

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Lazar, A. 2012. Sodobno tehnično dokumentiranje grajske arhitekture na primeru gradu Lož. Diplomski nalogi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Kosmatin Fras, M.): 112 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



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

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

This is original version of final thesis.

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

Lazar, A. 2012. Sodobno tehnično dokumentiranje grajske arhitekture na primeru gradu Lož. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kosmatin Fras, M.): 112 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GEODEZIJE
SMER GEODEZIJA

Kandidat:

ALEŠ LAZAR

**SODOBNO TEHNIČNO DOKUMENTIRANJE GRAJSKE
ARHITEKTURE NA PRIMERU GRADU LOŽ**

Diplomska naloga št.: 914/G

**MODERN TECHNICAL DOCUMENTATION OF
CASTLE ARCHITECTURE IN THE CASE OF CASTLE
LOŽ**

Graduation thesis No.: 914/G

Mentorica:

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Član komisije:

izr. prof. dr. Radoš Šumrada

doc. dr. Tomaž Podobnikar

Ljubljana, 19. 12 2012

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisan Aleš Lazar izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Sodobno tehnično dokumentiranje grajske arhitekture na primeru gradu Lož«.

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

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

Ljubljana, 27.11.2012

Aleš Lazar

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK	528.7/.8:728.8(043.2)
Avtor	Aleš Lazar
Mentor	doc. dr. Mojca Kosmatin Fras, univ. dipl. inž. geod.
Somentor	doc. dr. Andrej Gaspari, univ.dipl.arheol.
Naslov	Sodobno tehnično dokumentiranje grajske arhitekture na primeru gradu Lož
Tip dokumenta	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema	112 str., 18 pregl., 70 sl., 1 en., 5 pril.
Ključne besede	fotorealističen 3D model, grajska arhitektura, 3D lasersko skeniranje, fotogrametrija, tehnično dokumentiranje, grad Lož

Izvleček

V diplomski nalogi je obravnavano sodobno tehnično dokumentiranje grajske arhitekture na podlagi 3D laserskega skeniranja in fotogrametrije. Predstavljena je osnovna terminologija grajskih elementov, pravna ureditev ohranjanja in varstva gradov, vrste in izgled izdelkov tehnične dokumentacije ter sodobni metodološki postopki in tehnike arhitekturne izmere. Pri sodobnem zajemanju podatkov grajske arhitekture je poudarek na integrirani uporabi 3D laserskega skeniranja in fotogrametrije. Iz teh podatkov se običajno izgradi fotorealističen 3D model, ki je uporaben tako za izdelavo klasičnih izdelkov tehnične dokumentacije kot za sodobne 3D prikaze in analize. Na praktičnem primeru gradu Lož so prikazane možnosti predstavitve 3D podatkov na 2D načrtih ter napredno 3D dokumentiranje.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDK	528.7/.8:728.8(043.2)
Author	Aleš Lazar
Supervisor	Assist. Prof. Mojca Kosmatin Fras, PhD.
Cosupervisor	Assist. Prof. Andrej Gaspari, PhD.
Title	Modern technical documentation of castle architecture in the case of castle Lož
Document type	Graduation Thesis – University studies
Notes	112 p., 18 tab., 70 fig., 1 eq., 5 an.
Key Words	photorealistic 3D model, castle architecture, 3D laser scanning, photogrammetry, technical documentation, castle Lož

Abstract

The graduate thesis explores some aspects of modern technical documentation regarding the castle architecture by means of the 3D laser scanning and photogrammetry techniques. The paper includes the basic glossary of castle terminology, legislation in the field of castle conservation and protection, different types and designs of technical documentation, modern methodological procedures and measurement techniques. In terms of castle architecture, modern data acquisition techniques focus on the integrated application of 3D laser scanning and photogrammetry. Using the acquired data a photorealistic 3D model is usually created which is useful for the production of traditional technical documentation as well as modern 3D displays and analyses. A practical case study on the Lož castle shows several possibilities for displaying 3D data on 2D plans and modern ways of 3D documentation.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Mojci Kosmatin Fras in somentorju doc. dr. Andrej Gaspariju za vso pomoč in potrpljenje, ki sta mi ga izkazala tekom nastajanja tega dela. Hvala dr. Igor Sapaču, dr. Matej Zupančiču, doc. dr. Predrag Novakoviću in dr. Darji Grosman za strokovno pomoč.

Hvala tudi podjetju Grangeo in vsem sodelavcem podjetja pri izvedbi praktičnega dela diplomske naloge.

Iskrena hvala moji ženi Petri, ki mi je vedno stala ob strani, in mojim domačim, ki so mi nudili podporo skozi vsa študijska leta.

- Prazna stran -

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 GRADOVI.....	4
2.1 SPLOŠNO O GRADOVIH	4
2.2 ZGODOVINSKI OKVIR GRADOV V SLOVENIJI	4
2.3 GRAJSKA ARHITEKTURA	5
2.3.1 <i>Gradnja gradov</i>	5
2.3.1.1 Kamnoseška znamenja	7
2.3.2 <i>Grajski arhitekturni sklopi</i>	8
2.3.2.1 Obzidje	8
2.3.2.2 Bergfrid.....	9
2.3.2.3 Palacij.....	11
2.4 ZGODOVINSKI OKVIR GRADOV V SLOVENIJI	12
2.4.1 <i>Romanski gradovi</i>	12
2.4.1.1 Prva romanska stavbna faza	12
2.4.1.2 Druga romanska stavbna faza	13
2.4.1.3 Tretja romanska stavbna faza	14
2.4.1.4 Četrta romanska stavbna faza	14
2.4.2 <i>Gotski gradovi</i>	16
2.5 ZATON IN OGROŽENOST GRADOV.....	18
3 PRAVNA UREDITEV PODROČJA.....	19
3.1 PRAVNA UREDITEV PODROČJA OHRANJANJA GRADOV	19
3.1.1 <i>Mednarodne organizacije</i>	20
3.1.1.1 ICOMOS.....	20
3.1.1.2 UNESCO.....	20
3.1.2 <i>Slovenske institucije</i>	21
3.1.2.1 Direktorat za kulturno dediščino	21
3.1.2.2 Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije	22
3.2 VARSTVO GRADOV.....	23
3.2.1 <i>Zakonodaja</i>	23
3.2.2 <i>Pomen varstva kulturne dediščine</i>	24
3.3 SPLOŠNO O VARSTVU GRADOV	24
3.3.1 <i>Konservatorski načrt</i>	26
3.4 PRAVNA UREDITEV PODROČJA DOKUMENTIRANJA	28
3.4.1 <i>Standardizacija</i>	28

3.4.1.1 Mednarodne in evropske organizacije za standardizacijo	29
3.4.1.2 Slovenski standard	29
3.4.2 CIPA	29
4 MERSKE TEHNIKE V KULTURNI DEDIŠČINI	30
4.1 SPLOŠNO O MERITVAH V KULTURNI DEDIŠČINI	30
4.1.1 Laserski žarek	31
4.1.1.1 (Ne)varnost laserskega žarka	31
4.1.2 Uspešnost merskih podatkov	32
4.2 FOTOGRAMetriJA	34
4.2.1 Fotogrametrična oprema	34
4.2.1.1 Fotoaparat	34
4.2.1.2 Tarče	34
4.2.2 Zajemanje posnetkov	35
4.2.2.1 Prostorska ločljivost posnetkov	36
4.2.3 Fotogrametrična obdelava	37
4.3 3D LASERSKO SKENIRANJE	39
4.3.1 Tehnike laserskih skenerjev	39
4.3.2 Terestrično lasersko skeniranje	40
4.3.2.1 Nastavitve skeniranja	42
4.3.3 Obdelava oblaka točk	45
4.3.3.1 Orientacija skenogramov	47
4.3.3.2 Modeliranje	48
4.4 INTEGRACIJA 3D LASERSKEGA SKENIRANJA IN FOTOGRAMetriJE	49
4.4.1 Interaktivna metoda orientacije	51
4.5 MOBILNI MERSKI SISTEMI	52
5 TEHNIČNO DOKUMENTIRANJE	54
5.1 TEHNIČNO RISANJE	54
5.1.1 Merilo izdelka	54
5.1.2 Format za prikaz	55
5.1.3 Vrste in uporaba črt	56
5.1.4 Glava risbe	57
5.1.5 Projekcija in vrste projekcij	57
5.1.5.1 Aksonometrična projekcija	57
5.1.5.2 Perspektivna projekcija	58
5.1.5.3 Ortogonalna projekcija	58

5.2 ANALIZA IZDELKOV TEHNIČNE DOKUMENTACIJE V KULTURNI DEDIŠČINI	59
5.2.1 <i>Klasični izdelki</i>	59
5.2.1.1 Arhitektonski načrt.....	59
5.2.1.2 Tlorisni načrt.....	62
5.2.1.3 Ortofoto	63
5.2.1.4 Prerez.....	64
5.2.5 3D dokumentiranje.....	66
5.2.5.1 CAD-ovi izdelki	66
5.2.5.2 3D model.....	68
5.2.5.3 Fotorealističen 3D model.....	70
5.2.6 <i>Ostali izdelki</i>	71
5.2.6.1 Virtualna rekonstrukcija	71
5.2.6.2 Animacija.....	71
5.2.6.3 Dokumentiranje poškodb.....	71
5.2.6.4 Dokumentiranje gradbenih faz	73
6 NAPREDNO TEHNIČNO DOKUMENTIRANJE NA PRIMERU GRADU LOŽ	75
6.1 GRAD LOŽ	75
6.1.1 <i>Opis grad Lož</i>	75
6.1.2 <i>Zgodovinski okvir gradu Lož</i>	78
6.1.3 <i>Stavbni razvoj</i>	78
6.1.3.1 Stavbni razvoj – 1. faza	79
6.1.3.2 Stavbni razvoj – 2. faza	79
6.1.3.3 Stavbni razvoj – 3. faza	80
6.1.3.4 Stavbni razvoj – 4. faza	81
6.2 TERENSKÉ MERITVE.....	82
6.2.1 <i>Instrumentarij</i>	82
6.2.2 <i>Opis izvedbe meritev</i>	82
6.3 OBDELAVA OBLAKA TOČK.....	83
6.3.1 <i>Priprava podatkov</i>	83
6.3.2 <i>Orientacija oblaka točk</i>	83
6.3.3 <i>Segmentiranje in filtriranje oblaka točk</i>	84
6.4 IZGRADNJA FOTOREALISTIČNEGA 3D MODELA	85
6.5 IZDELKI TEHNIČNE DOKUMENTACIJE	88
6.5.1 <i>Prerezi</i>	88
6.5.2 <i>Ortofoto in arhitektonski načrti stranic</i>	89
6.5.3 <i>Tlorisni načrt</i>	91

7 ANALIZA REZULTATOV IN UGOTOVITVE.....	93
7.1 FOTOREALISTIČEN 3D MODEL GRADU LOŽ	93
7.2 POVRŠINA STRANIC	94
7.3 VIŠINE, DOLŽINE IN DEBELINE STRANIC.....	97
7.4 OSTALE UGOTOVITVE.....	99
7.5 UKREPI ZA NAPREJ	102
8 ZAKLJUČEK	104
VIRI.....	107

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1.1: Primerjava romanske in gotske gradnje gradov	7
Preglednica 4.1: Največje dovoljeno odstopanje meritev detajla (Bryan in sod., 2009)	32
Preglednica 4.2: Prostorska ločljivost posnetka glede na merilo (Bryan in sod., 2009)	36
Preglednica 4.3: Prostorska ločljivost popravljene podobe glede na merilo (Bryan in sod., 2009)	37
Preglednica 4.4: tehnike laserskega skeniranja (Barber in Mills, 2011)	39
Preglednica 4.5: Primerna gostota točk glede na velikost pojava (Barber in Mills, 2011)	43
Preglednica 4.6: Gostota točk glede na merilo (Mills in Barber, 2003; Colombo in Marana, 2010)	44
Preglednica 4.7: Gostota točk glede na merilo (Bryan in sod., 2009)	44
Preglednica 5.1: Velikosti formata risb	55
Preglednica 5.2: Vrste in uporaba črt (Glodež, 2005)	56
Preglednica 5.3: Prostorska ločljivost ortofota glede na merilo (Bryan in sod., 2009)	63
Preglednica 5.4: Organizacija CAD-ove risbe (Simerl in Zupančič, 2002)	67
Preglednica 7.1: Površina gradu in obzidja	95
Preglednica 7.2: Površina posameznih stranic gradu	95
Preglednica 7.3: Površina posameznih stranic obzidja	96
Preglednica 7.4: Debeline posameznih sten	97
Preglednica 7.5: Debelina arhitekturnih sklopov	97
Preglednica 7.6: Višine in dolžine stranic	98

KAZALO SLIK

Slika 2.1: Primeri romanske zidave (Stopar, 2006).....	6
Slika 2.2: Kamnoseško znamenje: posnetek (levo) in znak (desno) (Gradovi.net, 2011).....	7
Slika 2.3: Dvojna vrsta notranjih obrambnih hodnikov na obzidju s cinami in prsobrani (Stopar, 2007, Črepinšek (ilustr.))	8
Slika 2.4: Zunanji hodnik oz. hurda na srednjeveškem obzidju (Stopar, 2007, Črepinšek (ilustr.))	9
Slika 2.5: Prikaz zunanjščine (levo) in notranjščine (desno) bergfrida (Stopar, 2007, Črepinšek (ilustr.)).....	10
Slika 2.6: Pogled na dvonadstropni romanski palacij (Stopar, 2007, Črepinšek (ilustr.)).....	11
Slika 2.7: Pogled v notranjost romanskega palacija (Stopar, 2007, Črepinšek (ilustr.))	11
Slika 2.8: Prva romanska stavbna faza (Stopar, 2006, Gričar (ilustr.))	13
Slika 2.9: Druga romanska stavbna faza (Stopar, 2006, Gričar (ilustr.)).....	13
Slika 2.10: Tretja romanska stavbna faza (Stopar, 2006, Gričar (ilustr.)).....	14
Slika 2.11 Četrta romanska stavbna faza (Stopar, 2006, Gričar (ilustr.)).....	15
Slika 2.12: Tloris gradu Podsreda z vrisanimi stavbnimi fazami (Stopar, 2006, Gričar (ilustr.))	15
Slika 2.13: Tloris gradu Celje z vrisanimi stavbnimi fazami (Stopar, 2006, Gričar (ilustr.))....	16
Slika 2.14: Aksonometrična rekonstrukcija gradu Celje (Stopar, 2006, Gričar (ilustr.))	17
Slika 2.15: Tloris gradu Rihemberk – primer koncentrično razraščene gradu z vrisanimi stavbnimi fazami (Stopar, 2006, Gričar (ilustr.))	17
Slika 3.1: Slovenski sistem organizacij za varstvo in zaščito gradov (povzeto po MIZKŠ (2012))	21
Slika 3.2: Shema konservatorskega načrta (Zupančič in sod., 2007)	27
Slika 4.1: Merske tehnike glede na merilo in velikost objekta (Barber in Mills, 2011).....	30
Slika 4.2: Fotogrametrični stereozajem (Andrews in sod., 2009)	36
Slika 4.3: (1) digitalni posnetek, (2) meritev oslonilnih točk, (3) popravljena podoba, (4) izrez območja in vektorizacija robov (Andrews in sod., 2009).....	38
Slika 4.4: Koordinate točk skeniranega objekta (Abdelhafiz, 2009)	40
Slika 4.5: Klasifikacija terestričnih laserskih skenerjev glede na usmerjanje žarka (Staiger, 2011)	41
Slika 4.6: Ovire pri skeniranju (drevo) in »črna polja« (Goodmaster in sod., 2007).....	42
Slika 4.7: Odtis laserskega žarka zaradi divergence glede na oddaljenost (Goodmaster in sod., 2007).....	43
Slika 4.8: Skeniranje z različno gostoto točk (Goodmaster in sod., 2007).....	45

Slika 4.9: Postopek izgradnje digitalnega 3D modela iz oblaka točk (povzeto po Kastelic (2010)).....	46
Slika 4.10: Skener z GNSS-anteno (levo) in tarče (desno).....	47
Slika 4.11: Združitev dveh skenogramov v enoten koordinatni sistem (Barber in Mills, 2011)	48
Slika 4.12: Terestrični laserski skener s pritrjenim fotoaparatom (Riegl, 2012).....	49
Slika 4.13: Posnetek (levo zgoraj), ortogonalni prikaz oblaka točk (desno zgoraj), CAD-ov izris fasadnega načrt (levo spodaj) in ortofoto (desno spodaj) (Studnicka in Zach, 2011)	53
Slika 5.1: Aksonometrična projekcija (Jovan, 2011)	57
Slika 5.2: Centralna projekcija z enim, dvema ali s tremi gorišči (Jovan, 2011)	58
Slika 5.3: Ortogonalna projekcija (Glodež, 2005)	58
Slika 5.4: Arhitektonski načrt (Artescan, 2011).....	61
Slika 5.5: Detajlni arhitektonski načrt (Artescan, 2011)	61
Slika 5.6: Digitalni posnetek (levo) in ortofoto (desno) (Hanke in Grussenmeyer, 2002)	64
Slika 5.7: Prikaz 3D modela palače Monserrate in prerezne ravnine pri prostorskem pogledu iz strani (levo) in od zgoraj (desno) (Artescan, 2011)	65
Slika 5.8: Prerezne linije (Artescan, 2011)	65
Slika 5.9: 3D CAD model palače Monserrate (Artescan, 2011)	66
Slika 5.10: (1) Fotografija rimske peči Quinta do Rouxinol, (2) njen mrežni model, (3) volumski 3D model in (4) fotorealističen 3D model (Artescan, 2011).....	69
Slika 5.11: Teksturiran 3D model palače Monserrate (Artescan, 2011).....	69
Slika 5.12: Primer odnosa stratifikacije do zgradbe (Harris, 1989)	74
Slika 5.13: Primer strukturnega pregleda (Novaković, 2011).....	74
Slika 6.1: Tloris gradu z označenimi stavbnimi fazami; počrnjeno 12. stoletje, grobo šrafirano 13. stoletje, drobno šrafirano gotika (Sapač, 2006)	75
Slika 6.2: Lokacija naselja Lož	76
Slika 6.3: Grajske stavbe v okolici Loža (Sapač, 2006)	76
Slika 6.4: Izpis iz Registra kulturne dediščine (ZVKD-1, 2008).....	77
Slika 6.5: Grad Lož v 12. stoletju (Sapač, 2006)	79
Slika 6.6: Grad Lož v 13. stoletju (Sapač, 2006)	80
Slika 6.7: Grad Lož v 15. stoletju (Sapač, 2006)	81
Slika 6.8: Grad Lož v 16. stoletju (Sapač, 2006)	81
Slika 6.9: Pregled položajev stojišč	83
Slika 6.10: Histogram intenzitete odboja laserskega žarka (levo) in avtomatsko filtriranje šuma (desno).....	84
Slika 6.11: Izgradnja fotorealističnega 3D modela.....	85

Slika 6.12: Pogled na fotorealističen 3D model loškega gradu z DMR-jem iz južne strani....	86
Slika 6.13: DOF, april 2009	87
Slika 6.14: Prerez 3D modela z ravnino	88
Slika 6.15: Izbran primer prereza na primeru gradu Lož.....	89
Slika 6.16: Primer ortofota in arhitektonskega oz. 2D načrta na primeru gradu Lož.....	90
Slika 6.17: Primer tlorisnega načrta na primeru gradu Lož	92
Slika 7.1: Severna stranica fotorealističnega 3D modela loškega gradu.....	94
Slika 7.2: Grad Lož – severna stranica (Sapač, 2006).....	94
Slika 7.3: Shematičen prikaz oznak in položajev arhitektonskih oz. 2D načrtov notranjega oboda (levo) in zunanjega oboda (desno)	96
Slika 7.4: Shematičen prikaz položajev prerezov	99
Slika 7.5: Izlivnica za smolo (levo) in položaj vseh izlivnic na obzidju (desno).....	100
Slika 7.6: Izmuzna vratca (levo) in tlorisni položaj vratnih odprtín na zunanjem obodu (desno)	100
Slika 7.7: Ključasta lina (levo) in njen položaj na stranici (desno).....	101
Slika 7.8: Zaraščenost gradu Lož (podlaga: DOF; pridobljeno na http://www.geopedia.si/ , 14.11.2011)	103

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

2D	Dvorazsežni, tudi dvodimenzionalni prostor
3D	Trirazsežni, tudi tridimenzionalni prostor
CAD	računalniško podprto načrtovanje ali računalniško podprto konstruiranje (angl. Computer Aided Design)
CIPA	Comité international de photogrammétrie architecturale oz. International Committee for Architectural Photogrammetry
CPA	Center za preventivno arheologijo
DOF	Digitalni ortofoto
DMP	Digitalni model površja
DMR	Digitalni model reliefa
EŠD	Evidenčna številka dediščine
GNSS	Globalni navigacijski satelitski sistem
GSD	Ground Sampling Distance
ICOMOS	International Council on Monuments and Sites
IMU	Inercialna merilna enota (angl. Inertial Measurement Unit)
ISO	Mednarodna organizacija za standardizacijo (angl. International Organization for Standardization)
LASER	ojačevanje svetlobe s stimulirano emisijo sevanja (angl. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)
LOD	stopnja podrobnosti (angl. Level of Detail)
MLS	Mobilno lasersko skeniranje (angl. Mobile Laser Scanning)
MMS	Mobilni merski sistem (angl. Mobile Mapping System)
NURBS	neenakomerna racionalna osnovna krivulja (angl. Non-Uniform Rational B-Splines)
SIST	Slovenski inštitut za standardizacijo
RC	Restavratorski center
RGB	rdeča, zelena, modra (angl. Red, Green, Blue)
TIN	mreža nepravilnih trikotnikov (angl. Triangulated Irregular Network)
TLS	terestrično lasersko skeniranje, tudi terestrični laserski skener (angl. Terrestrial Laser Scanning, tudi Terrestrial Laser Scanner)
TOF	čas potovanja impulza (angl. Time of Flight)
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
ZVKDS	Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije

SLOVARČEK IZRAZOV

Arheološka stratigrafija, materialni zapis procesa antropogene stratifikacije in naravnih procesov, ki so učinkovali na arheološke depozite.

Bergfrid, najpomembnejši grajski stolp s poudarjenimi obrambnimi funkcijami v sklopu širših grajskih zasnov.

Fotogrametrija, znanost, tehnologija in spretnost določanja prostorske lokacije in oblike objektov ter njihovo prepoznavanje iz fotografij oz. slik, ki jih na različne nosilce slike zapiše sevanje elektromagnetne energije in drugi pojavi.

Hurda, zunanji leseni obrambni hodnik na obzidju ali grajski stavbi.

Lasersko skeniranje, tehnologija, ki za zajem merskih podatkov o objektih v prostoru uporablja laserski žarek.

Ministerial, najnižja stopnja viteškega stanu, sprva pretežno nesvobodne osebe, ki so s sprejemom doživljenjskega fevda postale služne po položaju višjemu plemstvu.

Palacij, poglavitna stanovanjska stavba na gradu, pogosto podkletena, z dvorano v vrhnjem nadstropju.

Struktura, (arheol.) 1. v interpretaciji stratigrafije serija kronološko in funkcionalno povezanih stratigrafskih enot (npr. stojka, vezani zidovi ...). 2. pri drugih oblikah terenskega opazovanja grajena oblika, zgradba.

Tramovnica, luknja v zidu oz. njena sled na mestih, v katerih je ležal stropnik.

1 UVOD

Gradovi so neme priče minulih časov, neposredno povezani z bogato preteklostjo naše zgodovine in eden od izvorov naše samobitnosti. Njihovi zidovi nas spominjajo na davne viteške čase, v zvezi z njimi se prepletajo številne zgodbe in legende. Vsa največja slovenska mesta so zrasla v senci gradov ali pod njimi. Le v srečnih primerih so gradovi ohranili vlogo urbanističnih elementov prostorskih kulis. Večina lokacij gradov pa je zaraščenih z drevjem ali grmovjem, kar kaže, da nismo povsem začeli iskati stezic do zidov in njihove zgodovine (Arh Kos, 2006).

V diplomski nalogi se posvečam arhitekturi srednjeveških gradov, torej gradovom iz romanike in gotike, ki so danes zaradi odmaknjene lokacije pogosto zapostavljeni in prepuščeni propadanju. Gradovi so že vsaj dvesto let med najbolj ogroženimi zgradbami v Sloveniji. Nekoč mogočne utrdbe danes pogosto najdemo v razvaljeni obliki. Grajski zidovi so tudi brez poslikav in stavbnega pohištva za tehnične strokovnjake izjemen zgodovinski vir. Proučevanje grajskih razvalin temelji na podlagi različnih metod, od proučevanja gradbene strukture, načina in sloga zidave, arheoloških raziskovanj, izsledkov iz pisnih virov, do primerjave s sorodnimi gradovi ter izmero trenutnega stanja, kjer nastopi vloga geodezije.

Vez med geodezijo in kulturno dediščino se je z razvojem fotogrametrije in danes 3D laserskim skeniranjem močno poglobila. Meritve so postale izjemno hitre, natančne in zelo detaljne, celovite. Vzporedno z uveljavitvijo 3D laserskega skeniranja je bil dobro sprejet tudi fotorealistični 3D model skeniranega objekta. Toda tu naletimo na izziv, kako 3D model ustrezno predstaviti na klasičnih 2D načrtih, da bodo informacije jasno razumljive tako strokovnjakom, ki te izdelke uporabljajo, kot širši populaciji. Temu problemu je v diplomski nalogi posvečeno poglavje o tehničnem dokumentiranju (*poglavje 5 Tehnično dokumentiranje*). Prav tako pomembno vprašanje je, katere elemente na 3D modelu, ki vizualizira objekt kulturne dediščine, izpostaviti na načrtih. Zaradi tega je dobro poznati strukturne elemente grajske arhitekture, predstavljene v poglavju o gradovih.

Če stopimo v naših razmišljanjih korak nazaj, se je dobro vprašati, kako podroben, detajlen 3D model potrebujemo, da lahko iz njega izluščimo zahtevane informacije za izdelavo 2D načrtov v ustreznem merilu, ki so potrebni pri tehnični dokumentaciji kulturne dediščine. Glede na merilo in želje ali zahteve dokumentiranja je potrebno izbrati primerno mersko tehniko ter gostoto meritev, o čemer je govora v poglavju o merskih tehnikah (*poglavje 4 Merske tehnike v kulturni dediščini*).

V Sloveniji pogosto zasledimo, da se pri dokumentiranju zgledujemo po sorodnih primerih dobre prakse. Tako najhitreje vidimo razmerje med vhodnimi podatki in rezultati, med mersko tehniko za zajem podatkov in končnimi izdelki. V diplomu se večkrat sklicujem na prakso iz tujine, predvsem na English Heritage, saj Britanci veljajo za mojstre odnosa do kulturne dediščine. English Heritage je britanska vladna služba, katere temeljne naloge opredeljujejo zaščito in promocijo historičnega okolja, širjenje dostopa javnosti do dediščine ter večanje razumevanja preteklosti. Znotraj te javne ustanove predstavlja posebno dejavnost standardiziranje podatkov o kulturni dediščini. English Heritage se v svojih standardih najbolj posveča dokumentiranju objektov kulturne dediščine in upravljanju z njimi (Novaković in sod., 2007). Britanci se od Johna Ruskina (1819-1900) in celo od Walterja Scotta (1771-1832) naprej zavedajo, da gradovi živijo skupaj s svojo zgodovino, v simbiozi s svojo zgodbo (Arh Kos, 2006).

Pri nas integrirana uporaba 3D laserskega skeniranja in fotogrametrije v kulturni dediščini še ni bila temeljito raziskana. Uporabnost integracije 3D laserskega skeniranja in fotogrametrije sem prikazal na lastnem praktičnem primeru. S pomočjo ekipe iz podjetja Grangeo d.o.o. sem skeniral razvaline gradu Lož iz Loške doline, ki že od 16. stoletja ni bil več stalno naseljen in propada že več kot 300 let. Od nekoč mogočne utrdbe so danes ohranjeni predvsem ostanki dvojnega obodnega zidovja in del stolpa. Zajete podatke sem obdelal z ustrežno programsko opremo ter izdelal fotorealističen 3D model, na podlagi katerega sem izdelal klasične 2D načrte za tehnično dokumentacijo.

Pri izdelavi klasičnih 2D izdelkov za tehnično dokumentiranje gradu Lož ter v sklopu nastajanja diplomske naloge sem se posvetoval s pristojnimi strokovnjaki iz različnih strok. Kastelolog dr. Igor Sapač mi je razložil, kateri detajli in elementi grajske arhitekture so vidni na zidovih, dr. Matej Zupančič iz Konservatorskega centra pa mi je svetoval, kako to vsebino prikazati na načrtih ter kako naj ti načrti izgledajo. Doc. dr. Predrag Novaković in dr. Darja Grosman sta mi predstavila način tehničnega dokumentiranja v arheologiji. Doc. dr. Mojca Kosmatin Fras me je usmerjala na področju geodezije, doc. dr. Andrej Gaspari pa na ostalih področjih kulturne dediščine.

Po svetu se je 3D lasersko skeniranje v kombinaciji s fotogrametrijo dobro uveljavilo pri dokumentiranju kulturne dediščine, zato je smiselno, da tudi v Sloveniji sledimo svetovnim smernicam razvoja in iščemo nove možnosti za izboljšavo. Sodelovanje različnih strok na področju kulturne dediščine prinaša najboljše rezultate.

Diplomska naloga je strukturirana tako, da je v 2. poglavju z naslovom *Gradovi* predstavljena osnovna terminologija grajskih sklopov in elementov ter opisan je značilen stavbni razvoj srednjeveških gradov; v poglavju 3 *Pravna ureditev področja* so opisane mednarodne organizacije in slovenske institucije za varstvo in ohranjanje gradov, njihov pomen ter pravna ureditev dokumentiranja; v poglavju 4 *Merske tehnike v kulturni dediščini* so predstavljene tehnike sodobnega zajemanja podatkov grajske arhitekture, kjer je poudarek na integrirani uporabi 3D laserskega skeniranja in fotogrametriji; v 5. poglavju z naslovom *Tehnično dokumentiranje* so analizirani klasični izdelki tehnične dokumentacije v kulturni dediščini ter sodobne možnosti 3D prikaza in analize; v 6. poglavju (6 *Napredno tehnično dokumentiranje na primeru gradu Lož*) je na primeru Lož prikazan sodoben način predstavitve 3D podatkov na 2D načrtih ter možnosti naprednega 3D dokumentiranja; v 7. poglavju z naslovom *Analiza rezultatov in ugotovitve* so povzeti statistični podatki tehničnega dokumentiranja primera gradu Lož, interpretacija rezultatov ter ugotovitve; v poglavju 8 *Zaključek* so strnjene misli naloge.

2 GRADOVI

2.1 Splošno o gradovih

Veda, ki preučuje gradove, je kastelologija. V kastelološkem slovarju je grad definiran kot utrjeno bivališče fevdalca v obliki od preprostega stolpa, obodnega gradu do razvitejših, mogočnejših zasnov. V virih je označen kot castelum, castrum, burg, purch, veste, haws, turn und haus, sloss, gesloss ... (Jakič, 2001).

Slovenija ima kljub delni terminološki zmedi, okoli 800 lokacij dvorcev, dvorov, gradov, gradičev, graščin, trdnjav, utrdb (Arh Kos, 2006). Če upoštevamo obstoječe objekte, bodisi delno ali povsem predelane, obnovljene ali razvaljene, pogosto ohranjene le kot skromne razvaline, še večkrat pa gre le za sledove na iskanih lokacijah (nekaj kamenja, ostanki obrambnih jarkov in nasipov), omembe v arhivskih zapisih in ljudskem izročilu, pa tudi »izginula« preprosta plemiška prebivališča, potem je v Sloveniji v minulih stoletjih stalo nad 900 grajskih objektov, od tega je bilo gradov okoli 300 (Jakič, 2001). Danes s pomočjo znanja iz arheologije vemo, da sledi o nekdanjih gradovih niso nikoli povsem izginila. Večina se jih sluti v reliefu, še več pa jih je ohranjenih kot strukture in pripadajoči arheološki depoziti v podpovršju.

Gradovi so simbol moči, bogastva in okusa njihovih graditeljev. Nastali so v srednjem veku ter so bili gospodarska središča, zbirališča in posredovalnica znanj, informacijske točke, pribežališča popotnikov in trgovcev, skratka medmrežje tedanjega časa. Pričajo predvsem o premožnosti in strahu pred njeno izgubo, o varnosti in nevarnosti, o pripadnosti kraju in stanu ter stanovski solidarnosti. Sprva so začeli nastajati v fevdalnih središčih, na sedežih visokega svetnega in cerkvenega plemstva, kasneje pa so rasli na pomembnejših strateških prometnih poteh, razpotjih in prelazih.

2.2 Zgodovinski okvir gradov v Sloveniji

Nastanek prvih, sicer maloštevilnih gradov na naših tleh časovno sovпада s ponovno vzpostavitvijo nemške oblasti nad slovenskim ozemljem, po zmagi nad Madžari leta 955 na Leškem polju pri Augsburgu. Takrat so se tudi oblikovale mejne krajine, ki so utrdile mejo svetega rimsko-nemškega cesarstva nasproti Madžarski in Hrvaški, pozneje pa so iz njih nastale dežele (Jakič, 2001).

Na Slovenskem se je gradnja gradov razmahnila v **romaniki** v 12. stoletju ter v 13. stoletju

doživela svoj vrhunec. Pobudniki gradenj so bili veliki fevdalci, ki so imeli svoje sedeže zunaj deželnih meja in so gradnjo utrjenih gradov dovoljevali le tedaj, ko je bila ta v skladu z njihovimi geopolitičnimi interesi. Na gradovih so živeli njihovi ministeriali in vazali (Jakič, 2001).

V obdobju **gotike**, med leti 1250 in 1500, pozidajo pri nas le še redke gradove. Zemljiška posest je bila takrat že razdeljena, zato nova fevdalna središča niso več bila potrebna. Zaradi želje po večji stanovanjski udobnosti so romanske gradove sistematično prezidali in širili (Stopar, 2006). V zadnji četrtini 15. stoletja so po padcu Bosne leta 1463 čedalje pogostejši turški vpadi, pa tudi vojne Habsburžanov z Beneško republiko sprožili obsežno utrjevalno dejavnost, ki je zajela tako mesta, trge in gradove, kot tudi samostane, cerkve in pomembne vasi (Arh Kos, 2006).

Šele od tridesetih let 16. stoletja so postopoma začeli graditi naprednejše **renesančne** utrdbene zasnove geometrično pravilnih oblik, ki se niso več dosledno ozirale na naravno konfiguracijo terena. V drugi polovici 16. stoletju, predvsem pa v 17. stoletju so gradove preurejali v dvorce (Arh Kos, 2006).

2.3 Grajska arhitektura

Za proučevanje gradov je pomembna analiza njihove gradbene strukture, način zidave in slogovni način njenih arhitekturnih delov, saj nobena metoda, če je ne povežemo z drugimi raziskovalnimi pristopi, ne da povsem zanesljive rezultate. Posamične arhitekturne forme se namreč pogosto pojavljajo v daljših časovnih obdobjih, po drugi strani pa so vselej odvisne od prostora, kjer nanje naletimo, in ne nazadnje od želja ali občasnih nepredvidljivih zahtev vsakokratnega naročila gradbenih del (Stopar, 2006).

2.3.1 Gradnja gradov

Po skrbno izbiri lokaciji za grad so teren najprej počistili in izravnali. Izkopali so temelje, nato pa postavili odre in dostavne rampe, oboje pa so sidrali kar neposredno v stene. Ko so končali z zidavo, so lesene oporne tramiče pustili kar v steni in jih ob licu zidu odžagali, ko pa so ti pozneje strohnili, so ostale luknje, imenovane odrnice, ki jih na starih razvalinah še vedno najdemo (Stopar, 2006).

Vsak zid je bil sestavljen iz večje oblikovanega zunanjega in notranjega plašča ter polnila iz drobirja in grušča, prelitega z malto. Notranjo povezavo zidov in njihovo večjo trdnost so

neredko zagotavljali vanje vstavljeni tramovi. Ti so sicer pozneje, ko se je zid pričel rušiti, navado strohnili, jaški, ki so za njimi ostali, pa v razvalinah še vedno pričajo o njihovem nekdanjem obstoju (Stopar, 2006).

Zidava in njen zunanji videz ostajata zlasti na razvalinah, ki so jih v stoletjih oropali večine kamnoseško obdelanih členov, pogosto edini prepoznavni znak za določanje njihove starosti. Na splošno velja, da za romansko zidavo štejemo v pravilne vrste položene zidake na zunanjih licih zidov (glej sliko 2.1), medtem ko gotško zidavo prepoznavamo po lomljencih, grobo poravnanih v vrste (Stopar, 2006).

V zgodnjem romanskem obdobju so potrebno trdnost stavbi zagotavljali veliki in klesani ogelniki iz lehnjaka, katere kasneje zamenjajo klesani ogelniki iz apnenca in dolomita. V obdobju gotike so ogelnike skoraj dosledno klesali bodisi iz peščenjaka bodisi iz debelozrnatega konglomerata. Stene so v času romanike ostale neometene, v času gotike pa jih je prekril omet (Stopar, 2006).



Slika 2.1: Primeri romanske zidave (Stopar, 2006)

Povzetek in primerjava romanskega in gotskega načina gradnje gradov je prikazana v preglednici 1.1.

Preglednica 1.1: Primerjava romanske in gotske gradnje gradov

	ROMANIKA	GOTIKA
časovno obdobje	900-1030 ... zgodnja romanika	1250-1500
	1030-1150 ... zrela romanika	
	1150-1250 ... pozna romanika	
zidava zidakov na zunanjih licih zidov	pravilne vrste	groba poravnava v vrste (nepravilna zidava)
material ogelnikov	lehnjak (zg. romanika)	peščenjak
	apnenec	debelozrnati konglomerat
	dolomit	
omet	ne	da

2.3.1.1 Kamnoseška znamenja

Med posebna sporočila preteklosti na gradovih se štejejo kamnoseška znamenja. Gre za podpise nekdanjih kamnosekov, ki naj bi tako označevali kamne, ki so jih bili obklesali. Kamnoseška znamenja se pojavljajo le na pomembnih arhitekturnih členih, na konzolah ali obočnih sklepnikih. Najstarejši primerki na srednjeevropskih arhitekturnih spomenikih so datirani v drugo polovico 12. stoletja. V 14. in 15. stoletju postanejo kamnoseška znamenja na naših gradovih pogostejša in so v primerjavi z romanskimi ali zgodnjegotskimi bolj kompleksna ter manjša, velika nekaj centimetrov. Običaj podpisovanja kamnosekov je trajal do prve polovice 16. stoletja (Stopar, 2006). Primer kamnoseškega znamenja je viden na sliki 2.2, ki prikazuje znak in posnetek znamenja na južnem obzidju gradu Žovnek.



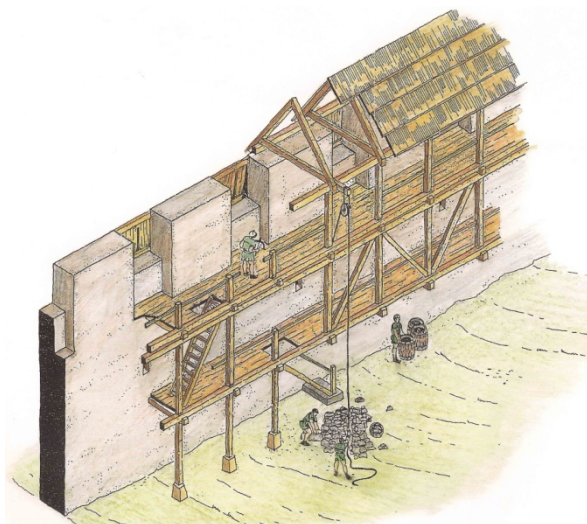
Slika 2.2: Kamnoseško znamenje: posnetek (levo) in znak (desno) (Gradovi.net, 2011)

2.3.2 Grajski arhitekturni sklopi

2.3.2.1 Obzidje

Obzidje je ena temeljnih in hkrati najpomembnejših srednjeveških grajskih sestavin. Na najbolj izpostavljenih mestih so bila večinoma dovolj močna, da so jih lahko tik pod vrhom za kakšne tri lakte stanjšali, nato pa stanjšani zid na notranji strani opremili s široko pohodno površino. Pozneje so bila obzidja največkrat tanjša, debela le še kakšen meter, na dvoriščni strani opremljena z lesenimi povezovalnimi hodniki, na zunanji pa s hurdami (*glej sliko 2.4*) (Stopar, 2007).

Grajska obzidja so bila različno visoka. Vrh strmih, nedostopnih pečin so bila nizka, pri kastelnih gradovih¹ so segala do višine dveh nadstropij, v renesansi pa so jih spet znižali. Pri najstarejših gradovih so bila na vrhu opremljena z zidnimi kronami, sestavljenimi iz menjajočih nadzidkov ali cin in prsobranov (*glej sliko 2.3*). Nadzidki oz. cine so bile visoke 2,20 - 2,40 m, tako da so se lahko branilci s svojimi loki ali samostreli za njimi brez težav pritajili, v stanjšano steno poglobljeni in praviloma še tanjši prsobrani pa so segali vojščakom do pasu. Preračunani so bili na rast srednjeveških vitezov, ki so menda v višino merili le kakih 160 cm (Stopar, 2007).

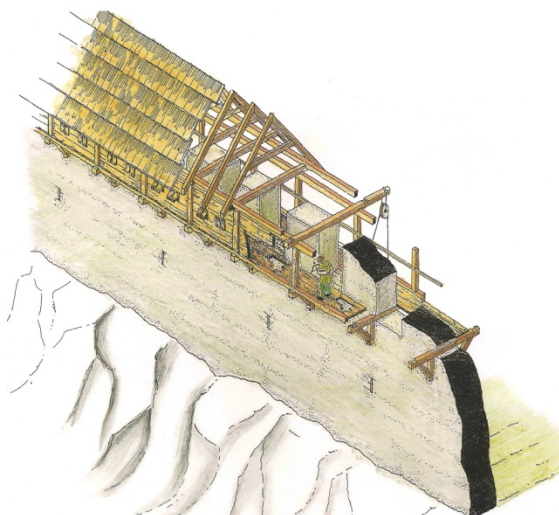


Slika 2.3: Dvojna vrsta notranjih obrambnih hodnikov na obzidju s cinami in prsobrani (Stopar, 2007, Črepinšek (ilustr.))

Od 12. stoletja dalje so obrambo zasnovali v dveh ravneh, tako so tudi v spodnjem pasu bile strelne line, ki so dopolnjevale obrambo z vrha. Na kastelnih gradovih (*opisani so v*

¹ Kastelni gradovi so podrobneje opisani pri poglavju 2.4.1 Romanski gradovi.

nadaljevanju v poglavju 2.4.1 *Romanski gradovi*) so bila obzidja na najbolj izpostavljeni strani opremljena s tako imenovanimi ščitnimi plašči. To so že ob vznožju za več kot meter odebeljeni in potlej še za etažo višji deli obodnega obzidja, na vrhu opremljeni z leseno obrambno galerijo, hurdo (Stopar, 2007).



Slika 2.4: Zunanji hodnik oz. hurda na srednjeveškem obzidju (Stopar, 2007, Črepinšek (ilustr.))

Vlogo zidnih kron so vsaj od 14. stoletja dalje prevzemale hurde, na zunanjih straneh zidu nameščeni leseni obrambni hodniki vrh obzidij, povezani z lesenimi hodniki na njihovih notranjih straneh (*glej sliko 2.4*). Prehodi med zunanjimi in notranjimi hodniki so bili predvideni na mestih, kjer je prej bil prsobran (Stopar, 2007).

Iznajdba ognjenega orožja je način obrambe v marsičem spremenila, vendar na zunanji videz naših gradov ni bistveno vplivala. Od druge polovice 15. stoletja najprej so obstoječa obzidja nadzidali za dva ali tri metre, v spodnjih etažah uredili niše s topovskimi strelnicami, v nadstropjih pa obrambne galerije (Stopar, 2007).

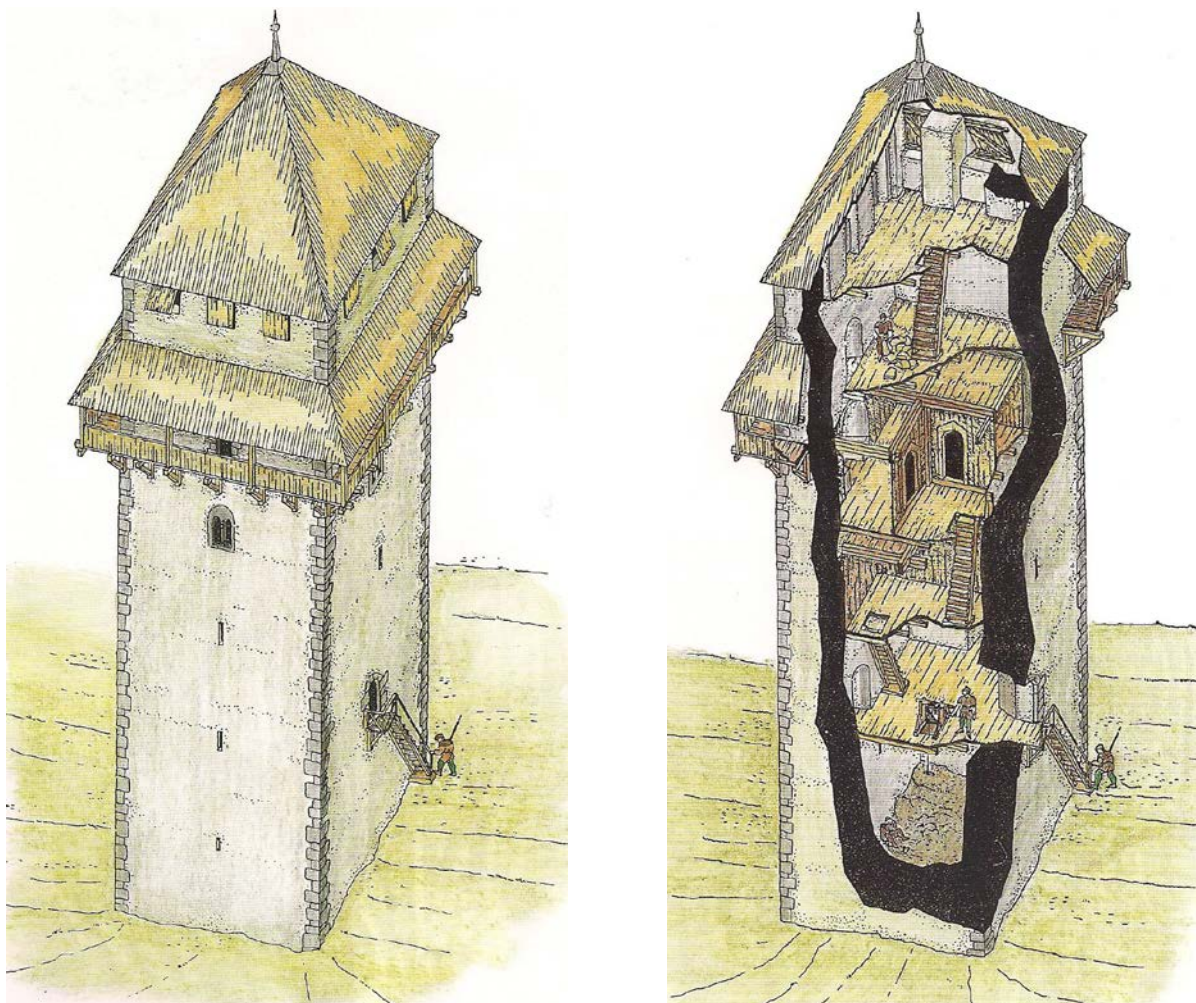
2.3.2.2 Bergfrid

Močno utrjeni stolp, imenovani bergfrid, je najvišja stavba grajskega areala, saj predstavlja ne le najzanesljivejše jedro grajske obrambe, ampak tudi opazovalnico in po potrebi varno zatočišče, kamor se je lahko zatekla gospoda z manjšo posadko v skrajni sili (Stopar, 2007).

Bergfridi večinoma niso presegli višine dveh ali treh nadstropij, toda neredki so se »ponašali« kar s petimi, šestimi ali celo več etažami. Njihovi obodni zidovi, ki običajno niso bile na vseh straneh enakomerno močni, so se v povprečju ponašali z dva do tri metre debelimi

stranicami. Te so se v nadstropjih s stopničastimi zamiki tanjšale, tako da so se na vrhu tik pod kapom ostali le še nadzidki s prsobrani, ob njih pa prostor za pohodno površino notranjih obrambnih hodnikov (Stopar, 2007).

Vhodi v bergfride so bili urejeni šele v prvem ali drugem nadstropju, do njih pa so vodile lesene stopnice, ki jih je bilo ob morebitni nevarnosti mogoče odvreči. Zunanost bergfridov je bila večidel pusta, saj je bila to stroga funkcionalna utrdjena arhitektura. Njihove spodnje etaže imajo vselej le ozke svetlobne line. Šele pod nepogrešljivimi cinami v vrhnjem nadstropju, kjer je živel kak pomembnejši grajski služabnik ali čuvaj s svojo družino, pa opazimo tudi večja okna. Zunanje stene bergfridov so tako poleg lin poživiljali še pomoli z ajžlj² in leseni zunanji obrambni hodniki oz. hurde (Stopar, 2007), kot je shematično prikazano na sliki 2.5.



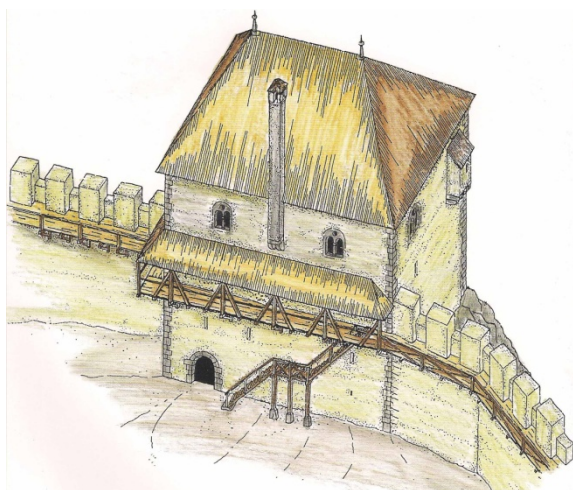
Slika 2.5: Prikaz zunanjsčine (levo) in notranjsčine (desno) bergfrida (Stopar, 2007, Črepinšek (ilustr.))

² Ajželj je skrivna čumnata; stranišče.

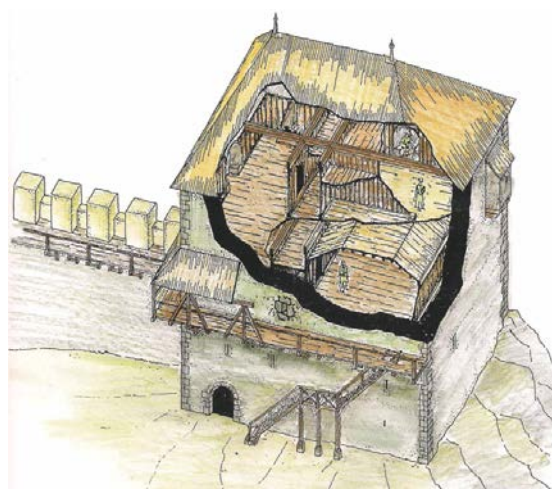
Pritličja bergfridov so najpogosteje uporabljali za ječo. Tla so bila iz zbite stene. Minimalno svetlobo so zagotavljale pod vrhom sten nameščene line. Strop je bil večinoma lesen, sredi njega ali ob njegovem robu je bila odprtina, imenovana jamrnica (Stopar, 2007).

2.3.2.3 Palacij

Palacij je bil prebivališče grajske gospode, ki je bil pozidan na najbolj zavarovani strani in vpet v grajsko obzidje (*glej sliko 2.6 in sliko 2.7*). Palaciji so segali v višino vsaj enega ali dveh nadstropij. Klet ni bila vkopana v zemljo, ampak urejena v višini pohodne površine dvorišča. Dostopna je bila skozi okoli 2 m širok vhod, ki je bil praviloma obokan. Debeline sten palacija so pri eno- oz. dvonadstropnih stavbah znašale okoli 105 cm. Pri vsakem dodatnem nadstropju so bile stene nižjega nadstropja odebeljene še za okoli 35 do 52 cm. Povprečna višina nadstropja je znašala 4,20 m (Stopar, 2007). Ti statistični podatki nam lahko pomagajo pri preučevanju ostankov gradov, saj lahko na podlagi njih sklepamo o njegovi nekdanji višini.



Slika 2.6: Pogled na dvonadstropni romanski palacij (Stopar, 2007, Črepinšek (ilustr.))



Slika 2.7: Pogled v notranjost romanskega palacija (Stopar, 2007, Črepinšek (ilustr.))

V prvem nadstropju palacija je živel osebje višjega ranga. V stenskih nišah so bila nameščena velika okna oz. svetlobne line. Morebitna druga nadstropja romanskega palacija so po vsej verjetnosti uporabljali kot pomožne prostore. Etaže so bile na ministerialnih gradovih vselej predeljene, predelne stene pa so bile le največkrat iz brun. Opaži so bili za nekaj centimetrov odmaknjeni od sten. Kar velja za drugo etažo palacijev, velja še bolj za morebitno tretje ali celo četrto etažo, ki jo vidimo samo na gradovih višjega ranga (Stopar, 2007).

2.4 Zgodovinski okvir gradov v Sloveniji

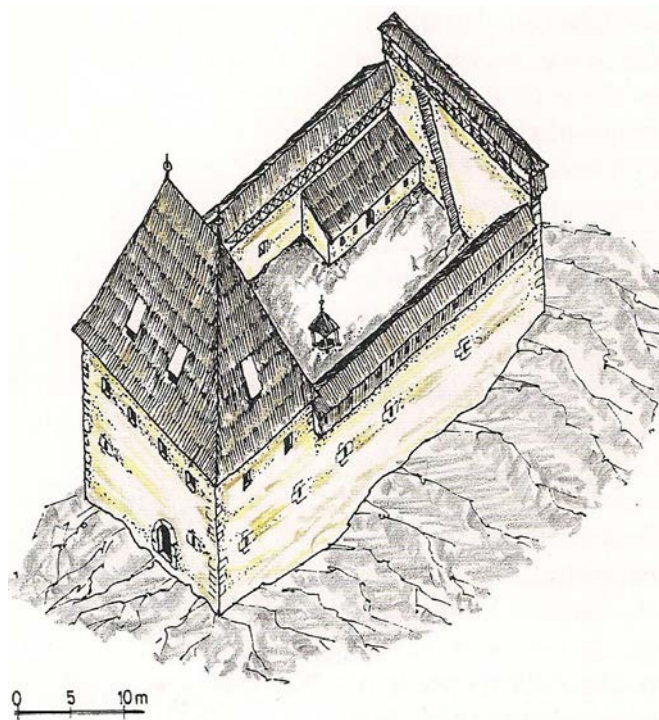
2.4.1 Romanski gradovi

Prvi zidani gradovi na Slovenskem so nastali v poznem 11. stoletju. Glede na zasnovo grajskih objektov in zidov delimo gradove na regularne in iregularne. Skupna lastnost **zasnove iregularnih** zgodnjeloromanskih **gradov** je popolna podrejenost danostim izbranega zemljišča. Povsod naletimo na odmaknjene lokacije, pogosto na skoraj nedostopnih krajih. Starodavni graditelji so v želji, da bi grajskim prebivalcem zagotovili kar največjo varnost pred napadi, radi pretiravali in so na najbolj občutljivih mestih postavljali zidove na sam rob pečine (Stopar, 2006).

V obdobju zrele romanike pozidajo večino naših gradov z **regularnimi obodnimi zasnovami**, za katere se je uveljavil izraz kastelni gradovi. Tovrstni gradovi imajo vrsto skupnih značilnosti. Pozidani so bili na pravokotni talni ploskvi, kjer je površina obzidanega areala znašala okoli 800 m². Temeljni sestavini takšnih gradov sta bila eno- ali dvoetažni palacij in obzidano dvorišče s cisterno oz. vodnim zbiralnikom. V nadaljevanju bo povzet značilen prikaz kastela na primeru gradu Podsreda, ki je v roku stotih let doživel štiri temeljite preobrazbe (Stopar, 2006).

2.4.1.1 Prva romanska stavbna faza

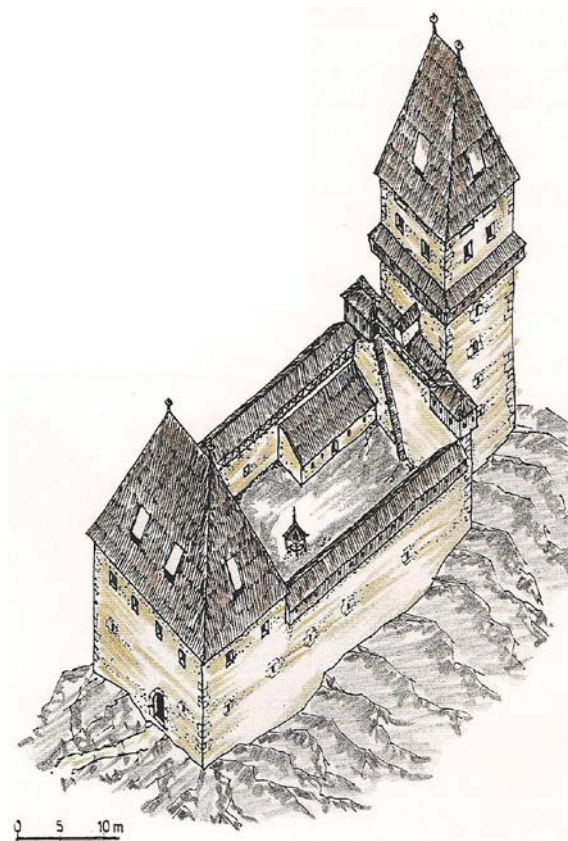
Grad Podsreda so okoli leta 1150 pozidali na umetno izravnanim skalnem pomolu, obsegal pa je sprva le obzidano dvorišče s ščitnim plaščem in eno- ali dvonadstropnim palacijem, kot je prikazano na sliki 2.8. Prvo nadstropje je bilo zidano, za drugo pa se domneva, da je bilo leseno. Vhod, visok 3,60 m, je bil urejen skozi vežo palacija (Stopar, 2006).



Slika 2.8: Prva romanska stavbna faza (Stopar, 2006, Gričar (ilustr.))

2.4.1.2 Druga romanska stavbna faza

K prvotni kastelni zasnovi so v 2. pol. 12. stoletja prizidali obrambni stolp, bergfrid. Dostop vanj je bil urejen v višini današnjega drugega nadstropja z notranje strani, torej z dvorišča. Segal je domnevno v višino petih ali celo šestih etaž, njegov obrambni značaj pa je poudarjal pokriti obrambni hodnik, ki ga je obtekal tik pod strešnim kapom (Stopar, 2006). Poskus rekonstrukcije druge romanske stavbne faze je prikazan na sliki 2.9.



Slika 2.9: Druga romanska stavbna faza (Stopar, 2006, Gričar (ilustr.))

2.4.1.3 Tretja romanska stavbna faza

Okoli leta 1200 so nasproti starega palacija pozidali nov, zdaj že drugi romanski palacij in ga naslonili na dotedanji ščitni plašč. Nadstropja so bila tudi v tem palaciju povezana z zunanjimi lesenimi stopnicami, prek podestov pa tudi s hurdami oz. obrambnim hodnikom na obzidju (Stopar, 2006). Poskus rekonstrukcije tretje romanske stavbne faze je prikazan na sliki 2.10.



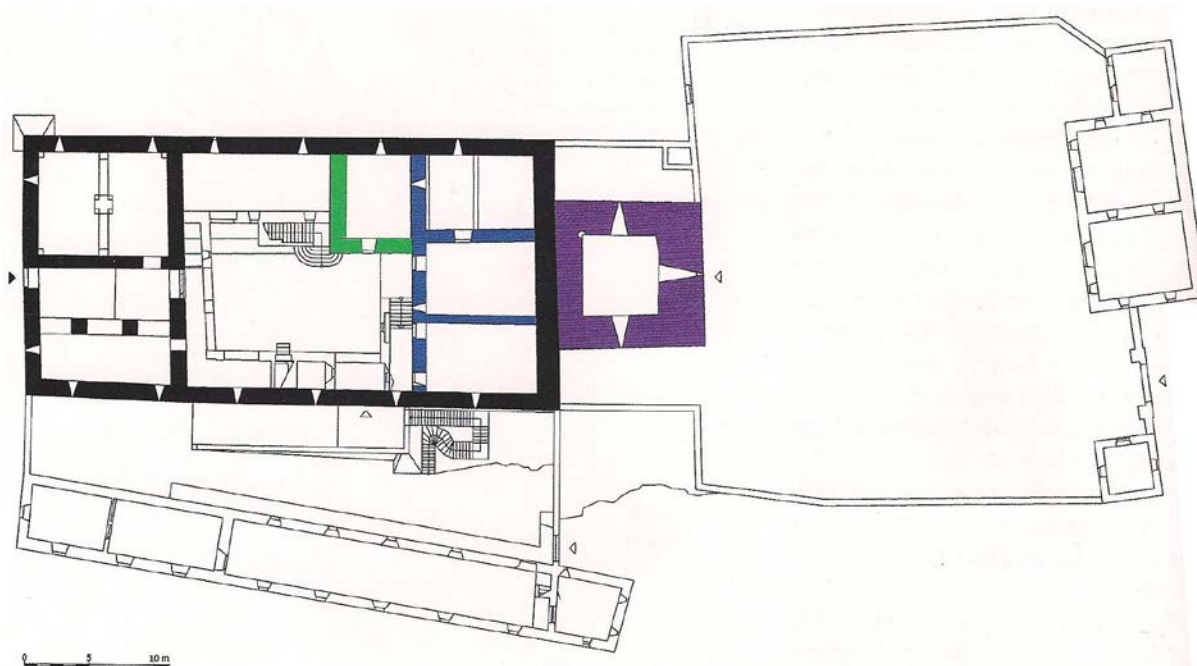
Slika 2.10: Tretja romanska stavbna faza (Stopar, 2006, Gričar (ilustr.))

2.4.1.4 Četrta romanska stavbna faza

V 1. polovici 13. stoletja je bil razvoj gradu v romanskem obdobju sklenjen. Zraven novejšega palacija so takrat pozidali manjši stolp z dvoetažno kapelo v nadstropju, nad katero je bil še en zidan, pomožen prostor. V obrambnem zidu so prebili vrzel, v katero so vzdali polkrožno apsidno, dostop v sakralni prostor pa sta zagotavljala portala. Vsaka njegova etaža je bila posebej dostopna. Ob kapeli se je gospodarsko poslopje prislanjalo k obzidju. Dostopi v vse etaže stolpa s kapelo so bili urejeni na dvoriščni strani s prislonjenimi lesenimi stopnicami (Stopar, 2006). Poskus rekonstrukcije četrte romanske stavbne faze je prikazan na sliki 2.11. Pregledni prikaz vseh štirih romanskih faz gradu Podsreda je prikazan na tlorisu gradu na sliki 2.12.

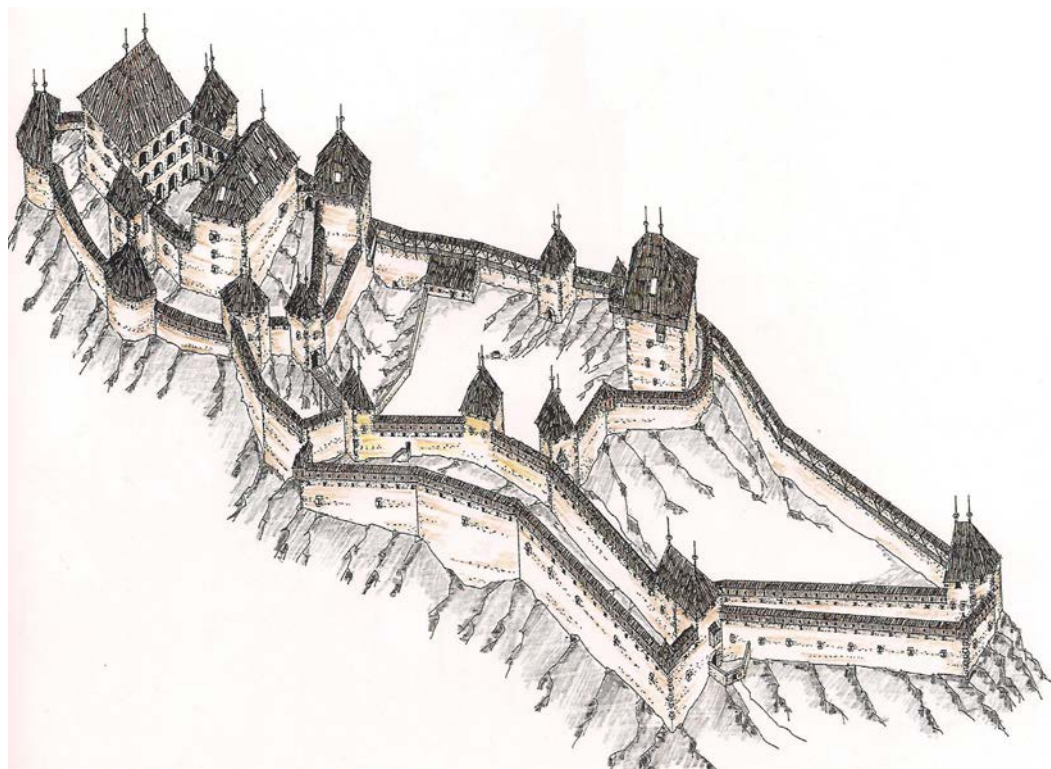


Slika 2.11 Četrta romanska stavbna faza (Stopar, 2006, Gričar (ilustr.))

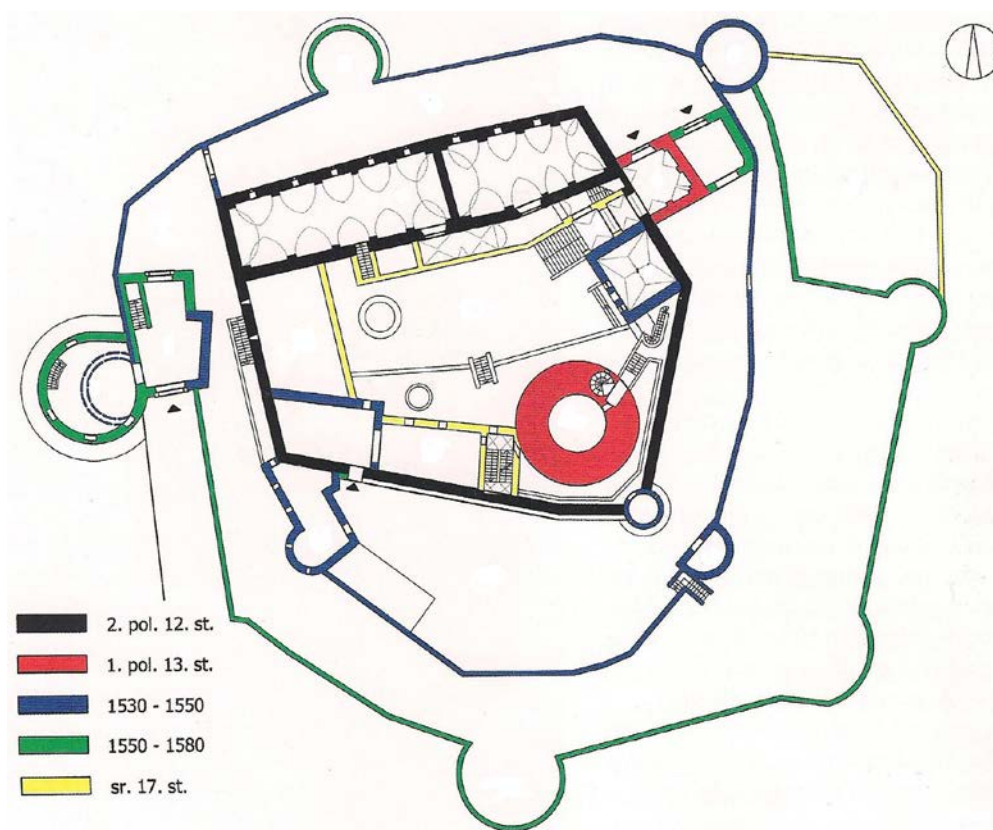


Slika 2.12: Tloris gradu Podsreda z vrisanimi stavbnimi fazami (Stopar, 2006, Gričar (ilustr.))

Slika 2.13: Tloris gradu Celje z vrisanimi stavbnimi fazami (Stopar, 2006, Gričar (ilustr.))



Slika 2.14: Aksonometrična rekonstrukcija gradu Celje (Stopar, 2006, Gričar (ilustr.))



Slika 2.15: Tloris gradu Rihemberk – primer koncentrično razraščene gradu z vrisanimi stavbnimi fazami (Stopar, 2006, Gričar (ilustr.))

2.5 Zaton in ogroženost gradov

Srednjeveške gradove je najprej ogrozila **sprememba načina življenja**. Majhni, vlažni in mrzli prostori, dostopni po tesnih stopniščih in osvetljeni le skozi ozke line, v poznem 16. stoletju niso bili več zanimivi (Arh Kos, 2006). Fevdalci so neudobne gradove na višinah opuščali in začeli zidati številne grajske stavbe v nižinah (Jakič, 1995). Veliko gradov so predelali, nekatere so pustili propadati zaradi davčnih bremen že v času Valvasorja, druge so uporabili kot priročno ležišče gradbenega materiala (Arh Kos, 2006).

Zidove grajskih razvalin so stoletja uničevali potresi (katastrofalni potres leta 1511 je uničil veliko gradov), viharji, gorske ujme, zimske zmrzali (Jakič, 1995), prizadeli so jih številni požari, fevdalne vojne, Turki, kmečki pusti, danes pa predvsem malomaren človeški odnos do te kulturne dediščine (Jakič, 2001). Celjski vojskovodja Jan Vitovec je med letoma 1439 in 1443 zavzel in porušil 21 gradov, v vseh kmečkih uporih je bilo zavzetih in poškodovanih nad 100 gradov, med drugo svetovno vojno je večjo škodo utrpelo okoli 30 grajskih stavb (Jakič, 2001), pri čemer so gradovi goreli med vojno in po njej, poleg tega pa so na njih preizkušali mine in drugo orožje (Arh Kos, 2006).

Zapuščeni gradovi in grajske razvaline so danes brez vzdrževanja prepuščeni naravnim procesom propadanju. Razpadanje naravnega kamna kot manifestacije preperevanja je naraven odziv sestavin kamnine na razmere v okolici, ki zajemajo atmosferske spremembe, antropogene dejavnike in vpliv živega sveta (Kramar in Mirtič, 2010). Pregled skupin in glavnih oblik propadanja naravnega kamna je podan v poglavju 5.2.6.3 *Dokumentiranje poškodb*.

3 PRAVNA UREDITEV PODROČJA

3.1 Pravna ureditev področja ohranjanja gradov

Gradovi so del nepremične kulturne dediščine in kot enota kulturne dediščine predstavljajo nenadomestljivo vrednoto. Po definiciji **kulturna dediščina** predstavlja vire in dokaze človeške zgodovine in kulture, ne glede na njihov izvor, razvoj in ohranjenost (snovna, materialna dediščina) ter s tem povezane kulturne dobrine (nesnovna, nematerialna dediščina). Zaradi njihove kulturne, znanstvene in splošno človeške vrednosti sta varstvo in ohranjanje kulturne dediščine v javnem interesu (ZVKDS, 2012).

Za vsa dela v zvezi s kulturno dediščino se je do konca 20. stoletja uporabljal pojem varstva kulturne dediščine ali konservatorstvo. Ob uradnem prevajanju evropskih in drugih predpisov s področja dediščine so bili v zadnjem času natančneje opredeljeni posamezni pojmi glede na obseg in vsebino nalog (ZVKDS, 2012).

Ohranjanje (angl. conservation) je najširši pojem. Združuje vse vrste politik, strategij, zakonskih, upravnih in tehničnih ukrepov ter dejavnosti, povezanih z dediščino (ZVKDS, 2012).

Varstvo (angl. protection) je podrejen pojem in obsega predvsem zakonsko, upravno in strokovno dejavnost (ZVKDS, 2012).

Zaščita (angl. preservation) pomeni konkretne ukrepe in delovanje, katerih namen je preprečevanje neželenih sprememb in slabšanja stanja dediščine (ZVKDS, 2012).

Ohranjanje dediščine v širšem pomenu so ukrepi in dejanja, ki vodijo k zavarovanju, ohranjanju in skupnemu uživanju dediščine. Pri nas država in občine zagotavljajo pravno varstvo, omogočajo tudi izvajanje posameznih delov varstvene dejavnosti ter ustrezno vključevanje varstva v razvojne, prostorske, planske in izvedbene načrte ter spodbujajo dostop javnosti do dediščine (ZVKDS, 2012). V vsebinskem pogledu se ohranjanje deli na:

- razvijanje politike in strategije varstva,
- zagotavljanje kakovosti varstva in nadzor nad njim,
- analiziranje učinkov varstva in oblikovanje varstvenih standardov,
- določanje zahtev za izvedbo varstva,
- pripravljanje in vodenje izvedbenih projektov,
- izvajanje posegov na dediščini,

- stalno upravljanje dediščinskih celot.

3.1.1 Mednarodne organizacije

3.1.1.1 ICOMOS

ICOMOS (*International Council on Monuments and Sites*) je svetovna nevladna organizacija za spomenike in območja, ustanovljena leta 1965. Naloge so usmerjene v krepitev popularizacije, raziskav in varstva kulturne dediščine, v pritegnitev širše javnosti in oblasti k varstvenim nalogam ter v širitev idej, izkušenj in varstvenih izsledkov. Sodeluje z UNESCO in drugimi mednarodnimi organizacijami (ZVKDS, 2012).

ICOMOS ima pri nas dolgo tradicijo. Slovenci so bili leta 1964 prisotni pri nastajanju Beneške listine, ki je postavila temelje za nastanek ICOMOS-a (*International Council on Monuments and Sites*, 2003). Pri nas je bilo leta 1993 ustanovljeno Združenje za ohranjanje spomenikov in spomeniških območij ICOMOS/SI. Glavni cilji združenja so sodelovanje in povezovanje strokovnjakov na področju konservatorstva, zbiranje in vrednotenje kulturne dediščine, širjenje informacij o konservatorstvu in s tem povezanih tehnik in metodologij ter sodelovanje z ICOMOS in njegovimi člani (ICOMOS/SI, 2012).

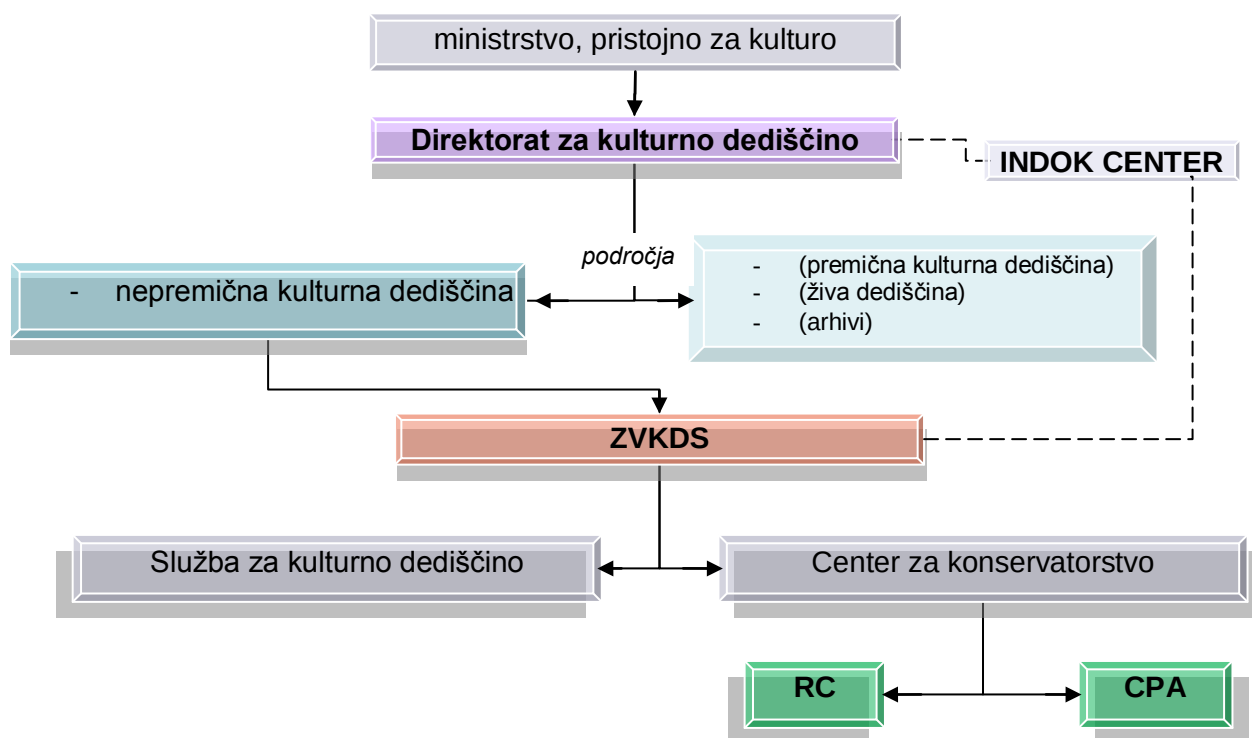
3.1.1.2 UNESCO

UNESCO (angl. *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*) - *Organizacija združenih narodov za izobraževanje, znanost in kulturo* je specializirana organizacija oziroma agencija v okviru Organizacije združenih narodov (OZN). Unesco sponzorira različne svetovne projekte, med katerimi so varovanje kulturne in naravne dediščine, tehnično izobraževanje, izobraževanje učiteljev, promocija neodvisnih medijev in svobode tiska, pismenost, vzdrževanje regionalne in kulturne zgodovine ter promocija kulturne raznolikosti, mednarodni znanstveni programi, varovanje človekovih pravic, pomoč pri razvoju nerazvitih delov sveta itd. (UNESCO, 2012).

Svetovna dediščina zajema območja, ki so pod zaščito organizacije UNESCO bodisi kot kulturna ali pa kot naravna dediščina. Unescov seznam svetovne dediščine konec leta 2012 vključuje 983 krajev v 189 državah, pri čemer jih je 725 kulturnih spomenikov, 183 naravnih, 28 pa mešanih (World Heritage Centre, 2012).

3.1.2 Slovenske institucije

Shematičen prikaz slovenskega sistema institucij na področju nepremične kulturne dediščine, je prikazan na sliki 3.1. Opis nalog posamezne institucije je predstavljen v nadaljevanju (poglavja 3.1.2.1 *Direktorat za kulturno dediščino* in 3.1.2.2 *Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije*). V omenjenem prikazu so izvzete nevladne ustanove in društva, lokalne skupnosti, civilne družbe in druge neprofitne organizacije.



Slika 3.1: Slovenski sistem organizacij za varstvo in zaščito gradov (povzeto po MIZKŠ (2012))

3.1.2.1 Direktorat za kulturno dediščino

Direktorat za kulturno dediščino je osrednja organizacijska oblika organov državne uprave za kulturno dediščino, ki je odgovoren za pripravo in izvrševanje politike varovanja nepremične, premične in žive (nesnovne) dediščine. Do leta 2012 je bil del Ministrstva za kulturo, februarja 2012 pa je v skladu z Zakonom o Vladi RS (ZVRS-F) delovna področja Ministrstva za kulturo prevzelo Ministrstvo za izobraževanje, znanost, kulturo in šport.

Direktorat za kulturno dediščino opravlja upravne naloge na področju kulturne dediščine, spremlja razvoj celovitega sistema varstva kulturne dediščine in pripravlja sistemske rešitve

za varstvo dediščine, vodi register ter zagotavlja razvoj informacijskega sistema in dokumentiranja kulturne dediščine (Republika Slovenija, Ministrstvo za kulturo, 2011).

INDOK center (Informacijsko dokumentacijski center za kulturno dediščino) je organizacijska enota v okviru Direktorata za kulturno dediščino. Vodi register nepremične kulturne dediščine, opravlja naloge osrednjega dokumentacijskega centra za varstvo nepremične kulturne dediščine za Ministrstvo za izobraževanje, znanost, kulturo in šport ter za Zavod za varstvo kulturne dediščine, opravlja naloge osrednje specialne knjižnice za varstvo kulturne dediščine (MIZKŠ, 2012).

3.1.2.2 Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije

Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije (ZVKDS) je osrednja strokovna služba in osrednji javni zavod, ki s svojimi organizacijskimi enotami pokriva celotno območje naše države. V okviru javne službe izvaja številne naloge, ki omogočajo celovito varstvo nepremične kulturne dediščine: proučuje, raziskuje, inventarizira in dokumentira dediščino, jo evidentira in posreduje podatke v register, pripravlja strokovne podlage za razglasitvene akte in soglasja v upravnih postopkih, pripravlja elaborate za varovanje, obnavljanje in revitalizacijo dediščine, oblikuje metode in standarde za naloge varstva, vključuje se v sistem varstva v primeru oboroženega spopada in varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami, izvaja raziskovalne projekte z metodami, ki pomenijo poseg v dediščino, usmerja izobraževanje in usposabljanje kadrov na področju varstva dediščine, spremlja vzdrževanje, posege, rabo in promet z dediščino, spremlja upravljanje dediščine v lasti države oz. lokalnih skupnosti, pripravlja smernice s področja dediščine v postopkih sprejemanja prostorskih in planskih aktov, usmerja in spremlja dela izvajalcev dejavnosti varstva dediščine, načrtuje in vodi posamezna najzahtevnejša konservatorska dela, pripravlja konservatorske in restavratorske programe, sodeluje z lastniki spomenikov in dediščine ter jim posreduje nasvete, pojasnila in navodila ter popularizira dediščino ter njeno varstvo (ZVKDS, 2012).

Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije je sestavljen iz uprave s skupnimi službami, Službe za kulturno dediščino (s sedmimi območnimi enotami, ki so razporejene po vsem državnem ozemlju) in Centrom za konservatorstvo (z Restavratorskim centrom ter Centrom za preventivno arheologijo).

ZVKDS s svojo **Službo za kulturno dediščino** skrbi, da se podatki posredujejo v **register kulturne dediščine** skladno s predpisi. Namen registra je predvsem v informacijski podpori izvajanju varstva dediščine, poleg tega pa tudi v predstavljanju, raziskovanju, vzgoji,

izobraževanju in razvijanju javnosti o dediščini. Je uradna, računalniško podprta zbirka podatkov o kulturni dediščini na območju Republike Slovenije. Omogoča vpogled v identifikacijo, opis, varstveni režim, lokacijo in povezavo enote z drugimi dediščinami. Na podlagi vpisa vanj je dediščina pravno varovana v vseh postopkih. Vpis temelji na geografskem informacijskem sistemu in je ob uporabi enotne evidenčne številke povezljiv z drugimi sistemi. Register je dostopen preko spletne strani <http://rkd.situla.org> (ZVKDS, 2012).

Restavratorski center (RC) predstavlja tisti del Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije, ki opravlja zahtevna restavratorsko-konservatorska dela na spomenikih, ob tem pa vseskozi preverja in nadgrajuje teoretska znanja ter na ta način vedno znova postavlja merila kakovosti dela restavratorjev. Skrbi predvsem za ohranjanje arhitekturne in likovne dediščine, zagotavlja temeljna izhodišča za operativno delo in preveritev veljavnih in novih metod posegov ter ključno sodeluje pri vseh strokovnih in razvojnih nalogah ZVKDS (ZVKDS, Restavratorski center, 2012).

Specialnost Restavratorskega centra je organizacija izvedbe kompleksnih konservatorsko-restavratorskih nalog, vodenih v skladu z najnovejšimi dognanji in najstrožjimi kriteriji, vse znotraj teh projektov v kombinaciji razvoja stroke, izobraževanja in popularizacije (ZVKDS, RC, 2012).

Center za preventivno arheologijo (CPA) je bil kot notranja organizacijska enota Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije ustanovljen leta 2009. V okviru CPA so združene vse izvedbene naloge varovanja nepremične arheološke dediščine. Center vodi in izvaja predhodne in druge arheološke raziskave ter poizkopavalne postopke obdelave arhivov arheoloških najdišč vključno z objavo (ZVKDS, CPA, 2012).

3.2 Varstvo gradov

3.2.1 Zakonodaja

Pri nas je **varstvo kulturne dediščine** ustavna kategorija. Po 5. členu Ustave Republike Slovenije (1991) se med drugimi obveznostmi države prišteva tudi skrb za ohranjanje kulturne dediščine, pri 73. členu pa je navedeno, da je skrb za ohranjanje dediščine deljena med državo in občinami. Hkrati se določa, da je vsakdo dolžan v skladu z zakonom varovati kulturne spomenike. Torej že ustava daje izhodišče za varstvo dediščine in nalaga, da obveznost varovanja mora biti določena v zakonih, širša skrb za dediščino pa je naložena

državi in lokalnim skupnostim, pod posebnim pravnim varstvom pa so kulturni spomeniki med katere spadajo tudi gradovi (ZVKDS, 2012).

Zakon o varstvu kulturne dediščine (ZVKD-1), ki ga je parlament sprejel leta 2008, definira nepremično, premično in živo kulturno dediščino (nepremična pokriva stavbno in arheološko dediščino ter kulturno krajino); določa vzpostavitev varstva; posege; uporabo, upravljanje in druga ravnanja v zvezi z dediščino; predkupno pravico in razlastitev; financiranje posebnih ukrepov varstva; register in dokumentiranje; varstvo dediščine v razvojnih načrtih in planih; naloge javnih služb varstva; izvajanje dejavnosti varstva na podlagi nazivov in pogodb ter specializirane dejavnosti varstva; nevladne organizacije na področju varstva; nadzor in sankcije v primeru kršitev.

3.2.2 Pomen varstva kulturne dediščine

Bistvena razlika med tradicionalnim in sodobnim varstvom dediščine je v razumevanju, komu varstvo služi. **Tradicionalno varstvo** temelji predvsem na prepričanju, da je njegov cilj fizična zaščita posamičnih kulturnih spomenikov pred propadanjem in pred spremembami, ki jih prinašata čas in sodobni način življenja, ter valorizacija in predstavitev vrednot, zaradi katerih jih je potrebno varovati kot kulturne spomenike. **Sodoben pristop varstva** dediščine presega zaščito in valorizacijo dediščine, saj je razumljena kot ekonomska, prostorska in družbena kategorija ter kulturna nosilka narodnostnih, estetskih in verskih vrednot. Dediščina postaja družbenopovezovalna prvina, spodbujevalec trajnostnega razvoja in kulturnega turizma ter je tudi pomembna prostorskopovezovalna kategorija. Pri tem pojmovanju povezuje sledeče stroke: arheologijo, arhitekturo, etnologijo, krajinsko arhitekturo, zgodovino, tehniško zgodovino, umetnostno zgodovino in urbanistično zgodovino (ZVKDS, 2012).

3.3 Splošno o varstvu gradov

Arhitekturna in arheološka kulturna dediščina se dandanes po svetu hitreje izgublja kot se dokumentira. Glavna dejavnika za to katastrofo sta človeške narave, in to sta vojna in »nekontroliran« razvoj. Če temu procesu dodamo še naravne nesreče, zanemarjanje in neprimerno skrb lastnikov in širše družbe za zaščitenimi objekti, dobimo razlog zakaj kulturna dediščina dokončno propadaja (Letellier, 2007). Gradovi so že vsaj dvesto let med najbolj ogroženimi zgradbami, bolj kot v dobi fevdalnih sporov in turških vdorov.

Dediščina je **ranljiva** zaradi splošnih vzrokov, ki potencialno ogrožajo njen obstoj ali kulturni pomen. Ti so naravne in druge nesreče, okoljski vplivi, neusklajena zakonodaja, neusklajeno planiranje, družbeno dogajanje itd (Zupančič in sod., 2007).

Dediščina je **ogrožena**, kadar ji grozi izguba kulturnega pomena ali uničenje. Dejavniki, kot so neustrezno ravnanje, slabo vzdrževanje, pretirana raba itd. že povzročajo poškodbe na gradivu dediščine (Zupančič in sod., 2007).

Varstvo dediščine v ožjem pomenu je dejavnost službe varstva nepremične in premične dediščine, ki jo opravljajo zavodi, ki so jih ustanovile občine ali država. Sestavni del varstva so tudi posamezniki in organizacije, ki so jim bila podeljena dovoljenja ali koncesije za izvajanje varstvenih nalog, ter nevladne ustanove in društva, ki delujejo na varstvenem področju (ZVKDS, 2012).

Naloge varstva dediščine kot strokovne službe so predvsem:

- vodenje konservatorskih projektov,
- zagotavljanje kakovosti konservatorskih dejanj in nadzor,
- analiza rezultatov in oblikovanje standardov,
- stalno upravljanje spomeniških objektov in območij.

Pristopi in modeli varstva ohranjenih ostalin so odvisni od stanja ohranjenosti, vsebine, geografske lege in pomena posameznega objekta. Cilj vsakega obnovitvenega posega mora biti predvsem ohranitev vseh tistih kvalitete, ki so se ohranile do pričetka obnovitvenih del (Arh Kos, 2006).

Dediščino utrdbene arhitekture lahko okvirno razdelimo v naslednje problemske skupine:

- ohranjene in obnovljene stavbe z ustrezno vsebino,
- ohranjene stavbe brez ustrezne vsebine,
- deloma obnovljene, a nerevitalizirane stavbe,
- razvaline pred 19. stoletjem opuščениh stavb (npr.: grad Lož)
- razvaline v 20. stoletju opuščениh stavb in
- lokacije povsem podrtih stavb.

Od posamezne skupine je odvisen način pristopa k obnovitvenim delom (Arh Kos, 2006).

Osnovno vprašanje sleherne prenove ohranjenih in razvaljenih stavb je ustrezna vsebina in z njo povezan način morebitne revitalizacije. Pri obnovi razvalin je stopnja ohranjenosti glavni kriterij, ki določa o načinu njihove obnove in morebitne revitalizacije (Arh Kos, 2006).

Najosnovnejša možnost za obravnavo razvalin je njihova konservacija in prezentacija v obliki, v kakršni so se ohranile do danes. To je najpreprostejši, najcenejši in z vidika historične privlačnosti najmanj tvegan poseg. Sporen je lahko le z vidika dolgoročne zaščite, saj je kljub odsotnosti vsebine potrebno sprotno in redno vzdrževanje. Tak poseg pomeni najnujnejša zavarovanja dela, ki upočasni propadanje ohranjenih razvaljenih zidov (Arh Kos, 2006).

3.3.1 Konservatorski načrt

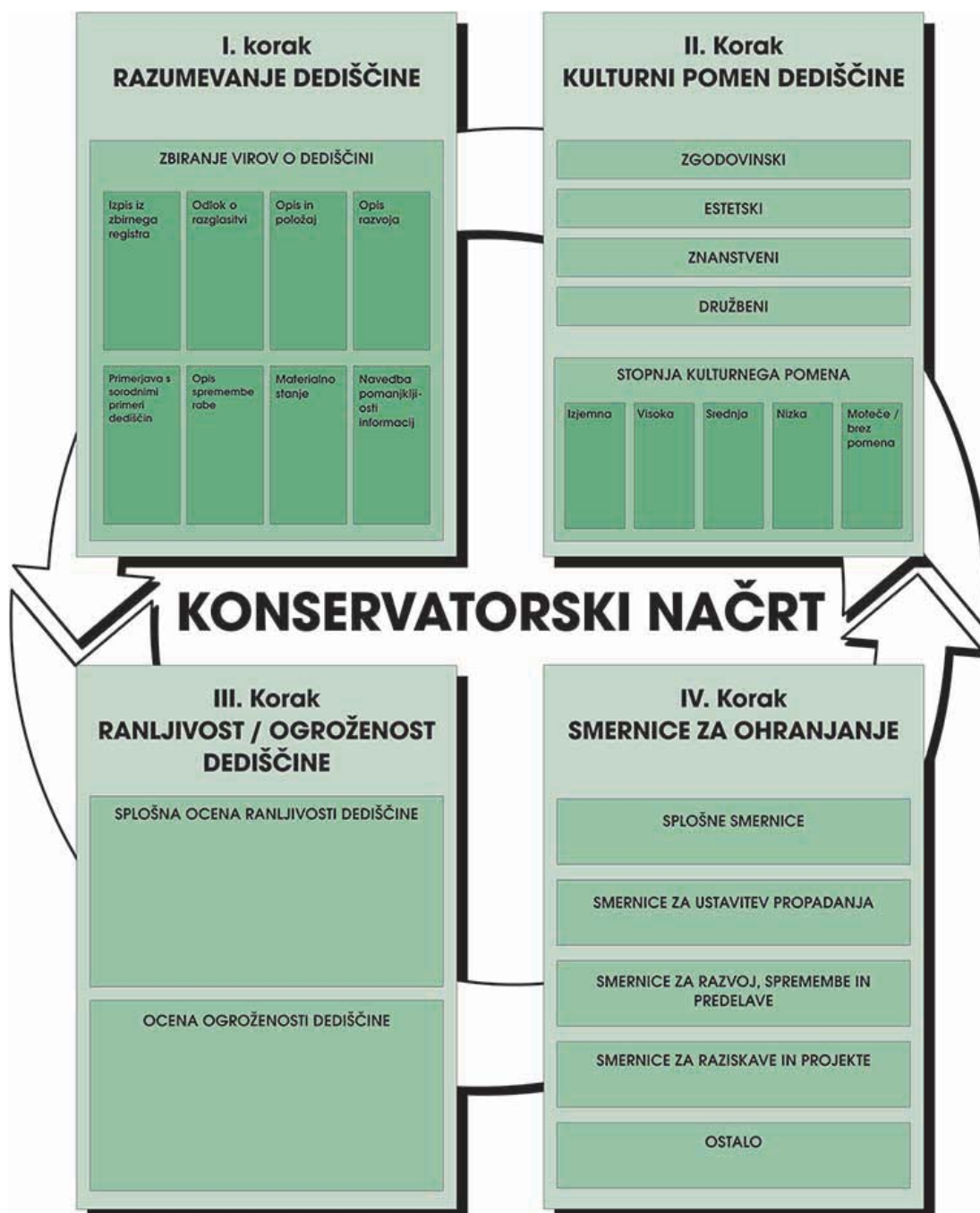
Konservatorski načrt je dokument, ki usmerja ohranjanje dediščine. Razloži zakaj je dediščina pomembna in določa varstvene usmeritve, kako skrbeti zanjo z vzdrževanjem, popravili in upravljanjem pri prihodnjem razvoju, rabah in spremembah (Zupančič in sod., 2007).

Namen izdelave konservatorskega načrta je priprava dolgoročnega ohranjanja dediščine. Obsega celosten pogled na dediščino in vse njene sestavine. V njem so sistematično urejene informacije, ki jih potrebujemo, da predvidimo načine njenega ohranjanja. Deli se na štiri dele (Zupančič in sod., 2007):

- ❖ razumevanje dediščine,
- ❖ oceno pomena dediščine,
- ❖ ranljivost / ogroženost dediščine,
- ❖ smernice za ohranitev.

Shema vsebine konservatorskega načrta je prikazana na sliki 3.2.

Vloga geodezije je vključena predvsem pri razumevanju dediščine v sklopu tehničnega dokumentiranja trenutnega stanja. S sodobno mersko opremo, ki omogoča celovit zajem merskih informacij, pa lahko geodetske meritve upoštevamo tudi pri oceni ranljivosti in ogroženosti dediščine.



Slika 3.2: Shema konservatorskega načrta (Zupancič in sod., 2007)

3.4 Pravna ureditev področja dokumentiranja

Dokumentiranje spremlja vse faze strokovnega dela. Obsega sistematično zbiranje, obdelavo, analizo, iskanje in posredovanje podatkov. V dosjeju enote dediščine praviloma zbiramo vse podatke o stavbi ali območju, kot na primer o njegovem stanju, posegih vanj, načrtih in projektih za njegovo ohranjanje, o finančnih sredstvih, ki so bila vanj vložena (ZVKDS, 2012).

V Zakonu o varstvu kulturne dediščine (ZVKD-1) je v 69. členu zapisano, da dokumentiranje dediščine vsebuje predvsem evidentiranje gradiva, zbiranje podatkov za inventarizacijo enote dediščine, evidentiranje njenega stanja in ogroženosti ter dokumentiranje posegov.

Da lahko strokovnjaki različnih strok komunicirajo med sabo, je pomembno, da se podatki in informacije zanesljivo berejo, sortirajo, indeksirajo, manipulirajo, dostopajo in posredujejo med različnimi združljivimi in nezdružljivimi sistemi tako na nacionalni kot tudi na mednarodni ravni. Konsenz med posameznimi strokami je mogoče doseči s standardi ali ustreznimi pravilniki, normativi, predpisi ipd.

3.4.1 Standardizacija

Standard je dogovor, ki določa lastnosti izdelkov in procesov na svetovni ali regionalni ravni. Značilno za standarde je, da se spreminjajo oz. posodablajo, sledijo novim zahtevam naročnikov ali obče skupnosti. Standardi prinašajo velike prednosti pri racionalizaciji proizvodnje, varovanju okolja, vzdrževanju sredstev, trgovine itd. Uporaba standardov na splošno ni obvezna, razen če niso predpisani s strani državnih ali mednarodnih organov za določeno področje (Jovan, 2011).

Ločimo tri stopnje standardizacije:

- **tovarniški standardi** kot dogovor oz. predpis znotraj podjetja,
- **državni standardi** kot dogovor oz. predpis za območje države –SIST (Slovenija), DIN (Nemčija), GOST (Rusija), ANSI (Amerika) in
- **mednarodni standardi**, ki jih izdajajo mednarodne organizacije. Veljajo na ravni držav, kontinenta ali celega sveta.

3.4.1.1 Mednarodne in evropske organizacije za standardizacijo

- **ISO** (*International Organization for Standardization*) pripravlja in izdaja mednarodne standarde na splošno tehničnem področju
- **CEN** (*Comité Européen de Normalisation*) pripravlja in izdaja evropske standarde na splošno tehničnem področju
- **ASTM** (*American Society for Testing and Materials*) razvija mednarodne standarde za materiale, izdelke, servis, konstrukcije, transport in proizvodnjo
- ...

3.4.1.2 Slovenski standard

Slovenski nacionalni organ za standarde se imenuje Slovenski inštitut za standardizacijo (**SIST**), ki je odgovoren za vzpostavitev, vodenje in vzdrževanje nacionalnega sistema standardizacije, ki je mednarodno primerljiv. Zagotavlja vsem »zainteresiranim« slovenske nacionalne in druge standarde, predstavlja Slovenijo v mednarodnih in evropskih organizacijah za standardizacijo ter omogoča ustvarjalno sodelovanje vseh »zainteresiranih« v Sloveniji pri zastopanju nacionalnih interesov v procesu evropske in mednarodne standardizacije. Slovenski standardi so praviloma prevzeti mednarodni ali evropski standardi (Jovan, 2011).

V 23. členu Zakona o standardizaciji (ZSta-1) je zapisano, da je uporaba slovenskih nacionalnih standardov SIST prostovoljna, razen če je obvezna uporaba SIST določena s predpisom. Zakon tudi zahteva, da se mora predpis, ki določa obvezno uporabo standarda, sklicevati na slovenski nacionalni standard SIST (Zakon o standardizaciji, 1999).

3.4.2 CIPA

CIPA (*Comité international de photogrammétrie architecturale* oz. *International Committee for Architectural Photogrammetry*), je eden od mednarodnih odborov ICOMOS-a in je bil ustanovljen skupaj z ISPRS (*International Society of Photogrammetry and Remote Sensing*). Njegov osnovni namen je izboljšanje vseh metod meritev kulturnih spomenikov in območij, poseben poudarek je namenjen fotogrametriji in laserskemu skeniranju.

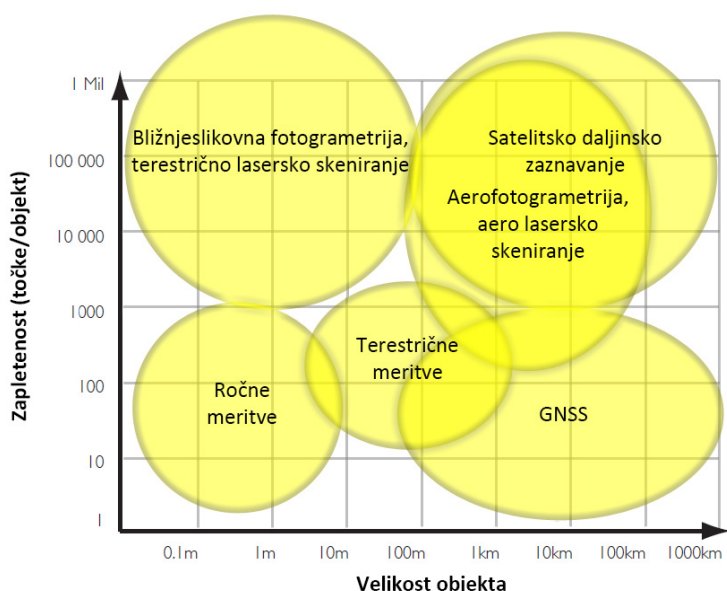
4 MERSKE TEHNIKE V KULTURNI DEDIŠČINI

4.1 Splošno o meritvah v kulturni dediščini

Merske informacije so obvezna podlaga za dokumentiranje in upravljanje s podatki. Merske podatke v kulturni dediščini lahko pridobimo z različnimi merskimi tehnikami kot so:

- ročne meritve
- GNSS meritve
- geodetske meritve z elektronskim tahimetrom
- bližnjelikovna fotogrametrija in/ali terestrično lasersko skeniranje
- aerofotogrametrija in/ali aerolasersko skeniranje
- satelitsko daljinsko zaznavanje

Izbira primerne merske tehnike je odvisna od velikosti obravnavanega objekta in želenega prikaza zapletenosti oz. detajlnosti objekta, ki je odvisna od merila končnega izdelka (*glej sliko 4.1*). Metoda ročnih meritev je razširjena in uveljavljena, sodobne metode dokumentiranja pa so v določenih primerih nepogrešljive, še posebej ko ne gre za dokumentiranje majhnih predmetov. Za celovito dokumentiranje gradov, kjer so stranice dolge do 100 m, se najpogosteje uporablja fotogrametrija, lasersko skeniranje ali integracija obeh merskih tehnik.



Slika 4.1: Merske tehnike glede na merilo in velikost objekta (Barber in Mills, 2011)

Med načine pridobivanja prostorskih podatkov v kulturni dediščini se danes prištevajo še mobilni merski sistemi, kjer zajem temelji na snemalnem (fotogrametričnem) in/ali laserskem sistemu na mobilni terestrični platformi, kar je podrobneje opisano v poglavju 4.5.

Merske tehnike temeljijo na podlagi dolžinskih meritev ali na podlagi meritev iz podob. Pri meritvah iz podob se za zajem najpogosteje uporablja fotoaparat ali kamera, s katerim pridobimo posnetek. Pri dolžinskih meritvah pa se pogosto uporablja laser, ki je osnova za delovanje sodobnih elektronskih tahimetrov in laserskih skenerjev.

4.1.1 Laserski žarek

Ime laser prihaja iz angleškega akronima LASER – **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation, torej »ojačevanje svetlobe s stimulirano emisijo sevanja«. Laser je naprava, v kateri se nakopiči energija, ki se potem v trenutku sprosti v zelo močnem svetlobnem curku. Nastali močan, ozek in enobarven curek koherentne svetlobe predstavlja laserski žarek.

4.1.1.1 (Ne)varnost laserskega žarka

Laserska svetloba je lahko v določenih primerih škodljiva in lahko poškoduje oči. Za zmanjšanje tveganja in zaradi varnosti so vsi laserji razvrščeni glede na valovno dolžino in moč energije laserskega žarka, ki ga proizvajajo. Mednarodna elektrotehnična komisija (IEC) je opredelila varnostni standard laserskih proizvodov imenovan IEC 60825, ki je bil sprejet v Evropi. Veljavni evropski standard za laserske proizvode (EN 60825-1:2007 „Varnost laserskih izdelkov – 1. del: Klasifikacija opreme in zahteve“) določa, da je treba oceniti tveganje laserskih proizvodov ter da morajo biti laserski proizvodi opremljeni z ustreznimi opozorilnimi oznakami in navodili za uporabo, ki vsebujejo vse pomembne varnostne informacije (Barber in Mills, 2011). V Sloveniji se najnovejša različica tega standarda imenuje *Slovenski standard za laserske proizvode* **SIST EN 60825-1:2009** (Slovenski inštitut za standardizacijo, 2012).

Evropski standard za laserske proizvode glede na nevarnost poškodbe oči loči sedem razredov laserjev: laser razreda 1, laser razreda 1M, laser razreda 2, laser razreda 2M, laser razreda 3R, laser razreda 3B, laser razreda 4. Nevarnost se stopnjuje od laserja razreda 1, ki je varen v običajnih razmerah delovanja, do razreda 4, ki povzroča poškodbe oči in kože pri neposredni usmeritvi laserskega žarka. Poleg razreda 4 tudi laser razreda 3B ni primeren za tehnične meritve, medtem ko je laser razreda 3R potencialno nevaren znotraj neposrednega

dosega laserskega žarka, vendar je tveganje manjše kot pri laserju razreda 3B (Barber in Mills, 2011). Laserji razreda 1, 1M, 2 in 2M so primerni za tehnične meritve, kot je lasersko skeniranje, in se uporabljajo tudi za potrebe kulturne dediščine.

4.1.2 Uspešnost merskih podatkov

Merske tehnike v kulturni dediščini morajo zagotavljati podatke, ki so dokazljivi in do katerih lahko pridemo s ponovitvami meritev. Obstajajo trije vidiki za uspešnost merskih podatkov (Bryan in sod., 2009):

- kakovost meritev,
- primeren izbor podrobnosti in
- ustrezna predstavitev.

Kakovost meritev je običajno podana s točnostjo in natančnostjo. **Točnost** (*angl. accuracy*) prostorskih podatkov je element kakovosti, ki podaja stopnjo ujemanja rezultatov meritev z dejansko vrednostjo. Pojem **natančnosti** (*angl. precision*) meritev pomeni stopnjo razpršenosti rezultatov okoli srednje vrednosti in se običajno izraža s standardnim odklonom. Meritve, ki so točne, so hkrati pravilne in natančne (Triglav in sod., 2010).

Natančnost meritev mora biti sorazmerna s predvidenim merilom končnega izdelka in v mejah dovoljenega odstopanja. Preglednica 4.1 je povzeta po priporočilih English Heritage (Bryan in sod., 2009) in prikazuje največjo dovoljeno odstopanje meritev detajla glede na izbrano merilo končnega izdelka.

Preglednica 4.1: Največje dovoljeno odstopanje meritev detajla (Bryan in sod., 2009)

merilo	Max. dovoljeno odstopanje
1:10	± 5 mm
1:20	± 6 mm
1:50	± 15 mm
1:100	± 30 mm
1:200	± 60 mm
1:500	± 150 mm

Primeren izbor podrobnosti oz. detajlnosti meritev predstavlja gostota zajema merskih točk. Gostota zajema je v osnovi odvisna od velikosti in oblike detajla, lahko pa jo pogojuje merilo končnega izdelka. Pri tem je pomembno dejstvo, da na izrisanem (2D) izdelku človeško oko zazna velikost 0,2 mm, kar npr. pri merilu 1:50 predstavlja objekt velikosti

10 mm x 10 mm. Zato je pri kartiranju 2D izdelka potrebna ustrezna generalizacija, kar tudi pomeni, da je pri meritvah ekonomično zajemati točke z ustrezno gostoto. Ustrezna gostota zajema točk s terestričnim laserskim skenerjem je predstavljena v nadaljevanju.

Ustrezna prezentacija oz. predstavitev meritev je odvisna od vrste končnega izdelka. Klasični izdelki meritev so predstavljeni v vektorski in/ali grafični obliki ter običajno natisnjeni na papir. Ti izdelki so podrobneje predstavljeni v poglavju *5.2 Analiza izdelkov tehnične dokumentacije v kulturni dediščini*.

Sodobni načini predstavitve temeljijo na 3D perspektivi. V današnji digitalni dobi je možna računalniška upodobitev 3D modelov, redkeje se te izdelke natisne s 3D tiskalniki, morda v prihodnosti pa bomo uporabljali napredni hologramski 3D prikaz.

4.2 Fotogrametrija

Fotogrametrija je znanost in tehnologija pridobivanja kvantitativnih informacij iz fotografskih posnetkov. Fotogrametrične meritve so definirane z meritvami na fotografskih posnetkih, ki so danes najpogostejše v digitalni obliki. Pri poznanem merilu je moč izmeriti zahtevan detajl na podobi, ki ga je možno predstaviti v vektorski obliki ali v slikovni podobi v ustreznem merilu. Ta merska tehnika je namenjena za pridobivanje osnovnih merskih podatkov. Predpogoj je pravilno orientiran posnetek v prostoru (3D).

Pri fotogrametričnem dokumentiranju arhitekturne kulturne dediščine se uporabljajo metode **bližnjelikovne fotogrametrije**. Ta metoda se v slovenski spomeniški službi uporablja že od leta 1969 (Grobvšek in Ribnikar, 1996).

4.2.1 Fotogrametrična oprema

Sodobna fotogrametrična oprema običajno obsega fotoaparat, material za signaliziranje, geodetski inštrument za izmero oslonilnih točk, digitalno fotogrametrično postajo za iz vrednotenje.

4.2.1.1 Fotoaparat

Po priporočilih angleške organizacije English Heritage (Bryan in sod., 2009) mora digitalni fotoaparat imeti vsaj 13 milijonov pikslov in fiksni objektiv z minimalno distorzijo. Pri merskih fotoaparatih poznamo parametre notranje orientacije, pri nemerskih fotoaparatih pa je objektiv potrebno kalibrirati, pri čemer tem mora biti goriščna razdalja določena vsaj z natančnostjo 0,01 mm. Posnetki morajo biti zajeti vsaj s 16 bitno globino, pri obdelavi pa je dovoljena redukcija na 8 bitne posnetke. Dovoljen je tako barvni kot tudi monokromatski zajem posnetkov.

Za projekte v bližnjelikovni fotogrametriji je priporočljiva uporaba širokokotnih objektivov, ki imajo običajno goriščno razdaljo od 18 mm do 30 mm.

4.2.1.2 Tarče

V fotogrametriji se tarče uporabljajo tako za oslonilne točke kot za kontrolne točke. Največji relativni pogrešek pri določitvi tarče običajno ne sem presega ± 3 mm, edino če je v projektu

dogovorjeno drugače (Bryan in sod., 2009). Pogrešek ± 3 mm zadostuje vsem standardnim merilom v arhitekturi.

Pri fotogrametričnih meritvah je priporočljiva uporaba najmanj štirih tarč, ki morajo biti zajete na vsakem stereoparu. Po Bryanu in sod. (2009) so zahteve za tarčo sledeče:

- tarča ne sme presegati dimenzije 60 mm x 40 mm in ne sme biti tanjša kot 0,5 mm,
- tarča mora biti ustrezne velikosti, da omogoča poljubno število postavitev znotraj zornega kota; tarča mora biti razločno vidna na negativu pri največ osemkratni povečavi ter
- površina tarče mora biti brez močnega sijaja.

4.2.2 Zajemanje posnetkov

Kakovost posnetka oz. fotografije je odvisna od načina slikanja, karakteristik uporabljene opreme in operaterja. Sestavljena je iz najmanj petih komponent: kontrasta, zamegljenosti, šuma, distorzije in pomanjkljivosti uporabljene programske opreme (Ridič, 2012).

Pri fotografiranju arhitekturne dediščine se upoštevajo **pravila 3 x 3 arhitekturne fotogrametrije**, ki jih je leta 1988 definirala Martin Brunner v svoji diplomi z naslovom "3 x 3 Minimum Rules for Photogrammetry". Peter Waldhäusl, Cliff Ogleby in Ulrike Herbig so jih nadgradili in razvili v današnjo obliko. Njihovo uporabo priporoča in podpira Mednarodni odbor za arhitekturno fotogrametrijo (CIPA) (Potočnik, 2005).

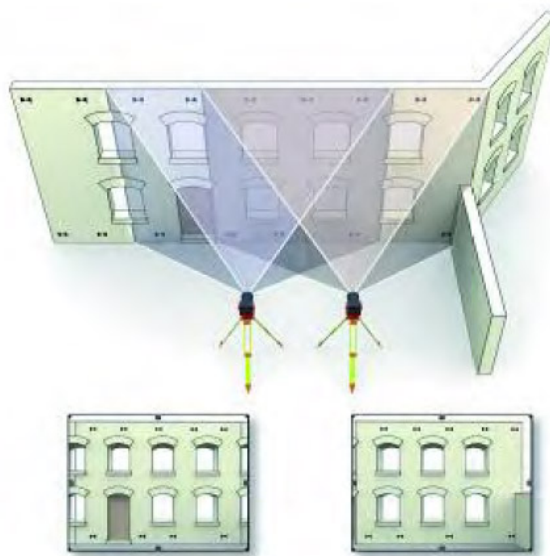
"Pravila 3 x 3" omogočajo uporabo nemetričnih fotoaparatov za izdelavo podatkovne baze fotogrametričnih stereoparov, ki jo je po potrebi mogoče uporabiti za restitucijo oz. izvrednotenje, in so sestavljena iz treh sklopov (Potočnik, 2005):

- tri geometrijska pravila: zagotovitev merskih informacij, fotografiranje objekta z vsebinskim preklpom in izdelava stereofotografij oz. stereoparov;
- tri fotografska pravila: izbira dobrega fotoaparata, ohranjanje notranje geometrije fotoaparata in skrb za enakomerno osvetlitev;
- tri organizacijska pravila: izdelava skice, zapisovanje podatkov v protokol snemanja in izvedba zaključnih del (preverjanje izdelka, arhiviranje materiala ...).

Za izpolnitev geometrijskih pravil je priporočljivo upoštevati zahteve English Heritage (Bryan in sod., 2009), ki narekuje, da morajo zajeti posnetki izpolnjevati naslednje pogoje:

- razmerje med bazo projekcijskega centra fotoaparata posameznega stereopara ter razdaljo fotoaparata do objekta ne sme presegati 1:4,

- prekrivanje med posnetkoma v stereoparu mora biti vsaj 60% (*glej sliko 4.2*),
- slikovna ravnina mora biti glede na ravnino objekta vzporedna z dovoljenim odstopanjem $\pm 3^\circ$,
- minimalni vertikalni nagib usmerjen navzgor ali navzdol je lahko največ 15° in
- sosednja stereo-območja se morajo prekrivati vsaj 5 %, da ne pride do slikovno nepokritih delov na objektu.



Slika 4.2: Fotogrametrični stereozajem (Andrews in sod., 2009)

4.2.2.1 Prostorska ločljivost posnetkov

Digitalni posnetek ima določeno število slikovnih elementov oz. pikslov. S približevanjem oz. oddaljevanjem fotoaparata glede na objekt se pri fiksni goriščni razdalji vrednost piksla na posnetem objektu spreminja, kar pomeni, da se spreminja **prostorska ločljivost**. Priporočljiva velikost piksla zajetega posnetka na objektu (angl. ground sample distance, GSD) glede na merilo končnega izdelka prikazuje *preglednica 4.2*.

Preglednica 4.2: Prostorska ločljivost posnetka glede na merilo (Bryan in sod., 2009)

Merilo	Prostorska ločljivost posnetka
1:50	največ 2 mm
1:20	največ 1 mm
1:10	največ 0,5 mm

4.2.3 Fotogrametrična obdelava

V primeru, da je potrebno dokumentirati detajle v eni ravnini, je postopek razmeroma enostaven. Zajame se posnetek in z geodetskimi meritvami se izmerijo oslonilne točke, na katere se v postopku obdelave transformira zajeti posnetek. Na dobljeni **popravljeni podobi** digitaliziramo ali vektoriziramo detajle na tej ravnini in postopek je zaključen. Opisan postopek monoslikovne restitucije oz. izvrednotenja je nazorno prikazan na sliki 4.3. Slika levo zgoraj prikazuje zajem posnetka, slika desno zgoraj prikazuje geodetski posnetek štirih robnih oslonilnih točk, slika levo spodaj prikazuje popravljen podobo, slika desno spodaj pa prikazuje izrez obravnavanega območja in vektorizirane linije. Ta metoda dokumentiranja se v kulturni dediščini uporablja pri manj zahtevnih nalogah, kjer se obravnavano območje nahaja v 2D ravnini. Če želimo povečati natančnost, je potrebno uporabiti več oslonilnih točk ter upoštevati radialno distorzijo objektiva, ki se določi v postopku kalibracije fotoaparata.

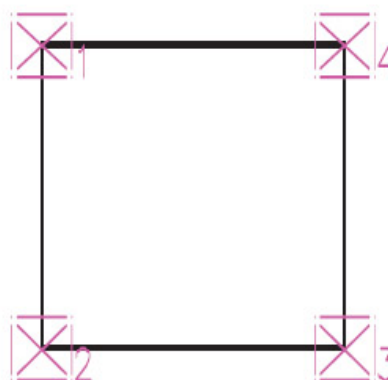
Kakšna prostorska ločljivost popravljene podobe naj nastane v procesu izdelave za potrebe kulturne dediščine prikazuje *preglednica 4.3*, ki je povzeta po priporočilih English Heritage (Bryan in sod., 2009).

Preglednica 4.3: Prostorska ločljivost popravljene podobe glede na merilo (Bryan in sod., 2009)

Merilo	Prostorska ločljivost popravljene podobe
1:50	največ 12,5 mm
1:20	največ 5,0 mm
1:10	največ 2,5 mm



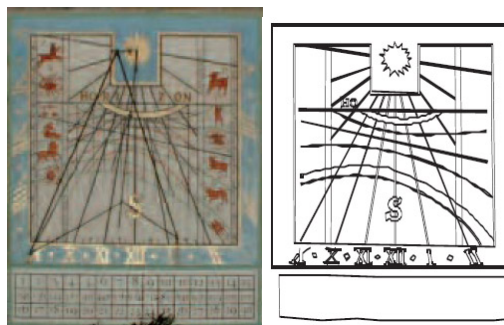
(1)



(2)



(3)



(4)

Slika 4.3: (1) digitalni posnetek, (2) meritev oslonilnih točk, (3) popravljena podoba, (4) izrez območja in vektorizacija robov (Andrews in sod., 2009)

V kolikor imamo opravka z razgibano površino se za potrebe dokumentiranja uporablja postopek **stereorestitucije**. Osnovo predstavljajo absolutno orientirani posnetki v prostoru, torej posnetki z izračunanimi parametri zunanje orientacije - položaj in zasuki fotoaparata v času ekspozicije. S pomočjo digitalne fotogrametrične postaje se lahko na podlagi stereoskopske paralakse stereoparov zajemajo pojavi v prostoru. To je posredna metoda za 3D evidentiranje pojavov v kulturni dediščini.

4.3 3D lasersko skeniranje

4.3.1 Tehnike laserskih skenerjev

Tehnike laserskega skeniranja oz. 3D lasersko skeniranje v grobem delimo na »ročno«, terestrično, aero ter na mobilno lasersko skeniranje. Te merske tehnike se uporabljajo tudi v kulturni dediščini in so prikazane v preglednici 4.4. Preglednica vsebuje sisteme laserskega skeniranja, pripadajočo natančnost meritev in doseg laserskega žarka. Doseg laserskega žarka je pomemben podatek, saj predstavlja omejitve posameznega sistema laserskega skeniranja. Zaradi omenjenih omejitev je v preglednici podan še primer uporabe v kulturni dediščini.

Preglednica 4.4: tehnike laserskega skeniranja (Barber in Mills, 2011)

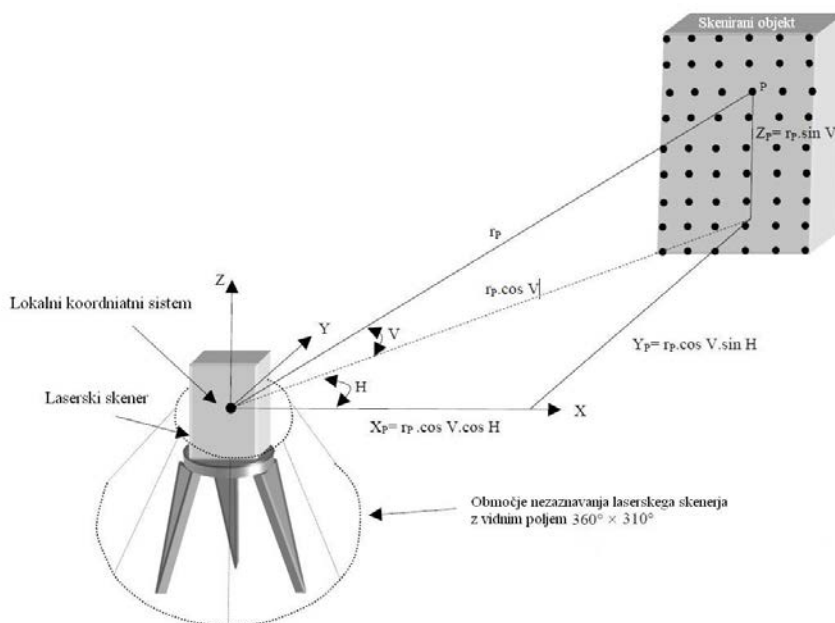
sistemi laserskega skeniranja		uporaba	običajna natančnost	območje delovanja
triangulacijski skener	z rotacijskim odrom	skeniranje malih objektov (izdelava replike)	0,05 mm	0,1 – 1 m
	nameščen na roko	skeniranje malih objektov in malih površin	0,05 mm	0,1 – 1 m
	z ogledalom / prizmo	skeniranje površin malih objektov in situ	manj kot 1mm	0,1 – 25 m
terestrični impulzni laserski skener		primeren za meritve stavbnih fasad, za izdelavo arhitekturnih načrtov in 3D modelov površin	3 – 6 mm	2 – 100 m
terestrični fazni laserski skener		primeren za meritve stavbnih fasad, za izdelavo arhitekturnih načrtov in 3D modelov površin	5 mm	2 – 50 m
aero lasersko skeniranje		iskanje določene reliefne oblike (tudi v gozdnem območju)	0,15 m	100 – 3500 m
mobilno lasersko skeniranje		modeliranje mest; meritve cest in železnic	10 - 50 mm	100 – 200 m

Za doseg zastavljenega cilja je glede na velikost območja in želeno točnost meritev najbolj ekonomično izbrati primeren sistem laserskega skeniranja. Za arhitekturne meritve, kot so npr. meritve gradu, so najbolj primerni terestrični impulzni in fazni laserski skenerji, ki spadajo v skupino terestričnih laserskih skenerjev, o čemer je več napisanega v nadaljevanju.

4.3.2 Terestrično lasersko skeniranje

Tehniko terestričnega laserskega skeniranja (angl. Terrestrial Laser Scanning, TLS) so razvili v devetdesetih letih prejšnjega stoletja. Pionirja komercialnih terestričnih laserskih skenerjev sta podjetji RIEGL (Avstrija) in CYRAX (ZDA), ki sta svoj prvi tovrstni izdelek poslala na trg pred približno 16-imi leti (Staiger, 2011). Oprema je bila takrat težka in neroda. Danes laserski skener ne zavzema bistveno več prostora kot elektronski tahimeter za klasične geodetske meritve. Meritve so hitre, natančne in celovite, zajem podatkov je brezkontakten in varen, instrument deluje v temi, a možna je tudi integracija z drugimi tehnologijami (npr. fotogrametrijo). Način delovanja laserskega skeniranja je dokaj preprost: skener pošilja v okolico laserske žarke in ko ti trčijo v trden objekt, se odbijejo. Skener ujame odbite žarke, programska oprema pa izračuna, kolikšna je razdalja med skenerjem in osvetljeno točko. Rezultat je oblak točk, množica koordinat, ki razkrivajo, kje so laserski žarki naleteli na trdno površino.

Za vsako izmerjeno točko sta skupaj z dolžino registrirana tudi vertikalni in horizontalni kot ter intenziteta odboja (glej sliko 4.4). Tako se lahko izračunajo prostorske 3D koordinate vsake točke na površini skeniranega objekta glede na pozicijo skenerja.



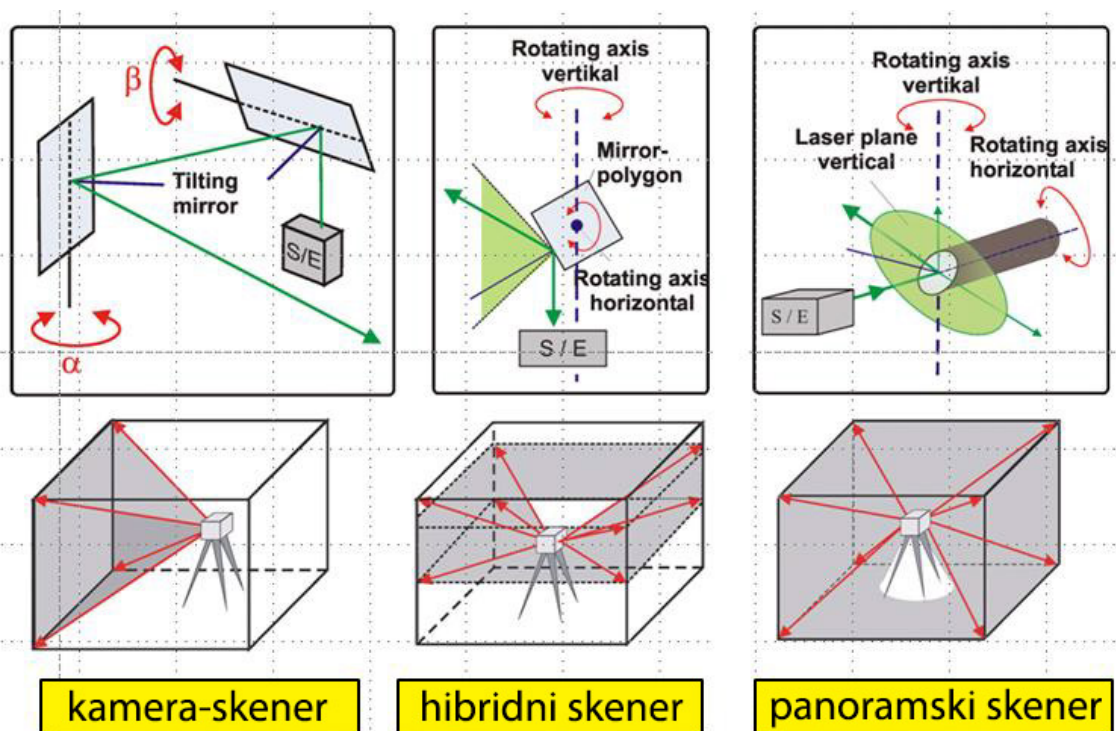
Slika 4.4: Koordinate točk skeniranega objekta (Abdelhafiz, 2009)

Terestrične laserske skenerje lahko delimo po dveh principih, in sicer (Staiger, 2011):

- a) glede na metodo meritve dolžine ter
- b) glede na usmerjanje laserskega žarka.

Glede na metodo določanja razdalje ločimo **impulzne** in **fazne terestrične laserske skenerje** (Staiger, 2011). Prvi uporabljajo impulze laserske energije, kjer merski sistem temelji na času potovanja impulza (angl. time of flight, TOF). Fazni terestrični laserski skenerji uporabljajo fazne ponavljajoče se valove, kjer delovanje faznih razdaljemetrov temelji na moduliranem elektromagnetnem valovanju. Impulzni skenerji dosegajo daljše razdalje in so bolj razširjeni, toda višja hitrost zajemanja je na strani faznih skenerjev.

Po Staiger (2011) ločimo tri vrste terestričnih laserskih skenerjev glede na usmerjanje laserskega žarka: **kamera-skener**, **hibridni skener** in **panoramski skener**. Princip delovanja je prikazan na sliki 4.5. Kamera-skener temelji na usmerjanju laserskega žarka z dvema vrtljivima zrcaloma, panoramski skener pa temelji na sukanju enega zrcala, kjer se zamik v horizontalni ravnini izvede z obračanjem glave skenerja. Hibridni skener je vmesna različica med ostalima dvema, ki temelji na odklanjanju laserskega žarka s pomočjo enega zrcala. Največji zorni kot (angl. Field-of-View, FOV) je pri panoramskih skenerjih.



Slika 4.5: Klasifikacija terestričnih laserskih skenerjev glede na usmerjanje žarka (Staiger, 2011)

4.3.2.1 Nastavitve skeniranja

Pri načrtovanju skeniranja s terestričnim laserskim skenerjem je potrebno predvideti položaje stojišč in zagotoviti zadostno prekrivanje med oblaki točk. Stojišča naj bodo izbrana tako, da je vidnost objekta čim boljša, tako da med skenerjem in objektom ni ovir (npr. drevesa, vozila ipd.; glej sliko 4.6), ki bi povzročila »črna polja« (praznino med podatki).

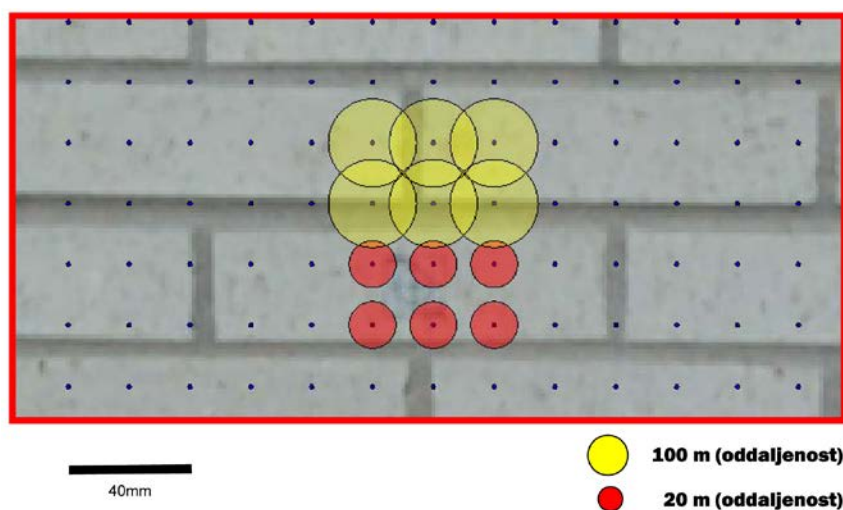


Slika 4.6: Ovire pri skeniranju (drevo) in »črna polja« (Goodmaster in sod., 2007)

Interval skeniranja v horizontalni in vertikalni smeri je praviloma enak in dovolj majhen, da zadovolji potrebam oz. da zajame vse potrebne detajle. Interval skeniranja se pri skenerju nastavi s kotno vrednostjo v horizontalni in vertikalni smeri. Koliko milimetrov ali centimetrov znaša ta interval na objektu, je odvisno od razdalje do objekta in usmerjenosti laserskega senzorja. Pogosto se izraža z **razmikom točk** ali gostoto skeniranih točk na objektu, krajše **gostoto točk**.

Pri gostoti točk je mišljena efektivna gostota točk. Širina disperzijskega laserskega žarka ne sme presegati dvojne vrednosti gostote točk. Laserski žarek divergira v prostoru, ko zapusti skener. Bolj smo oddaljeni od objekta, večja je disperzija laserskega žarka. Primer velikosti divergence laserskega žarka pri različni oddaljenosti prikazuje slika 4.7. Opazimo lahko, da je gostota skeniranja 2 cm in da premer divergirane žarka (odtis žarka) pri 100 meterski oddaljenosti skenerja do objekta (na sliki rumen krogec) presega 2 cm, kar pomeni, da je efektivna gostota točk pri tej oddaljenosti večja od 2 cm. Rešitev v tem primeru je, da skener

s tovrstnimi karakteristikami postavimo bliže objektu ali pa da uporabimo drug skener s kakovostnejšim laserskim žarkom.



Slika 4.7: Odtis laserskega žarka zaradi divergence glede na oddaljenost (Goodmaster in sod., 2007)

Splošno velja, da je gostota točk skeniranja vsaj za polovico velikosti manjša od najmanjšega detajla na objektu. Pri terenskem skeniranju je gostoto točk smiselno prilagajati glede na obravnavan objekt ali detajle na objektu. Večja gostota točk je potrebna na mestih, kjer objekt nezvezno spreminja obliko. Primerno gostoto točk glede na velikost pojava na področju kulturne dediščine prikazuje preglednica 4.5. Pri meritvah gradov, kjer so detajli velikosti od 1 cm do 10 cm, je smiselno skenirati z razmikom točk od 3,5 mm do 35 mm, da bo pojav viden s 66% verjetnostjo oz. z razmikom točk od 0,5 mm do 5 mm, da bo pojav viden s 95% verjetnostjo. Pri prepoznavanju in identifikaciji pojavov oz. detajlov je smiselno uporabiti fotografije, zato je priporočljiva integracija laserskega skeniranja in fotogrametrije. Z vidika integracije fotogrametrije je v tem primeru dovolj že monoskopski zajem podob. Prednosti integracije laserskega skeniranja in fotogrametrije so opisane v nadaljevanju pri poglavju 4.5.

Preglednica 4.5: Primerna gostota točk glede na velikost pojava (Barber in Mills, 2011)

velikost pojava	primer	zahtevan razmik točk, da bo pojav viden z verjetnostjo 66%	zahtevan razmik točk, da bo pojav viden z verjetnostjo 95%
10 m	velika zemeljska dela	3500 mm	500 mm
1 m	manjša zemeljska dela	350 mm	50 mm
1 dm	klesanci, lomljenci	35 mm	5 mm
1 cm	vklesana znamenja	3,5 mm	0,5 mm
1 mm	erozijski pojavi	0,35 mm	0,05 mm

Pri izbiri ustrezne gostote točk skeniranja glede na merilo končnega izdelka si lahko pomagamo s priporočili English Heritage. Med stopnjo razpoznavnosti (level of detail) oz. merilom, intervalom skeniranja oz. gostoto točk, natančnostjo skeniranja in velikostjo objekta obstaja povezava, kot ju prikazujeta preglednici 4.6 in preglednica 4.7. Opazimo lahko, da so strokovnjaki iz English Heritage svoja priporočila iz leta 2003 (preglednica 4.6) skokovito zaostрили leta 2009 (preglednica 4.7). Npr. za merilo 1:50 se je gostota točk potrojila. Vseeno se v praksi pogosto upoštevajo priporočila iz leta 2003 (Colombo in Marana, 2010).

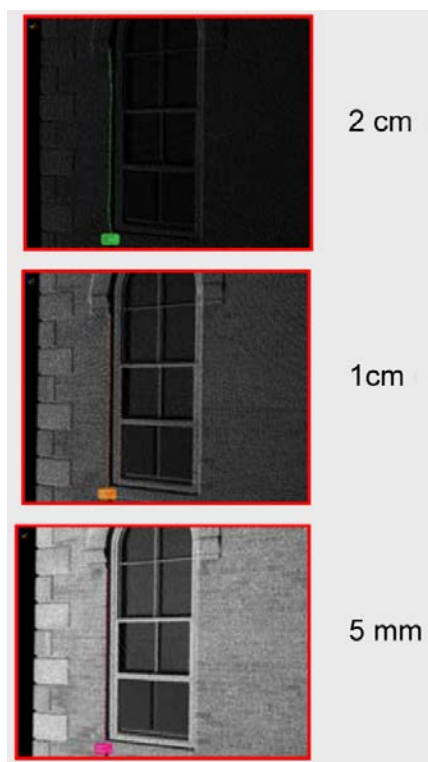
Preglednica 4.6: Gostota točk glede na merilo (Mills in Barber, 2003; Colombo in Marana, 2010)

merilo	razmik točk (mm)	natančnost meritev (mm)	max. velikost objekta (m)
1:10	2	2	5 x 5
1:20	4	4	10 x 10
1:50	15	15	20 x 30
1:100	25	25	40 x 60

Preglednica 4.7: Gostota točk glede na merilo (Bryan in sod., 2009)

merilo	razmik točk (mm)	natančnost meritev (mm)	max. velikost objekta (m)
1:10	1,0	1,0	5 x 5
1:20	2,5	2,5	10 x 10
1:50	5,0	5,0	20 x 30
1:100	15,0	15,0	40 x 60

V preglednici 4.6 in 4.7 sta razmik točk in natančnost skeniranja enaka, kar je v skladu s priporočili dokumentiranja dediščine z laserskim skenerjem (Bryan in sod., 2009), ki pravi, da je interval skeniranja enak ali manjši kot je natančnost skeniranja. Primer uporabe različne gostote točk je prikazan na sliki 4.8.

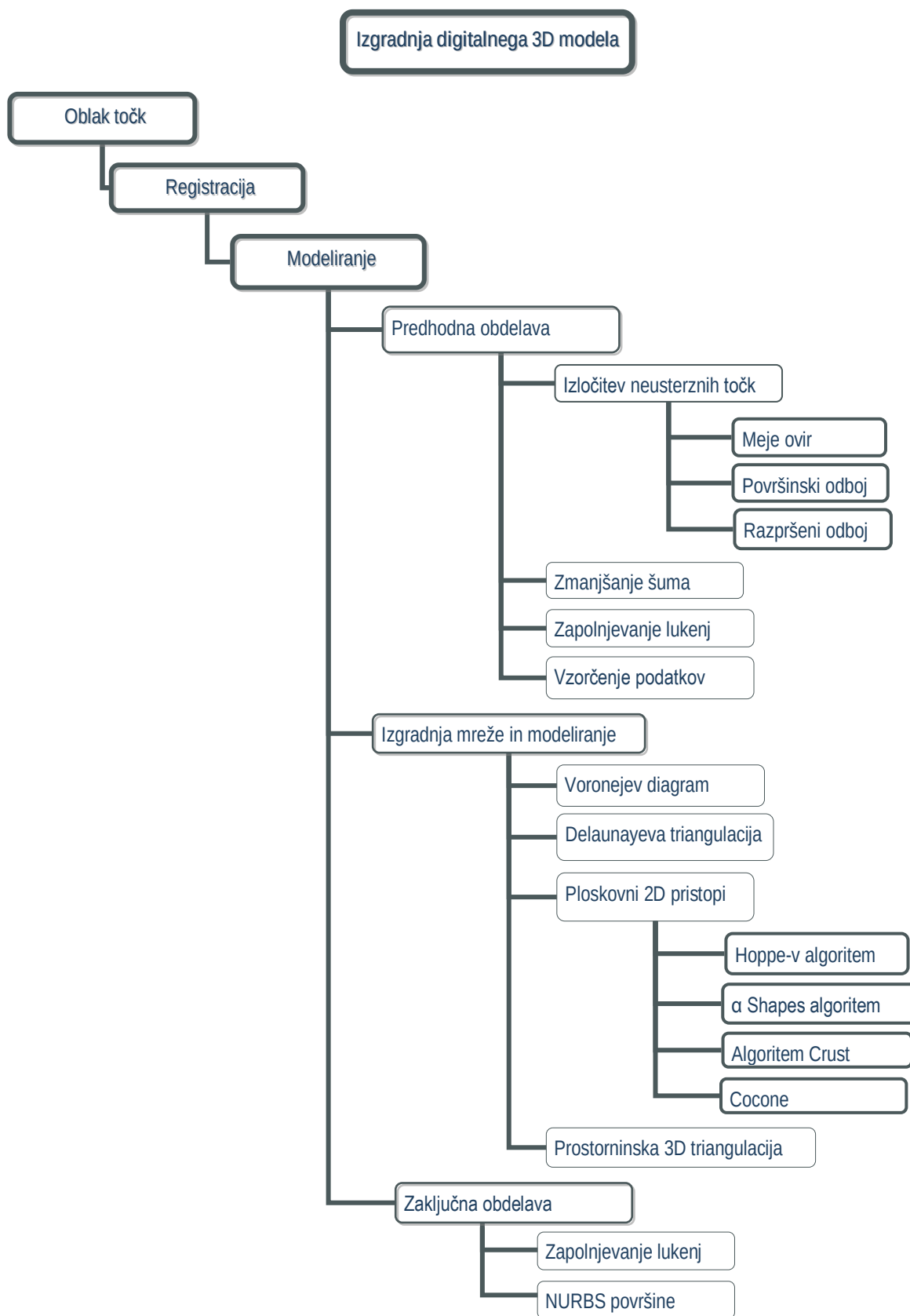


Slika 4.8: Skeniranje z različno gostoto točk (Goodmaster in sod., 2007)

4.3.3 Obdelava oblaka točk

Rezultat laserskega skeniranja je množica točk, t. i. **oblak točk** (angl. point cloud). Za oblak točk, pridobljen iz posameznega stojišča, se uporablja tudi izraz **skenogram**. Za izdelavo izdelkov, kot so 3D model, 2D načrti (načrti prereзов, tlorisa objekta), je potrebna dolgotrajna in zahtevna obdelava točk.

Kako iz oblaka točk pridobiti uporabne informacije? Lasersko skeniranje je posredna tehnika zajema podatkov, saj je obrise detajlov potrebno iz 3D modela ekstrahirati, točkovne elemente pa interpolirati. Postopek, ki poveže oblak točk v uporaben 3D model, se imenuje modeliranje. Običajen potek dela z oblakom točk obsega orientacijo oz. registracijo skenogramov v enoten koordinatni sistem, filtriranje oz. izločitev neuporabnih točk in triangulacijo oblaka točk, s čimer se izgradi mrežni model, ki ga je potrebno še urediti, da nastane uporaben 3D model. Na sliki 4.9 je po Kastelic (2010) povzet postopek izgradnje digitalnega 3D modela iz oblaka točk.



Slika 4.9: Postopek izgradnje digitalnega 3D modela iz oblaka točk (povzeto po Kastelic (2010))

4.3.3.1 Orientacija skenogramov

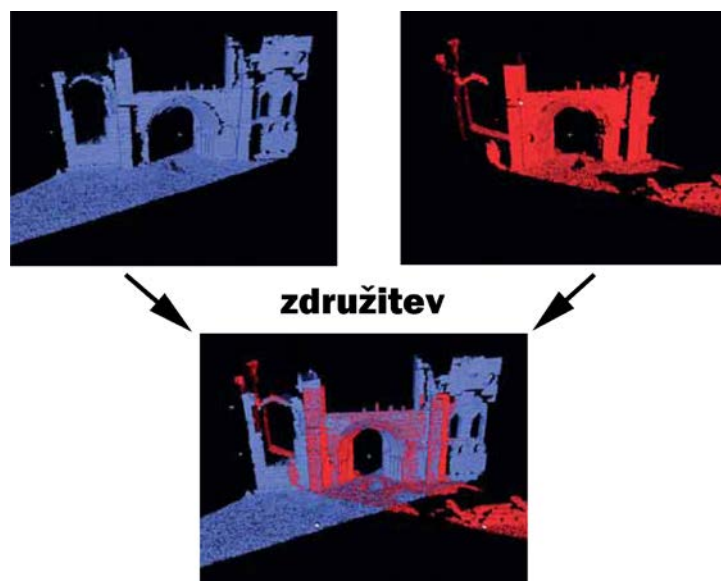
Pri dveh danih točkah lahko določene skenerje orientiramo z istim načinom, kot je poznan pri elektronskih tahimetrih. Skener se postavi na dano točko in se orientira na drugo dano točko. Druga možnost je, da skener orientiramo z notranjim urezom. Nekateri skenerji so celo kompatibilni z GNSS-anteno, kar omogoča neposredno določitev absolutnega položaja stojišča (glej levo sliko 4.10). V kolikor laserski skener na terenu ni orientiran v želen koordinatni sistem, je potrebno pri obdelavi skenogramov iz posameznega stojišča vpeti v izbran koordinatni sistem, ki je praviloma državni koordinatni sistem.

Pri večini skenerjev orientacija skenogramov običajno poteka s pomočjo namenskih tarč, od katerih se laserski žarek odlično odbija in jih je v oblaku točk enostavno najti. Primeri tovrstnih tarč so prikazani na desni sliki 4.10. Na vsakem stojišču morajo biti vidne vsaj tri tarče, da se v postopku orientacije oz. registracije izračunajo transformacijski parametri. Tarčam je potrebno določiti položaje v želenem koordinatnem sistemu, v katerega želimo transformirati skeniran oblak točk. To zahteva dodatne meritve.



Slika 4.10: Skener z GNSS-anteno (levo) in tarče (desno)

Alternativa zgoraj omenjenim načinom orientacije je metoda relativne orientacije z algoritmom **iterativnega zблиževanja točk** (angl. Iterative Closest Point ali krajše ICP). Ta postopek temelji na podlagi prekrivanja med skenogrami, torej tam, kjer iz različnih stojišč skeniramo isti del območja (glej sliko 4.12). V računskem postopku se iščejo pari najbližjih točk med dvema skenogramoma, kjer je vsota kvadratov oddaljenosti med temi pari točk minimalna. Na ta način dva skenograma relativno orientiramo med seboj, kot je to prikazano na primeru na sliki 4.11.



Slika 4.11: Združitev dveh skenogramov v enoten koordinatni sistem (Barber in Mills, 2011)

4.3.3.2 Modeliranje

Po orientaciji oz. registraciji skenogramov v enoten koordinatni sistem dobimo enoten oblak točk skeniranega objekta. Iz oblaka točk želimo tvoriti površine. V poštev pridejo le tiste točke, ki ležijo na teh površinah. Ostale, neuporabne točke, je potrebno izločiti iz oblaka točk v postopku **filtriranja**. Navadno gre za izločitev neustreznih točk ter odstranitev šuma.

Prečiščen oblak točk se s **triangulacijo** (oblikovanjem mreže trikotnikov) poveže v konsistenten mrežni model (mrežo). Poznamo različne algoritme za ploskovne 2D koncepte triangulacije in prostorninsko 3D triangulacijo. Triangulacija, ki se je izkazala kot visoko kvalitetna v praktičnih aplikacijah, je Delaunayeva triangulacija. Koncepti in algoritmi posamezne triangulacije so podrobneje opisani v Kastelic (2010).

Pri dobljeni pravilni ali nepravilni mreži točk (angl. mesh) je navadno potrebno še popraviti posamezne trikotnike, urediti robove in zapolniti luknje, tako da se vstavijo novi trikotniki. Po potrebi se lahko uporabi glajenje, da se izločijo špice na površini, in redukcija trikotnikov, pri čemer mora biti izpolnjen pogoj, da oblika objekta ostane nespremenjena. Slednja dva postopka se uporabljata predvsem pri izdelavi NURBS površin (Non Uniform Rational Basis Spline), ki predstavljajo kompleksne matematične modele nepravilnih površin.

Urejena in topološko pravilna poligonska mreža predstavlja **3D model** oz. aproksimacijo dejanskih ploskev skeniranega in modeliranega objekta.

4.4 Integracija 3D laserskega skeniranja in fotogrametrije

Lasersko skeniranje je najprimernejše za evidentiranje površin, manj primerno pa je za evidentiranje robov in posameznih točk, vendar je fotorealističen 3D model zelo uporaben pri izdelavi dvodimenzionalnih vertikalnih in horizontalnih prerezov, torej pri izdelavi karakterističnih prerezov in tlorisnih načrtov. Hitro lahko izdelamo tudi ortofoto posameznih površin.

Tako z laserskim skeniranjem kot s fotogrametrijo lahko naredimo 3D model, fotorealističen 3D model pa lahko nastane na podlagi fotogrametrije ali integracija laserskega skeniranja in fotogrametrije, ki združuje prednosti obeh metod.

Integracija terestričnega laserskega skeniranja in podob omogoča izdelavo kakovostnih fotorealističnih 3D modelov. Ta integracija je ena izmed najbolj učinkovitih rešitev, ki obstajajo danes pri merskih izdelkih (Georgopoulos in sod., 2006; Remondino in sod., 2009; Lerma in sod., 2011). Terestrično lasersko skeniranje omogoča 3D-podatke s katerimi s triangulacijo v postopku modeliranja pridobimo 3D model, fotogrametrična obdelava pa se uporablja za teksturiranje 3D modela iz posnetkov.



Slika 4.12: Terestrični laserski skener s pritrjenim fotoaparatom (Riegl, 2012)

Večina sedanjih sistemov terestričnega laserskega skeniranja je podprta z **vgrajenim** ali **pritrjenim digitalnim fotoaparatom** (glej sliko 4.12). V osnovi je s kalibracijo potrebno določiti relativno razmerje med skenerjem in fotoaparatom. V praksi je to razmerje že tovarniško (laboratorijsko) določeno, kar pomeni, da ko orientiramo laserski skener, avtomatično orientiramo tudi pripadajoči fotoaparatus. To tudi pomeni, da ko orientiramo skenogram oz. oblak točk, dobimo tudi posnetke orientirane v prostoru. Orientirani posnetki

nam olajšajo filtriranje oblaka točk in omogočajo dva načina za izdelavo fotorealističnega 3D modela. Prvi je ta, da na podlagi posnetkov zajetim točkam določimo pripadajočo radiometrično oz. barvno vrednost (RGB vrednost) ter iz obarvanega oblaka točk v postopku modeliranja neposredno izdelamo fotorealističen 3D model, če to omogoča programska oprema. Druga možnost pa je prekrivanje 3D modela s teksturo zajetih posnetkov.

V primeru odsotnosti vgrajenega ali pritrjenega fotoaparata pri terestričnem laserskem skenerju je posnetke potrebno zajeti z **zunanjim digitalnim fotoaparatom** ter posnetke orientirati v enak koordinatni sistem kot ga ima oblak točk. Z ločenim fotografiranjem lahko operater izbere najustreznejši položaj in višino za zajem posnetka, primerno izostritev in kontrast ter ustrezno vsebino obravnavanega področja. S slikanjem pravokotno na obravnavan objekt, ki ga aproksimiramo z digitalnim modelom površja ali digitalnim modelom zgradb, lahko dosežemo »popolni« fotorealistični 3D model, podobno kot pri izdelavi popolnega ortofota, ki je predstavljen v nadaljevanju pri poglavju 5.2.1.3. Zunanji fotoaparata nima enakih logističnih funkcij kot vgrajeni ali pritrjeni fotoaparata skenerja, zato pri izbiri zunanjega fotoaparata ni omejitev. Lahko je amaterski ali profesionalen, merski ali nemerski ipd. Priporočeno je, da se za fotografiranje uporabi dobro ohišje fotoaparata in objektivov, podobno kot za fotogrametrijo, kar omogoča izdelavo kakovostnih, visokoločljivih fotorealističnih 3D modelov.

Z uporabo vgrajenim ali pritrjenim in zunanjim digitalnim fotoaparatom pri terestričnem laserskem skeniranju se je razvila razširjena sočasna uporaba obeh sistemov zajema posnetkov. V tem primeru je vgrajeni fotoaparata lahko slabše ločljivosti, saj njegova uporaba nastopi pri obdelavi oblaka točk in kot pomoč pri zunanji orientaciji posnetkov, ki so zajeti z zunanjim fotoaparatom.

Posnetke zunanjega fotoaparata je potrebno (relativno) orientirati glede na oblak točk oz. glede na 3D model. Pri tem se običajno uporablja klasično znanje iz fotogrametrije, ki zahteva dodatne meritve. Pri približno poznanem položaju fotoaparata poznamo tudi različne metode za samodejno povezavo 3D-modela s slikami. Ti algoritmi digitalne obdelave podob lahko temeljijo na podlagi ujemanja linijskih grafičnih gradnikov in projiciranih 3D-daljic modela, uporablja se lahko metoda zaznavanja linij na posnetkih s Cannyjevim detektorjem robov, kjer metoda temelji na ujemanju »linije na linijo« (angl. line-to-line matching), poznana je tudi uporaba enega ali več bežišč ter ujemanje 3D- in dvorazsežnih (2D) daljic, ... Samodejne metode določanja parametrov orientacije fotoaparata ob znanem približnem položaju fotoaparata niso zanesljive in so primerne le v določenih primerih. Posnetke zajete z zunanjim fotoaparatom lahko s pomočjo oblaka točk ali 3D modela relativno orientiramo tudi

z interaktivno metodo orientacije, kar je podrobneje opisano v nadaljevanju. V kolikor je oblak točk ali 3D model že umeščen v državni koordinatni sistem, gre pri postopku za absolutno orientacijo.

4.4.1 Interaktivna metoda orientacije

Interaktivna metoda orientacije se uporablja pri obdelavi nemerskih posnetkov v fotogrametrične namene. Osnova interaktivne metode orientacije je projiciranje točk iz globalnega koordinatnega sistema v slikovni koordinatni sistem, opisan s fotoaparatom. Z iskanjem najboljšega prileganja projiciranih trirazsežnih točk v dvorazsežno podobo se iščejo parametri orientacije podobe (rotacije in položaj fotoaparata). Operater vizualno išče najboljše prileganje projekcije trirazsežnih točk na podobo s tem, da spreminja parametre orientacije. Če orientacija ni pravilna, se točke ne prilegajo detajlu na sliki.

Interaktivna metoda relativne orientacije 3D točk na dvorazsežno sliko je sestavljena iz naslednjih korakov (Triglav Čekada in sod., 2007):

- zajem trirazsežnih točk,
- pridobitev enega ali več posnetkov istega območja, ki jih združimo v večjo panoramo,
- interaktivna poravnava projekcije trirazsežnih točk na dvorazsežno sliko.

Določiti je potrebno 6 neznanih parametrov, 3 rotacije in 3 pomike fotoaparata v prostoru. Da lahko rešimo problem, moramo poznati vsaj približne začetne vrednosti za lokacijo projekcijskega centra fotoaparata v koordinatnem sistemu oblaka točk. Poznati pa moramo tudi konstanto fotoaparata.

Matematični postopek interaktivne metode orientacije je sestavljena iz treh delov (Triglav Čekada in sod., 2007):

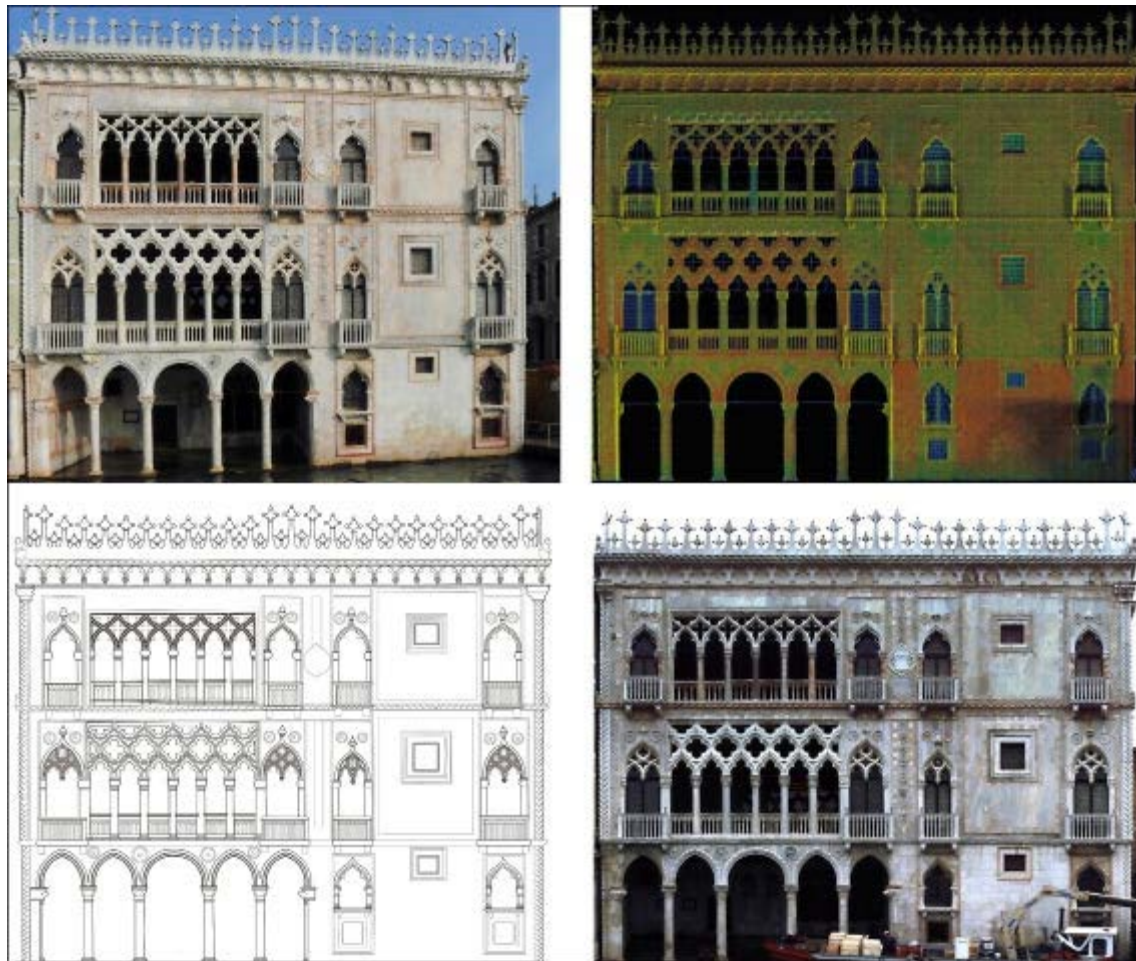
- rotiranje slikovnega koordinatnega sistema v globalnem koordinatnem sistemu,
- translacija stojišča fotoaparata, ki ga izvedemo po geometrijskih oseh fotoaparata,
- uporaba novih vrednosti rotacij in translacij za izračun novih slikovnih koordinat trirazsežnih točk, ki jih prilegamo na sliko.

Matematično ozadje je podrobneje opisal Rönholm in sod. (2003) ter Triglav Čekada in sod. (2007).

4.5 Mobilni merski sistemi

Pri terestričnem laserskem skeniranju gre za statično lasersko skeniranje, torej lasersko skeniranje iz fiksnega stojišča. Hitrost terestričnega laserskega skeniranja se je v zadnjih letih skokovito povečala. Na trgu je že več skenerjev s hitrostjo snemanja okrog 1.000.000 točk/sekundo. Lastnost terestričnega skenerja z izredno veliko hitrostjo zajema podatkov je privedla do realizacije skeniranja na mobilnih terestričnih platformah. Pri tem je platformo potrebno opremiti z napravami za zajem trajektorije, in sicer sta to najpogostejše sistem za globalno določanje položaja (angl. Global Navigation Satellite System, GNSS) in inercialna merilna enota (angl. Inertial Measurement Unit, IMU). Na platformo lahko namestimo več skenerjev usmerjenih v različne zorne kote. Tak način zajemanja podatkov se imenuje **mobilno lasersko skeniranje** (angl. Mobile Laser Scanning, MLS). Sistem tovrstne merske tehnike je lahko pritrjen na avtomobil, vlak, čoln (Studnicka in Zach, 2011) ali podobna premikajoča se sredstva.

Mobilno lasersko skeniranje spada med **mobilne merske sisteme** (angl. Mobile Mapping System, MMS). Dokler skenerji niso imeli takšne hitrosti zajema, so mobilne terestrične platforme opremljali s sistemi za snemanje. Danes največkrat srečamo tako **laserski** kot tudi **snemalni sistem** na eni platformi, saj se oba sistema dopolnjujeta. Pri tem ne smemo pozabiti, da je na platformi obvezen še sistem za globalno določanje položaja. GNSS in IMU merita podatke, potrebne za določitev parametrov zunanje orientacije. S kalibracijo mora biti določen relativni položaj vseh merilnih naprav na platformi.



Slika 4.13: Posnetek (levo zgoraj), ortogonalni prikaz oblaka točk (desno zgoraj), CAD-ov izris fasadnega načrta (levo spodaj) in ortofoto (desno spodaj) (Studnicka in Zach, 2011)

Na sliki 4.13 je primer izdelkov mobilnega zajemanja v Benetkah, kjer je bila mobilna terestrična platforma pritrjena na beneško gondolo. Slika prikazuje digitalni posnetek, oblak točk, fasadni načrt in ortofoto. Pri terenskih meritvah je bil uporabljen Rieglov sistem VMX-250, ki vsebuje dva terestrična laserska skenerja, 6 fotoaparátov, GNSS anteno in enoto IMU. Oba skenerja omogočata zajem s hitrostjo 600.000 točk/s (Studnicka in Zach, 2011).

5 TEHNIČNO DOKUMENTIRANJE

Tehnična dokumentacija predstavlja dokumente, na katerih so informacije povezane s tehnološkimi postopki za praktično izvedbo. V to dokumentacijo običajno prištevamo različne tehnične risbe, skice, posnetke stanja, preračune, opise delovnih postopkov ali faz izvedbe, popise sestavnih elementov, evidence dela ... Vsi ti dokumenti so pomoč pri izvajanju in kasnejši analizi izvedbe določenega projekta (Transcom, 2011).

Znanje iz geodezije pripomore pri varstvu kulturne dediščine pri evidentiranju njenega stanja in ogroženosti. Evidentiranje položaja, dimenzije in/ali oblike objekta je nujno potrebno pri skoraj vsakem konservatorskem ter restavratorskem projektu.

Osnovni namen izdelave tehnične dokumentacije spomenikov je, da se z geodetskimi meritvami, fotogrametričnim iz vrednotenjem in/ali laserskim skeniranjem izdelajo, dopolnijo ali obnovijo načrti zgradb, ruševin, poslikav, arheoloških najdišč itd.

5.1 Tehnično risanje

Tehnična risba je risba, risana po natančno določenih pravilih. Vsaka črta pri risanju ima svoj pomen, vsaka ploskev je omejena in vsaka mera mora biti natančno prikazana. Tehnična risba prikazuje racionalno število elementov, ki enoznačno predstavljajo narisani objekt (Jovan, 2011).

Tehnično risanje je ena od inženirskih veščin kreiranja in oblikovanja tehničnih elementov na različnih področjih, kot so arhitektura, varstvo kulturne dediščine, gradbeništvo, geodezija ipd. Osnovni principi tehničnega risanja so definirani v standardih: **SIST ISO 128**, ki določa risarske elemente, načine risanja in poglede na risarski objekt v tehničnih načrtih ter **SIST ISO 129**, ki določa pravila podajanja dimenzij. Pri risanju moramo upoštevati še množico drugih standardov, ki veljajo za določeno specifično območje (Jovan, 2011).

5.1.1 Merilo izdelka

Merilo predstavlja razmerje med narisano mero in njeno velikostjo v naravi.

$$\text{merilo} = \frac{\text{narisana_mera}}{\text{naravna_velikost}}$$

Risanje risb v določenem merilu pomeni, da so vse mere realnega predmeta v enakem razmerju kot na risbi. Merilo na načrtu je lahko podano kot numerično merilo, grafično merilo in opisno merilo. Numerično merilo je napisano v obliki razmerja kot npr. 1:10, 1:50, 1:100 ... Grafično merilo je pravzaprav numerično merilo, prikazano na grafični način v obliki daljice s skalo v merilu izdelka. Grafično merilo je praktično za uporabo, saj z neposrednim prenašanjem razdalje iz načrta na grafično merilo dobimo razdaljo v naravi. Prednost grafičnega merila je v tem, da se krči in razteza skupaj s papirjem. Opisno merilo je z besedami opisan način podajanja merila, kjer povemo, kolikšno velikost v naravi predstavlja 1 cm na načrtu.

V varstvu kulturne dediščine se običajno uporablja numerično merilo, ki ga vpišemo v glavo risbe, in grafično merilo. Risba je običajno risana v enem merilu. Če se posamezni deli narišejo v drugačnem merilu, moramo to na risbi ustrezno označiti.

Arhitektonski načrti³, ki se uporabljajo tudi pri dokumentiranju gradov, so v merilu 1:10, 1:20, 1:50 ali 1:100 (Bryan in sod., 2009).

5.1.2 Formati za prikaz

Formate risb določa standard **SIST ISO 5457**, ki definira obliko in velikost papirja. Standardiziran format tehniške risbe omogoča enostavno prenašanje in hranjenje, če je v papirnati obliki. V digitalni obliki format risbe nima posebnega pomena, razen na izbiro merila risanja (Jovan, 2011). Na področju varstva kulturne dediščine se papirnat izdelek natisne na ISO A standardnem formatu (Bryan in sod., 2009). Oznake, dimenzije in površina formatov ISO A so podani v preglednici 5.1.

Preglednica 5.1: Velikosti formata risb

Oznaka	Mere [mm]	Površina [m ²]
A0	841 x 1189	1
A1	594 x 841	$\frac{1}{2}$
A2	420 x 594	$\frac{1}{4}$
A3	297 x 420	$\frac{1}{8}$
A4	210 x 297	$\frac{1}{16}$

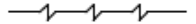
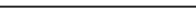
³ Arhitektonski načrt je podrobneje predstavljen pri poglavju 5.2.1.1 *Arhitektonski načrt*

Če je obravnavan objekt prevelik, da bi ga prikazali na izbranem natisnjenem formatu, ga je potrebno razdeliti na sektorje. Razdelitev na sektorje je potrebno prikazati v pomanjšanjem merilu celotnega obravnavanega objekta. Vsak obravnavan sektor je potrebno posebej označiti na načrtu.

5.1.3 Vrste in uporaba črt

Pri enobarvnem risanju povečamo preglednost risbe z uporabo različnih debelin in vrst črt (glej preglednico 5.2). Standardne vrednosti debelin črt so 0,18 / **0,25** / **0,35** / **0,5** / 0,7 / 1,0 / 1,4 mm. Razmerje med posameznimi debelinami je $\sqrt{2}$. Za risbe formata A4 in A3 se najpogosteje uporabljajo črte debeline 0,5 mm, 0,35 mm in 0,25 mm (Jovan, 2011).

Preglednica 5.2: Vrste in uporaba črt (Glodež, 2005)

Oznaka	Oblika	Opis	Uporaba
A		debela, polna	vidni robovi in obrisi predmetov, podčrtavanje pozicijskih števil, označevanje konca navoja, puščice, ki kažejo smer prereza ali pogleda
B		tanka, polna	šrafure, označevanje globine navoja, kotirne in pomožne kotirne črte, diagonale, ki označujejo ravne ploskve, zvrnjene prereze
C		tanka, prostoročna	označevanje prekinitev in prelomov, šrafura za les
D		Cik – cak črta	
E		črtkana, debela	prikaz nevidnih robov na risbah večjega formata
F		črtkana, tanka	prikaz nevidnih robov
G		tanka črta – pika – črta	srednjice in simetrale, srednjice prerezov
H		tanka črta – pika – črta, odebeljena na koncih in na mestih spremembe smeri	označevanje prereznih ravnin
J		debela črta – pika – črta	označevanje posebno obdelanih površin predmeta
K		tanka črta – pika – pika črta	označevanje alternativne lege premikajočih delov, ponazoritev oblike predmeta pred preoblikovanjem, težiščnice

Pri tehniških risbah, risanih s pomočjo računalniških orodij, se pogosto uporabljajo barvne črte, ki lahko še bolj nazorno prikazujejo narisani element. Z barvami označimo posamezni element v sklopu ali detajlih.

5.1.4 Glava risbe

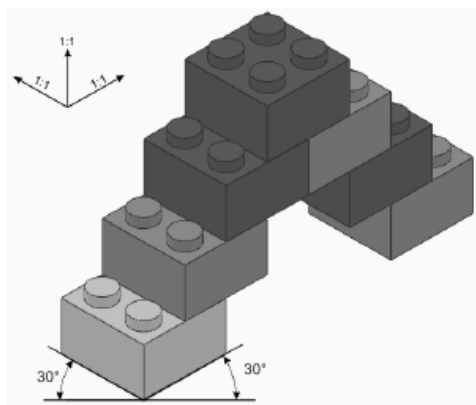
Vsak izdelek mora biti opremljen z glavo risbe. Glava vsebuje bistvene podatke, ki jih potrebujemo pri uporabi in prepoznavanju risbe. Osnovne dimenzije glave so priporočene s standardom **SIST ISO 7200**. Po standardu dolžina glave meri 185 mm in je pri vseh formatih enaka.

5.1.5 Projekcija in vrste projekcij

Z risbo prikazujemo geometrično obliko telesa v ravnini. Telo je v prostoru tridimenzionalno (3D), risana ravnina, na kateri prikazujemo predmet, pa je dvodimenzionalna (2D). Pri papirnatih izdelkih objekte rišemo s pomočjo projiciranja na ravnino in z več projekcijskimi pogledi rešimo odsotnost tretje dimenzije. Poznamo perspektivne projekcije, aksonometrične projekcije in ortogonalne projekcije.

5.1.5.1 Aksonometrična projekcija

Aksonometrične pravokotne projekcije uporabljajo pravokotne projekcije, ki niso pravokotne na glavno os, zato kažejo naenkrat več lic objekta. Takšen prikaz uporabljamo za lažje prikazovanje oblik objekta. Ohranja se vzporednost robov in razdalje se merijo vzdolž posameznih osi. Aksonometrične projekcije so določene s standardom **SIST ISO 5456-3**. Primer aksonometrične projekcije je prikazan na sliki 5.1.

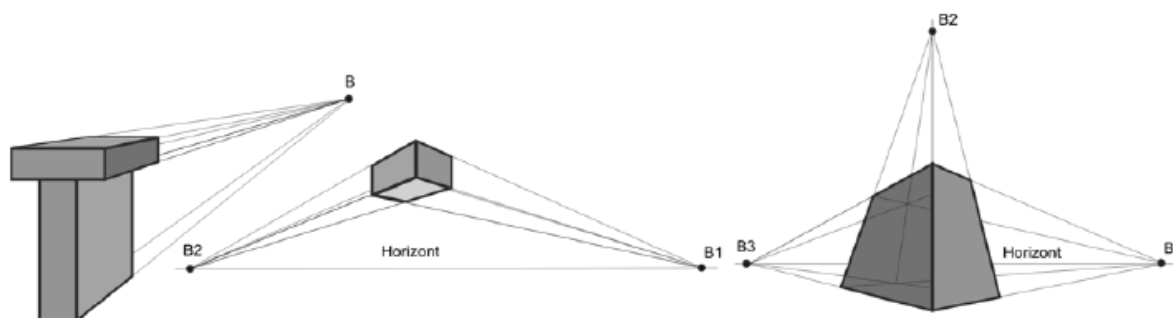


Slika 5.1: Aksonometrična projekcija (Jovan, 2011)

Aksonometrična projekcija se uporablja za splošni celostni prikaz objekta. Aksonometrično narisani objekt je za širšo populacijo nazornejši in lažje predstavljen. Pogosto ga uporabljajo kastelologi pri aksonometričnih študijah gradov.

5.1.5.2 Perspektivna projekcija

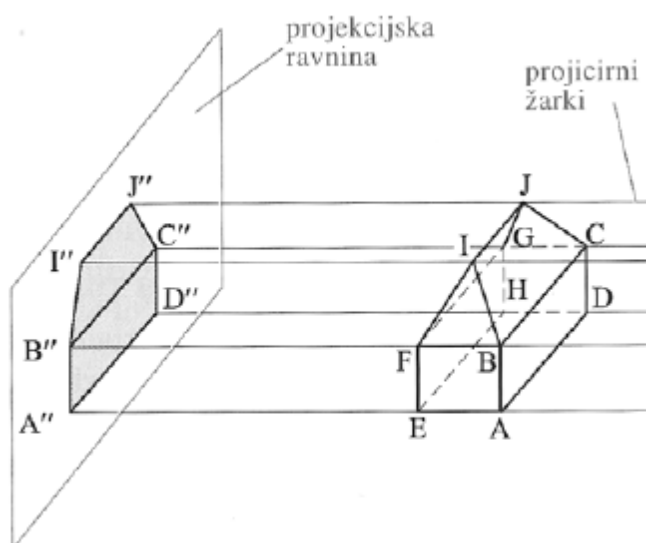
Perspektivna oz. centralna projekcija je določena s standardom **SIST ISO 5456-4**. Projekcijski žarki pri omenjeni projekciji izhajajo iz enega, dveh-, ali treh projekcijskih gorišč. Tako dobimo eno-, dvo- ali trosmerno perspektivno projekcijo (slika 5.2). Oblika in način prikaza predmeta sta odvisna od števila in lege gorišč (Jovan, 2011).



Slika 5.2: Centralna projekcija z enim, dvema ali s tremi gorišči (Jovan, 2011)

5.1.5.3 Ortogonalna projekcija

Pri ortogonalni Mongeovi projekciji leži gorišče v neskončni oddaljenosti od objekta, tako da so projicirani žarki vzporedni in padajo pravokotno na projekcijsko ravnino (slika 5.3). Robovi in ploskve, ki so vzporedni z risarsko ravnino, ohranjajo pri projiciranju svojo obliko in velikost (Jovan, 2011). Po standardu **SIST ISO 128-30** ločimo pri ortogonalni Mongeovi projekciji tri osnovne poglede: **tloris** ali pogled od zgoraj, **naris** ali pogled od spredaj in **stranski ris** ali pogled z leve strani.



Slika 5.3: Ortogonalna projekcija (Glodež, 2005)

Podrobna tehnična dokumentacija se riše v ortogonalni (pravokotni) projekciji.

5.2 Analiza izdelkov tehnične dokumentacije v kulturni dediščini

Izdelki tehnične dokumentacije so namenjeni različnim uporabnikom. Med tehnične strokovnjake na področju kulturne dediščine spadajo arheologi, restavratorji, konservatorji, gradbeni inženirji, geodeti, arhitekti, kemiki, fiziki in sorodni inženirji. Inženir želi vedeti velikost strukture in njen položaj v prostoru, konservatorje zanima kako hitro se pojavi kulturne dediščine spreminjajo, arheologi proučujejo razmerja med različnimi pojavi (strukturni depoziti, mejnimi površinami itd.) ter medsebojne odnose med njimi ... Zaradi komunikacije med strokami je pomembno, da so izdelki tehnične dokumentacije kulturne dediščine narejeni v skladu s standardi, normativi, in/ali predpisi, ki veljajo na svetovni ali regionalni ravni.

5.2.1 Klasični izdelki

Klasični izdelki za dokumentiranje stanja utrdbene arhitekture z lastnostmi dediščine, med katere spadajo gradovi, so arhitektonski načrt, tlorisni načrt, prerez in pogosto tudi ortofoto stranic. Arhitektonski načrt, tlorisni načrt in prerez so v vektorski obliki, ortofoto pa v grafičnem načinu prikaza. Ponekod se namesto ortofota uporablja le popravljena podoba, ki ni nujno, da je v ortogonalni projekciji. Fotodokumentacija je sestavni del dokumentiranja. Podrobna klasifikacija izdelkov je predstavljena v magistrski nalogi Katje Oven z naslovom *Klasifikacija dokumentacije v arhitekturni fotogrametriji*.

Arhitekturna dediščina se v 2D načrtih prikazuje v določenem merilu in določeni kartografski projekciji. Najpogosteje se uporablja pomanjšano merilo in ortogonalna projekcija. Standardna merila v arhitekturi so 1:10, 1:20 in 1:50, pri večjih objektih pa 1:100. Po Simerlu in Zupančiču (2002) so izrisi detajlov v merilu 1:1, 1:2, 1:5 in 1:10, kjer je pri merskih podatkih dovoljeno odstopanje do 0.3 cm.

Po priporočilih English Heritage (Bryan in sod., 2009) naj bo resolucija končnega izdelka izrisana z vsaj 600 dpi. Pri grafičnih izdelkih, kot sta ortofoto in popravljena podoba, se pri tiskanju priporoča uporaba papirja z gostoto vsaj 90 gramov na m².

5.2.1.1 Arhitektonski načrt

Arhitektonski načrt prikazuje obrise elementov na zidu v ortogonalni projekciji. Za arhitekturo se uporablja izraz arhitekturni načrt, v primeru fasad pa tudi izraz fasadni načrt. Načrt mora biti opremljen z vsemi odprtinami (vrata, okna, niše, odprtine, ...) in detajli.

Detajli obsegajo vidne elemente, ki se nahajajo v določenem pogledu. Predstavljajo lahko odprtine, ravne predele, zidovje, obrise montaže in napeljave, obrise različnih materialov ipd. Obliko detajla na načrtu lahko predstavljajo točke, linije in ploskve ali njihova kombinacija.

Po Navodilih in normativih za izdelavo arhitektonskih posnetkov objektov kulturne dediščine (Simerl in Zupančič, 2002) morajo arhitektonski načrti zadostiti naslednjim pogojem:

- iz posnetkov mora biti možno odčitati gradbene faze objektov, kar ni pomembno samo za spoznavanje zgodovine spomenika, ampak tudi za načrtovanje gradbeno – restavratorskih posegov;
- posnetki morajo biti osnova za kartiranje poškodb, stikov gradbenih faz, rezultatov restavratorskih raziskav, raziskav o uporabljenih materialih za gradnjo in opremo ter drugih rezultatov inventarizacije spomenika;
- posnetki morajo vsebovati vse podatke, potrebne za izdelavo projektov za gradbeno restavratorska, obrtniško – restavratorska in restavratorska dela, kakor tudi za projektiranje vseh potrebnih instalacij ter opreme;
- posnetki morajo vsebovati dovolj podatkov za izdelavo popisov in predračunov za izvedbo pridobivanja ponudb za posege v spomenikih tudi v primerih, ko izvajamo delne posege.

Izbrano merilo meritev določa stopnjo podrobnosti oz. razpoznavnosti (angl. level of detail, LOD) in pričakovano natančnost. Stopnja podrobnosti se nanaša na gostoto informacij, natančnost pa na zmožnost prepoznavanja podrobnosti oz. detajlov iz izmerjenih točk. Pri velikih merilih, kot je 1:10 ali 1:20, je prikazanih več detajlov kot pri malih merilih, kot je npr. 1:50 ali 1:100. Razlika med stopnjo podrobnosti je nazorno razvidna s primerjavo med slikama 5.4 in 5.5, ki prikazujeta običajen arhitektonski načrt in detajlni arhitektonski načrt.

Pri detajlnih arhitektonskih načrtih se poleg osnovnih arhitekturnih elementov prikažejo še (Bryan in sod., 2009):

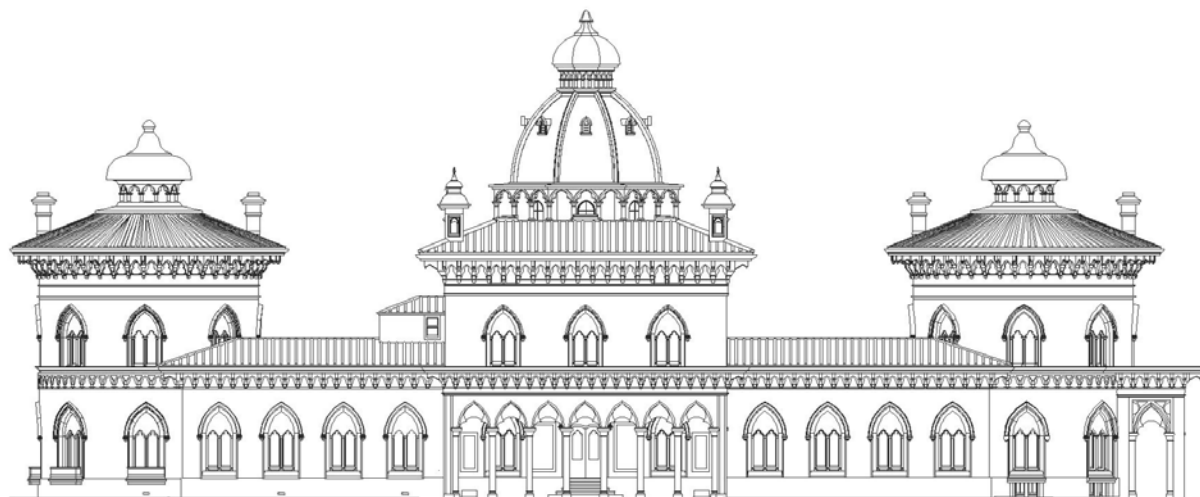
- o vratni podboji, prag, tečaji ipd.,
- o celotna struktura okenskih okvirov in okraši,
- o ročno obdelani kamniti pojavi,
- o obodni kamniti bloki ter spoji med kamnom in malto, če so vidni,
- o klesanci, obdelan kamen in lomljenci,
- o arhitekturni fragmenti,
- o zidni ornamenti,
- o značilnosti v kamnu, kot so luknje in razpoke.

Standardni tip linije arhitekturnih elementov za izris je zvezna, neprekinjena polna črna linija s širino 18 mm (Bryan in sod., 2009), kar pri merilu 1:50 znaša 9 mm v naravi, pri merilu 1:20 4 mm, pri merilu 1:10 pa 2 mm.

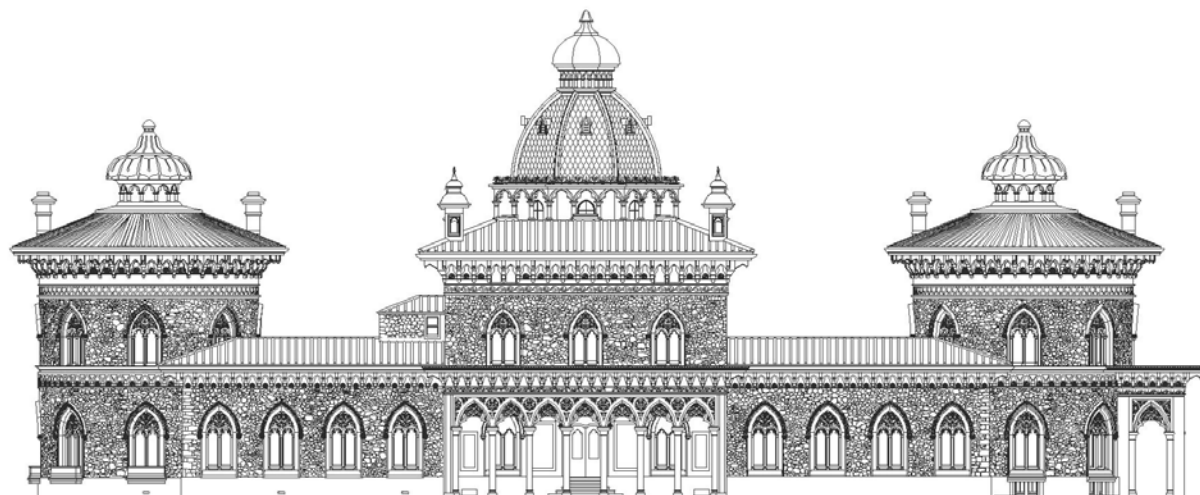
Obrisi detajlov se prikažejo s polno črto. Črtkana linija se uporablja pri risanju oblik, kjer je rob pojava lahko (Bryan in sod., 2009):

- erodiran oz. preperel pojav z dolžino vsaj 20 mm,
- nejasen potek linije, ki se predvideva ali
- pojav, zakrit z neko površino (npr.: vegetacijo).

Besedilo se na načrtih uporablja le takrat, kadar potrebnih informacij ni mogoče prikazati kot grafični del risbe. Priporočljiva velikost teksta je 2 mm (Bryan in sod., 2009).



Slika 5.4: Arhitektonski načrt (Artescan, 2011)



Slika 5.5: Detajlni arhitektonski načrt (Artescan, 2011)

5.2.1.2 Tlorisni načrt

Tlorisni načrt je horizontalni prerez objekta, ki je izbran tako, da so prikazana okna, vrata, niše, line, ..., kar je po navadi 1 m nad talnim nivojem: kleti, pritličja, medetaže, nadstropja, ..., ostrešja, strehe (Simerl in Zupančič, 2002).

Po Navodilih in normativih za izdelavo arhitektonskih posnetkov objektov kulturne dediščine (Simerl in Zupančič, 2002) se na tlorisnem načrtu prikažejo:

- nosilne konstrukcijske stene, predelni zidovi, sekundarne predelne stene (lesene, ...);
- vse odprtine (vrata, okna prehodi, niše, line, ...) in če imajo le-te ločne preklade, morajo biti označene z zvrnjenimi loki v obliki konstrukcije;
- sistemi vrat in oken (kasetna, okvirna, ...);
- vsi vratni pragovi in njihove višine;
- vsi kamniti detajli (portali, vratni okvirji, okenski okvirji, ...);
- vsi leseni detajli (portali, vratni okvirji, okenski okvirji, ...), ki naj bodo označeni s križem kot sohe;
- vse stopnice (če imajo nos, se mora označiti s črtkano linijo);
- označene preklade in nosilci (oproge) z zvrnjenimi loki, če so ločne konstrukcije;
- oboki z zvrnjenimi loki v obliki njihove konstrukcije (banje, šilasti, eliptični, segmentni, križni oboki, češke kape, koritasti obok, ...);
- tlorisna projekcija sozvodnic z njihovo zvrnjeno konstrukcijsko obliko (banjaste, šilaste, eliptične, segmentne, ...);
- tlorisna projekcija nosilnih nosilnih reber obokov in njihovi zvrnjeni konstrukcijski loki;
- označene morajo biti tlorisne projekcije stropnih štukatur, štukaturnih robov in vencev.

Priporočljivo in hkrati tudi najpogostejše je tlorisni načrt orientiran proti severu, razen v primeru, ko se objekt čim bolj prilagodi formatu končnega izdelka. Slednje je smiselno zaradi preglednosti in ekonomičnosti. V obeh primerih mora biti na načrtu znak za smer severa.

Po Navodilih in normativih za izdelavo arhitektonskih posnetkov objektov kulturne dediščine (Simerl in Zupančič, 2002) se kotirajo:

- zunanje in notranje kote s seštetimi skupnimi dolžinami,
- kote diagonal prostorov in dvorišč,
- svetle širine, višine in globine vseh odprtin (okna, vrata, prehodi, niše, line, ...),
- višine vseh pragov, stopnic, parapetov,
- debeline notranjih in zunanjih polic,

- višine vseh prostorov in
- relativne višinske kote.

Način kotiranja je definiran s standardom SIST ISO 129. Kotirajo se samo vidni robovi.

Poleg merskih podatkov je potrebno v načrte vnesti enotno označitev (oštevilčenje) posameznih prostorov po etažah.

5.2.1.3 Ortofoto

Ortofoto (tudi ortofotografija, ortopodoba; angl. orthophotography) je digitalna fotografska podoba, transformirana v ortogonalno projekcijo z enotnim merilom. Ortopodoba je popravljena za morebitne napake, ki izhajajo iz nagiba fotoaparata glede na relief ali predmet, ter je ustrezno popravljena in v prostor postavljena podoba. Proces izdelave ortofota se imenuje rektifikacija oz. ortorektifikacija. Merilo je na celotni podobi enako in vsak piksel ima določeno mersko vrednost oz. prostorsko ločljivost. Kolikšna je priporočljiva prostorska ločljivost ortofota glede na izbrano merilo, prikazuje preglednica 5.3, ki je povzeta po priporočilih English Heritage (Bryan in sod., 2009). Geometrijsko pravilen prikaz vsebine in enotno merilo ortofota uporabnikom omogoča merjenje razdalj, izračun površine in geografsko lociranje.

Preglednica 5.3: Prostorska ločljivost ortofota glede na merilo (Bryan in sod., 2009)

Merilo	Prostorska ločljivost ortofota
1:50	največ 5,0 mm
1:20	največ 3,0 mm
1:10	največ 1,0 mm

Primer digitalnega posnetka in ortopodobe fasade sprednje stranice stavbe je prikazan na sliki 5.6.



Slika 5.6: Digitalni posnetek (levo) in ortofoto (desno) (Hanke in Grussenmeyer, 2002)

Pri izdelavi popolnega ortofota je po ortorektifikaciji posnetkov potrebno identificirati še zakrita območja, barvno uskladiti posnetke, iz njih izdelati mozaik ter na stikih čim bolj uskladiti stične linije. Postopek je podrobneje opisan v Riđić (2012).

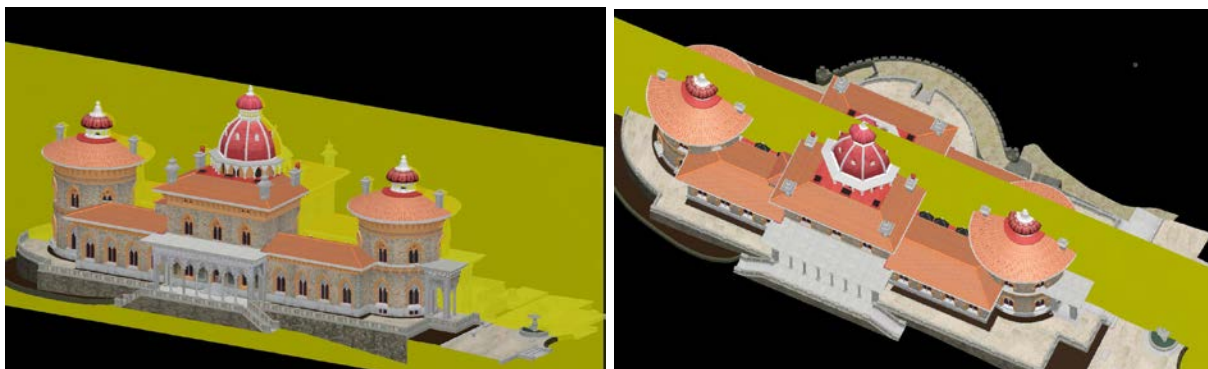
5.2.1.4 Prerez

Prerez nastane s presekom vertikalne ravnine pojava ali objekta. Karakteristični prerezi so potrebni za celotno definicijo konstrukcij.

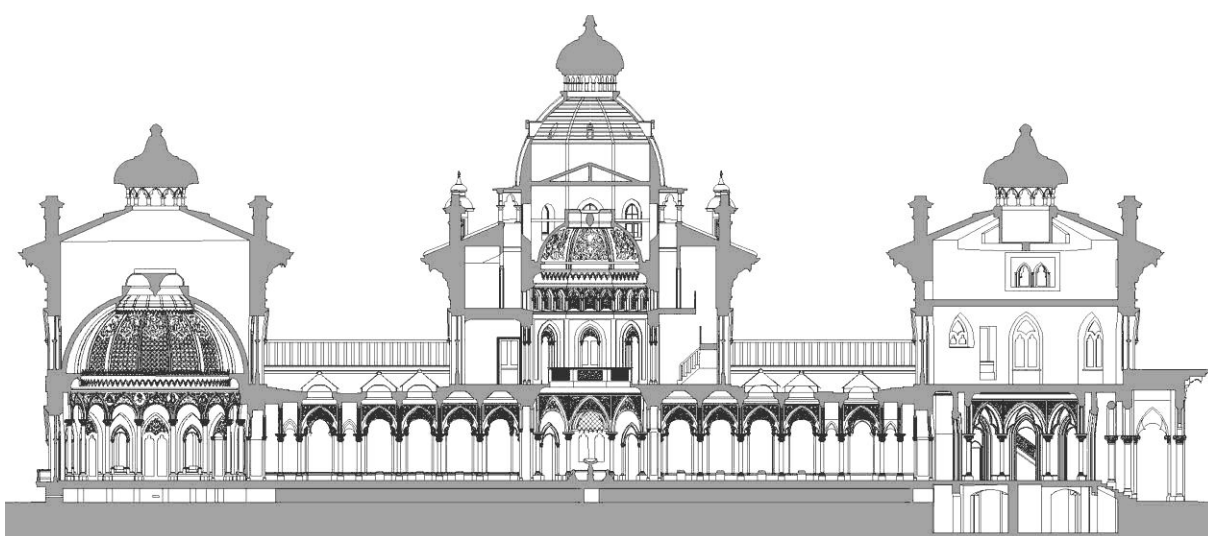
Po Navodilih in normativih za izdelavo arhitektonskih posnetkov objektov kulturne dediščine (Simerl in Zupančič, 2002) morajo prerezi zadostiti naslednjim pogojem:

- prerezna linija mora rezati čim več odprtin, ki morajo biti kotirane s svetlimi višinami ter zunanji in notranji parapeti (prerezne linije morajo biti označene v tlorisih);
- etaže morajo biti opremljene z relativnimi višinskimi kotami;
- v prerezu ostrešja mora biti ves konstrukcijski les označen z dimenzijami in njihove vertikalne pozicije osno kotirane;
- v pogledih mora biti vrisano vse, kar je vidno (vrata, okna, niše, oboki, sozvodnice, štukaturni robovi, venci, ...).

Primer prereza 3D modela z izbrano ravnino je prikazan na sliki 5.7, pripadajoče linije v presečni ravnini pa na sliki 5.8.



Slika 5.7: Prikaz 3D modela palače Monserrate in prerezne ravnine pri prostorskem pogledu iz strani (levo) in od zgoraj (desno) (Artescan, 2011)



Slika 5.8: Prerezne linije (Artescan, 2011)

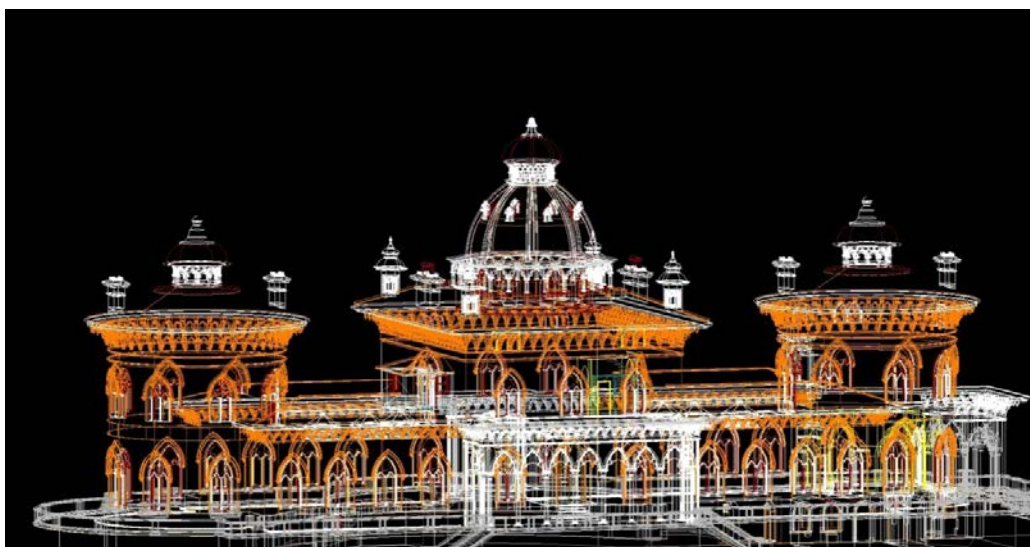
5.2.5 3D dokumentiranje

5.2.5.1 CAD-ovi izdelki

CAD-ova orodja, kot je npr. AutoCAD, omogočajo različne oblike predstavitve obravnavanega objekta. Za izbiro koordinatnega sistema sta dovoljena tako uporabnikov koordinatni sistem (UCS – user co-ordinate system) kot tudi svetovni koordinatni sistem (WCS – world co-ordinate system). Pri svetovnem koordinatnem sistemu je objekt običajno vpet v državni ali globalni koordinatni sistem, pri uporabnikovem koordinatnem sistemu pa je koordinatni sistem prilagojen glede na želen pogled. Običajno je izhodišče takega koordinatnega sistema postavljeno v ravnino želene predstavitve objekta, kjer y-os predstavlja dejanske nadmorske višine.

V Navodilih in normativih za izdelavo arhitektonskih posnetkov objektov kulturne dediščine (2002) je predpisano, kako je potrebno organizirati ravnine oz. layerje v CAD-ovi datoteki. Slednje je navedeno v preglednici 5.4, ki prikazuje katere ravnine je potrebno uporabiti, kaj se na tej ravnini nahaja ter kakšno debelino, barvo in tip črte je potrebno uporabiti na tej ravnini.

Primer prostorskih (3D) polilinijskega objekta kulturne dediščine v CAD-ovem programu, je prikazan na sliki 5.9.



Slika 5.9: 3D CAD model palače Monserrate (Artescan, 2011)

Preglednica 5.4: Organizacija CAD-ove risbe (Simerl in Zupančič, 2002)

Ravnine (layerji)	barva	črta	debelina [mm]
TLORIS-KONSTRUKCIJA vsi prerezani zidovi (konstrukcijski in nekonstrukcijski), portali in okenski okvirji	črna	polna	0,7
TLORIS vsi vidni in nevidni robovi v pogledu (stopnice, neprerezani zidovi, ...)	zelena	vidni robovi: polna; nevidni robovi: črtkana	0,15
PREREZ-KONSTRUKCIJA vsi prerezani zidovi (konstrukcijski in nekonstrukcijski), portali in okenski okvirji	črna	polna	0,7
PREREZ vsi vidni in nevidni robovi v pogledu (stopnice, neprerezani zidovi, strešna konstrukcija, ...)	zelena	vidni robovi: polna; nevidni robovi: črtkana	0,15
OBOKI vse zvrnjene konstrukcije obokov (banje, eliptični, segmentni, koritasti oboki, češke kape, ...), tlorisna projekcija sozvodnic z zvrnjeno ločno konstrukcijo, tlorisna projekcija nosilnih obočnih reber z zvrnjeno ločno konstrukcijo	rožnata	črtkana	0,13
ŠTUKATURE tlorisne projekcije stropnih štukatur, štukaturnih robov in vencev	svetlo modra	polna	0,13
ŠRAFURE šrafure za označevanje konstrukcijskih materialov kot se običajno uporabljajo v gradbeništvu	temno modra	pikčasta	0,09
STAVBNO POHIŠTVO vso stavbno pohištvo (okna, vrata, ...) tako v tlorisnih ravninah, kakor tudi v prerezi	9	polna	0,15
OPISI vsi opisi in pojasnila v risbah	rdeča	polna	0,2
KOTE vse kote tako v tlorisni ravnini, kakor tudi v prerezi	8	polna	0,09
FASADE vsi robovi fasad	zelena	polna	0,15

CAD računalniški programi so programi za tehnično risanje in konstruiranje. Uporaba CAD programov omogoča kvalitetnejši način izrisovanja in uporabe načrtov. Objekt se računalniško izriše v merilu 1:1 in tiska v kakršnem koli merilu z izbranimi vsebinami. S tem se poveča racionalnost in kvaliteta dela (Simerl in Zupančič, 2002).

5.2.5.2 3D model

Model je splošen pojem za predstavitev pojavov ali objektov na razumljiv način. Vsebina 3D modela je v veliki meri odvisna od namena uporabe. V varstvu kulturne dediščine 3D modeli prikazujejo obstoječe stanje, v primeru rekonstrukcije pa preteklo stanje pojavov ali objektov.

V osnovi 3D modele delimo na tri razrede:

- žični model (angl. wireframe model),
- ploskovni model (angl. surface model)
- volumski model (angl. solid model)

Žični model (tudi skeletni model) je definiran z vozlišči in robovi, ki povezujejo te točke. Robovi določajo zasnovo objekta. Pri žičnih modelih se za ploskve največkrat uporabljajo pravokotna mreža, mreža nepravilnih trikotnikov ali hibridna struktura.

V varstvu kulturne dediščine je pri žičnem modelu najprimernejša uporaba **mreže nepravilnih trikotnikov** (angl. Triangulated Irregular Network, TIN), saj bolj detajlno prikazuje pojave kot pravokotna mreža. TIN nastane s povezavo treh sosednjih vozlišč. Pri enostavnih objektih je prednost žičnega modela ta, da lahko vidimo skozi model pri kateremkoli pogledu. Slabost modela nastane pri kompleksnih objektih, saj je berljivost otežena.

Ploskovni model je žični model, ki je renderiran oziroma »oblečen« s ploskvami. Z vektorji normale je podana usmerjenost ploskev. Ploskve se lahko senči in se jim skrivajo robove. S takim modelom dobi uporabnik boljšo predstavo o modelu.

Volumski model je najbolj izpopolnjen model, zgrajen z akumulativnim ali proizvodnim modeliranjem. Pri volumskem modelu ima objekt sklenjen zunanji izgled in zaprto notranjost. Za topološko sestavo oboda je izjemno pomembna orientacija vsake njegove robne ploskve.

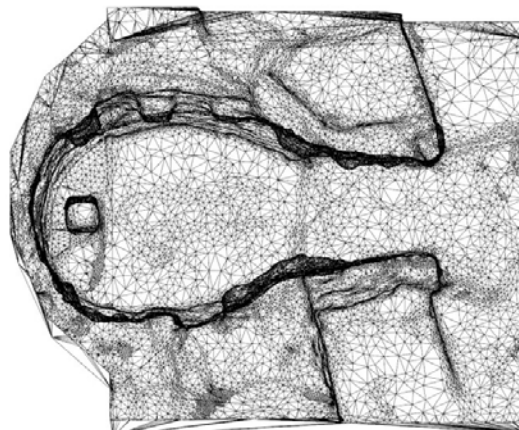
V kolikor na ploskve 3D modela nanese mo rastrske sloje, dobimo **teksturiran 3D model**, če pa za teksturo uporabimo fotografije, dobimo **fotorealističen 3D model**, ki je podrobneje opisan v nadaljevanju.

Primer teksturiranega 3D modela je na sliki 5.11, kjer so za teksturo uporabljeni materiali. Na sliki 5.10 je prikazan mrežni model (2), volumski 3D model (3) in fotorealističen 3D model (4)

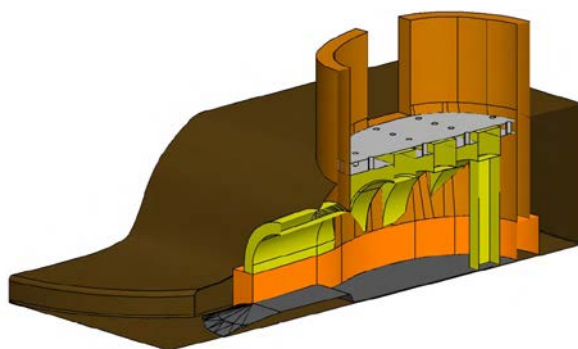
istega objekta. Za lažjo primerjavo je priložena še fotografija (1). Gre za dediščino peči Quinta do Rouxinol.



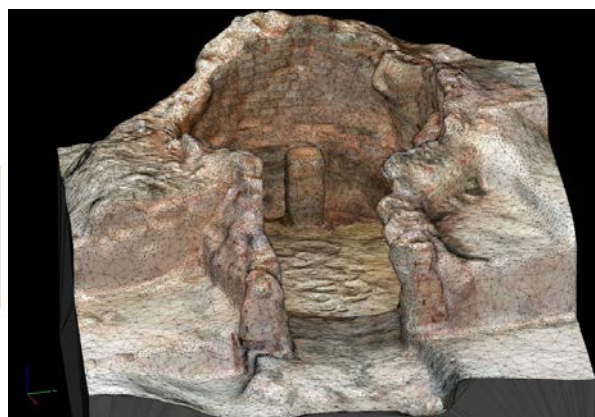
(1)



(2)



(3)



(4)

Slika 5.10: (1) Fotografija rimske peči Quinta do Rouxinol, (2) njen mrežni model, (3) volumski 3D model in (4) fotorealističen 3D model (Artescan, 2011)



Slika 5.11: Teksturiran 3D model palače Monserate (Artescan, 2011)

5.2.5.3 Fotorealističen 3D model

Sam 3D model zagotavlja pravilne geometrijske dimenzije. Če na površino 3D modela nanesemo fotografije, dobimo **fotorealističen 3D model** (tudi foto-teksturiran 3D model), ki je na področju varstva kulturne dediščine dobro sprejet. Iz njega lahko ekstrahiramo robove, oblike in obrise detajlov, identificiramo oz. prepoznamo objekte, klasificiramo površje, vizualiziramo obravnavano področje ter uporabimo za dokumentacijske potrebe.

Kadar je potrebno izdelati fotorealističen 3D model, moramo objekt, iz katerega smo izdelali model, poslikati. Z integracijo terestričnega laserskega skeniranja in fotogrametrije je delo pospešeno, če ima skener vgrajeno ali priloženo kamero. V tem primeru so orientacijski parametri kamere v odnosu s skenerjem natančno znani, kar omogoča samodejno teksturiranje 3D modela z izbranimi posnetki kamere. Pri teksturiranju morajo biti ploskve pravilno orientirane, sicer je nanos onemogočen.

Vključitev teksture na 3D model poveča zmožnost vizualizacije in razumevanja 3D modela ter njegovih gradnikov. Na fotografijah so vidni način gradnje, prezidave, zazidane odprtine in vdolbine, fuge, možen je pregled polnil ...

Pravilno foto-teksturiranje zahteva uravnavanje prevelike ali premajhne osvetlitve ter preprečevanje senc. Zakrita območja, ki se pojavljajo na enem posnetku, je potrebno zapolniti s posnetki iz drugega zornega kota. Radiometrične lastnosti podob je potrebno skrbno uravnovežiti, njihova prostorska ločljivost pa naj bo boljša od intervala skeniranja.

Uporabnost fotorealističnega 3D modela je zelo široka: metrična poročila, monitoring kamnitih površin, analiza poškodb; možnost izdelave HD filmov, virtualne rekonstrukcije, interaktivni muzej, natis za razne analize ali dokumentiranje, ...

5.2.6 Ostali izdelki

5.2.6.1 Virtualna rekonstrukcija

Rekonstrukcija je v konservatorstvu ponovna »zgraditev« manjkajočega (dela) objekta v izbrani razvojni fazi. Rekonstrukcija je mogoča predvsem takrat, kadar razpolagamo s popolno dokumentacijo o stanju, kot na primer ob nastanku, pred uničenjem ali poškodbo pomembnejše stavbne dediščine. Gradbena zakonodaja navaja rekonstrukcijo kot spreminjanje tehničnih značilnosti stavbe in prilagajanje stavbe spremenjeni namembnosti, medtem ko naj se ne bi bistveno spreminjala njena velikost in zunanji izgled (ZVKDS, 2012).

5.2.6.2 Animacija

Programi za 3D-modeliranje običajno omogočajo izdelavo animacije, točneje računalniške animacije. Animacija je iluzija gibanja, ki jo dosežemo s hitrim prikazovanjem slik. Vsaka slika je nekoliko drugačna od predhodne. Običajno se posname od 12 do 24 slik na sekundo, kar človeški možgani zaznajo kot zvezno premikanje (Wikipedia, 2012).

Animirani prikazi se tvorijo na podlagi 3D modela in izbrane poti po, skozi ali preko modela. Preleti 3D modela omogočajo privlačno vizualizacijo objekta ter dajejo občutek avtostereoskopije⁴. Animacija lahko poteka po izbrani ravni liniji ali krivulji, lahko krožimo okoli izbrane točke ali pa je kombinacija naštetega. Animacija lahko posnema človeku naravno gibanje (sprehod, vožnja, prelet), lahko pa prikazuje povsem nestvarne prizore ali simulirano gibanje. Video zapis se običajno shrani kot datoteko s končnico avi, lahko pa tudi kot datoteko s končnico mov ali mpeg.

5.2.6.3 Dokumentiranje poškodb

Izčrpna dokumentacija o propadanju naravnega kamna in veziva je ključnega pomena na področju ohranjanja objektov kulturne dediščine. Razpadanje naravnega kamna kot manifestacije preperevanja je naraven odziv sestavin kamnine na razmere v okolici, ki zajemajo atmosferske spremembe, antropogene dejavnike in vpliv živega sveta. Pojem »oblika propadanja« se uporablja za vidno propadanje kamnin (rang cm–m). Dokumentiranje makroskopskih sprememb oziroma karakterizacija, kvantifikacija in interpretacija oblik propadanja naravnega kamna na določenem objektu je eden osnovnih korakov pred restavratorsko-konservatorskim posegom (Kramar in Mirtič, 2010). Dosledno dokumentiranje

⁴ Avtostereoskopija je 3D učinek brez očal.

poškodb na področju ohranjanja objektov kulturne dediščine se ne nanaša le na naravni kamen, temveč tudi na druge materiale (opeka, les, ...).

Po Kramar in Mirtič (2010) je podan pregled skupin in glavnih oblik propadanja naravnega kamna, ki je prirejen po nemški klasifikacijski shemi, na podlagi katere se klasificirajo posamezne oblike propadanja.

- 1. skupina »**Odpadanje delov kamnine**« se deli na:
 - a) odpadanje površinskih plasti kamnine,
 - b) nastanek reliefa in
 - c) odlom.
- 2. skupina »**Sprememba barve in odlaganje materiala**« se deli na:
 - a) spremembo barve,
 - b) odlaganje materiala v obliki tankih plasti na površini kamnine,
 - c) nevezane usedline soli na površini kamnine,
 - č) obloge,
 - d) otrdevanje površine in
 - e) zaraščanje površine kamnine z vegetacijo.
- 3. skupina »**Odstopanje površine kamnine**« se deli na:
 - a) zrnato razpadanje materiala na površini kamnine,
 - b) drobljenje,
 - c) luščenje,
 - č) napihovanje,
 - d) konturno luščenje,
 - e) razslojevanje in
 - f) odstopanje skorij.
- 4. Skupina »**Razpoke in deformacije**« se delijo na:
 - a) razpoke,
 - b) zlomi in
 - c) deformacije.

Posamezne oblike propadanja so podrobneje predstavljene v Kramar in Mirtič (2010). Klasifikacija omogoča kartiranje posameznih oblik propadanja na objektu, ki jih označimo z ustreznim grafičnim simbolom in razdelimo po glavnih oblikah propadanja in po skupinah. Grafični prikaz zato omogoča takojšnjo oceno stopnje poškodb na določenem objektu. Na podlagi litološkega kartiranja na objektu lahko točno razberemo, kateri tipi oblik propadanja se pojavljajo na posamezni kamnini. Poleg tega lahko ugotovimo, kje je največja stopnja poškodb in kateri del spomenika je najbolj poškodovan (Kramar in Mirtič, 2010).

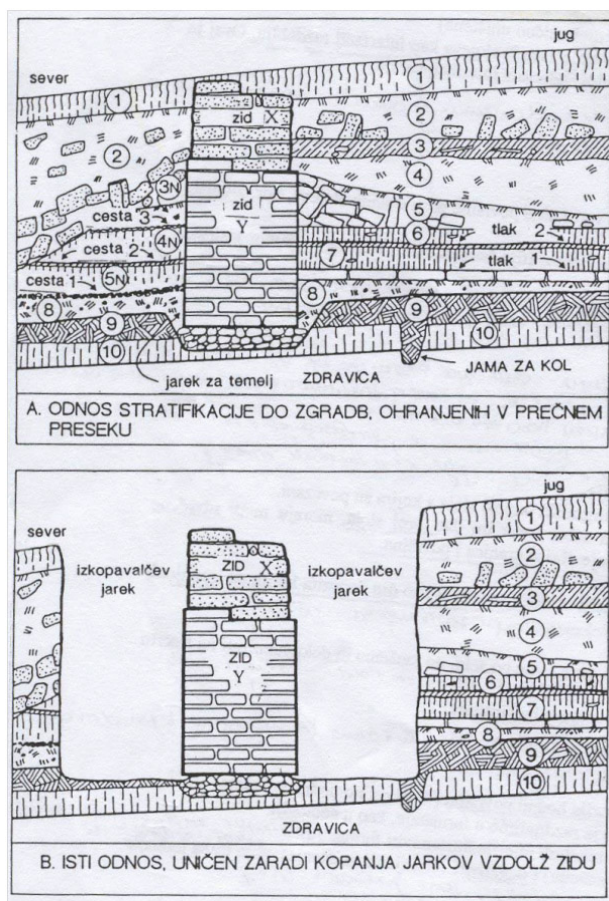
5.2.6.4 Dokumentiranje gradbenih faz

Gradbene faze prikazujejo razčlenitev izgradnje objekta po principu rasti objekta. Na področju kastelologije se pogosto uporablja izraz **stavbni razvoj**, ki prikazuje dograditve v določenem časovnem obdobju. Klasifikacija prikazov je pogosto razdeljena na zgodovinska časovna obdobja ali na stoletja. Primeri stavbnega razvoja so prikazani na sliki 2.12 (grad Podsreda), 2.13 (grad Celje), 2.15 (grad Rihemberk), 6.1 (grad Lož). Nepisano pravilo teh prikazov temelji na načelu »od temnejšega do svetlejšega«, kar pomeni, da so najstarejši deli objekta prikazani z najtemnejšo šrafuro ali barvnim odtenkom. Tovrstni prikazi so običajno enostavni, pregledni in posplošeni. Prav zaradi posploševanja ali premalo natančne dokumentacije so zakrite določene podrobnosti. Tako se lahko pojavi, da so na primer na romanski zidani stranici v baroku napravili le prezidavo okna, to pa ni vidno v kartografskem prikazu. Za natančnejše proučevanje grajenih objektov kulturne dediščine je smiselni strukturni pregled in stavbna analiza, ki jo je mogoče razložiti kot arheološko opazovanje in dokumentiranje zidanih oz. grajenih struktur.

Izraz arheološka dokumentacija se nanaša na vse specifične dejavnosti, katerih namen je beleženje podatkov o pojavih in pokazateljih materialnih ostalin, njihovih asociacij in kontekstov, pridobljenih z arheološkimi metodami preiskave z namenom pridobivanja podatkov in znanja o človeku in njegovih aktivnosti v preteklosti. Arheološka stratigrafija (tudi stratigrafski zapis) je arheološki znanstveni opis antropogenih procesov nastajanja in oblikovanja arheoloških depozitov (plasti, struktur in drugih elementov stratigrafije) (Novaković in sod., 2007). V prečnem profilu je na sliki 5.12 prikazan primer odnosa stratifikacije do zgradb.

Strukturni pregled in **stavbna analiza** sta terenska postopka za natančnejše določanje arheoloških vsebin stoječih struktur oziroma vseh drugih grajenih oblik (zidov, nasipov ipd.). Strukturni pregled sodi med neinvazivne⁵ oziroma šibko invazivne postopke, medtem ko stavbna analiza lahko vključuje tudi invazivne postopke. Namen strukturnega pregleda je ugotavljanje obstoja in oblik struktur na površini tal, ocena stanja ohranjenosti ter dokumentiranje struktur za potrebe zaščite (arheološke) dediščine oziroma za raziskave. Namen stavbne analize je preučitev gradbenih dejanj, elementov, procesov gradnje in uničenja opazovanega arhitekturnega spomenika v historičnem in tehničnem smislu (Novaković in sod., 2007). Primer strukturnega pregleda je prikazan na sliki 5.13.

⁵ Neinvazivna metoda je raziskovalni postopek, pri katerem se ne uniči ali poškoduje predmeta opazovanja.



Slika 5.12: Primer odnosa stratifikacije do zgradbe (Harris, 1989)



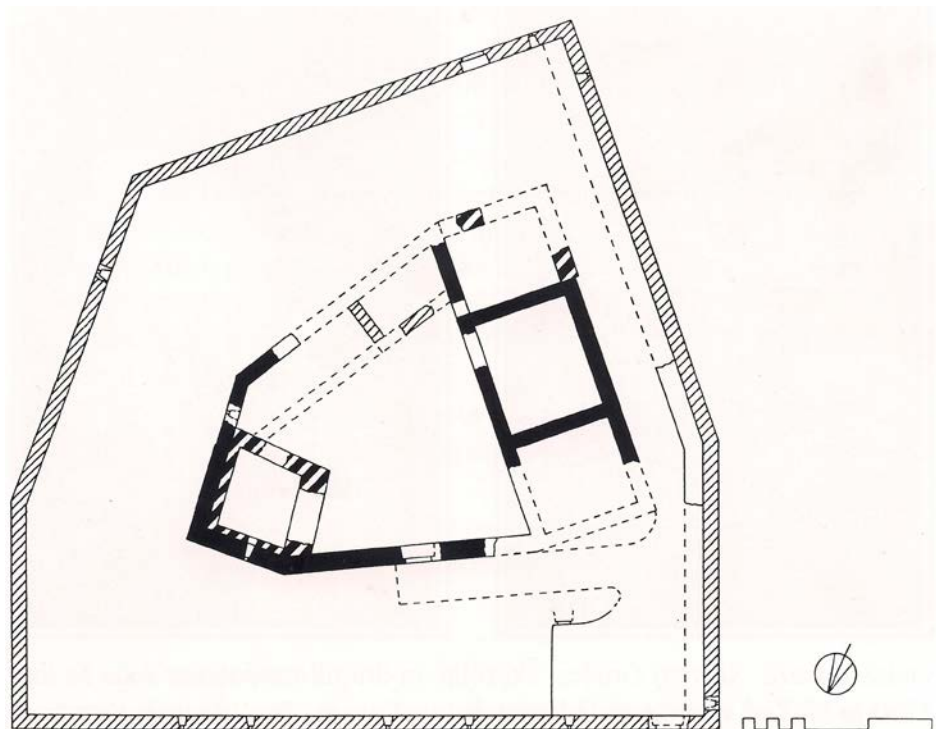
Slika 5.13: Primer strukturnega pregleda (Novaković, 2011)

6 NAPREDNO TEHNIČNO DOKUMENTIRANJE NA PRIMERU GRADU LOŽ

6.1 Grad Lož

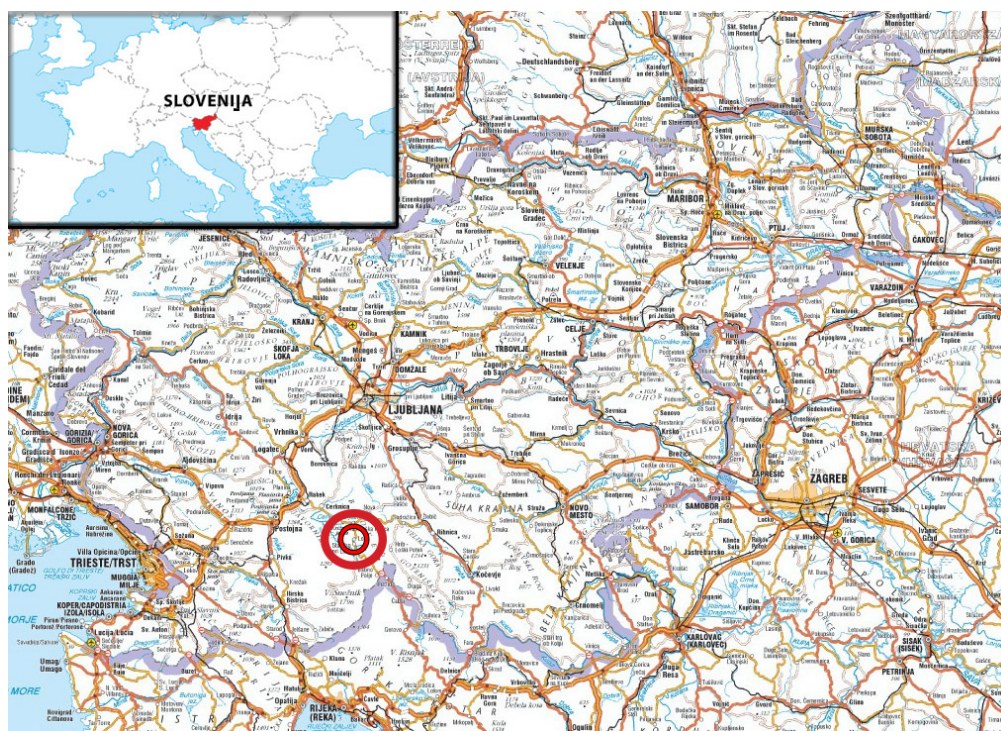
6.1.1 Opis grad Lož

Grad Lož se nahaja v Loški dolini vrh strme dominantne kope zahodno od naselja Lož (glej sliko 6.2 in sliko 6.3). Danes so od nekoč mogočne utrjene celote ohranjeni predvsem ostanki dvojnega obodnega zidovja. **Notranji obod** je pozidan na nepravilnem peterkotnem tlorisu, znotraj katerega je **grajsko jedro** »sestavljeno« z ostanki stanovanjske hiše oz. palacija in osrednjega grajskega obrambnega stolpa oz. bergfrida. Dostop v jedro vodi skozi fragmentarno ohranjen preprost polkrožen sklenjen romanski portal sredi zahodne stranice. **Obodno zidovje jedra** je pozidano iz lepo obdelanih klad sivega apnenca, pri katerem so vogali še posebej skrbno obdelani. Klesanci so zloženi v pravilne vrste, kar je značilno za romansko gradnjo. **Bergfrid**, ki še sega do višine drugega nadstropja, so sekundarno prislonili k starejšemu obodnemu zidovju. Vhod v stolp ni ohranjen in notranjščina je deloma zasuta. V zahodni steni bergfrida se je ohranila preprosta pravokotna ozka romanska svetlobna lina. **Palacij** je podrt skoraj do temeljev. Nekoč dolga pravokotna stanovanjska stavba je bila prečno predeljena na tri približno enake dele kot prikazuje slika 6.1 (Sapač, 2006).

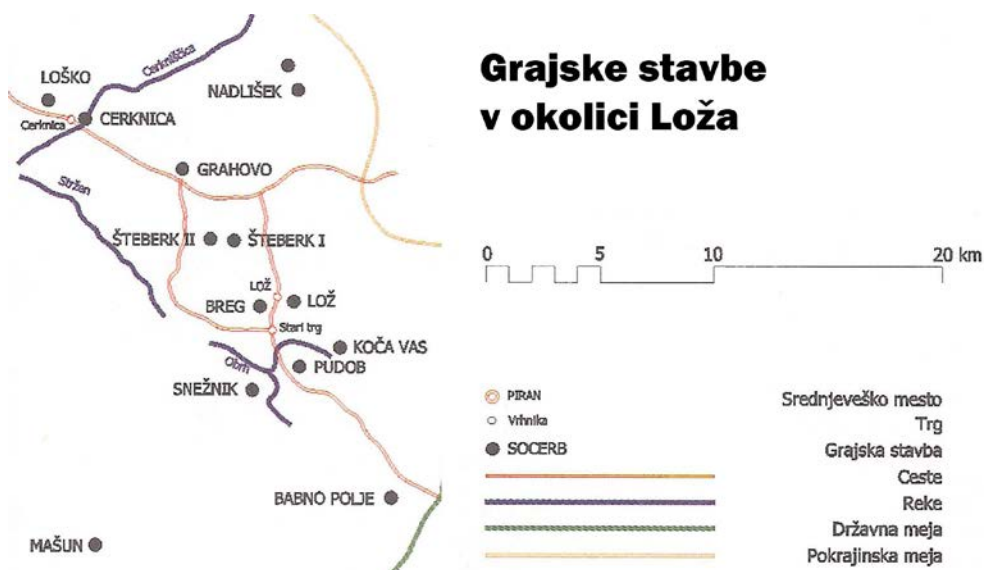


Slika 6.1: Tloris gradu z označenimi stavbnimi fazami; počrnjeno 12. stoletje, grobo šrafirano 13. stoletje, drobno šrafirano gotika (Sapač, 2006)

Ostanke romanskega grajskega jedra obdaja še razmeroma dobro ohranjeno visoko **zunanje obodno zidovje**, ki je pozidano na nepravilnem šesterokotnem tlorisu. Na vzhodni in zahodni strani obzidja sta obokana prehoda. V trdnem zidovju, pozidanem iz lomljenca, so ponekod ohranjene preproste strelne line in izlivnice za smolo. Na zgornjem delu zidovja, ki se na notranji strani stopničasto stanjša, so lepo prepoznavni poznejša nadzidava in sledovi zazidanih cin. Deloma zasut **obrambni jarek** na treh straneh obdaja zunanje obodno zidovje.



Slika 6.2: Lokacija naselja Lož



Slika 6.3: Grajske stavbe v okolici Loža (Sapač, 2006)

Grad Lož je registriran v Registru kulturne dediščine pod imenom »Lož – Razvaline gradu« z evidenčno številko dediščine EŠD 417, glej sliko 6.4.

OPIS ENOTE NEPREMIČNE KULTURNE DEDIŠČINE©	
IDENTIFIKACIJA ENOTE DEDIŠČINE	
Evidenčna številka enote:	417
Ime enote:	Lož - Razvaline gradu
OPIS ENOTE DEDIŠČINE	
Vrsta dediščine:	nepremična kulturna dediščina
Tip enote:	profana stavbna dediščina
Obseg enote:	objekt
Tipološka gesla enote:	grad, razvalina
Tekstualni opis enote:	Ruševine romanskega gradu, ki v 13. stol. dobi terenu prilagojeno nepravilno talno zasnovo, pravokotnemu palaciju se pridruži oddvojen diagonalno zasukan kvadratni stolp. Visoko zunanje obzidje iz 15. stol.
Datacija enote:	sredina 12. stol., 13. stol., 15. stol.
LOKACIJA ENOTE DEDIŠČINE	
Naselje:	LOŽ
Občina:	LOŠKA DOLINA
Lokacija:	Razvaljen grad stoji na vzpetini zahodno od Loža.
PRISTOJNOSTI	
Območna enota:	ZVKD Ljubljana

©Register kulturne dediščine

Slika 6.4: Izpis iz Registra kulturne dediščine (ZVKD-1, 2008)

6.1.2 Zgodovinski okvir gradu Lož

Loški grad je bil **od 12. stoletja** kot oglejski fevd v rokah grofov z Vovber. V gradu so živeli vovbrški ministeriali oz. gradiščani. Oglej leta **1244** loški grad prevzame v svoje roke. Tega leta se grad Lož prvič izrecno omenja v listinah kot *castrum Los*. Patriarh je za določen čas zaupal varstvo gradu enemu od loških ministerialov. V letih **pred 1301** in v letih **1306-1308** je grof Henrik Goriški ujel oglejskega gradiščana Hektorja in grad protipravno zasedel. Šele ko se je patriarh leta **1335** povezal s Habsburžani, so grofje pod grožnjo vrnili protipravno prisvojene fevde, a so jih že isto leto spet prejeli v fevd. Leta **1341** se je Ortenburžanom uspelo zasidrati v Ložu, vendar je grad z napadom leta **1343** zasedel Hans s Šteberka. Leta **1350** so Lož okupirali Habsburžani in porazili Oglejski patriarh. Lož je bil ponovno v rokah Ortenburžanov leta **1380**, ki so ga imeli kot navden fevd brez obvez do Ogleja. Po izumrtju Ortenburžanov leta **1420** so loški grad nasledili grofje Celjski. Leta **1460** je Lož prešel v habsburško posest po spopadih s celjskim vojskovodjem Janom Vitovcem. Habsburžani so gospoščino oddajali v zastavo. Kot zastavni gospodje se omenjajo **po letu 1460** Herman Ravbar, **sredi 16. stoletja** Hallerji, leta **1574** Karel Jurij Höfer, za njim pa Erazem Borše, Franc Scheyer, brata Krištof in Franc Moscon in nazadnje Volf Paradeiser, ki je s kupno pogodbo leta **1613** dobil gospoščino v polno last. Pozneje ga je imel v lasti Janez Krištof pl. Cronnegkh, ki ga je leta **1627** prodal Coraduzzijem, za njimi pa so bili lastniki Hallerji. Leta **1635** je loško gospoščino kupil kranjski deželni glavar knez Johann Anton Eggenberg in ga zaradi neudobnosti opustil, središče gospoščine pa preselil na grad Snežnik (Sapač, 2006).

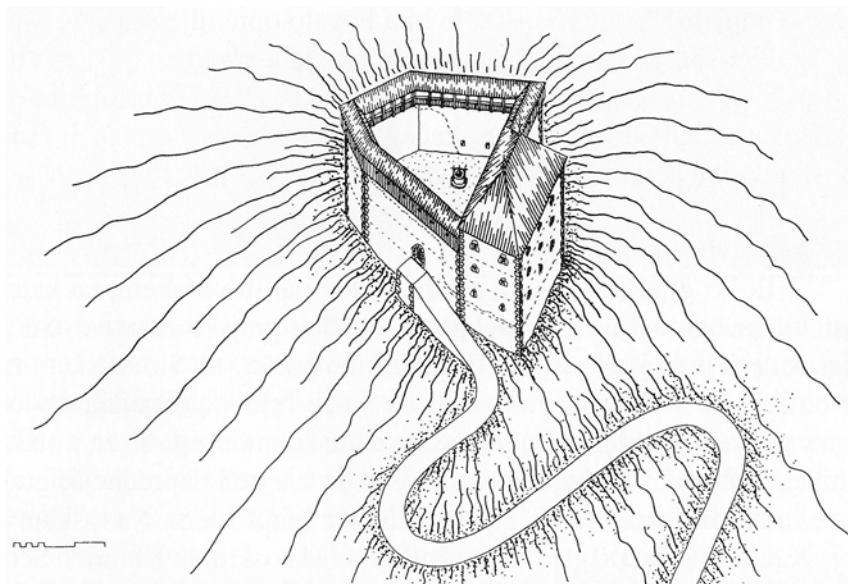
Grad Lož že od sredine 16. stoletja ni bil več stalno naseljen in je že počasi propadal. Njegovi zakupniki in lastniki so raje živeli na svojih drugih gradovih. Konec 17. stoletja je na Valvasorjevi upodobitvi mesta Lož grad že popolnoma razkrit in razvaljen. V 18. in 19. stoletju so si meščani Loža znotraj obzidanega grajskega kompleksa uredili vrtove, kar je prikazano na franciscejskem katastru iz leta 1825 (Sapač, 2006).

6.1.3 Stavbni razvoj

Grad Lož je eden prvih gradov na Slovenskem, na katerem so kastelologi ugotovili t. i. kastelno oz. obodno grajsko zasnovo, za katero je značilno obzidano dvorišče s palacijem in bergfridom. Prav ta značilnost daje loškemu gradu zgodovinsko vrednost, saj je eden redkih gradov na Kranjskem, ki je bil že v 12. stoletju zgrajen po vzoru renskih gradov z glavnim grajskim stolpom in palacijem (Sapač, 2006).

6.1.3.1 Stavbni razvoj – 1. faza

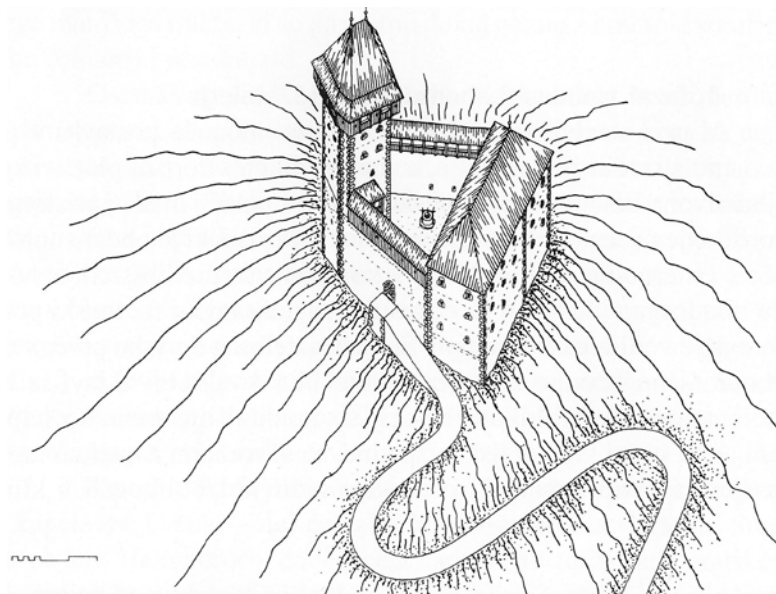
V prvi polovici ali na sredini 12. stoletja je »potekala« prva stavbna faza loškega gradu. Na izravnani pravokotni tlorisni ploskvi so zgradili najbrž dvonadstropno stanovanjsko stavbo oz. **palacij** na južni strani in nanj prislonjeno **obodno zidovje** v obliki nepravilnega trapezoidnega tlorisa, ki je obdajalo notranje dvorišče. Vhod v kompleks so uredili sredi zahodne stranice obodnega zidu skozi še danes deloma ohranjeni romanski portal. Še danes deloma do vrha prvega nadstropja ohranjeno obodno zidovje so izdelali v kvalitetni zidavi iz lepo obdelanih apnenčevih blokov (Sapač, 2006). Aksonometrična študija loškega gradu iz 12. stoletja je prikazana na sliki 6.5.



Slika 6.5: Grad Lož v 12. stoletju (Sapač, 2006)

6.1.3.2 Stavbni razvoj – 2. faza

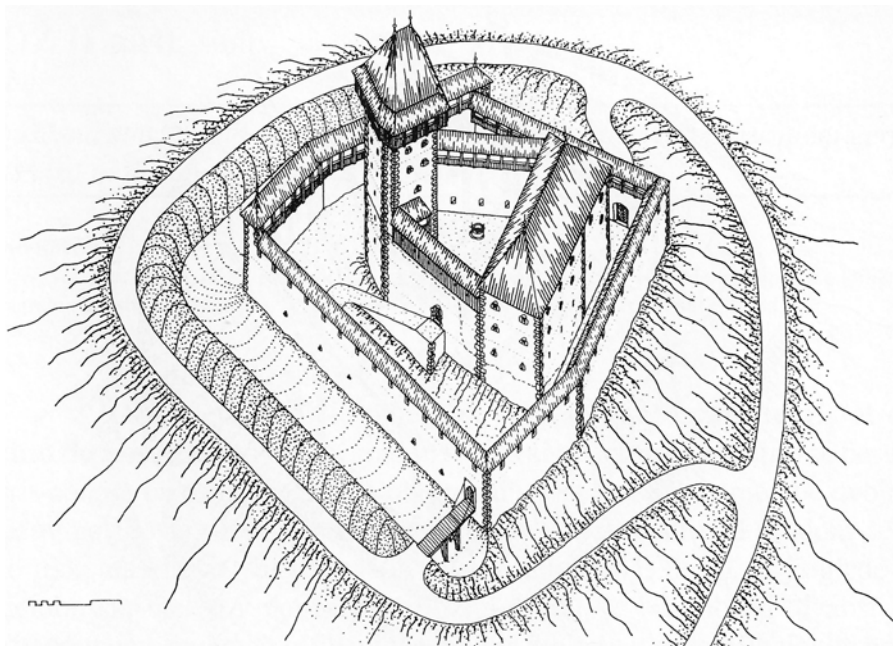
V drugi stavbni fazi so na začetku 13. stoletja pozidali mogočen obrambni stolp oz. **bergfrid**. Naslonili so ga na notranjo stran klinastega sklepa obodnega zidovja na izpostavljeni severni strani grajskega kompleksa. Obodno zidovje so na notranji strani še dodatno obzidali in tako omogočili nadzidavo za več nadstropij. Nekdanja višina bergfrida ni poznana, a glede na analogijo se domneva, da je za tri nadstropja presegal višino obodnega zidovja. Po vsej verjetnosti je vrh bergfrida bil opremljen z lesenim obrambnim hodnikom, t. i. hurdo (Sapač, 2006). Aksonometrične študije loškega gradu iz 13. stoletja je prikazana na sliki 6.6.



Slika 6.6: Grad Lož v 13. stoletju (Sapač, 2006)

6.1.3.3 Stavbni razvoj – 3. faza

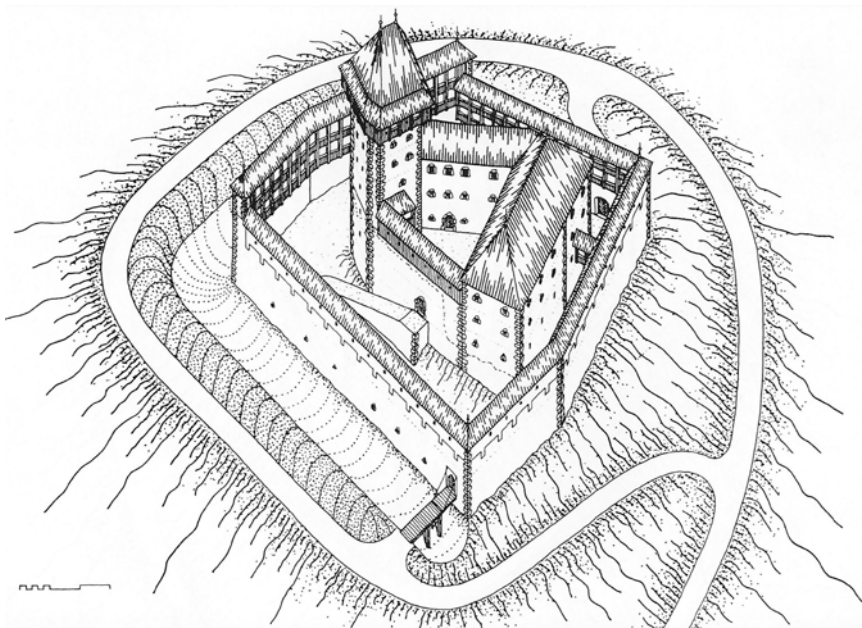
Obsežno in visoko **zunanje obrambno zidovje** s kvalitetno zidavo so pozidali že proti koncu 14. stoletja ali v prvi polovici 15. stoletja, kar je obdobje pred turškimi vpadi. To priča o pomembnosti o loškem gradu, saj jim je zelo zgodaj začelo primanjkovati prostora. Obzidje ni bilo zavarovano z obrambnimi stolpi, vanj pa sta kar z dveh strani vodila široka vhodna portala. Vrh je bil na vseh straneh opremljen z vencem cin in prsobranov. Izpostavljena severna stranica je za eno nadstropje presegala druge stranice. Dodatno so se zavarovali še z obrambnim jarkom (Sapač, 2006). Aksonometrične študije loškega gradu iz 15. stoletja je prikazana na sliki 6.7.



Slika 6.7: Grad Lož v 15. stoletju (Sapač, 2006)

6.1.3.4 Stavbni razvoj – 4. faza

V sklopu protiturškega utrjevanja so na loškem gradu **nadzidali zunanje obodno zidovje**. Najbrž se je 4. stavbna faza zgodila v prvi polovici 16. stoletja. Sledovi sekundarne nadzidave so še danes lepo vidni pri prekriti zidni kroni cin in prsobranov. Nadzidani deli zidov so slabše kvalitete od spodnjih delov in kažejo, da so jih gradili v precejšnji naglici (Sapač, 2006). Aksonometrične študije loškega gradu iz 15. stoletja je prikazana na sliki 6.8.



Slika 6.8: Grad Lož v 16. stoletju (Sapač, 2006)

6.2 Terenske meritve

6.2.1 Instrumentarij

- skener Trimble VX
- fotoaparati Fuji FinePix S7000
- GNSS antena Trimble R6

6.2.2 Opis izvedbe meritev

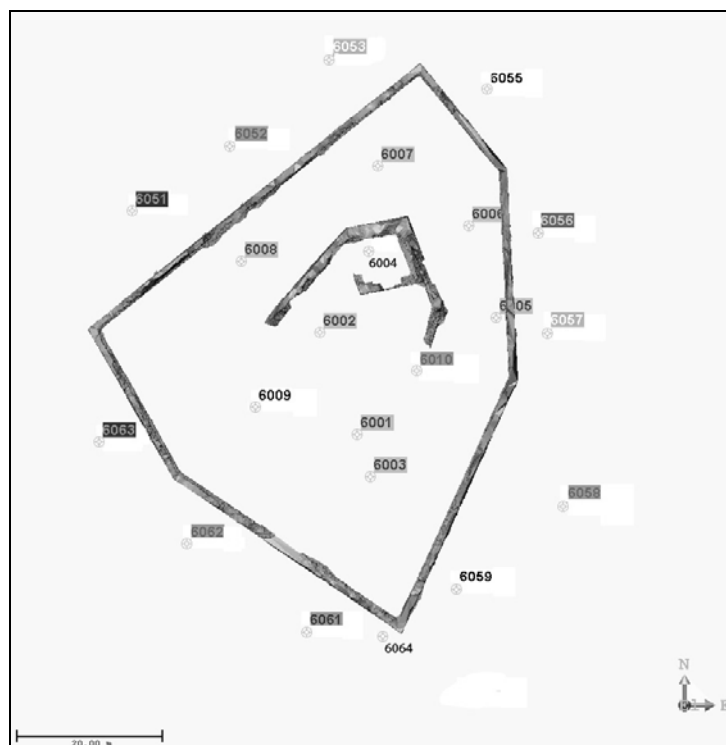
Z ekipo iz podjetja Grangeo sem s terestričnim laserskim skenerjem Trimble VX skeniral Loški grad z obzidjem. Terensko delo je potekalo v obdobju med aprilom in junijem leta 2009 ter je obsegalo 12 delovnih dni. Poleg geodetskih del smo morali očistiti tudi teren, da smo očistili vizuro pred skenerjem. Grad z okolico je bil zelo zaraščen, saj propada že več kot 300 let in se na njem ne izvršujejo vzdrževalna dela. Na območju gradu Lož smo očistili teren okrog objekta, vzpenjalk na zidovih pa nismo odstraniti, saj bi s tem lahko pospešili propadanje gradu.

S skenerjem je bilo zajetih več kot pol milijona točk (515.862). Od tega je bilo za notranji obod z grajskim jedrom zajetih okrog 220.000 točk (42% od celote), za kar je bilo uporabljenih sedem stojišč. Za zunanje obodno zidovje sem potreboval 18 stojišč, od tega 6 znotraj obzidja in 12 zunaj obzidja. Položaji stojišč so prikazani na sliki 6.9. Pri tem je potrebno dodati, da so bila štiri stojišča (6005, 6006, 6007, 6008) uporabljena tako za skeniranje zunanjega kot tudi notranjega oboda. Oblak točk obzidja obsega okrog 300.000 točk (58% od celote).

Grad je bil poskeniran z ločljivostjo 5 cm x 5 cm, obzidje pa z 8 cm x 8 cm. Posamezni detajli so se poskenirali bolj podrobno, običajno z ločljivostjo 2 cm x 2 cm ali 3 cm x 3 cm. Po vsakem skeniranju sem skenirano območje poslikal s kamero, ki je vgrajena v VX-u. Ločeno od skeniranja sem vse skenirane površine še dodatno poslikal z digitalnim zrcalnorefleksnim fotoaparatom Fuji FinePix S7000. Posnetke sem zajel čim bolj pravokotno na lica zidov.

Stojišča so bila izmerjena z GNSS metodo s centimetrovsko natančnostjo. Za stabilizacijo stojiščnih točk sem uporabili lesene količke z žeblički. Pred vsakim skeniranjem sem instrument VX centriral in horizontaliral nad znano točko ter ga orientiral na drugo znano točko. Pri orientaciji sem ob horizontalnem kotu izmeril še dolžino ter kontroliral odstopanje med izmerjeno dolžino in dolžino preračunano iz koordinat GNSS-točk. Odstopanje ni smelo

presežati $\pm 0,5$ cm po horizontalni in vertikalni smeri. Seveda je pri meritvi poševne dolžine bilo potrebno izmeriti še vertikalni kot ter višino inštrumenta in reflektorja. Pri orientaciji sem uporabil prisilno centriranje.



Slika 6.9: Pregled položajev stojišč

6.3 Obdelava oblaka točk

6.3.1 Priprava podatkov

Po končanih terenskih meritvah je potrebno obdelati podatke. V mojem primeru sem iz inštrumenta izvozil koordinate stojiščnih in orientacijskih točk (datoteka ASCII), skenograme iz posameznih stojišč (*.tsf) ter pripadajoče barvne posnetke (*.jpg), ki so bili zajeti z vgrajeno kamero. Datoteka *.tsf vsebuje specifičen zapis skenograma, v kateri so zapisane koordinate skeniranih točk ter pripadajoče vrednosti intenzitete odboja.

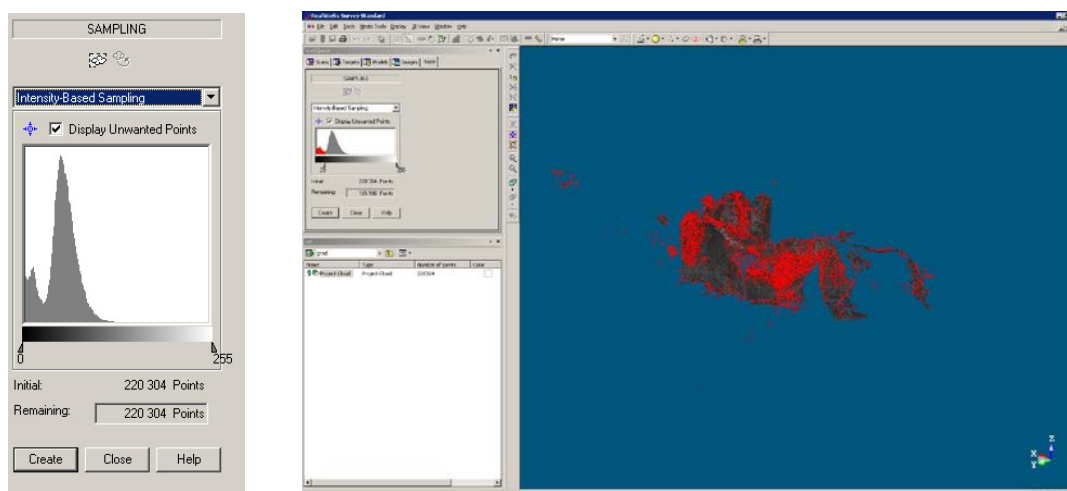
6.3.2 Orientacija oblaka točk

Podatke sem uvozil v programsko opremo RealWorks, ki je prilagojena za delo z oblakom točk in veliko količino podatkov. Skenograme posameznih stojišč ni bilo potrebno **registrirati oz. orientirati**, ker sem pri terenskih meritvah inštrument vpel ter ga orientiral na Gauss-

Krügerjev koordinatni sistem. Tako sem v Realworksu odprl oblak točk, pri katerem so točke že imele Gauss-Krügerjeve koordinate.

6.3.3 Segmentiranje in filtriranje oblaka točk

Pri obdelavi oblaka točka je potrebno odstraniti točke, ki niso zadele zelenega cilja, v mojem primeru zidov. Za lažjo in hitrejšo obdelavo sem celoten oblak točk **segmentiral** na oblak točk grajskega jedra in oblak točk zunanjega obzidja. Pri **filtriranju** točk sem odstranil tiste, pri katerih se je laserski žarek odbil od vegetacije in ostale, kjer laserski žarek ni zadel razvalin zidov. Avtomatsko sem odstranil vse točke z majhno intenziteto odboja laserskega žarka. Na podlagi histograma intenzitete odboja (glej levo sliko 6.10) sem kot šum identificiral točke z intenziteto odboja med 0 in 28. Na desni sliki 6.10 so z rdečo obarvane odstranjene točke grajskega jedra. Teoretično največja intenziteta odboja ima vrednost 255.



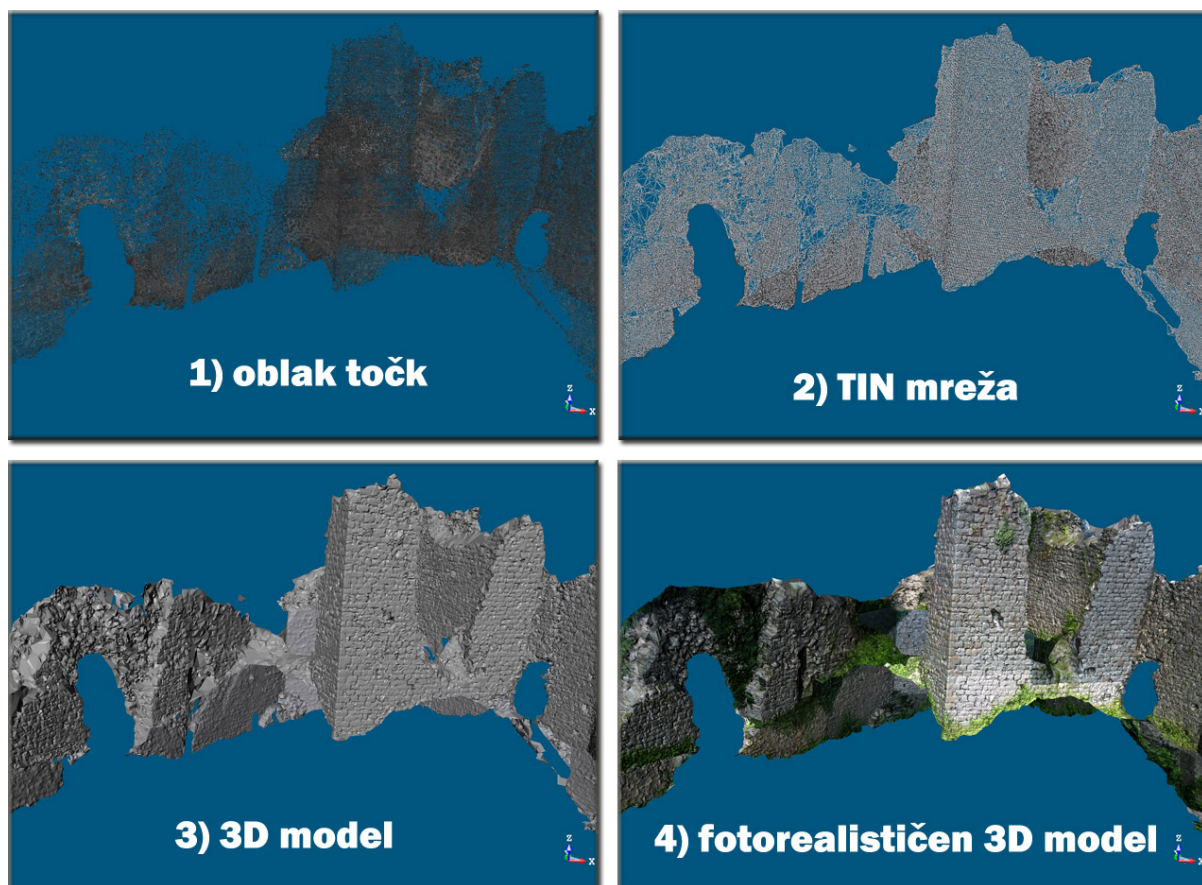
Slika 6.10: Histogram intenzitete odboja laserskega žarka (levo) in avtomatsko filtriranje šuma (desno)

Pri ročnem filtriranju oblaka točk sem si pomagal s posnetki vgrajene kamere, s pomočjo katerih je razvidno, kam so bili usmerjeni laserski žarki. Za lažje in hitrejšo odstranjevanje vegetacije sem uporabil pomožne ravnine, ki sem jih izračunal na vidnih licih stranic zidov z algoritmom najboljšega prileganja (*best fitting*).

6.4 Izgradnja fotorealističnega 3D modela

Filtriran oblak točk sem v RealWorksu trianguliral, kar pomeni, da sem sosednje točke med seboj povezal v mrežo nepravilnih trikotnikov (triangulated irregular network - TIN). Pri izbiri projekcije triangulacije sem v programu izbral ukaz »no projection«, s katerim sem dobil najboljše rezultate. Kakšen algoritem je v RealWorksu uporabljen pri ukazu triangulacije brez projekcije, ni razkrito javnosti. Po rezultatih sodeč predvidevam, da je uporabljena Delaunayeva triangulacija, saj mreža teži k čim pravilnejšim – enakostraničnim trikotnikom z minimalnim številom tankih trikotnikov ter izpolnjuje Delaunayev kriterij, ki pravi, da v nobenem krogu, ki bi bil očrtan na novo formiranemu trikotniku, ne sme biti nobena točka.

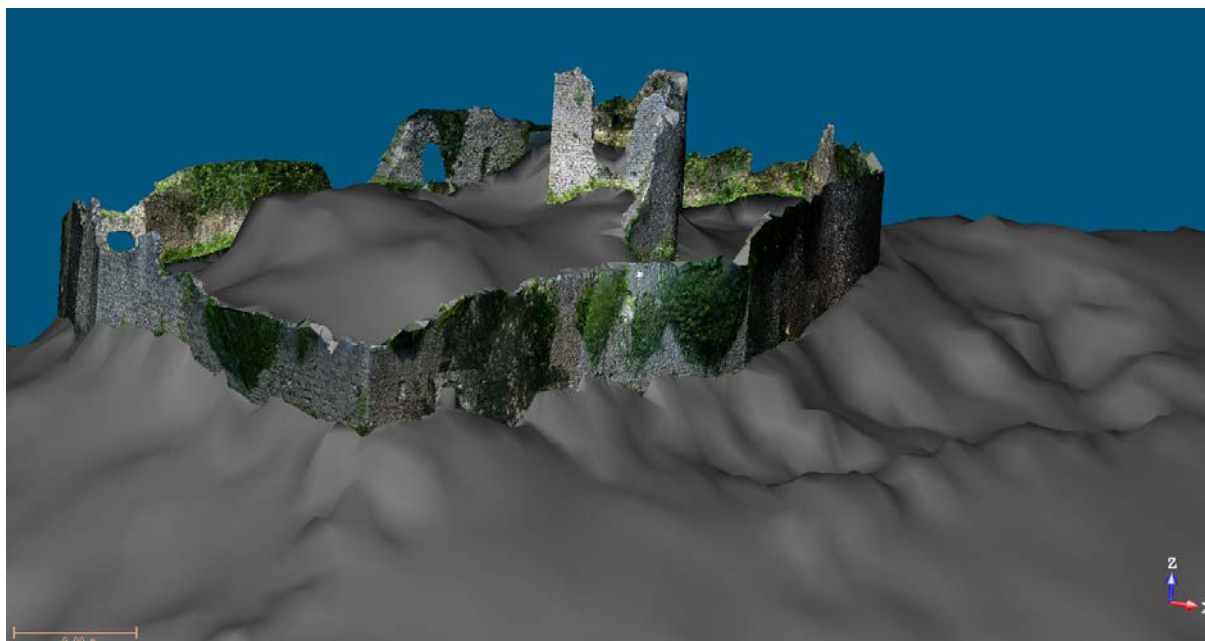
V dobljeni mreži TIN, ki je nastala v avtomatskem procesu, sem ročno popravil posamezne trikotnike, uredil robove, zapolnil luknje z novimi trikotniki ter zgladil površine. Pri urejanju mreže TIN oz. 3D modela sem si pomagal s programom Geomagic, pri katerem sem izkoristil dobre algoritme za zapolnjevanje lukenj v poligonski mreži.



Slika 6.11: Izgradnja fotorealističnega 3D modela

Urejena mreža TIN v žičnem pogledu predstavlja topološko urejeno množico vozlišč in nepravilnih trikotnikov. V kolikor majhne trikotnike zapolnimo s površino, dobimo aproksimacijo skenirane površine, za katero se pogosto uporablja izraz 3D model. V mojem primeru gre za 3D model grajskega jedra in zunanjega obzidja. Izgradnjo fotorealističnega 3D modela gradu Lož prikazuje slika 6.11.

Pri izdelavi fotorealističnega 3D modela bi lahko uporabil urejen 3D model in posnetke, zajete z vgrajeno kamero skenerja. Tak proces bi bil več ali manj avtomatičen, toda stojišča skenerja so običajno postavljena tako, da omogočajo zajem čim večje skenirane površine. To tudi pomeni, da so posnetki na robovih obravnavane površine zajeti poševno, kar skazi teksturiran 3D model s tovrstnimi posnetki. Vsled temu, sem na terenu zajel posnetke z ločenim fotoaparatom Fuji FinePix S7000 kar se da pravokotno na detajle in lica grajskih zidov ter te posnetke uporabil pri prekrivanju 3D modela. Pri tem sem moral vsak posnetek absolutno orientirati v prostoru. Orientacijo posnetkov sem opravil v RealWorksu s funkcijo *Image Matching*, kjer se vsak posamezni posnetek orientira ročno na podlagi vsaj štirih oslonilnih točk. Gre za dolgotrajen proces, vendar so rezultati fotorealističnega 3D modela z ročno posnetimi podobami boljši od fotorealističnega 3D modela s posnetki vgrajene kamere. Vmesni rezultati ter izgradnja fotorealističnega 3D modela loškega gradu je prikazana na sliki 6.10, kjer slika levo zgoraj prikazuje filtriran oblak točk, desno zgoraj mrežo nepravilnih trikotnikov, levo spodaj 3D model, desno spodaj pa končni fotorealističen 3D model.



Slika 6.12: Pogled na fotorealističen 3D model loškega gradu z DMR-jem iz južne strani

Če fotorealističnemu 3D modelu dodamo digitalni model reliefa (DMR), dobimo celostno podobo gradu in okolice. 3D model z DMR-jem je primeren za izdelavo animacije preleta in boljšo vizualno predstavo stanja v naravi. Slika 6.12 prikazuje 3D model loškega gradu z obzidjem ter DMR okolice in notranjega grajskega areala. Iz DMR-ja je razviden obrambni jarek na vzhodni in jugovzhodni strani obzidja. Uporabljen je DMR⁶ s prostorsko ločljivostjo 2 m, ki je bil generiran iz letalskih stereoparov z metodo aerofotogrametrije. Kot stranski izdelek DMR-ja je nastal tudi DOF (digitalni ortofoto načrt) z ločljivostjo 7 cm, ki je prikazan na sliki 6.13. Aerosnemanje je bilo izvedeno aprila 2009.



Slika 6.13: DOF, april 2009

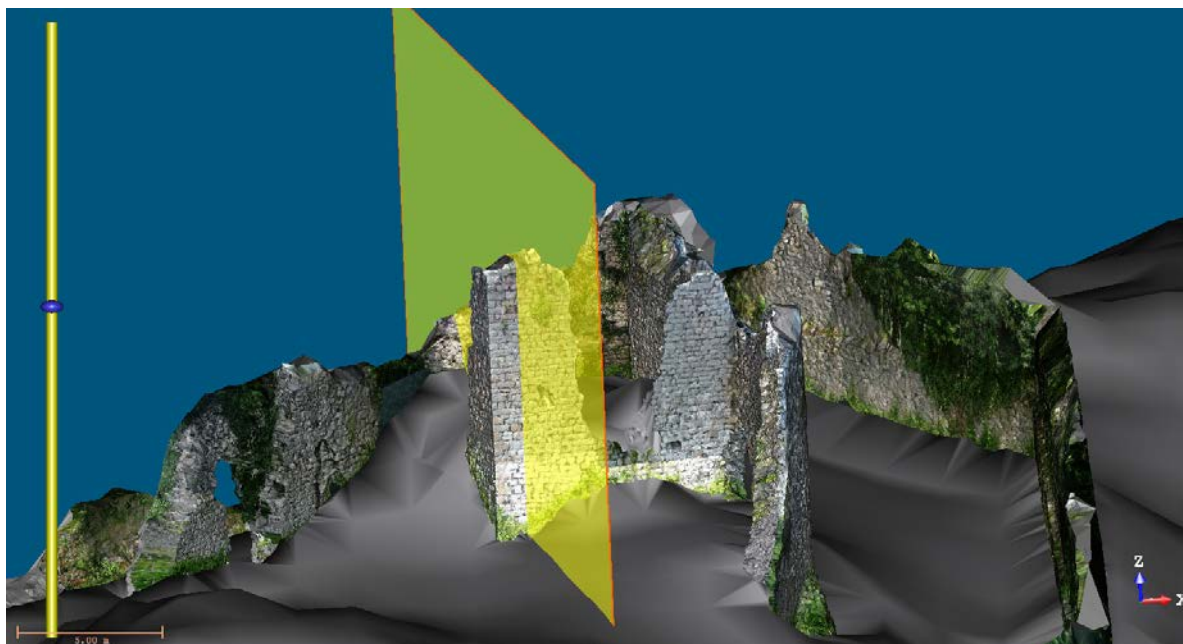
⁶ Izdelava DMR-ja in DOF-a iz aeroposnetkov ni predmet diplomske naloge, zato ta tema ni podrobneje opisana.

6.5 Izdelki tehnične dokumentacije

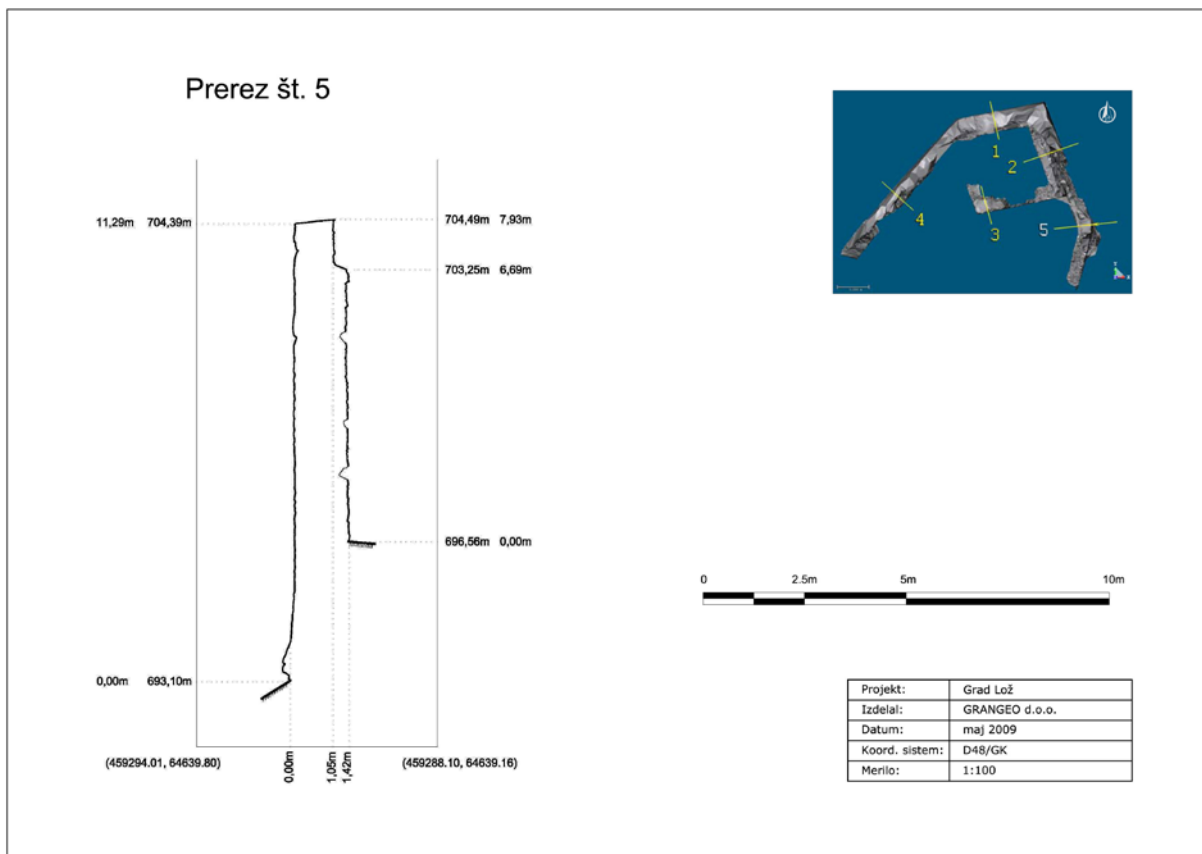
Klasični izdelki tehnične dokumentacije so tlorisni načrt, arhitektonski načrt in prerezi. Praktične primere klasičnih izdelkov tehnične dokumentacije sem napravil na primeru gradu Lož. Vse izdelke sem naredil izključno iz fotorealističnega 3D modela loškega gradu. Pri tem gre za pretvorbo iz 3D v 2D oz. iz 3D modela v 2D načrte.

6.5.1 Prerezi

Pri prerezu 3D model presekamo z vertikalno ravnino, pravokotno na stranico. V mojem primeru sem postopek izvedel v programu RealWorks s funkcijo »*cutting plan*« (glej sliko 6.14) za vsako stranico posebej. Pri preseku 3D modela z ravnino dobimo polilinijo, ki predstavlja zunanje lice zidu. Polilinijo oz. prerez sem dopolnil s konfiguracijo terena in opremil z višinami na pomembnih predelih. Podal sem tako nadmorske višine kot relativne. Položaj prereza je določen z dvema GK točkama, ki določata položaj vertikalne ravnine. Načrt sem opremil še z grafičnim merilom, preglednim shematičnim prikazom prereza v tlorisu ter z glavo načrta, kjer je podano ime projekta ali objekta, izvajalec meritev, datum meritev, koordinatni sistem in numerično merilo. Primer prereza na primeru gradu Lož je prikazan na sliki 6.15, kjer okvir načrta nakazuje obseg tiskanja v merilu 1:100 na formatu A4.



Slika 6.14: Prerez 3D modela z ravnino



Slika 6.15: Izbran primer prereza na primeru gradu Lož

Pri prerezu sem uporabil tri različne debeline linij in enotno, črno barvo. Najdebelejša črta je uporabljena za teren, srednja za zidove in najtanjša za odprtine. Razmerja med debelinami se razlikujejo za $\sqrt{2}$. Iz prereza se v zidu vidijo odprtine, poškodbe, razni detajli in nadzidave.

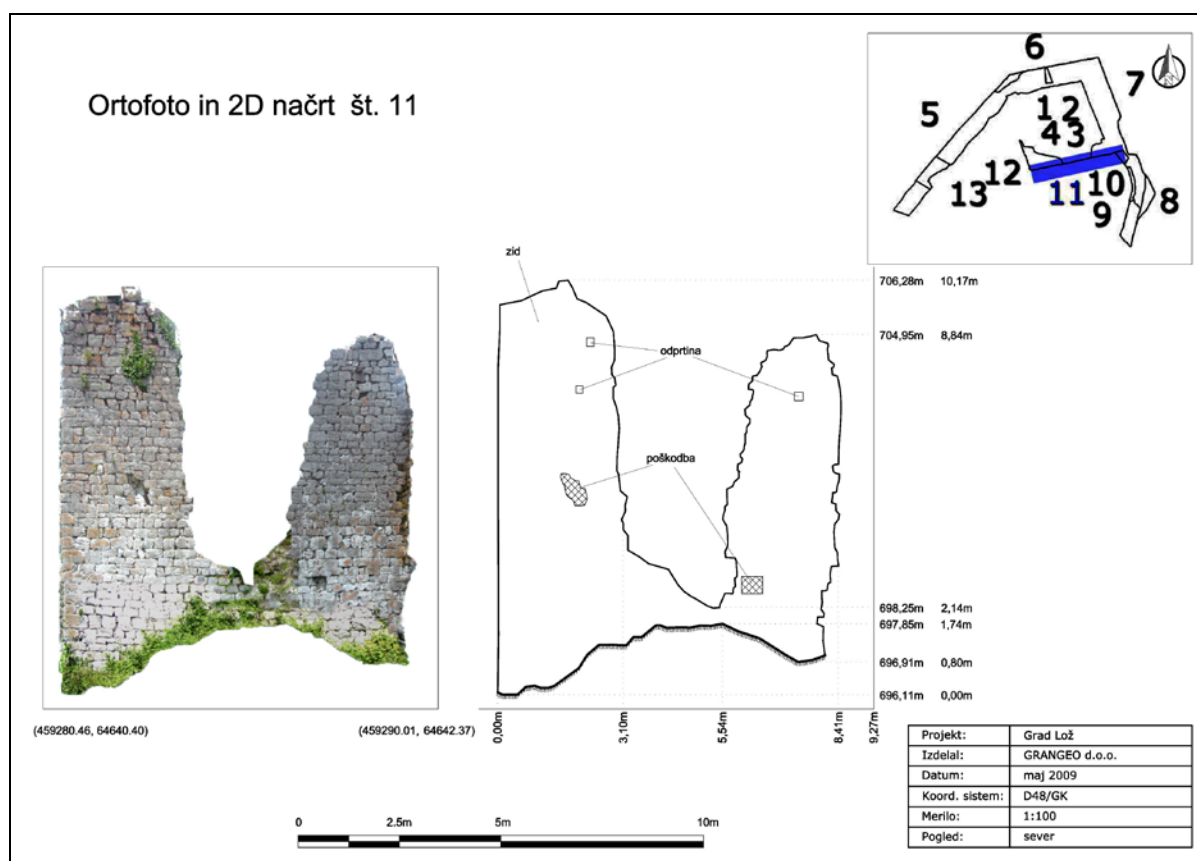
6.5.2 Ortofoto in arhitektonski načrti stranic

Pri izdelavi ortofotov in arhitektonskih načrtov sem razvaline zidov smiselno razdelil na stranice, slednje pa na notranji in zunanji del. Za vsako lice stranice sem izračunal ravnino, ki se najbolj prilega pripadajočemu delu stranice. Ravnina v bistvu predstavlja projekcijsko ravnino, na katero se projicira vsebina pripadajočega dela stranice. Izdelava ortofota iz fotorealističnega 3D modela je polavtomatski postopek. Pri tem je potrebno določiti projekcijsko ravnino ter kateri del 3D modela želimo projicirati na njo. Pri postopku lahko določamo ločljivost ortofota oz. velikost piksla. V mojem primeru sem za vse ortofote uporabil ločljivost 0,5 cm.

Pri arhitektonskih načrtih, za katere sem uporabil izraz 2D načrti, sem vsebino notranjega ali zunanjskega dela stranice projiciral na isto ravnino, kot sem jo uporabil že pri izdelavi ortofota.

Pred tem sem na 3D modelu ekstrahirал odprtine, detajle, poškodbe, vegetacijo, robove zidov, večje kamnite bloke ipd. Vektorizirane 3D polilinijske sem iz RealWorksa izvozil v format dxf in ga nato uvozil v AutoCAD. S CAD orodji sem 3D polilinijske projiciral v izbrano ravnino, ki sovпада z ravnino ortofotov.

Pri vsebini arhitektonskega načrta sem za črte uporabil črno barvo in tri različne debeline. Najdebelejša črta predstavlja teren in spodnji del stranice, srednjedežbela zunanji del stranice, najtanjša pa ostale karakteristične linije kot so portal, odprtine, vegetacija, poškodba ipd. Vsebino načrta sem opremil z absolutnimi in relativnimi višinami, s horizontalnimi dolžinami, šrafurami ter tekstovnimi opisi za razumevanje šrafur in ostalih arhitekturnih členov. Na načrtu je seveda še naslov, pregledni shematični prikaz položaja načrta v tlorisu, grafično merilo in glava načrta, ki vsebuje ime projekta ali objekta, izvajalca meritev, datum meritev, koordinatni sistem, numerično merilo in smer pogleda.



Slika 6.16: Primer ortofota in arhitektonskega oz. 2D načrta na primeru gradu Lož

Ortofoto in arhitektonski načrt prikazujeta isti del gradu, zato sem obe vsebini prikazal na istem načrtu (glej primer na sliki 6.16). Tak način prikaza ima ekonomičen in praktičen pomen, saj s tem prihranimo pri papirju in prostoru ter lažje identificiramo arhitekturne člene ali analiziramo zgradbo gradu. Primer ortofota in arhitektonskega oz. 2D načrta loškega

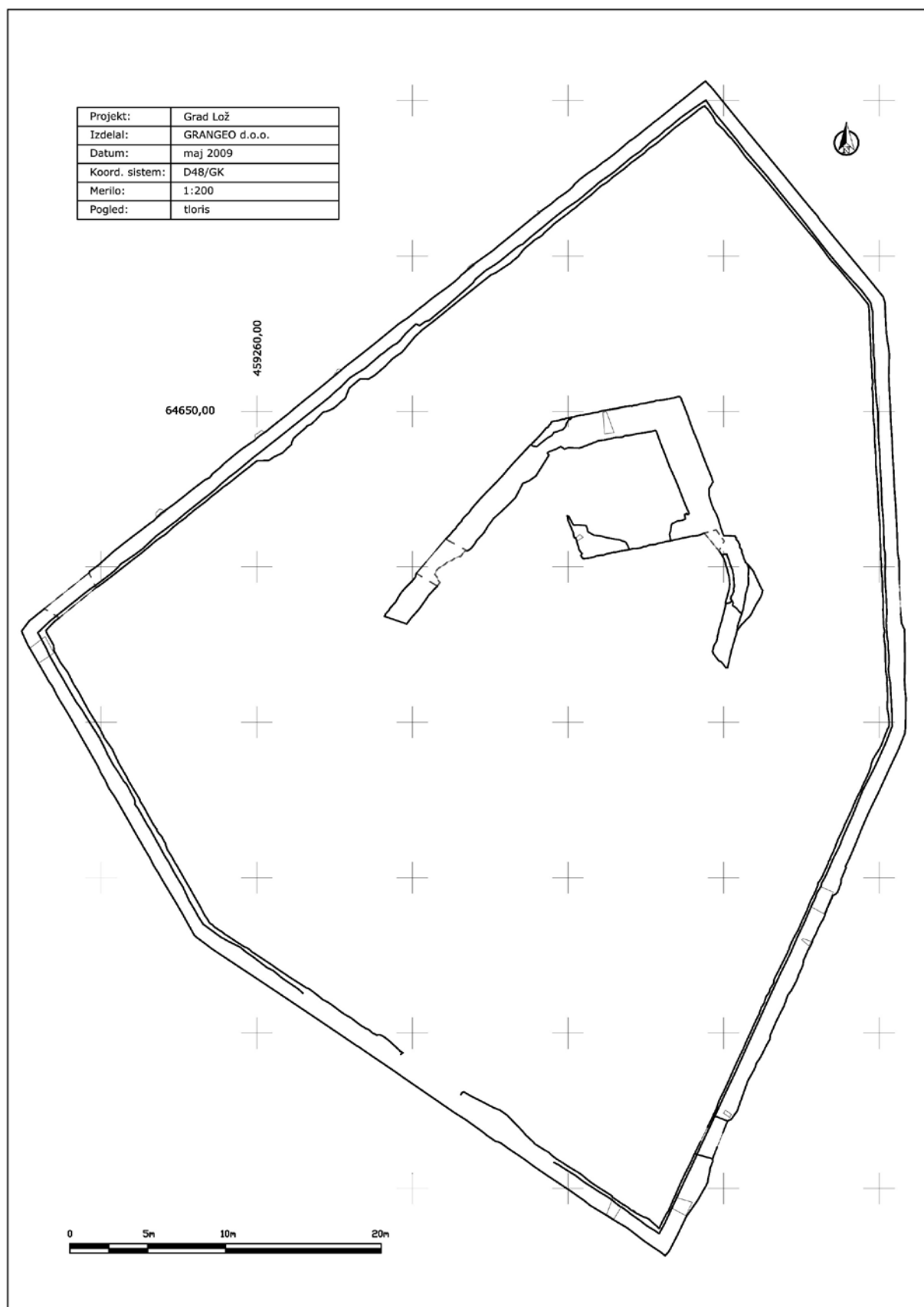
gradu na sliki 6.15 je v osnovi prilagojen merilu 1:100 za format A4. Za manjše stranice grajskega jedra sem uporabil merilo 1:50, za ostale pa 1:100. Vse stranice grajskega jedra so prilagojene za format A4, stranice grajskega obzidja pa za format A3. Ortofoto in arhitektonski načrti zunanjega obzidja so v merilu 1:100, edino pri najdaljši stranici sem uporabil 1:200.

6.5.3 Tlorisni načrt

Tlorisni načrt gradu Lož sem naredil iz fotorealističnega 3D modela. Pri tem sem uporabil ekstrahirane 3D polilinijske, ki sem jih zajel na fotorealističnem 3D modelu v postopku izdelave arhitektonskih načrtov. Za zunanja lica zidov in sledi nadzidave sem uporabil enotni tip linije, pri portalih, odprtinah in detajlih pa tanjšo linijo, s tem da sem pri portalih, ki omogočajo prehod skozi zid, uporabil črtkano linijo. Vse linije so v črnih odtenkih.

Načrt sem ustrezno opremil z znakom za sever, križi mreže pravokotnega koordinatnega sistema, grafičnim merilom in glavo načrta, ki vsebuje ime projekta ali objekta, izvajalca meritev, datum meritev, koordinatni sistem, numerično merilo in smer pogleda. Koordinatni križi so podani na vsakih 10 m. Numerično vrednost koordinat x in y sem podal pri enem križu, tako da je načrt umeščen v D48/GK (Geodetski datum 1948, Gauß-Krügerjeva projekcija) koordinatni sistem. Primer tlorisnega načrta na primeru gradu Lož je prikazan na sliki 6.17, kjer okvir načrta nakazuje obseg tiskanja v merilu 1:200 na formatu A3.

Osnova je fotorealističen 3D model, zato ni prikaza plastnic. Po potrebi se plastnice enostavno naredijo iz DMR-ja, ki je bil narejen s stereorestitucijo letalskih stereoparov pri izdelavi DOF-a.



Slika 6.17: Primer tlorisnega načrta na primeru gradu Lož

7 ANALIZA REZULTATOV IN UGOTOVITVE

V sklopu dokumentiranja gradu Lož so bili izdelani naslednji izdelki:

- fotorealističen 3D model gradu Lož,
- tloris gradu in obzidja,
- ortofoto in 2D načrti gradu (13 načrtov) in obzidja (12 načrtov),
- prerezi posameznih stranic gradu in obzidja (skupno 11 prerezov).

Vse izdelke tehnične dokumentacije sem izdelal na podlagi fotorealističnega 3D modela, ki sem ga izgradil iz oblaka točk. Vsebina gradu in obzidja je dokumentirana na 25-ih arhitektonskih oz. 2D načrtih. Vsakemu arhitektonskemu načrtu je priložen ortofoto za lažje in hitrejše razumevanje vsebine.

7.1 Fotorealističen 3D model gradu Lož

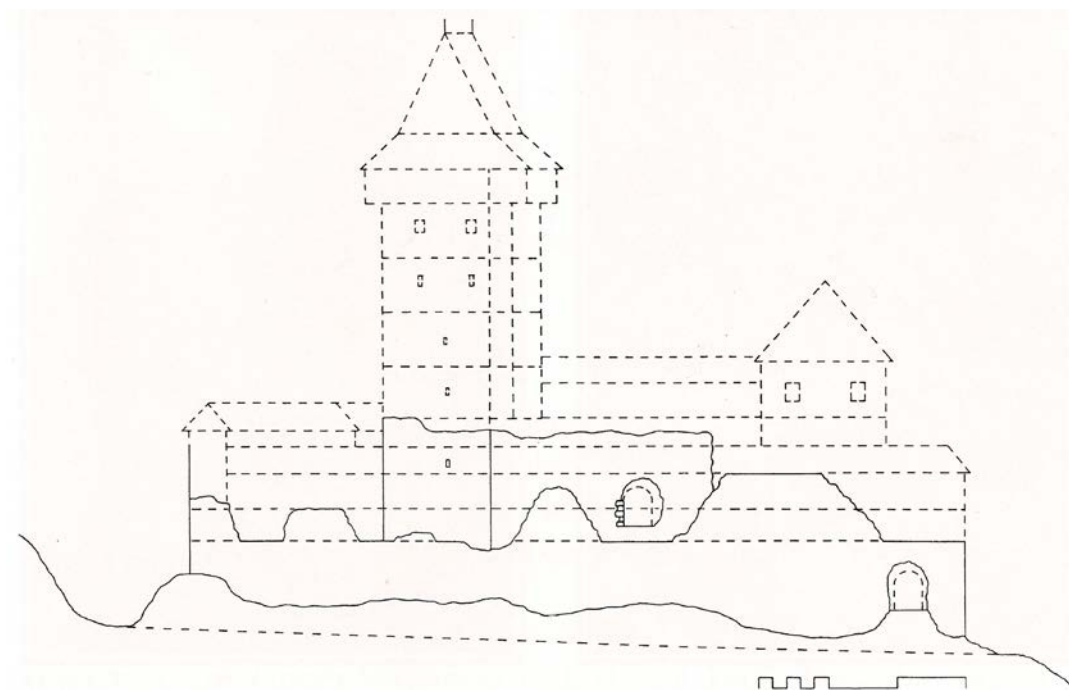
Za izgradnjo fotorealističnega 3D modela grajskega jedra in obzidja sem v osnovi uporabil *RealWorks Survey Standard 6.2*, s katerim sem segmentiral in filtriral oblak točk, izvedel triangulacijo oblaka točk ter 3D model teksturiral z digitalnimi posnetki. Zaradi pomanjkljivosti RealWorksa sem si pomagal z Geomagicom (*Geomagic Studio 10*), s katerim sem dopolnil 3D model. Izpostavil bi predvsem funkcijo za zapolnjevanje poligonske mreže, točneje mreže nepravilnih trikotnikov, ki je RealWorks v verziji 6.2 nima.

Kvaliteten 3D model mora imeti topološko urejeno TIN mrežo in normale trikotnikov morajo biti obrnjene v isto smer. 3D model loškega grajskega jedra vsebuje **852.207 vozlišč** (verteksov) in **284.075 trikotnikov**, 3D model zunanjega obzidja pa **1.265.392 vozlišč** in **421.851 trikotnikov**. Pri prekrivanju 3D modela grajskega jedra sem uporabil **34 posnetkov**, pri obzidju pa **125**.

Slika 7.1 prikazuje severno stranico fotorealističnega 3D modela loškega gradu in ostale dele modela, ki so vidni iz tega pogleda. Pogled je pravokotno usmerjen na stranico in ni na tleh. Za primerjavo je priložena slika iz literature po Sapaču (2006), ki prikazuje izris severne fasade. Polne črte prikazujejo obstoječe stanje, črtkane črte pa rekonstrukcijo gradu.



Slika 7.1: Severna stranica fotorealističnega 3D modela loškega gradu



Slika 7.2: Grad Lož – severna stranica (Sapač, 2006)

7.2 Površina stranic

Pri analizi površine posamezne stranice sem vsebino klasificiral v tri razrede, in sicer na nepoškodovan del, poškodovan del in območje zakrito z vegetacijo. Za nepoškodovane dele sem uporabil pojem zid in v tem razredu so združeni nepoškodovan zid, portal, lina, cina, odprtina, vrata, strelna lina in izlivnica za smolo. Za poškodovane dele sem uporabil izraz poškodba, za površine, prekrite z vegetacijo, pa preprosto izraz vegetacija.

Preglednica 7.1 prikazuje izračunano površino notranjega in zunanjega oboda, preglednici 7.2 in 7.3 pa površino posameznih pripadajočih stranic. Na katere stranice se nanašajo vrednosti v preglednici 7.2 in 7.3, je shematično prikazano na sliki 7.3. Posebej so izračunane površine nepoškodovanega, poškodovanega in zakritega območja. Izračuni se nanašajo na arhitektonske oz. 2D načrte, kar pomeni da je celoten model aproksimiran z ravninami, ki se najbolj prilegajo posameznemu licu stranice.

V nadaljevanju je za notranji obod uporabljen izraz grad, ki predstavlja skenirane ostanke bergfrida in obodnega zidovja grajskega jedra. Zunanji obod predstavlja visoko zunanje obrambno obzidje, za katerega je v nadaljevanju uporabljen izraz obzidje.

Preglednica 7.1: Površina gradu in obzidja

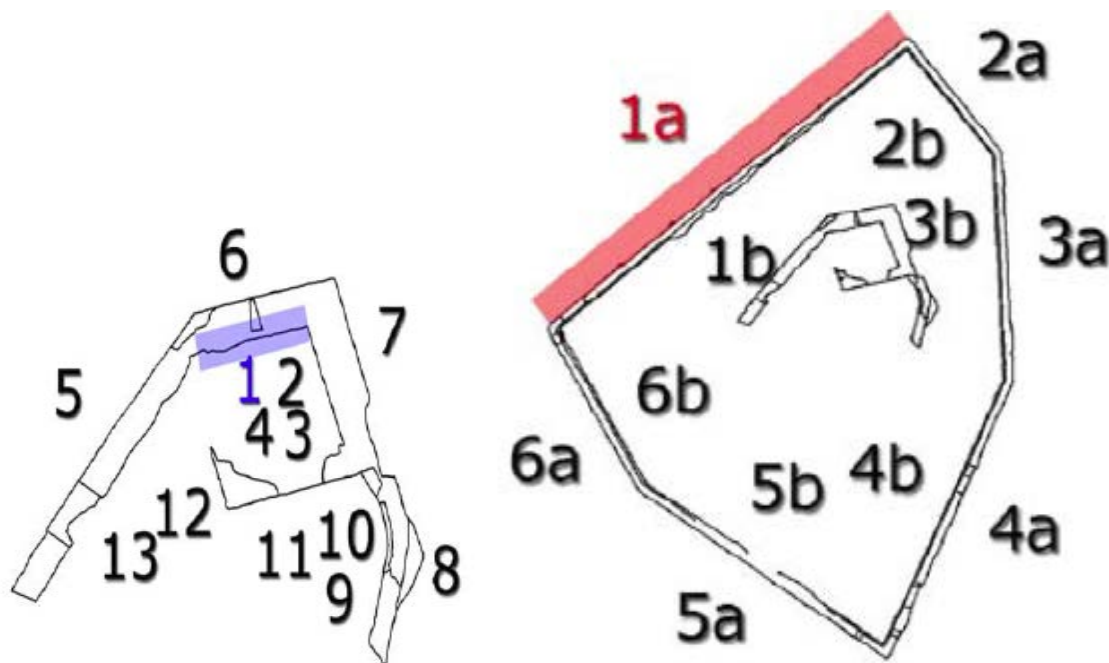
	zid [m ²]		vegetacija [m ²]		poškodba [m ²]		skupno [m ²]	
grad	337,93	57%	142,26	24%	109,66	19%	590,32	21%
obzidje	1626,51	74%	571,11	26%	8,74	0,4%	2206,36	79%
skupno	1964,44	70%	713,37	26%	118,87	4%	2796,68	100%

Preglednica 7.2: Površina posameznih stranic gradu

grad	zid [m ²]	vegetacija [m ²]	poškodba [m ²]	skupno [m ²]
2D načrt št.1	10,68	/	10,82	21,50 (3,6%)
2D načrt št.2	30,87	/	0,39	31,26 (5,3%)
2D načrt št.3	0,40	/	6,79	7,19 (1,2%)
2D načrt št.4	/	/	17,33	17,33 (2,9%)
2D načrt št.5	41,54	72,43	1,97	115,94 (19,6%)
2D načrt št.6	38,75	31,99	1,62	72,36 (12,3%)
2D načrt št.7	16,56	35,23	43,96	95,75 (16,2%)
2D načrt št.8	62,82	/		62,82 (10,6%)
2D načrt št.9	16,80	/	5,89	22,69 (3,8%)
2D načrt št.10	22,36	/	0,45	22,81 (3,9%)
2D načrt št.11	47,77	/	0,29	48,06 (8,1%)
2D načrt št.12	17,72	/	0,12	17,84 (3,0%)
2D načrt št.13	31,66	2,61	20,50	54,77 (9,3%)
skupno	337,93 (57,2%)	142,26 (24,1%)	110,13 (18,7%)	590,32 (100%)

Preglednica 7.3: Površina posameznih stranic obzidja

Obzidje	zid [m ²]	vegetacija [m ²]	poškodba [m ²]	skupno [m ²]
2D načrt št.1a	187,33	190,75	/	378,08 (17,1%)
2D načrt št.1b	130,33	35,88	0,43	166,21 (7,5%)
2D načrt št.2a	86,86	22,58	/	109,44 (5,0%)
2D načrt št.2b	50,96	36,05	0,31	87,01 (3,9%)
2D načrt št.3a	215,93	34,06	/	249,99 (11,3%)
2D načrt št.3b	72,27	80,1	/	152,37 (6,9%)
2D načrt št.4a	205,94	97,8	0,22	303,74 (13,8%)
2D načrt št.4b	151,27	34,67	4,13	185,94 (8,4%)
2D načrt št.5a	166,63	36,37	3,38	203,00 (9,2%)
2D načrt št.5b	61,45	2,85	/	64,30 (2,9%)
2D načrt št.6a	187,70	/	/	187,70 (8,5%)
2D načrt št.6b	109,84	/	0,27	109,84 (5,0%)
skupno	1626,51 (73,7%)	571,11 (25,9%)	8,74 (0,4%)	2206,36 (100%)



Slika 7.3: Shematičen prikaz oznak in položajev arhitektonskih oz. 2D načrtov notranjega oboda (levo) in zunanjega oboda (desno)

Površin zunanjih lic stranic obzidja je okrog petkrat več kot zunanjih lic stranic razvalin grajskega jedra. Skupno je okrog 2800 m² površin, od tega vegetacija, točneje vzpenjalka,

zakriva četrtno površin gradu in obzidja. Pri zunanjih licih ostanka gradu je potrebno poudariti, da je od skupno 590 m² še dodatno poškodovana kar petina območja. Ostanki visokega obzidja so dobro ohranjeni, kljub nenehnim zunanjim erozijskim vplivom, kar potrjuje kvalitetno izvedbo graditeljev.

Pri meritvah gradu je bilo zajetih okrog 220.000 točk, kar pri površini 590 m² pomeni, da je v povprečju gostota točk 383 točk/m², kar predstavlja razmik točk s 5,2 cm. Pri tem je potrebno povedati, da so bili posamezni predeli z več detajli skenirani bolj na gosto kot predeli z gosto vegetacijo, kar je tudi smiselno in ekonomično.

7.3 Višine, dolžine in debeline stranic

Pri analizi prereзов sten sem izmeril njihove debeline. Debeline posameznih sten so prikazane v preglednici 7.4. Kateri steni pripada prereз, je razvidno na sliki 7.4. Pri analizi debelin sem celotni grad razdelil na bergfrid, notranji obod in obzidje oz. zunanji obod. V preglednici 7.5 je prikazano povprečje za posamezni arhitekturni sklop. Bergfrid ima debelino sten okrog 2,02 m, sicer pa imajo stranice notranjega oboda debelino okrog 1,40 m. Zunanje obzidje ima debelino stranic okrog 1,16 m.

Preglednica 7.4: Debeline posameznih sten

	prereз	debelina [m]
bergfrid	1	1,82
	2	2,22
notranji obod	3	1,20
	4	1,57
	5	1,42
obzidje	6	1,09
	7	1,08
	8	1,10
	9	1,14
	10	1,26
	11	1,26

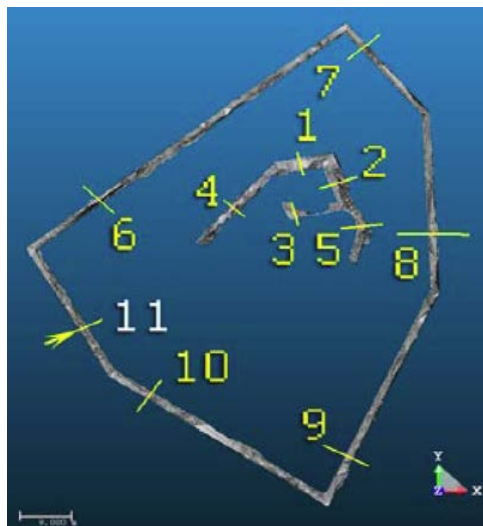
Preglednica 7.5: Debelina arhitekturnih sklopov

	debelina [m]
bergfrid	2,02
notranji obod	1,40
obzidje	1,16

Pri analizi arhitektonskih oz. 2D načrtov sem izmeril največje razsežnosti višinskih in dolžinskih dimenzij posameznih stranic, kar prikazuje preglednica 7.6. Najvišji predel obzidja znaša 12,82 m, gradu pa 11,72 m. Med stranicami je najdaljša severna stranica obzidja, ki v dolžino meri 56,42 m.

Preglednica 7.6: Višine in dolžine stranic

	2D načrt	višina [m]	dolžina [m]
grad	1	6,00	7,10
	2	6,46	5,96
	3	4,90	2,28
	4	6,32	4,07
	5	8,49	16,50
	6	10,98	8,43
	7	11,35	10,80
	8	11,72	8,46
	9	8,36	5,11
	10	8,01	3,57
	11	10,17	9,27
	12	9,58	2,95
	13	5,89	14,21
obzidje	1a	12,82	56,42
	1b	10,22	54,50
	2a	8,77	18,14
	2b	6,23	16,68
	3a	11,35	27,65
	3b	7,22	27,17
	4a	11,25	36,26
	4b	9,12	35,38
	5a	10,17	36,43
	5b	5,47	14,96
	6a	11,28	22,68
	6b	8,87	21,59



Slika 7.4: Shematičen prikaz položajev prerezov

7.4 Ostale ugotovitve

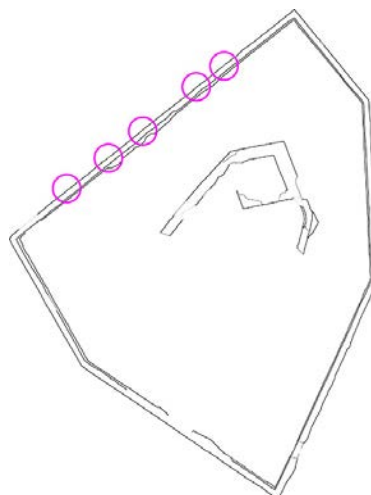
Iz tlorisnega načrta je možno izluščiti, da tlorisna površina **grajskega areala** brez jarkov in dostopnih poti znaša 2268 m². Ta podatek sem pridobil s pomočjo AutoCAD-a.

Pri prerezih je priporočljivo, da se nakaže konfiguracija terena, kar zanesljivo prikazuje stik zidov s tlemi, sicer bi imeli občutek, da zid »visi v zraku«. Da ugodimo tej želji, je pri meritvah potrebno poleg objekta zajeti tudi konfiguracijo terena.

Iz prerezov je poleg debelin sten vidna še višina stranice, vendar je višina stranice bolj pregledno in za celotno stranico razvidna iz arhitektonskega načrta, saj pri prerezu dobimo metrične informacije le na mestu prereza.

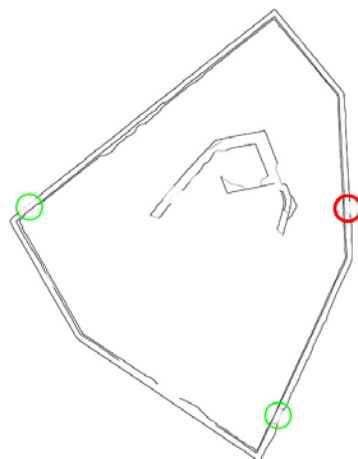
Iz arhitektonskih načrtov se poleg višine in širine stranic lahko preučujejo posamezni arhitekturni elementi. Odrnice, s presekom okrogle oblike, imajo premer od 7 do 12 cm. Tramovnice s presekom v obliki kvadra imajo dolžino stranice od 20 do 25 cm. To potrjuje, da je imela trdna kamnita zidava številne lesene prvine.

Na severni stranici obzidja je pet **izlivnic za smolo**, t. i. smolni nosovi. Njihov tlorisni položaj je prikazan z vijoličnimi krogi na desni sliki 7.5. Na preostalih stranicah jih ni. Primer enega izmed njih je prikazan na levi sliki 7.5.



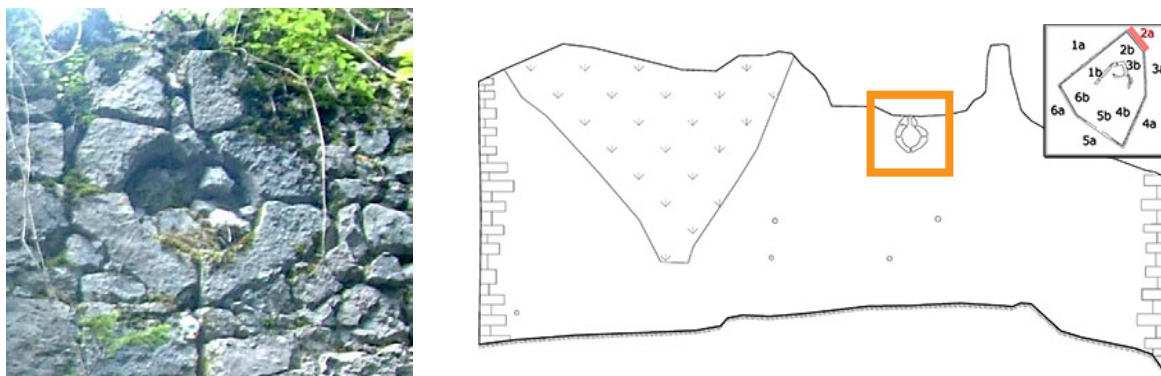
Slika 7.5: Izlivnica za smolo (levo) in položaj vseh izlivnic na obzidju (desno)

V literaturi sem povsod zasledil, da ima zunanji obod dve vratni odprtini. Njun položaj je prikazan na desni sliki 7.6 z zelenim krogcem. Pri čiščenju in skeniranju obzidja, sem naletel še na **izmuzna vratca**, ki se nahajajo na vzhodni strani zunanjega oboda (glej rdeči krogce na desni sliki 7.6). Njihove omembe v literaturi nisem našel. Nahaja se na težje dostopnem terenu in so delno zazidana. Visoka so 1,72 m in široka 1,31 m. Prikazana so na levi sliki 7.6



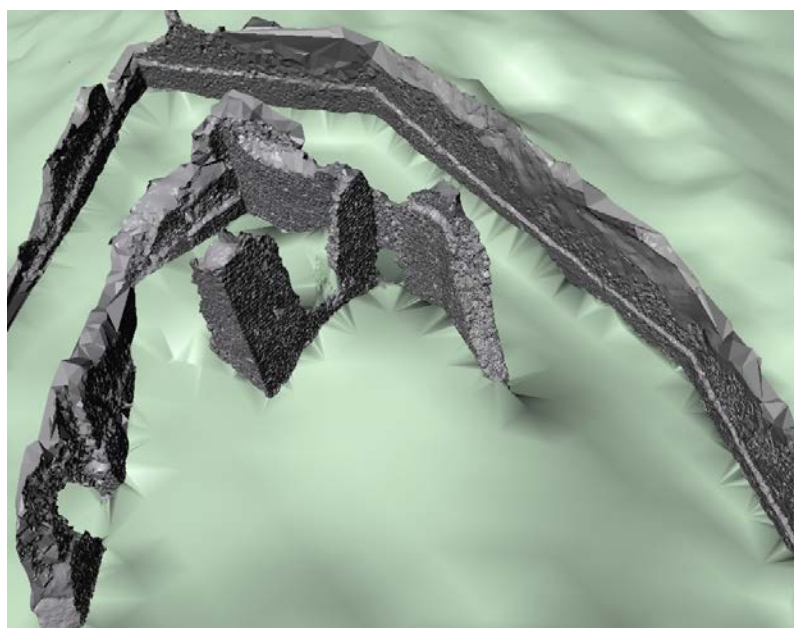
Slika 7.6: Izmuzna vratca (levo) in tlorisni položaj vratnih odprtin na zunanjem obodu (desno)

Na sliki 7.7 (levo) je prikazna edina ključasta lina loškega gradu, ki se nahaja na severovzhodni stranici obzidja. Njen položaj na zunanji strani obzidja je viden na desni sliki 7.7.



Slika 7.7: Ključasta lina (levo) in njen položaj na stranici (desno)

Dobra lastnost 2D načrtov je preglednost, vendar je težava pri prikazu tretje dimenzije. Pri 2D načrtih si lahko pomagamo s sočasno uporabo dveh vrst načrtov. Tako lahko z uporabo arhitektonskega načrta stranice in pripadajočega prereza dobimo občutek za globino. Na ta način lahko preučujemo detajle oz. arhitekturne elemente, poškodbe, gradbene faze ipd. Tovrstno proučevanje se lahko izvede neposredno na fotorealističnem 3D modelu v 3D pregledovalniku. Slika 7.8 prikazuje perspektivni pogled na 3D model, kjer se lepo vidi nadzidava obzidja gradu Lož. Zaradi boljšega kontrasta je na 3D modelu izklopljena tekstura.

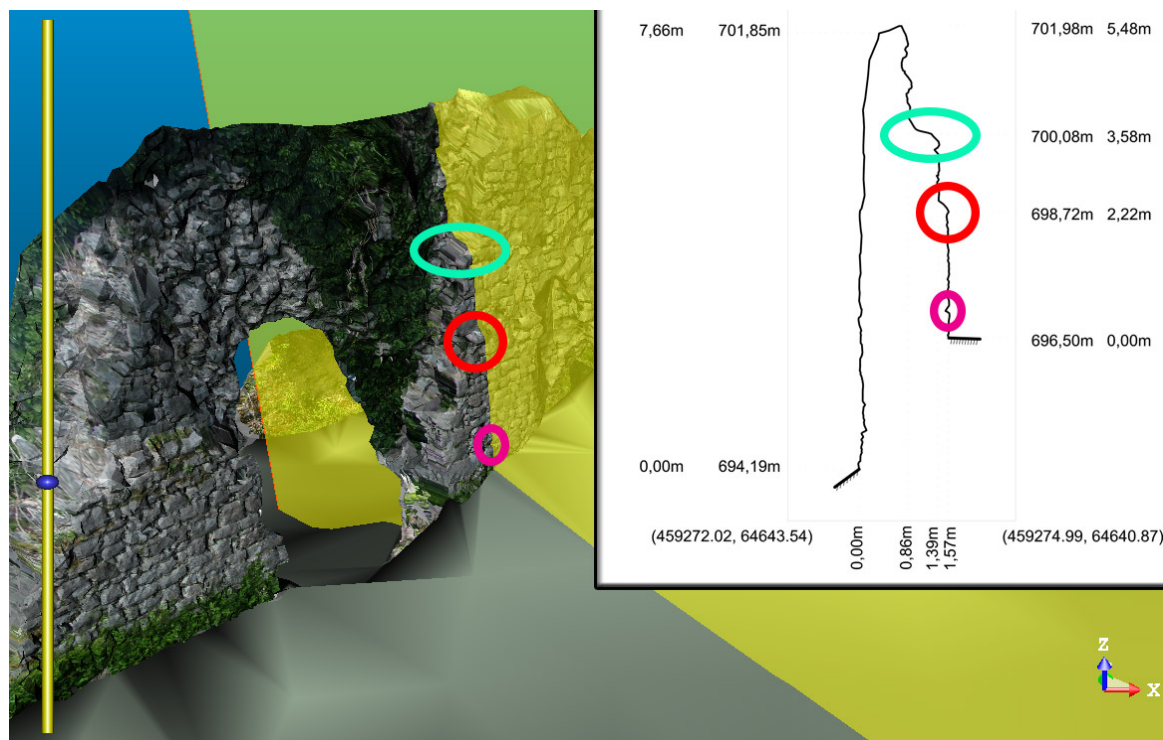


Slika 7.8: Perspektivni pogled 3D modela

Na sliki 7.9 je perspektivni prikaz fotorealističnega 3D modela in izsek prereza stranice⁷, ki je nastal s presekom 3D modela in vertikalne ravnine. Na hibridnem prikazu klasičnega izdelka in fotorealističnega 3D modela sem z vijoličastim krogcem označil sled odernice v zidu, z

⁷ Prerez št. 4; glej prilogo B1.

rdečim krogcem pa lom vertikalne ravnine zidu, kar nakazuje nadzidavo. Lom pri turkizni elipsi je najbrž nastal zaradi poškodbe stranice. Poškodbo vrhnjega dela zidu nakazuje razgibana črta v prerezu.



Slika 7.9: Analiza stranice

7.5 Ukrepi za naprejš

Smiselno bi bilo grajsko razvalino skenirati še enkrat, da bi se lahko določila stopnja intenzitete in hitrosti propadanja objekta. Tokratna dokumentacija se nanaša na maj 2009. V primeru, da bi se objekt še enkrat skeniral, bi se lahko na podlagi na novo izdelanega 3D modela lahko napravila primerjava s 3D modelom iz leta 2009. Na ta način bi se lahko analizirala sprememba strukturnih poškodb in deformacij na površini ter volumetrične deformacije.

Tokratne terenske meritve (leta 2009) so bile izvedene v času bujne vegetacija (plezalke, bršljan, drevesa, grmičevje ipd.). To vsekakor ni priporočljivo, vendar zaradi spleta okoliščin, časovne in finančne omejitve ni bilo druge možnosti. V bodoče priporočam, da se meritve objektov na zaraščenem terenu izvajajo na začetku spomladi, t.j. preden začne poganjati vegetacija ali pozno jeseni, ko odpade listje. Zaraščenost loškega gradu v času bujne vegetacije prikazuje slika 7.10.



Slika 7.10: Zaraščenost gradu Lož (podlaga: DOF; pridobljeno na <http://www.geopedia.si/>, 14.11.2011)

Glede na to, da je najmanjši detajl v obliki kroga s premerom 7 cm, je priporočljivo, da se objekt v bodoče skenira z ločljivostjo vsaj 3,5 cm. Na ta način lahko arhitekturne elemente zaznamo tako iz oblaka točk kot iz posnetkov.

Na gradu niso napravili niti ene prezidave, ki bi (občutneje) zbrisala izvorno pričevalne prvine, zato je grad šolski primer načina gradnje romanskega ter gotskega obdobja. S pomočjo znanja iz arheologije bi bilo smiselno narediti še strukturni pregled in stavbno analizo.

Zanimivo bi bilo celotno območje gradu izmeriti tudi z georadarjem. S to geofizikalno metodo se lahko odkrijejo najrazličnejše arheološke ostaline, rovi pod zemljo ipd.

8 ZAKLJUČEK

Dokumentacija je eden od glavnih načinov za opredelitev pomena, razumevanja in priznavanj vrednot kulturni dediščini. Dokumentacija se lahko uporabi kot pomoč pri postopkih različnih dejavnosti, ki vključujejo zaščito, obnovo, identifikacijo, spremljanje, interpretacijo, upravljanje z zgodovinskimi objekti ipd. Dokumentiranje ni potrebno le v konservatorstvu in restavratorstvu ter pri arheoloških raziskavah, ampak tudi za ozaveščanje javnosti.

Dejstvo je, da ima vsaka dokumentacijska metoda svoje prednosti in slabosti. Najprimernejša metoda za dokumentiranje v danem primeru je odvisna od različnih dejavnikov: stroškov in razpoložljivega časa, lokacijskih dejstev, obsega zastavljene naloge (tako vsebinsko kot tudi kvantitativno), razreda natančnosti in točnosti, vrste pristopa ter načina predstavitve rezultatov.

Sodobna tehnologija je radikalno spremenila način dokumentiranja. Lasersko skeniranje in lidarska industrija sta v zadnjih desetih letih naredila velik napredek. Kaj šele bi lahko imeli ob pozitivnem svetovnem gospodarstvu, ki je bilo prizadeto v zadnjih letih. Potencial te tehnologije še vsekakor ni dosegel končnih vrednosti. V zadnjih desetih letih je prišlo do velikega napredka pri zajemanju podatkov, iz ± 10 mm pri 10 točk/sekundo iz razdalj do 100 m na ± 1 mm pri 300.000 točk/sekundo znotraj območja dosega 1000 metrov. Gre za podoben napredek pri merski tehniki, kot ga je prineslo pravilo 3x3 v fotogrametriji.

Za dokumentiranje gradov je bilo na slovenskem ozemlju uporabljenih že veliko različnih geodetskih tehnik in metod, terestrično lasersko skeniranje pa za te namene še ni bilo temeljito preizkušeno. Prednost te merske tehnike ni le celovit 3D zajem prostorskih podatkov, ampak tudi možnost kombiniranja z drugimi merskimi tehnikami, predvsem s fotogrametrijo. Tehniki terestričnega laserskega skeniranja in bližnjleslikovne fotogrametrije se dobro dopolnjujeta. Terestrično lasersko skeniranje je najprimernejše za evidentiranje površin, manj primerno pa je za evidentiranje robov in posameznih točk. Ta pomanjkljivost se odpravi pri integrirani uporabi terestričnega laserskega skeniranja in fotogrametrije. Običajna vloga fotogrametrije v tem primeru je postopek relativne orientacije posnetkov glede na 3D model in teksturiranje 3D modela iz teh posnetkov. Vsled temu se ponekod uporablja izraz integracija laserskega skeniranja in podob, saj posnetke ni potrebno zajeti v stereoparu, pri obdelavi pa ni potrebna stereorestitucija. Kakorkoli, nanos texture na 3D model poveča zmožnost vizualizacije in razumevanja 3D modela, obenem pa posnetki omogočajo lažje in pravilnejše modeliranje 3D modela.

S prilagojeno programsko opremo izdelava 3D modela na podlagi laserskega skeniranja ne predstavlja zahtevne naloge, če je objekt kvalitetno skeniran. Več veščine je potrebno pokazati pri izdelavi kvalitetnega fotorealističnega 3D modela. Največ dela in znanja pa zahtevajo naloge, kjer je potrebno pridobiti želene informacije iz fotorealističnega 3D modela. Sam 3D model zagotavlja poljubno število presekov. Fotorealističen 3D modela omogoča ekstrakcijo obrisov detajlov in območij ter točkovnih elementov. To je dodana vrednost, ki omogoča tematsko kartiranje, raznorazne analize in preučevanj samega objekta.

Lasersko skeniranje je pri varstvu kulturne dediščine primerno tako za 3D kot za 2D dokumentiranje. V kombinaciji s fotogrametrijo je primerno tudi za grafično dokumentiranje. Natančni fotorealistični 3D modeli so primerni za **4D analize** v dimenziji prostor-čas. Na podlagi meritev istega objekta v različnih terminih, se lahko temeljito analizirajo spremembe strukturnih poškodb in deformacij na površini ter volumetrične deformacije v treh dimenzijah. Na podlagi tega se lahko spremljajo poškodbe substanc, določijo spremembe na materialih in stopnja njihovega propadanja, kar je pomemben dejavnik pri ohranjanju objektov kulturne dediščine.

Pri izvajanju postopkov za ohranitev objektov utrdbene arhitekture prihaja do interdisciplinarnega združevanja panog. Dr. Ivan Komelj je postavil temelje slovenski kastelologiji in grajski arhitekturi. Preučevanje teh arhitektur izlušči nekatere nadrobnosti, ki nam omogočajo, da lahko razpoznavamo ne le njihovo nekdanjo vizualno podobo, marveč tudi njihove strukturne značilnosti. Za natančnejšo proučevanje grajske arhitekture si moramo pomagati z znanjem arheologije, ki dosledno interpretira strukture in druge elemente »stoječe« stratigrafije. S strukturnimi pregledi in stavbnimi analizami prepoznavamo odnose med strukturami, njihove arheološke zapise, arheološke depozite in negative. S pomočjo tega lahko izdelamo natančno matriko stavbnega razvoja.

Temeljito dokumentiranje gradov omogoča nova dognanja o njih, kar okrepi status objekta med enotami kulturne dediščine. Integracija laserskega skeniranja in fotogrametrije omogoča izdelavo kvalitetnih fotorealističnih 3D modelov, ki jih lahko upodobimo (vizualiziramo) in s tem pritegnemo širšo javnost.

Študijski primer gradu Lož je pokazal dobre in slabe lastnosti pristopa in načina tehničnega dokumentiranja⁸. Pridobljeno znanje se lahko uporablja ne samo za tehnično dokumentiranje

⁸ Glej poglavje 7 *Analiza rezultatov in ugotovitve*.

grajske arhitekture, ampak tudi za druge dediščine utrdbene arhitekture. Ob upoštevanju priporočil English Heritage pri zajemanju podatkov (glej preglednice 4.2 in 4.5 ali 4.7) bi nastali fotorealističen 3D model lahko uporabili pri zahtevnejšem dokumentiranju za potrebe konservatorskih posegov in sanacijah.

Potencial uporabnosti gradov je zelo širok. Njegovi prostori se lahko uporabijo za muzeje, arhive, koncerte, knjižnice, bolnišnice različnih vrst, turizem, stanovanjske potrebe ipd. Gradovi so nezamenljiv element krajinske identitete dežele in s tem bistven temelj značaja zgodovinske in kulturne krajine, ki ga ne smemo izgubiti. Z gradovi, njihovo funkcijo, gradnjo in vzdrževanjem so se razvijale generacije. Gradovi ostajajo eden od vodilnih motivov kakovostnega urbanizma. Privabijo več tujih obiskovalcev kot vsa golfišča, igrišča za tenis in smučišča skupaj (Arh Kos, 2006).

VIRI

- **Uporabljeni viri**

Abdelhafiz, A. 2009. Integrating Digital Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning. Doktorska disertacija. München, (samozaložba A. Abdelhafiz): 115 str.

<http://dgk.badw.de/fileadmin/docs/c-631.pdf> (Pridobljeno 23. 4. 2012.)

Andrews, D., Bedford, J., Blake, B., Bryan, P., Cromwell, T., Lea, R. 2009. Measured and Drawn: Techniques and practice for the metric survey of historic buildings. Second edition. London, English Heritage, Kemble Drive, Swindon: 70 str.

<http://www.english-heritage.org.uk/publications/measured-and-drawn/> (Pridobljeno 22. 1. 2012.)

Artescan. 2011. 3rd International Seminar ArchC 3D: Methodology and applications of 3D laser scanning for architecture documentation, Lizbona.

http://archc3d.fa.utl.pt/III_seminario/conferencias/16_JBoavidaAOliveira.pdf (Pridobljeno 19. 12. 2011.)

Arh Kos, M. 2006. Gradovi, utrdbe in mestna obzidja: vodnik po spomenikih. Ljubljana, Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije: 215 str.

Barber, D., Mills, J. 2011. 3D Laser Scanning for Heritage (2nd edition) - Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture. London, English Heritage, Swindon: 41 str.

<http://www.english-heritage.org.uk/publications/3d-laser-scanning-heritage2/> (Pridobljeno 22. 12. 2011.)

Bryan, P., Blake, B., Bedford, J. 2009. Metric Survey Specifications for Cultural Heritage. London, English Heritage, Kemble Drive, Swindon: 256 str.

<http://www.english-heritage.org.uk/publications/metric-survey-specification/> (Pridobljeno 22. 1. 2012.)

Colombo, L., Marana, B. 2010. Terrestrial Laser Scanning: How It Works and What It Does. GIM International 24, 12.

http://www.gim-international.com/issues/articles/id1629-Terrestrial_Laser_Scanning.html (Pridobljeno 14. 12. 2011.)

ICOMOS/SI. 2012.

<http://www.icomos.si/> (Pridobljeno 12. 1. 2012.)

International Council on Monuments and Sites. 2003. Doktrina = Doctrine. Ljubljana, Združenje za ohranjanje spomenikov in spomeniških območij ICOMOS/SI: 77 str.

Georgopoulos, A., Ioannidis, C., Baltsavias, E. (ur.), Gruen, A. (ur.), Van Gool, L. (ur.), Pateraki, M. (ur.). 2006. Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage: 3D visualization by integration of multisource data for monument geometric recording. London, Taylor & Francis Group: 375-384 str.

Glodež, S. 2005. Tehnično risanje. Ljubljana, TZS: 208 str.

Goodmaster, C., Herrmann, J., Limp, F. 2007. Terrestrial laser scanning fundamentals. 72nd Society for American Archaeology Meetings, Austin, ZDA.

<http://www.cast.uark.edu/assets/files/PDF/SAA2007%20introduction%20presentation%20version.pdf> (Pridobljeno 2. 2. 2012.)

Gradovi.net. 2011. Kamnoseška znamenja.

http://www.gradovi.net/znamenja_seznam.php (Pridobljeno 20. 12. 2011.)

Grobovšek, J., Ribnikar, B. 1996. Fotogrametrija kot metoda dokumentiranja kulturne dediščine: sodobne tehnologije. Ljubljana, Uprava RS za kulturno dediščino: 108 str.

Hanke, K., Grussenmeyer, P. 2002. Architectural photogrammetry - Basic theory, procedures, tools. Krf, ISPRS: 27 str.

http://www.isprs.org/commission5/tutorial02/gruss/tut_gruss.pdf (Pridobljeno 18. 12. 2011.)

Harris, E. C. 1989. Načela arheološke stratigrafije. Ljubljana, Slovensko arheološko društvo: 166 str.

Jakič, I. 1995. Gradovi, graščine in dvorci na Slovenskem. Radovljica, Didakta: 179 str.

Jakič, I. 2001. Sto gradov na Slovenskem. Ljubljana, Prešernova družba: 223 str.

Jovan, I. 2011. Tehnično risanje in dokumentacija. Ljubljana, Konzorcij višjih strokovnih šol za izvedbo projekta IMPLETUM: 61 str.

http://www.impletum.zavod-irc.si/docs/Skriti_dokumenti/Tehnicno_risanje_in_dokumentacija-Jovan.pdf (Pridobljeno 23. 12. 2011.)

Kastelic, M. 2010. Obdelava podatkov laserskega skeniranja v programu Geomagic na primeru Mislejevega portala. Diplomsko naloga. Ljubljana, (samozaložba M. Kastelic): 95 str.

Kramar, S., Mirtič, B. 2010. RMZ – Materials and Geoenvironment 57, 4: 539–562.

http://www.rmz-mg.com/letniki/rmz57/RMZ57_0539-0562.pdf (Pridobljeno 8. 5. 2011.)

Lerma, J. L., Navarro, S., Cabrelles, M., Seguí, A.E., Haddad, N., Akasheh, T., Wang, C.-C. (ur.). 2011. Laser Scanning, Theory and Applications: Integration of laser scanning and imagery for photorealistic 3D architectural documentation. Intech: 414-430.

<http://www.intechopen.com/books/laser-scanning-theory-and-applications> (Pridobljeno 15. 3. 2012.)

Letellier, R. 2007. Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places. Los Angeles, ZDA, The Getty Conservation Institute: 164 str.

http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/recordim.html (Pridobljeno 10. 11. 2011.)

Mills, J., Barber, D. 2003. An addendum to the metric survey specifications for english heritage - the collection and archiving of point cloud data obtained by terrestrial laser scanning or other methods. London, English Heritage: 35 str.

http://www.english-heritage.org.uk/upload/pdf/metric_extraction_scanning_addendum_3.pdf (Pridobljeno 15. 6. 2010.)

Novaković, P., Grosman, D., Masaryk, R., Novšak, M. 2007. Minimalni standardi arheološke terenske dokumentacije: pregled stanja in predlogi standardov. Študija (Naročilo Ministrstva za kulturo RS, št. pogodbe 3511-06-711208).

http://www.arhiv.mk.gov.si/fileadmin/mk.gov.si/pageuploads/Ministrstvo/raziskave-analize/dediscina/standardi-komplet_30-AVGUST2007-1_popr_naslovnica.pdf (Pridobljeno 4. 9. 2012.)

Oven, K. 1999. Klasifikacija dokumentacije v arhitekturni fotogrametriji. Magistrska naloga. Ljubljana, (samozaložba K. Oven): 79 str.

Potočnik, I. 2005. Preventivno snemanje ostenja križnega hodnika v Cistercijanskem samostanu v Stični. Geodetski vestnik 49, 2: 220-230.

Remondino, F.; Girardi, S.; Rizzi, A. & Gonzo, L. 2009. 3D Modeling of Complex and Detailed Cultural Heritage Using Multi-resolution Data. Journal on Computing and Cultural Heritage 2, 1: 1-20.

Republika Slovenija, Ministrstvo za kulturo. 2011. Kulturna dediščina.

http://www.mk.gov.si/si/delovna_podrocja/kulturna_dediscina/ (Pridobljeno 16. 12. 2011.)

Republika Slovenija, Ministrstvo za izobraževanje, znanost, kulturo in šport (MIZKŠ). 2012. Direktorat za kulturno dediščino.

http://www.mizks.gov.si/si/delovna_podrocja/direktorat_za_kulturno_dediscino/ (Pridobljeno 24. 3. 2012.)

Riđić, M. 2012. Izdelava in ocena kakovosti popolnega ortofota. Diplomaska naloga. Ljubljana, (samozaložba M. Riđić): 71 str.

Rönnholm, P., Hyypä, H., Pöntinen, P., Haggrén, H., Hyypä, J. 2003. A method for interactive orientation of digital images using backprojection of 3D data. The Photogrammetric Journal of Finland 18, 2: 16–31.

Sapač, I. 2006. Grajske stavbe v osrednji Sloveniji. 3, Notranjska. Knj. 2, Med Idrijo in Snežnikom. Ljubljana, Viharnik: 191 str.

Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST). 2012. Portal e-Katalog SIST.

<http://www.sist.si/> (Pridobljeno 16. 1. 2012.)

Staiger, R. 2011. Geosiberia 2011: 10 years of terrestrial laser scanning - technology, systems and applications. Novosibirsk, FIG: 13 str.

http://www.fig.net/news/news_2011/geosiberia_april_2011/Novosibirsk_Geosiberia_2011_Paper_Rudolf_Staiger.pdf (Pridobljeno 16. 2. 2012.)

Stopar, I. 2006. Ostra kopja, bridki meči. Ljubljana, Viharnik: 143 str.

Stopar, I. 2007. Za grajskimi zidovi. Ljubljana, Viharnik: 143 str.

Studnicka, N., Zach, G. 2011. Mobile Laser Scanning in Venice. GIM International 25, 4: 20-23.

http://www.gim-international.com/issues/articles/id1692-Mobile_Laser_Scanning_in_Venice.html (Pridobljeno 10. 11. 2011.)

Simerl, S., Zupančič, M. 2002. Navodila in normativi za izdelavo arhitektonskih posnetkov objektov kulturne dediščine. Ljubljana, Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije: 6 str.

Transcom. 2011. What is "technical documentation"?
<http://www.transcom.de/transcom/en/technische-dokumentation.htm> (Pridobljeno 19. 12. 2011.)

Triglav Čekada, M., Jakovac, A., Štrumbelj, E. 2007. Test uporabnosti interaktivne metode orientacije na primeru posnetkov Triglavskega ledenika. Geodetski vestnik 51, 1: 59-68.

Triglav, M., Crosilla, F., Kosmatin Fras, M. 2010. Teoretična gostota lidarskih točk za topografsko kartiranje v največjih merilih. Geodetski vestnik 53, 3: 389-402.

UNESCO. 2012.
<http://www.unesco.si> (Pridobljeno 12. 1. 2012.)

Wikipedia. 2012. Animacija.
<http://sl.wikipedia.org/wiki/Animacija> (Pridobljeno 12. 5. 2012.)

World Heritage Centre. 2012. World Heritage List.
<http://whc.unesco.org> (Pridobljeno 14. 1. 2012.)

Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije (ZVKDS). 2012. Varstvo kulturne dediščine.
<http://www.zvkds.si/sl/varstvo-kulturne-dediscine/> (Pridobljeno 8. 1. 2012.)

Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Restavratorski center (ZVKDS, RC). 2012.
<http://www.rescen.si/> (Pridobljeno 8. 1. 2012.)

Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Center za preventivno arheologijo (ZVKDS, CPA). 2012.

<http://www.cpa-rs.si/> (Pridobljeno 8. 1. 2012.)

Zupančič, M., Kavčič, M., Deanovič, B. 2007. Enotna metodologija za izdelavo konservatorskega načrta. Ljubljana, Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Restavratorski center: 25 str.

http://www.mk.gov.si/fileadmin/mk.gov.si/pageuploads/Ministrstvo/raziskave-analize/dediscina/metodologija-konservatorski_nacrt/01_Konservatorski_nacrt.pdf

(Pridobljeno 2. 6. 2011.)

- **Ostali viri**

Mills, J., Barber, D. 2006. An addendum to the metric survey specifications for english heritage - the collection and archiving of point cloud data obtained by terrestrial laser scanning or other methods. London, English Heritage: 35 str.

<http://archive.cyark.org/temp/EH3DHeritageaddendum2006.pdf> (Pridobljeno 15. 6. 2011.)

Riegl. 2012. Terrestrial Laser Scanning.

<http://www.riegl.com/> (Pridobljeno 22. 1. 2012.)

Ustava Republike Slovenije. 1991. Uradni list RS, št. 33/1991.

<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=199133&stevilka=1409> (Pridobljeno 10. 1. 2011.)

Zakon o standardizaciji (ZSta-1). 1999. Ur.l. RS, št. 59/1999.

<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=199959&stevilka=2794> (Pridobljeno 16. 1. 2012.)

Zakonu o varstvu kulturne dediščine (ZVKD-1). 2008. Ur.l. RS, št. 16/2008.

<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200816&stevilka=485> (Pridobljeno 15. 12. 2011.)

KAZALO PRILOG

Priloga A: Tehnični podatki instrumenta Trimble VX	A1
---	-----------

Priloga B: Klasični izdelki tehnične dokumentacije gradu Lož	B1
---	-----------

Priloga B.1: Prerez št. 4	B1
---------------------------------	----

Priloga B.2: 2D načrt št. 5	B2
-----------------------------------	----

Priloga B.3: Ortofoto št. 5	B3
-----------------------------------	----

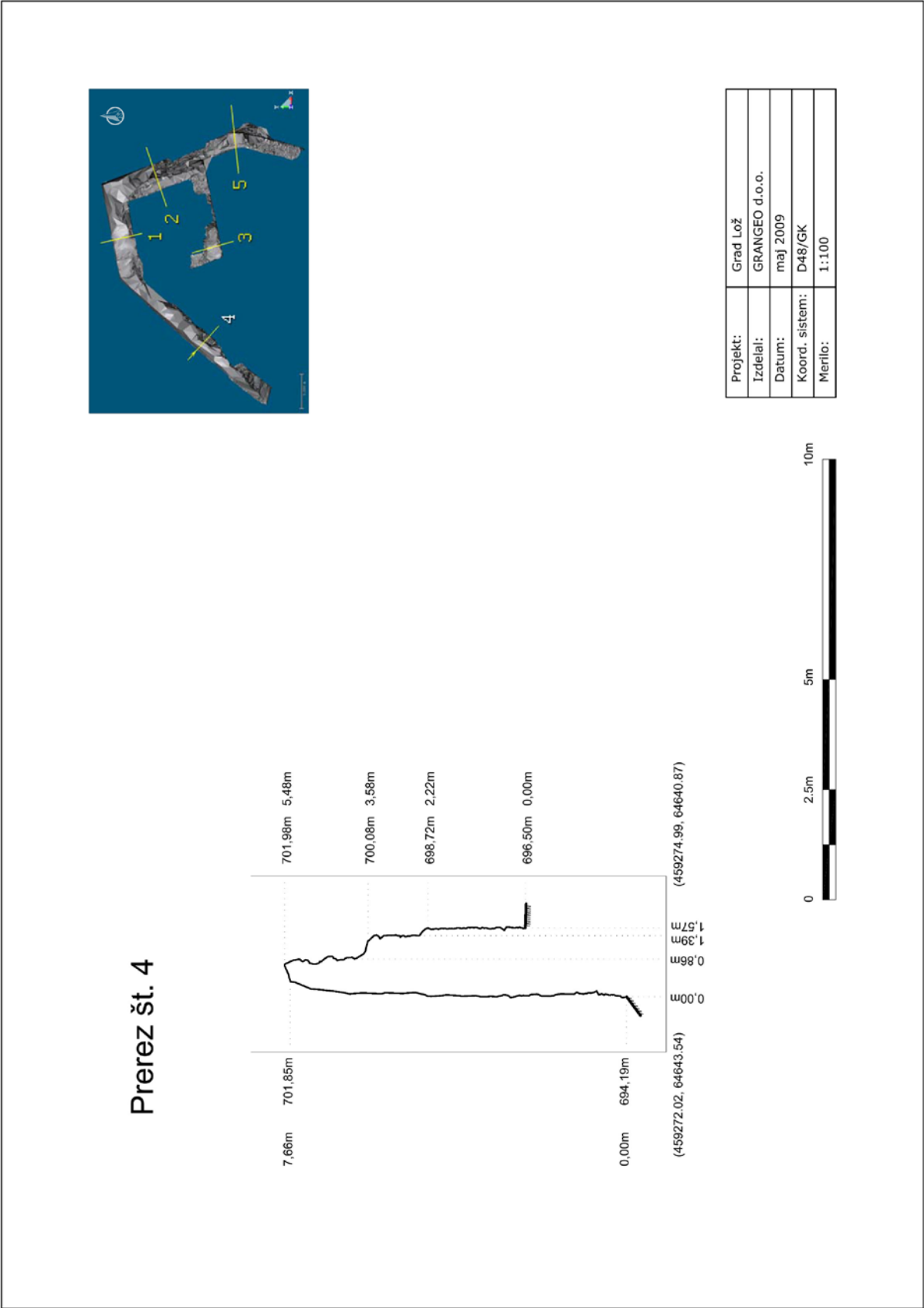
Priloga B.4: Ortofoto in 2D načrt št. 13	B4
--	----

Priloga A: Tehnični podatki instrumenta Trimble VX

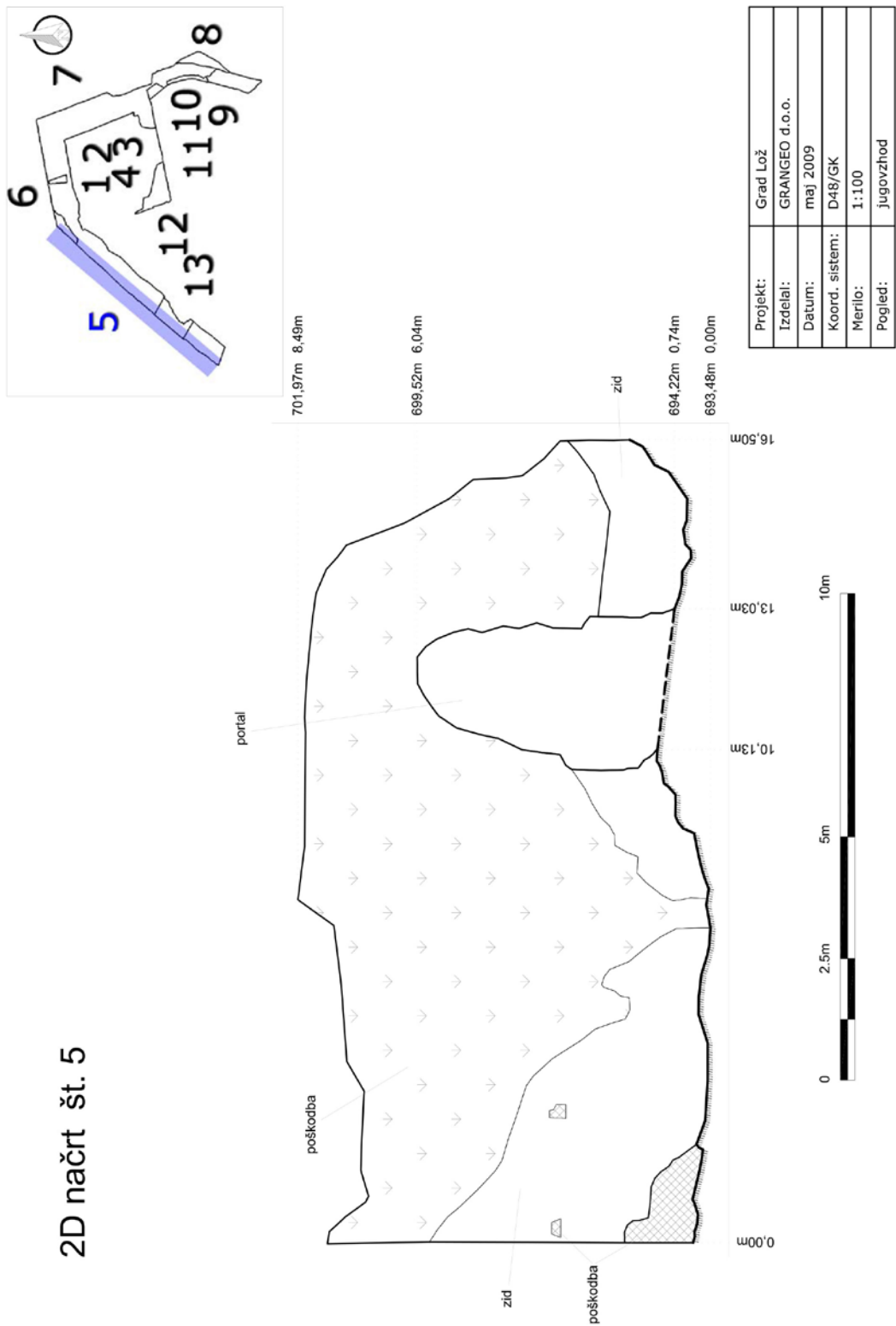
Trimble VX	
Metoda merjenja razdalje	impulzni
Laser	razred 1
Doseg skeniranja	1 - 250 m
Natančnost zajete 3D točke	1 cm
Ločljivost skeniranja	1 cm
Hitrost skeniranja	15 točk/s
Vidni kot skeniranja	360° x 310°
Natančnost merjenja razdalje	3 + 2 ppm
Natančnost merjenja kotov	Hz: 1"
	V: 1"
Ločljivost fotoaparata	2048 x 1536 točk
Vidni kot fotoaparata	16,5° x 12,3°
Goriščna razdalja fotoaparata	23 mm

Priloga B: Klasični izdelki tehnične dokumentacije gradu Lož

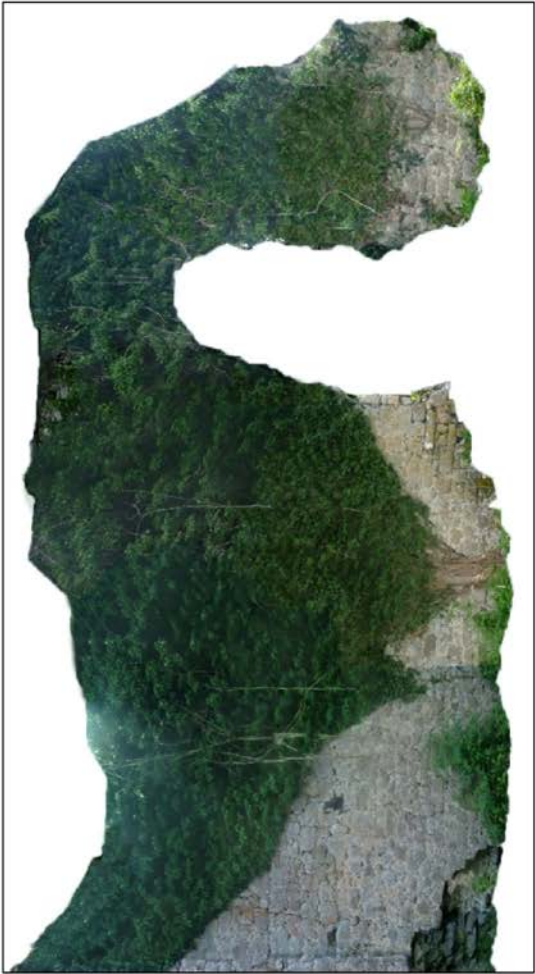
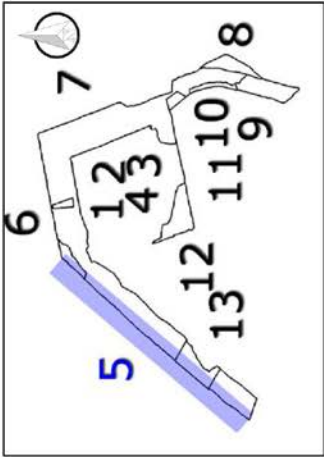
Priloga B.1: Prerez št. 4



Priloga B.2: 2D načrt št. 5



Priloga B.3: Ortofoto št. 5



(459267 86, 64636 59)

(459279 12, 64649 49)



Projekt:	Grad Lož
Izdelal:	GRANGEO d.o.o.
Datum:	maj 2009
Koord. sistem:	D48/GK
Merilo:	1:100
Pogled:	jugovzhod

Priloga B.4: Ortofoto in 2D načrt št. 13

