnega odboja laserskega žarka, ki je vzrok grobih napak v določitvi položajev kapi in slemen. Prav tako je izmera streh s tahimetrično metodo dolgotrajna, ker z enega stojišča ni možno posneti cele strehe. Pri visokih objektih je tahimetrična izmera zaradi slabe vidnosti streh s tal skoraj nemogoča. Prednost aerolaserskega skeniranja in letalskih posnetkov pred tahimetrično izmero je dobra vidnost streh na celotnem območju, hiter zajem in visoka točnost. Za zajem streh stavb smo testirali štiri različne vrste podatkov: fotogrametrični oblak točk, pridobljen z brezpilotnim letalnim sistemom, fotogrametrična oblaka točk aerolaserskega skeniranja različne ločljivosti in stereopar letalskih posnetkov. Referenčni podatek je predstavljala tahimetrična izmera identičnih točk streh na testnem območju. V ta namen je bilo izbranih 30 značilnih točk streh na celotnem testnem območju (Slika 6.9). Obravnavane so bile ravne strehe, dvokapnice in dvokapnice s čelnim čopom. Zastavili smo si vprašanje, ali je možno s tehnologijami daljinskega zaznavanja zajeti strehe stavb za potrebe 3D-katastra. Cilj je izbrati najprimernejšo metodo, ki omogoča masovni zajem objektov, vendar vseeno zadošča potrebam po kakovosti podatkov. Kakovost se je ponovno določila na podlagi odstopanj RMSE po posameznih koordinatnih oseh.

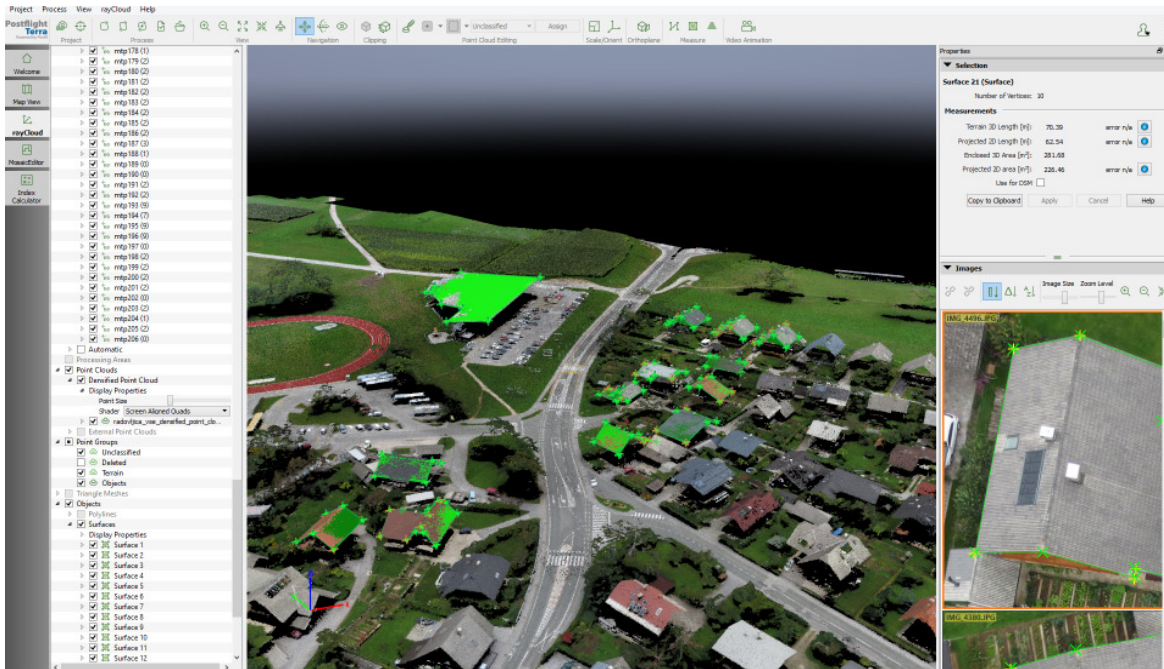


Slika 6.9: Značilne točke streh na testnem območju v Radovljici (ortofoto: Geodetska uprava Republike Slovenije).

Figure 6.9: Characteristic points of roofs on the Radovljica testing area (orthophoto: Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia).

6.2.1 Fotogrametrični oblak točk, pridobljen z brezpilotnim snemalnim sistemom

Podatke, s katerimi smo zajeli zemljiškokatastrske točke, smo uporabili tudi za zajem streh. Zaradi večje točnosti smo se odločili uporabiti podatke podjetja Geavis d. o. o., ki je snemanje izvedlo z letalnim sistemom eBee švicarskega proizvajalca senseFly. Za zajem točk streh je bil uporabljen klasificiran fotogrametrični oblak točk zelo visoke ločljivosti 350 točk/m^2 . Zajem značilnih točk streh smo opravili v prostorih podjetja Geavis d. o. o. s programsko opremo podjetja senseFly PostFlight Terra 3D (Slika 6.10). Za večjo točnost zajema iz fotogrametričnega oblaka točk so v program vključeni tudi letalski posnetki, na podlagi katerih lažje določimo posamezne vogale streh (Slika 6.10, desno spodaj). Rezultat zajema je bila datoteka s koordinatami značilnih točk streh, vključno z nadmorsko višino. Te smo primerjali z referenčnimi vrednostmi in dobili odstopanja značilnih točk streh, ki so prikazana v Preglednici 6.4.



Slika 6.10: Zajem značilnih točk streh s klasificiranega oblaka točk zelo visoke ločljivosti (Geavis d. o. o.).
Figure 6.10: Characteristic points of roofs captured from the classified very high density point cloud (Geavis Ltd.).

Skupni RMSE (e) pri izmeri streh s fotogrametričnega oblaka točk zelo visoke ločljivosti, ki je bil pridobljen z brezpilotnim letalnim sistemom, znaša 22 cm, skupni RMSE (n) pa 11 cm. Višinski RMSE (H) znaša 26 cm. Če primerjamo rezultate pri slemenih in kapeh, znašajo odstopanja RMSE pri slemenih 12 cm in 13 cm položajno ter 24 cm višinsko. Odstopanja RMSE pri kapeh so 26 cm in 9 cm položajno ter 28 cm višinsko. Pri odstopanjih ni razlik med kapmi in slemeni. Posamezne značilne točke streh so zelo nehomogene točnosti. Nekatere dosegajo točnost, ki je primerljiva tahimetrični izmeri (3, 4, 6, 18, 19, 24 in 27), spet druge precej odstopajo od referenčnih vrednosti (1, 8, 10, 14, 15, 17 in 26). Posamezna velika odstopanja bi se lahko izboljšalo z dodatnimi algoritmi, ki zagotavljajo geometrične pogoje za obliko strehe, to so: vzporednost slemena in kapi, pravokotnost kapi, stalen naklon strehe, enaka višina točk na liniji kapi in slemena itd. Ti algoritmi pri zajemu točk niso bili uporabljeni. V nadaljevanju bomo rezultate brezpilotnega letalnega sistema primerjali z aerolaserskim skeniranjem.

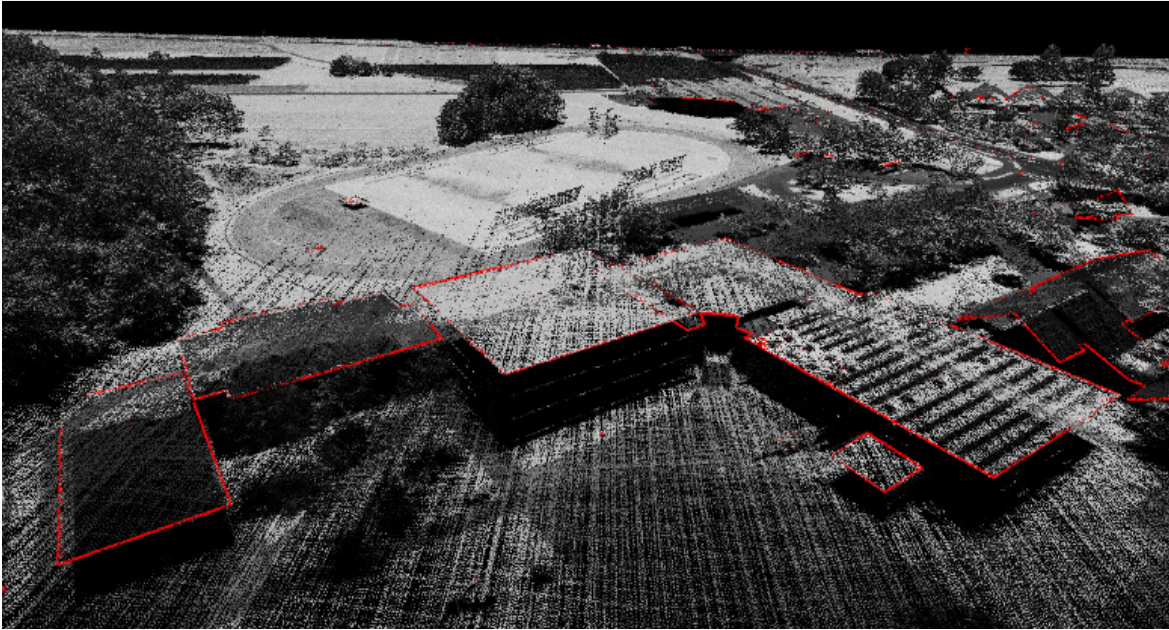
Preglednica 6.4: Odstopanja koordinat značilnih točk strehe od referenčnih vrednosti pri izmeri z brezпилotnim letalnim sistemom podjetja Geavis d. o. o.

Table 6.4: Positional deviations of the characteristic roof points from the reference values captured while using the UAS of the Geavis Ltd.

Točka	Δe [m]	Δn [m]	ΔH [m]	Značilna točka	Tip strehe
1	-0,14	-0,05	-0,34	kap	ravna
2	-0,17	-0,05	0,08	kap	ravna
3	0,07	0,01	-0,01	kap	ravna
4	0,02	-0,02	-0,05	sleme	dvokapnica
5	-0,16	0	-0,21	sleme	dvokapnica
6	-0,02	0,04	0,06	kap	dvokapnica
7	-0,17	-0,01	0,03	kap	dvokapnica
8	-0,74	-0,02	-0,17	kap	dvokapnica
9	0,04	0,11	0,16	kap	dvokapnica
10	-0,12	0	0,49	kap	dvokapnica
11	-0,09	-0,06	0,16	kap	dvokapnica s čelnim čopom
12	-0,12	-0,11	-0,04	sleme	dvokapnica s čelnim čopom
13	-0,11	-0,01	0,28	kap	dvokapnica s čelnim čopom
14	0,13	-0,32	-0,59	sleme	dvokapnica s čelnim čopom
15	-0,72	-0,33	0,83	kap	dvokapnica
16	-0,11	-0,03	0,17	sleme	dvokapnica
17	0,19	0,12	0,24	kap	dvokapnica
18	-0,03	0,1	0,04	sleme	dvokapnica
19	0,06	-0,04	0,09	kap	dvokapnica
20	-0,07	0,04	-0,39	sleme	dvokapnica
21	0,04	-0,01	0,16	kap	dvokapnica
22	0,07	0,03	-0,18	sleme	dvokapnica
23				kap	dvokapnica
24	0,07	-0,01	-0,02	kap	dvokapnica
25	0,05	-0,02	0,19	kap	dvokapnica
26	-0,25	-0,2	-0,01	sleme	dvokapnica
27	0,01	-0,02	0	kap	dvokapnica
28	0,03	-0,04	-0,19	sleme	dvokapnica
29	0,06	0,12	0,05	sleme	dvokapnica
30	0,07	0	0,19	kap	dvokapnica

6.2.2 Fotogrametrični oblak točk, pridobljen z aerolaserskim skeniranjem visoke ločljivosti

Za zajem točk streh smo uporabili oblak točk aerolaserskega skeniranja, ki ga je izvedlo podjetje Flycom d. o. o. s skenerjem Riegl LMS-Q780 na dan 11.8.2014. Snemanje je bilo izvedeno na višini 1200 m s tremi vzdolžnimi in dvema prečnima preletoma. Frekvenca zajema je bila maksimalna. Gostota točk je bila približno 40 točk/m². Izvedli smo zajem identičnih značilnih točk streh na testnem območju s programskim orodjem RiScan Pro (Slika 6.11) in jih primerjali z referenčnimi vrednostmi. Odstopanja značilnih točk na strehah se prikazana v Preglednici 6.5.



Slika 6.11: Oblak točk aerolaserskega skeniranja visoke ločljivosti 40 točk/m² (Flycom d. o. o.).

Figure 6.11: High density point cloud obtained from airborne laser scanning with density of 40 points/m² (Flycom Ltd.).

Skupni RMSE (e) pri zajemu značilnih točk streh iz fotogrametričnega oblaka točk aerolaserskega skeniranja znaša 21 cm, skupni RMSE (n) pa 16 cm. Višinski RMSE (H) znaša 20 cm. Če primerjamo rezultate pri slemenih in kapeh, znašajo odstopanja RMSE pri slemenih 16 cm in 17 cm položajno ter 23 cm višinsko. Odstopanja RMSE pri kapeh so 24 cm in 16 cm položajno ter 17 cm višinsko. Pri odstopanjih ni razlik med kapmi in slemen. Kakovost je slabša kot pri tahimetrični izmeri in rezultati so nehomogene točnosti, ki je posledica netočno definiranih posameznih robov streh. Razlog je omejeno število točk v fotogrametričnem oblaku, za katere ni nujno, da predstavljajo točen potek linije kapi ali slemen streh.

Preglednica 6.5: Odstopanja koordinat značilnih točk strehe od referenčnih vrednosti pri aerolaserskem skeniranju visoke ločljivosti 40 točk/m².

Table 6.5: Positional deviations of the characteristic roof points from the reference values captured while using the airborne laser scanning with high density of 40 points/m².

Točka	Δe [m]	Δn [m]	ΔH [m]	Značilna točka	Tip strehe
1	-0,11	-0,19	-0,05	kap	ravna
2	0,04	-0,2	-0,09	kap	ravna
3	0,5	0,1	-0,28	kap	ravna
4	-0,05	-0,06	-0,04	sleme	dvokapnica
5	-0,06	-0,12	-0,03	sleme	dvokapnica
6	-0,01	-0,1	-0,1	kap	dvokapnica
7	0,09	-0,01	-0,16	kap	dvokapnica
8	-0,58	0,27	-0,18	kap	dvokapnica
9	0,11	-0,02	-0,04	kap	dvokapnica
10	-0,01	-0,25	0,01	kap	dvokapnica
11	0,13	-0,19	-0,3	kap	dvokapnica s čelnim čopom
12	-0,05	0,1	-0,02	sleme	dvokapnica s čelnim čopom
13	-0,04	0,24	-0,12	kap	dvokapnica s čelnim čopom
14	-0,04	-0,03	-0,71	sleme	dvokapnica s čelnim čopom
15	0,08	0,08	-0,06	kap	dvokapnica
16	0,17	-0,19	-0,04	sleme	dvokapnica
17	0,51	0,08	0,44	kap	dvokapnica
18	0,14	-0,32	-0,1	sleme	dvokapnica
19	0,14	-0,25	-0,13	kap	dvokapnica
20	-0,48	-0,23	-0,2	sleme	dvokapnica
21	0,07	0,12	-0,11	kap	dvokapnica
22	0,08	-0,1	-0,12	sleme	dvokapnica
23	-0,01	-0,13	-0,09	kap	dvokapnica
24	-0,25	-0,12	-0,04	kap	dvokapnica
25	0,05	-0,08	-0,09	kap	dvokapnica
26	-0,03	-0,17	-0,02	sleme	dvokapnica
27	-0,1	0,02	-0,17	kap	dvokapnica
28	-0,02	-0,2	-0,15	sleme	dvokapnica
29	0,03	-0,06	-0,03	sleme	dvokapnica
30	0,04	-0,12	-0,04	kap	dvokapnica

6.2.3 Fotogrametrični oblak točk, pridobljen z državnim aerolaserskim skeniranjem

Za zajem točk streh je bil uporabljen georeferenciran in klasificiran fotogrametrični oblak točk državnega aerolaserskega skeniranja. Snemanje se je izvedlo v okviru projekta Lasersko skeniranje Slovenije (skrajšano LSS), ki je bilo zaključeno konec leta 2015. Območje države je bilo razdeljeno na tri podobmočja, znotraj katerih so bile glede na potrebe točnosti DMR-ja različne gostote snemanja. Testno območje Radovljica leži v podobmočju B, ki ima povprečno gostoto 5 točk/m². Ponovno smo izvedli zajem identičnih značilnih točk streh na testnem območju s programskim orodjem RiScan Pro (Slika 6.12) in jih primerjali z referenčnimi vrednostmi. Odstopanja značilnih točk na strehah se prikazana v Preglednici 6.6.



Slika 6.12: Oblak točk državnega aerolaserskega skeniranja LSS z ločljivostjo 5 točk/m² (Geodetska uprava Republike Slovenije).

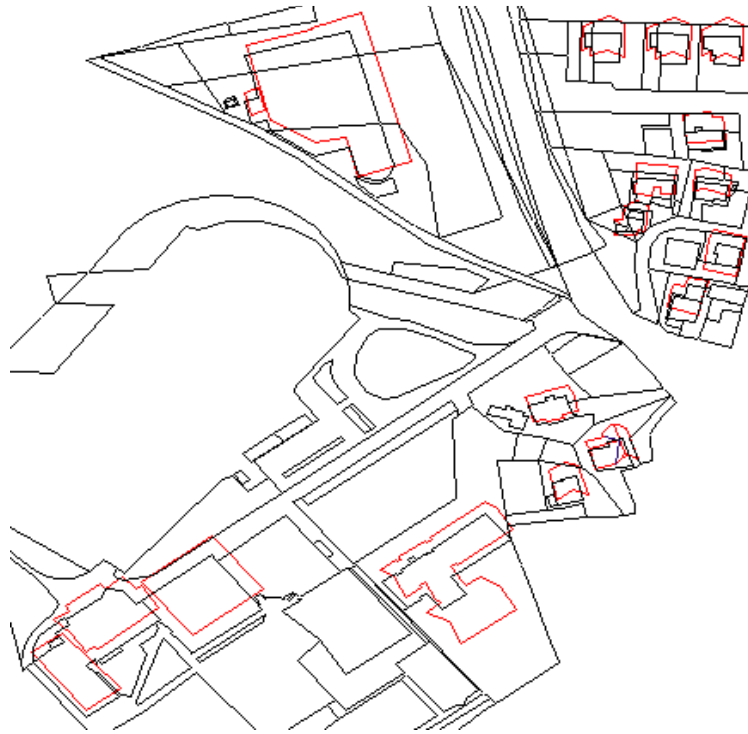
Figure 6.12: Medium point density cloud of airborne laser scanning LSS with 5 points/m² (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia).

Skupni RMSE (ϵ) pri zajemu značilnih točk streh iz fotogrametričnega oblaka točk državnega aerolaserskega skeniranja znaša 36 cm, skupni RMSE (n) pa 30 cm. Višinski RMSE (H) znaša 17 cm. Če primerjamo rezultate pri slemenih in kapeh, znašajo odstopanja RMSE pri slemenih 26 cm in 29 cm položajno ter 20 cm višinsko. Odstopanja RMSE pri kapeh so 41 cm in 30 cm položajno ter 15 cm višinsko. Pri odstopanjih ni razlik med kapmi in slemeni. Slabša položajna točnost je posledica zmanjšane gostote točk v fotogrametričnem oblaku. Višinska točnost je kljub manjši gostoti točk zelo visoka. Rezultati so primerljivi z zahtevano položajno natančnostjo točk, ki je bila določena pri projektu LSS in znaša 30 cm položajno ter 15 cm višinsko. Iz fotogrametričnega oblaka točk državnega aerolaserskega skeniranja smo zajeli še strehe na testnem območju in jih združili z zemljiškokatastrskim načrtom (Slika 6.13). Trirazsežni modeli streh omogočajo prikaz stavb v 3D-okolju in se lahko uporabijo kot sestavni del modelov stavb pri vzpostavitvi 3D-katastra.

Preglednica 6.6: Odstopanja koordinat značilnih točk strehe od referenčnih vrednosti pri državnem aerolaserskem skeniranju LSS.

Table 6.6: Positional deviations of the characteristic roof points from the reference values captured while using the airborne laser scanning LSS.

Točka	Δe [m]	Δn [m]	ΔH [m]	Značilna točka	Tip strehe
1	-0,52	0	0,09	kap	ravna
2	-1,28	0,23	0,06	kap	ravna
3	0,22	-0,04	0,07	kap	ravna
4	0,14	0,08	-0,06	sleme	dvokapnica
5	0,13	0,31	-0,09	sleme	dvokapnica
6	-0,14	0,32	0,12	kap	dvokapnica
7	0,09	0,25	-0,04	kap	dvokapnica
8	-0,52	0,13	0,18	kap	dvokapnica
9	-0,05	0,03	0,07	kap	dvokapnica
10	-0,01	-0,28	0,06	kap	dvokapnica
11	0,17	0,27	-0,19	kap	dvokapnica s čelnim čopom
12	0,07	0,29	-0,02	sleme	dvokapnica s čelnim čopom
13	-0,13	0,3	-0,26	kap	dvokapnica s čelnim čopom
14	-0,05	-0,65	-0,55	sleme	dvokapnica s čelnim čopom
15	0,33	-0,37	0,04	kap	dvokapnica
16	0,3	-0,15	-0,01	sleme	dvokapnica
17	0,17	0,47	0,35	kap	dvokapnica
18	0,2	0,08	-0,02	sleme	dvokapnica
19	0,23	-0,12	0,04	kap	dvokapnica
20	0,24	0,13	-0,09	sleme	dvokapnica
21	0,32	0,37	0,13	kap	dvokapnica
22	-0,27	0,29	-0,25	sleme	dvokapnica
23	0,15	0,37	0,08	kap	dvokapnica
24	0,13	-0,23	-0,18	kap	dvokapnica
25	0,24	-0,72	-0,15	kap	dvokapnica
26	-0,65	-0,36	-0,18	sleme	dvokapnica
27	0,56	-0,3	-0,02	kap	dvokapnica
28	0,08	-0,28	-0,16	sleme	dvokapnica
29	0,06	0,02	0,05	sleme	dvokapnica
30	-0,08	-0,09	0,14	kap	dvokapnica



Slika 6.13: Strehe stavb (rdeče) kot dodatni element v zemljiškokatastrskem načrtu (črno) v panoramskem pogledu.

Figure 6.13: Building roofs (red) as an additional element on the land cadastre map (black) in the panoramic view.

6.2.4 Stereopar letalskih posnetkov CAS

Za zajem točk streh je bil uporabljen stereopar letalskih posnetkov, in sicer gre za barvne posnetke CAS 2011 (Geodetska uprava Republike Slovenije, stereopar letalskih posnetkov Radovljica). Približna višina leta nad terenom je bila 3550 m, narejeni pa so bili z digitalnim snemalnim sistemom Vexcel UltraCam-XP, ki ima konstanto 100,5 mm in radiometrično ločljivost 12 bitov. Iz tega izračunana povprečna prostorska ločljivost posnetkov znaša 21 cm. Stereoskopsko smo zajeli identične značilne točke streh na testnem območju in jih primerjali z referenčnimi vrednostmi. Odstopanja značilnih točk na strehah se prikazana v Preglednici 6.7.

Preglednica 6.7: Odstopanja koordinat značilnih točk strehe od referenčnih vrednosti pri stereoparu CAS.

Table 6.7: Positional deviations of the characteristic roof points from the reference values captured from stereopair CAS.

Točka	Δe [m]	Δn [m]	ΔH [m]	Značilna točka	Tip strehe
1	-0,2	-0,4	-0,61	kap	ravna
2	-0,16	-0,32	-0,83	kap	ravna
3	0,34	-0,2	-0,57	kap	ravna
4	0,36	-0,27	-0,61	sleme	dvokapnica
5	0,01	0,02	-0,62	sleme	dvokapnica
6	0,27	0,36	-0,13	kap	dvokapnica
7	0,1	0,08	-0,2	kap	dvokapnica
8	-0,45	-0,18	-0,27	kap	dvokapnica
9	0,28	0,07	-0,77	kap	dvokapnica
10	-0,18	-0,52	-0,8	kap	dvokapnica
11	0,04	-0,33	-0,72	kap	dvokapnica s čelnim čopom
12	0,22	-0,18	-0,74	sleme	dvokapnica s čelnim čopom
13	0,12	-0,25	-0,57	kap	dvokapnica s čelnim čopom
14	0,29	-0,73	-0,89	sleme	dvokapnica s čelnim čopom
15	0,47	-0,35	-0,49	kap	dvokapnica
16	0,34	-0,23	-0,16	sleme	dvokapnica
17	0,35	0,12	-0,76	kap	dvokapnica
18	0,08	0,19	-0,42	sleme	dvokapnica
19	0,51	-0,04	-0,23	kap	dvokapnica
20	0,69	-0,04	-0,69	sleme	dvokapnica
21	0,57	-0,27	-0,43	kap	dvokapnica
22	0,32	-0,14	-0,45	sleme	dvokapnica
23	0,32	0,22	-0,22	kap	dvokapnica
24	0,49	-0,09	-0,21	kap	dvokapnica
25	0,27	-0,13	-0,23	kap	dvokapnica
26	0,36	-0,07	-0,52	sleme	dvokapnica
27	0,47	-0,07	-0,88	kap	dvokapnica
28	0,44	-0,23	-1	sleme	dvokapnica
29	0,49	-0,24	-0,77	sleme	dvokapnica
30	0,41	-0,09	-0,6	kap	dvokapnica

Skupni RMSE (e) pri zajemu streh s stereopara letalskih posnetkov znaša 36 cm, skupni RMSE (n) pa 26 cm. Višinski RMSE (H) znaša 61 cm. Če primerjamo rezultate pri slemenih in kapeh, znašajo odstopanja RMSE pri slemenih 37 cm in 28 cm položajno ter 66 cm višinsko. Odstopanja RMSE pri kapeh so 35 cm in 25 cm položajno ter 57 cm višinsko. Pri odstopanjih ni razlik med kapmi in slemenimi. Rezultati ustrezajo pričakovanjem glede na že izvedeno oceno natančnosti zajema streh, ki jo je leta 2009 izvedel Geodetski inštitut Slovenije, in sicer je standardni položajni odklon tlorisa strehe znašal 85 cm, standardni odklon višine referenčne točke stavbe pa 65 cm (Opredelitev natančnosti v katastru stavb, 2009). Položajna točnost stereoparov je v veliki meri odvisna od kakovosti aerotriangulacije, na katero pa uporabniki pri aplikacijah nimamo vpliva, saj dobimo že georeferencirane stereopare.

6.2.5 Primerjava rezultatov iz različnih virov podatkov

Skupna odstopanja korena srednjega kvadratnega pogreška RMSE za različne tehnologije zajema podatkov so prikazane v Preglednici 6.8. Primerjali smo tri fotogrametrične oblake točk različnih ločljivosti, ki so bili izdelani s snemanjem z brezpilotnim letalnim sistemom in aerolaserskim skeniranjem. Pri primerjavi rezultatov, pridobljenih iz različnih fotogrametričnih oblakov točk, je razvidno, da je položajno odstopanje pri brezpilotnem letalnem sistemu in aerolaserskem skeniranju visoke ločljivosti primerljivo. Položajno odstopanje pri državnem aerolaserskem skeniranju projekta LSS je večje, saj so zaradi majhne gostote točk robovi streh in s tem značilne točke slabše definirani. Višinska točnost je pri vseh oblakih točk primerljiva in je celo najboljša pri državnem aerolaserskem skeniranju projekta LSS, čeprav je gostota točk pri slednjem najmanjša. Položajna točnost točk, zajetih iz stereopara letalskih posnetkov, je primerljiva s položajno točnostjo državnega aerolaserskega skeniranja. Višinska točnost točk, zajetih iz stereopara, pa je po pričakovanjih najslabša.

Preglednica 6.8: Odstopanja koordinat značilnih točk streh od referenčnih vrednosti pri različnih tehnologijah daljinskega zaznavanja.

Table 6.8: Positional deviations of the characteristic roof points from the reference values captured with different remote sensing technologies.

Tip izmere	RMSE (e) [m]	RMSE (n) [m]	RMSE (H) [m]
Brepilotni letalni sistem (350 točk/m ²)	0,22	0,11	0,26
Aerolasersko skeniranje (40 točk/m ²)	0,21	0,16	0,20
Projekt LSS (5 točk/ m ²)	0,36	0,30	0,17
Stereopar letalskih posnetkov (CAS)	0,36	0,26	0,61

Trenutno so obodi streh in karakteristične višine, ki so del katastra stavb, zajeti iz stereoparov CAS. Po izvedeni oceni natančnosti (Opredelitev natančnosti v katastru stavb, 2009) je dejanski ocenjeni standardni položajni odklon tlorisa katastra stavb znašal 0,85 m, standardni odklon višine referenčne točke stavbe pa 0,65 m. Pri našem vzorcu je bila ocenjena položajna točnost boljša, višinska pa primerljiva z rezultati Opredelitve natančnosti v katastru stavb (2009). Vzorca se med seboj razlikujeta v velikosti in tehnologiji. Pri oceni natančnosti množičnega zajema je bilo v vzorec vključenih 118 točk na kapeh streh za oceno položajne natančnosti in 21 točk na slemenih streh za oceno višinske natančnosti, pri čemer je bilo v vzorec vključenih 35 stavb na območju celotne Slovenije (Opredelitev natančnosti v katastru stavb, 2009). V naš vzorec je bilo vključenih 30 točk na kapeh in slemenih streh, ki so bile zajete z enega stereopara. V času množičnega zajema stavb se je uporabljala druga tehnologija kot danes, saj so se stavbe zajemale iz analognih črno-belih fotografij, aerotriangulacija pa je bila opravljena le na osnovi oslonilnih točk, brez uporabe meritev GNSS in INS za določitev približnih vrednosti elementov zunanje orientacije. Zato so zaradi različnih vzorcev in tehnologije odstopanja med rezultati množičnega zajema in našimi rezultati pričakovana. Če primerjamo naše rezultate zajema s stereopara CAS z laserskim skeniranjem, ugotovimo, da je najslabša točnost položaja dosežena z zajemom s stereopara letalskih posnetkov CAS. Zato lahko zaključimo, da je ta vir najmanj primeren za zajem streh, ki predstavljajo enega od ključnih podatkov za vzpostavitev 3D-katastra.

Z laserskim skeniranjem smo dosegli boljše točnosti kot z zajemom s stereoparov. Ugotovili smo, da gostota točk v lidarskem oblaku vpliva na položajno točnost, ki se manjša sorazmerno s številom točk v fotogrametričnem oblaku. Iz vzorca lahko sklepamo tudi, da gostota točk ne vpliva na višinsko točnost, pri čemer mora gostota točk še vedno zadoščati podrobnostim predstavitve detajla. Upoštevati

moramo tudi, da sta slabša položajna in višinska točnost lahko tudi posledica sistematičnega pogreška pri postopku georeferenciranja in ne le različne gostote točk v lidarskem oblaku. Pri vzpostavitvi 3D-katastra je treba izbrati tehnologijo za masovni zajem stavb, ki pokriva območje celotne države. Brezpilotni letalni sistemi, ki so nepogrešljivi pri zajemu mejnih znamenj, ne morejo zagotoviti podatkov na tako velikem območju, zato njihova uporaba izključno za zajem streh ni smiselna. Pojavi pa se vprašanje, če je za zajem streh stavb zadosten lidarski oblak točk državnega aerolaserskega skeniranja ali je potrebna večja ločljivost. Na vzorcu smo pokazali, da državno aerolasersko skeniranje zadošča za zajem streh stavb, z večjo gostoto točk pa se izboljša položajna točnost. Pri naši raziskavi moramo upoštevati dejstvo, da je bil vzorec streh majhen in posledično razlike med posameznimi viri podatkov niso tako velike, da bi lahko podali čisto jasne zaključke. Zajem je bil v vseh primerih opravljen neposredno iz oblakov točk. Če bi oblak točk predhodno modelirali, torej določili linije in ravnine, bi verjetno dobili drugačne rezultate, vendar ne nujno boljše.

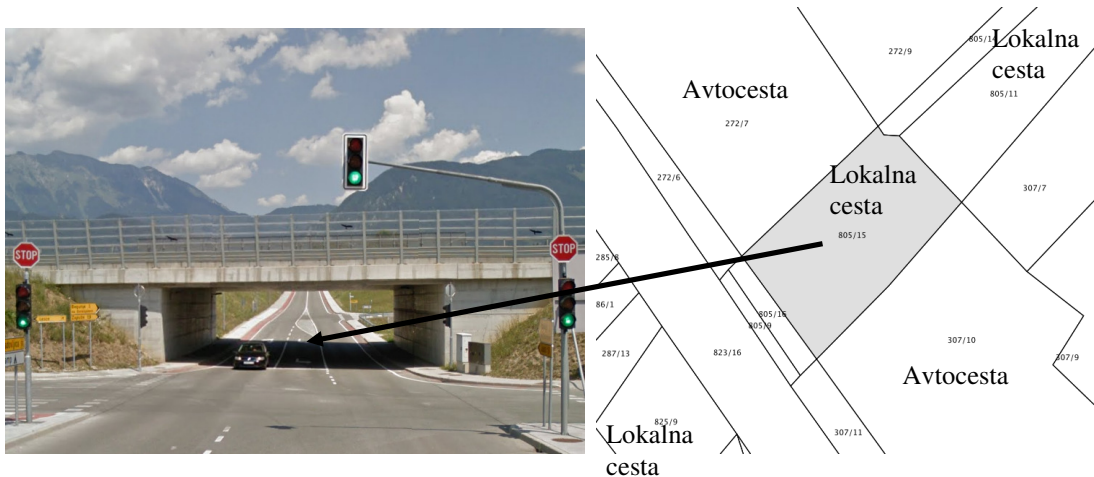
6.3 Zajem prometne infrastrukture

Prometnice pogosto potekajo v nivojskih križanjih in nad (most, viadukt) ali pod (predor) zemeljskim površjem. V slovenskem zemljiškem katastru se trenutno lahko evidentirajo samo prometnice, ki potekajo po zemeljskem površju. Prometnic, ki potekajo nad in pod zemeljskim površjem, zaenkrat še ni možno evidentirati. Prometnice so del podatkov v državnem topografskem modelu (DTM) Slovenije, in sicer se zajemajo ceste, cestne površine in železnice. Ti objekti so predmet evidentiranja tudi v zemljiškem katastru. Za zajem prometnic se uporabljajo podatki laserskega skeniranja in aerofotografiranja Slovenije. Ceste se v DTM zajemajo kot linije s tematskimi atributi. V zemljiškem katastru so ceste evidentirane s svojo zemljiško parcelo, torej kot ploskoven objekt, zato grafična predstavitev cest z linijo ni ustrezna za evidentiranje v katastru. Prav tako se pri prometnicah v DTM ne zajemajo višinski podatki, ki pa so pogoj za vzpostavitev 3D-katastra. Ker pa je v katastru možno evidentirati le ceste, ki potekajo po zemeljskem površju, je koristen podatek o premostitvenih objektih, ki so v DTM-ju ločeni na brv, galerijo, most, nadhod, nadvoz, podhod, podvoz, predor in viadukt. Podobno kot ceste se tudi železnice zajemajo linijsko s tematskimi atributi. Čeprav višinski podatki niso zajeti, se v DTM vodijo podatki o premostitvenih objektih, kot so galerija, most, predor in viadukt.

Na severovzhodnem delu testnega območja v Radovljici se nahaja priključek na avtocesto Ljubljana-Jesenice. Priključek poteka pod avtocesto, zato avtocesta na tem območju poteka nadzemno (Slika 6.14, levo), kar pa iz katastrskega načrta ni razvidno (Slika 6.14, desno). Na katastrskem načrtu je del avtoceste, ki poteka po zemeljskem površju, evidentiran na parcelah 272/7 in 307/10 k.o. Predtrg v lasti Republike Slovenije. Na parceli 805/15 k.o. Predtrg, ki je na Sliki 6.14 – desno obarvana sivo, je evidentiran priključek na avtocesto, ki poteka po lokalni cesti v lasti občine. Avtocestnega nadvoza, ki se nahaja nad parcelo 805/15 k.o. Predtrg, trenutno v zemljiškem katastru ni možno evidentirati. Za evidentiranje nadvoza bi bila potrebna njegova grafična predstavitev v 3D-okolju.

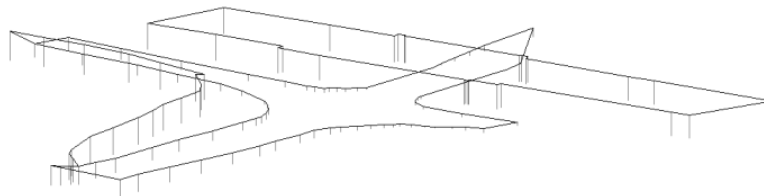
Za evidentiranje prometnic bi bila potrebna masovna izmera za celotno državo, na podlagi katere bi se lahko zajele prometnice, ki potekajo nad zemeljskim površjem. Zanima nas, kako lahko s tehnologijami daljinskega zaznavanja zajamemo prometnice, ki potekajo nad zemeljskim površjem. Testirali smo možnost zajema nivojskega križanja prometnic iz fotogrametričnega oblaka točk državnega aerolaserskega skeniranja in stereopara CAS. Iz teh virov se že izvaja zajem cest in železnic za potrebe DTM, in sicer linijsko ter brez višinskih atributov. Iz stereopara letalskih posnetkov je bilo zajeto cestno telo avtoceste, ki poteka nad zemeljskim površjem (Slika 6.15). Priključek na avtocesto s križiščem lokalnih cest leži na zemeljskem površju, zajet je tudi vrh brežine priključka. Stereopari so

uporabni za zajem prometnic zaradi dobre interpretacije dejanskega stanja na terenu. Iz njih je razvidno, kateri deli prometnic potekajo po zemeljskem površju in kateri nad njim.



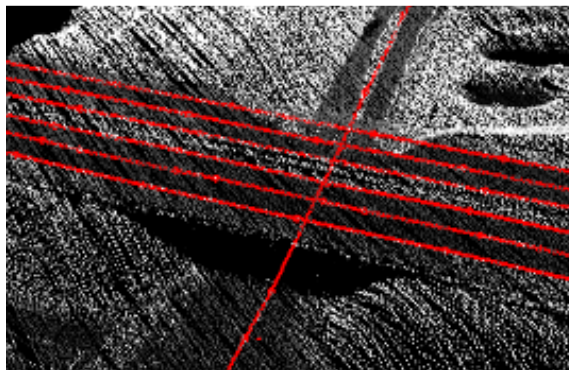
Slika 6.14: Lokalna cesta (levo) in zemljiškokatastrski prikaz nivojskega križanja avtoceste ter lokalne ceste na testnem območju Radovljica (desno).

Figure 6.14: Local road (left) and land cadastral map representing level intersection of motorway and local road on the Radovljica testing area (right).



Slika 6.15: Rezultat zajema nivojskega križanja avtoceste (nad) in lokalne ceste (na zemeljskem površju) iz stereopara CAS.

Figure 6.15: Result of the capture of level intersection of motorway (above) and local road (on the surface) from the CAS stereopair.



Slika 6.16: Zajem nivojskega križanja avtoceste (nad) in lokalne ceste (na zemeljskem površju) iz oblaka točk LSS s povprečno gostoto 5 točk/m².

Figure 6.16: Capture of the level intersection of motorway (above) and local road (on the surface) from the LSS point cloud with an average density of 5 points/ m².

Fotogrametrični oblaki točk državnega aerolaserskega skeniranja projekta LSS so na voljo za celotno ozemlje države in so uporabni za zajem prometnic, ki potekajo nad zemeljskim površjem (mostovi, viadukti, nadvozi itd.), saj so iz njih jasno razvidni. Gostota 5 točk/m² je primerna za zajem delov prometnic, ki potekajo izven nivoja zemljiškega katastra. Avtocesta je bila zajeta s šestimi pasovi, in sicer za vsako smer vožnje oba konca cestišča in sredinska črta (Slika 6.16). Zajeta je bila tudi os lokalne ceste, ki je evidentirana v obstoječem zemljiškokatastrskem načrtu.

Če izhajamo iz položajnih in višinskih točnosti zajema streh stavb, potem imajo prometnice, zajete iz stereoparov in fotogrametričnega oblaka točk, podobne položajne točnosti, višinska točnost aerolaserskega skeniranja pa je boljša kot pri stereoparih. Zato za zajem nadzemnih delov prometnic priporočamo uporabo podatkov državnega aerolaserskega skeniranja. Uporaba večjih gostot točk v fotogrametričnih oblakih pri zajemu prometnic ni smiselna, saj so ceste razmeroma homogene površine brez drobnih detajlov, ki so značilni za strehe. Ugotovili smo, da tako podatki LSS in CAS omogočajo zajem nadzemnih prometnic kot ploskovnih objektov, ki jih lahko vključimo v 3D-kataster.

6.4 Razprava

Na testnem primeru smo odgovorili na vsa naša vprašanja. Najprej smo si postavili vprašanje, ali je z brezpilotnim letalnim sistemom možen zajem mejnih znamenj s kakovostjo, ki je primerljiva z GNSS- in tahimetrično metodo izmere. Naredili smo primerjavo dveh izmer, in sicer eno v stabilnih, drugo pa v vetrovnih vremenskih pogojih. Ugotovili smo, da je za doseganje najvišje točnosti položaja treba izmero opraviti v stabilnih vremenskih pogojih brez vetra. V tem primeru je skupni RMSE (e) in RMSE (n) znašal 1 cm, višinski RMSE (H) pa 9 cm. Iz tega sklepamo, da je izmera mejnih znamenj z brezpilotnimi letalnimi sistemi primerljiva z GNSS- in tahimetrično metodo izmere, ki je uveljavljena na področju evidentiranja nepremičnin, ob pogoju, da so mejniki predhodno ustrezno signalizirani. To so pred nami potrdile tudi druge raziskave (Cunningham in sod., 2011; Eisenbeiss, 2011; Van Hinsbergh in sod., 2013; Manyoky in sod., 2011). Podatki, ki jih pridobimo z brezpilotnim letalnim sistemom, niso primerni le za kataster, ampak so uporabni v različnih aplikacijah, ki zahtevajo podrobne topografske podatke, kot so izdelava digitalnih modelov reliefa in površja (Cunningham in sod., 2011; Eisenbeiss, 2011), določanje prostornine izkopov (Eisenbeiss, 2011) in snemanje težko dostopnih območij (Cunningham in sod., 2011; Eisenbeiss, 2011). Podatki se lahko uporabijo tudi za zajem stavb, ki so del topografskih modelov in pomembna sestavina 3D-katastra (Manyoky in sod., 2011; Cunningham in sod., 2011; Gruen, 2012). Slabost brezpilotnih letalnih sistemov je, da pri izmeri pokrivajo manjša območja in posledično niso primerni za masovno izmero na nivoju celotne države. Izmera z brezpilotnimi letalnimi sistemi je smiselna na določenih območjih, kjer je potrebna izvedba novih izmer z novo nastavitvijo katastra ali na težko dostopnih predelih. Prav tako se podatki izmere lahko uporabijo za transformacijo v referenčni koordinatni sistem na območjih, kjer so parcelne meje označene z mejnimi znamenji iz preteklosti, ki imajo koordinate določene v lokalnih koordinatnih sistemih ali pa sploh ne.

Nato smo zajemali strehe stavb, ki so manjkajoči podatek v trenutnem sistemu evidentiranja nepremičnin v Sloveniji in so eden ključnih podatkov za vzpostavitev 3D-katastra. Zastavili smo si vprašanje, ali je možno s tehnologijami daljinskega zaznavanja zajeti strehe stavb za potrebe 3D-katastra. Značilne točke streh stavb smo zajemali tako iz stereopara CAS kot tudi iz oblakov točk aerolaserskega skeniranja. Ugotovili smo, da je točnost določitve položaja streh v prostoru večja pri uporabi podatkov aerolaserskega skeniranja kot pri zajemu iz stereopara CAS. V tem primeru je znašal skupni RMSE (e) 36 cm, RMSE (n) 30 cm in višinski RMSE (H) 17 cm, kar ustreza splošnim

ugotovitvam raziskav (Vosselman in Maas, 2010). Običajno velja, da letalski posnetki omogočajo boljšo položajno točnost, medtem ko lasersko skeniranje zagotavlja boljšo višinsko točnost, zato je lasersko skeniranje v splošnem bolj uspešno pri zajemu stavb, čeprav je težje za obdelavo (Jazayeri in sod., 2014). Zajem streh stavb je možen tako iz fotogrametričnih oblakov točk kot iz stereoparov letalskih posnetkov, kar je v skladu z drugimi avtorji (Chen in sod., 2009; Wurm in sod., 2011; Sahin in sod., 2012; Kwak, 2013). Trenutno so podatki o strehah v katastru stavb na voljo položajno kot najširši obod strehe, ki običajno hkrati predstavlja tudi najširši obod stavbe. Višinsko sta zajeti najvišja točka stavbe in višina zemljišča tik ob objektu. Ti podatki so v katastru stavb prevzeti iz DTK 5. Iz razpoložljivih podatkov katastra stavb ni možno izdelati trirazsežnega modela strehe, saj manjkajo podatki o višinah kapi in položajih slemena, zato teh podatkov na testnem območju nismo posebej ovrednotili. Pri vzpostavitvi DTM-ja se pri stavbah dodatno zajemajo tudi višine kapi, kar bo dopolnilo manjkajoče podatke pri izdelavi trirazsežnih modelov streh. Iz takšnih podatkov je že možno izdelati trirazsežne modele streh, ki so del modela stavbe v 3D-katastru. Podatke za vzpostavitev DTM-ja se zajema tako iz stereoparov CAS kot tudi iz fotogrametričnih oblakov točk LSS. Prednost obeh virov podatkov je celotna pokritost državnega območja, kar omogoča masovni zajem podatkov. Stavbe so se v primeru DTK 5 zajemale s stereoparov CAS, ki jih pri vzpostavitvi DTM-ja kombiniramo s podatki LSS-ja. V naši raziskavi smo kot najprimernejši vir za zajem streh stavb izbrali državno aerolasersko skeniranje z gostoto 5 točk/m², ki omogoča masovni zajem objektov, vendar vseeno zadošča potrebam po kakovosti podatkov. Ugotovili smo, da se s povečanjem gostote točk v fotogrametričnem oblaku poveča tudi položajna točnost streh objektov. Za vzpostavitev 3D-katastra potrebujemo tudi informacije o notranjosti stavb, ki jih pridobimo iz katastrskih in etažnih načrtov (Hammoudi in sod., 2010; Wang in Sohn, 2011; Tack in sod., 2012). V testnem primeru smo potrdili tudi izsledke raziskav, da je s tehnologijami daljinskega zaznavanja možno zajeti koristne podatke o stavbah za vzpostavitev 3D-katastra (Hao in sod., 2011; Wang in Sohn, 2011; Jazayeri in sod., 2014).

Na koncu smo obravnavali še prometnice. V obstoječem zemljiškem katastru je možno evidentirati samo tiste prometnice, ki potekajo po zemeljskem površju. Evidentiranje nadzemnih in podzemnih prometnic trenutno še ni možno, saj obstoječa zakonodaja tega še ne omogoča. V testnem primeru smo obravnavali nadvoz avtoceste preko lokalne ceste, na katero se nanašajo druge pravice, omejitve in odgovornosti kot na avtocesto. Pri evidentiranju nepremičnin moramo določiti meje nepremičninskih enot, kar pri nadzemnih prometnicah predstavlja najširši obod objekta v zraku. Na testnem območju smo zajeli nadvoz avtoceste in ugotovili, da je nadzemne dele prometnic možno zajeti tako iz fotogrametričnega oblaka točk LSS kot iz stereoparov CAS, vendar je zaradi večje višinske točnosti za zajem prometnic boljše državno aerolasersko skeniranje. S tem smo potrdili, da je s tehnologijami daljinskega zaznavanja možno zajeti koristne podatke o nadzemnih prometnicah, ki so del 3D-katastra. Tudi drugi avtorji so potrdili, da se za zajem prometnic uporabljajo stereopari letalskih ali satelitskih posnetkov (Long in Zhao, 2005; Gerke in Heipke, 2008; Weng, 2012), ki jih kombiniramo s podatki aerolaserskega skeniranja (Elberink in Vosselman, 2009; Chen in sod., 2009; Tiwari in sod., 2009), kar omogoča zajem tudi na območjih, ki so pokriti z vegetacijo. V DTM-ju se prometnice zajemajo kot linijski objekti brez višinskih atributov, kar ni zadostno za evidentiranje prometnic kot samostojnih nepremičninskih enot, zato je potreben podrobnejši zajem prometnic kot ploskovnih objektov. Največja ovira pri zajemu prometnic pa ostaja pokritost z drugimi zgrajenimi objekti (npr. pokritost z drugimi prometnicami pri nivojskih križanjih, v predorih, pod stavbami ipd.). V teh primerih je potrebna klasična terenska metoda izmere ali pa se uporabi že obstoječe topografske ali katastrske načrte.

7 MODEL VZPOSTAVITVE 3D-KATASTRA V SLOVENIJI

V tem poglavju podajamo model 3D-katastra nepremičnin in predstavljamo možnost nadgradnje obstoječega katastra v Sloveniji s poudarkom na podatkovnih modelih nepremičnin, ki omogočajo grafično predstavitev podatkov katastra v 3D-okolju. Pri tem izhajamo iz trenutno veljavnega pravnega sistema, v katerem Stvarnopravni zakonik (SPZ, 2002) predstavlja ključni pravni okvir za določitev enote nepremičnine. Poudarek je na analizi podatkov, ki jih so že na voljo v obstoječem sistemu, in na analizi podatkov, ki jih potrebujemo za grafično modeliranje ter prikaz nepremičnine v treh razsežnostih. Osredotočili smo se na 3D-modeliranje nepremičninskih enot v primerih, ko 2D-prikaz v obliki zemljiških parcel ne zadostuje za enolično določitev in grafični prikaz nepremičninskih enot, to so primeri stavb in gradbeno-inženirski objekti, kot so prometnice in druga gospodarska infrastruktura.

7.1 Sistem zemljiške administracije v Sloveniji

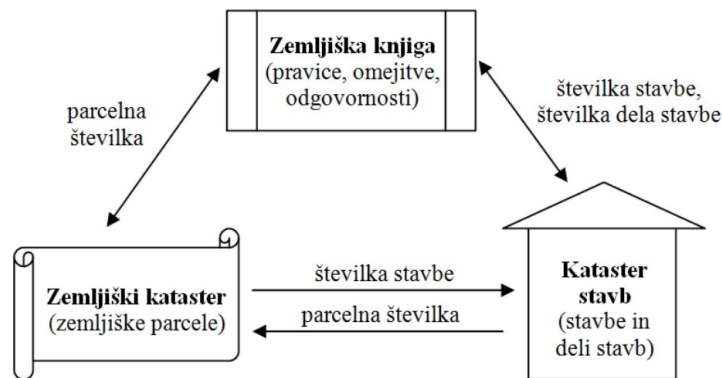
Slovenski sistem zemljiške administracije tvorita dva povezana dela, to sta kataster in zemljiška knjiga. Ureditev dvojnega sistema zemljiške administracije je bila uvedena leta 1871 z Zakonom o zemljiški knjigi (nem. *das Grundbuchsgesetz*). Gre za tako imenovani *nemški sistem*, ki se uporablja v veliko državah srednje Evrope. Današnji kataster na območju Slovenije pretežno izvira iz avstrijskega franciscejskega katastra iz prve polovice 19. stoletja, ko je bilo to ozemlje del Habsburške monarhije. Podatkovna zasnova in postopki, ki so bili opredeljeni v prvotni zasnovi, se do danes niso bistveno spremenili in so več desetletij ostali skoraj enaki (Navratil in Frank, 2004; Lisec in Navratil, 2014).

Zemljiška knjiga je javna knjiga, namenjena vpisu in javni objavi podatkov o pravicah na nepremičninah in pravnih dejstvih v zvezi z nepremičninami. Zemljiška knjiga je sestavljena iz glavne knjige in zbirke listin. V glavni knjigi so vpisane pravice in pravna dejstva, ki se nanašajo na nepremičnine, zbirko listin pa sestavljajo listine, ki so podlaga za vpis v zemljiško knjigo. Deluje pod okriljem sodne veje oblasti, za njeno vodenje so pristojna okrajna sodišča. Zemljiškooknjižna sodišča odločajo o vpisih, opravljajo vpise v glavno knjigo in vodijo zbirke listin. V zemljiško knjigo se vpisujejo stvarne pravice (lastninska pravica, hipoteka, služnostna pravica, pravica stvarnega bremena in stavbna pravica) in obligacijske pravice na nepremičninah (pravica prepovedi odtujitve oziroma obremenitve, zakupna in najemna pravica, predkupna oziroma odkupna pravica in posebna pravica uporabe javnega dobra). V zemljiško knjigo se lahko vpišeta tudi solastnina in skupna lastnina. Solastninska pravica se vpiše tako, da se navede podatek o idealnem deležu, skupna lastnina pa se vpiše nerazdelno v korist vseh skupnih lastnikov. Zemljiška knjiga omogoča tudi vpis etažne lastnine, pri čemer mora biti stavba predhodno v katastru razdeljena na več delov. Na skupnih delih stavbe v etažni lastnini se vpiše solastnina v korist vsakokratnega lastnika posameznega dela stavbe (Zakon o zemljiški knjigi, 2003).

Stvarnopravni zakonik (SPZ, Uradni list RS, št. 87/2002) v 18. členu opredeljuje pojem nepremičnine kot »prostorsko odmerjen del zemeljske površine, skupaj z vsemi sestavinami.« SPZ v 8. členu uvaja načelo *superficies solo cedit*, ki opredeljuje povezanost zemljišča in objekta: »vse, kar je po namenu trajno spojeno ali je trajno na nepremičnini, nad ali pod njo, je sestavina nepremičnine, razen če zakon določa drugače«. Izjemi od tega načela sta v slovenskem pravnem sistemu stavbna pravica in etažna lastnina. »Stavbna pravica je pravica imeti v lasti zgrajeno zgradbo nad ali pod tujo nepremičnino« (SPZ, 256. člen). Stavbna pravica je časovno omejena in ne sme trajati več kot devetindvetdeset let. »Etažna lastnina je lastnina posameznega dela zgradbe in solastnina skupnih delov« (SPZ, 105. člen), pri čemer mora posamezni del zgradbe predstavljati samostojno funkcionalno

celoto, primerno za samostojno uporabo (stanovanje, poslovni prostor ali drug samostojen prostor). Etažna lastnina je predmet samostojnega razpolaganja.

Za kataster je danes zadolžena Geodetska uprava RS, ki je organ v sestavi Ministrstva za okolje in prostor RS. Geodetska uprava po Zakonu o geodetski dejavnosti (ZGeoD-1, Uradni list RS, št. 77/2010) skrbi za vzpostavitev, vodenje in vzdrževanje zbirke podatkov na področju referenčnih koordinatnih sistemov, evidentiranja nepremičnin, množičnega vrednotenja nepremičnin, državne meje, prostorskih enot in hišnih števil ter topografskega in kartografskega sistema. Kataster sestavljata zemljiški kataster in kataster stavb, ki sta podatkovno danes ločeni, a med seboj povezani evidenci (Slika 7.1). Evidentiranje nepremičnin ureja Zakon o evidentiranju nepremičnin (ZEN, Uradni list RS št. 47/2006), ki obsega določila o vzpostavitvi, vodenju in vzdrževanju zemljiškega katastra, katastra stavb in registra nepremičnin. ZEN v 2. členu opredeljuje nepremičnino kot »zemljišče s pripadajočimi sestavinami«, pri čemer je zemljišče »zemljiška parcela, ki je evidentirana v zemljiškem katastru«, pripadajoče sestavine zemljišč pa so »stavbe in deli stavb, ki so evidentirani v katastru stavb.«



Slika 7.1: Podatkovni modeli zemljiške administracije v Sloveniji in povezave med njimi.
Figure 7.1: Data models of land administration in Slovenia and connections between them.

Zemljiški kataster je temeljna evidenca podatkov o zemljiščih. Osnovna enota zemljiškega katastra je zemljiška parcela. ZEN v 16. členu opredeljuje zemljiško parcelo kot »strnjeno zemljišče, ki leži znotraj ene katastrske občine, ter je v zemljiškem katastru evidentirano z mejo in označeno z identifikacijsko oznako.« Parcele so označene s parcelnimi številkami, ki se določajo v okviru vsake katastrske občine posebej. Zemljiški kataster je sestavljen iz zadnjih vpisanih podatkov o zemljiščih ter iz zbirke listin in podatkov, ki omogočajo historični pregled sprememb. Za vsako parcelo posebej se vodijo podatki o parcelni številki, meji, površini, lastniku (privzet iz zemljiške knjige), upravljavcu, dejanski rabi, zemljišču pod stavbo in boniteti zemljišča (ZEN, 17. člen). Glede na dejansko rabo se zemljišča delijo na kmetijska, gozdna, vodna, neplodna in pozidana zemljišča (ZEN, 23. člen). Za kmetijska in gozdna zemljišča se za vsako parcelo določi boniteta, ki je »proizvodna sposobnost zemljišč« (ZEN, 25. člen).

ZEN v 19. členu določa pojma meja in površina parcele, in sicer mejo tvori »več daljic, ki so med seboj povezane v zaključen poligon.« Krajišča daljic predstavljajo zemljiškokatastrske točke, ki so »točke, ki imajo koordinate določene v državnem koordinatnem sistemu.« Parcelna meja je v zemljiškem katastru evidentirana s koordinatami zemljiškokatastrskih točk. Površina parcele je »izračunana iz ravninskih koordinat zemljiškokatastrskih točk, ki določajo mejo.« ZEN v 20. členu opredeljuje pojem urejene meje, in sicer je to »meja, ki je v zemljiškem katastru evidentirana na

podlagi dokončnega upravnega akta ali pravnomočne sodne odločbe in ima koordinate zemljiškokatastrskih točk določene s predpisano natančnostjo.» V 20. členu ZEN je določeno tudi, da se v zemljiškem katastru označi kot urejena parcela tista »parcela, ki ima urejeno mejo in ima na podlagi urejene meje izračunano površino.« Lastniki parcel lahko zahtevajo, da se zemljiškokatastrske točke urejenih mej v naravi označijo z mejnimi znamenji.

V grafičnem delu zemljiškega katastra ločimo dva načina grafičnega prikaza zemljiških parcel in delov parcel, to sta zemljiškokatastrski načrt in zemljiškokatastrski prikaz (Slika 7.2), ki sta opredeljena v 19. členu ZEN. V zemljiškokatastrskem načrtu se »*grafično prikažejo meje parcel in zemljišča pod stavbo, ki so evidentirani s koordinatami zemljiškokatastrskih točk s predpisano natančnostjo v državnem koordinatnem sistemu.*« Meje parcel s parcelnimi številkami in zemljišči pod stavbo na območju celotne države so grafično prikazane v zemljiškokatastrskem prikazu, ki je »*slika oblike in medsebojne lege parcel*« (ZEN, 19. člen). Oblike parcel v zemljiškokatastrskem prikazu so popačene in premaknjene glede na dejanski položaj na terenu, upoštevajoč topološke lastnosti zveznega grafičnega sloja (relativna razmerja do sosednjih parcel). Zato zemljiškokatastrskega prikaza ne smemo neposredno uporabljati za ugotavljanje poteka meje po podatkih zemljiškega katastra, lahko pa se ga uporablja za prikaz drugih podatkov v geografskih informacijskih sistemih z opozorilom, da je prikaz mej informativen. Geodetska uprava ga po potrebi lahko spremeni zaradi lokacijsko boljše predstavitve mej, pri čemer sprememba ne vpliva na stvarnopravne pravice lastnikov parcel.



Slika 7.2: Zemljiškokatastrski prikaz (zelena barva, levo) in zemljiškokatastrski načrt (rdeča barva, desno) v k. o. Podkraj (Geodetska uprava Republike Slovenije).

Figure 7.2: Graphical layer of land cadastre (green colour, left) and land cadastral plan (red colour, right) in the cadastral municipality of Podkraj (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia).

Podrobnosti o evidentiranju nepremičnin so opredeljene v Pravilniku o urejanju mej ter spreminjanju in evidentiranju podatkov v zemljiškem katastru (Uradni list RS, št. 8/2007 in 26/2007). Pravilnik v 26. členu določa, da se za vsako zemljiškokatastrsko točko v zemljiškem katastru shranjujejo podatki o številki in koordinatah zemljiškokatastrske točke, vključno z metodo določitve in natančnostjo koordinat (Preglednica 7.1), ter načinu označitve zemljiškokatastrskih točk v naravi, statusu, številki postopka in datumu spremembe. Številka zemljiškokatastrske točke se določi kot zaporedna številka znotraj posamezne katastrske občine. Za posamezno zemljiškokatastrsko točko se shranjujejo ravninske in višinske koordinate, pri čemer so ravninske koordinate lahko numerične in grafične. Pravilnik v 28. členu opredeljuje, da so numerične koordinate »*določene z meritvami v državnem koordinatnem sistemu*«, grafične koordinate pa so »*določene z lego zemljiškokatastrske točke v*

zemljiškokatastrskem prikazu.« Višinska koordinata je opredeljena kot »višina, ki se določi z meritvami v državnem višinskem koordinatnem sistemu, če metoda izmere to omogoča.« Pravilnik v 28. členu predpisuje tudi, da se koordinate zemljiškokatastrskih točk določajo v metrskem sistemu in se zaokrožijo na dve decimalni mesti. Pravilnik v 35. členu opredeljuje natančnost koordinat zemljiškokatastrskih točk kot »daljšo polos standardne elipse zaupanja v koordinati točke.« Če so koordinate zemljiškokatastrskih točk pridobljene z meritvami na terenu, mora biti natančnost koordinat zemljiškokatastrskih točk enaka ali boljša od štirih centimetrov. V primeru, da so koordinate zemljiškokatastrskih točk pridobljene na temelju ortofota, mora biti njihova natančnost enaka ali boljša od enega metra. Natančnost detajlnih točk drugih topografskih objektov v Pravilniku ni določena. Zemljiškokatastrska točka ima lahko status urejena (določena v upravnem postopku), urejena sodna (določena v sodnem postopku), vrsta rabe, delno urejena ali tehnična (določena z izboljšavo lokacijskih podatkov zemljiškokatastrskega prikaza). Zemljiškokatastrska točka je v naravi lahko označena z naravnim kamnom, betonskim mejnikom, mejnikom s kovinskim sidrom, kovinskim čepom ali klinom ali vklesanim križem (Pravilnik o urejanju mej ..., 2007).

V zemljiškem katastru so koordinate zemljiškokatastrskih točk podane v različnih sistemih. Vse točke imajo določene grafične ravninske koordinate (koordinate zemljiškokatastrskega prikaza), numerične koordinate, preračunane z merskih podatkov, pa le tiste točke, ki so bile določene v novejših zemljiškokatastrskih postopkih oziroma meritvah. Do uveljavitve ZEN-a leta 2006 se je v zemljiškem katastru uporabljal tako imenovani Gauss-Krügerjev koordinatni sistem (D48/GK). ZEN v 139. členu uvaja v kataster nov koordinatni sistem D96/TM, ki je evropski terestrični referenčni sistem z datumom 1989 in prečno Mercatorjevo projekcijo. Koordinate zemljiškokatastrskih točk se transformirajo v sistem D48/GK za grafični prikaz v zemljiškokatastrskem prikazu. Pravilnik v 37. členu namreč določa, da se zemljiškokatastrski prikaz do izpolnitve tehničnih pogojev, ki bodo omogočili njegovo vodenje v koordinatnem sistemu D96/TM, shranjuje in prikazuje v koordinatnem sistemu D48/GK. Za zemljiškokatastrske točke, ki imajo z meritvami določene koordinate v sistemu D96/TM, geodetska uprava shranjuje koordinate v koordinatnem sistemu D48/GK, določene na podlagi transformacij. Na območjih zemljiškokatastrskih izmer, kjer zaradi velike oddaljenosti ni bila možna navezava na točke državne geodetske mreže, je bilo pred uveljavitvijo ZEN-a veliko zemljiškokatastrskih meritev izvedenih v lokalnih koordinatnih sistemih. Zemljiškokatastrske točke v lokalnih sistemih je možno preko identičnih zemljiškokatastrskih in detajlnih točk transformirati v državni koordinatni sistem (Pravilniku o urejanju mej ..., 2007).

Preglednica 7.1: Metode določitve koordinat zemljiškokatastrskih točk v koordinatnem sistemu D96/TM (Vrste digitalnih podatkov in način zapisa, 2016).

Table 7.1: Methods for determining the coordinates of land cadastre points in the D96/TM coordinate system (Types of digital data and the method of registration, 2016).

Šifra	Metoda določitve zemljiškokatastrske točke	Opis metode z zahtevano natančnostjo koordinat zemljiškokatastrske točke
90	Terenska meritev brez numeričnih koordinat	Točke brez numeričnih koordinat v lokalnem koordinatnem sistemu pogojno v skladu s 6. odstavkom 139. člena ZEN ($a = 4$ cm).
91	Terenska meritev z numeričnimi koordinatami	Geodetska izmera na terenu ($a = 4$ cm).
92	Privzeta	Koordinate določene na podlagi ortofotov, geodetskih načrtov ali topografskih podatkov, koordinate delno urejenih točk ($a = 100$ cm).
93	Transformirana	Koordinate, pridobljene s transformacijo terenskih D48/GK koordinat v D96/TM (dovoljeno odstopanje 10 cm na veznih točkah v skladu z 39. členom Pravilnika).
94	Izboljšava lokacijskih podatkov	Koordinate zemljiškokatastrskih točk, pridobljene z izboljšavo lokacijskih podatkov zemljiškokatastrskega prikaza na osnovi vklopa na izmerjene točke (upravni status tehnična).
95	Izboljšava lokacijskih podatkov	Koordinate zemljiškokatastrskih točk, pridobljene z izboljšavo lokacijskih podatkov zemljiškokatastrskega prikaza na osnovi vklopa na ortofoto (upravni status tehnična).
96	Izboljšava lokacijskih podatkov	Koordinate zemljiškokatastrskih točk, pridobljene z izboljšavo lokacijskih podatkov zemljiškokatastrskega prikaza s slabim vklopom (upravni status tehnična).
97	Zemljišče pod stavbo – terenska meritev	Koordinate zemljiškokatastrskih točk zemljišča pod stavbo, pridobljene s terensko meritvijo ($\sigma = 50$ cm).

V zemljiškem katastru se pri stavbah določi zemljišče pod stavbo, ki je »navpična projekcija preseka stavbe z zemljiščem na ravnino« (ZEN, 24. člen). Zemljišče pod stavbo se v zemljiškem katastru evidentira s koordinatami v državnem koordinatnem sistemu, s površino zemljišča pod stavbo in z identifikacijsko oznako stavbe. Številka stavbe služi za povezavo med evidencama zemljiškega katastra in katastra stavb. Kataster stavb je temeljna evidenca o stavbah in o delih stavb. V Sloveniji se je začel vzpostavljati leta 2000 po Zakonu o evidentiranju nepremičnin, državne meje in prostorskih enot (ZENDMPE, Uradni list RS, št. 52/2000). Sestavljen je iz zadnjih vpisanih podatkov o stavbah in delih stavb ter iz zbirke listin in podatkov, ki omogočajo historični pregled sprememb. Vsaki stavbi se določi številka stavbe znotraj posamezne katastrske občine. V katastru stavb se za stavbo ali del stavbe skladno s 73. členom ZEN shranjujejo podatki o številki stavbe, lastniku (privzet iz zemljiške knjige), upravljavcu, legi in obliki, površini, dejanski rabi ter številki stanovanja ali poslovnega prostora. ZEN v 77. členu določa lego in obliko stavbe ali njenega dela s tlorisom in višino stavbe ter s številom etaž. V istem členu ZEN opredeljuje tudi glavne pojme v katastru stavb. Tloris stavbe je »navpična projekcija zunanjih obrisov stavbe na vodoravno ravnino, opredeljeno s točkami v državnem koordinatnem sistemu.« Višina stavbe je »razlika med nadmorsko višino najvišje točke stavbe in nadmorsko višino najnižje točke stavbe.« Število etaž se določi kot »zaporedna številka od najnižje etaže v stavbi navzgor.« Lego in obliko dela stavbe določata številka etaže in tloris dela stavbe. Tloris dela stavbe je »navpična projekcija zunanjih obrisov dela stavbe na vodoravno ravnino etaže.«

Pravilnik o vpisih v kataster stavb (Uradni list RS, št. 73/2012) v 10. členu podrobneje določa vsebino elaborata za vpis stavbe v kataster stavb in elaborata spremembe podatkov katastra stavb, ki ju sestavljajo obrazci in zapisnik, koordinate točk tlora stavbe in centroida stavbe, podatki o stavbi (katastrska občina, številka stavbe, višine stavbe, število etaž, številka pritlične etaže in naslov stavbe) in delu stavbe (številka dela stavbe, številka stanovanja ali poslovnega prostora, številka etaže, dejanska raba, površina in uporabna površina, vrste in površine prostorov ter naslov), parcelne številke in podatki o lastnikih delov stavb. V 11. členu Pravilnika o vpisih v kataster stavb so navedeni obrazci, na katerih se izdelata elaborat katastra stavb, in sicer ovitek elaborata (obrazec K-0), podatki o stavbi (obrazec K-1), načrt stavbe (obrazec K-2), načrt etaže (obrazec K-3), podatki o delih stavbe (obrazec K-4), prostori in uporabna površina (obrazec K-5), sprememba podatkov o stavbi in delu stavbe (obrazec K-6) in preoštevilčba (obrazec K-7). V obrazec K-0 se vpišejo podatki o vrsti elaborata, katastrski občini, številki stavbe in podjetju, ki je elaborat izdelalo (Pravilnik o vpisih v kataster stavb, 12. člen). V obrazec K-1 se vpišejo podatki o parcelah, naslov stavbe, višine stavbe in podatki o etažah v stavbi (Pravilnik o vpisih v kataster stavb, 13. člen). Na obrazcu K-2 se prikaže prerez stavbe in tlora stavbe (Pravilnik o vpisih v kataster stavb, 14. člen). Na obrazcu K-3 se prikaže prerez stavbe in tlora etaže, pri čemer se načrt etaže izdelata za vsako etažo posebej, na njih se s številkami označijo deli stavb (Pravilnik o vpisih v kataster stavb, 15. člen). V obrazec K-4 se vpišejo podatki o številki dela stavbe, številki stanovanja ali poslovnega prostora, številki etaže, dejanski rabi dela stavbe, površini in uporabni površini dela stavbe ter o naslovu dela stavbe, če ima stavba določeno hišno številko (Pravilnik o vpisih v kataster stavb, 16. člen). V obrazec K-5 se vpišejo podatki o vrsti in površini prostorov ter skupna površina vseh prostorov dela stavbe ter uporabna površina dela stavbe (Pravilnik o vpisih v kataster stavb, 17. člen). V obrazec K-6 se vpišejo spremembe podatkov o stavbi in delu stavbe (Pravilnik o vpisih v kataster stavb, 18. člen). V obrazcu K-7 se prikaže preoštevilčba stavb, preoštevilčba delov stavb ali preoštevilčba številk stanovanj in številk poslovnih prostorov (Pravilnik o vpisih v kataster stavb, 19. člen). Načrti stavb, ki so grafično prikazani na obrazcih, se na geodetski upravi arhivirajo kot slikovne datoteke v rastrskem formatu (Slika 7.3).

Geodetska uprava je poleg zemljiškega katastra in katastra stavb zadolžena tudi za register nepremičnin (skrajšano REN); to je večnamenska zbirka podatkov o nepremičninah na območju Republike Slovenije, ki se vzpostavi in vodi zaradi zagotavljanja podatkov, ki odražajo dejansko stanje nepremičnin v naravi (ZEN, 96. člen). V REN-u so shranjeni podatki, ki so privzeti iz zemljiškega katastra, katastra stavb in drugi opisni podatki o nepremičninah. Geodetska uprava je pristojna tudi za zbirni kataster gospodarske javne infrastrukture (ZK GJI), ki je bil vzpostavljen na podlagi Zakona o urejanju prostora (ZUreP-1, Uradni list RS št. 110/2002) in Zakona o prostorskem načrtovanju (ZPNačrt, Uradni list RS št. 33/2007). Zbirni kataster GJI, katerega glavni namen je prikaz zasedenosti prostora z objekti gospodarske javne infrastrukture, ki omogoča smotnejše urejanje prostora in varnejše izvajanje posegov v prostor, ni povezan z zemljiškim katastrom ali katastrom stavb. Zbirni podatki o omrežjih in objektih gospodarske javne infrastrukture so opredeljeni v 10. členu Pravilnika o vsebini in načinu vodenja zbirke podatkov o dejanski rabi prostora (Uradni list RS, št. 9/2004), ki določa, naj se v zbirnem katastru GJI hranijo podatki o prometni infrastrukturi (ceste, železnice, letališča, pristanišča), energetske infrastrukture (infrastruktura za prenos in distribucijo električne energije, zemeljskega plina, toplotne energije, nafte in naftnih derivatov), komunalni infrastrukturi (vodovod, kanalizacija, odlagališča odpadkov), vodni infrastrukturi, infrastrukturi za gospodarjenje z drugimi vrstami naravnega bogastva ali varstva okolja, drugi objekti v javno korist (elektronske komunikacije).

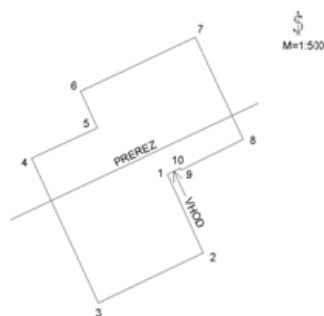
NACRT STAVBE **OBRAZEC K-2**

Številka stavbe: 1883 - 83	Datum: 12.10.2015
----------------------------	-------------------

Prerez stavbe



Tloris stavbe
Merilo 1 : 500



NACRT ETAZE **OBRAZEC K-3**

Številka stavbe: 1883 - 83	Datum: 12.10.2015
Številka etaže: 3	

Prerez stavbe



Tloris etaže
Merilo 1:500

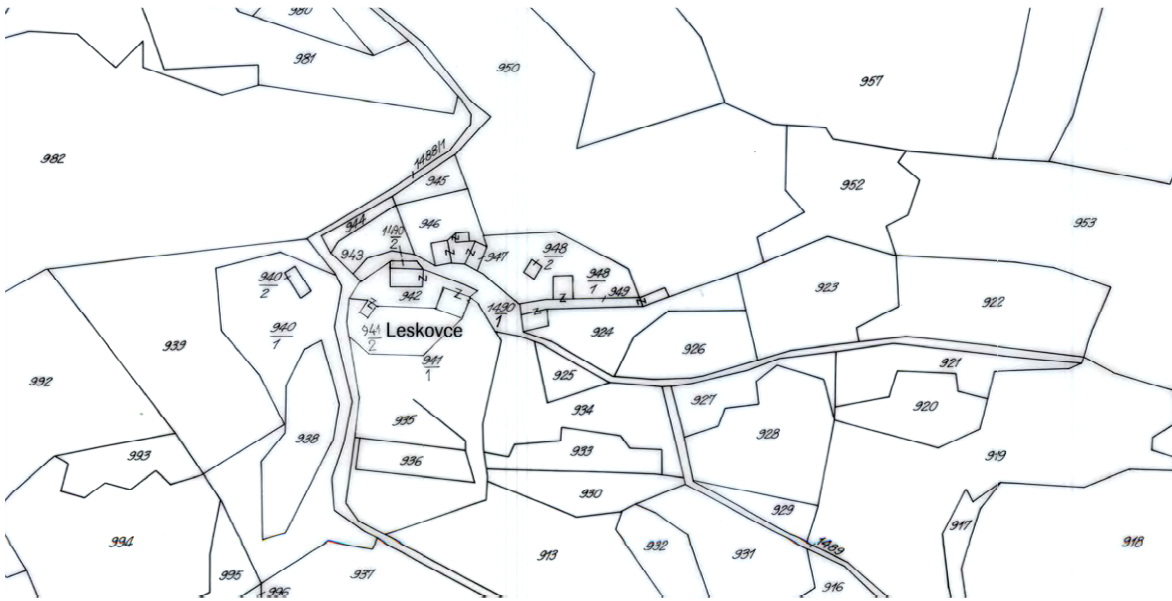


Slika 7.3: Obrazca K-2 in K-3 v elaboratu za vpis stavbe v kataster stavb za stanovanjsko stavbo z enim delom stavbe – prerez in tloris stavbe ter etaže (Geodetska uprava Republike Slovenije).

Figure 7.3: Forms K-2 and K-3 in the Building Cadastre report in case of the apartment building with one part of a building – cross section, ground and floor plan of the building (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia).

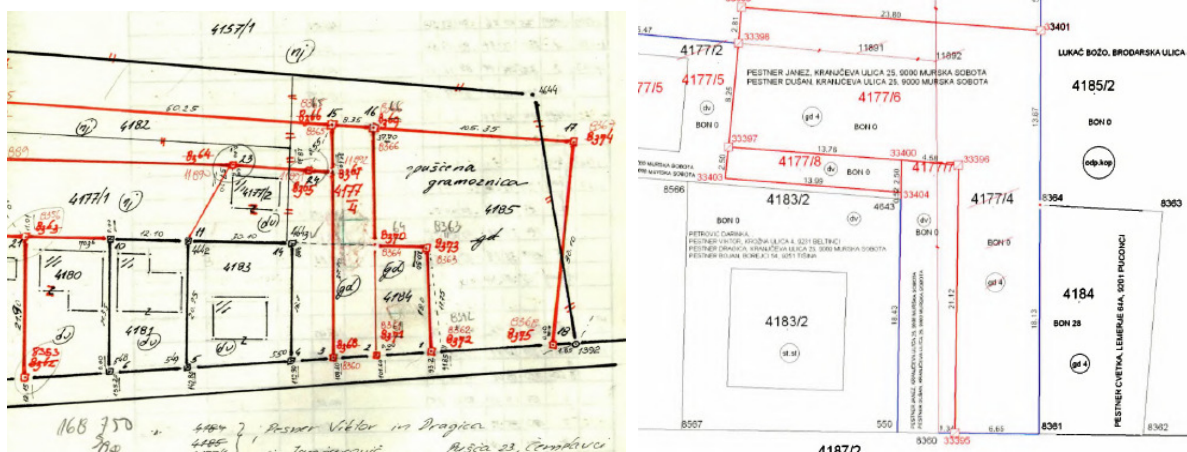
7.1.1 Evidentiranje nepremičninskih enot in višin v katastru

Grafični katastrski načrti franciscejskega katastra, ki so bili izdelani z grafično metodo izmere brez uporabe višin, še danes predstavljajo osnovo zemljiškega katastra na veliko območjih v Sloveniji. Meritve so bile opravljene v treh koordinatnih sistemih z izhodišči v Ljubljani, Gradcu in Budimpešti, ki so pokrivali ozemlje današnje države. Grafični katastrski načrti so bili običajno izdelani v merilu 1 : 2880, za strnjena poselitvena območja pa tudi v merilih 1 : 1440 in 1 : 720. Pri novih izmerah v okviru katastrskih postopkov so vzdrževali grafične zemljiškokatastrske načrte z upoštevanjem skrčka in stalnih točk načrtov. Površine parcel so bile določene z uporabo nitnih ali polarnih planimetrov (Ferlan, 2005). Grafične katastrske načrte so pri vzdrževanju prerisovali na prosojni papir, na katerem je bilo prikazano ažurirano stanje (Slika 7.4). Grafični katastrski načrti so bili s prehodom na računalniško obdelavo podatkov skenirani in vektorizirani ter združeni po posameznih listih v enoten vektorski podatkovni sloj digitalnega katastrskega načrta (DKN), ki ga danes imenujemo zemljiškokatastrski prikaz (ZKP).



Slika 7.4: Grafični katastrski načrt v merilu 1 : 2880 v k. o. Zagorje (Geodetska uprava Republike Slovenije).
Figure 7.4: Graphical cadastral plan on a scale of 1 : 2880 in the cadastral municipality of Zagorje (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia).

Že konec 19. stoletja sta se v zemljiškokatastrski izmeri začeli uporabljati ortogonalna in polarna metoda izmere, uporaba merske mizice pa se je opustila po 20-ih letih preteklega stoletja. Pri ortogonalni izmeri višin niso določevali, na začetku polarnih izmer prav tako ne. V zemljiškem katastru so se višine začele evidentirati šele v sklopu topografsko-katastrskih izmer po koncu druge svetovne vojne (Ferlan, 2005). Takrat so se za zajem topografske vsebine začele uporabljati tudi fotogrametrične metode. Nadmorske višine so bile in so še danes določene v državnem višinskem sistemu z izhodiščem na pomolu Sartorio v Trstu. Topografsko-katastrske izmere so se izvajale predvsem v mestnih središčih, pa tudi na območju komasacij kmetijskih zemljišč in v Prekmurju, kjer je bil po drugi svetovni vojni na voljo zemljiški kataster z nizko kakovostjo, veliko arhivov pa je bilo celo uničenih. Največ novih izmer in komasacij je bilo opravljenih po letu 1974 z uveljavitvijo Zakona o zemljiškem katastru (ZZKat, Uradni list SRS, št. 16/1974, 42/1986). Nove izmere so bile opravljene v državnem koordinatnem sistemu D48/GK, v sklopu katerih so bili izdelani katastrsko-topografski načrti, ki so vsebovali nadmorske višine zemljiškokatastrskih in detajlnih točk. Poleg podatkov o parcelnih mejah so prikazovali geodetsko mrežo ter topografsko vsebino, kot so stavbe, prometnice, relief, gospodarsko infrastrukturo itd. S topografsko vsebino so bile pogosto določene tudi parcelne meje, pri katerih je bilo to potrebno, npr. kateri parceli pripada zidana ograja ali oporni zid. Katastrsko-topografski načrti novih izmer, večinoma v merilih 1 : 1000, so na mnogo urbanih območjih zamenjali grafični kataster (Ferlan, 2005). Posamezne zemljiškokatastrske izmere manjšega obsega po naročilu lastnikov parcel so se izvajale v koordinatnem sistemu D48/GK. Na območjih, kjer mreža geodetskih točk ni bila vzpostavljena, so se zemljiškokatastrske izmere izvajale v lokalnem koordinatnem sistemu. Tudi meritve, izvedene v koordinatnem sistemu D48/GK, so nehomogene točnosti, ki se manjša z oddaljenostjo od točk višjih redov.



Slika 7.5: Skici katastrske izmere v k. o. Murska Sobota iz leta 1982 (levo) in iz leta 2012 (desno) (Geodetska uprava Republike Slovenije).

Figure 7.5: Sketches of the cadastral survey in the cadastral municipality of Murska Sobota from 1982 (left) and 2012 (right) (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia).

ZEN je leta 2006 uvedel določitev koordinat v novem referenčnem koordinatnem sistemu D96/TM, vzporedno pa je treba zemljiškokatastrskim točkam določiti tudi koordinate v sistemu D48/GK. Z uvedbo koordinatnega sistema D96/TM se je začela v zemljiškokatastrskih izmerah uporabljati GNSS-tehnologija (angl. *Global Navigation Satellite System*), predvsem za vzpostavitev geodetske mreže točk. GNSS-tehnologija omogoča določitev trirazsežnega položaja točk v realnem času z visoko absolutno točnostjo, ki zadošča potrebam katastrske izmere. Rezultati katastrskih izmer v preteklosti so torej zemljiškokatastrske točke, ki imajo položaje določene v različnih referenčnih in lokalnih koordinatnih sistemih na temelju različnih metod in tehnologije izmere ter obdelave podatkov (Slika 7.5, Preglednica 7.2).

Preglednica 7.2: Kakovost določitve položaja zemljiškokatastrskih točk različnih katastrskih izmer glede na zahtevano kakovost po sedanji zakonodaji.

Table 7.2: The quality of position of the land cadastre points of different cadastral surveys with regard to the required quality under current legislation.

Katastrska izmera	Absolutni položaj	Relativni položaj	Točnost podatkov v D96/TM	Natančnost
Grafična izmera (merska mizica)	✗	✓	✗	✗
Lokalna izmera	✗	✓	✗	✓
Izmera v D48/GK	✓	✓	✗	✓
Izmera v D96/TM	✓	✓	✓	✓

Višine v zemljiškem katastru so v trenutnem katastrskem sistemu le atribut zemljiškokatastrskim točkam, ki ni obvezen, prav tako ni predpisana natančnost določitve višin (Pravilniku o urejanju mej ..., 2007, 28. člen). Če se zemljiškokatastrski točki določi nadmorska višina, je treba opredeliti tudi način določitve višine. Glede na način določitve višine se posameznemu višinskemu atributu dodeli pojem izvorna višina, uporaba modela geoida ali transformirana višina (Preglednica 7.3). Izvorna višina je nadmorska višina, ki je določena v državnem višinskem sistemu z izhodiščem na pomolu Sartorio v Trstu. Pojem model geoida se nanaša na višine točk, pridobljene z GNSS-

tehnologijo. Izračuna se kot razlika med elipsoidno in geoidno višino, pri čemer je elipsoidna višina pridobljena z GNSS-izmero, geoidna višina pa je določena iz modela geoida. Transformirana višina se izračuna s transformacijo iz lokalnega v državni višinski sistem.

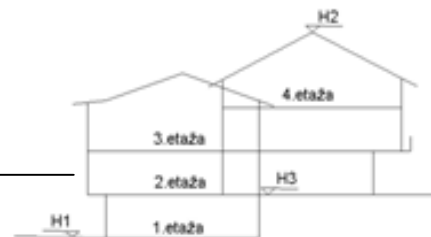
Preglednica 7.3: Višine zemljiškokatastrskih točk glede na metodo določitve (Vrste digitalnih podatkov in način zapisa, 2016).

Table 7.3: The heights of the land cadastre points in regard to the survey method (Types of digital data and the method of registration, 2016).

Šifra	Način določitve višine	Opis
11	Izvorna višina	Nadmorska višina, ki je določena iz geodetskih točk državnega višinskega sistema.
12	Uporaba modela geoida	Razlika med elipsoidno in geoidno višino.
13	Transformirana višina	Transformacija iz lokalnega v državni višinski sistem.

Višine so kot atributi evidentirane tudi v katastru stavb, in sicer opisno na obrazcu K-1 (Slika 7.6) in grafično na obrazcu K-2. Pravilnik o vpisih v kataster stavb (2012) v 4. členu opredeljuje nadmorske višine stavbe, in sicer višino najnižje točke stavbe (H_1), višino najvišje točke stavbe (H_2) in karakteristično višino stavbe (H_3). Določene so v državnem koordinatnem sistemu in se izrazijo v metrih ter zaokrožijo na eno decimalno mesto. V nadaljevanju Pravilnik o vpisih v kataster stavb (2012) v 4. členu obrazloži značilne višine stavbe. Višina najnižje točke stavbe je določena kot »višina tlaka v prvi etaži.« Višina najvišje točke stavbe je določena kot »najvišja višina strehe ali zidanega dela stavbe.« Karakteristična višina stavbe je podana kot »višina terena praviloma ob vhodu v stavbo in označuje lego stavbe glede na površino zemljišča.« Za stavbe, ki so bile vpisane v kataster stavb le na temelju množičnega zajema stavb ob vzpostavitvi katastra stavb okoli leta 2000 in revizijah, sta bili najvišja točka stavb in karakteristična višina stavb zajeti fotogrametrično iz stereoparov letalskih posnetkov cikličnega aerofotografiranja (CAS). Podatki fotogrametričnega zajema se pri katastrskih vpisih stavb nadomestijo s točnejšimi podatki, pridobljenimi z GNSS- in/ali tahimetrično izmero.

PODATKI O STAVBI		OBRAZEC K-1	
Številka stavbe:	1723 - 189	Datum:	31.7.2015
Podatki o parcelah			
Katastrska občina		Parcela	
Ime	Šifra		
VIC	1723	1376/7	
VIC	1723	1376/8	
VIC	1723	1376/12	
Naslov stavbe			
Občina	Naselje	Ulica	Hišna številka
Ljubljana	Ljubljana Vič	Na Griču	1
Ljubljana	Ljubljana Vič	Na Griču	1B
Višine stavbe			
Najnižja točka (H_1)			308.1
Najvišja točka (H_2)			320.0
Karakteristična višina (H_3)			310.6
Podatki o etažah v stavbi			
Število etaž			4
Številka pritlične etaže			2



Slika 7.6: Evidentiranje višin v katastru stavb (Geodetska uprava Republike Slovenije).

Figure 7.6: Registration of heights in the Building Cadastre (Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia).

Slovenski pravni sistem omogoča določitev 3D-nepremičninskih enot, vendar je njihovo evidentiranje omejeno le na stavbe in dele stavb. Stavbe je možno kot samostojne nepremičninske enote evidentirati s stavbno pravico in dele stavb z vzpostavitvijo etažne lastnine. Ostalih 3D-nepremičninskih enot, ki niso stavbe, zaenkrat v slovenskem katastru še ni možno evidentirati. Kataster je razdeljen na zemljiški kataster in kataster stavb, ki sta med seboj povezani, ampak ločeni nepremičninski evidenci, čeprav prikazujeta isti prostor. Množičnemu zajemu oboda in višin stavb ob vzpostavitvi katastra stavb ni sledil množičen katastrski vpis stavb v kataster stavb, tako je število stavb s katastrskim vpisom majhno (s tem imamo tudi omejen obseg podatkov o delih stavb). Stavbe brez katastrskega vpisa dodatno praviloma niso evidentirane v zemljiškem katastru, razen če ni bil vpis v zemljiški kaatster izveden pred letom 2000, zato ta ne prikazuje ažuriranih podatkov o stavbah.

Vzpostavitev 3D-katastra nepremičnin, ki bi omogočal tudi grafični prikaz nepremičninskih enot v 3D-okolju, zahteva trirazsežne koordinate karakterističnih točk nepremičninskih enot in visokokakovostno ureditev topologije grafičnih elementov. Obstoječe evidentiranje stavb v Sloveniji ni primerno za prikaz stavb in delov stavb v trirazsežnem okolju, ker je prikaz stavb trenutno omejen na zemljišča pod stavbami in prereze ter etažne načrte z deli stavb v rastrskem formatu. Prednost oziroma izziv slovenskega sistema zemljiške administracije pa je, da razpolagamo z veliko količino katastrskih in topografskih podatkov, ki jih lahko uporabimo pri vzpostavitvi 3D-katastra. Tudi pri izdelavi etažnih načrtov in prerezov stavb se že pripravijo vektorski podatki o stavbi in delih stavb, ki so lahko pomemben vir za grafično modeliranje nepremičninskih enot v 3D-okolju, a ti podatki (v vektorski obliki) žal danes ostanejo v geodetskih podjetjih, ki geodetski upravi posredujejo le rastrske prikaze. Za trirazsežno predstavitev nepremičninskih enot je treba najprej obstoječe katastrske (in topografske) podatke analizirati in jih pripraviti v obliki, ki bo omogočala trirazsežno evidentiranje in grafični prikaz nepremičnin.

7.1.2 Obstoječi podatkovni model v zemljiškem katastru in katastru stavb

Geodetska uprava v ločenih podatkovnih bazah hrani in posodablja podatke zemljiškega katastra in katastra stavb, ki sta med seboj povezani preko zemljišča pod stavbo. Podatki zemljiškega katastra so shranjeni v centralni bazi zemljiškega katastra (CBZK), operativno pa se baza še vedno na dnevni ravni vzdržuje na lokalni ravni. Digitalne podatke zemljiškega katastra geodetska uprava shranjuje in porazdeljuje elektronsko v obliki izmenjevalnih datotek, ki imajo strukturo izmenjevalnega formata ASCII (Sliki 7.7 in 7.8). V datotekah se uporablja kodna tabela 852, kot decimalno ločilo pa se uporablja znak pika (Vrste digitalnih podatkov in način zapisa, 2016).

Poteka tudi postopek skeniranja arhivskih elaboratov, ki so na voljo v centralni bazi digitalnih elaboratov zemljiškega katastra v *pdf* obliki zapisa. Podatke o izmenjevalnih datotekah zemljiškega katastra je geodetska uprava določila v navodilu Vrste digitalnih podatkov in način zapisa (2016). V tem navodilu je opredeljeno tudi, v kakšni obliki geodetska podjetja prevzamejo podatke in v kakšni obliki jih nato oddajo geodetski upravi skupaj z elaboratom zemljiškokatastrske izmere, na katerem je prikazana izvedena sprememba podatkov zemljiškega katastra.

V datoteki VK1.DAT so podatki o osebah, in sicer: priimek in ime, naslov, enotna matična številka občana (EMŠO) in status osebe. Datoteka VK1_N.DAT je razširjena različica datoteke VK1.DAT, pri kateri je naslov osebe podan kot besedilo. V datoteki VK4.DAT so nešifrirani naslovi, ki se nanašajo na tuje državljane ali osebe z neznanim prebivališčem. VK5.DAT je datoteka posestnih listov, v kateri so podatki o: katastrski občini, številki posestnega lista, oznaki o zasebnem lastništvu, EMŠO, deležu lastništva, oznaki za lastnika in za uživalca ter opis vrste lastnine. Datoteka VK6.DAT vsebuje

podatke o parcelah in parcelnih delih, ti so: katastrska občina, parcelna številka s koordinatami centroida, številka posestnega lista in zemljiškknjižnega vložka, številka spremembe z letnico, površina, boniteta, raba zemljišča, občina, številka postopka (IDPOS), podatek o urejenosti parcele in številki stavbe. Številka stavbe se zapiše v primeru, ko v zemljiškem katastru obstaja povezava parcelnega dela zemljišča pod stavbo s številko stavbe iz katastra stavb.

Primer:

115059705001740840260039015 0005000NOVAK JANEZ 0000000000000000

Razlaga primera:**VK1.DAT**

1	oznaka datoteke
1505970500174	EMŠO
084	šifra občine
026	šifra naselja
0039	šifra ulice
015	hišna številka
	dodatek k hišni številki
000	šifra krajevne skupnosti
5000	številka pošte
NOVAK JANEZ	primek in ime (naziv)
0	status osebe
00000000	MID naslova (ulice oz. naselja)
00000000	MID hišne številke

VK5.DAT**Primer:**

52300000100200632815059705001740000010000001000PR-05281

Razlaga primera:

5	oznaka datoteke
2300	šifra katastrske občine
00010	številka posestnega lista
0	oznaka, da gre za privatno lastništvo
2006328	številka spremembe (brez presledka leto in številka)
1505970500174	EMŠO
0000010000001	delež lastništva (6 polj za števec in 7 polj za imenovalca)
0	oznaka za lastnika
0	oznaka za uživalca
0	opis vrste lastnine
PR-05281	identifikator postopka v katerem se je izvedla sprememba

Primer (izvoz iz lokalne baze):

623000041800090001000010 19773070000307830241076001 NGT00077000000402379.00094849.48

VK6.DAT**Razlaga primera:**

6	oznaka datoteke
2300	šifra katastrske občine
004180009	parcelna številka (brez presledka sledijo oznaka za parcelo, števec in imenovalca parcelne številke)
00010	številka posestnega lista
00010	številka ZKV
1977307	številka spremembe (brez presledka leto in številka)
0	oznaka za nacionalizacijo
00030783	površina
000	bonitetene točke
107	šifra rabe zemljišča
0	katastrski razred
001	šifra občine
NGT00077	identifikator postopka
0	šifra ali je parcela urejena ali ne
00000	številka stavbe
402379.00	Y koordinata centroida parcele, parcelnega dela oz. zemljišča pod stavbo
094849.48	X koordinata centroida parcele, parcelnega dela oz. zemljišča pod stavbo (zapis z vodilnimi ničlami)

Slika 7.7: Primeri zapisa izmenjevalnih datotek zemljiškega katastra VK1.DAT, VK5.DAT in VK6.DAT z razlagami (Vrste digitalnih podatkov in način zapisa, 2016).

Figure 7.7: Examples of VK1.DAT, VK5.DAT and VK6.DAT data exchange formats in the Land Cadastre with interpretations (Types of digital data and the methods of registration, 2016).

V datoteki VGEO.PKV so podatki o centroidih parcel ali delov parcel, na centroide pa se nanašajo podatki o: katastrski občini, parcelni številki, rabi zemljišča, površini, koordinati centroida in številki stavbe. Ena vrstica v datoteki VGEO.PKV pomeni zapis o enem zaključenem poligonu v zemljiškokatastrskem prikazu, ki lahko predstavlja parcelo, če ima parcela samo eno rabo zemljišča, ali del parcele, če je na parceli evidentirano eno ali več zemljišč pod stavbo. Stavba se vpiše v datoteko VGEO.PKV, če ima določeno zemljišče pod stavbo in obstaja v katastru stavb, pri čemer ne sme ležati v celoti pod zemeljskim površjem.

V datoteki VGEO.PLV so podatki o grafičnih povezavah med posameznimi točkami, ki jih opišemo z enoličnim identifikatorjem in koordinatami točk, ki sestavljajo povezave. Datoteka VGEO.POV vsebuje podatke o parcelah, in sicer: katastrsko občino, parcelno številko, rabo, boniteto, površino,

številko posestnega lista in zemljiškoknjižnega vložka, podatek o urejenosti parcele, občini, številki stavbe ter koordinatah centroida.

Primer:
230400629000000000000003462394933.08091132.0000000N

VGEO.PKV

Razlaga primera:

2304 šifra katastrske občine
006290000 parcelna številka (brez presledka sledijo oznaka za parcelo, števec in imenovalc parcelne številke)
220 šifra rabe zemljišča
0 katastrski razred
00003462 površina v m²
394933.08 Y koordinata centroida parcele oz. zemljišča pod stavbo
091132.00 X koordinata centroida parcele oz. zemljišča pod stavbo (zapis z vodilnimi ničlami)
00000 številka stavbe
N delo (centroid parcele je N-nespremenjen, D-dodan, S-spremenjen, B-brisan)

VGEO.PLV

Primer: Razlaga primera:

0 ID
396236.56000 91151.37000 YGK0 XGK0
396226.03000 91168.24000 YGK1 XGK1
END konec podatkov o povezavi »0«
1 ID
396236.56000 91151.37000 YGK0 XGK0
396230.70000 91146.77000 YGK1 XGK1
396219.67000 91164.45000 YGK2 XGK2
396226.03000 91168.24000 YGK3 XGK3
END 2 ID
396236.56000 91151.37000 YGK0 XGK0
396242.34000 91155.76000 YGK1 XGK1
396231.98000 91172.06000 YGK2 XGK2
396226.03000 91168.24000 YGK3 XGK3
END konec podatkov o povezavi »1«
2 ID
396236.56000 91151.37000 YGK0 XGK0
396242.34000 91155.76000 YGK1 XGK1
396231.98000 91172.06000 YGK2 XGK2
396226.03000 91168.24000 YGK3 XGK3
END 3 ID
396236.56000 91151.37000 YGK0 XGK0
396242.34000 91155.76000 YGK1 XGK1
396231.98000 91172.06000 YGK2 XGK2
396226.03000 91168.24000 YGK3 XGK3
END konec podatkov o povezavi »2«
END konec grafičnih podatkov

VGEO.POV

Primer 1:
23160002000031072000004510164101641 001 07800PR-05538023318002000004510164101641 001 0 0000000000394933.08091132.00N

Primer 2:
2316000200003220000004510164101641 001 07800PR-05538023312200000004510164101641 001 0 00000000123394933.08091132.00N

Razlaga primera:

2316 šifra katastrske občine
000200003 parcelna številka (brez presledka sledijo oznaka za parcelo, števec in imenovalc parcelne številke)
107 šifra rabe zemljišča (primer 1)
220 šifra rabe zemljišča (primer 2)
2 katastrski razred (primer 1)
0 katastrski razred (primer 2)
00000451 površina parcele v m²
01641 številka posestnega lista
01641 ali 0000000 številka ZKV
001 šifra občine
078 šifra vrste rabe (statistika)
0 IriKat-ova oznaka za nacionalizacijo
0 podatek o urejeni parceli
PR-05538 identifikator postopka
02331 številka spremembe
800 nova šifra rabe zemljišča (primer 1)
220 ali 221 nova šifra rabe zemljišča (primer 2)
0 nova številka katastrskega razreda (primer 1)
0 nova številka katastrskega razreda (primer 2)
00000451 nova površina parcele v m²
01641 nova številka posestnega lista
0000000 nova številka ZKV
001 šifra občine
0 novi podatek o urejeni parceli
000 opomba
000 boniteta zemljišča
000 nova boniteta zemljišča
00000 številka stavbe (primer 1)
00123 številka stavbe (primer 2)
394933.08 Y koordinata centroida parcele, parcelnega dela oz. zemljišča pod stavbo
091132.00 X koordinata centroida parcele, parcelnega dela oz. zemljišča pod stavbo
N delo (parcela je N-nespremenjena, D-dodana, S-spremenjena, B-brisana)

Primer:

2290000000000000000000000000000000821000823D

VGEO.MEJ

Razlaga primera:

2290 šifra katastrske občine
00000000 identifikacijska številka postopka v katerem se je uredil del meje (5+3 znaki)
000000000 parcela na desni strani urejenega dela meje
000000000 parcela na levi strani urejenega dela meje
000821 številka ZK-točke dela meje
000823 številka ZK-točke dela meje
D delo (del meje je D-dodan ali B-brisan)

VGEO.RSP

Vgeo.rsp: 2316006420003001995DN00000000N
Tmp.rsp : 2316006420003001995DB00000000N
2316006420003001995DD00000026D

Razlaga primera:

2316 šifra katastrske občine
006420003 parcela
001995 stavba
D relacija
N status
00000026 površina zemljišča pod stavbo
D »pravik zps

Slika 7.8: Primeri zapisa izmenjevalnih datotek zemljiškega katastra VGEO.PKV, VGEO.PLV, VGEO.ZKV, VGEO.POV, VGEO.MEJ in VGEO.RSP z razlagami (Vrste digitalnih podatkov in način zapisa, 2016).

Figure 7.8: Examples of VGEO.PKV, VGEO.PLV, VGEO.ZKV, VGEO.POV, VGEO.MEJ and VGEO.RSP data exchange formats in the Land Cadastre with interpretations (Types of digital data and the methods of registration, 2016).

V datoteki VGEO.ZKV so podatki o zemljiškokatastrskih točkah, na katere se nanašajo podatki o: katastrski občini, številki zemljiškokatastrske točke, koordinatah v referenčnih sistemih D48/GK in D96/TM z metodo določitve ter grafičnih koordinatah, višini z metodo določitve in načinu označitve točke v naravi.

Datoteka VGEO.MEJ vsebuje podatke o urejenih mejah, in sicer: katastrsko občino, sosednji parceli, številki zemljiškokatastrskih točk in postopek, v katerem se je del meje uredil. V datoteki VGEO.RSP so podatki o relaciji med stavbo in parcelo, in sicer vsebuje podatke o: katastrski občini, parcelni številki in številki stavbe, relaciji in statusu ter podatek o zemljišču pod stavbo in njegovi površini.

V datoteki VGEO.PKV so podatki o centroidih parcel, ki so: katastrska občina, parcelna številka, raba zemljišča, površina, koordinati centroida in številka stavbe. Ena vrstica v datoteki VGEO.PKV pomeni zapis o enem zaključenem poligonu v zemljiškokatastrskem prikazu, ki lahko predstavlja parcelo, če ima parcela samo eno rabo zemljišča, ali del parcele, če je na parceli evidentirano eno ali več zemljišč pod stavbo. Stavba se vpiše v datoteko VGEO.PKV, če ima določeno zemljišče pod stavbo in obstaja v katastru stavb, pri čemer ne sme ležati v celoti pod zemeljskim površjem. V datoteki VGEO.PLV so podatki o grafičnih povezavah med posameznimi točkami, ki jih opišemo z enoličnim identifikatorjem in koordinatami točk, ki sestavljajo povezave. Datoteka VGEO.POV vsebuje podatke o parcelah, in sicer: katastrsko občino, parcelno številko, rabo, boniteto, površino, številko posestnega lista in zemljiškoknjižnega vložka, podatek o urejenosti parcele, občini, številki stavbe ter koordinatah centroida. V datoteki VGEO.ZKV so podatki o zemljiškokatastrskih točkah, ki so: katastrska občina, številka zemljiškokatastrske točke, koordinati v referenčnih sistemih D48/GK in D96/TM z metodo določitve ter grafični koordinati, višina z metodo določitve in način označitve. Datoteka VGEO.MEJ vsebuje podatke o urejenih mejah, in sicer: katastrsko občino, sosednji parceli, številki zemljiškokatastrskih točk in postopek, v katerem se je del meje uredil. V datoteki VGEO.RSP so podatki o relaciji med stavbo in parcelo, ki so: katastrska občina, parcelna številka in številka stavbe, relacija in status ter podatek o zemljišču pod stavbo in njegovi površini.

Podatke o stavbah geodetska uprava shranjuje in posodablja v centralni podatkovni zbirki katastra stavb, in sicer so opisni podatki o stavbah zapisani v obliki *xml*, grafično pa so tloris in navpični prerez stavbe ter tlorisi etaž stavbe prikazani v rastrski obliki *tiff*. Na voljo so tudi skenogrami elaboratov v obliki zapisa *pdf*. Oblika in vsebina podatkov katastra stavb je podrobno določena v Formatu izmenjevalnih datotek katastra stavb in registra nepremičnin (2015). Format za izmenjavo podatkov katastra stavb je zapisan v visokonivojski strukturi, ki vsebuje podatke o: tlorisu stavbe in pripadajočem centroidu, o stavbi in njenih delih ter prostorih, o parcelah pod stavbo in naslovu stavbe, če ta obstaja (Slika 7.9).


```

<KS_XML>
+ <TLORISI_ETRS_GML>
+ <TLORISI_GML>
+ <CENTROIDI_ETRS_GML>
+ <CENTROIDI_GML>
+ <KST_XML>
+ <KHS_XML>
+ <KDS_XML>
+ <KZK_XML>
+ <KPR_XML>
+ <KUP_XML>
</KS_XML>
    
```

Naziv oznake	Vsebina - podatki
<KS_XML>	Služi kot koren datoteke za ostale podatke in ne vsebuje lastnih podatkov.
<TLORISI_ETRS_GML>	Grafični podatki (koordinate) tlorisa ¹ stavbe v ETRS koordinatnem sistemu (D96/TM)
<TLORISI_GML>	Grafični podatki (koordinate) tlorisa stavbe v Gauss-Krügerjevem koordinatnem sistemu (D48/GK)
<CENTROIDI_ETRS_GML>	Grafični podatki (koordinate) centroida stavbe v ETRS koordinatnem sistemu (D96/TM)
<CENTROIDI_GML>	Grafični podatki (koordinate) centroida stavbe v Gauss-Krügerjevem koordinatnem sistemu (D48/GK)
<KST_XML>	Podatki o stavbi
<KHS_XML>	Podatki o naslovih stavbe
<KDS_XML>	Podatki o delu stavbe
<KZK_XML>	Podatki o parcelah pod stavbo
<KPR_XML>	Podatki o prostorih, ki pripadajo delu stavbe
<KUP_XML>	Podatki o upravljavcih delov stavb

Slika 7.9: Struktura formata za izmenjavo podatkov katastra stavb in razlaga oznak *xml*-datoteke (Format izmenjevalnih datotek katastra stavb in registra nepremičnin, 2015).

Figure 7.9: *Xml* file data exchange format in the Building Cadastre with interpretations (Data exchange format in the Building Cadastre and Real Estate Database, 2015).

```

<KST_XML>
<wfs:FeatureCollection xmlns="http://www.opengis.net/wfs" xmlns:wfs="http://www.opengis.net/wfs"
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml" xmlns:gurs="http://prostor2.sigov.si/ows"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:schemaLocation="http://prostor2.sigov.si/ows
https://prostor2.gov.si:443/b-ows/wfs?service=WFS&version=1.0.0&request=DescribeFeatureType&typeName=gurs:GU_REPSTAVBE.API_ST_WFS_NOV.
NOV_KST http://www.opengis.net/wfs https://prostor2.gov.si:443/b-ows/schemas/wfs/1.0.0/WFS-basic.xsd">
<gml:boundedBy>
<gml:null>unknown</gml:null>
</gml:boundedBy>
<gml:featureMember>
<gurs:GU_REPSTAVBE.API_ST_WFS_NOV.NOV_KST fid="KST_V2.1">
<gurs:STA_SID>10022325</gurs:STA_SID>
<gurs:SIF_RO>657</gurs:SIF_RO>
<gurs:STST>292</gurs:STST>
<gurs:KSRS></gurs:KSRS>
<gurs:H1>268.1</gurs:H1>
<gurs:H2>283.7</gurs:H2>
<gurs:H3>270.8</gurs:H3>
<gurs:ST_ETAZ>6</gurs:ST_ETAZ>
<gurs:PR_ETAZA>2</gurs:PR_ETAZA>
<gurs:DR_SIF></gurs:DR_SIF>
<gurs:OB_MID></gurs:OB_MID>
<gurs:DAT_ZAJ>23.02.2012</gurs:DAT_ZAJ>
<gurs:STATUS>8</gurs:STATUS>
</gurs:GU_REPSTAVBE.API_ST_WFS_NOV.NOV_KST>
</gml:featureMember>
</wfs:FeatureCollection>
</KST_XML>
    
```

Slika 7.10: Primer *xml*-datoteke s podatki o stavbi (Format izmenjevalnih datotek katastra stavb in registra nepremičnin, 2015).

Figure 7.10: Example of *xml* file with building data (Data exchange format in the Building Cadastre and Real Estate Database, 2015).

Poligoni tlorisov stavb so prikazani v *gml*-obliki zapisa, ki vsebuje številko stavbe in koordinate vseh lomnih točk tlorisa v koordinatnem sistemu D96/TM. Tlorisi stavb so zaradi grafične predstavitve v zemljiškokatastrskem prikazu transformirani tudi v koordinatni sistem D48/GK. Tudi centriodi stavb se hranijo v formatu *gml*, ki vsebuje številko stavbe in koordinati centrioda v koordinatnih sistemih D96/TM ter D48/GK. Podatki o stavbi vključujejo: identifikator stavbe, številko katastrske občine in stavbe, vrsto vpisa stavbe, podatke o višinah, številu etaž, dejanski rabi stavbe, občini in datumu zajema (Slika 7.10). Podatka o naslovu stavbe sta identifikator stavbe in hišna številka. Med podatki o delih stavbe so: identifikator stavbe in dela stavbe, številka dela stavbe, vrsta vpisa, številka stanovanja, površina in uporabna površina dela stavbe z načinom določitve, dejanska raba in hišna številka (Slika 7.11). Podatki o povezavi katastra stavb z zemljiškim katastrom so: identifikator stavbe,

katastrska občina, parcelna številka, vrsta parcele in podatek o zemljišču pod stavbo s površino. O prostorih v posameznem delu stavbe se glede na namen uporabe hranijo podatki o identifikatorju dela stavbe, namenu uporabe in površini. Če je stavba v lasti države ali lokalne skupnosti, se vodijo tudi podatki o upravljavcu, ki so matična številka pravne osebe, naziv in naslov ter status upravljavca.

```
<KDS_XML>
<wfs:FeatureCollection xmlns="http://www.opengis.net/wfs" xmlns:wfs="http://www.opengis.net/wfs"
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml" xmlns:gurs="http://prostor2.sigov.si/ows"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:schemaLocation="http://prostor2.sigov.si/ows
https://prostor2.gov.si:443/b-ows/wfs?service=WFS&version=1.0.0&request=DescribeFeatureType&typeName=gurs:GU_REPSTAVBE.API_ST_WFS_NOV.
NOV_KDS http://www.opengis.net/wfs https://prostor2.gov.si:443/b-ows/schemas/wfs/1.0.0/WFS-basic.xsd">
<gml:boundedBy>
<gml:null>unknown</gml:null>
</gml:boundedBy>
<gml:featureMember>
<gurs:GU_REPSTAVBE.API_ST_WFS_NOV.NOV_KDS fid="KDS_V2.1">
<gurs:STA_SID>10022325</gurs:STA_SID>
<gurs:DST_SID>30024834</gurs:DST_SID>
<gurs:STDST>1</gurs:STDST>
<gurs:KRSR></gurs:KRSR>
<gurs:STSTAN>1</gurs:STSTAN>
<gurs:POV_NE>124.1</gurs:POV_NE>
<gurs:POV_UP>99.8</gurs:POV_UP>
<gurs:DR_SIF>1121001</gurs:DR_SIF>
<gurs:HS_MID>15870800</gurs:HS_MID>
<gurs:ETAZA>2</gurs:ETAZA>
<gurs:STATUS>S</gurs:STATUS>
</gurs:GU_REPSTAVBE.API_ST_WFS_NOV.NOV_KDS>
</gml:featureMember>
<gml:featureMember>
<gurs:GU_REPSTAVBE.API_ST_WFS_NOV.NOV_KDS fid="KDS_V2.2">
<gurs:STA_SID>10022325</gurs:STA_SID>
<gurs:DST_SID>30024835</gurs:DST_SID>
<gurs:STDST>2</gurs:STDST>
<gurs:KRSR></gurs:KRSR>
<gurs:STSTAN>2</gurs:STSTAN>
<gurs:POV_NE>111.8</gurs:POV_NE>
<gurs:POV_UP>103.2</gurs:POV_UP>
<gurs:POV_NACIN>2</gurs:POV_NACIN>
<gurs:DR_SIF>1121001</gurs:DR_SIF>
<gurs:HS_MID>15870800</gurs:HS_MID>
<gurs:ETAZA>3</gurs:ETAZA>
<gurs:STATUS>S</gurs:STATUS>
</gurs:GU_REPSTAVBE.API_ST_WFS_NOV.NOV_KDS>
</gml:featureMember>
<gml:featureMember>
<gurs:GU_REPSTAVBE.API_ST_WFS_NOV.NOV_KDS fid="KDS_V2.3">
<gurs:STA_SID>10022325</gurs:STA_SID>
<gurs:DST_SID>30024836</gurs:DST_SID>
<gurs:STDST>3</gurs:STDST>
<gurs:KRSR></gurs:KRSR>
<gurs:STSTAN></gurs:STSTAN>
<gurs:POV_NE>70.4</gurs:POV_NE>
<gurs:POV_UP>0.0</gurs:POV_UP>
<gurs:DR_SIF>13</gurs:DR_SIF>
<gurs:HS_MID>15870800</gurs:HS_MID>
<gurs:ETAZA>1</gurs:ETAZA>
<gurs:STATUS>S</gurs:STATUS>
</gurs:GU_REPSTAVBE.API_ST_WFS_NOV.NOV_KDS>
</gml:featureMember>
</wfs:FeatureCollection>
</KDS_XML>
```

Slika 7.11: Primer *xml*-datoteke s podatki o delih stavbe (Format izmenjevalnih datotek katastra stavb in registra nepremičnin, 2015).

Figure 7.11: Example of *xml* file with parts of building data (Data exchange format in the Building Cadastre and Real Estate Database, 2015).

7.2 Nadgradnja obstoječega katastrskega sistema v 3D-kataster nepremičnin

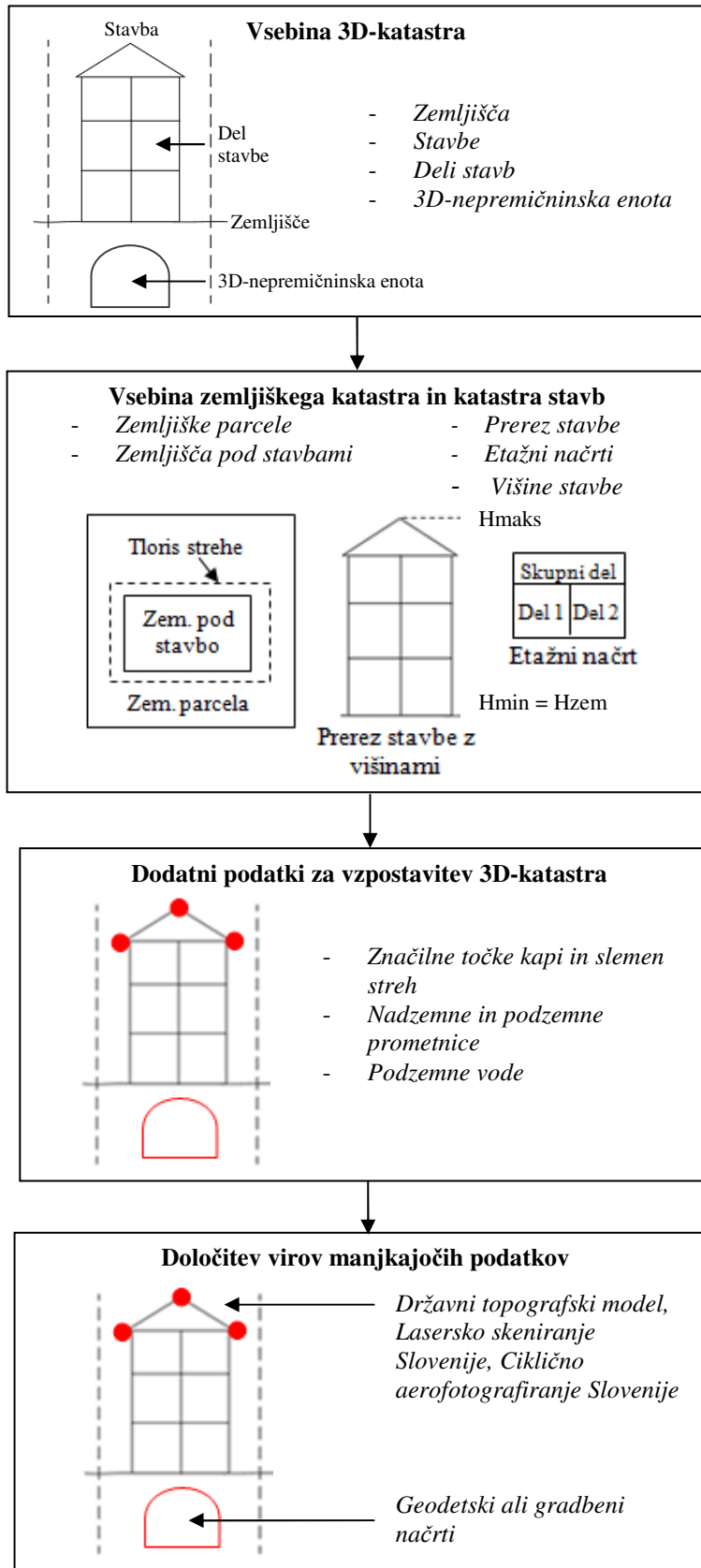
Sodobna družba zahteva vzpostavitev 3D-katastra, ki bo omogočal evidentiranje nepremičninskih enot v zapletenih grajenih okoljih na več prostorskih ravneh (Stoter, 2004; Van Oosterom in sod., 2006; Kalantari in sod., 2008). Za trirazsežno predstavitev nepremičninskih enot je treba obstoječim katastrskim podatkom dodati višinsko komponento (Grünbeck, 2004; Navratil in Unger, 2013; Jazayeri in sod., 2014). Vzpostavitev 3D-katastra zahteva tudi ustrezen zakonski okvir. Slovenski pravni sistem omogoča uvedbo 3D-nepremičninske enote pri evidentiranju stavb in delov stavb v

katastru in zemljiški knjigi, kar temelji na Zakonu o evidentiranju nepremičnin (Uradni list RS, št. 47/2006) ter zakonodaji, ki ureja stvarno pravo in zemljiško knjigo.

V nadaljevanju predlagamo postopek nadgradnje obstoječega katastra s podatki, ki omogočajo trirazsežno evidentiranje nepremičninskih enot (Slika 7.12). Postopek poteka v štirih korakih. Najprej je treba določiti nepremičninske enote, ki bodo vključene v 3D-kataster. Pri tem je treba upoštevati dejstvo, da ne spreminjamo obstoječe vsebine katastra, ampak jo samo nadgradimo v smislu vertikalnega strukturiranja prostora. V Sloveniji lahko v 3D-kataster kot nepremičninske enote vključimo obstoječo vsebino, torej zemljišča, stavbe in dele stavb. Vsi ti podatki so že del zemljiškega katastra in katastra stavb, vendar niso evidentirani trirazsežno in na način, ki bi omogočal vektorsko grafično predstavitev v 3D-okolju. Ta zahteva je povezana tudi s konceptom mnogonamenskega katastra. 3D-kataster mora za ta namen poleg grafičnega modela zemljišč vsebovati stavbe in dele stavb v obliki trirazsežnih modelov, ki predstavljajo samostojne 3D-nepremičninske enote. Kataster bi moral omogočati tudi evidentiranje ostalih nepremičninskih enot, ki se nahajajo nad in pod zemeljskim površjem ter niso stavbe. Te so predvsem prometnice (predori, galerije, mostovi, nadvozi, podvozi, viadukti itd.) in podzemne vodne površine (podzemni vodotoki, pokriti vodotoki, podtalnica itd.). V ta namen je treba v 3D-kataster vključiti dodatno neodvisno 3D-nepremičninsko enoto, ki pa poleg tehnične nadgradnje zahteva tudi spremembo zakonodaje.

V naslednjem koraku se opredelimo do vsebine obstoječega katastra, to je, kaj je že evidentirano in na kakšen način. V zemljiškem katastru so evidentirane zemljiške parcele z zemljišči pod stavbo. Zemljiške parcele se nanašajo tudi na prometnice in vodne površine, ki potekajo po zemeljskem površju. Objekti, ki so evidentirani v zemljiškem katastru, so omejeni izključno na zemeljsko površje in ne zajemajo objektov, ki se nahajajo nad in pod zemeljskim površjem. V katastru stavb so evidentirane stavbe in deli stavb. Določen je položaj tlorisa stavbe, ki predstavlja najširši obod stavbe, katerega večinoma predstavlja kap strehe. Za vsako stavbo so atributno podane tri nadmorske višine, in sicer najvišja in najnižja višina stavbe ter karakteristična višina zemljišča ob stavbi. Stavba je v katastru stavb prikazana z načrti, ki vključujejo prerez stavbe s številom etaž in etažne načrte, na katerih so prikazani posamezni deli stavb.

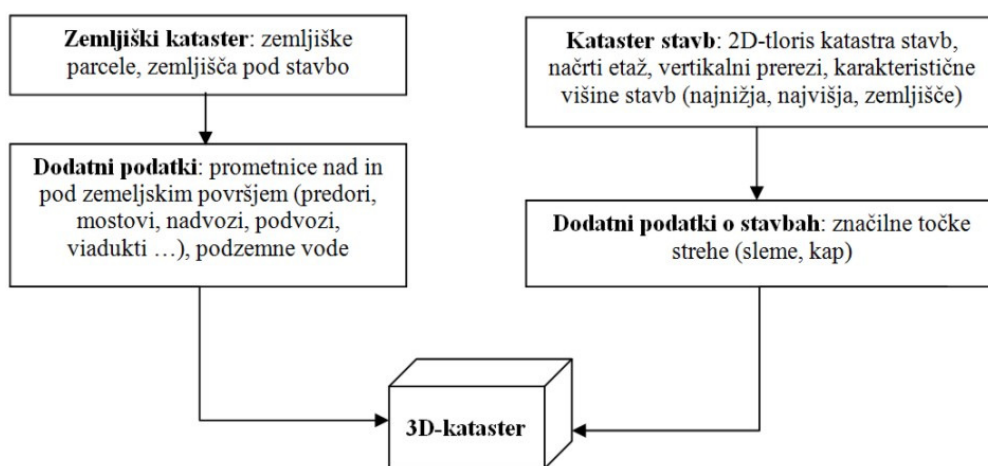
V tretjem koraku opravimo primerjavo med evidentiranjem nepremičnin, ki ga želimo imeti, in med obstoječim sistemom. Med seboj primerjamo podatke, ki jih je treba evidentirati, s tistimi, ki jih že evidentiramo (Slika 7.13). Stavbe kot ključna sestavina 3D-katastra so v obstoječem sistemu prikazane na dvorazsežnih načrtih. Če želimo vzpostaviti trirazsežni grafični model stavbe, moramo obstoječim podatkom dodati položaj značilnih točk strehe v prostoru, kar omogoča izdelavo trirazsežnega prikaza stavbe. Poleg evidentiranja in modeliranja stavb je treba zagotoviti evidentiranje drugih gradbeno-inženirskih objektov, ki se nahajajo nad ali pod zemeljskim površjem, saj se nanje nanašajo raznolike stvarne in druge pravice, omejitve in odgovornosti – tako kot na objekte na zemeljskem površju. V slovenskem katastru so te predvsem prometnice in vode, ki so že predmet evidentiranja na zemeljskem površju, ampak se lahko nahajajo tudi izven njega.



Slika 7.12: Postopek nadgradnje zemljiškega katastra in katastra stavb za vzpostavitev 3D-katastra v Sloveniji.
Figure 7.12: The upgrade process of the Land Cadastre and the Building Cadastre for 3D cadastre establishment in Slovenia.

V zadnjem koraku določimo vire podatkov, ki manjkajo za vzpostavitev 3D-katastra nepremičnin. Za nadzemne objekte lahko uporabimo tehnologije daljinskega zaznavanja, kot je to predlagano v predhodnem poglavju. Tam smo ugotovili, da so za ozemlje celotne Slovenije na voljo kakovostni podatki, ki so ustrezni za zajem značilnih točk streh stavb in nadzemne prometnice ter druge komunikacije. To so podatki laserskega skeniranja in cikličnega aerofotografiranja Slovenije. V državnem topografskem modelu so na voljo tudi podatki o višini kapi streh, s katerimi lahko na podlagi obstoječih podatkov katastra stavb že vzpostavimo trirazsežni model stavbe. Slabost je, da DTM ne pokriva celotnega območja države.

Za zajem podzemnih objektov in podatkov o delih stavb in objektov je treba uporabiti druge vire podatkov, ki so pridobljeni na posameznih objektih z individualno obravnavo. Tudi na tem mestu si lahko pomagamo s projektantskimi načrti kot del projektne dokumentacije za graditev objektov ali geodetskimi načrti po končanih gradnjah. Za predore se lahko uporabijo tudi tehnologije daljinskega zaznavanja, kot so mobilno lasersko skeniranje ali mobilni merski sistemi.

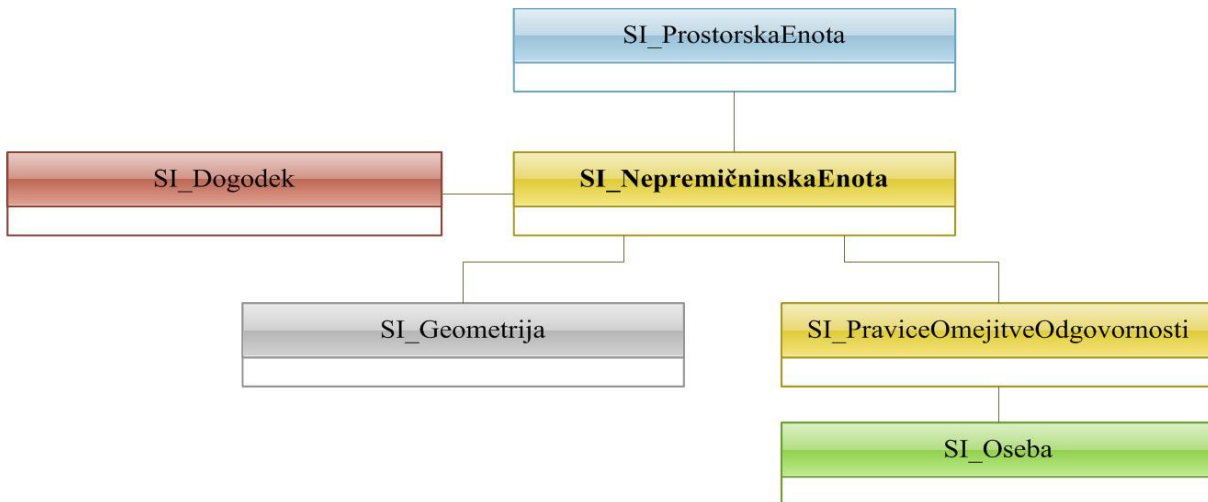


Slika 7.13: Vzpostavitev 3D-katastra v Sloveniji z zagotovitvijo manjkajočih podatkov.

Figure 7.13: Establishment of 3D cadastre in Slovenia by providing missing data.

V konceptualnem modelu 3D-katastra nepremičnin za Slovenijo (SI) (Slika 7.14) je osnovni razred nepremičninska enota, na katero se nanašajo razredi: prostorska enota; pravice, omejitve in odgovornosti; oseba; dogodek in geometrija (Zhu in Hu, 2010). Nepremičninska enota lahko predstavlja zemljišče, stavbo, del stavbe ali drug neodvisen 3D-objekt. Na nepremičninsko enoto so vezane pravice, omejitve in odgovornosti, ki se nanašajo na osebo, ki je običajno lastnik nepremičninske enote. V razredu geometrija so zbrane geometrične predstavitve nepremičninskih enot, ki jih lahko opišemo s točko, linijo, ploskvijo ali prostorskim objektom. Razred dogodek zajema dogodke, ki so vezani na nastanek, spremembe in prenehanje pravic, omejitev in odgovornosti, osebe ali geometrije nepremičninske enote (pomemben segment z vidika vključevanja časovne razsežnosti podatkovnega niza).

V nadaljevanju se bomo osredotočili na evidentiranje stavb in prometnic v 3D-katastru, predvsem z vidika evidentiranja 3D-prostorskih enot. Razred prostorske enote bomo predstavili za različne stopnje podrobnosti pri evidentiranju stavb in prometnic.

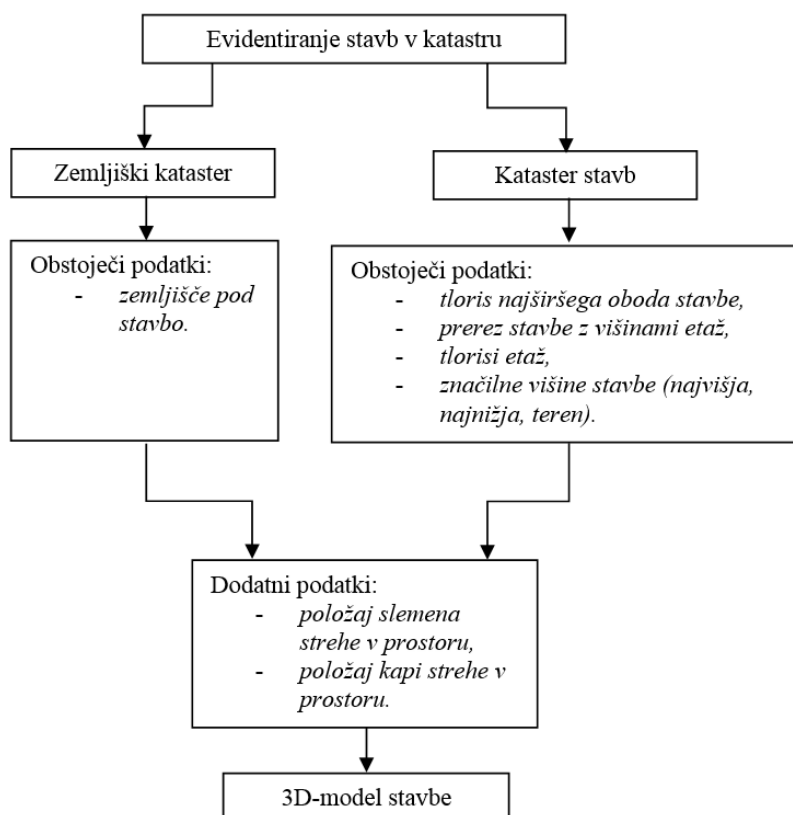


Slika 7.14: Konceptualni model razredov v 3D-katastru (prirejeno po ISO/TC211, 2012).

Figure 7.14: Conceptual model of classes in 3D cadastre (adapted from ISO/TC211, 2012).

7.2.1 Evidentiranje stavb v 3D-katastru nepremičnin

V slovenskem katastru so stavbe evidentirane ločeno v zemljiškem katastru in katastru stavb; v vsaki evidenci se hranijo drugačni podatki o stavbah, a evidenci sta med sabo povezani (Slika 7.15).



Slika 7.15: Podatki za prehod z obstoječega evidentiranja stavb v trirazsežni način evidentiranja.

Figure 7.15: Data for the transition from the existing building registration into a three-dimensional registration.

Pri vzpostavitvi predlaganega modela 3D-katastra se podatki stavbe združijo v enotnem trirazsežnem modelu stavbe. Model stavbe mora omogočati različne stopnje podrobnosti. V Sloveniji se evidentirajo v katastru stavb vse stavbe, tudi tiste z enim delom stavbe, ki so v lasti istega lastnika kot zemljišče, na katerem stavba stoji. Evidentiranje take stavbe je pomembno med drugim z vidika vrednotenja nepremičnin, določevanja nepremičninskega davka ter za druge potrebe, kot so: prostorsko načrtovanje, gospodarjenje z nepremičninami ipd. Stavba se lahko razdeli na več delov, med katerimi je najmanjša nepremičninska enota posamezno stanovanje ali poslovni prostor (enota, ki je lahko predmet lastninske pravice, s tem pa tudi predmet transakcije, vrednotenja ipd.). Posamezni del stavbe lahko predstavlja tudi več stanovanj ali celo več nadstropij istega lastnika. Prav tako ni nujno, da je nepremičninska enota v stavbi fizično določena kot prostorsko zaključena celota. Posameznemu stanovanju lahko na primer pripada shramba v kleti ali parkirno mesto v podzemni garaži. Nepremičninska enota pri stavbah z več deli so pogosto tudi skupni prostori, ki so v etažni lastnini določeni kot solastnina vseh lastnikov stanovanj. Ti so skupna stopnišča, vhodne avle, dvigala, podstrešja, kolesarnice itd.

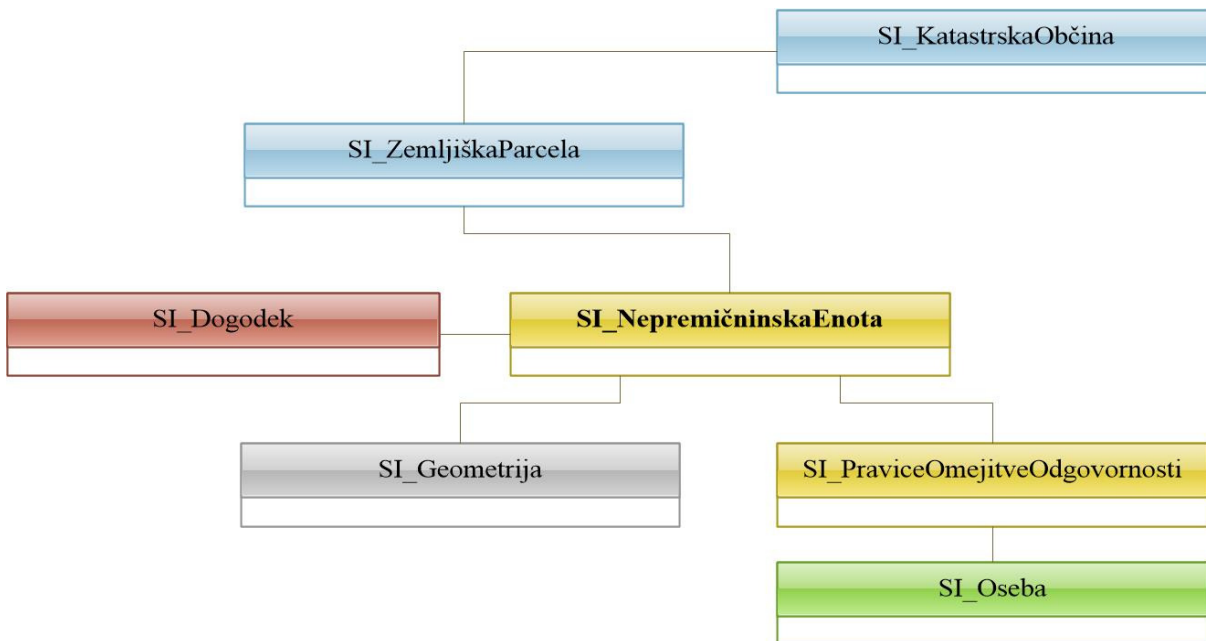
Evidentiranje stavb v 3D-katastru bomo pokazali na praktičnem primeru večstanovanjske stavbe. Za ta primer smo se odločili, ker so v večstanovanjskih stavbah nepremičninske enote prikazane najbolj podrobno na ravni posameznih stanovanj. Stanovanjska stavba se nahaja v Farčnikovi koloniji v Zagorju ob Savi in stoji na parceli 424 k. o. Zagorje - mesto (Slika 7.16). Ima tri etaže; v prvi etaži so kletni prostori, v drugi in tretji etaži sta po dve stanovanji. Stavba ima dva vhoda in za vsak vhod svoje skupne prostore. Stavba je evidentirana v zemljiškem katastru in katastru stavb.



Slika 7.16: Obstoječe evidentiranje večstanovanjske stavbe v zemljiškem katastru in katastru stavb.
Figure 7.16: Existing registration of multi-apartment building in the Land Cadastre and the Building Cadastre.

Evidentiranje stavb v 3D-katastru poteka v različnih stopnjah podrobnosti, kot predlagata Zhu in Hu (2010). Prva stopnja LoD 1 je dvorazsežna in prikazuje zemljišča. V Sloveniji stopnjo podrobnosti LoD 1 predstavlja zemljiškokatastrski načrt, na katerem so prikazane zemljiške parcele kot osnovne nepremičninske enote (Slika 7.17), ki so določene z enoličnimi identifikatorji (parcelnimi številkami) znotraj posameznih katastrskih občin.

Stavbe so v LoD 1 predstavljene z zemljišči pod stavbami, ki prikazujejo lego stavbe na zemljiški parceli in so praviloma del zemljiške parcele. V osnovni stopnji se določi tudi povezanost med stavbo in zemljiško parcelo. Nepremičninsko enoto lahko sestavlja eden ali več delov zemljiške parcele (vključujoč zemljišče pod stavbo). Čeprav stopnja LoD 1 zajema le dvorazsežni prikaz, morajo imeti vse zemljiškokatastrske točke določen absolutni prostorski položaj v referenčnem koordinatnem sistemu, vključno z višino. To omogoča možnost prikaza sloja zemljiškega katastra v trirazsežnem okolju. Če na parceli ni stavbe, potem je LoD 1 dovolj podroben prikaz z zemljiško parcelo kot osnovno nepremičninsko enoto. Model sicer omogoča tudi 3D-prikaz, če geometrija temelji na koordinatah in linijah lomnih točk v treh razsežnostih.



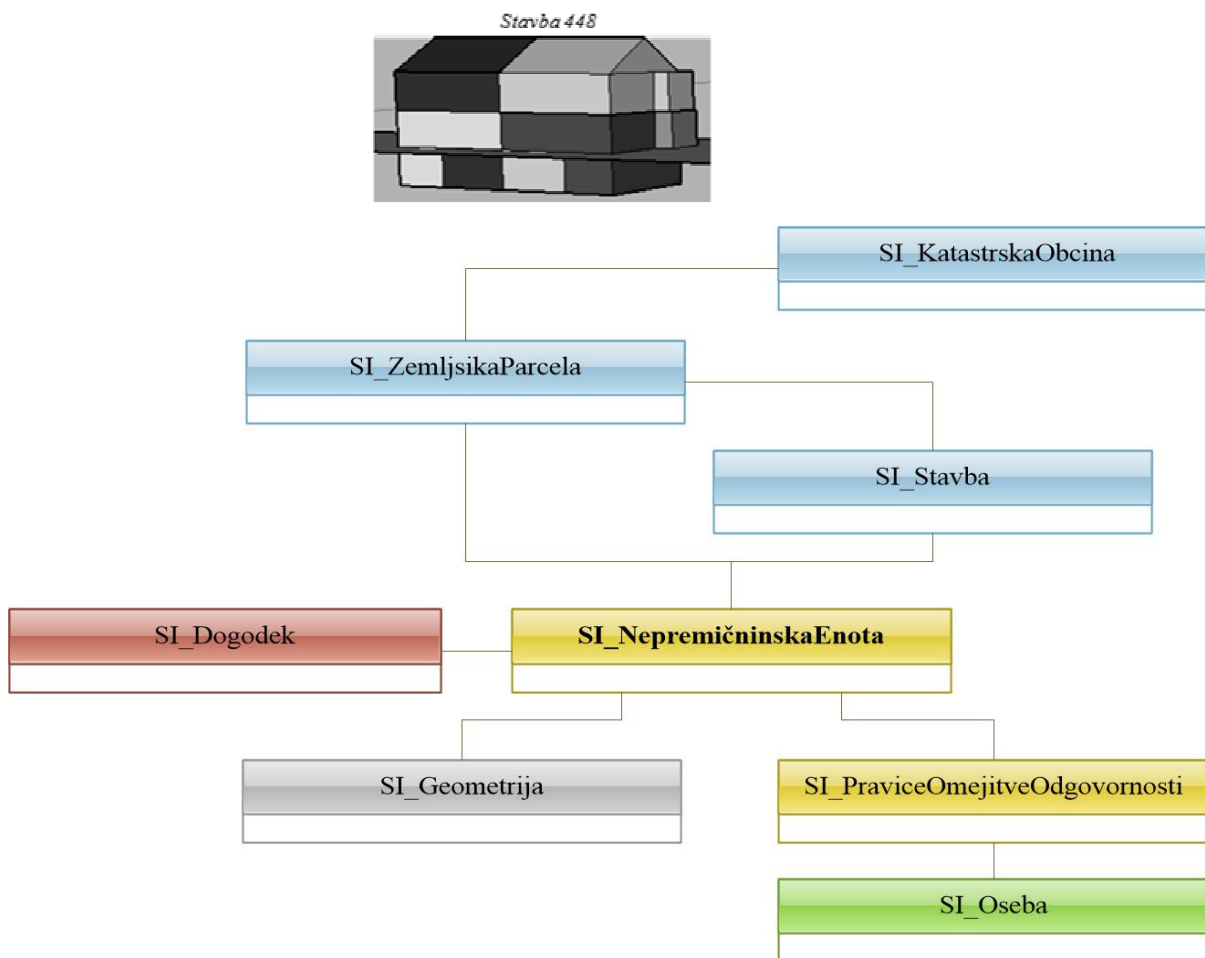
Slika 7.17: Konceptualni model za evidentiranje stavbe (parcele) s stopnjo podrobnosti LoD 1 (prirejeno po Zhu in Hu, 2010).

Figure 7.17: Conceptual model for building (parcel) registration in the LoD 1 level of detail (adapted from Zhu and Hu, 2010).

Naslednja stopnja podrobnosti LoD 2 že vključuje tretjo razsežnost. Stavba je predstavljena kot trirazsežni model, iz katerega je razvidna višina stavbe in število etaž (Slika 7.18). Iz prikaza LoD 2 je razvidno tudi, kateri del stavbe leži nad in kateri pod zemeljskim površjem. V obstoječem načinu evidentiranja stavb v katastru v Sloveniji je prikaz LoD 2 ekvivalenten vertikalnemu prerezu stavbe v katastru stavb, ki je prikazan na Sliki 7.16. V trirazsežen način evidentiranja smo dodatno vključili položaj značilnih točk strehe v prostoru.

V prikazu LoD 2 je stavba lahko evidentirana kot samostojna nepremičninska enota ali kot del zemljišča. Stavba kot samostojna nepremičninska enota je pravno gledano ločena od zemljiške parcele in je lahko predmet samostojnega razpolaganja. Stavbo kot del zemljiške parcele, na katero se

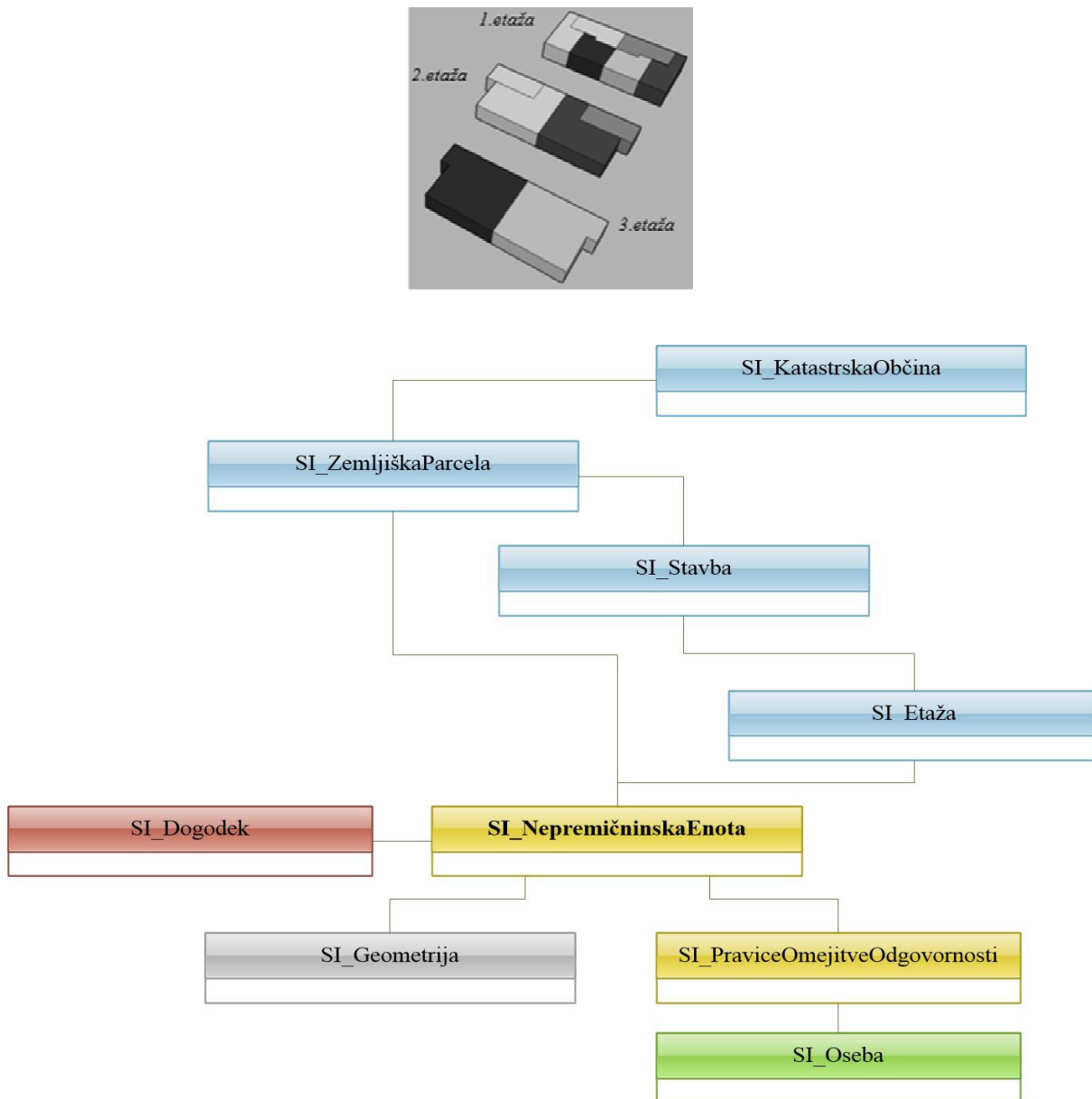
nanašajo iste nepremičninske pravice, omejitve in odgovornosti kot na zemljišče, je treba v katastru evidentirati med drugim zaradi vrednotenja nepremičnin, določevanja nepremičninskega davka ter za druge potrebe, kot so prostorsko načrtovanje, gospodarjenje z nepremičninami ipd. Če se na celotno stavbo nanašajo iste pravice, omejitve in odgovornosti, potem je LoD 2 zadosten prikaz stavbe. To velja v primeru enostanovanjskih stavb, kmetijskih in gozdnih objektov, šol, bolnišnic in drugih družbenih ustanov itd.



Slika 7.18: Konceptualni model za evidentiranje stavbe s stopnjo podrobnosti LoD 2 (prirejeno po Zhu in Hu, 2010).

Figure 7.18: Conceptual model for building registration in the LoD 2 level of detail (adapted from Zhu and Hu, 2010).

Pri LoD 3 so prikazane posamezne etaže v stavbi, ki so lahko samostojna nepremičninska enota, s katero lahko samostojno razpolagamo (Slika 7.19). Ta stopnja podrobnosti je ekvivalentna etažnim načrtom v katastru stavb. V posamezni etaži se lahko nahaja več delov stavb. Če se na celotno etažo nanašajo iste pravice, omejitve in odgovornosti, potem je LoD 3 dovolj podroben prikaz nepremičninske enote. Praviloma pa imamo v primeru etažne lastnine opravka z deli etaž kot nepremičninskimi enotami, zato je treba uvesti pojem dela stavbe.

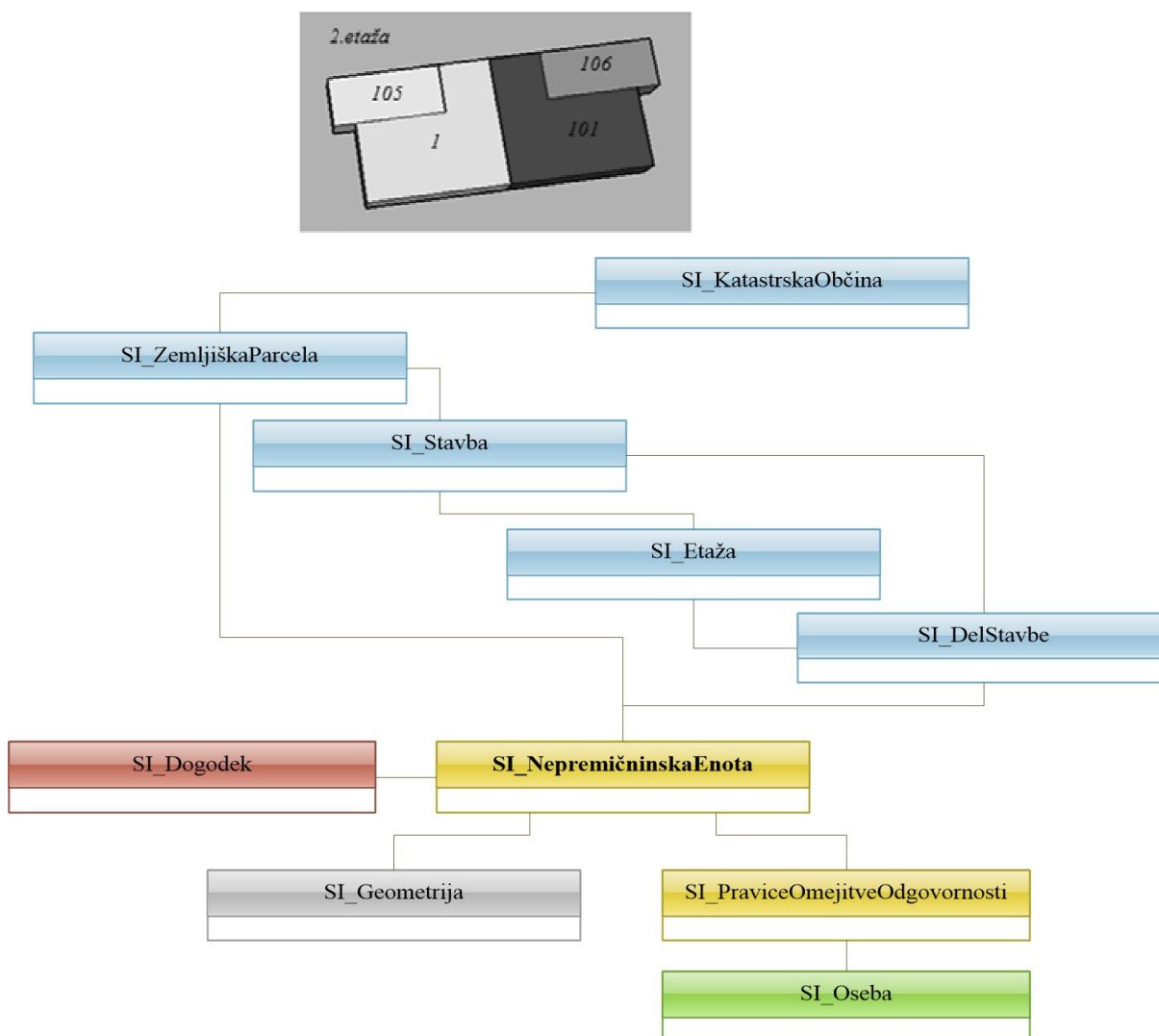


Slika 7.19: Konceptualni model za evidentiranje stavbe s stopnjo podrobnosti LoD 3 (prirejeno po Zhu in Hu, 2010).

Figure 7.19: Conceptual model for building registration in the LoD 3 level of detail (adapted from Zhu and Hu, 2010).

Če so etaže razdeljene na več nepremičninskih delov, potem je v stopnji podrobnosti LoD 4 prikazan posamezni del stavbe kot samostojna nepremičninska enota (Slika 7.20). Posamezni del stavbe je lahko stanovanjski ali nestanovanjski, pri stavbah z več deli obstajajo tudi skupni prostori, ki so prav tako svoja nepremičninska enota.

Poudariti je treba, da je lahko nepremičninska enota sestavljena iz več zemljiških parcel, več stavb in več delov stavb – pomembno je, da se jo da enolično določiti v prostoru, in da se nanjo nanaša isto lastništvo.



Slika 7.20: Konceptualni model za evidentiranje stavbe s stopnjo podrobnosti LoD 4 (prirejeno po Zhu in Hu, 2010).

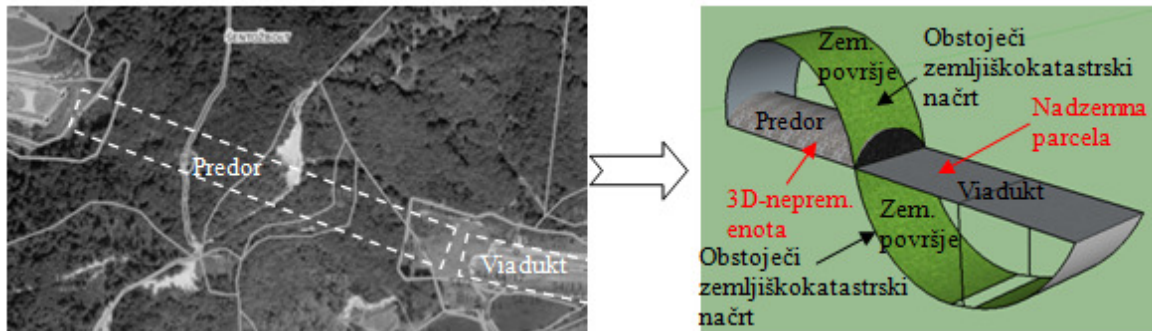
Figure 7.20: Conceptual model for building registration in the LoD 4 level of detail (adapted from Zhu and Hu, 2010).

7.2.2 Evidentiranje prometnic v 3D-katastru nepremičnin

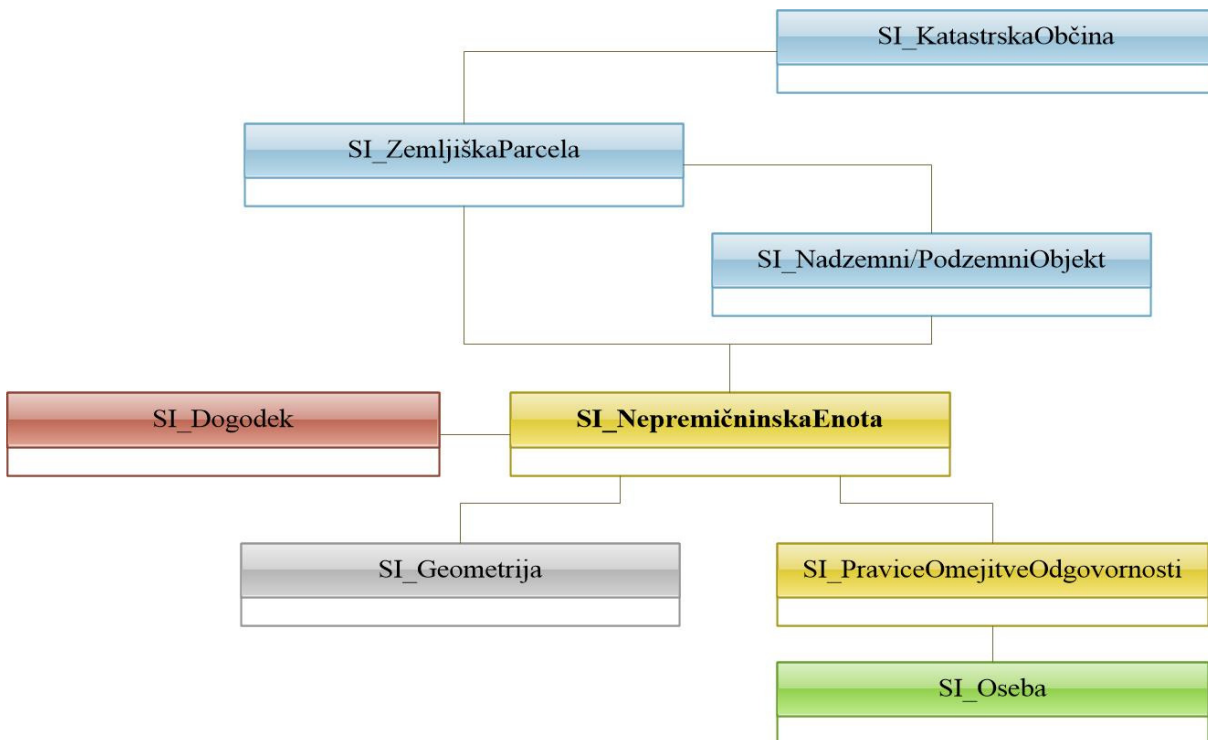
Problem evidentiranja prometnic v Sloveniji smo predstavili na odseku avtoceste A1 med Blagovico in Vranskim, za katerega je značilno veliko število predorov in viaduktov (Slika 7.21). S Slike 7.21 (levo) je razvidno, da je viadukt evidentiran, kot da bi potekal po zemljskem površju, predor pa v zemljiškem katastru ni evidentiran. Prometnice, ki potekajo pod zemljskim površjem, imajo obliko trirazsežnega prostorskega objekta, zato so lahko evidentirane le kot 3D-nepremičninska enota, na katero se lahko nanašajo pravice, omejitve in odgovornosti (Slika 7.21, desno). Takih enot trenutno v sistemu zemljiške administracije v Sloveniji ni mogoče evidentirati (problem je tudi pravna praznina na tem področju).

Samostojna nepremičninska enota je lahko povezana z zemljiškimi parcelami kot projekcija podzemnega objekta na zemljsko površje. Iz tega je razvidno, pod katerimi zemljiškimi parcelami se nahaja podzemni objekt. Na podoben način lahko evidentiramo »prostor«, ki ga zasedajo podzemni vodi in podzemne prometnice. Nadzemne prometnice nimajo oblike trirazsežnih objektov, zato so

lahko evidentirane dvorazsežno kot nadzemne parcele (Slika 7.21, desno). Podobno lahko v zemljiškem katastru označimo projekcijo nadzemne parcele, iz katere je razvidno, nad katerimi zemljiškimi parcelami se ta nahaja. Nadzemne in podzemne prometnice ter druge objekte gospodarske infrastrukture evidentiramo s stopnjo podrobnosti LoD 2 (Slika 7.22). Pri LoD 1 so na katastrskem načrtu prikazane zemljiške parcele na zemljskem površju ter označena projekcija nadzemne ali podzemne nepremičninske enote na zemljiške parcele. Pri LoD 2 je prikazana nadzemna ali podzemna nepremičninska enota.



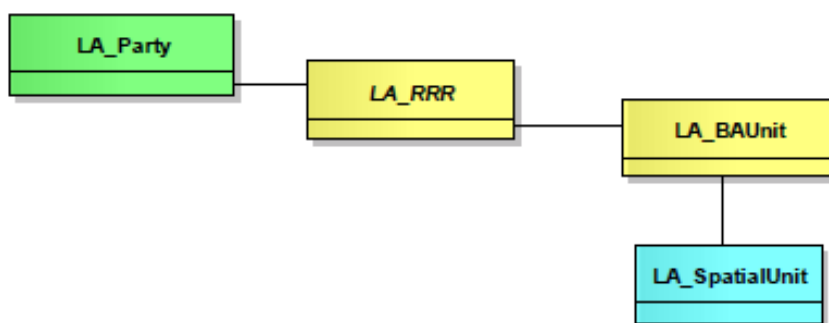
Slika 7.21: Evidentiranje prometnic v prikazu LoD 1 (levo) in predlagan 3D-način evidentiranja (desno).
Figure 7.21: Registration of traffic routes in the LoD 1 level of detail (left) and the proposed 3D-registration (right).



Slika 7.22: Konceptualni model za evidentiranje 3D-nepremičninskih enot s stopnjo podrobnosti LoD 2 (prirejeno po Zhu in Hu, 2010).
Figure 7.22: Conceptual model for 3D real estate unit registration in the LoD 2 level of detail (adapted from Zhu and Hu, 2010).

7.2.3 Model 3D-katastra nepremičnin

Pri vzpostavitvi modela 3D-katastra nepremičnin nam je bil v pomoč mednarodni standard LADM, ki opredeljuje štiri glavne razrede (Slika 7.23). Razred *LA_Party* vsebuje podatke o osebah, v razredu *LA_RRR* so navedene pravice, omejitve in odgovornosti. V razredu *LA_BAUnit* so temeljne posestne enote, ki jih sestavljajo prostorske enote, vsebovane v razredu *LA_SpatialUnit*. Na temeljno posestno (nepremičninsko) enoto (*BAUnit*) se nanašajo enolične in homogene pravice, omejitve in odgovornosti v korist ene ali več oseb (ISO/TC211, 2012). Temeljno nepremičninsko enoto lahko sestavlja ena ali več prostorskih enot. Prostorske enote so lahko zemljišče, del zemljišča, stavba, del stavbe ali drug grajeni objekt, v nekaterih zakonodajah tudi prazen zračni prostor.



Slika 7.23: Glavni razredi standarda LADM (ISO/TC211, 2012).

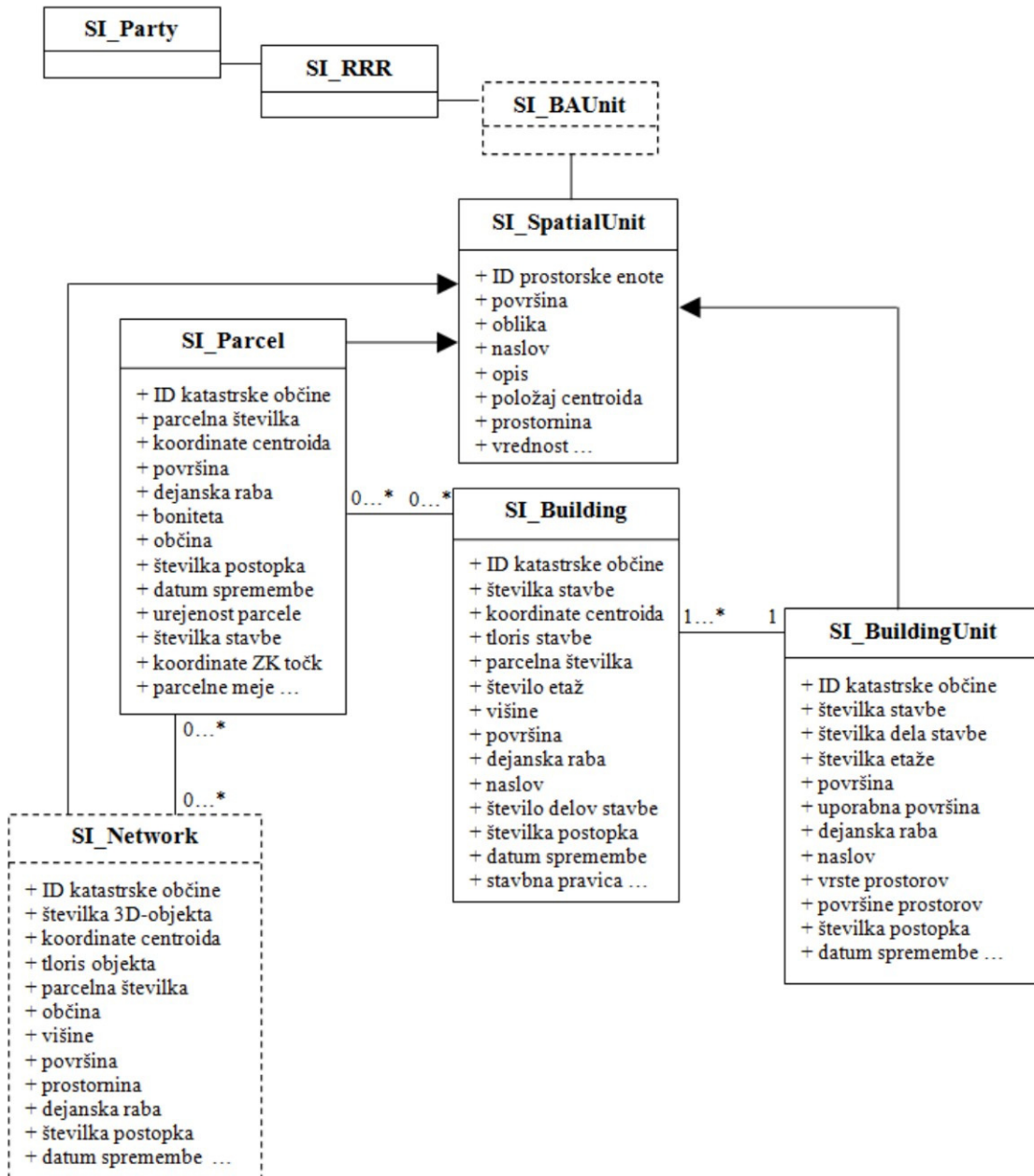
Figure 7.23: Basic classes of LADM standard (ISO/TC211, 2012).

V Sloveniji se pojem prostorske enote lahko nanaša na parcelo, stavbo ali del stavbe. ZEN v 97. členu opredeljuje določitev nepremičnin za različne primere prostorskih enot. Kot nepremičnina se določi:

- parcela, če »na parceli ni stavbe.«
- parcela s stavbo, če je »na parceli, na kateri stoji stavba ali je z njo povezana, ena ali več stavb z enim delom ali stavba z dvema deloma ali več deli stavb in stavba ni v etažni lastnini.«
- deli stavb s pripadajočimi skupnimi deli, če je »na parceli, na kateri stoji stavba ali je z njo povezana, stavba z dvema deloma ali več deli stavb in je stavba v etažni lastnini.«
- parcela s stavbno pravico, kjer se »kot samostojni nepremičnini določita parcela, na kateri je zgrajena stavba, ki je obremenjena s stavbno pravico, in stavba, ki jo ima v lasti imetnik stavbne pravice.«

Pojem prostorske enote je treba razširiti tudi na druge gradbene objekte, ki jih LADM opredeljuje kot del gospodarske javne infrastrukture. To so podzemne in nadzemne prometnice ter podzemni gradbeno-inženirski objekti druge gospodarske infrastrukture.

Izhajajoč iz obstoječega sistema zemljiške (nepremičninske) administracije in upoštevajoč smernice standarda LADM smo izdelali predlog konceptualnega modela 3D-katastra nepremičnin v Sloveniji (Slika 7.24). Obstoječi razredi so prikazani s polno črto, neobstoječi pa črtkano. Razred *SI_Party* vsebuje podatke o osebah (lahko tudi *SI_Oseba*), ki so kot nosilci pravic, omejitev in odgovornosti (Razred *SI_RRR*, lahko tudi *SI_PraviceOmejitveOdgovornosti*) vknjiženi v zemljiško knjigo. V obstoječem sistemu zemljiške administracije v Sloveniji ne obstaja pojem temeljne nepremičninske enote *SI_BAUnit* (*SI_NepremičninskaEnota*), ki se nanaša na nepremičninske enote, na katere so vezane enolične in homogene pravice, omejitve in odgovornosti.



Slika 7.24: Konceptualni model 3D-katastra v Sloveniji.

Figure 7.24: Conceptual model of a 3D cadastre in Slovenia.

V zemljiškem katastru so obstajali posestni listi, ki so bili »izpis podatkov o nepremičninah v eni katastrski občini, ki so v lasti istega lastnika ali solastnikov« (Pravilnik o vrstah in vsebini potrdil iz zbirk geodetskih podatkov, 5. člen). Povezani so bili z zemljiškknjižnimi vložki, ki so znotraj posamezne katastrske občine združevali »samo nepremičnine, ležeče v isti katastrski občini, na katerih je lastninskopravno stanje enako.« (Zakon o zemljiški knjigi – ZZK, 54. člen). V obstoječem katastru je temeljna posestna (nepremičninska) enota enaka prostorski odmerjeni enoti, to je zemljiški parceli, stavbi ali delu stavbe. Predvsem zaradi množičnega vrednotenja nepremičnin smo v Sloveniji že uvedli nekatere izjeme, za katere smo v evidenci REN določili nepremičninske enote. Problem pristopa je, da ni sistemski, in da je nastal nekoliko preveč ločeno od zemljiške knjige in koncepta obstoječih katastrov. Opozarjamo recimo na primer zaščitene kmetije, ki obsega različne prostorske

enote, a kot nepremičninska enota ni evidentirana v katastrih (niti ne v REN-u). Izjema so tudi stanovanja in drugi deli stavbe, kjer pri izvedbi pravnega posla nastopajo kot skupina prostorskih enot (na primer stanovanjskega dela stavbe, shrambe, garaže in dela parcele).

V modelu smo se osredotočili na nepremičninske enote, in sicer smo preučili, katere prostorske enote lahko sestavljajo nepremičninsko enoto. Kot nepremičninske enote *SI_SpatialUnit* smo opredelili zemljiško parcelo (*SI_Parcel*), deloma tudi stavbo (*SI_Building*) – slednja je lahko v sistemu evidentirana preko dela stavbe (en del stavbe), del stavbe (*SI_BuildingUnit*) ali objekt gospodarske javne infrastrukture (*SI_Network*). Zemljiška parcela je samostojna nepremičninska enota, če na njej ne stoji stavba ali če je na stavbi vknjižena stavbna pravica. Na zemljiški parceli lahko stoji ena ali več stavb, prav tako je lahko s parcelo povezan drug zgrajeni objekt. Stavba ima lahko vsaj en del stavbe. Če je delov stavbe več in je na stavbi vzpostavljena etažna lastnina, potem posamezni del stavbe nastopa kot samostojna nepremičninska enota. Posamezni del stavbe se vedno nanaša na eno stavbo, ki pa lahko stoji na eni ali več parcelah.

Na tem mestu opozarjamo na problem slovenske zakonodaje, ki omogoča, da stavba stoji na eni ali več parcel ali delov parcel. Za ureditev tega problema bi morali po zgledu mnogih razvitih držav opredeliti pojem gradbene ali stavbi pripadajoče parcele, ki določa parcelo, na kateri stoji stavba ali drug zgrajeni objekt in je potrebna za osnovne funkcije stavbe.

V modelu smo predlagali tudi novo prostorsko enoto, ki se nanaša na objekte gospodarske javne infrastrukture (*SI_Network*), kar trenutno zakonsko ni urejeno. Od gospodarske javne infrastrukture so v zemljiškem katastru trenutno evidentirane prometnice in vode na površju Zemlje, ki jih lahko po predlaganem modelu evidentiramo tudi trirazsežno. Evidentiranje lahko razširimo tudi na druge podzemne in nadzemne objekte gospodarske infrastrukture.

7.2.4 Model 3D-katastra nepremičnin – razprava

V sintezi smo pokazali, da so v obstoječem sistemu zemljiške administracije na voljo raznoliki podatki, ki jih lahko uporabimo pri vzpostavitvi 3D-katastra nepremičnin, če se omejimo na vidik grafične predstavitve nepremičninskih enot v 3D-okolju, delno tudi upoštevajoč pravno ureditev na področju obravnave. Obstoječe evidentiranje stavb v katastru je mogoče nadgraditi v obliki podatkovnega modela, ki omogoča trirazsežni prikaz stavb in njihovih delov. Slednje bi pripomoglo k večji jasnosti in preglednosti pri evidentiranju pravic, omejitev in odgovornosti, prav tako bi storili pomemben korak v smeri mnogonamenskega katastra. Veliko pravno praznino v Sloveniji predstavlja evidentiranje drugih gradbeno-inženirskih objektov, ki niso stavbe in se praviloma nanašajo na gospodarsko javno infrastrukturo ter potekajo nad ali pod zemeljskim površjem.

Če povzamemo, imamo v Sloveniji na voljo veliko kakovostnih topografskih in katastrskih podatkov, ki jih lahko uporabimo tudi za vzpostavitev 3D-katastra. Pri stavbah so v zemljiškem katastru evidentirana zemljišča pod stavbami, v katastru stavb pa hranimo podatke o višini stavbe, številu etaž in etažnih načrtih. Podatki o strehah so na voljo položajno kot tlorisi strehe z najvišjo točko strehe, v DTM se dodatno zajemajo tudi višine kapi. Iz teh podatkov je že mogoče izdelati trirazsežni model stavbe, ki predstavlja pomembno vsebino 3D-katastra, pri čemer dodatnih podatkov ni treba zajemati. Problem trenutno predstavlja oblika zapisa podatkov v katastru stavb, ki je za etažne načrte in prereze v rastrski obliki. Zahteva po posredovanju vektorskih podatkov geodetski upravi s strani geodetskih podjetij ne bi podražila katastrskih podatkov, saj rastrski prikazi temeljijo na vektorskih modelih. Edini dodatni podatek, ki bi ga morali zajeti pri katastrskih postopkih za 3D-prikaz stavb in delov

stavb, je poleg karakterističnih višin strehe (te podatke je mogoče pridobiti z množičnim zajemom podatkov – z daljinskim zaznavanjem) višina posameznih etaž oziroma prostorov.

Pri prometnicah in drugih gradbeno-inženirskih objektih, ki niso stavbe, velja izpostaviti, da so tiste, ki potekajo po zemeljskem površju, že lahko evidentirane v zemljiškem katastru v obliki zemljiške parcele, medtem ko evidentiranja nadzemnih in podzemnih objektov zakonodaja še ne omogoča. To področje je treba najprej urediti pravno. Za vključitev nadzemnih objektov v 3D-katastrski prikaz, prav tako pa za modele stavb (streh), bi lahko uporabili stereopare CAS in fotogrametrične oblake točk LSS, ki pokrivajo celotno območje države in omogočajo modeliranje trirazsežnih objektov. Te lahko nato kot prostorske enote vključimo v 3D-kataster.

8 ZAKLJUČEK

V doktorski disertaciji smo obravnavali analizo možnosti vzpostavitve 3D-katastra nepremičnin ob uporabi virov daljinskega zaznavanja. To področje doslej še ni bilo celovito obdelano in ovrednoteno, predvsem z vidika interdisciplinarnosti področij zemljiške administracije in daljinskega zaznavanja. Med raziskovalnim delom smo poskusili najti odgovore na vprašanji: (1) kako nadgraditi katastrsko izmero za vzpostavitev 3D-katastra nepremičnin v smislu omogočiti grafično predstavitev katastrskih podatkov v 3D-okolju in (2) ali je možno pridobiti ustrezne podatke za vzpostavitev 3D-katastra s tehnologijami daljinskega zaznavanja. Doktorsko delo, v katerem so predstavljeni ozadje naloge, raziskovalno delo in rezultati raziskave, je vsebinsko razdeljeno na šest delov.

V prvem delu naloge (drugo poglavje) je opisan koncept strukturiranja prostora na nepremičninske enote. Opredelili smo se do pojmov prostor in zemljišče. Prostor smo predstavili kot stvarnost, ki je prostorsko neskončna, po času spremenljiva in vsebinsko zapletena fizična realnost, ki nas obdaja. Zemljišča kot del stvarnosti predstavljajo temelj za razvoj številnih različnih vrst zemljišč, te pa vplivajo na rabo zemljišč in navsezadnje tudi na parcelno strukturo zemljišč. Predstavili smo strukturiranje prostora v fizičnem smislu, ki se odraža preko različne vrste rabe zemljišč, pri čemer smo vključili tudi zgodovinski vidik. Pri tem smo izpostavili izziv vertikalnega strukturiranja prostora v sodobnem svetu v smislu vse pogostejše raznolike rabe prostora na različnih višinskih ravneh. Nato smo se opredelili do abstraktnega strukturiranja prostora v obliki nepremičninskih enot, pri čemer smo zemljišča obravnavali kot zaokrožen del zemeljske površine, na katero se nanašajo lastninska in druge stvarne pravice, skupaj z naravnimi in ustvarjenimi danostmi, ki se vežejo na zemljišče in so predmet pravic na zemljiščih. Obravnavali smo pravice, omejitve in odgovornosti, ki se nanašajo na zemljišča. Za slednja pogosto uporabljamo tudi besedo nepremičnina, ki je opredeljena kot zaključeni in omejeni del prostora, vključno z vsemi sestavinami. Sledila je študija pristopov modeliranja prostora za potrebe zemljiške administracije, katerih namen je zapleteno fizično stvarnost predstaviti s poenostavljenimi in abstraktnimi modeli. Ugotovili smo, da dvorazsežno modeliranje prostora (nepremičnin) danes v okviru sistemov zemljiške administracije ne zagotavlja več učinkovitega evidentiranja strukture prostora z nepremičninskega vidika. Zato je potreben nov pristop modeliranja prostora, ki zahteva trirazsežno modeliranje prostorskih podatkov. Kot osnovno enoto evidentiranja nepremičnin smo določili nepremičninsko enoto. Pri definiciji nepremičninske enote smo izpostavili v številnih pravnih sistemih uveljavljeno načelo *superficies solo cedit*, ki pove, da nepremičnina zajema poleg zemljiške parcele tudi vse sestavine, ki so spojene z zemljiščem. Ob upoštevanju načela spojenosti zgrajenih objektov z zemljiščem v smislu homogenih pravic, omejitev in odgovornosti na celotni nepremičnini, je zemljiška parcela še vedno ustrezen način evidentiranja v podporo pravni varnosti nosilcev pravic na nepremičnini, kar pa ne velja za druge namene zemljiške administracije (vrednotenje nepremičnin, prostorsko planiranje ipd.). Dodatno je vertikalno strukturiranje prostora povzročilo odstopanja od načela spojenosti z zemljiščem. Pravno ločitev stavbe od zemljišča v Sloveniji omogoča podobno kot v drugih državah s sorodnim pravnim sistemom stavbna pravica, razdelitev stavbe na več nepremičninskih enot pa etažna lastnina. Dvorazsežno evidentiranje stavb je javnosti težko razumljivo in lahko povzroči veliko napak pri evidentiranju nepremičnin, zato so ustreznejši 3D-modeli, tudi v luči mnogonamenskosti podatkov. Poleg stavb smo izpostavili tudi problem drugih gradbeno-inženirskih objektov, ki niso stavbe in ležijo nad ali pod zemeljskim površjem (prometnice in drugi objekti gospodarske infrastrukture). Ker so na te objekte vezane drugačne pravice, omejitve in odgovornosti kot na zemljiške parcele, morajo biti ti evidentirani kot neodvisne trirazsežne nepremičninske enote.

Tretje poglavje je namenjeno modeliranju prostora v katastrih, in sicer je predstavljen razvoj evidentiranja zemljišč od prvih začetkov do danes. Evidentiranje zemljišč se je začelo že v starih

civilizacijah na območjih porečja rek Evfrat in Tigris ter Nila. Iz tega obdobja je ohranjena glinasta plošča iz 2500 let pr. n. št., ki jo štejemo za prvi znan načrt zemljišč. V Evropi med najstarejše ohranjene načrte zemljišč spada stenska risba, imenovana Capodelmontska mapa, iz leta 1500 pr. n. št. V obdobju starorimske civilizacije so poznali poklic zemljemercev in evidentiranje zemljišč glede na lastninsko pravico in vrsto rabe. Iz obdobja fevdalizma so poznani urbarji, ki so popisi rustikalnih kmetijskih zemljišč, vključno z uporabniki in njihovimi podatki, obveznostmi ter služnostmi fevdalnemu gospodu. Začetki sodobnega katastra v Srednji Evropi in v Sloveniji segajo v obdobje Habsburške monarhije, kjer so se v 18. st. začele davčne in splošne reforme, katerih cilj je bil vzpostavitev reformiranega sistema nepremičninskega davka. V ta namen je bil najprej izdelan terezijanski popis zemljišč, kateremu je sledil jožefinski kataster, ki je postavil temelje za kasnejši franciscejski kataster, katerega katastrski načrti grafične izmere so še danes osnova katastru na veliko območjih v Sloveniji. Konec 19. stoletja sta staro grafično metodo izmere zamenjali ortogonalna in polarna izmera, katastrska izmera pa se je začela izvajati v enotnih geodetskih referenčnih koordinatnih sistemih. Po drugi svetovni vojni so katastrsko-topografski načrti novih izmer na območjih intenzivne poselitve in kmetijske pridelave zamenjali grafične katastrske načrte. Takrat se je pojavila tudi potreba po mnogonamenskem katastru, pri katerem katastrski podatki ne služijo le zaščiti pravic in obdavčenju, ampak so pomemben temelj za načrtovanje prostorskega razvoja in v podporo drugim odločitvam v prostoru. V preteklih dveh desetletjih je postal kataster pomemben del prostorskih podatkovnih infrastruktur, ki nudijo informacijsko podporo za sprejemanje raznolikih odločitev v prostoru, tudi v povezavi s trajnostnim razvojem, podnebnimi spremembami in naravnimi ter drugimi nesrečami. Ugotovili smo, da zemljiške parcele kot osnovna nepremičninska enota v dosedanjih parcelno orientiranih katastrih niso zadostne za evidentiranje naraščajočega števila različnih interesov v prostoru, saj je urbanizacija prinesla gradnjo zapletenih stavb in drugih gradbeno-inženjerskih objektov v več vertikalnih plasteh prostora. Sodobni katastri morajo biti zato objektno orientirani in sposobni upravljanja s tretjo razsežnostjo.

V četrtem poglavju je opisana zasnova 3D-katastra nepremičnin z modelom prehoda iz 2D-parcelnega v 3D-kataster. Najprej smo izpostavili potrebe za vzpostavitev 3D-katastra. Podatki o zemljiščih in stavbah so večinoma dvorazsežni in temeljijo na parcelnem katastru. Višine so pogosto prikazane na načrtih kot atribut brez jasnega in učinkovitega opisa ali grafične predstavitve tretje razsežnosti. Takšen način evidentiranja 3D-nepremičninskih enot je zapleten in uporabnikom težko razumljiv. Brez uvedbe 3D-katastra je evidentiranje nepremičninskih pravic, omejitev in odgovornosti na več prostorskih ravneh (večetažni objekti, infrastruktura nad in pod zemeljskim površjem) nemogoče ali pomanjkljivo. 3D-kataster nepremičnin predstavlja pomembno podatkovno podporo upravljanju s pravicami, omejitvami in odgovornostmi na nepremičninah v 3D-prostoru, zato bi moral biti del sodobnega sistema zemljiške administracije. Potrebe za vzpostavitev 3D-katastra nepremičnin smo razdelili na pravne (evidentiranje pravic, omejitev in odgovornosti na nepremičninah), fiskalne (vrednotenje in z njo povezana obdavčitev nepremičnin) in ostale potrebe, ki so povezane z mnogonamensko vlogo sodobnega katastra (prostorsko načrtovanje, celovito upravljanje s prostorom, analize sprememb na zemeljskem površju, modeliranje naravnih virov in onesnaževanja okolja, upravljanje pri naravnih in drugih nesrečah, poplavne študije itd.). Pomemben poudarek je na pregledu virov in literature na področju 3D-katastra nepremičnin. Razvite države se vsaka po svoje spopadajo z izzivi trirazsežnega evidentiranja nepremičnin, pri čemer 3D-kataster pogosto uvajajo kot nadgradnjo obstoječega parcelnega katastra. Trenutne raziskave potekajo v smeri vzpostavitve modela 3D-katastra, ki bi omogočal izvedbo raznolikih poizvedovanj in aplikacij, ki jih omogoča parcelni kataster. V zaključku tega dela naloge smo predstavili model prehoda iz parcelnega v 3D-kataster nepremičnin. Za primer Slovenije smo izhajali iz vsebine 3D-katastra (kateri podatki naj se evidentirajo) in pregleda vsebine obstoječega katastra (kateri podatki so že na voljo), na podlagi

katerih določimo dodatne podatke za vzpostavitev 3D-katastra in njihove vire. Osnovna enota predlaganega 3D-katastra je 3D-nepremičninska enota, ki se navadno nanaša na nepremičnino, ki je pravno omejena tako položajno kot višinsko. Je prostor na, nad ali pod zemeljskim površjem, ki določa in predstavlja lastninsko pravico, omejitev ali odgovornost. Ker se nepremičninske enote pogosto nanašajo na fizične objekte, jih je treba vključiti v model katastra. Pomemben del 3D-katastra so stavbe, ker stavbe in njeni deli kot fizični objekti istočasno določajo tudi 3D-nepremičninske enote. Stavba in njeni deli so kot nepremičninske enote lahko evidentirani z različnimi stopnjami podrobnosti, zato smo po zgledu LoD v topografskih bazah predstavili stopnje podrobnosti modelov in prikaza prostorskih podatkov pri evidentiranju nepremičnin. Poleg stavb so lahko pomemben predmet evidentiranja v 3D-katastru tudi ostali trirazsežni objekti v prostoru, na katere bi se lahko nanašala lastninska ali druga stvarna pravica, kot so prometnice, ki potekajo nad in pod zemeljskim površjem, ter drugi gradbeno-inženirski objekti gospodarske infrastrukture, lahko pa tudi naravni objekti (rudnine, vode ipd.).

Peto poglavje je namenjeno pregledu in analizi izbranih tehnologij daljinskega zaznavanja, ki bi jih lahko uporabili pri vzpostavitvi 3D-katastra. 3D-kataster nepremičnin mora ustrezati zahtevam sodobnih katastrskih sistemov tudi glede položajne točnosti, zato mora biti položaj objektov določen v prostorskem referenčnem sistemu. Moderne tehnologije kot so globalni navigacijski satelitski sistemi in daljinsko zaznavanje omogočajo danes učinkovit zajem prostorskih podatkov na velikih površinah. Predstavili smo različne tehnologije, s katerimi bi lahko pridobili koristne podatke za trirazsežen prikaz objektov v katastru. Omejili smo se na podatke aerofotogrametrije in aerolaserskega skeniranja, dotaknili pa smo se tudi potencialnih virov podatkov bližnjleslikovne fotogrametrije in terestričnega laserskega skeniranja. Tudi satelitsko daljinsko zaznavanje danes omogoča pridobivanje visokoločljivih stereopodob, katerih prostorska ločljivost je primerljiva z letalskimi posnetki. Dodatno smo obravnavali brezpilotne letalne sisteme, katerih prednost je ekonomičnost in visoka absolutna točnost določitve detajla, ki zadosti tudi najvišjim zahtevam po kakovosti v katastru. Izpostavili smo kombinacije različnih virov podatkov, predvsem slikovnih metod in laserskega skeniranja, kar predstavlja uspešno orodje za trirazsežno modeliranje. Za namene zajema katastrskih podatkov je lasersko skeniranje bolj uspešno pri zajemu stavb, slikovne metode pa za zajem posestnih meja. Podatke daljinskega zaznavanja lahko koristno dopolnujemo tudi z etažnimi načrti, ki zagotavljajo manjkajoče informacije o notranjosti objekta. V nadaljevanju smo opravili analizo primernosti izbranih tehnologij daljinskega zaznavanja za uporabo v katastru. Obravnavali smo različne katastrske objekte, in sicer mejna znamenja, stavbe, prometnice, razgibanost reliefa in dejansko rabo. Za zajem mejnih znamenj smo ugotovili, da so edini primerni brezpilotni letalni sistemi zaradi zagotavljanja visoke točnosti določitve položaja in visokoločljivega ortofota, ki omogoča prepoznavo mejnih znamenj. Aerolasersko skeniranje je zaradi visoke višinske točnosti primerno za zajem streh stavb, prometnic in reliefa. Stereopari letalskih posnetkov so učinkoviti za zajem streh stavb in prometnic, ki ne zahtevajo visoke točnosti višin. Ortofoto uporabljamo za določanje dejanske rabe zemljišč. Na koncu smo predstavili še obstoječe topografske podatke v Sloveniji, ki bi jih lahko uporabili za vzpostavitev 3D-katastra. To so: fotogrametrični oblaki točk laserskega skeniranja Slovenije, stereopari cikličnega aerofotografiranja Slovenije, ortofoto in državni topografski model.

V petem delu predstavili rezultate primerjave primernosti izbranih tehnologij daljinskega zaznavanja za vzpostavitev 3D-katastra nepremičnin, ki smo jo izvedli na praktičnem primeru v okolici Osnovne šole Antona Tomaža Linhart v Radovljici. Testirali smo različne vire daljinskega zaznavanja in jih primerjali z GNSS- ter tahimetrično izmero kot referenčnim virom. Opravili smo dve izmeri z brezpilotnim letalnim sistemom, in sicer pri vetrovnih pogojih in v stabilnih vremenskih razmerah. Ugotovili smo, da imajo vremenske razmere velik vpliv na kakovost izmere. Veter namreč poslabša

rezultate, zato je treba za visoko točnost meritve opraviti v stabilnih vremenskih razmerah. Izmera pri ugodnih vremenskih pogojih je ustrezna kakovosti klasične terestrične izmere. Predhodno je treba mejnike signalizirati, pri čemer morajo biti signali nedvoumni in jasni. Za zajem streh stavb smo testirali štiri različne podatkovne vire, in sicer fotogrametrični oblak točk, pridobljen z brezpilotnim letalnim sistemom, aerolaserskim skeniranjem z gostoto 40 točk na m² in aerolaserskim skeniranjem z gostoto 5 točk na m² ter stereopar letalskih posnetkov. Podob satelitskega daljinskega zaznavanja nismo vključili, ker smo imeli na razpolago dovolj drugih virov. Ugotovili smo, da državno aerolasersko skeniranje ločljivosti 5 točk na m² zadošča za zajem značilnih točk streh v katastru. V slovenskem katastru stavb so bile strehe na območju celotne države že zajete stereoskopsko iz letalskih posnetkov CAS, zato smo predlagali dopolnitev teh podatkov s podatki aerolaserskega skeniranja za izmero vseh značilnih točk slemena in kapi strehe. Za prikaz nivojskega križanja avtoceste in njenega priključka smo primerjali fotogrametrični oblak točk aerolaserskega skeniranja ločljivosti 5 točk na m² in stereopar CAS. Oba vira pokrivata celotno območje države in sta primerna za zajem prometnic ter njuno evidentiranje nad zemeljskim površjem. Na tem mestu velja opozorilo, da obstoječa zakonodaja še ne omogoča evidentiranja objektov gospodarske infrastrukture (če objekt ni ekvivalenten zemljiški parceli ali stavbi) in jo je treba nadgraditi. Vsem tehnikam daljinskega zaznavanja pa je skupna pomanjkljivost, da izmera ni mogoča pri geometrijskih ovirah, kot so: strehe, objekti in vegetacija, zato bi bilo treba »množični zajem podatkov« o nepremičninskih enotah za bolj detajlno modeliranje nepremičninskih objektov nadgraditi s podatki terestrične izmere (ta se lahko izvaja v okviru rednih katastrskih postopkov).

V sedmem poglavju obravnavamo možnost vzpostavitve 3D-katastra nepremičnin v Sloveniji. Na začetku smo opisali obstoječi sistem zemljiške administracije, ki zajema zemljiško knjigo, zemljiški kataster in kataster stavb. Predstavili smo obstoječi način evidentiranja in podatke, ki jih kataster vsebuje. Obstoječa zakonodaja omogoča vzpostavitev etažne lastnine in s tem uvedbo 3D-nepremičninskih enot pri stavbah in delih stavb. V nadaljevanju smo predlagali nadgradnjo obstoječega sistema v 3D-kataster. Predlagali smo zajem dodatnih podatkov, ki manjkajo za trirazsežen prikaz nepremičninskih objektov. To so značilne točke slemena in kapi strehe z višinami ter prostorske razsežnosti nadzemnih in podzemnih stavb ter drugih gradbeno-inženirskih objektov. Na primeru večstanovanjske stavbe in viadukta ter predora na avtocesti smo predstavili obstoječ način evidentiranja in predlagan model evidentiranja nepremičninskih enot v 3D-katastru. Pri evidentiranju stavb z več deli smo predstavili različne stopnje podrobnosti, pri katerih je lahko kot samostojna nepremičninska enota evidentirana parcela s stavbo, posamezna stavba ali del stavbe. Evidentiranja drugih nadzemnih in podzemnih objektov obstoječa zakonodaja še ne podpira. Zato smo v primeru nadzemnih prometnic predlagali uvedbo nadzemnih parcel, v primeru podzemnih prometnic pa samostojno 3D-nepremičninsko enoto. Na koncu smo predstavili še konceptualni model 3D-katastra v Sloveniji, ki je objektno orientiran in je v skladu s standardom LADM.

8.1 Rezultati

V uvodu naloge so bile postavljene tri hipoteze, ki so na podlagi zgoraj opisanih dejstev v celoti potrjene:

- (1) Za popolno in kakovostno evidentiranje pravic, omejitev in odgovornosti na nepremičninah ter evidentiranje drugih podatkov o nepremičninah je potreben 3D-kataster.
- (2) S sodobnimi metodami daljinskega zaznavanja je mogoče hitro in učinkovito zajeti določene podatke za potrebe vzpostavitve 3D-katastra.
- (3) V Sloveniji je možna uvedba 3D-katastra z nadgraditvijo trenutno delujočega sistema zemljiške administracije.

Prvo hipotezo smo preizkusili na temelju obravnave različnih primerov evidentiranja lastninske in drugih pravic na nepremičninah. Ugotovili smo, da so obstoječi katastrski načrti dvorazsežni, osnovno enoto predstavlja zemljiška parcela. Zemljiška parcela omogoča evidentiranje pravic, omejitev in odgovornosti samo v skladu z načelom *superficies solo cedit*. Pri vertikalnem strukturiranju prostora v smislu različnih pravic, omejitev in odgovornosti na različnih vertikalnih plasteh je treba uvesti druge rešitve. V ta namen so posamezne države razvile svoje rešitve v obliki stavbne pravice, etažne lastnine, zakupa ali najema. Stavbe v etažni lastnini so večinoma prikazane na etažnih načrtih ter prerezih stavbe. Za evidentiranje pravic tak pristop načeloma zadostuje, podatki pa ne omogočajo večnamenske rabe, med drugim niti ne omogočajo podatkovne podpore sodobnim sistemom vrednotenja in obdavčevanja nepremičnin, prostorskemu načrtovanju ipd. Stavbe kot izraziti trirazsežni objekti bi morali biti prikazani v obliki trirazsežnih modelov, ki so že del nekaterih sistemov zemljiške administracije. Vendar pa obstajajo tudi objekti, ki jih v mnogih parcelnih katastrih ni mogoče evidentirati. Ti so v primeru slovenskega sistema podzemni in nadzemni objekti, ki niso povezani z zemeljskim površjem, npr. predori, mostovi, stavbe na stebrih, podzemne zaloge vode in surovin itd. Zato parcelni kataster ne omogoča niti popolnega niti kakovostnega evidentiranja pravic, omejitev in odgovornosti na vseh nepremičninskih objektih. Za celovito evidentiranje nepremičnin je zato potreben 3D-kataster.

Drugo hipotezo smo preizkusili na različnih izbranih sodobnih tehnologijah daljinskega zaznavanja, ki omogočajo hiter, množičen in točen zajem podatkov o topografskih objektih. Teoretične izsledke smo strnili v primernih tehnologijah za zajem posameznih katastrskih objektov. Različne tehnologije smo preizkusili na praktičnem primeru pri zajemu mejnih znamenj, značilnih točk streh in prometnic. Ugotovili smo, da brezpilotni letalni sistemi omogočajo zajem mejnih znamenj s točnostjo, ki je primerljiva točnosti določitve položaja s klasično terensko izmero. Za zajem streh objektov in nadzemnih prometnic se je za najbolj učinkovitega izkazalo aerolasersko skeniranje, ki ga lahko uspešno dopolnujemo z letalskimi stereopari. S tem smo pokazali, da je s sodobnimi metodami daljinskega zaznavanja mogoče hitro in učinkovito zajeti koristne podatke za potrebe vzpostavitve 3D-katastra (seveda na določeni posplošeni ravni prikaza detajla nepremičninskih enot).

Tretjo hipotezo smo preizkusili na primeru Slovenije. Predstavili smo obstoječi način evidentiranja nepremičnin ter izpostavili katastrske in topografske podatke, ki so že na voljo za celotno državno ozemlje in bi jih lahko uporabili za namene nadgradnje 2D-katastra v 3D-kataster. Na praktičnem primeru smo ugotovili, da lahko fotogrametrični oblak točk državnega aerolaserskega skeniranja Slovenije uspešno uporabimo za pridobitev manjkajočih podatkov o stavbah in nadzemnih prometnicah za izbrano (posplošeno) raven modeliranja in prikaza nepremičnin v 3D-okoljih. Za podrobnejše modele in 3D-prikaze nepremičninskih enot imamo v katastru tudi dodatne vire podatkov (za primere katastrsko vpisanih stavb), ki omogočajo nadgradnjo dvorazsežnega prikaza stavb na etažnih načrtih v notni trirazsežni model stavbe. Obstoječa zakonodaja pa še ne omogoča evidentiranja podzemnih in nadzemnih prometnic ter drugih gradbeno-inženirskih objektov gospodarske infrastrukture (ki niso zemljiške parcele ali stavbe), zato smo predlagali uvedbo pojmov nadzemne parcele za nadzemne prometnice (mostovi, nadvozi, viadukti ...) in 3D-nepremičninske enote za podzemne prometnice (predori, podvozi ...). Predstavili smo tudi nov konceptualni model 3D-katastra nepremičnin. Nov konceptualni model vključuje obstoječo vsebino zemljiškega katastra in katastra stavb z nadgraditvijo s podatki o tretji razsežnosti, ki smo jo poleg stavb razširili še na druge objekte. Pokazali smo, da je v Sloveniji možna uvedba 3D-katastra nepremičnin z nadgraditvijo trenutno delujočega sistema brez občutno večjih stroškov (dodatnih podatkov) z vidika vzdrževanja katastra.

8.2 Sklepne ugotovitve in doprinos k znanosti

V doktorski disertaciji smo združeno obravnavali področji zemljiške administracije in daljinskega zaznavanja. Ti dve področji pri nas doslej še nista bili celovito obravnavani kot celota in ovrednoteni z vidika uporabnosti. Človeške dejavnosti v prostoru niso omejene le na zemeljsko površje, ampak tudi na prostor nad in pod njim. Obstoječi način evidentiranja, ki v številnih državah temelji na parcelnih katastrih, ne omogoča celovite registracije pravic, omejitev in odgovornosti na različnih vertikalnih prostorskih ravneh. Ugotovili smo, da lahko na osnovi 3D-katastra nepremičnin sistemsko in kakovostno evidentiramo pravice, omejitve in odgovornosti, ki se nanašajo na raznolike vrste nepremičninskih enot. Zemljiška parcela kot osnovna enota se razširi v nove oblike 3D-nepremičninskih enot, ki se ne nanašajo izključno le na zemeljsko površje, ampak tudi na stavbe in druge objekte, ki ležijo nad ali pod zemeljskim površjem.

Pri evidentiranju trirazsežnih objektov smo se osredotočili na možne vire 3D-podatkov. Daljinsko zaznavanje se je doslej uporabljalo večinoma za zajem topografskih podatkov, zato je naš pristop z vidika uporabnosti tehnologij daljinskega zaznavanja v zemljiški administraciji razmeroma novo in neraziskano področje. Pokazali smo, da tehnologije daljinskega zaznavanja omogočajo množičen zajem podatkov, ki jih potrebujemo za vzpostavitev 3D-katastra nepremičnin. Naša ugotovitev je bila potrjena tudi s praktično izvedbo na primeru slovenskega katastra.

V nalogi smo predlagali postopek prehoda iz obstoječega parcelnega katastra v 3D-kataster, pri čemer smo se osredotočili na vsebino obstoječega in 3D-katastra, s poudarkom na prostorskih modelih in podatkih, ki omogočajo 3D-grafično predstavitev nepremičninskih enot. Za primer Slovenije smo pokazali, da je v možna nadgradnja obstoječega evidentiranja nepremičnin v 3D-kataster. Izdelali smo konceptualni model, ki je objektno orientiran, temelji na mednarodnem standardu LADM in omogoča trirazsežno evidentiranje nepremičnin. Predlagali smo uvedbo nove nepremičninske enote, ki poleg stavb omogoča tudi 3D-evidentiranje drugih objektov. Nov model 3D-katastra je zanimiv tudi za druge države, ki imajo že vzpostavljen parcelni kataster in ga želijo nadgraditi v 3D-kataster. Pomemben prispevek raziskave je model prehoda iz parcelnega v 3D-kataster nepremičnin, pri čemer konceptualni model 3D-katastra temelji na nadgradnji obstoječega sistema zemljiške administracije.

Nadaljnje raziskovanje predlagamo v smeri vzpostavitve popolnega modela 3D-katastra, ki ne bo več omejen le na posamezne trirazsežne objekte. Ta korak zahteva spremembo zakonodaje in popolnoma nov koncept nepremičninske enote. 3D-kataster mora namreč poleg prikaza trirazsežnih modelov objektov omogočati tudi poizvedovanja in prostorske analize. V ta namen je treba podrobneje opredeliti podatkovne modele, kar predstavlja prav tako pomemben izziv. Dodatno bo treba v prihodnosti na znanstveno-raziskovalnem področju posvetiti pozornost uvedbi časovne komponente v podatkovni model katastra nepremičnin in podrobnejši opredelitvi postopkov (»dogodkov«) spreminjanja oziroma vzdrževanja podatkov katastra nepremičnin, pri čemer je treba poleg vidika registracije oziroma evidentiranja podatkov upoštevati tudi prostorsko-pravni vidik strukturiranja prostora.

9 POVZETEK

Zemljišča so od nekdaj predstavljala ključni naravni vir za obstoj človeka, saj predstavljajo prostor, kjer človek biva in deluje, predstavljajo vir prehrane, v tržnem gospodarstvu pa predstavljajo zemljišča tudi pomemben vir kapitala. Vendar zemljišč ne smemo obravnavati le kot ločeno fizično enoto, ampak kot sestavni del družbe z vsemi njenimi predpisi, institucijami in družbeno gospodarskimi značilnostmi. Zato lahko zemljišče opredelimo tudi kot zaokrožen del zemeljske površine, na katero se vežejo lastninska in druge stvarne pravice, skupaj z naravnimi in ustvarjenimi danostmi, ki se vežejo na zemljišče in so predmet pravic na zemljiščih. Številni raznovrstni interesi v prostoru, ki se izražajo z različnimi vrstami rabe zemljišč s pripadajočimi pravicami, omejitvami in odgovornostmi, potrebujejo učinkovito zemljiško administracijo. Kataster kot glavni del zemljiške administracije nudi podporo gospodarskemu razvoju in načrtovanju prostora, ker vsebuje številne podatke o zemljiščih, ki so osnova za zaščito lastninske in drugih pravic ter za določitev vrednosti nepremičnin. Njegova osnovna naloga je kar najbolje služiti družbi. Osnovna enota evidentiranja je v parcelnih katastrih zemljiška parcela, na katero so vezane pravice, omejitve in odgovornosti. Za zemljišča v strokovni javnosti pogosto uporabljamo tudi besedo nepremičnina, ki se nanaša na zaključeni in omejeni del prostora, vključno z vsemi sestavinami.

Raba prostora ni omejena le na zemeljsko površje, ampak tudi na prostor nad in pod njim. Tudi pravice do uporabe zemljišč so se že od nekdaj v osnovi navezovale na trirazsežni prostor, saj poleg površja Zemlje k zemljiščem spadajo tudi tla pod površjem in zračni prostor nad površjem Zemlje. Intenzivna in učinkovita raba prostora na več ravneh obsega več etažne stanovanjske komplekse, poslovno stanovanjske stavbe, podzemne železnice in garaže ter podhode, ki služijo tudi opravljanju različnim trgovskim in drugim storitvenim dejavnostim. Zato dvorazsežno modeliranje prostora v obliki katastrskih načrtov danes ne ustreza več učinkovitemu evidentiranju strukture prostora z nepremičninskega vidika, ki se izvaja na več prostorskih ravneh. Pojavila se je potreba po evidentiranju prostora v treh razsežnostih oziroma na kratko 3D-katastru. 3D-kataster je nepremičninska evidenca, ki omogoča evidentiranje nepremičnin vključno s pravicami, omejitvami in odgovornostmi v trirazsežnem okolju. Pojem zemljiške parcele zamenjuje oziroma ga dopolnjuje pojem trirazsežne nepremičninske enote. Zemljiška parcela je v 3D-katastru le poseben primer 3D-nepremičninske enote. Za vzpostavitev 3D-katastra so potrebni trirazsežni podatki. Moderne tehnologije, kot so globalni navigacijski satelitski sistemi in tehnologije daljinskega zaznavanja, danes omogočajo hiter, množičen in stroškovno sprejemljiv zajem 3D-podatkov, ki so lahko koristno uporabljeni tudi v sistemih zemljiške administracije.

V doktorski nalogi smo analizirali možnosti vzpostavitve 3D-katastra ob uporabi virov daljinskega zaznavanja. Interdisciplinarno smo obravnavali dve področji, in sicer evidentiranje nepremičnin in daljinsko zaznavanje. Da sistemi zemljiške administracije lahko zadovoljujejo potrebe družbe, morajo odražati dejansko stanje nepremičnin v prostoru. Ugotovili smo, da je za popolno evidentiranje pravic, omejitev in odgovornosti na nepremičninah ter evidentiranje drugih podatkov o nepremičninah potreben 3D-kataster. Na evidentiranje nepremičnin pa imajo velik vpliv podatki. Osredotočili smo se na sodobne tehnologije daljinskega zaznavanja in ugotovili, da je z njimi mogoče hitro in učinkovito zajeti koristne podatke za vzpostavitev 3D-katastra. Na koncu smo predlagali še uvedbo 3D-katastra v Sloveniji z nadgraditvijo trenutno delujočega sistema zemljiške administracije.

Začeli smo s konceptom nepremičninske enote, ki jo v osnovi predstavlja zemljiška parcela z vsemi svojimi sestavinami. Odstopanje od načela spojenosti z zemljiščem predstavljata stavbna pravica in etažna lastnina. V teh primerih nepremičninsko enoto predstavlja stavba ali njen del. Stavbe so

grafično prikazane na etažnih načrtih s številnimi prerezi, ki so težko razumljivi in lahko povzročijo veliko napak pri evidentiranju nepremičnin. Zato so za predstavitev stavb ustrežnejši trirazsežni modeli. Trirazsežno modeliranje zahtevajo tudi ostali objekti, ki ležijo nad ali pod zemeljskim površjem in hkrati z njim niso povezani. To so prometnice, ki potekajo po predorih ali mostovih, podzemno pridobivanje surovin, stavbe na stebrih, podzemne zaloge pitne vode itd. Takšne objekte je namreč težko predstaviti z dvorazsežnimi načrti, ker se ne dotikajo zemeljskega površja, ki je predmet evidentiranja v parcelnih katastrih. Ugotovili smo, da je v ta namen potrebna uvedba posebne trirazsežne nepremičninske enote, ki bo omogočala evidentiranje vseh nepremičnin.

Pripravili smo zgodovinski pregled evidentiranja nepremičnin. Prvi načrti zemljišč so ohranjeni še iz časov starih civilizacij na območju Egipta in takratne Mezopotamije, kjer so zemljišča prikazovali najprej na kamnitih tleh in stenah ter na glinenih ploščicah, ki jih je kasneje zamenjal papir. Danes so katastrski načrti večinoma digitalizirani, ampak še vedno dvorazsežni, pri čemer osnovno enoto predstavlja zemljiška parcela. V zadnjih tridesetih letih so prostorske informacijske tehnologije in teorija trajnostnega razvoja pripeljale do ustvarjanja novih modelov in vlog katastra v družbi. Temeljna naloga katastrov ostaja zagotavljanje varnosti posestnih pravic, omejitev in odgovornosti. Sodobni katastri so se primorani soočati tudi s sodobnimi problemi družbe, kot so zagotavljanje trajnostnega gospodarskega razvoja, usmerjanje zemljiškega trga, urbanistično in ruralno načrtovanje zemljišč, obdavčitev zemljišč, stanovanjska problematika, gradnja in vzdrževanje infrastrukture, okoljsko upravljanje, politična stabilnost, družbena pravičnost, zaščita okolja, izkoriščanje naravnih virov, boj proti podnebnim spremembam, lakoti in revščini ter upravljanje v primeru naravnih in drugih nesreč.

Na podlagi pregleda raziskav s področja 3D-katastra smo ugotovili, da je za popolno evidentiranje pravic, omejitev in odgovornosti, ki se nanašajo na prostorske objekte, potreben 3D-kataster. Osnovna enota 3D-katastra je 3D-nepremičninska enota, ki se navadno nanaša na nepremičnino, ki je pravno omejena tako položajno kot višinsko. Predstavili smo nekatere države, ki se soočajo z izzivi 3D-katastra, te so Norveška, Švedska, Nizozemska, Nemčija, Queensland (Avstralija) in Britanska Kolumbija (Kanada). Izpostavili smo vsebino katastra, ki mora biti vključena tudi v 3D-kataster. Te so poleg zemljišč tudi stavbe in prometnice ter ostali trirazsežni objekti. V kataster morajo biti vključeni tudi fizični objekti, ki so pomembni tudi za določitev poteka posestnih meja. Pri stavbah smo po zgledu LoD v topografskih bazah predstavili stopnje podrobnosti modelov in prikaza prostorskih podatkov pri evidentiranju nepremičnin. Predstavili smo tudi model prehoda iz parcelnega v 3D-kataster nepremičnin.

Pregled tehnologij daljinskega zaznavanja je obsegal aerofotogrametrijo, aerolasersko skeniranje, bližnjefotogrametrijo z mobilnim in terestričnim laserskim skeniranjem ter brezpilotne letalne sisteme. Zaradi svojih značilnosti se lasersko skeniranje in slikovni viri uspešno dopolnjujejo in v kombinaciji prinašajo izboljšanje rezultatov. Nato smo analizirali primernost posamezne tehnologije daljinskega zaznavanja za zajem katastrskih objektov. Ugotovili smo, da so glede na visoke zahteve po natančnosti in točnosti določitve položaja za zajem mejnih znamenj edini primerni brezpilotni letalnimi sistemi. Za zajem streh stavb in prometnic se priporoča uporaba stereoparov letalskih posnetkov in aerolaserskega skeniranja. Slednje je primerno tudi za izdelavo digitalnega modela reliefa, za dejansko rabo pa se uporabljajo ortofoti. Pregledali smo tudi državne topografske podatke, ki bi jih lahko uporabili pri vzpostavitvi 3D-katastra. Ti so stereopari cikličnega aerofotografiranja Slovenije, oblaki točk aerolaserskega skeniranja Slovenije in ortofoti, ki so na voljo za celotno državo.

Teoretične izsledke smo preizkusili na praktičnem primeru. Na testnem območju v Radovljici smo med seboj primerjali različne tehnologije daljinskega zaznavanja za zajem mejnih znamenj, stavb in prometnic. Za zajem mejnih znamenj so bili ustrezni brezpilotni letalni sistemi, s katerimi smo dosegli visoko točnost položaja, ki je primerljiva klasični terestrični izmeri. Ugotovili smo, da vetrovni pogoji poslabšajo točnost, in da morajo biti mejniki predhodno signalizirani. Za zajem značilnih točk streh smo primerjali lasersko skeniranje različnih ločljivosti in stereopar letalskih posnetkov. Ugotovili smo, da fotogrametrični oblak točk državnega aerolaserskega skeniranja Slovenije z ločljivostjo 5 točk/m² zadošča za zajem značilnih točk streh. Za zajem prometnic smo slednjega primerjali s stereopari in ugotovili, da oba izdelka omogočata zajem prometnic, ki potekajo nad zemeljskim površjem. Za evidentiranje podzemnih objektov in notranjost stavb je treba podatke pridobiti iz gradbenih in etažnih načrtov.

Ugotovitve smo strnili v preučevanju možnosti za vzpostavitev 3D-katastra v Sloveniji. Predstavili smo obstoječi način evidentiranja nepremičnin, ki ga sestavljajo: zemljiški kataster, kataster stavb in zemljiška knjiga. V obstoječih evidencah imamo na voljo podatke o položaju mejnih točk, zemljiščih pod stavbo, etažne načrte in prereze stavb. Za trirazsežni prikaz objektov potrebujemo še značilne točke streh in višine etaž. Manjkajoče podatke lahko dobimo iz fotogrametričnega oblaka točk državnega aerolaserskega skeniranja Slovenije. Za različne LoD smo izdelali trirazsežni model stavbe, ki nadomesti etažne načrte in prereze stavbe. Obstoječa zakonodaja omogoča trirazsežno evidentiranje stavb, prometnic in druge gospodarske infrastrukture, ki ne poteka po zemeljskem površju, pa zaenkrat še ni mogoče evidentirati. Za evidentiranje nadzemnih prometnic smo predlagali uvedbo nadzemnih parcel, za evidentiranje predorov pa 3D-nepremičninsko enoto, ki se lahko uporabi tudi za druge podzemne in nadzemne trirazsežne objekte. Na koncu smo izdelali še nov konceptualni model 3D-katastra, ki je objektno orientiran in temelji na standardu LADM.

Doktorska naloga obsega več znanstvenih področij. Sestavljena je tako iz teoretičnega kot tudi iz praktičnega dela. Praktični del je potrdil teoretične izsledke. Tematika doslej še ni bila celovito obdelana in ovrednotena, predvsem z vidika interdisciplinarnosti področij zemljiške administracije in daljinskega zaznavanja. Pokazali smo, kako nadgraditi dvorazsežni prikaz katastrskih objektov v trirazsežne modele. Pri tem smo uporabili tehnologije daljinskega zaznavanja. Ugotovili smo tudi, da se obstoječi državni uradni prostorski podatki lahko koristno uporabijo za vzpostavitev 3D-katastra v Sloveniji. Pomembni nadaljnji izzivi se nanašajo na podrobnejšo opredelitev podatkovnih modelov katastra, uvedbi časovne komponente v podatkovni model katastra nepremičnin in podrobnejši opredelitvi postopkov (»dogodkov«) spreminjanja oziroma vzdrževanja podatkov katastra nepremičnin, kjer je treba poleg vidika registracije podatkov upoštevati tudi prostorsko-pravni vidik strukturiranja prostora.

»Ta stran je namenoma prazna.«

10 SUMMARY

Land has always been a vital natural resource for the existence of human life as it represents an area where people live and work and is an important source of their nourishment. In market economy land also represents a significant source of capital. Land must never be treated only as a separate physical unity, but rather as a constituent part of the society with all of its regulations, institutions and socioeconomic characteristics. This is why land can also be defined as a rounded part of terrain to which property rights and other rights in rem are attached, including natural and manmade conditions linked to land and subject to land rights. Several diverse interests in regard to physical space, which are reflected in various types of land use and associated rights, restrictions and responsibilities, require an effective land administration. An integral part of land administration is cadastre, which provides support to economic development and spatial planning because it contains a number of land information that form the basis for protecting property rights and for determining property value. Its main function is to best serve the society. The basic registration unit of parcel cadastre is a land parcel with rights, restrictions and responsibilities attached to it. Specialists often use the term *real estate* to refer to land as well; this term applies to final and limited part of the physical space, including all of its components.

The use of physical space is not restricted only to land, but also to the physical space above and under. Moreover, land use rights have always been fundamentally linked to three-dimensional (3D) physical space as, in addition to Earth's surface, land also includes areas under the surface of the ground and airspace above it. Efficient and effective land use at various levels includes multi-story residential complexes, commercial residential buildings, underground railways, garages and subways where various commercial and other service activities are carried out. This is why nowadays the two-dimensional physical space modelling in the form of cadastral maps no longer corresponds to efficient registration of physical space structure from the point of view of real estate, which is implemented on several spatial levels. A clear need for registration of physical space in three dimensions or briefly in a 3D cadastre emerged. 3D cadastre is a real estate register that enables property registration, including rights, restrictions and responsibilities in a 3D environment. The concept of a land parcel is replaced or is complemented by the term 3D real estate unit. Land parcel represents a specific example of a 3D real estate unit in a 3D cadastre. The creation of a 3D cadastre requires three-dimensional information. Nowadays modern technologies such as global navigational satellite systems and remote sensing technologies offer a fast and mass 3D data extraction at an affordable cost; that information can be put to good use also in land administration systems.

This doctoral thesis thoroughly analyzes the possibility of establishing a 3D cadastre by utilizing the resources of remote sensing. An interdisciplinary examination of two fields was conducted, namely property registration and remote sensing. The one criteria that must be satisfied in land administration systems is that they reflect the actual situation of real estates in space; only then can they meet the needs of society. The research has revealed that 3D cadastre is necessary for the complete registration of rights, restrictions and responsibilities. It is important to add that data has a major impact on the property registration. Special focus was put on modern technologies of remote sensing and results suggest that their application can enable a fast and efficient coverage of useful data for establishing a 3D cadastre. Finally, the introduction of a 3D cadastre in Slovenia by upgrading the currently available land administration system was proposed.

The first part of the thesis consists of exploring the concept of real estate unit, which adopts land parcel as a basis with all of its components. The right of superficies and the condominium constitutes

derogation from the principle of superficies solo cedit. In this case, the real estate unit is a building or part thereof. Buildings are plotted graphically on floor plans, divided in several sections that can be difficult to read and can result in numerous errors in property registration. This is why 3D models are more suitable in building presentations. The use of 3D modelling is also required for other objects above or under the Earth's surface that are not connected with it. These include traffic routes going through tunnels and bridges, underground raw material extraction, pillar based buildings, underground supplies of drinking water, etc. These types of objects are difficult to represent with the use of 2D plans because they are not connected with the Earth's surface, which is subject to registration in parcel-based cadastre. The results of the analysis have shown that for this purpose, introduction of a 3D real estate unit, which enables registration of all real estates, is required.

Furthermore, a historical overview of property registration was made. The first preserved land plans date from the times of ancient civilizations in the area of Egypt and Mesopotamia. These were the times when land was first depicted on rocky grounds, walls and clay tiles, later replaced by paper. Nowadays the cadastral plans are mostly digitalized, although they still remain in 2D form, land parcel being the basic unit. In the last thirty years physical space information technologies and sustainable development theory have given rise to new models and roles of the cadastre in the society. The principal task of cadastre still remains to ensure property rights, restrictions and responsibilities. Modern cadastrals are faced with modern society problems such as providing sustainable economic development, steering the property market, urban and rural land planning, land taxation, housing, infrastructure construction and maintenance, environmental management, political stability, social justice, environment protection, exploitation of natural resources, battle against climate change, hunger and poverty, and management in the event of natural and other disasters.

Based on the review of studies in the field of 3D cadastre, it has been concluded that 3D cadastre is necessary for full registration of rights, restrictions and responsibilities related to spatial objects. Basic unit of 3D cadastre is a 3D real estate unit, typically referring to a spatial object which is legally hindered in terms of position as well as height. Certain countries facing 3D cadastre challenges were presented, namely Norway, Sweden, the Netherlands, Germany, Queensland (Australia) and British Columbia (Canada). Cadastral contents essential to 3D cadastre were pointed out. These include in addition to land also buildings, traffic routes and other 3D objects. Any physical objects relevant to determining property boundary alignment must also be included in the cadastre. In regard to buildings, following the example of LoD in topographic databases LoD of models and representation of real estates, was represented. The model of transition from the parcel-based cadastre into the 3D cadastre was also represented.

An overview of remote sensing technologies comprises aerial photogrammetry, airborne laser scanning, close range photogrammetry with the use of mobile and terrestrial laser scanning and unmanned aerial systems. Due to their characteristics, laser scanning and imagery are complementary to each other and their concurrent use ensures more accurate results. Next, an analysis of suitability of each remote sensing technology for cadastral survey was performed. It has been noted that, given the high requirements for accurate position determination of registering boundary marks, only unmanned aerial systems are appropriate. For the registration of building roofs and traffic routes, the use of stereopairs of aerial photographs and airborne laser scanning is advisable. The latter is suitable also for the production of a digital terrain model. In land use, orthophotos are applied. Furthermore, an examination of national topographical data that could be used in establishing a 3D cadastre, was conducted. These are stereopairs of CAS, airborne laser scanning point clouds of LSS and orthophotos, which are available for the entire country.

Theoretical results were tested in practice. Different remote sensing technologies for the registration of boundary marks, buildings and traffic routes were compared in a testing area in Radovljica. Unmanned aerial systems were best fitted for the registration of boundary marks, as these systems provided a highly accurate position comparable to the classic terrestrial measurement. It has been concluded that wind conditions tend to aggravate the accuracy and that boundary marks should be signalized prior its use. In order to register significant roof points, laser scanning of various resolutions and stereopairs of aerial photographs were compared. It has been established that the photogrammetric point cloud of airborne laser scanning of Slovenia with a resolution of 5 pixels per square meter is sufficient for the registration of significant roof points. For registration of traffic routes, the latter was compared with stereopairs. It has been concluded that both means allow the registration of traffic routes above the Earth's surface. In order to register subterranean objects and building interior, data must be collected from construction and floor plans.

The findings were summarized in examining the possibilities of establishing a 3D cadastre in Slovenia. The current property registration, comprised of land register, land and building cadastre, were represented. Existing records offer data on boundary marks position, building footprints, floor plans and building cross sections. In order to present a 3D building model, significant roof points and floor heights are required. The outstanding data can be obtained from photogrammetric point cloud of the national airborne laser scanning of Slovenia. For different LoDs a 3D model of a building was made to replace floor plans and building sectioning. The existing legislation enables a 3D building registration, underground traffic routes and other infrastructure, however, cannot be registered yet. Therefore the introduction of 3D real estate units was proposed to enable registration of traffic and other 3D objects. In the end we created a new conceptual model of the 3D cadastre in Slovenia, which is object-oriented and based on the LADM standard.

The doctoral thesis encompasses several scientific fields. It is composed of two parts, the theoretical and the practical part. Theoretical results have been confirmed in the practical part. The subject matter has yet to be evaluated and analyzed in its entirety, notably in terms of field interdisciplinarity of land administration and remote sensing. The analysis indicates a possible way of upgrading 2D cadastral parcels to 3D models. In doing so, remote sensing technologies were used. The conclusion that the existing state official spatial data may be put to good use in establishing a 3D cadastre in Slovenia has been drawn. Significant further challenges are related to the detailed definition of cadastral data models, the introduction of a temporal component in the data model of real estate cadastre and detailed definition of procedures ("events") of changing and maintaining data of real estate cadastre, while taking into account also the spatial and legal aspects of space structuring, in addition to the perspective of data registration.

»Ta stran je namenoma prazna.«

VIRI

Ackermann, F. 1999. Airborne laser scanning - present status and future expectations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54, 2–3: 64–67. doi:[10.1016/s0924-2716\(99\)00009-x](https://doi.org/10.1016/s0924-2716(99)00009-x)

AdV. 2014. Spletna stran AdV. <http://www.adv-online.de> (Pridobljeno 15. 1. 2016.)

Aien, A. 2013. 3D cadastral data modelling. Doctoral thesis. Australia, University of Melbourne: 474 str.

Aien, A., Kalantari, M., Rajabifard, A., Williamson, I., Wallace, J. 2013. Towards integration of 3D legal and physical objects in cadastral datamodels. *Land Use Policy* 35: 140–154. doi:[10.1016/j.landusepol.2013.05.014](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.05.014)

Aien, A., Rajabifard, A., Kalantari, M., Williamson, I. 2011. Aspects of 3D Cadastre – A Case Study in Victoria. V: FIG Working Week 2011, Bridging the Gap between Cultures, Marrakech, Morocco, 18–22 May 2011.

Akbarzadeh, A., Frahm, J. M., Mordohai, P., Clipp, B., Engels, C., Gallup, D., Pollefeys, M. 2006. Towards urban 3D reconstruction from video. V: 3D Data Processing, Visualization, and Transmission, Third International Symposium on IEEE: 1–8.

Akca, D., Freeman, M., Sargent, I., Gruen, A. 2010. Quality assessment of 3D building data. *The Photogrammetric Record* 25, 132: 339–355. doi:[10.1111/j.1477-9730.2010.00598.x](https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2010.00598.x)

Arhiv Republike Slovenije. Spletna stran Arhiva Republike Slovenije, Ministrstvo za kulturo. <http://arsq.gov.si> (Pridobljeno 8. 1. 2016.)

Aringer, K., Hümmer, F. 2011. Die dritte Dimension im Kataster – Aufbau eines landesweiten Gebäudemodells am Beispiel Bayerns. *ZfV* 4: 210–218.

Baigent, E., Kain, R. J. P. 1992. The cadastral map in the service of the state: a history of property mapping. Chicago, The University of Chicago Press: 448 str.

Baillard, C., Maître, H. 1999. 3-D reconstruction of urban scenes from aerial stereo imagery: a focusing strategy. *Computer Vision and Image Understanding* 76, 3: 244–258. doi:[10.1006/cviu.1999.0793](https://doi.org/10.1006/cviu.1999.0793)

Baltsavias, E. P. 1999. A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54, 2–3: 83–94. doi:[10.1016/s0924-2716\(99\)00014-3](https://doi.org/10.1016/s0924-2716(99)00014-3)

Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., van Gool, L. 2008. SURF: speeded up robust features. *Computer Vision and Image Understanding* 110, 3: 346–359. doi:[10.1016/j.cviu.2007.09.014](https://doi.org/10.1016/j.cviu.2007.09.014)

Benhamu, M., Doytsher, Y. 2003. Toward a spatial 3D cadastre in Israel. *Computers, Environment and Urban Systems* 27, 4: 359–374. doi:[10.1016/s0198-9715\(02\)00036-4](https://doi.org/10.1016/s0198-9715(02)00036-4)

Bennett, R., Rajabifard, A., Kalantari, M., Wallace, J., Williamson, I. 2011. Cadastral Futures: Building a New Vision for the Nature and Role of Cadastres. *International Federation of Surveyors. Article of the month – June 2011.*

Bennett, R., Rajabifard, A., Williamson, I., Wallace, J. 2012. On the need for national land administration infrastructures. *Land Use Policy* 29, 1: 208–219. doi:[10.1016/j.landusepol.2011.06.008](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.06.008)

Bennett, R., Tambuwala, N., Rajabifard, A., Wallace, J., Williamson, I. 2013. On recognizing land administration as critical, public good infrastructure. *Land Use Policy* 30, 1: 84–93. doi: [10.1016/j.landusepol.2012.02.004](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.02.004)

Bennett, R., Wallace, J., Williamson, I. 2008. Organising land information for sustainable land administration. *Land Use Policy*, 25, 1: 126–138, doi: [10.1016/j.landusepol.2007.03.006](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2007.03.006)

Billen, R., Zlatanova, S. 2003. 3D spatial relationships model: a useful concept for 3D cadastre? *Computers, Environment and Urban Systems* 27, 4: 411–425. doi: [10.1016/s0198-9715\(02\)00040-6](https://doi.org/10.1016/s0198-9715(02)00040-6)

Bittner, S. 2001. An agent-based model of reality in a cadastre. Dissertation. Wien, Institut für Geoinformation und Landesvermessung, Fakultät für Technische Naturwissenschaften und Informatik: 200 str.

Brédif, M. 2010. Modélisation 3D de bâtiments: reconstruction automatique de superstructures de toits et recalage cinétique de toits polyédriques prenant en compte la topologie. Thèse de doctorat de Télécom ParisTech.

Bulatov, D., Wernerus, P., Heipke, C. 2011. Multi view dense matching supported by triangular meshes. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66, 6: 907–918. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2011.06.006](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.06.006)

Çağdaş, V., Stubkjær, E. 2011. Design research for cadastral systems. *Computers, Environment and Urban Systems* 35: 77–87. doi: [10.1016/j.compenvurbsys.2010.07.003](https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2010.07.003)

Chan, J., Paelinckx, D. 2008. Evaluation of random forest and adaboost tree-based ensemble classification and spectral band selection for ecotope mapping using airborne hyperspectral imagery. *Remote Sensing of Environment*. 112, 6: 2999–3011. doi: [10.1016/j.rse.2008.02.011](https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.02.011)

Chen, J., Dowman, I., Li, S., Li, Z., Madden, M., Mills, J., Paparoditis, N., Rottensteiner, F., Sester, M., Toth, C., Trinder, J., Heipke, C. 2015. Information from imagery: ISPRS scientific vision and research agenda. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Article in press. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2015.09.008](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.09.008)

Chen, L.C., Teo, T.A., Shao, Y.C., Lai, Y.C., Rau, J.Y. 2004. Fusion of LIDAR data and optical imagery for building modeling. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 35, B4: 732–737.

Chen, Y., Su, W., Li, J., Sun, Z. 2009. Hierarchical object oriented classification using very high resolution imagery and LIDAR data over urban areas. *Advances in Space Research* 43, 7: 1101–1110. doi: [10.1016/j.asr.2008.11.008](https://doi.org/10.1016/j.asr.2008.11.008)

Cramer, M. 2011. Digital Camera Calibration. EuroSDR, Publication No. 55: 262 str.

Cunningham, K., Walker, G., Stahlke, E., Wilson, R. 2011. Cadastral audit and assessments using unmanned aerial systems. V: *ISPRS Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics*, vol. XXXVIII-1/C22, Zurich, Switzerland. doi: [10.5194/isprarchives-xxxviii-1-c22-213-2011](https://doi.org/10.5194/isprarchives-xxxviii-1-c22-213-2011)

Čeh, M., Lisec, A., Ferlan, M., Šumrada, R. 2011. Geodetsko podprta prenova grafičnega dela zemljiškega katastra. *Geodetski vestnik* 55, 2: 257–268. doi: [10.15292/geodetski-vestnik.2011.02.257-268](https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2011.02.257-268)

Dale, P. F. 1979. A systems view of the cadastre. *Survey Review*, 25, 191: 28–32.

Dale, P. F. 1979. Photogrammetry and cadastral surveys within the Commonwealth. The Photogrammetric Record, Volume 9, Issue 53: 621–631.

Dale, P. F., McLaughlin, J. D. 1999. Land Administration. New York, Oxford, Oxford University Press: 169 str.

Döner, F., Thompson, R., Stoter, J., Lemmen, C., Ploeger, H., Van Oosterom, P., Zlatanova, S. 2010. 4D cadastres: First analysis of legal, organizational and technical impact – With a case study on utility networks. Land Use Policy 27: 1068–1081. doi: [10.1016/j.landusepol.2010.02.003](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.02.003)

Dornaika, F., Hammoudi, K. 2010. Estimating 3D polyhedral building models by registering aerial images. V: J. Blanc-Talon et al. (ur.). ACIVS 2011, Part II, LNCS 6475. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 239–248. doi: [10.1007/978-3-642-17691-3_22](https://doi.org/10.1007/978-3-642-17691-3_22)

DTM – navodila za zajem topografskih podatkov, verzija 1.0. 2015. Geodetska uprava Republike Slovenije in Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana, 25. 8. 2015: 75 str.

Duckham, M., Bennett, R. 2009. Ambient Spatial Intelligence. V: Björn Gottfried (ur.) Behaviour Monitoring and Interpretation - Ambient Assisted Living. IOS Press.

Duhovnik, M. 2016. Dejavnosti pri vzpostavitvi državnega topografskega modela. Zbornik prispevkov, 44. Geodetski dan, Laško, 4. marec 2016.

Eisenbeiss, H. 2011. The potential of unmanned aerial vehicles for mapping. V: Photogrammetry Week: 135–145.

Elberink, S.O., Vosselman, G. 2009. 3D information extraction from laser point clouds covering complex road junctions. The Photogrammetric Record 24, 125: 23–36. doi: [10.1111/j.1477-9730.2008.00516.x](https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2008.00516.x)

Elberink, S.O., Vosselman, G. 2011. Quality analysis on 3D building models reconstructed from airborne laser scanning data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 66, 2: 157–165. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2010.09.009](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.09.009)

Elseberg, J., Borrmann, D., Nüchter, A. 2013. One billion points in the cloud – an octree for efficient processing of 3D laser scans. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 76, 2: 76–88. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2012.10.004](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.10.004)

Enemark, S. 2004. Building Land Information Policies. V: Proceedings of Special Forum on Building Land Information Policies in the Americas. Aguascalientes, Mexico.

eVode. Spletni portal. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ministrstvo za okolje in prostor. <http://evode.arso.gov.si> (Pridobljeno 10. 12. 2015.)

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

FIG. 1996. The Bogar Declaration. United National Interregional Meeting of Experts on the Cadastre, Bogor, Indonesia, March 18-22.

Fischler, M., Bolles, R. 1981. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. Commun. ACM 24, 6: 381–395.

Format izmenjevalnih datotek katastra stavb in registra nepremičnin. 2015. Geodetska uprava Republike Slovenije. Navodilo št. 35331-18/2015-4 z dne 29. 12. 2015.

Förstner, W., Gülch, E. 1987. A fast operator for detection and precise location of distinct points, corners and centres of circular features. V: Proc., ISPRS Intercommission Conference on Fast Processing of Photogrammetric Data: 281–305.

Fowler, A., Kadatskiy, V. 2011. Accuracy and error assessment of terrestrial, mobile and airborne lidar. V: ASPRS Annual Conference, Milwaukee, Wisconsin, May 1–5.

Frahm, J.M., Gallup, D., Johnson, T., Raguram, R., Wu, C., Jen, Y.H., Dunn, E., Clipp, B., Lazebnik, S., Pollefeys, M. 2010. Building Rome on a cloudless day. V: European Conference on Computer Vision: 368–381. doi: [10.1007/978-3-642-15561-1_27](https://doi.org/10.1007/978-3-642-15561-1_27)

Fraser, C.S., Baltsavias, E., Gruen, A. 2002. Processing of Ikonos imagery for submetre 3D positioning and building extraction. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 56, 3: 177–194. doi: [10.1016/s0924-2716\(02\)00045-x](https://doi.org/10.1016/s0924-2716(02)00045-x)

Furukawa, Y., Ponce, J. 2010. Accurate, dense and robust multi-view stereoopsis. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 32, 8: 1362–1376. doi: [10.1109/cvpr.2007.383246](https://doi.org/10.1109/cvpr.2007.383246)

Gerke, M., Heipke, C. 2008. Image based quality assessment of road databases. International Journal of Geographical Information Science 22, 8: 871–894. doi: [10.1080/13658810701703258](https://doi.org/10.1080/13658810701703258)

Gerremo, J., Hansson, J. 1998. Ownership of Real property in British Colombia, a legal study. MSc Thesis. Royal Institute of Technology in Stockholm, department of Real Estate Planning and Land Law.

Gislason, P.O., Benediktsson, J.A., Sveinsson, J.R. 2006. Random forests for land cover classification. Pattern Recog. Lett. 27, 4: 294–300. doi: [10.1016/j.patrec.2005.08.011](https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.08.011)

Gool, L.V., Zisserman, A. 1997. Automatic 3D model building from video sequences. European Transactions on Telecommunications 8, 4: 369–378. doi: [10.1002/ett.4460080410](https://doi.org/10.1002/ett.4460080410)

Gozd in gozdarstvo. Spletna stran. <http://www.gozd-les.com/slovenski-gozdovi> (Pridobljeno 10. 2. 2016)

Grigillo, D. 2009. Samodejno odkrivanje stavb na visokoločljivih slikovnih virih za potrebe vzdrževanja topografskih podatkov. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 156 str.

Gröger, G., Kolbe, T.H., Czerwinski, A. 2007. Candidate OpenGIS® CityGML Implementation Specification (City Geography Markup Language). Open Geospatial Consortium Inc.: 180 str.

Gröger, G., Plümer, L. 2012. CityGML – interoperable semantic 3D city models. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 71: 12–33. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2012.04.004](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.04.004)

Gruber, U., Riecken, J., Seifert, M. 2014. Germany on the Way to 3D-Cadastre. FIG Congress 2014 Engaging the Challenges - Enhancing the Relevance. Kuala Lumpur, Malaysia, 16 – 21 June 2014.

Gruen, A. 2012. Mobile mapping and UAV data. GeoInformatics (September Edition) 20.

Grünbeck, E. 2004. Die dritte Dimension im Kataster – eine neue Herausforderung für das amtliche Vermessungswesen. In: DVW – Bayern, Heft 2.

Grussenmeyer, P., Landes, T., Voegtle, T., Ringle, K. 2008. Comparison methods of terrestrial laser scanning, photogrammetry and tacheometry data for recording of cultural heritage buildings. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing, Spatial Information Sciences* 37, 5: 213–218.

Guo, T. 2003. 3D City Modeling Using High-Resolution Satellite Imagery and Airborne Laser Scanning Data. PhD Dissertation. University of Tokyo, Tokyo.

Haala, N. 2011. Multiray photogrammetry and dense image matching. V: Fritsch, D. (ur.), *Photogrammetric Week 2011*. Wichmann, Heidelberg: 185–195.

Hammoudi, K., Dornaika, F., Soheilian, B., Papanoditis, N. 2010. Extracting wireframe models of street facades from 3D point clouds and the corresponding cadastral map. V: Papanoditis, N., Pierrot-Deseilligny, M., Mallet, C., Tournaire, O. (Ur.), *IAPRS*, vol. 38, Part 3A. France, September 1–3.

Hao, M., Liu, Z., Sun, Y. 2011. Assessment of mobile laser scanning data for building reconstruction in 3D cadastre. V: *International Symposium on Image and Data Fusion*: 1–4. doi: [10.1109/isidf.2011.6024227](https://doi.org/10.1109/isidf.2011.6024227)

Harris, C., Stephens, M. 1988. A combined corner and edge detector. V: *Alvey Conference*: 147–152.

Hassan, M.I., Rahman, A.A., Stoter, J. 2007. Developing Malaysian 3D cadastre system – preliminary findings. V: *Innovations in 3D Geo Information Systems. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Part 7, Part 1*, 1863-2351. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 519-533. doi: [10.1007/978-3-540-36998-1_40](https://doi.org/10.1007/978-3-540-36998-1_40)

Heiden, U., Segl, K., Roessner, S., Kaufmann, H. 2007. Determination of robust spectral features for identification of urban surface materials in hyperspectral remote sensing data. *Remote Sensing of Environment* 111, 4: 537–552. doi: [10.1016/j.rse.2007.04.008](https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.04.008)

Henssen, J. 1995. Basic principles of the main cadastral systems in the world. Delft seminar, FIG Commission 7.

Hirschmüller, H. 2008. Stereo processing by semi-global matching and mutual information. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 30, 2: 328–341. doi: [10.1109/tpami.2007.1166](https://doi.org/10.1109/tpami.2007.1166)

Ilešič, S. 1950. Sistemi poljske razdelitve na Slovenskem. Ljubljana, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, razred za prirodoslovne in medicinske vede, Institut za geografijo, Dela 2: 119 str.

ISO 19152:2012. Geographic information – Land Administration Domain Model (LADM).

Jazayeri, I., Fraser, C.S., Cronk, S. 2010. Automated 3D object reconstruction via multi-image close-range photogrammetry. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. V: *Commission V Symposium*, vol. 38(5), Newcastle, UK, 6 str.

Jazayeri, I., Rajabifard, A., Kalantari, M. 2014. A geometric and semantic evaluation of 3D data sourcing methods for land and property information. *Land Use Policy* 36: 219–230. doi: [10.1016/j.landusepol.2013.08.004](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.08.004)

Jensen, J. R., Cowen, D. C. 1999. Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socioeconomic attributes. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65: 611–622. doi: [10.1002/9780470979587.ch22](https://doi.org/10.1002/9780470979587.ch22)

Jurlina B. 1996. »Geoprostor«. *Geografski vestnik* 68: 213–222.

Kada, M., McKinley, L. 2009. 3D building reconstruction from LiDAR based on a cell decomposition approach. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 38, Part 3/W4: 47–52.

Kalantari, M., Rajabifard, A., Wallace, J., Williamson, I. 2008. Spatially referenced legal property objects. *Land Use Policy* 25: 173–181. doi: [10.1016/j.landusepol.2007.04.004](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2007.04.004)

Karki, S. 2013. 3D cadastre implementation issues in Australia. Doctoral Thesis. Australia, University of Southern Queensland: 150 str.

Karki, S., Thompson, R., McDougall, K. 2010. Data validation in 3D cadastre. V: T. Neutens, P. De Maeyer (ur.). *Developments in 3D Geo-Information Sciences. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 92–122. doi: [10.1007/978-3-642-04791-6_6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-04791-6_6)

Karki, S., Thompson, R., McDougall, K. 2013. Development of validation rules to support digital lodgement of 3D cadastral plans. *Computers, Environment and Urban Systems* 40: 34–45, doi: [10.1016/j.compenvurbsys.2012.10.007](https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.10.007).

Kaufmann, J. 2008. The Boundary Concept: Land Management Opportunities for Sustainable Development Provided by the Cadastre 2014 Approach. FIG Working Week 2008. Stockholm, Sweden. https://www.fig.net/pub/fig2008/papers/ts03b/ts03b_02_kaufmann_2748.pdf (Pridobljeno 20. 1. 2014.)

Kaufmann, J., Steudler, D. 1998. Cadastre 2014 - A Vision for a Future Cadastral System. Working Group 1 of FIG Commission 7.

Kete, P. 2016. Zasnova in vzpostavitev državnega topografskega modela (DTM). Zbornik prispevkov, 44. Geodetski dan, Laško, 4. marec 2016.

Kim, K. 2012. 3D Building Reconstruction from Airborne Laser Scanning Data. PhD Dissertation. Purdue University, USA: 149 str.

Kocaman, S., Zhang, L., Gruen, A., Poli, D. 2006. 3D city modeling from high resolution satellite images. V: *Proceedings of ISPRS Workshop on Topographic Mapping from Space, Proceedings in CD-ROM*.

Kolbe, T. 2009. Representing and exchanging 3D City models with CityGML-2. V: Lee, J., Zlatanova, S. (ur.), *3D Geo-Information Sciences*. Springer, Berlin: 15–31. doi: [10.1007/978-3-540-87395-2_2](https://doi.org/10.1007/978-3-540-87395-2_2)

Korošec, B. 1978. Naš prostor v času in projekciji. Oris razvoja zemljemerstva, kartografije, in prostorskega urejanja na osrednjem Slovenskem. Ljubljana, Geodetski zavod SRS Ljubljana: 298 str.

Korošec, V. 2006. Vpliv komasacij na kmetijstvo in podeželska naselja na Dravskem in Ptujem polju. *Geografski vestnik* 78-1: 25–37.

Kosmatin Fras, M. 2004. Vpliv kakovosti vhodnih podatkov na kakovost ortofota. *Geodetski vestnik* 48, 2: 167–178.

Kozina, J. 2010. Prometna dostopnost v Sloveniji. Georitem 14. Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU.

Kraus, K. 2004. *Photogrammetrie, Band 1, Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen*. Berlin-New York, Walter de Gruyter: 516 str.

Kumar, S. 2013. Vzpostavitev in kalibracija mobilnega laserskega sistema. Diplomsko naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 107 str.

Kwak, E. 2013. Automatic 3D building model generation by integrating LiDAR and aerial images using a hybrid approach. UCGE Reports: 180 str.

Lafarge, F., Descombes, X., Zerubia, J., Pierrot-Deseilligny, M. 2006. An automatic building reconstruction method: a structural approach using high resolution satellite images. V: IEEE International Conference on Image Processing: 1205–1208. doi: [10.1109/icip.2006.312541](https://doi.org/10.1109/icip.2006.312541)

Lafarge, F., Mallet, C. 2012. Creating large-scale city models from 3D-point clouds: a robust approach with hybrid representation. International Journal of Computer Vision 99, 1: 69–85. doi: [10.1007/s11263-012-0517-8](https://doi.org/10.1007/s11263-012-0517-8)

Land Title Act. 1994. Queensland, Australia.

Land Title Act. 1996. British Columbia, Canada.

Larrson, G. 1991. Land registration and cadastral systems: tools for land information and management. New York, Longman Scientific & Technical: 186 str.

Larrson, G. 1997. Land readjustment: A tool for urban development. V: Habitat International 21, 2: 141–152. doi: [10.1016/s0197-3975\(96\)00059-8](https://doi.org/10.1016/s0197-3975(96)00059-8)

Leitch, K.R., Coon, M.B. 2012. Noncontact modeling of structures using close-range digital photogrammetry. Practice Periodical on Structural Design and Construction 17, 4: 161–165. doi: [10.1061/\(asce\)sc.1943-5576.0000124](https://doi.org/10.1061/(asce)sc.1943-5576.0000124)

Lemmen, C. 2012. A Domain Model for Land Administration. Doctoral Dissertation. Delft, Technische Universiteit Delft, OTB Research Institute for the Built Environment.

Lemmen, C., Van Oosterom, P. 2003. 3D Cadastres – Editorial. Computers, Environment and Urban Systems 27: 337-343. doi: [10.1016/s0198-9715\(02\)00034-0](https://doi.org/10.1016/s0198-9715(02)00034-0)

Lemmens, M. 2011. Land Administration. Geotechnologies and the Environment, Volume 5, Geo-information: 297–338. doi: [10.1007/978-94-007-1667-4_15](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1667-4_15)

Li, Q., Liu, Y., Li, D. 2011. 3D Cadastre and Urban Stereoscopic Development: A Case Study of Nanjing, China. V: Geoinformatics 2011, 19th International Conference, Shanghai, China, 24-26 June 2011. doi: [10.1109/geoinformatics.2011.5980767](https://doi.org/10.1109/geoinformatics.2011.5980767)

Lisec, A. 2007. Vpliv izbranih dejavnikov na tržno vrednost zemljišč v postopku množičnega vrednotenja kmetijskih zemljišč. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.

Lisec, A. 2015. Predavanja pri predmetu Evidence in katastri nepremičnin 2014/15. Študijski program Geodezija in geoinformatika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Lisec, A., Ferlan, M. 2012. Institutional Framework of Land Management and its Implication for Spatial Development. V: Ciccotelli E. in B. Calò: Spatial Planning: Strategies, Developments and Management. Nova Publishers.

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

Lisec, A., Navratil, G. 2014. The Austrian land cadastre: from the earliest beginnings to the modern land information system. *Geodetski vestnik* 58, 3: 482–516. doi: [10.15292/geodetski-vestnik.2014.03.482-516](https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2014.03.482-516)

Lisec, A., Prosen, A. 2008. Celostni pristop k upravljanju zemljišč na podeželju – zemljiški menedžment. *Geodetski vestnik* 52, 4: 758–772.

Long, H., Zhao, Z. M. 2005. Urban road extraction from high-resolution optical satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 22: 4907–4921. doi: [10.1080/01431160500258966](https://doi.org/10.1080/01431160500258966)

Lowe, D. 2004. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision* 60, 2: 91–110. doi: [10.1023/b:visi.0000029664.99615.94](https://doi.org/10.1023/b:visi.0000029664.99615.94)

Luo, D., Liao, L.Q. 2013. Rapid reconstruct 3D building models from point cloud. *Applied Mechanics and Materials* 303, 2317–2320. doi: [10.4028/www.scientific.net/amm.303-306.2317](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.303-306.2317)

Maani, K.E., Cavana, R.Y. 2000. *Systems thinking and modelling – understanding change and complexity*. Pearson Education New Zealand Limited.

Manthorpe, J. 2004. *Comparative Analysis of Cadastral and Land Administration Systems in the United Kingdom*. European Union Permanent Committee on Cadastre.

Manyoky, M., Theiler, P., Steudler, D., Eisenbeiss, H. 2011. Unmanned aerial vehicle in cadastral applications. V: *The International Archives of the Photogrammetry, ISPRS Archives XXXVIII-1/C22*, ISSN Number: 1682–1777. doi: [10.5194/isprsarchives-xxxviii-1-c22-57-2011](https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xxxviii-1-c22-57-2011)

Mayer, H. 1999. Automatic object extraction from aerial imagery – a survey focusing on buildings. *Computer vision and image understanding* 74, 2: 138–149. doi: [10.1006/cviu.1999.0750](https://doi.org/10.1006/cviu.1999.0750)

Mayer, H. 2008. Object extraction in photogrammetric computer vision. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 63: 213–222. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2007.08.008](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2007.08.008)

Mayer, H. 2014. Efficient hierarchical triplet merging for camera pose estimation. V: *German Conference on Pattern Recognition – GCPR 2014*. Springer, Berlin: 399–409. doi: [10.1007/978-3-319-11752-2_32](https://doi.org/10.1007/978-3-319-11752-2_32)

McLaughlin, J.D. 1975. *The Nature, Design and Development of Multi-Purpose Cadastres*. PhD Thesis, University of Wisconsin-Madison, Wisconsin, United States.

Mialhe, F., Gunnell, Y., Ignacio, J.A.F., Delbart, N., Oganian, J.L., Henry, S. 2015. Monitoring land-use change by combining participatory land-use maps with standard remote sensing techniques: Showcase from a remote forest catchment on Mindanao, Philippines. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 36: 69–82. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2014.11.007>.

Mlakar, G. 1986. *Kataster 1*. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 141 str.

Mountrakis, G., Im, J., Ogole, C. 2011. Support vector machines in remote sensing: a review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66, 3: 247–259. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001)

Nasruddin, M.H.A., Rahman, A.A. 2007. Developing 3D registration system for 3D cadastre. V: *Innovations in 3D Geo Information Systems. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Part 7, Part 1*, 1863–2351, Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 535–546. doi: [10.1007/978-3-540-36998-1_41](https://doi.org/10.1007/978-3-540-36998-1_41)

Navratil, G. 2012. Combining 3D Cadastre and Public Law – An Austrian Perspective. V: 3rd International Workshop on 3D Cadastres: Developments and Practices, Shenzhen, China, 25-26 October 2012: 61–72.

Navratil, G., Frank, A.U. 2004. Processes in a cadastre. *Computers, Environment and Urban Systems* 28: 471–486. doi: [10.1016/j.compenvurbsys.2003.11.003](https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2003.11.003)

Navratil, G., Unger, E.-M. 2011. Height Systems for 3D Cadastres. V: 2nd International Workshop on 3D Cadastres, Delft, Netherlands, 16-18 November 2011: 51–64.

Navratil, G., Unger, E.-M. 2013. Reprint of: Requirements of 3D cadastres for height systems. *Computers, Environment and Urban Systems* 40: 14–23. doi: [10.1016/j.compenvurbsys.2013.04.001](https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2013.04.001)

Nichols, S. E. 1993. Land registration: Managing information for land administration. PhD Dissertation. University of New Brunswick.

Niemeyer, J., Rottensteiner, F., Soergel, U. 2014. Contextual classification of lidar data and building object detection in urban areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 87, 1: 152–165. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2013.11.001](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.11.001)

Nistér, D. 2004. An efficient solution to the five-point relative pose problem. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 26, 6: 756–770. doi: [10.1109/tpami.2004.17](https://doi.org/10.1109/tpami.2004.17)

Onsrud, H. 2003. Making a Cadastre law for 3D properties in Norway. *Computers, Environment and Urban Systems* 27: 383–394. doi: [10.1016/s0198-9715\(02\)00037-6](https://doi.org/10.1016/s0198-9715(02)00037-6)

Operativno navodilo za zajem podatkov o stavbah: fotogrametrični zajem s povezavo z zemljiškim katastrom in registrom prostorskih enot. 2001. Geodetska uprava Republike Slovenije, 07. 05. 2001.

Opredelitev natančnosti v katastru stavb. 2009. Končno poročilo. Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana, 31. 3. 2009: 29 str.

Oštir, K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU: 250 str.

Park, S., Lee, J., Li, H. 2010. Data Model for 3D Cadastre in Korea. V: Second International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services, GEOProcessing 2010, St. Maarten, Netherlands Antilles, 10-16 February 2010. doi: [10.1109/geoprocessing.2010.31](https://doi.org/10.1109/geoprocessing.2010.31)

Parys, R., Schilling, A. 2012. Incremental Large Scale 3D Reconstruction. V: Second International Conference on 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization & Transmission. Zurich, 13-15 Oct. 2012: 416–423. doi: [10.1109/3dimpvt.2012.83](https://doi.org/10.1109/3dimpvt.2012.83)

Paulsson, J. 2007. 3D Property Rights. An Analysis of Key Factors Based on International Experience. Doctoral Thesis in Real Estate Planning. Sweden, Stockholm, Royal Institute of Technology, School of Architecture and the Built Environment: 351 str.

Paulsson, J. 2013. Reasons for introducing 3D property in a legal system—Illustrated by the Swedish case. *Land Use Policy* 33: 195–203. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.12.019>

Paulsson, J., Paasch, J.M. 2013. 3D property research from a legal perspective. *Computers, Environment and Urban Systems* 40: 7–13. doi: [10.1016/j.compenvurbsys.2012.11.004](https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.11.004)

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

Pfeifer, N., Rutzinger, M., Rottensteiner, F., Muecke, W., Hollaus, M. 2007. Extraction of building footprints from airborne laser scanning: Comparison and validation techniques. V: Urban Remote Sensing Joint Event, Paris, France, April 11-13. doi: [10.1109/URS.2007.371854](https://doi.org/10.1109/URS.2007.371854)

Pierrot-Deseilligny, M., Paparoditis, N. 2006. A multiresolution and optimizationbased image matching approach: an application to surface reconstruction from SPOT5-HRS stereo imagery. V: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXVI-1/W41: 5 str.

Podobnikar, T. 2001. Digitalni model reliefa iz geodetskih podatkov različne kakovosti. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Pouliot, J., Roy, T., Fouquet-Asselin, G., Desgroseilliers, J. 2011. 3D Cadastre in the Province of Quebec: A First Experiment for the Construction of a Volumetric Representation. V: T.H.Kolbe et al. (ur.). Advances in 3D Geo-Information Sciences. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 149–162. doi: [10.1007/978-3-642-12670-3_9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-12670-3_9)

Pouliot, J., Vasseur, M., Boubehrezh, A. 2013. How the ISO 19152 Land Administration Domain Model performs in the comparison of cadastral systems: A case study of condominium/co-ownership in Quebec (Canada) and Alsace Moselle (France). Computers, Environment and Urban Systems 40: 68–78. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.08.006>

Pravilnik o urejanju mej ter spreminjanju in evidentiranju podatkov v zemljiškem katastru. Uradni list RS, št. 8/2007 in 26/2007.

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

Pravilnik o vrstah in vsebini potrdil iz zbirk geodetskih podatkov. Uradni list RS, št. 113/2000.

Pravilnik o vsebini in načinu vodenja zbirke podatkov o dejanski rabi prostora, Uradni list RS, št. 9/2004.

Prostočasne dejavnosti in prostorski razvoj Slovenije. 2002. Ministrstvo za okolje in prostor, Urad Republike Slovenije za prostorsko planiranje: 100 str. http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/prostorski_razvoj/prostor2020/4_7_dokument.pdf (Pridobljeno 10. 2. 2016.)

Pu, S., Vosselman, G. 2006. Automatic extraction of building features from terrestrial laser scanning. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36, 5: 25–27.

Pu, S., Vosselman, G. 2009. Knowledge based reconstruction of building models from terrestrial laser scanning data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 64: 575–584. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2009.04.001](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.04.001)

Rajabifard, A., Kalantari, M., Williamson, I. 2012. Land and Property Information in 3D. V: FIG Working Week 2012, Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage, Rome, Italy, 6-10 May 2012.

Remondino, F., El-Hakim, S. 2006. Image-based 3D modelling: a review. The Photogrammetric Record 21, 115: 269–291. doi: [10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x](https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x)

Rottensteiner, F., Sohn, G., Gerke, M., Wegner, J., Breitkopf, U. 2014. Results of the ISPRS benchmark on urban object detection and 3D building reconstruction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 93, 7: 256–271. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2013.10.004](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.10.004)

Rutzinger, M., Hofle, B., Oude Elberink, S., Vosselman, G. 2011. Feasibility of facade footprint extraction from mobile laser scanning data. *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation* 3: 97–107. doi: [10.1127/1432-8364/2011/0075](https://doi.org/10.1127/1432-8364/2011/0075)

Sahin, C., Alkis, A., Ergun, B., Kulur, S., Batuk, F., Kilic, A. 2012. Producing 3D city model with the combined photogrammetric and laser scanner data in the example of Taksim Cumhuriyet square. *Optics and Lasers in Engineering* 50, 12: 1844–1853. doi: [10.1016/j.optlaseng.2012.05.019](https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2012.05.019)

Sedlar, S. 1974. Vpliv urbanizacije na podobo in strukturo podeželskih mestnih naselij v Sloveniji. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 214 str.

Shi, F., Xi, Y., Li, X., Duan, Y. 2011. An automation system of rooftop detection and 3D building modeling from aerial images. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol. 62, Numbers 3-4: 383–396. doi: [10.1007/s10846-010-9456-1](https://doi.org/10.1007/s10846-010-9456-1)

Sohn, G., Dowman, I. 2007. Data fusion of high-resolution satellite imagery and LiDAR data for automatic building extraction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 62, 1: 43–63. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2007.01.001](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2007.01.001)

Stančić, B. 2013. Modeliranje arhivskih prostorno–vremenskih podataka katastra u suvremenom tehnološkom okruženju. Doktorski rad. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet: 128 str.

Stuedler, D. 2004. A Framework for the Evaluation of Land Administration Systems. Doctoral Thesis. Australia, Melbourne, The University of Melbourne, Department of Geomatics: 177 str.

Stuedler, D., Rajabifard, A. 2012. Spatially Enabled Society. FIG Publication No. 58.

Stoter, J. 2004. 3D Cadastre. Doctoral Thesis. Netherlands, Delft, Netherlands Geodetic Commission: 327 str.

Stoter, J., Munk Sørensen, E., Bodum, L. 2004. 3D Registration of Real Property in Denmark. FIG Conference.

Stoter, J., Ploeger, H. 2003. Property in 3D – registration of multiple use of space: current practice in Holland and the need for a 3D cadastre. *Computers, Environment and Urban Systems* 27: 395–410. doi: [10.1016/s0198-9715\(03\)00014-0](https://doi.org/10.1016/s0198-9715(03)00014-0)

Stoter, J., Ploeger, H., Van Oosterom, P. 2013. 3D cadastre in the Netherlands: Developments and international applicability. *Computers, Environment and Urban Systems* 40: 56–67. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.08.008>

Stoter, J., Salzmann, M. 2003. Towards a 3D cadastre: where do cadastral needs and technical possibilities meet? *Computers, Environment and Urban Systems* 27: 395–410. doi: [10.1016/s0198-9715\(02\)00039-x](https://doi.org/10.1016/s0198-9715(02)00039-x)

Stoter, J., Van Oosterom, P., Ploeger, H. 2012. The Phased 3D Cadastre Implementation in the Netherlands. V: 3rd International Workshop on 3D Cadastres: Developments and Practices, Shenzhen, China, 25-26 October 2012: 203–218.

Strategija za izvajanje resolucije o strateških usmeritvah razvoja slovenskega kmetijstva in živilstva do leta 2020. 2014. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje: 171 str.

http://www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/podrocja/Kmetijstvo/strategija_razvoj_sl_o_kmetijstva_2020.pdf (Pridobljeno 10. 2. 2016.)

Strecha, C., Pylvänäinen, T., Fua, P. 2010. Dynamic and scalable large scale image reconstruction. V: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition: 358–365. doi: [10.1109/cvpr.2010.5540184](https://doi.org/10.1109/cvpr.2010.5540184)

Stvarnopравни zakonik (SPZ). Uradni list RS, št. 87/2002.

Študija ranljivosti prostora, Faza 3a v okviru Študije za celovito presojo vplivov na okolje za Strategijo prostorskega razvoja Slovenije. 2003. Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Urad Republike Slovenije za prostorsko planiranje: 17 str.

http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/prostorski_razvoj/prostor2020/5_1_dokument.pdf (Pridobljeno 10. 2. 2016.)

Šumrada, R. 2005. Tehnologija GIS. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 330 str.

Tack, F., Buyuksalih, G., Goossens, R. 2012. 3D building reconstruction based on given ground plan information and surface models extracted from spaceborne imagery. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 67: 52–64. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2011.10.003](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.10.003)

Taneja, A., Ballan, L., Pollefeys, M. 2012. Registration of spherical panoramic images with cadastral 3D models. V: IEEE Second International Conference on 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization and Transmission: 479–486. doi: [10.1109/3dimpvt.2012.45](https://doi.org/10.1109/3dimpvt.2012.45)

Tian, Y. 2011. Building Reconstruction from Terrestrial Video Image Sequences. PhD Dissertation. University of Twente, The Netherlands: 141 str.

Tiwari, P. S., Pande, H., Pandey, A. K. 2009. Automatic urban road extraction using airborne laser scanning/altimetry and high resolution satellite data. Journal of the Indian Society of Remote Sensing 37, 2: 223–231. doi: [10.1007/s12524-009-0023-9](https://doi.org/10.1007/s12524-009-0023-9)

Triglav, J. 2015. Arhivi – skriti zakladi iz Murske Sobote. Geodetski vestnik 59, 3: 609–618.

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

Triglav Čekada, M. 2010. Zračno lasersko skeniranje in nepremičninske evidence. Geodetski vestnik 54, 2: 181–194. doi: [10.15292/geodetski-vestnik.2010.02.181-194](https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2010.02.181-194)

Trinder, J., Sowmya, A. 2009. Towards automation of information extraction from aerial and satellite images. V: D. Li et al. (ur.) Geospatial Technology for Earth Observation. Springer Science + Business Media: 289–327. doi: [10.1007/978-1-4419-0050-0_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0050-0_11)

Tse, R., Gold, C. 2003. A proposed connectivity-based model for a 3-D cadastre. Computers, Environment and Urban Systems 27: 427–445. [10.1016/s0198-9715\(02\)00041-8](https://doi.org/10.1016/s0198-9715(02)00041-8)

Twaroch., C., Wessely, R., Ernst, J., Mansberger, R., Muggenhuber, G., Navratil, G., Unger, E. M. 2015. Liegenschaften und Wert. Geodaten als Grundlage einer österreichweiten Liegenschaftsbewertung mit einem Vergleich der Wertermittlung von Liegenschaften in ausgewählten Ländern Europas. Dunaj in Gradec, Neuer Wissenschaftlicher Verlag: 216 str.

UN-ECE. 1996. Land Administration Guidelines. European Commission for Europe, United Nations Publication, No E.96. II.E.7. ISBN 92-1-116644-6.

UN-FIG. 1999. The Bathurst Declaration. UN-FIG International Workshop on Land Tenure and Cadastral Infrastructures in Support of Sustainable Development, Bathurst.

Van der Molen, P. 2002. The dynamic aspect of land administration: an often forgotten component in system design. Computers, Environment and Urban Systems 26: 361–381. doi: [10.1016/s0198-9715\(02\)00009-1](https://doi.org/10.1016/s0198-9715(02)00009-1)

Van der Molen, P. 2003. Institutional aspects of 3D cadastres. Computers, Environment and Urban Systems 27: 383–394. doi: [10.1016/s0198-9715\(02\)00038-8](https://doi.org/10.1016/s0198-9715(02)00038-8)

Van der Molen, P. 2009. Cadastres and Climate Change. International Federation of Surveyors. Article of the month – August 2009.

Van Hinsbergh, W.H., Rijdsdijk, M.J., Witteveen, W. 2013. UASs for cadastral applications. GIM International 27, 3.

Van Oosterom, P. 2013. Research and development in 3D cadastres. Computers, Environment and Urban Systems, 40: 1–6. doi: [10.1016/j.compenvurbsys.2013.01.002](https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2013.01.002)

Van Oosterom, P., Lemmen, C., Ingvarsson, T., Van der Molen, P., Ploeger, H., Quak, W., Stoter, J., Zevenbergen, J. 2006. The Core Cadastral Domain Model. Computers, Environment and Urban Systems 30: 627–660. doi: [10.1016/j.compenvurbsys.2005.12.002](https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2005.12.002)

Van Oosterom, P., Stoter, J., Ploeger, H., Thompson, R., Karki, S. 2011. World-wide inventory of the status of 3D Cadastres in 2010 and expectations for 2014. International Federation of Surveyors. Article of the month – May 2011.

Vasile, A.N., Skelly, L.J., Ni, K., Heinrichs, R., Camps, O. 2010. Efficient city-sized 3D reconstruction from ultra-high resolution aerial and ground video imagery. V: G. Bebis et al. (ur.). ISVC 2011, Part I, LNCS 6938, Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 347–358. doi: [10.1007/978-3-642-24028-7_32](https://doi.org/10.1007/978-3-642-24028-7_32)

Vitikainen, A. 2008. Legal Cadastral Surveys. Diaprojekcijska predstavitev.

Voegtle, T., Schwab, I., Landes, T. 2008. Influences of different materials on the measurements of a terrestrial laser scanner (TLS). V: Proc. of the XXI Congress, The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, ISPRS2008, vol. XXXVII, Commission V, Beijing, China, 3–11 July 2008: 1061–1066.

Vosselman, G. 2009. Advanced point cloud processing. V: Fritsch (ur.), Photogrammetric Week 2009. Wichmann, Heidelberg: 137–146.

Vosselman, G., Maas, H.-G. (ur.) 2010. Airborne and Terrestrial Laser Scanning. Dunbeath, Whittles Publishing: 318 str.

Vrišer, I. 2005. Velikost kmetijskih gospodarstev v Sloveniji. Geografski vestnik 77: 9–25.

Vrste digitalnih podatkov in način zapisa. 2016. Geodetska uprava Republike Slovenije, Navodilo št. 35311-16/2016 z dne 15. 3. 2016.

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

Wang, C., Pouliot, J., Hubert, F. 2012. Visualization Principles in 3D Cadastre: A First Assessment of Visual Variables. V: 3rd International Workshop on 3D Cadastres: Developments and Practices, Shenzhen, China, 25-26 October 2012: 309–324.

Wang, L., Sohn, G. 2011. An integrated framework for reconstructing full 3d building models. V: Advances in 3D Geo-Information Sciences, Springer, Berlin/Heidelberg: 261–274. doi: [10.1007/978-3-642-12670-3_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-12670-3_16)

Wehr, A., Lohr, U. 1999. Airborne laser scanning - an introduction and overview. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54: 68–82. doi: [10.1016/s0924-2716\(99\)00011-8](https://doi.org/10.1016/s0924-2716(99)00011-8)

Weissmann, K. 1971. Photogrammetry applied to cadastral survey in Switzerland. The Photogrammetric Record, Volume 7, Issue 37: 5–15.

Weng, Q. 2012. Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends. Remote Sensing of Environment 117: 34–49. doi: [10.1016/j.rse.2011.02.030](https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.030)

Whitcraft, A., Becker-Reshef, I., Justice, C. 2015. A framework for defining spatially explicit earth observation requirements for a global agricultural monitoring initiative. Remote Sensing 7: 1461–1481. doi: [10.3390/rs70201461](https://doi.org/10.3390/rs70201461)

Williamson, I.P. 1985. Cadastres and Land Information Systems in Common Law Jurisdictions. Survey Review 28 No 217, July: 114–119.

Williamson, I., Enemark, S., Wallace, J., Rajabifard, A. 2010. Land Administration for Sustainable Development. United States, ESRI Press Academic.

World Commission on Environment and Development. 1987. Our Common Future. Oxford University Press, p. 27. ISBN 019282080X.

Wurm, M., Taubenböck, H., Schardt, M., Esch, T., Dech, S. 2011. Object-based image information fusion using multisensor earth observation data over urban areas. International Journal of Image and Data Fusion 2, 2: 121–147. doi: [10.1080/19479832.2010.543934](https://doi.org/10.1080/19479832.2010.543934)

Xiong, B., Jancosek, M., Elberink, S.O., Vosselman, G. 2015. Flexible building primitives for 3D building modeling. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 101: 275–290. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2015.01.002](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.01.002)

Yang, B., Chen, C. 2015. Automatic registration of UAV-borne sequent images and LiDAR data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 101: 262–274. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2014.12.025](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.12.025)

Yang, B., Dong, Z. 2013. A shape-based segmentation method for mobile laser scanning point clouds. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 81: 19–30. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2013.04.002](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.04.002)

Yang, M., Förstner, W. 2011. A hierarchical conditional random field model for labelling and classifying images of man-made scenes. V: International Conference on Computer Vision Workshops (WS04): 196–203. doi: [10.1109/iccvw.2011.6130243](https://doi.org/10.1109/iccvw.2011.6130243)

Ying, S., Li, L., Guo, R. 2011. Building 3D cadastral system based on 2D survey plans with SketchUp. *Geo-spatial Information Science* 14, 2: 129–136. doi: [10.1007/s11806-011-0483-2](https://doi.org/10.1007/s11806-011-0483-2)

Zakon o evidentiranju nepremičnin (ZEN). Uradni list RS, št. 47/2006.

Zakon o evidentiranju nepremičnin, državne meje in prostorskih enot (ZENDMPE). Uradni list RS, št. 52/2000.

Zakon o geodetski dejavnosti (ZGeoD-1). Uradni list RS, št. 77/2010.

Zakon o prostorskem načrtovanju (ZPNačrt). Uradni list RS, št. 33/2007.

Zakon o urejanju prostora (ZUreP-1). Uradni list RS, št. 110/2002.

Zakon o zemljiškem katastru (ZZKat). Uradni list SRS, št. 16/74, 42/86.

Zakon o zemljiški knjigi (ZZK). Uradni list RS, št. 33/1995, 50/2002.

Zakon o zemljiški knjigi (ZZK-1). Uradni list RS, št. 58/2003.

Zevenbergen, J. 2002. Systems of land registration, aspects and effects. Delft, NCG, Netherlands Geodetic Commission.

Zhang, K., Yan, J., Chen, S.C. 2009. Automatic 3D building reconstruction from airborne LiDAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 44, 9: 2523–2533. doi: [10.1109/urs.2009.5137548](https://doi.org/10.1109/urs.2009.5137548)

Zhao, T. 2013. Object-Based Urban Building Footprint Extraction and 3D Building Reconstruction from Airborne LiDAR Data. Doctoral Dissertation. University of Western Ontario - Electronic Thesis and Dissertation Repository, Paper 1211.

Zhu, L., Hyypä, J., Kukko, A., Kaartinen, H., Chen, R. 2011. Photorealistic building reconstruction from mobile laser scanning data. *Remote Sensing* 3, 7: 1406–1426. doi: [10.3390/rs3071406](https://doi.org/10.3390/rs3071406)

Zhu, Q., Hu, M.-Y. 2010. Semantics-based 3D dynamic hierarchical house property model, *International Journal of Geographical Information Science* 24, 2: 165–188. Prvič objavljeno: 6. 11. 2008 (iFirst). doi: [10.1080/13658810802443440](https://doi.org/10.1080/13658810802443440)

Zlatanova, S. 2008. Data collection and 3D reconstruction. V: P. Van Oosterom et al. (ur.). *Advances in 3D Geo-Information Sciences. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 425–428. doi: [10.1007/978-3-540-72135-2_24](https://doi.org/10.1007/978-3-540-72135-2_24)

Zupan, M., Liseč, 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](https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2014.04.710-723)