

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:

Šašič Kežul, A., 2014. Kartiranje poškodb fasade objekta iz oblaka točk terestričnega laserskega skeniranja. Diplomski nalogi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Kosmatin Fras, M., somentor Cerovšek, T.): 33 str.

Datum arhiviranja: 30-09-2014

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:

Šašič Kežul, A., 2014. Kartiranje poškodb fasade objekta iz oblaka točk terestričnega laserskega skeniranja. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kosmatin Fras, M., co-supervisor Cerovšek, T.): 33 pp.

Archiving Date: 30-09-2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM PRVE STOPNJE  
GEODEZIJA IN  
GEOINFORMATIKA

Kandidat:

**ALEKSANDAR ŠAŠIČ KEŽUL**

**KARTIRANJE POŠKODB FASADE OBJEKTA IZ  
OBLAKA TOČK TERESTRIČNEGA LASERSKEGA  
SKENIRANJA**

Diplomska naloga št.: 56/GIG

**MAPPING OF A BUILDING FACADE DAMAGE FROM  
THE TERRESTRIAL LASER SCANNING POINT  
CLOUD**

Graduation thesis No.: 56/GIG

**Mentorica:**

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

**Predsednica komisije:**

izr. prof. dr. Anka Lisec

**Somentor:**

doc. dr. Tomo Cerovšek

Ljubljana, 02. 09. 2014

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani Aleksandar Šašić Kežul izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Kartiranje poškodb objekta iz oblaka točk terestričnega laserskega skeniranja«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 17.8.2014

Aleksandar Šašić Kežul

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

- UDK:** 528.7:528.9(497.4)(043.2)
- Avtor:** Aleksandar Šašić Kežul
- Mentorica:** doc. dr. Mojca Kosmatin Fras
- Somentor:** doc. dr. Tomo Cerovšek  
Aleš Lazar, univ. dipl. inž. geod.
- Naslov:** Kartiranje poškodb fasade objekta iz oblaka točk terestričnega laserskega skeniranja
- Tip dokumenta:** Diplomaska naloga – univerzitetni študij
- Obseg in oprema:** 33 str., 1 pregl., 19 sl., 1 pril.
- Ključne besede:** kulturna dediščina, terestrično lasersko skeniranje, oblak točk, poškodba fasade, Revit, Geomagic, grad Borl

### **Izvleček**

Glavni namen diplomske naloge je opis postopka ugotavljanja in prikaza poškodb fasade objekta, iz podatkov terestričnega laserskega skeniranja. Naloga temelji na praktičnem primeru in sicer na primeru gradu Borl, ki spada med kulturne spomenike državnega pomena. V teoretičnem delu naloge je opredeljena kulturna dediščina in varstvo kulturne dediščine ter opisana sestava konservatorskega načrta. Kratko je opisana tudi tehnologija terestričnega laserskega skeniranja in uporaba le te v kulturni dediščini. V nadaljevanju je predstavljen obravnavan objekt grad Borl, ob tem pa so podani podatki o zajemu objekta s terestričnim laserskim skeniranjem. Praktični del naloge je razdeljen na obdelavo podatkov v programu Revit Architecture in obdelavo v programu Geomagic. V Revit Architecture so opisani osnovni postopki dela z oblakom točk, v Geomagic-u pa so podrobneje predstavljeni posamezni postopki obdelave oblaka točk za prikaz poškodb na fasadi objekta.

**BIBLIOGRAPHIC – DOKUMENTALISTIC INFORMATION WITH SUMMARY****UDC:** 528.7:528.9(497.4)(043.2)**Author:** Aleksandar Šašić Kežul**Supervisor:** Assist.Prof. Mojca Kosmatin Fras, Ph.D.**Cosupervisor:** Assist.Prof. Tomo Cerovšek, Ph.D.

Aleš Lazar, B.Sc.

**Title:** Mapping of a building facade damage from the terrestrial laser scanning point cloud**Document type:** Graduation Thesis – University studies**Notes:** 33 p., 1 tab., 19 fig., 1 ann.**Key words:** cultural heritage, terrestrial laser scanning, point cloud, facade damage, Revit, Geomagic, castle Borl**Abstract**

The main intention of the thesis is the description of the assessment procedure and the display of a building facade injuries from terrestrial laser scanning data. The task is based on the practical case, namely on the case of Borl Castle, which is one of the cultural monuments of national importance. In the theoretical part of the thesis the cultural heritage and the protection of cultural heritage is defined and the contents of the conservation plan is described. Briefly, the terrestrial laser scanning technology and its use in cultural heritage is also described. In addition the Borl castle is presented, as well as details of its terrestrial laser scanning in the field. The practical part is divided into data processing in the program Revit Architecture and in the program Geomagic. For processing in the Revit Architecture only basic operations with a point cloud are presented, but for the Geomagic the steps of a point cloud processing, aiming to extract the damage of the facade, is presented in more detail.

## **ZAHVALA**

Najprej bi se rad zahvalil mentorici, doc. dr. Mojci Komsatin Fras za vso pomoč ter usmerjanje pri pripravi diplomske naloge. Zahvalil bi se tudi somentorju doc. dr. Tomu Cerovšku.

Zahvalil bi se rad tudi podjetju Magelan skupina d.o.o., ki mi je posredovalo podatke ter Alešu Lazarju univ. dipl. inž. geod., za pomoč pri praktičnem delu naloge.

Na koncu bi se zahvalil tudi družini in prijateljem, ki so mi v času študija stali ob strani.

**KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TEORETIČNA IZHODIŠČA .....</b>	<b>2</b>
2.1	KULTURNA DEDIŠČINA.....	2
2.2	VARSTVO KULTURNE DEDIŠČINE.....	2
2.3	KONSERVATORSKI NAČRT.....	3
2.3.1	<i>Razumevanje dediščine .....</i>	<i>4</i>
2.3.2	<i>Kulturni pomen dediščine .....</i>	<i>4</i>
2.3.3	<i>Ranljivost/ogroženost dediščine.....</i>	<i>5</i>
2.3.4	<i>Smernice za ohranjanje.....</i>	<i>6</i>
2.3.5	<i>Konservatorsko-restavratorski projekt .....</i>	<i>7</i>
2.4	TERESTRIČNO LASERSKO SKENIRANJE .....	8
2.4.1	<i>Princip delovanja laserskega skenerja .....</i>	<i>8</i>
2.4.2	<i>Uporaba tehnologije terestričnega laserskega skeniranja na področju kulturne dediščine .....</i>	<i>9</i>
<b>3</b>	<b>PODATKI O OBJEKTU IN O ZAJEMU PODATKOV .....</b>	<b>10</b>
3.1	O GRADU BORL .....	10
3.1.1	<i>Gradbeni razvoj gradu.....</i>	<i>11</i>
3.1.2	<i>Grad Borl danes.....</i>	<i>13</i>
3.2	LASERSKO SKENIRANJE GRADU BORL.....	14
3.2.1	<i>Specifikacije instrumenta .....</i>	<i>14</i>
<b>4</b>	<b>PRAKTIČNI DEL .....</b>	<b>15</b>
4.1	REVIT ARCHITECTURE 2013 .....	16
4.1.1	<i>Delo z oblakom točk v programu Revit.....</i>	<i>17</i>
4.1.2	<i>Izdelava 3D modela v programu Revit.....</i>	<i>20</i>
4.1.3	<i>Scan To Bim.....</i>	<i>21</i>
4.2	GEOMAGIC STUDIO 2013 .....	21
4.2.1	<i>Uvoz in predhodna obdelava podatkov.....</i>	<i>22</i>
4.2.2	<i>Prikaz poškodb.....</i>	<i>23</i>
4.2.3	<i>Prikaz globine poškodb.....</i>	<i>25</i>
4.2.4	<i>Izračun volumnov poškodb .....</i>	<i>27</i>
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>29</b>
	<b>VIRI .....</b>	<b>31</b>
	<b>SEZNAM PRILOG .....</b>	<b>33</b>



## KAZALO SLIK

Slika 1: Shema vrednotenja kulturnega pomena dediščine (Zupančič in sod., 2007) .....	5
Slika 2: Shema konservatorskega načrta (Zupančič in sod., 2007) .....	7
Slika 3: Grad Borl .....	10
Slika 4: Lokacija gradu Borl .....	10
Slika 5: Izpis iz registra kulturne dediščine (RKD, 2014) .....	11
Slika 6: Prikaz poglavitnih razvojnih faz skozi stoletja (Vnuk in sod., 2014) .....	13
Slika 7: Inštrument Leica Scan-Station C10 .....	14
Slika 8: Shema prikazuje potek praktičnega dela diplomske naloge .....	16
Slika 9: Prikaz delovnega okolja v Revit Architecture 2013 in uvoženega oblaka točk .....	18
Slika 10: Izbran odsek .....	19
Slika 11: Prikaz izbranega odseka .....	19
Slika 12 Prikaz modela stene izdelanega na podlagi že vgrajenih družin elementov – oblak točk (levo), .....	20
Slika 13: Shema poteka dela v programu Geomagic .....	22
Slika 14: Prikaz označenih točk in ustvarjene ravnine .....	24
Slika 15: Prerez med ravnino in našo poligonsko mrežo .....	25
Slika 16: Ročno zajete poškodbe na podlagi 3D modela .....	25
Slika 17: Prerez poligonske mreže z različnimi pozicijami ravnine: - 0,01 m; - 0,02 m; - 0,03 m .....	26
Slika 18: Prikaz izbranih nastavitev in dobljenih rezultatov .....	27
Slika 19: Izračunan volumen poškodb .....	28

## **KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Osnovne specifikacije instrumenta Leica Scan-Station C10 (Leica geosystems, 2014) 14

## 1 UVOD

Slovenska zgodovina je na področju kulturne dediščine zelo bogata. Skozi stoletja so na naših tleh nastajali najrazličnejši objekti, nekateri med njimi so se ohranili vse do danes. Stanje posameznih objektov je pri tem zelo različno. Ponekod najdemo samo še ruševine ali dele objektov, drugod so se dobro ohranili celotni objekti, nekateri so bili v preteklosti tudi obnovljeni. V Sloveniji je bilo do leta 2009 v registru kulturne dediščine zabeleženih 26784 enot nepremične kulturne dediščine, število pa se s vsakim letom počasi večja (ZVKDS, 2014). Cilj naše in bodočih generacij je, da to kulturno dediščino poskušamo ohraniti. Stanje enot kulturne dediščine je zato potrebno dokumentirati, izdelati pa je potrebno tudi smernice za njihovo nadaljnjo ohranitev.

Pri zajemu in dokumentiranju kulturne dediščine se vse bolj uveljavlja tehnologija terestričnega laserskega skeniranja. Ta nam omogoča pridobitev kakovostnih podatkov v zelo kratkem času. Gre za zelo uporabno tehnologijo, ki nam omogoča izdelavo realističnih 3D modelov in drugih izdelkov. Ker se uporaba terestričnega laserskega skeniranja v praksi večja, se večja tudi količina programske opreme, ki nam omogoča obdelavo tako pridobljenih podatkov tj. obdelavo oblaka točk.

Moja naloga v okviru te diplomske naloge je bila raziskati programsko opremo za obdelavo oblaka točk in pri tem opisati postopek ugotavljanja poškodb na fasadi. Opis postopka se nanaša na praktičen primer in sicer je to grad Borl, ki spada med kulturne spomenike državnega pomena. Laserski zajem gradu je izvedlo podjetje Magelan skupina d.o.o.. Uporabljena sta bila programa Revit Architecture 2013 in Geomagic Studio 2013.

V diplomski nalogi v drugem poglavju najprej predstavimo teoretična izhodišča. Na kratko je opisano kaj je kulturna dediščina in kaj pomeni varstvo kulturne dediščine. V nadaljevanju je podrobneje opisan konservatorski načrt in njegovi sestavni deli. V tretjem poglavju so predstavljeni podatki o gradu Borl in o laserskem zajemu gradu ter podane osnovne specifikacije uporabljenega inštrumenta. V četrtem poglavju je opisan praktični del diplomske naloge. Najprej je predstavljen program Revit Architecture 2013 ter osnovni postopki za delo z oblakom točk. Sledi predstavitev programa Geomagic Studio 2013. V nadaljevanju je nato opisan postopek obdelave oblaka točk za ugotavljanje poškodb na fasadi. Podrobno so opisani posamezni postopki. V petem poglavju so predstavljene zaključne ugotovitve.

## 2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

### 2.1 Kulturna dediščina

Med kulturno dediščino uvrščamo vse 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 državnem interesu (ZVKDS, 2014).

Za izbor enot kulturne dediščine obstajajo splošna merila, to so (ZVKDS, 2014):

- avtentičnost,
- ogroženost,
- ohranjenost kot kompliment avtentičnosti,
- redkost kot poseben vidik izjemnosti,
- starost kot eno izmed najstarejših spomeniških meril.

Vsa kulturna dediščina je vpisana v Registru nepremične kulturne dediščine, ki ga vodi INDOK Center (Informacijsko dokumentacijski center za kulturno dediščino) na Ministrstvu za kulturo. V register, ki se sproti dopolnjuje, je bilo leta 2009 vpisanih 26784 enot kulturne dediščine, od tega je bilo 71 % vseh enot stavbnih (ZVKDS, 2014).

### 2.2 Varstvo kulturne dediščine

Do konca 20. stoletja smo za vsa dela v zvezi s kulturno dediščino uporabljali pojem varstvo kulturne dediščine ali konservatorstvo. Ob prevajanju tujih predpisov na področju dediščine, so bili v zadnjem času natančneje opredeljeni posamezni pojmi glede na vsebino in obseg naloge (ZVKDS, 2014).

**Ohranjanje** (angl. conservation) je najširši pojem. Združuje vse vrste politik, strategij, zakonskih, upravnih in tehničnih ukrepov ter dejavnosti, povezane z dediščino (ZVKDS, 2014).

**Varstvo** (angl. protection) je podrejen pojem in obsega predvsem zakonsko, upravno in strokovno dejavnost (ZVKDS, 2014).

**Zaščita** (angl. preservation) pomeni konkretne ukrepe in delovanje, katerih namen je preprečevanje neželenih sprememb in slabšanja stanja dediščine (ZVKDS, 2014).

Pri ohranjanju kulturne dediščine gre v širšem pomenu za ukrepe in dejanja, ki vodijo k zavarovanju, ohranjanju in skupnem uživanju dediščine. Država in občine zagotavljajo pravno varstvo, omogočajo izvajanje posameznih delov varstvene dejavnosti ter spodbujajo dostop javnosti do dediščine (ZVKDS, 2014).

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,
- pripravlanje in vodenje izvedbenih projektov,
- izvajanje posegov na dediščini,
- stalno upravljanje dediščinskih celot.

Varstvo dediščine je v ožjem pomenu dejavnost službe varstva nepremične in premične dediščine, ki jo opravljajo zavodi, ki so jih ustanovile občine ali država. Del varstva dediščine 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, 2014). Naloge varstva dediščine kot strokovne službe so:

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

### **2.3 Konservatorski načrt**

Konservatorski načrt je dokument, na podlagi katerega ohranjamo dediščino. V njem so razloženi razlogi za pomembnost dediščine ter določene varstvene usmeritve za vzdrževanje, popravila in uporabljanje dediščine (Zupančič in sod., 2007).

Namen izdelave konservatorskega načrta za določen objekt kulturne dediščine je dolgoročna ohranitev le tega. Zajema celostno sliko same dediščine in njenih sestavin. V njem so navedene vse informacije, ki so potrebne, da se predvidijo načini ohranjanja. Konservatorski načrt je razdeljen na naslednje štiri dele. Prvi trije deli spadajo v analitični del načrta, zadnji del pa v izvedbeni del. (Zupančič in sod., 2007):

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

Konservatorski načrt je potreben za vsako enoto dediščine, ne glede na dogajanje in okoliščine v zvezi z njo. Vsako dediščino je treba vsaj redno vzdrževati, pri tem pa moramo poznati njen kulturni pomen, da ji ne škodujemo (Zupančič in sod., 2007).

Izdelava konservatorskega načrta je po pravilniku obvezna takrat, kadar posegamo v strukturne elemente kulturnega spomenika to so deli konstrukcije spomenika, ki so nosilci njegovih varovanih vrednot. Priprava konservatorskega načrta se lahko zahteva tudi kadar je predvidevani poseg v spomenik kompleksen, kadar spomeniku grozi uničenje ali je ogrožena varovana vrednota spomenika in kadar so na spomeniku potrebna konservatorsko-restavratorska dela (Pravilnik o konservatorskem načrtu, 2009).

### **2.3.1 Razumevanje dediščine**

Za začetek konservatorskega dela je treba izbrano dediščino spoznati (Zupančič in sod., 2007). To storimo:

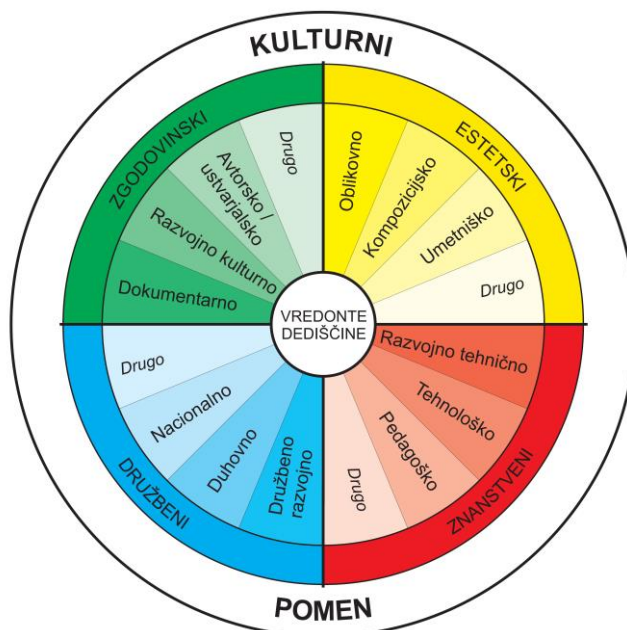
- z zbiranjem podatkov, najprej s topografitiranjem objekta in drugih virov (literatura, zbirni register, kataster, intervjuji);
- s primerjavami s sorodnimi primeri;
- s predhodnimi raziskavami dediščine (arhitekturni posnetek, analiza stanja, ugotavljanje sprememb in razvoja).

Z raziskavami dediščine pridemo do globljega poznavanja samega razvoja dediščine in njenih vrednot. Razumevanje dediščine mora biti osnova za naslednjo fazo konservatorskega načrta, to je ocenjevanje kulturnega pomena dediščine (Zupančič in sod., 2007).

### **2.3.2 Kulturni pomen dediščine**

Ocena kulturnega pomena dediščine ima ključno vlogo v odločanju o načinih ohranjanja dediščine. Vse varstvene usmeritve konservatorskega načrta se bodo nanašale na določitev kulturnega pomena dediščine. Tako kot pri razumevanju dediščine, je tudi pri ocenjevanju kulturnega pomena pomembna primerjava s sorodnimi primeri, s čimer jo umestimo v širši kontekst (Zupančič in sod., 2007).

Kulturni pomen ocenimo s postopkom vrednotenja. Pri vrednotenju raziskujemo preplet vrednot dediščine. Ocena kulturnega pomena je povzetek vseh vrednotenj, ki določijo dediščini zgodovinski, estetski, razvojni družbeni ali drugi pomen (Zupančič in sod., 2007). Slika 1 prikazuje shemo vrednotenja kulturnega pomena dediščine



Slika 1: Shema vrednotenja kulturnega pomena dediščine (Zupančič in sod., 2007)

Posamezne sestavine in vrednote dediščine imajo različno vlogo v skupnem kulturnem pomenu, zato jih predstavimo v kategorijah od izjemne do nepomembne stopnje. S stopnjevanjem kulturnega pomena, ločimo sestavine dediščine na tiste, katerih pomen je izjemen in se ne smejo izgubiti ter tiste z manjšim pomenom, pri katerih so dovoljene spremembe (Zupančič in sod., 2007).

### 2.3.3 Ranljivost/ogroženost dediščine

S splošno oceno ranljivosti se razloži vzroke za ranljivost dediščine. Ti vzroki so naravne in druge nesreče, okoljski vplivi, neusklajeno planiranje, družbeno dogajanje, neusklajena zakonodaja itd.. Dediščino smatramo za ogroženo, kadar ji grozi izguba kulturnega pomena ali uničenje. Če razumemo, kako ranljiva/ogrožena je dediščina, lahko bolj vplivamo na njeno prihodnost. Ranljivost/ogroženost predstavimo v dveh sklopih (Zupančič in sod., 2007):

- splošna ranljivost dediščine in
- ogroženost dediščine.

### 2.3.4 Smernice za ohranjanje

Zadnji sklepni del konservatorskega načrta določa smernice za ohranitev dediščine. Te smernice vsebujejo splošne usmeritve, usmeritve za ohranitev varovanih vrednot ter usmeritve za razvoj, spremembe in predelave. Smernice morajo izhajati iz prepoznanega kulturnega pomena in njegove ranljivosti/ogroženosti. Z njimi določimo ukrepe za ohranitev kulturnega pomena dediščine (Zupančič in sod., 2007 in Pravilnik o konservatorskem načrtu, 2009).

**Splošne usmeritve** so usmeritve za zagotavljanje avtentičnosti, celovitosti in reverzibilnosti glede na kulturni pomen spomenika. Pri tem morajo biti upoštevani mednarodni standardi varstva (Pravilnik o konservatorskem načrtu, 2009).

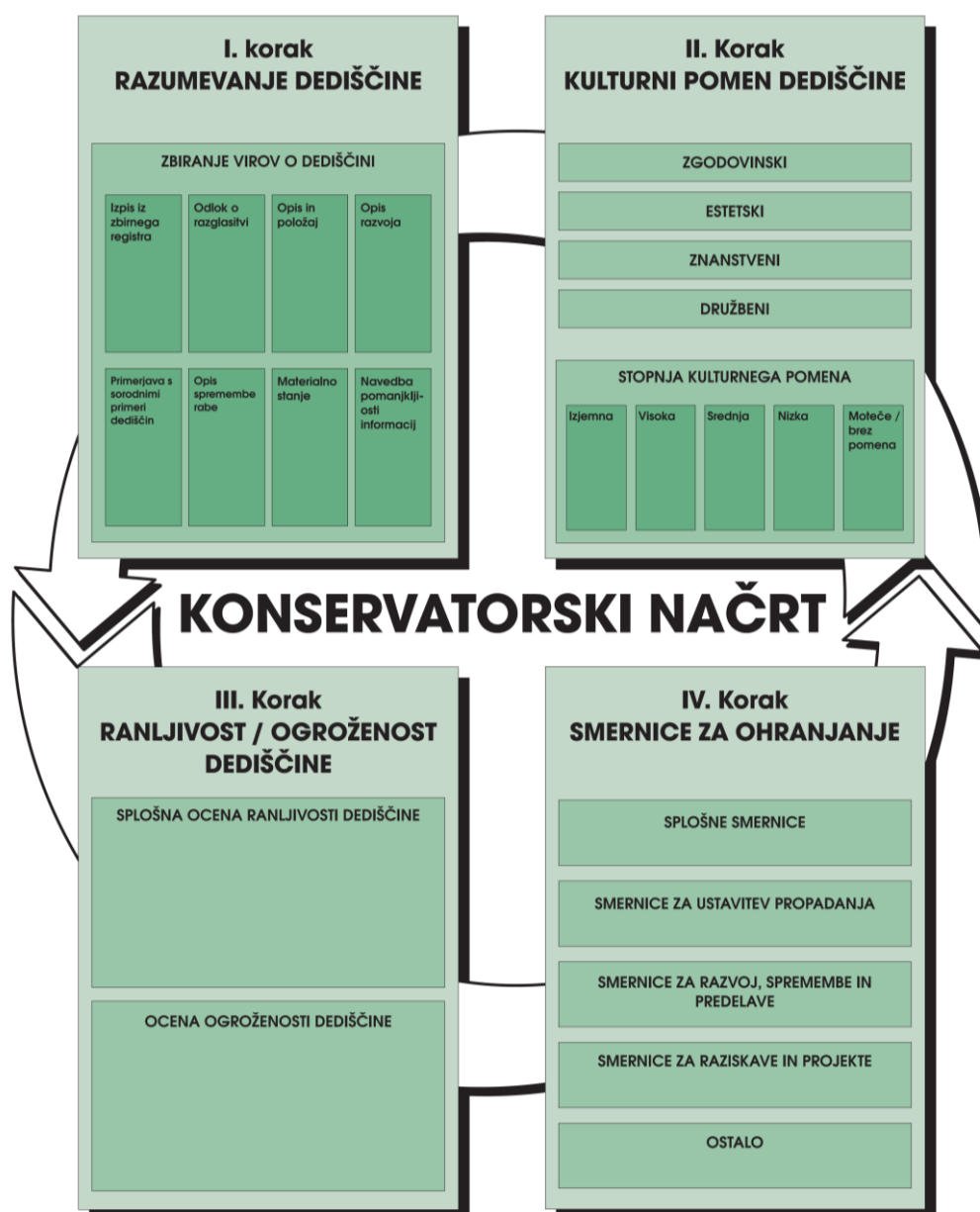
**Usmeritve za ohranitev varovanih vrednot** določajo nujne ukrepe za preprečitev nadaljnjega propadanja dediščine, usmeritve za uporabo, vzdrževanje in občasno obnove ter ostale manj obsežne posege (Pravilnik o konservatorskem načrtu, 2009).

**Usmeritve za razvoj, spremembe in predelave** opredeljujejo spremembe dediščine, ki so mogoče in združljive z ohranjanjem njenega kulturnega pomena npr. spremembe gradiva strukturnih elementov, spremembe glede premeščanja posameznih delov dediščine, spremembe uporabe dediščine (Pravilnik o konservatorskem načrtu, 2009).

Cilji oblikovanja teh smernic so (Zupančič in sod., 2007):

- upoštevati načela konservatorske stroke (odnos do ohranjanja celovitosti, trajnostnega razvoja, pristnosti itd.),
- zaustaviti propadanje dediščine in določiti prednostna popravila in posege,
- omogočiti razvoj in usmerjati spremembe na načine, ki ne škodujejo kulturnemu pomenu dediščine,
- predvideti dodatne raziskave in projekte, kjer je to potrebno za objekt.





Slika 2: Shema konservatorskega načrta (Zupančič in sod., 2007)

### 2.3.5 Konservatorsko-restavratorski projekt

V izvedbenem delu se podajo natančne usmeritve za ohranjanje in varovanje dediščine. Izvedbeni del lahko vsebuje tudi konservatorsko-restavratorski projekt. Konservatorsko-restavratorski projekt se izdelava, kadar so za dediščino predvidena konservatorsko-restavratorska dela. Projekt vsebuje (Pravilnik o konservatorskem načrtu, 2009):

- dokumentacijo stanja pred posegom,
- poročila oziroma povzete izsledke poročil o raziskavah in vzorčnih primerih izvedbe,
- tehnologije konservatorsko-restavratorskih del in
- popis del z oceno investicije.

## 2.4 Terestrično lasersko skeniranje

Terestrično lasersko skeniranje je ena izmed metod izmere, ki je tako v razvoju same tehnologije kot tudi v uporabi le te v zadnjem času doživela velik vzpon. Gre za brez-kontaktni način zajemanja podatkov z visoko natančnostjo. Ena izmed glavnih prednosti te tehnologije je sama hitrost in celovitost zajema podatkov. V kratkem času zajema lahko posnamemo več milijonov točk, ki natančno in celovito predstavljajo skeniran objekt. Rezultat laserskega skeniranja je zgoščen 3D oblak točk površine skeniranega objekta (Kastelic, 2010).

Pred ostalimi metodami izmere so glavne prednosti laserskega skeniranja naslednje:

- zajem je brez-kontakten,
- zajeti podatki so natančni in popolni,
- velika hitrost zajema,
- delovanje instrumenta v slabših svetlobnih pogojih ali v popolni temi,
- možna souporaba z drugimi tehnologijami,
- manjši stroški zajema,
- uporaba zajetih podatkov večkrat in za različne namene.

### 2.4.1 Princip delovanja laserskega skenerja

Zajem podatkov v laserskem skenerju poteka z aktivnimi senzorji. Enostavno ga lahko opišemo kot motoriziran elektronski tahimeter, ki avtomatično meri točke v horizontalnem in vertikalnem vidnem polju. Kot že samo ime inštrumenta pove, se za zajem uporablja laser. Inštrument odda laserski žarek, ki potuje do površine objekta, kjer se odbije in razprši. Del laserske energije se odbije nazaj proti inštrumentu, kjer se le ta zbere in izmeri. Osnovni pogoj za delovanje laserskega skenerja je, da površina skeniranega objekta odbija lasersko svetlobo. Pri zajemu se izračuna razdalja med inštrumentom in točko, registrirata pa se še vertikalni in horizontalni kot. Dobljene skenirane točke imajo določene pravokotne koordinate  $(x, y, z)$  v lokalnem koordinatnem sistemu, ki ima izhodišče v centru skenerja (Kastelic 2010 in Kotnik 2008).

## **2.4.2 Uporaba tehnologije terestričnega laserskega skeniranja na področju kulturne dediščine**

Uporabnost tehnologije terestričnega laserskega skeniranja je zelo velika. Zaradi hitrega in učinkovitega pridobivanja podatkov, se tehnologija uporablja na raznih področjih kot so arhitektura, gradbeništvo, geodezija, arheologija, industrija ipd. Zaradi visoke natančnosti je izjemno uporabna tudi na področju kulturne dediščine, kjer imamo pogosto opravka z objekti v slabem stanju, pri čemer nam tehnologija na primer omogoča podroben zajem poškodb. Velika prednost uporabe metode pri zajemu kulturne dediščine je tudi brez-kontakten način zajema podatkov, saj se na ta način ne povzroči dodatnih poškodb na objektu. Uporabljamo jo lahko pri zajemu stavbnih objektov, kot tudi pri zajemu spomenikov in druge kulturne dediščine. Iz zajetih podatkov je možno izdelati 3D modele, 2D načrte in prereze objektov. Ti nam služijo kot končni izdelki, ali pa samo kot osnova za druga dela kot npr. za ugotavljanje poškodb ali drugih nepravilnosti na objektih, ki nam koristijo za izdelavo konservatorsko-restavratorskega projekta.

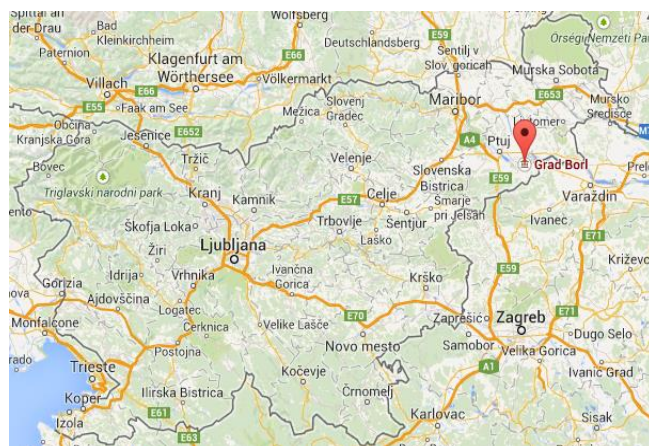
### 3 PODATKI O OBJEKTU IN O ZAJEMU PODATKOV

#### 3.1 O Gradu Borl

Grad Borl se nahaja na strmo odsekani, 60 metrov visoki litotamnijski apnenčasti skali, vzhodno od mesta Ptuj, v naselju Dolane, ob starodavnem prehodu čez reko Dravo. Zaradi lege na takratni štajerskoogrski meji je sprva kot ogrska obmejna postojanka varoval prehod čez reko Dravo. O tem priča že samo ime gradu Borlyn in pa nemško Ankenstein, kar naj bi označevalo rečni prehod. Točnih podatkov o nastanku gradu ni, v strokovni literaturi pa se je uveljavila domneva, da njegovi začetki segajo v 11., 12. stoletje. V zapisih se prvič grad omenja leta 1255, ko je ogrski kralj Bela IV. Frideriku Ptujskemu le tega podelil v fevd. Zaradi zelo pomembne lege na križišču različnih mej, je v prihodnjih stoletjih zgodovina gradu bila burna. Na njem se je zvrstilo veliko lastnikov, pomembnejši med njimi so bili Ptujski gospodje, družina Szekely in družina Sauer. Med zadnjimi lastniki gradu je bila v začetku 20. stoletja baronica Adalberta Kubeck, in družba za vinogradništvo in kletarstvo Borlin, ki je grad s vsem posestvom leta 1922 od nje odkupila. V času druge svetovne vojne so grad zasedli Nemci, ki so grad uporabljali kot predhodno zbirno taborišče. Po koncu vojne je grad prešel v splošno ljudsko premoženje, v katerem so najprej uredili mladinsko okrevališče nato še begunski center za otroke. Leta 1952 je bilo v grajskem poslopju odprto letovišče Borl, ki pa je do leta 1981 propadlo. Od takrat naprej grad sameva, na njemu pa se odvijajo le vsakoletne prireditve (Vnuk in sod., 2014 in Stopar, 1990).



Slika 3: Grad Borl



Slika 4: Lokacija gradu Borl

Leta 1999 je bil Grad Borl z odlokom razglašen kot kulturnozgodovinski spomenik državnega pomena. Glej sliko 5.

OPIS ENOTE NEPREMIČNE KULTURNE DEDIŠČINE®	
<b>IDENTIFIKACIJA ENOTE DEDIŠČINE</b>	
Evidenčna številka enote:	35
Ime enote:	<b>Dolane - Grad Borl</b>
Fototeka OE Maribor: 2002, Srečko Štajnbaher	
	
<b>OPIS ENOTE DEDIŠČINE</b>	
Zvrst dediščine:	stavbe
Tip enote:	profana stavbna dediščina
Obseg enote:	objekt
Tipološka gesla enote:	grad, vrt, grajska kapela, sv. Trojica
Tekstualni opis enote:	Srednjeveški grad, dominanta nad Dravo, z delno ohranjenim parkom, je dograjen z baročnimi dodatki. Ohranjeni so deli kvalitetne opreme, portal, kipi in poslikave. Pomemben spomenik druge svetovne vojne.
Datacija enote:	sredina 13. stol., 1255, 15. stol., sredina 17. stol., 1647, sredina 20. stol., 1951
Avtor(ji):	
Varstvene usmeritve:	stavbe
<b>LOKACIJA ENOTE DEDIŠČINE</b>	
Naselje:	DOLANE
Občina:	CIRKULANE
Lokacija:	Dolane 1. Na zahodnem robu razglednega pomola, visoko nad desnim bregom Drave, dominira grad.
<b>PRISTOJNOSTI</b>	
Območna enota:	ZVKD Maribor
<b>RAZGLASITEV</b>	
Vrsta spomenika	spomenik državnega pomena
Akt razglasitve:	Odlok o razglasitvi Gradu Borl za kulturni spomenik državnega pomena, Ur.l. RS, št. 81/99-3809, 22/2002-969
Vrsta razglasitve:	stalna razglasitev do preklica
Veljavnost razglasitve:	6.10.1999 -

Slika 5: Izpis iz registra kulturne dediščine (RKD, 2014)

### 3.1.1 Gradbeni razvoj gradu

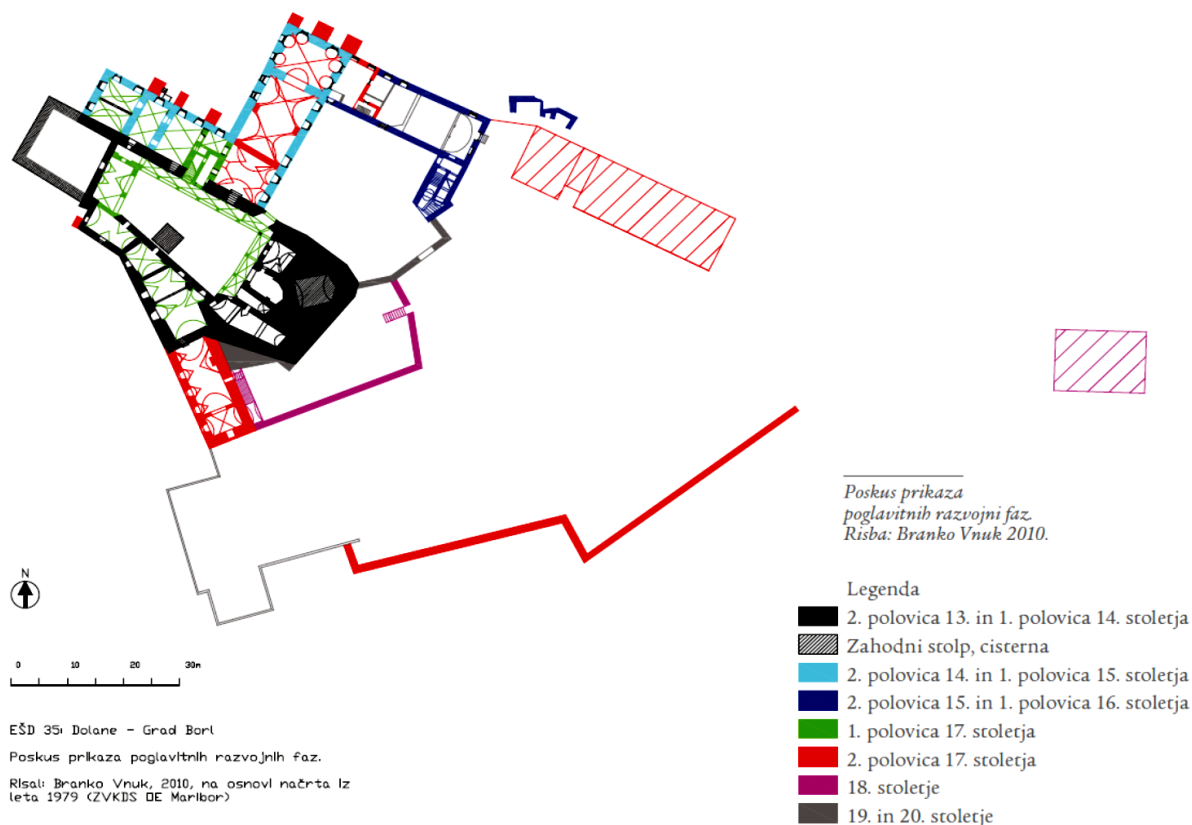
Grajski kompleks je skozi stoletja doživel veliko sprememb. Na to so vplivali posamezni lastniki, ki so grad bodisi dograjevali ali obnavljali in različna zgodovinska obdobja ter nesreče kot je bil požar leta 1706. Sama gradnja se je morala prilagajati položaju gradu na vrhu skale in s tem razpoložljivem prostoru, zato kompleks sestavljajo predvsem objekti nepravilnih oblik.

Sam grad je iz umetnostnozgodovinskega in tudi arheološkega vidika še dokaj neraziskan, tako da vseh potankosti njegovega gradbenozgodovinskega razvoja ne poznamo. Jože Curk je na podlagi analize

zgodovinskih podatkov, gradbene substance ter starejših upodobitev borlskega gradu, razvrstil razvoj gradu na naslednjih 7 poglavitnih gradbenih faz (Vnuk in sod., 2014):

- **Prva faza** – V gradbenem sestavu grad ne hrani stavbnih ostalin izpred 13. stoletja, sama utrdba pa je tu zagotovo obstajala že prej. Šlo je za utrdbo gradiškega tipa, ki je služila kot manjši vojaški stacionarij. Sam grad do prve polovice 13. stoletja ni doživel svoje grajske preobrazbe. Le ta se je najverjetneje zgodila po letu 1255, ko so grad v fevd dobili Ptujski gospodi.
- **Druga faza** (čas Ptujski gospodov) –Ptujski gospodi so zgradili grad Borl, da bi svojo posest zaščitili pred vzhodnimi sosedi. Takrat je bil zgrajen mogočen stolp z obzidanim dvoriščem in cisterno za seboj. Ker je imel grad utrdbeni značaj, ga niso gradili v smislu bivalnega gradu. To se je kazalo tudi v ceni, ki je bila v primerjavi z drugimi gradovi razmeroma nizka. V tistem času je bilo zgrajeno tudi poslopje ob zahodni strani dvorišča.
- **Tretja faza** (čas družine Szekly) – Grad je družina Szekly dobila v last leta 1494. V njihovem času so okrog notranjega dvorišča bili zgrajeni 3 trakti, katerih zahodni del se je naslonil na stolp, vzhodni je puščal prost dostop do dvorišča, severni pa je le ta 2 trakta povezoval, obenem pa služil kot grajska opazovalnica.
- **Četrta faza** (čas družine Sauer, med letoma 1639 in 1801) – Leta 1639 je baron Ivan Karl Sauer kupil gosposčino Borl, ki je zaradi slabega stanja in močno zmanjšanega posestva bila vredna le 95 funtov. V času Sauerjev se je začela velika izgradnja Borla. Najprej so izgradili dvonadstropne stebričaste arkadne hodnike ob severni, vzhodni in južni stranici notranjega dvorišča, vhodno steno s portalom in obema biforama. Sledil je še južni podaljšek zahodnega trakta in pravokotni prizidek vzhodnega. Sredi 17. stoletja je začelo nastajati osrednje dvorišče, do leta 1675 pa je bila v prečnem traktu urejena tudi cerkev. Med drugim je pred južno stranico predgradja bilo zgrajeno še predzidje, za dodatno obrambo gradu s strani, kjer ga je bilo najlažje napasti.
- **Peta faza** – Leta 1706 je grad pogorel. Po tem letu sta takratna zakonca Sauer začela grad postopoma obnavljati in opremljati v baročnem stilu (barokizacija celotnega grajskega kompleksa). Celoten grad sta na novo ostrešila. Nasledniki Sauerjev, na grad in na njegovo zunanjo podobo niso bistveno vplivali.

- **Šesta faza** – Proti koncu 18. stoletja, je gradu zagrozila nevarnost, da se bo zrušil severni skalni pomol. Da bi to preprečili, so porušili ta del in na njem uredili razgledno ploščad z glorioto.
- **Sedma faza** – V 20. stoletju je postopoma izginilo predgradje z večino spremnih poslopij. Izginilo je tudi obzidje, ki je na severovzhodni strani oklepalo grad.



Slika 6: Prikaz poglobitnih razvojnih faz skozi stoletja (Vnuk in sod., 2014)

### 3.1.2 Grad Borl danes

Grad je zaradi starosti začel v zadnjem stoletju močno propadati. Leta 1969 je bil sprejet prvi ukrep v obliki odloka, v katerem je bil grad Borl razglašen za pomemben kulturnozgodovinski spomenik. Leta 1981 je bila tako zastavljena gradbena sanacija celotnega gradu. Najprej so bila opravljena obsežna statično sanacijska dela na območju kapele in severnega trakta. Zaradi izredno nestabilnega terena na vrhu skale, je bilo potrebno zelo globoko temeljenje in injektiranje obodnih sten. Vgrajenih je bilo tudi več armiranobetonskih plošč. Kasneje je bilo prenovljeno celotno ostrešje gradu ter obnovljena zunanost bergfrida. Vsa ta sanacijska dela so le osnova za nadaljnje konservatorske posege. Za popolno obnovitev gradu pa bi bilo potrebno še ogromno postoriti. (Arh Kos, 2006).

## 3.2 Lasersko skeniranje gradu Borl

Skeniranje gradu Borl je potekalo 19.6.2012 in je potekalo en dan. Ker gre za večji objekt je okrog gradu bilo postavljeno 20 stojišč. Število vseh zajetih točk je bilo 167 milijonov. Posneta je bila celotna zunanost gradu. Za lasersko skeniranje je bil uporabljen inštrument Leica ScanStation C10. Podatke mi je posredovalo podjetje Magelan skupina d.o.o., 3D BIRO, ki je skeniranje tudi izvedlo.

### 3.2.1 Specifikacije instrumenta

Preglednica prikazuje tehnične specifikacije uporabljenega terestričnega laserskega skenerja Leica Scan-Station C10.



Slika 7: Inštrument Leica Scan-Station C10

Preglednica 1: Osnovne specifikacije instrumenta Leica Scan-Station C10 (Leica geosystems, 2014)

<b>Metoda merjenja razdalje</b>	impulzna
<b>Merilni doseg</b>	0,1 m -300 m
<b>3D natančnost ene izmerjene točke</b>	6 mm
<b>3D natančnost modelirane površine</b>	2 mm
<b>Hitrost (točk na sekundo)</b>	50 000
<b>Vidno polje</b>	360° × 270°
<b>Velikost in teža</b>	13.8 kg (z dvema baterijama)
<b>Temperatura območja delovanja</b>	0°C - 40°C
<b>Vgrajena kamera</b>	4 Mp s povečavo, samodejno ostrenje in osvetlitev

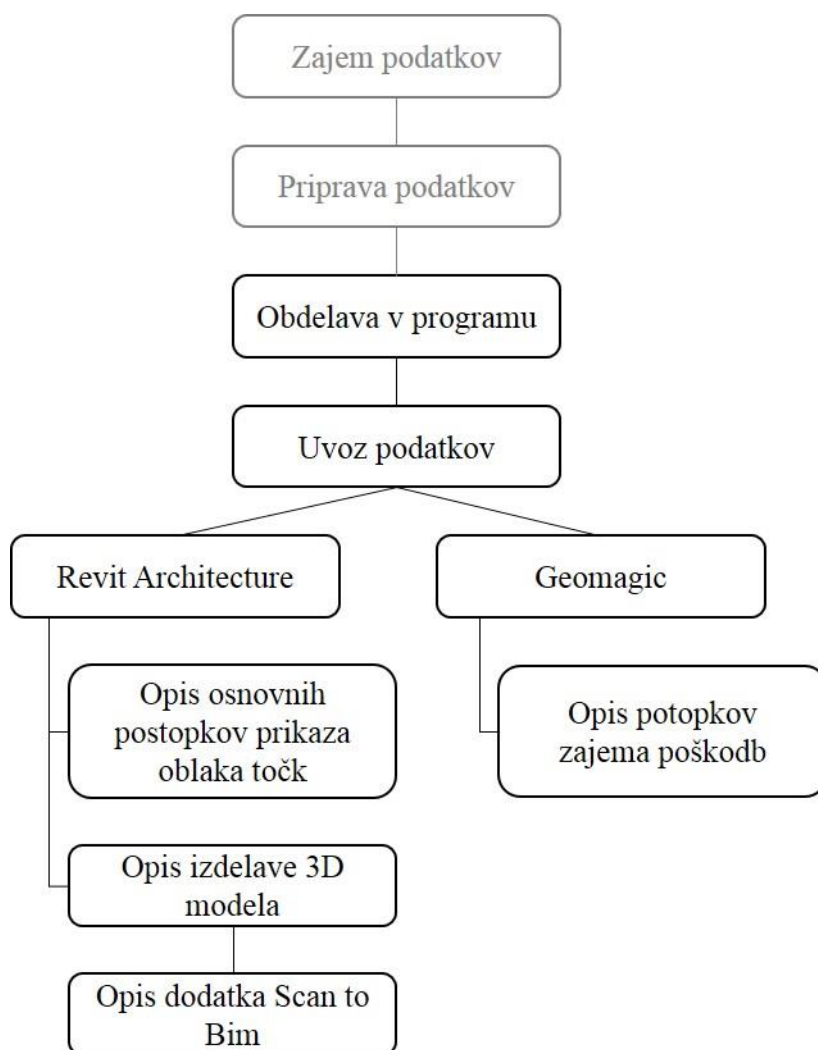


## 4 PRAKTIČNI DEL

Po končanem zajemu objekta s pomočjo tehnologije laserskega skeniranja, je za različne potrebe uporabe podatkov potrebno oblak točk še ustrezno obdelati. Zaradi vedno večje uporabe laserskega skeniranja v praksi, je na voljo kar nekaj programskih orodij, ki nam to obdelavo omogočajo. Glede na naš zastavljen cilj je pomembno, katero izmed orodij izberemo, saj se le ta med seboj razlikujejo v načinih in možnostih obdelave podatkov. Nekatera izmed njih služijo samo za vizualizacijo oblaka točk, v drugih lahko na podlagi točk ročno zajemamo podatke, spet tretja služijo za avtomatizirano kompleksno izdelavo 3D modelov ter različne analize.

Sami smo se osredotočili na ugotavljanje in prikaz poškodb na fasadi ene izmed sten gradu Borl, ki spada med objekte kulturne dediščine. Cilj je bil najti ustrezen delovni postopek, s katerim bi iz oblaka točk hitro in učinkovito pridobili uporabne rezultate. Prikazati smo poskušali, kje na fasadi se poškodbe nahajajo, globino teh poškodb ter ugotoviti njihov volumen. Ti rezultati bi bili uporabni za izdelavo konservatorskega načrta oziroma za izdelavo konservatorsko-restavratorskega projekta, s katerima bi se določile usmeritve za ohranjanje in načini za obnovo fasade.

Za ugotavljanje poškodb smo preizkusili dve programski orodji, ki omogočata obdelavo oblaka točk, in sicer Revit Architecture 2013 ter Geomagic Studio 2013. Izkazalo se je, da prvo programsko orodje Revit Architecture v osnovi (brez dodatnega programiranja) ne podpira takšne obdelave oblaka točk, s katerimi bi lahko enostavno prikazali poškodbe, zato bodo v nadaljevanju opisani le osnovni postopki za delo z oblakom točk v tem programu in predstavljene nekatere druge možnosti uporabe tega programa. Opisan bo tudi dodatek h programu, to je Scan To Bim, ki nam delo z oblakom nekoliko poenostavi. V Geomagic Studio pa bo predstavljen postopek, ki smo ga v okviru te naloge uporabili za zajem in interpretacijo poškodb na obravnavanem objektu.



Slika 8: Shema prikazuje potek praktičnega dela diplomske naloge


#### 4.1 Revit Architecture 2013

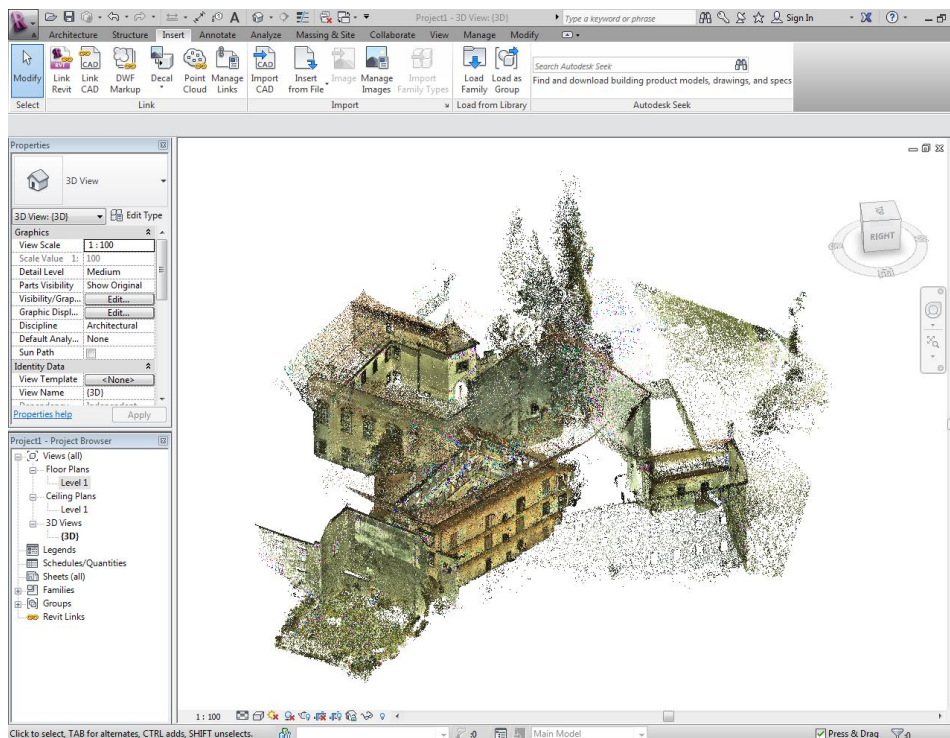
Revit Architecture 2013 (v nadaljevanju Revit) spada v družino Autodesk-ovih programskih orodij. Gre za orodje, ki omogoča izdelavo informacijskega modela stavbe (angl. BIM – Building information Model). Informacijski model stavbe je digitalni zapis in predstavitev informacij o konkretni stavbi, za komunikacijo med udeleženi v gradbenem projektu. Tak model vsebuje geometrijske in negeometrijske informacije (Cerovšek, 2010). Revit Architecture je namenjen predvsem modeliranju stavb. Elementi modela niso geometrijske entitete, ampak deli stavb kot jih vidimo v naravi, na primer: stene, okna, vrata, stopnice in streha. Rezultat modeliranja, informacijski model stavbe, vsebuje geometrijske in negeometrijske informacije. Na osnovi centralnega zapisa vseh informacij o stavbi lahko na osnovi modela 3D izdelamo več tipičnih prereзов in tlorisov v 2D. Revit omogoča tudi 4D informacijsko modeliranje, s čemer se označuje uporaba orodij za načrtovanje in spremljanje faz

življenjskega cikla stavbe, vse od začetka gradnje do kasnejše uporabe in upravljanja stavbe (4D = 3D geometrija + čas, ki omogoča simulacijo izvedbenega terminskega plana). Tako modeliranje omogoča sodelovanje različnih strok (arhitektov, projektantov, raznih inženirjev...), pri izdelavi enotnega BIM modela.

#### 4.1.1 Delo z oblakom točk v programu Revit


Delovno okolje v Revit-u je močno podobno okolju, kot ga imajo tudi ostala Autodesk-ova orodja. Na vrhu okna imamo postavljene zavihke (*Architecture, Structure, Insert...*), ki predstavljajo glavne sklope funkcij, ki jih v programu lahko uporabljamo. S klikom na posamezen zavihek se nam odprejo dodatna orodja za posamezen sklop. Na sliki 9 je prikazano delovno okolje v programu Revit in uvožen oblak točk.

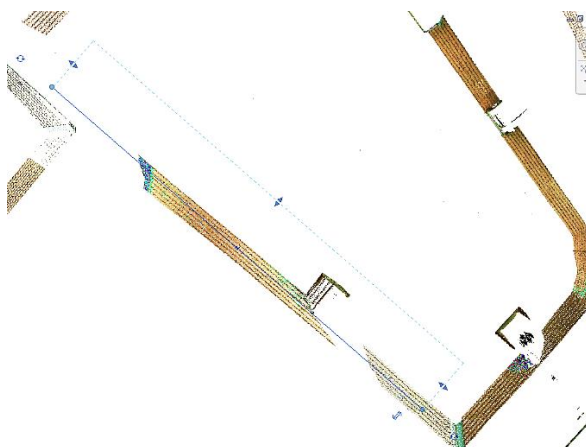
V program Revit lahko uvozimo geometrijo, ki je zapisana v različnih formatih. Med drugim lahko uvozimo tudi oblak točk. Za uvoz se premaknemo na zavihek *Insert* ter v sklopu *Link* izberemo *Point cloud*. Odpre se nam dialogno okno, v katerem poiščemo datoteko. Revit v osnovi uporablja za uvoz oblaka točk formata *.rcs* in *.rcp*, vendar imamo možnost uvoza tudi surovih podatkov v drugih formatih (*.3dd, .las, .txt, .asc, .fls, ...*). V primeru, da uvažamo surove podatke, mora le te Revit še indeksirati. V »raw« formatu so podatki za program Revit neuporabni, s pomočjo indeksiranja pa se podatki pretvorijo v format *.pcg*, ki se lahko neposredno uporabi v programu Revit. Glede na količino podatkov lahko to traja od nekaj sekund do nekaj minut. Ko je indeksiranje končano, indeksiran oblak točk, ponovno uvozimo v program. »Raw« podatke lahko indeksiramo tudi zunaj okolja Revit. Za 3D prikaz uvoženih podatkov kliknemo na zavihek *View* in v sklopu *Create* izberemo *3D view* ali enostavno kliknemo na ikono v vrhu okna .



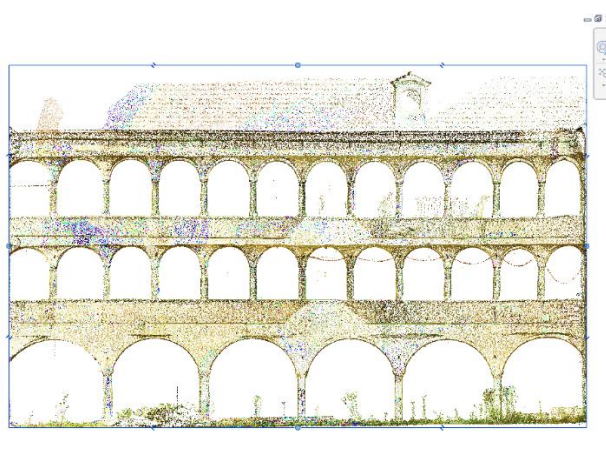
Slika 9: Prikaz delovnega okolja v Revit Architecture 2013 in uvoženega oblaka točk

Če želimo v 3D pogledu prikazati samo določen del oblaka točk, lahko to storimo s funkcijo *Section Box*, ki jo najdemo v oknu z nastavitvami (*angl. Properties*) na levi strani pod rubriko *Extents*. Z vključitvijo te funkcije se nam na zaslonu prikaže škatlast obris okrog oblaka točk, ki mu poljubno spreminjamo velikost in s tem prikažemo le tisti del, ki ga želimo.

V Revitu za lažje delo na posamezni steni uporabimo odseke. Za prikaz odsekov se moramo najprej premakniti v enega izmed tlorisnih pogledov. V oknu *Project Browser* v skupini *Views*, kliknemo na enega izmed ponujenih pogledov v *Floor Plans*. Ko smo to storili, kliknemo na zavihek *Views* in za tem v sklopu *Create* izberemo *Section*. Kot pri 3D pogledu je tudi za odsek na vrhu okna bližnjica . Z dvema točkama nato določimo daljico, širina prikazanega pasu, pa nam prikazuje, katera stran in kakšna širina ob daljici bo prikazana. Položaj, širino pasu in dolžino daljice poljubno spreminjamo. Z narejenim odsekom se nam v oknu na desni strani pod skupino *Views* pojavi nov sklop *Sections*. Znotraj njega se nahaja narejen odsek, ki se prikaže ob kliku nanj. Ustvarimo lahko poljubno veliko odsekov. Glej sliki 10 in 11.



Slika 10: Izbran odsek



Slika 11: Prikaz izbranega odseka

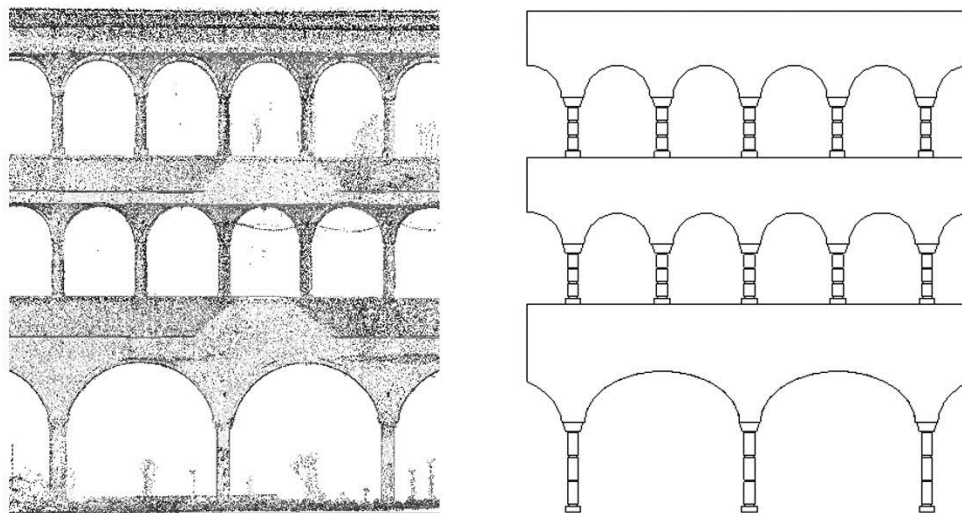
Program Revit ne vsebuje orodja, ki bi omogočala neposreden zajem iz oblaka točk. Oblak točk nam služi samo kot referenca, na podlagi katere izgradimo 3D model. Elemente za izgradnjo 3D modela najdemo pod zavihkoma *Architecture* in *Structure*. Izbiramo med arhitekturnimi ter konstrukcijskimi elementi. Na voljo so nam že vgrajene družine elementov, ki jih lahko poljubno spreminjamo in prilagajamo. V primeru izdelave modela stavbe kot je grad Borl, v Revitu nimamo ustreznih družin, zato bi jih bilo potrebno razviti. Elementi, ki bi jih bilo potrebno razviti, so npr. stebri, oboki, okna ipd.

Revit kot programsko orodje je namenjeno predvsem za izdelavo informacijskih modelov zgradb. Gre za modele, ki združujejo geometrijske in ne-geometrijske elemente. Na izdelavi takega modela sodeluje celotna ekipa udeležencev na posameznem projektu od arhitektov, projektantov, inženirjev do lastnikov in drugih. Cilj je dobiti enoten model, ki bo zajemal vse bistvene informacije o zgradbi. V njem najdemo podatke o geometriji, prostorskih odnosih med gradniki, geografske informacije, količine in lastnosti grabenih elementov, uporabljene materiale ipd.

#### 4.1.2 Izdelava 3D modela v programu Revit

Kot že omenjeno, za izgradnjo 3D modela v Revitu uporabljamo elemente pod zavihkoma *Architecture* in *Structure*. Osnovni princip dela je postavitve sten in nato postavitve drugih vertikalnih in horizontalnih elementov kot so vrata, okna, streha ipd.. V Revitu so že vgrajene osnovne družine elementov, nekatere pa lahko še dodatno naložimo s klikom na *Edit Type* in nato *Load*. Vsak posamezen element lahko prilagajamo glede na potrebe. Osnovne lastnosti elementov spreminjamo v oknu *Properties* na levi, za spreminjanje drugih lastnosti in vnos ostalih podatkov o elementu pa kliknemo na *Edit Type*. Velikokrat nam pri izdelavi 3D modela že vgrajene družine elementov ne zadostujejo zato jih moramo razviti. Le te lahko v celoti ustvarimo sami ali pa jih ustvarimo na osnovi že vgrajenih družin s klikom na posamezen element družine in nato v zavihku *Modify* izberemo *Edit Family*.

Pri gradu Borl in pri podobnih zgodovinskih objektih je razvoj družin elementov nujen. Na sliki 12 je prikazan izdelan približen model dela stene gradu Borl. Za izdelavo 3D modela so bile uporabljene že vgrajene družine. Za natančen model bi morali posamezne družine elementov najprej razviti. V spodnjem primeru bi morali razviti stebre in arkade, tako da bi se le ti elementi ujemali z dejanskimi. Pri izdelavi približnega 3D modela smo si pomagali z oblakom točk, ki nam je služil kot opora. Iz njega smo izmerili posamezne dimenzije in na podlagi teh izdelali model. Na podlagi oblaka točk in z urejenimi družinami bi se lahko izdelal natančen 3D model celotnega gradu.



Slika 12 Prikaz modela stene izdelanega na podlagi že vgrajenih družin elementov – oblak točk (levo),  
izdelan 3D model (desno)

### 4.1.3 Scan To Bim

Revit ne vsebuje orodja, ki bi omogočala neposredno obdelavo oblaka točk. Ta nam v programu predstavlja le neko osnovo za 3D modeliranje. Na tržišču lahko tako najdemo kar nekaj dodatkov za Revit, ki vsebujejo funkcije za delo z oblakom. Med njih spada tudi dodatek Scan to Bim. Ta nam omogoča avtomatizirano prepoznavanje in postavitev arhitekturnih elementov kot so stene in stebri ter omogoča izdelavo topografij. Prav tako omogoča različne meritve, ugotavljanje odstopanj ter druge analize. Dodatek bistveno skrajša čas za izdelavo 3D modela.

## 4.2 Geomagic Studio 2013

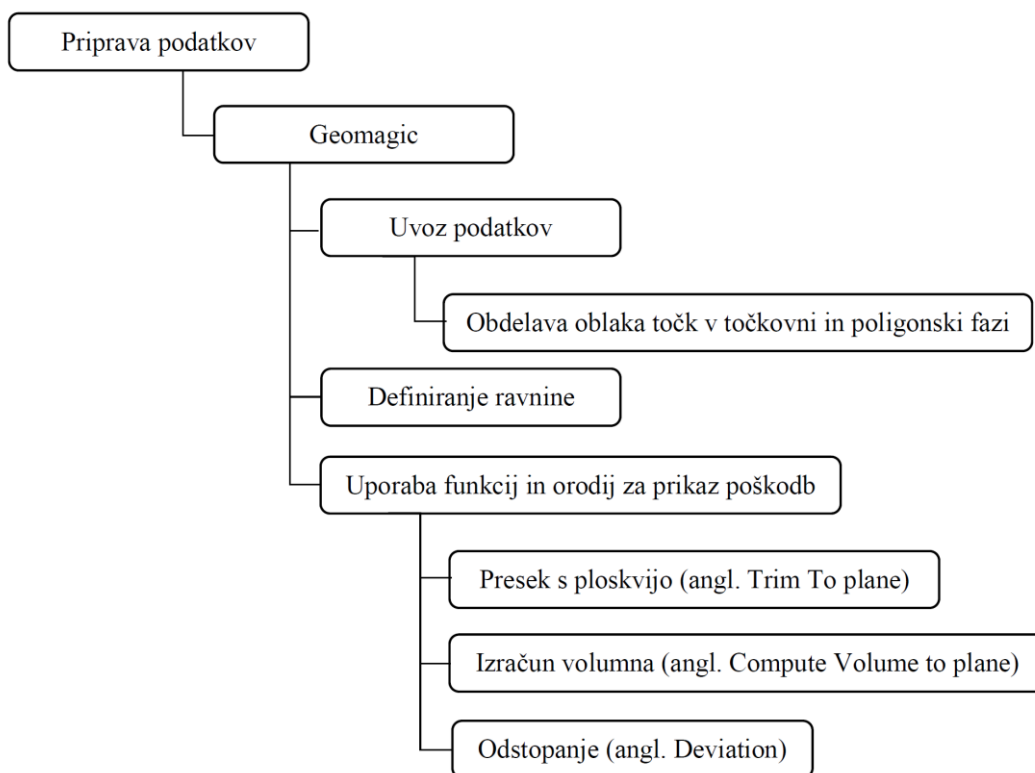
Geomagic Studio 2013 je izdelek podjetja Geomagic Inc., ki se ukvarja s proizvodnjo programske opreme za izdelavo 3D digitalnih modelov fizičnih objektov. Geomagic Studio je orodje, s pomočjo katerega na podlagi skeniranih 3D podatkov in poligonskih mrež, izdelamo natančen digitalni 3D model. Za kar najhitrejšo obdelavo 3D podatkov v parametrični model, ima Geomagic Studio direktno integriran mehanični CAD paket. Orodje nudi pridobitev natančne geometrije in fleksibilnost pri izbiri metode modeliranja. Pri modeliranju v Geomagic Studio ločimo med seboj tri različne faze modeliranja. Te si sledijo v naslednjem zaporedju: točkovna faza, poligonska faza in oblikovna faza. Vsaka izmed faz vsebuje določene operacije za obdelavo podatkov (Kastelic, 2012).

Geomagic Qualify 2013 (Geomagic Control v novejših verzijah) je orodje, ki omogoča hitro in natančno primerjavo, med referenčnim digitalnim modelom in dobljenimi podatki skeniranega objekta, za potrebe različnih analiz.

Delo v programu Geomagic Studio in postopek izdelave modela je opisala že Kastelic (2012), tako da bomo le tega kratko povzeli, osredotočili pa se bomo predvsem na opis postopka, ugotavljanja in prikaza poškodb na fasadi objekta. Za obdelavo podatkov je bila uporabljena preizkusna verzija programa Geomagic Studio 2013.

Pred obdelavo v Geomagic Studiu si moramo najprej pripraviti podatke. Če imamo posneto celotno zgradbo, si le to razdelimo na posamezne stene. Steno, na kateri bomo delali, nato uvozimo v program. Uvožen oblak točk obdelamo v točkovni in poligonski fazi. Za tem si na podlagi oblaka točk definiramo ravnino, ki naj bi optimalno predstavljala izbrano steno. Na podlagi definirane ravnine, s pomočjo vgrajenih orodij in analiz, prikažemo poškodbe.

Slika 13 prikazuje postopek ugotavljanja in prikaza poškodb v programu Geomagic.



Slika 13: Shema poteka dela v programu Geomagic

#### 4.2.1 Uvoz in predhodna obdelava podatkov

Čeprav so bili v preteklosti deli gradu Borl obnovljeni, grad zaradi nerednega vzdrževanja še dalje propada. Celoten grad je v slabem stanju, v slabem stanju pa je tako tudi večina fasad. Na njih so vidne razpoke, ponekod je odpadel tudi del ometa. Za opis postopka ugotavljanja poškodb smo si izbrali del ene izmed sten na južni strani gradu, na kateri so bile poškodbe še posebej izrazite.

Ker je bila posneta celotna zunanost gradu, je bilo podatkov preveč, da bi jih lahko vse direktno uvozili v Geomagic. Podatke smo zato predhodno obrezali v programu Riscan Pro. Izrezali smo le izbran del stene gradu in na ta način zmanjšali količino podatkov. Tako pripravljen oblak točk smo nato uvozili v Geomagic.

Po uvozu podatkov je potrebno prvotno oblak točk obdelati v točkovni fazi. To storimo z naslednjimi funkcijami:

- Izberi nepovezane komponente (*angl. Select Disconnected*);
- Izberi izven-ležeče točke (*angl. Select Outliers*);
- Izloči šum (*angl. Reduce Noise*);



- Vzorči (*angl. Uniform Sample*);
- Zgradi mrežo (*angl. Wrap*).

V vsaki izmed navedenih funkcij izbiramo med različnimi parametri in na ta način prilagodimo metodo našemu projektu. Po zadnjem koraku, tj. Zgradi mrežo, preidemo v poligonsko fazo obdelave.

V poligonski fazi želimo popraviti izdelano poligonsko mrežo, tako da ne bo imela odvečnih trikotnikov, neurejenih robov, lukenj, špic in bo pripravljena na oblikovno fazo. V poligonski fazi uporabimo naslednje funkcije:

- Zapolni luknje (*angl. Fill Holes*);
- Zdesetakaj (*angl. Decimate*);
- Odstrani špice (*angl. Remove Spikes*);
- *Angl. Mesh Doctor*.

Po končani obdelavi podatkov v poligonski mreži lahko nadaljujemo še z oblikovno fazo, vendar v našem primeru ta ni potrebna.

#### **4.2.2 Prikaz poškodb**

Po obdelavi oblaka točk se lotimo prikaza poškodb na fasadi. Da poškodbe lahko prikažemo, moramo najprej definirati ravnino, ki najbolje predstavlja izbrano fasado stene. Za začetek v oknu *Model Manager* kliknemo na uvožene podatke, ki so v točkovni fazi ter naredimo njihovo kopijo (*angl. Duplicate*). Podatke v poligonski fazi z desnim klikom in izbiro Skrij (*angl. Hide*), pri tem skrijemo. Z orodji za izbor na desni strani delovnega okolja, poskušamo čim bolje izbrati točke, ki se nahajajo na fasadi. Točke, ki so predstavljale okno ter druge točke, ki so od fasade odstopale ter bi pri definiranju ravnine kvarile rezultat, smo izločili iz izbora. To storimo z držanjem tipke Ctrl in označitvijo območja. Ko imamo vse točke označene, se premaknemo pod zavihek Feature na vrhu okna in v sklopu Ustvari izberemo Ploskev (*angl. Create → Plane*). Ob kliku na Ploskev se nam prikaže spustno okno z možnostmi izbora načina kako ustvariti ravnino. Ker potrebujemo ravnino, ki se bo naši fasadi najbolje prilegala, izberemo možnost *Best Fit*. Ravnino poljubno poimenujemo. Slika 14 prikazuje označene točke in ustvarjeno ravnino.



Slika 14: Prikaz označenih točk in ustvarjene ravnine

Ko imamo ravnino enkrat ustvarjeno, jo lahko uporabljamo v vseh nadaljnjih postopkih. Da jo bomo lahko uporabili v naslednjih funkcijah, jo najprej z desnim klikom Kopiramo v svet (*angl. Copy to World*). Prav tako ravnino izvozimo (*angl. Export*) in pri tem izberemo *.wrl* format.

Za prikaz poškodb moramo narediti prerez med ravnino in mrežo v poligonski fazi. Za začetek naredimo kopijo poligonske mreže. Kliknemo na kopijo in nato v zavihku poligon pod sklopom Popravi izberemo Obreži (*angl. Polygon → Repair → Trim*). Pri tem izberemo Obreži s ploskvijo (*angl. Trim with Plane*). Prikaže se nam okno, v katerem moramo opredeliti, s katero ploskvijo želimo narediti prerez. Izberemo *World Feature Plane* in prikaže se nam ploskev, ki smo si jo prej kopirali. Izbiramo lahko pozicijo, kje bo ravnina sekala našo mrežo. S pritiskom na Presek ravnine (*angl. Intersect Plane*) se nam prikaže prerez.

Slika 15 prikazuje prerez med ravnino in našo poligonsko mrežo. V tem prerezu že lahko vidimo, kje se nahajajo poškodbe. Kjer je fasada prikazana, le ta leži na ravnini, ostali del, ki ni prikazan, predstavlja poškodbe na fasadi. Za primerjavo je prikazana tudi fasada, na kateri smo ročno na podlagi izdelanega modela zajeli poškodbe. Kot lahko vidimo se poškodbe skoraj v celoti ujemajo. Do razlike pride le v desnem zgornjem delu fasade, za kar pa je najverjetneje razlog, da fasada že v osnovi ni povsem ravna in tako odstopa od ustvarjene ravnine. Zaradi tega v prerezu z ravnino tudi ta del fasade ni prikazan.



Slika 15: Prerez med ravnino in našo poligonsko mrežo



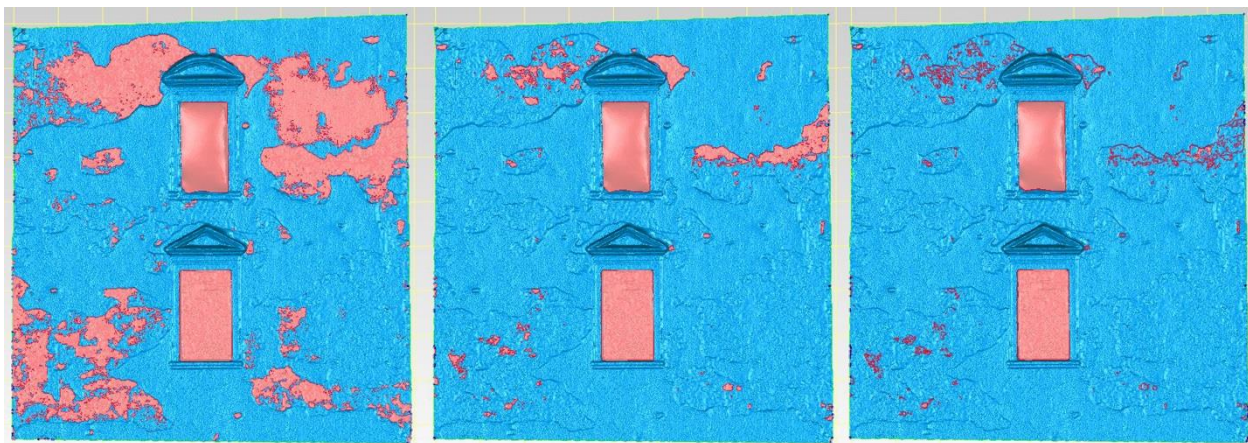
Slika 16: Ročno zajete poškodbe na podlagi 3D modela

### 4.2.3 Prikaz globine poškodb

Pri ugotavljanju poškodb na fasadi nas zanima tudi globina teh poškodb. Fasada je na različnih mestih različno uničena, tako da najdemo na njej poškodbe različnih globin. Da lahko pokažemo te globine, bomo uporabili dve metodi. Prva je ponovno s pomočjo prereзов z ravnino, druga pa s prikazom odstopanja točk od ravnine.

Pri prvi metodi ponovno označimo poligonske podatke, ostale skrijemo. Izberemo ponovno funkcijo Prereži s ploskvijo. Kot pri prikazu poškodb izberemo *World Feature Plane* in izberemo ustvarjeno ravnino. Tokrat za razliko od prejšnjega postopka, spremenimo pozicijo ravnine. Z vzporednim spreminjanjem pozicije ravnine nam ta na različnih mestih prereže mrežo. Sami smo postopek opravili trikrat in izbrali vrednosti -0,01 m, -0,02 m in -0,03 m.

Na sliki 17 so prikazani prerezi mreže z različnimi vzporednimi pozicijami ravnine. Območja, ki so obarvana z rdečo, prikazujejo poškodbe, ki so globlje od izbrane pozicije ravnine. Pri prvi sliki so tako prikazane vse poškodbe, ki so globlje od 1 centimetra. S to metodo smo dobili rezultate, ki prikazujejo, koliko so približno posamezni deli poškodb globoki.



Slika 17: Prerez poligonske mreže z različnimi pozicijami ravnine: - 0,01 m; - 0,02 m; - 0,03 m

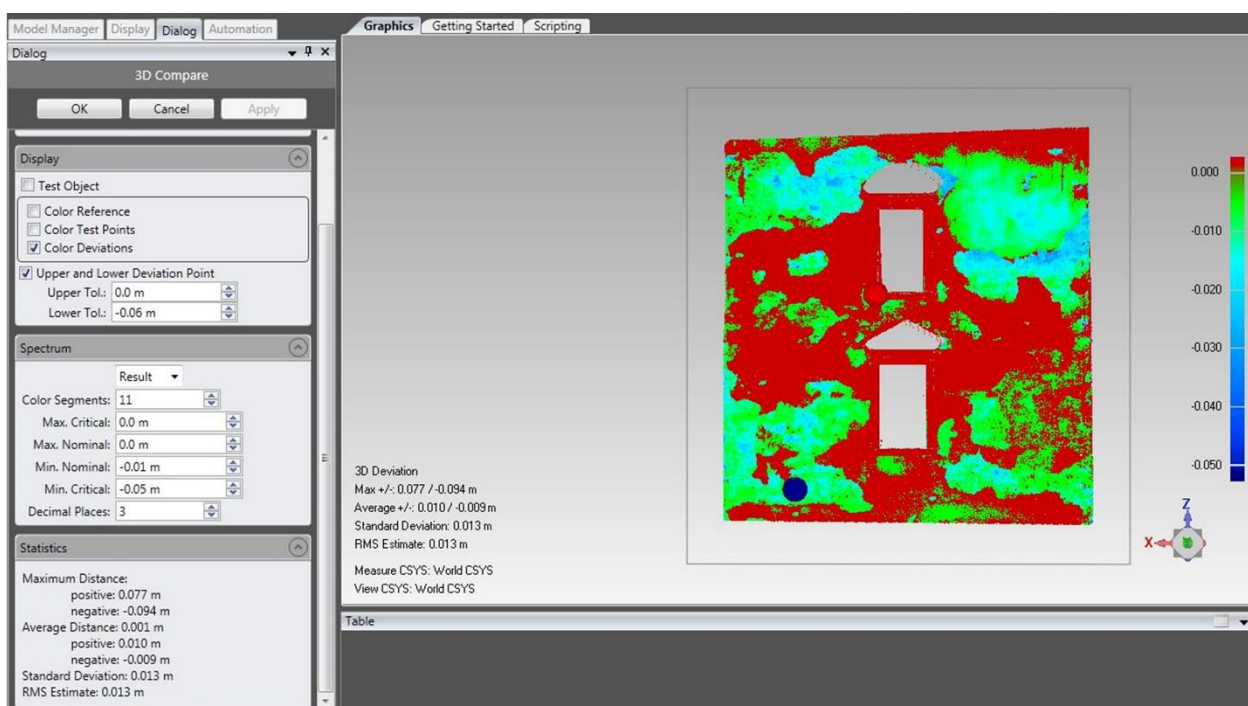
S pomočjo funkcije Odstopanje (*angl. Deviation*) pa lahko prikažemo poškodbe s pomočjo barvne lestvice, kjer bo posamezna barva določala posamezno globino. Za uporabo te funkcije se moramo premakniti v Geomagic Qualify. Projekt v Geomagic Studio shranimo in ga uvozimo v Geomagic Qualify.

Ko se nam projekt odpre, najprej naredimo kopijo podatkov v točkovni fazi. Na kopiji nato odstranimo vse dele stene, ki bi lahko vplivali na rezultate. V našem primeru smo odstranili posamezne dele oken. V program nato uvozimo ravnino, ki smo si jo predhodno izvozili. Ko imamo ravnino uvoženo, jo z desnim klikom in izbiro Postavi referenco (*angl. Set Reference*), postavimo za referenčno ploskev. Kopiji podatkov v točkovni fazi na isti način določimo, da so tiste, ki jih testiramo (*angl. Set Test*). Ko smo oboje storili, v zavihku Primerjaj, izberemo 3D primerjava (*angl. Compare → 3D Compare*). S pritiskom na Uporabi (*angl. Apply*) se nam prikažejo rezultati.



V oknu lahko nato spreminjamo posamezne nastavitve prikaza. V našem primeru smo prikazali odstopanja točk ter prikazali najvišje odstopanje z obeh strani definirane ravnine. Dalje izberemo število barv v barvni lestvici ter posamezne meje za prikaz odstopanj ponovno z obeh strani. Ker nas zanimajo globine poškodb, smo odstopanja v pozitivni smeri postavili na 0, tako se le ta ne prikazujejo. Prikaz izbranih nastavitvev in dobljenih rezultatov prikazuje slika 18.

Na dnu okna v oknu statistika se nam prikažejo rezultati naše primerjave med ravnino in točkami. V njej najdemo najvišje in najnižje odstopanje, povprečno vrednost odstopanja z obeh strani ravnine in standardno deviacijo.



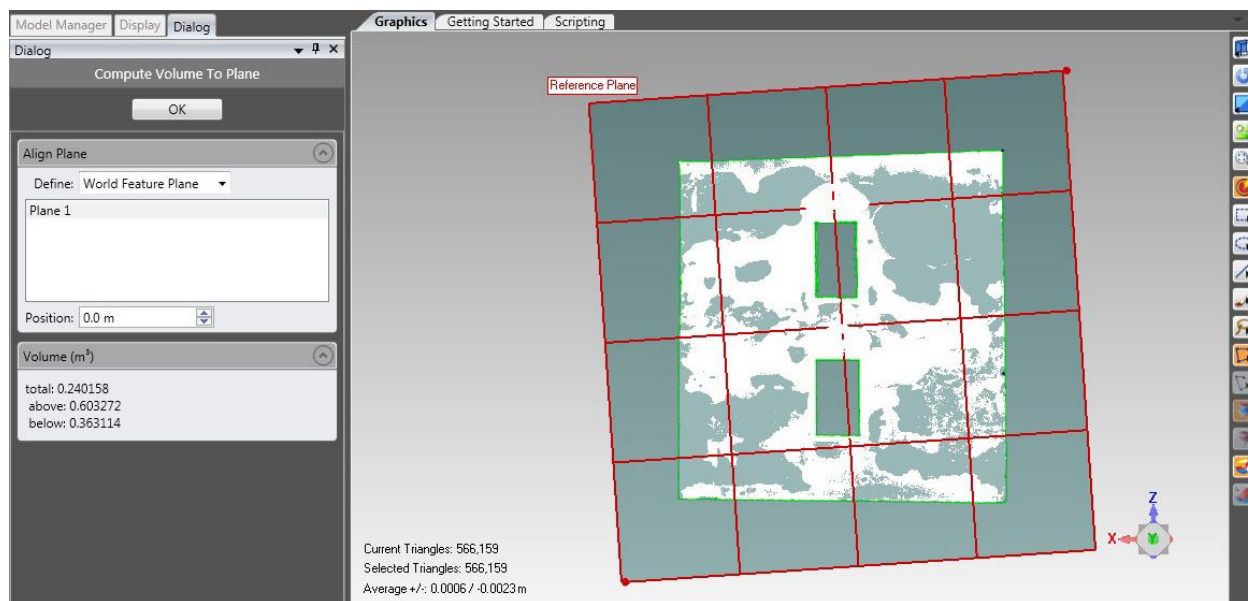
Slika 18: Prikaz izbranih nastavitvev in dobljenih rezultatov

Iz prikazanih rezultatov lahko vidimo rdečo piko, ki predstavlja največje odstopanje v pozitivni smeri ter modro piko, ki prikazuje največje odstopanje v negativni smeri. Iz statistike lahko preberemo, da je torej največje odstopanje in s tem največja poškodba na tem delu fasade, globoka 9,4 cm. Standardna deviacija je 1,3 cm. Dobljene rezultate lahko izvozimo tako, da v sklopu Poročilo (*angl. Report*) ustvarimo poročilo. Primer poročila za obravnavano steno se nahaja v prilogi A.

#### 4.2.4 Izračun volumnov poškodb

Za potrebe konservatorstva je pomemben izračun volumnov poškodb. Na ta način je možno izračunati na primer koliko gradbenega materiala je potrebnega za popravilo poškodb na steni. Naš projekt

ponovno odpremo v Geomagic Studio-u. Volumen lahko računamo le na podlagi poligonskih podatkov. Izberemo poligonske podatke, nato v zavihku Analize izberemo Izračunaj in nato Izračunaj volumen na podlagi ploskve (*angl. Analysis → Compute → Compute Volume To Plane*). Kot v prejšnjih primerih izberemo našo ploskev. Tudi tokrat lahko izbiramo med različnimi pozicijami ravnine. Funkcija nam v našem primeru na podlagi ravnine izračuna volumen med ravnino in površino poligonske mreže ter volumen poligonske mreže nad ploskvijo.



Slika 19: Izračunan volumen poškodb

V oknu Volumen se nam prikažejo izračunani volumni v kubičnih metrih. Prikazan imamo volumen pod in nad ploskvijo, pri čemer nas zanima le volumen pod njo. Volumen vseh poškodb na naši steni je tako  $0,36 \text{ m}^3$ . Če postavimo ravnino globlje za 1 cm, dobimo volumen poškodb globljih od 1 cm, ki znaša slabih  $10 \text{ cm}^3$ .

## 5 ZAKLJUČEK

Cilj diplomske naloge je bil opis postopka kartiranja poškodb na podlagi podatkov terestričnega laserskega skeniranja. Obdelava je bila izvedena na primeru gradu Borl in sicer na delu ene izmed sten gradu. Rezultati, ki smo jih pridobili, bi bili uporabni pri izdelavi konservatorskega načrta in konservatorsko restavratorskega projekta. Izdelava te dokumentacije je v primeru gradu Borl izjemno pomembna, saj je grad ogrožen. Leta 2012 se je na skali pod gradom zgodil podor, ki po podatkih ni povzročil dodatnih poškodb na gradu, vendar bi lahko bila vsaka naslednja podobna nesreča zanj usodna. Za ohranitev spomenika državnega pomena bi bila potrebna restavracija celotnega objekta.

Izvedba same diplomske naloge je bila prvotno zastavljena v programu Revit, ki je študentom v okviru študija na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo dostopen na vseh računalnikih. Skozi delo in iskanje rešitev preko spleta ter pomoči mentorjev, sem v programu poskušal najti rešitev za prikaz poškodb fasade. Izkazalo se je, da programsko orodje Revit v osnovi (brez dodatnega programiranja) ne podpira te vrste obdelave oblaka točk. Program nima vgrajenih orodij za obdelavo oblaka točk, ampak ta služi le kot oslonilo za izgradnjo 3D modela. Ob iskanju rešitev problema sem naletel na nekaj programskih dodatkov za program Revit, ki osnovno obdelavo oblaka točk že omogočajo. Preizkusil sem preiskusno različico dodatka Scan To Bim. Ta omogoča osnovno obdelavo, kot je npr. na osnovi oblaka ustvariti steno, stebre, cevi ipd. Prav tako omogoča prikaz odstopanja oblaka točk od neke ravnine, vendar pa se rezultati tega postopka, v mojem primeru, niso izkazali uporabni za prikaz poškodb. Ugotovil sem, da je sam program Revit izjemno uporaben za izdelavo geometrijsko popolnih 3D BIM modelov, v katerih se lahko zabeležijo vsi pomembni podatki - tako geometrijski kot ne-geometrijski. V mojem primeru pa za prikaz poškodb na fasadi objekta nismo našli enostavnega načina.

Program Revit bi za tako nalogo bilo primerno uporabiti v kombinaciji s programom kot je Geomagic. V Revit-u bi se izdelal geometrijski 3D model, vanj pa bi se kot negeometrijske informacije lahko zabeležili rezultati dobljeni v programu Geomagic. Poškodbe posameznih sten bi bile tako zbrane na enem mestu.

Geomagic se je, v nasprotju z Revitom, pri ugotavljanju poškodb izkazal za veliko bolj uporabnega. Ker je študentom na fakulteti na voljo le starejša verzija programske opreme, sem sam za delo uporabil preizkusno novejšo različico programa tj. Geomagic Studio 2013. Pri modeliranju v Geomagic je možna pridobitev realističnih 3D modelov. Na podlagi teh modelov pa so nato možne nadaljnje analize. Na ta način sem lahko z dokaj enostavnimi postopki prišel do uporabnih rezultatov. Ob primerjavi prikazanih poškodb s postopkom v Geomagic-u in ročno zajetimi podatki iz izdelanega modela je videti, da sta si

rezultata zelo podobna. Razlika med postopkoma pa je predvsem v času obdelave. Ko imamo v Geomagic-u enkrat definirano ravnino, ki najbolje predstavlja fasado stene, so zgoraj opisani postopki hitro izvedljivi.

V diplomski nalogi sem ugotovil, da je izredno pomembno predhodno poznavanje programa oziroma predhodna raziskava programa. Na ta način si lahko za zastavljen cilj bolje izberemo pravi program.



## VIRI

Arh Kos, M. 2006. Gradovi, utrdbe in mestna obzidja: vodnik po spomenikih. Ljubljana, Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije: 72-74 str.

Cerovšek, M. 2010. V tujini investitorji že zahtevajo uporabo BIM.

<http://www.finance.si/270866/Intervju-V-tujini-investitorji-%C5%BEE-zahtevajo-uporabo-BIM>

(Pridobljeno 21. 8. 2014.)

Kastelic, M. 2010. Obdelava podatkov laserskega skeniranja v programu Geomagic na primeru Mislejevega portala. Diplomsko naloga. Ljubljana, (samozaložba M. Kastelic): 88 str.

Kotnik, D. 2008. Izdelava 3R modela Plečnikovih propilej na ljubljanskih Žalah iz podatkov laserskega skeniranja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, (samozaložba D. Kotnik): 5-7 str.

Leica geosystems. 2014. Leica Scan-Station C10

[http://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/ScanStation%20C10/brochures-datasheet/Leica\\_ScanStation\\_C10\\_DS\\_en.pdf](http://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/ScanStation%20C10/brochures-datasheet/Leica_ScanStation_C10_DS_en.pdf) (Pridobljeno 12. 8. 2014.)

Register kulturne dediščine (RKD). 2014. Dolane - Grad Borl.

<http://rkd.situla.org/> (Pridobljeno 11. 8. 2014.)

Pravilnik o konservatorskem načrtu, Uradni list RS, št. 66/2009, Ljubljana 2009.

Stopar, I. 1990. Grajske stavbe v vzhodni Sloveniji: Območje Maribora in Ptuja. Ljubljana, Znanstveni inštitut Filozofske fakultete: 22-30 str.

Vnuk, B., Hernja-Maten, M., Prašnički, M. idr. 2010. Grad Borl : gradbeno-zgodovinski oris in prispevek zka zgodovino rodbine Sauer. Društvo za oživitev gradu Borl: 110 str.

Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije (ZVKDS). 2014.

<http://www.zvkds.si/sl> (Pridobljeno 5. 8. 2014.)

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.arhiv.mk.gov.si/fileadmin/mk.gov.si/pageuploads/Ministrstvo/raziskaveanalize/dediscina/metodologija-konservatorski\\_nacrt/01\\_Konservatorski\\_nacrt.pdf](http://www.arhiv.mk.gov.si/fileadmin/mk.gov.si/pageuploads/Ministrstvo/raziskaveanalize/dediscina/metodologija-konservatorski_nacrt/01_Konservatorski_nacrt.pdf) (pridobljeno 7. 8. 2014.)

## **SEZNAM PRILOG**

**PRILOGA A: POROČILO PRIKAZA GLOBINE POŠKODB IZ PROGRMA GEOMAGIC QUALIFY**