

LiU-ITN-TEK-A--10/023--SE

3D-rekonstruktion och visualisering av historiska platser med 3D-laserskanning

Emil Andersson
David Hultberg

2010-05-28



Linköpings universitet
TEKNISKA HÖGSKOLAN

LiU-ITN-TEK-A--10/023--SE

3D-rekonstruktion och visualisering av historiska platser med 3D-laserskanning

Examensarbete utfört i medieteknik
vid Tekniska Högskolan vid
Linköpings universitet

Emil Andersson
David Hultberg

Handledare Michael Pääbo
Examinator Björn Gudmundsson

Norrköping 2010-05-28

Upphovsrätt

Detta dokument hålls tillgängligt på Internet – eller dess framtida ersättare – under en längre tid från publiceringsdatum under förutsättning att inga extra-ordinära omständigheter uppstår.

Tillgång till dokumentet innebär tillstånd för var och en att läsa, ladda ner, skriva ut enstaka kopior för enskilt bruk och att använda det oförändrat för ickekommersiell forskning och för undervisning. Överföring av upphovsrätten vid en senare tidpunkt kan inte upphäva detta tillstånd. All annan användning av dokumentet kräver upphovsmannens medgivande. För att garantera äktheten, säkerheten och tillgängligheten finns det lösningar av teknisk och administrativ art.

Upphovsmannens ideella rätt innefattar rätt att bli nämnd som upphovsman i den omfattning som god sed kräver vid användning av dokumentet på ovan beskrivna sätt samt skydd mot att dokumentet ändras eller presenteras i sådan form eller i sådant sammanhang som är kränkande för upphovsmannens litterära eller konstnärliga anseende eller egenart.

För ytterligare information om Linköping University Electronic Press se förlagets hemsida <http://www.ep.liu.se/>

Copyright

The publishers will keep this document online on the Internet - or its possible replacement - for a considerable time from the date of publication barring exceptional circumstances.

The online availability of the document implies a permanent permission for anyone to read, to download, to print out single copies for your own use and to use it unchanged for any non-commercial research and educational purpose. Subsequent transfers of copyright cannot revoke this permission. All other uses of the document are conditional on the consent of the copyright owner. The publisher has taken technical and administrative measures to assure authenticity, security and accessibility.

According to intellectual property law the author has the right to be mentioned when his/her work is accessed as described above and to be protected against infringement.

For additional information about the Linköping University Electronic Press and its procedures for publication and for assurance of document integrity, please refer to its WWW home page: <http://www.ep.liu.se/>

Sammanfattning

Rapporten beskriver hur vi rekonstruerar samt visualiserar en historisk plats genom att utgå från resultatet av en 3D-laserskanning. Valet av plats blev Aranäs borgruin.

Aranäs skannades med en Leica laserskanner. Punktmolnet bearbetades och rekonstruktionsmetoder testades med olika programvaror. Under arbetets gång tillkom kringliggande byggnader. Dessa återskapades utifrån arkeologernas erfarenheter vid utgrävningarna samt från fotografier av samtida byggnationer.

Resultatet består av en 3ds Max-fil innehållandes texturerade 3d-modeller av Aranäsborgen med omgivning. Detta har presenterats i form av stillbilder, animation, samt panoramavyer. Resultatet har sedan utvärderats i samarbete med arkeologisk expertis.

Förord

Tack till Lennart Krantz för hjälpen med laserskanningen av Aranäs Borgruin. Vi vill även tacka Lars Lundqvist, Christian Lovén och Magnus Stibeus för deras arkeologiska expertis, samt vår handledare Michael Pääbo.

Till sist vill vi tacka våra nära och kära som har stöttat oss under arbetets gång.

Innehåll

1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och frågeställning	1
1.3 Struktur	1
1.4 Avgränsningar.....	2
2 Optiska 3D-skanningsmetoder	3
2.1 Continuous wave (CW) laserskanner.....	3
2.2 Time-of-flight (TOF) laserskanner	4
2.3 Med referenspunkter.....	5
2.4 Utan referenspunkter	6
3 3D-laserskanning av Aranäs.....	7
3.1 Historisk fakta om Aranäs	7
3.2 Allmän information om laserskanningen av Aranäs borgruin.....	10
3.3 Referenspunkter	11
3.4 Positionering av laserskannern.....	12
3.5 Laserskanningen	13
4 Bearbetning av punktmolnet.....	14
4.1 Upprensning i punktmolnet.....	14
4.2 Skapa polygonytor med Cyclone 5.8	15
4.2.1 Complex mesh	16
4.2.2 TIN mesh (Triangulated Irregular Network)	17
4.2.3 Mesh decimering.....	19
4.3 Placera vertex-punkter samt guidelinjer i Cyclone.....	19
4.4 Exportering från Cyclone	20
4.5 Skapa polygonytor med Geomagic	21
4.6 Skapa polygonytor med Polyworks	22
4.7 Jämförelse av Cyclone, Geomagic och Polyworks.....	22
5 3D-rekonstruktion med guidelinjer och vertexpunkter	24
5.1 Modellering av Huvudborgen	25
5.2 Modellering av ringmuren	26
5.3 Texturering av huvudborgen och ringmuren.....	27
6 Rekonstruktion från shape-filer	30
6.1 Modellera palatset, kapellet samt smedjan.....	30

6.2	Texturera palatset, kapellet samt smedjan	31
7	Övrig rekonstruktion	33
7.1	Modellera och texturera terrängen	33
7.2	Övrig modellering och texturering.....	34
7.4	Använda "normal maps" för fönstren	38
8	Presentation av resultat.....	39
8.1	Stillbilder	39
8.2	Animation.....	41
8.3	Panoramavyer	42
9	Analys.....	43
9.1	Reflektioner från laserskanningen av Aranäs.....	43
9.2	Fördelar och begränsningar med vår rekonstruktionsmetod	43
9.3	Reflektioner kring vår rekonstruktionsmetod	44
10	Diskussion	46
10.1	Användningsområden för punktmoln och polygonmodell.....	46
10.2	Användningsområden av resultatet	46
10.3	Kontaktpersonernas utvärdering av resultatet	47
10.3.1	Punktmoln	47
10.3.2	3D-modell av punktmoln.....	47
10.3.3	Framtid	48
10.3.4	Kommentarer till kontaktpersonernas utvärdering av resultatet.....	49
	Referenser	50
	Personliga kontakter.....	51
	Använda programvaror	52
	Ordlista	53
	Bilaga A-F	

Figurförteckning

Figur 2.1. Leica Scanstation One	5
Figur 3.1. Aranäs borgruin är markerad med en stjärna	7
Figur 3.2. Aranäshjälmen från utgrävningen	8
Figur 3.3. De första utgrävningarna av Aranäs borgruin	9
Figur 3.5. Översiktsbild över det skannade området	9
Figur 3.5. Leica Scanstation One med referenspunkt vid Aranäs borgruin	10
Figur 3.7. Skanningsuppställningar och referenspunkter	12
Figur 3.8. Laserskannern styrs från laptop med Cyclone 5.8.....	13
Figur 4.1. Oredigerat punktmoln med punkter långt bort	14
Figur 4.2. Markerade oanvändbara punkter	15
Figur 4.3. Polygonyta skapad med "Complex mesh"-metoden i Cyclone	16
Figur 4.4. Polygonmodell skapad med TIN-metoden i Cyclone	18
Figur 4.5. Vertexpunkter strategiskt placerade i punktmolnet	20
Figur 4.6. Vertexpunkter sammankopplade med linjer	20
Figur 4.7. Polygonyta genererad från punktmoln i Geomagic	21
Figur 5.1. Huvudborgen och ringmuren under rekonstruktion	25
Figur 5.2. Ringmuren under rekonstruktion med hjälp av syftningslinjer	27
Figur 5.3. Släta och skickligt uthuggna kvaderstenar från huvudborgen	28
Figur 5.4. En av ringmurens insidor vilka alla är byggda av gråsten	28
Figur 5.5. Repeterbar murtextur genererad med "Bricks'n'Tiles".....	29
Figur 6.1. Utgrävning av kringliggande byggnader	30
Figur 6.2. Palatset i förborgsområdet vid Aranäs	31
Figur 6.3. Kapellet i förborgsområdet vid Aranäs	32
Figur 6.4. Smedjan i förborgsområdet vid Aranäs	32
Figur 7.1. Aranäsudden	33
Figur 7.2. Hamnen väster om förborgsområdet vid Aranäs	34
Figur 7.3. En roddbåt vid en brygga väster om förborgsområdet	35
Figur 7.4. Vippbryggan vid ingången genom Aranäs ringmur	35
Figur 7.5. Trätorn, trävärn, pallisad, bro och gärdesgård	36
Figur 7.6. Stallbyggnad utanför ingången vid Aranäs ringmur	36
Figur 7.7. Skog vid Aranäs	37

Figur 7.8. Trähus från förborgsområdet vid Aranäs	37
Figur 7.9. Fönster utan och med "Normal map"	38
Figur 8.1. Aranäsborgen sedd från Nordväst	39
Figur 8.2. Aranäsborgen sedd från Sydöst	40
Figur 8.3. Aranäsborgen sedd från Väster	40
Figur 8.4. Stillbildsekvens från animationen av Aranäsborgen	41
Figur 8.5. Panoramavy från hemsidan	42
Figur 9.1. Normal map av stenmur	45

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Rekonstruktion av historiska platser och byggnader har blivit aktuellt och intressant med ett snabbt ökande intresse för vår tidiga svenska historia. Dramadokumentärer och filmatiseringar av historiska händelser i olika TV-serier har bidragit till allmänhetens och mediernas stora intresse. Snabb rekonstruktion av bortglömda platser, byggnader, borgar och slott är inte en enkel uppgift. 3D-visualisering och animation ger en oöverträffad upplevelse för betraktaren, det vet alla som sett moderna filmer liknande Sagan om Ringen. Valet av plats blev Aranäs borgruin eftersom arkeologerna på Riksantikvarieämbetet tidigare varit där på utgrävningar samt planerade att ge ut en bok om borgkomplexet.

1.2 Syfte och frågeställning

Hur kan man föra in modern 3D och laserskanningsteknik i rekonstruktionsprocessen för att få en historiskt korrekt och realistisk rekonstruktionsmetod? Vi ser det som en utmaning att berika vårt kulturarv med rekonstruerade platser från vår tidiga historia med stöd av laserskanning i kombination med de arkeologiska fakta som finns.

Med stöd av laserskanning av en utvald historisk plats och dess närliggande omgivning bygger vi upp 3D-modeller. Med laserskanningens resultat i botten och med hjälp av de arkeologiska utgrävningar som gjorts i området, kan vi få fram en metod och åter skapa en realistisk 3D-modell. När man väl har modellen kan den skrivas ut med 3D-stereolithografiteknik som skalmodell, användas i filmatiseringar och visas i realtidsmiljö som exempelvis i VR-domen i Norrköping för att upplysa allmänheten om vårt svenska kulturarv.

1.3 Struktur

Rapporten inleds med vilka laserskanningsmetoder som finns samt vilken som använts vid laserskanningen av Aranäs. Därefter behandlas punktmolnsbearbetning i Cyclone, Geomagic och Polyworks. Näst sist introduceras vår rekonstruktionsmetod. Resultatet av den presenteras i form av stillbilder, animation och panoramavyer. Slutligen analyseras och diskuteras rekonstruktionsmetoden och resultatet av den.

1.4 Avgränsningar

Aranäsborgen och dess omgivning har förändrats kontinuerligt under historiens gång. För att avgränsa arbetet till en hanterbar mängd har borgen visualiserats i 1300-tals tappning. Dessutom föredrog arkeologerna att vi inriktade oss på exteriörer för att få en bild av helheten. Därför har de interiöra delarna av Aranäsborgen prioriterats bort.

2 Optiska 3D-skanningsmetoder

Optiska skanningsmetoder har bättre upplösning i både horisontell och vertikal ledd i förhållande till andra icke optiska metoder. De erbjuder också den bästa precisionen när det gäller att mäta framförallt långa avstånd. Därför är optiska metoder mest lämpade när ett område eller större byggnation skall skannas i 3D.

Det finns flera olika optiska 3D skannrar på marknaden idag. De kan delas in i passiva respektive aktiva och bildbaserade respektive direkta. Passiva skannrar behöver ingen egen ljuskälla utan använder sig av det ljus som finns i omgivningen för att beräkna avståndet till målet. En aktiv skanner använder sig däremot av en egen ljuskälla för att belysa målet och beräkna avståndet. En passiv-bildbaserad skanner kan till exempel skapa geometri med hjälp av skugga, textur, rörelse eller fokus. De optiska skanningsmetoderna är de som mäter avstånd mest exakt och ger högst upplösning. Därför är de lämpligaste metoderna för 3D-laserskanning de optiska [3]. De mest förekommande optiska 3D-skanningsmetoderna är geometrisk (triangulering), time-of-flight (TOF) samt fasmatande/continuous wave (CW).

Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI) gör en annan indelning. De delar in laserradarsystem i tre olika klasser beroende på vilket avstånd de mäter: kortdistanssystem, medeldistanssystem och långdistanssystem. De delar även in laserradarsystem i markbaserade, markburna och luftburna system, en indelning som är mindre relevant i vårt arbete. Till kortdistanssystemen hör triangulering, vilken är den mest lämpade när mindre objekt ska skannas. Skanningsavståndet är från några centimeter till ett par decimeter och med en upplösning ned till μm -noggrannhet [1]. Trianguleringssystem skulle till exempel kunna användas för dokumentation av mindre föremål från en arkeologisk utgrävning.

CW-laserradarsystem klassas av FOI som ett medeldistanssystem och TOF som ett långdistanssystem [1]. CW och TOF är de metoder som används vid skanning av byggnader (interiör eller exteriör) eller ännu större områden. Förklaring av samt fördelar och nackdelar med TOF respektive CW finns i nästa kapitel.

2.1 Continuous wave (CW) laserskanner

En CW-LADAR-skanner använder sig av en laserstråle med amplitud-modulerad kontinuerlig våg. Den mäter skillnaden i fasen mellan vågen i den utsända laserstrålen och vågen i den reflekterade mottagna laserstrålen. Avståndet till målet är direkt proportionellt mot den uppmätta fasskillnaden och våglängden [4]. Avståndet

kombineras sedan med högupplösta mätningar av vinklar för att skapa en punkt i tre dimensioner.

Dagens CW-skannrar klarar av att skanna flera hundra tusen punkter per sekund och mäta avstånd från någon/några decimeter upp till några tiotal meter. De kan registrera punkter med en noggrannhet ner till 3mm. CW-skannrar klassas av FOI som ett medeldistanssystem. Därför är CW-skannern lämplig för skanning av trånga utrymmen eller mindre områden utomhus [1]. En fördel med en CW-skanner gentemot en TOF-skanner är att den klarar av att skanna upp till tio gånger så snabbt.

2.2 Time-of-flight (TOF) laserskanner

En TOF-LADAR (laser detection and ranging) skanner använder sig av laserpulser. TOF bygger på att man mäter tiden då en kort laserpuls skickas mot ett mål tills det att samma reflekterade laserpuls tas emot [4]. Om d är avståndet till målet, t är tiden för att få reflektion och c är ljusets hastighet kan avståndet till målet beskrivas med sambandet:

$$d = \frac{ct}{2}$$

För att få en entydig mätning krävs att t är större än tiden för pulsens längd T_p . D.v.s.

att $t > T_p$, eller att $d > \frac{1}{2}cT_p$. Genom att sätta in $T_p = 10\text{ ps}$ fås $d > 1,5\text{ mm}$.

Grunden i att få ett bra TOF-system bygger på att mäta tiden t så exakt som möjligt eftersom avståndsfelet, δd , är direkt proportionellt med tiden t . Det tidigare

sambandet visar detta: $\delta d = \frac{1}{2}c\delta t$. Vilket i sin tur betyder att

$\delta t = 10\text{ ps} \Rightarrow \delta d = 0,15\text{ mm}$ [2]. Avståndet kombineras sedan med högupplösta mätningar av vinklar för att skapa en position i tre dimensioner [4].

Dagens TOF-skannrar klarar av att skanna upp till 50000 punkter per sekund. Den största fördelen med en TOF-skanner är att den kan skanna avstånd från några meter upp till flera hundra meter. TOF-skannrar klassas av FOI som ett långdistanssystem. Detta gör TOF-skannern idealisk för skanning av stora områden utomhus [1]. Nackdelen med en TOF-skanner gentemot en CW-skanner är att den endast klarar av att skanna med omkring en tiondel av hastigheten som en CW-skanner. Fördelen med en TOF-skanner är att den klarar av att skanna längre avstånd än en CW-skanner.

Den skannern vi använde oss av var Leica ScanStation One vilken är en TOF-skanner (se figur 2.1). ScanStation One klarar av att skanna upp till 4000 punkter per sekund och har en räckvidd på 300 meter. Vid en enstaka mätning med ett avstånd mellan 1-50m är positionsprecisionen 6mm och avståndsprecisionen 4mm [5].



Figur 2.1. Leica Scanstation One.

2.3 Med referenspunkter

När en plats laserskannas med hjälp av referenspunkter måste tre eller fler användas för att sammanslagningen av delskanningarnas punktmoln skall bli möjlig. En referenspunkt kan vara en platta med högreflekterade material som gör att skannern direkt känner av om laserstrålen träffar en referenspunkt. Referenspunkterna placeras ut med jämna mellanrum på skanningsområdet och skall om möjligt placeras på olika höjd. Detta gör att felet efter sammanslagningen av punktmoln från flera delskanningar minimeras. Referenspunkterna skall också placeras så att de inte skymmer varandra vid de positioner man väljer att skanna från. Då flera mindre detaljer skannas separat utan att delskanningarna överlappar varandra, måste referenspunkter användas om de olika delskanningarna skall kunna läggas in i samma koordinatsystem. Vid platser som kräver många delskanningar från olika vinklar bör referenspunkter användas eftersom det minimerar felet vid sammanslagningen av punktmoln. Skanning

med hjälp av referenspunkter ger bättre precision än att sammanfoga punktmolnet utan referenspunkter.

2.4 Utan referenspunkter

När en plats skannas med få delskanningar kan fältarbetet underlättas genom att referenspunkter inte måste placeras ut. Vid ett senare skede innebär denna metod lite mer arbete då punktmolnen från delskanningarna skall fogas samman. För att en sammanslagning skall vara möjlig krävs dessutom att punktmolnen överlappar varandra.

Varje gång ett punktmoln från en delskanning adderas till det sammanslagna punktmolnet ökar felet i precisionen, även om felet är litet vid varje addering av punktmoln. Därför bör man undvika att foga samman många delskanningar utan att använda sig av referenspunkter. När man skannar utan referenspunkter bör det vara få delskanningar för att minska felmarginalen av sammansättningen.

3 3D-laserskanning av Aranäs

Detta kapitel innehåller bakgrundsfakta om Aranäs samt information om hur laserskanningen av Aranäs borgen gick till.

3.1 Historisk fakta om Aranäs

Borgen Aranäs låg precis vid strandkanten av Vänern (Lat: N58° 40' 34.45" Long: E13° 35' 11.44"), på en tre sidor omfluten udde (se figur 3.1) [6].



Figur 3.1. Aranäs borgen är markerad med en stjärna, vid Vänerns strand.

Borgen dyker för första gången upp i Erikskrönikan. Marsken Tyrgils Knutsson bjöd då in de stridande och kungliga bröderna Birger, Erik och Valdemar till ett möte i Aranäs. Detta ska ha skett år 1304. Sedan nämns borgen under 1300-talet med flera olika ägare: kung, kloster, frälse och biskop [8].

På 1500-talet berättar Olaus Magnus att borgen låg i ruiner men hävdar ändå att det här funnits en av de "präktigaste" byggnaderna i Europa [6].

Aranäs grävdes ut i början av 1900-talet (se figur 3.3). När ruinerna av borgen grävdes ut 1916 hittades den sällsynta hjälm som i dag kallas "Aranäshjälmen". Hjälmen har burits av en medeltida krigare. Den är av järn och skadad av rost och eld (se figur 3.2). Hjälmen är av stort intresse som en av de få välbevarade hjälmar från 1200-talet som finns i Europa [14]. Utgrävningar har även skett på senare tid, år 1999 samt 2000 [6,7].



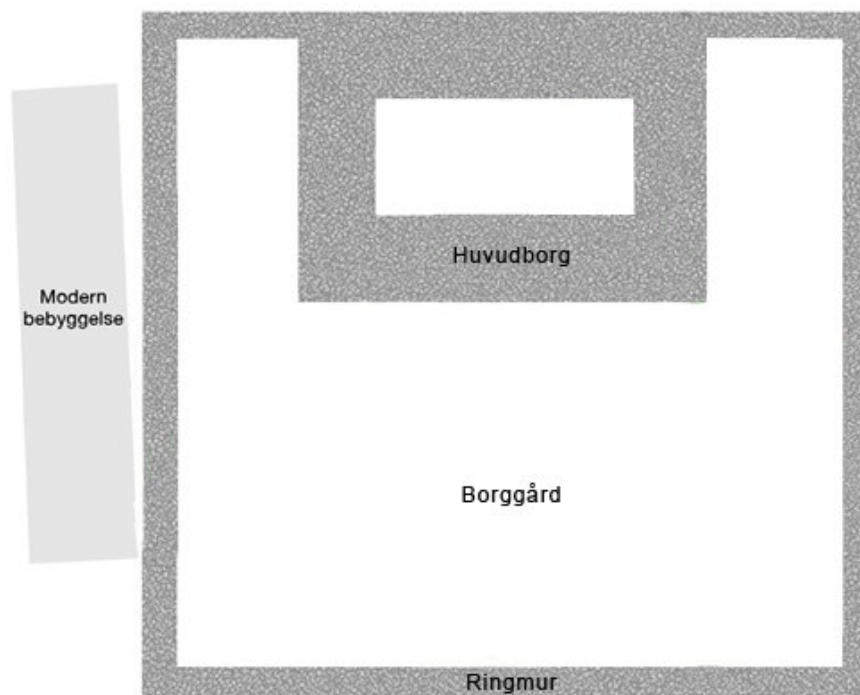
Figur 3.2. Aranäshjälmen från utgrävningen år 1916. Källa: Historiska Museet.



Figur 3.3. De första utgrävningarna av Aranäs borgruin, år 1917 respektive år 1920. Källa: Bror Schnittger.

3.2 Allmän information om laserskanningen av Aranäs borgruin

Den 12 december 2007 gav vi oss iväg för att göra en laserskanning av Aranäs borgruin (se figur 3.4). Vädret var en utmaning för skannern eftersom temperaturen var strax under noll och risken för nederbörd stor.



Figur 3.4. Översiktsbild över det skannade området.

Skanningen är koncentrerad till den inre borggården samt insidan av huvudborgen. Vi har genomfört tre olika delskanningar och satt samman dessa till ett stort punktmoln. Dåvarande försäljaren Lennart Krantz från Leica Geosystem AB gav oss möjligheten att skanna den historiska borgruinen med Leica Scanstation One (se figur 3.5). Laserskanning kan endast ske när det är klart väder eftersom partiklar i luften, som t.ex. snö, regn eller dimma antingen reflekterar eller bryter laserstrålen och därmed medför inkorrekt data. Väderförhållandena är därmed en kritisk faktor när det gäller laserskanning. Detsamma gäller temperaturen, enligt den tekniska specifikationen för Leica Scanstation One skall utrustningen användas inom intervallet 0°C till +30°C. Dagen då vi utförde skanningen var temperaturen omkring -3°C. Trots att dagstemperaturen var under den tekniska specifikationen lyckades vi genomföra tre delskanningar. Varje skanning gjordes med precisionen 2,5 cm mellan punkterna. Delskanningarna genomfördes med olika avstånd till "ytan av intresse" (muren). Avstånden var mellan 5 och 31 meter. Det totala antalet punkter blev 4 149 013 och

varje delskanning tog mellan 20 och 40 minuter beroende på önskad upplösning på inställt avstånd. Den totala tiden för skanning inklusive uppställningstid låg runt 2h.



ruin.

3.3 Referenspunkter

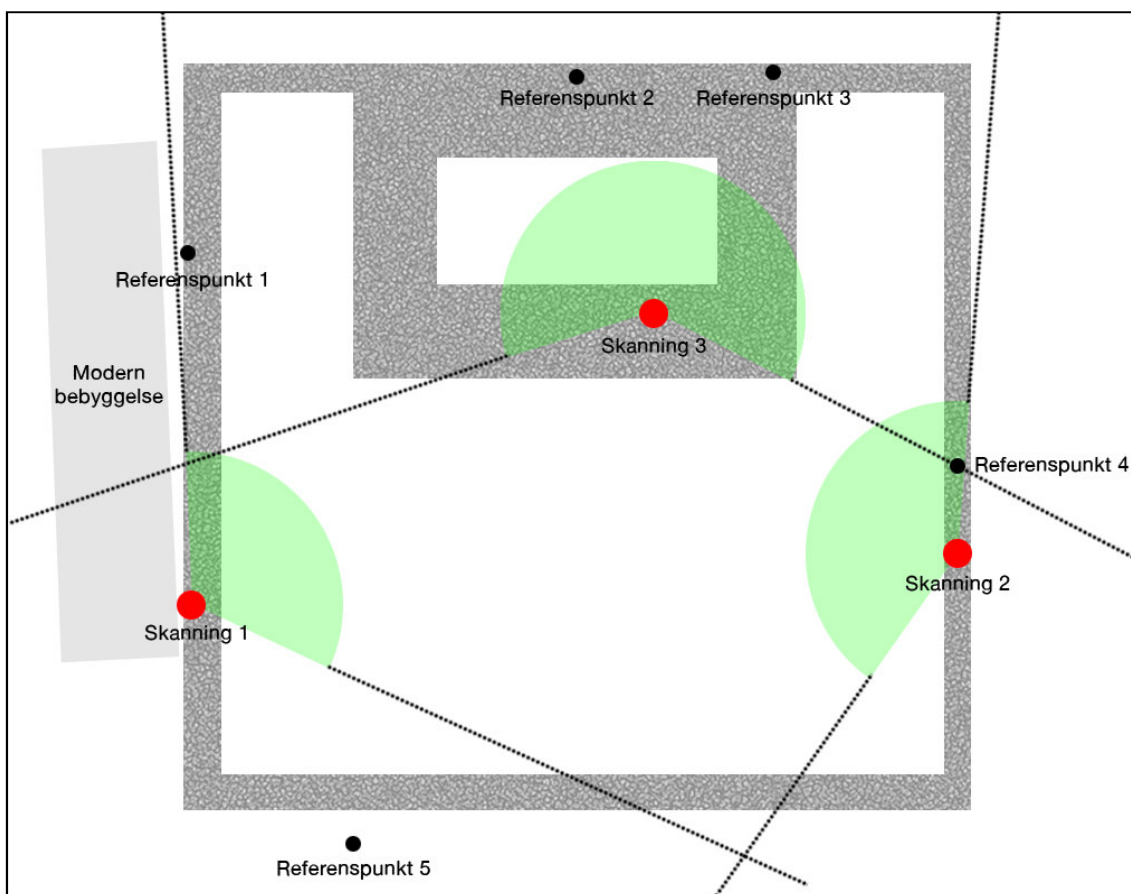
Det första vi gjorde på plats vid Aranäs var att strategiskt placera ut referenspunkter i området runt borgruinen. Referenspunkt kan ses längst till höger i figur 3.5. Det är viktigt att placera referenspunkterna långt ifrån varandra på olika höjdnivåer. Detta behövs för att mjukvaran (Cyclone) ska kunna sammanfoga de mindre punktmolnen från delskanningarna till ett stort punktmoln. Varje delskanning måste använda sig av minst tre stycken referenspunkter för att hoppassningen ska fungera. Vi har använt fem olika referenspunkter, dock var en av dem inte synlig vid delskanning tre. Användning av många referenspunkter medför att sammanslagningen mellan punktmolnen blir mer exakt och det totala felet minimeras.

3.4 Positionering av laserskannern

Från början var tanken att göra fler än tre skanningar av ruinen men på grund av det ogynnsamma väderförhållandet samt tidsbristen nöjde vi oss med tre. När vi placerade ut skannern försökte vi fånga de viktigaste vyerna av ruinen baserad på två faktorer:

- Antal synliga murar
- Synligheten av de övre horisontella ytorna

Första skanningen utfördes sydväst om huvudborgen (se figur 3.7). Denna position blev senare origo i koordinatsystemet för det sammanfogade punktmolnet. Den andra skanningen gjordes från östra ringmuren för att få en bra överblick av huvudborgen och på samma gång få ringmurens tjocklek. Tredje skanningen utfördes på toppen av huvudborgen för att få en bra bild av trappan och huvudborgens inre murar.



Figur 3.7. Skanningsupställningar och referenspunkter.

3.5 Laserskanningen

Det första vi gjorde när skannern var i position var att definiera vilka områden som skulle skannas. Detta görs från ett grafiskt gränssnitt (i Cyclone 5.8) som är installerat på en laptop som i sin tur är inkopplad till skannern via en TP kabel (se figur 3.8). Skannern kan ta ett flertal bilder för att få en överblick av omgivningen. Dessa fotografier sätts sedan samman av Cyclone och används som guide när man sätter ut skanningens omfång. Bilderna kan även senare användas för att färgsätta punktmolnet eller som en textur på en polygonyta. Skannern kan skanna 360° horisontellt och 170° vertikalt. I vårt fall var stenmurarna det viktigaste och därför ställde vi in skanningsvinklarna så att dessa precis omfattade murarnas sträckning. Efter varje delskanning finskannades referenspunkterna separat för att få en högre precision. Finskanningen är ett viktigt steg för att kunna minimera felet man får när punktmoln från två eller fler skanningar läggs samman till samma koordinatsystem. Det största felet efter sammanläggningen av de tre punktmolnen blev 2 mm.



Figur 3.8. Laserskannern styrs från laptop med Cyclone 5.8.

4 Bearbetning av punktmolnet

Cyclone 5.8 är mjukvaran som används för att styra Leica Scanstation One och den kan även användas för att bearbeta punktmolnet på många olika sätt. Detta kapitel handlar om hur man tar bort oönskade punkter med Cyclone för att sedan med olika metoder och mjukvaror skapa polygonytor. En Polygonmodell kan sedan användas i godtycklig 3D-programvara för rendering av antingen stillbilder/animation eller i en realtids-motor.

4.1 Upprensning i punktmolnet

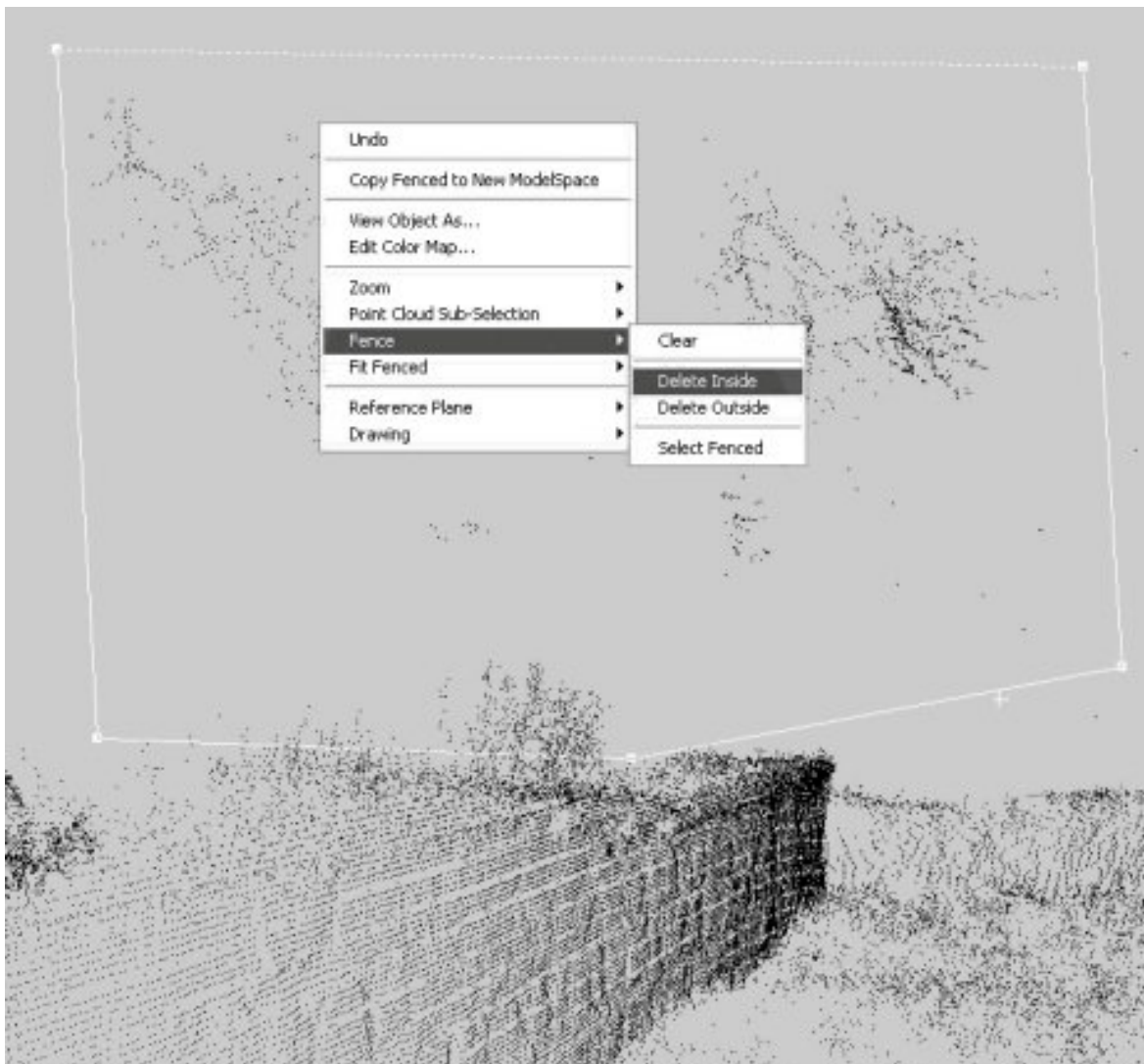
Eftersom avståndet vid skanningarna inte var begränsat skapades många oanvändbara punkter långt bort i terrängen (se figur 4.1). Oanvändbara punkter skapades även från partiklar i luften i form av träffar på snöflingor samt även från träffar på vegetation invid och kring muren (se figur 9 samt bilaga A).



Figur 4.1. Oredigerat punktmoln med punkter långt bort.

Dessa oönskade punkter raderades manuellt för att punktmolnet senare skulle ge en så bra polygonmodell som möjligt. För att kunna ta bort dem studerades punktmolnet

från många olika vinklar, var på rensning kunde ske (se figur 4.2). Innan gallringen av punkter startade fanns 4,149,013 punkter och efteråt var det 3,602,021 punkter.



Figur 4.2. Markerade oanvändbara punkter. Uppstår vi träff av vegetation och snöpartiklar.

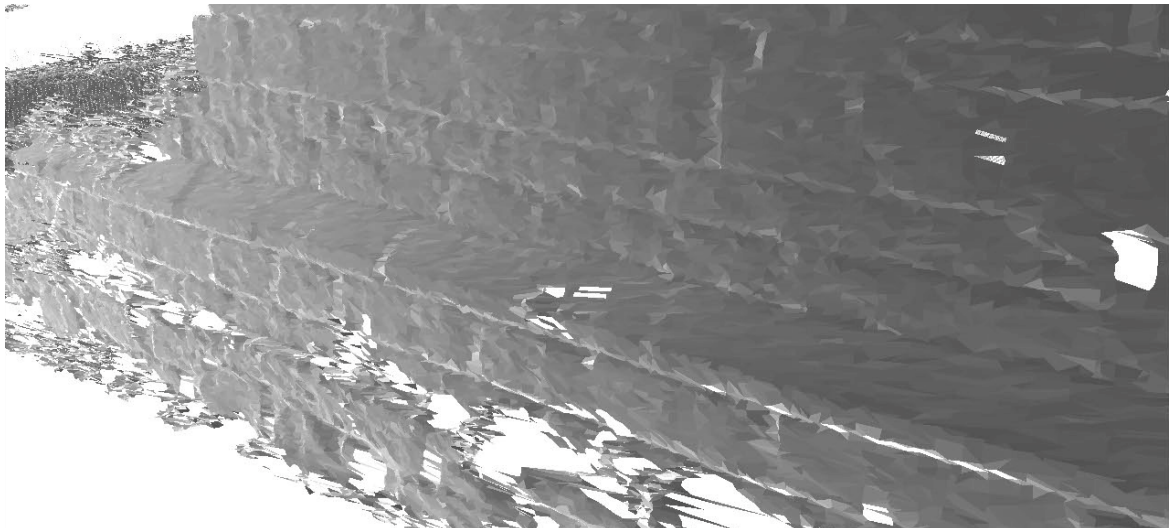
4.2 Skapa polygonytor med Cyclone 5.8

I mjukvaran Cyclone 5.8 finns det flera olika sätt att skapa polygonytor från punktmoln. Två olika metoder som är implementerade i Cyclone har utvärderats; "Complex mesh" samt "TIN mesh". Polygonytor skapas av punktmolnet för att kunna importeras, rekonstrueras, och textureras i ett mer passande 3D-modelleringsprogram, eftersom Cyclone huvudsakligen är framtaget för att hantera punktdata. Enligt Lennart Kranz används Cyclone främst för att ta fram ritningar med mått, och ibland för att göra markmodeller över områden för att mäta tex volym.

4.2.1 Complex mesh

Den första metoden som utvärderades var "Complex mesh". Denna metod projicerar en polygonyta utifrån skannerns position. Detta är anledningen till att "Complex mesh" endast kan skapa en yta från ett punktmoln i taget. Metoden är bra om det endast finns en skanning eller om man har flera olika delskanningar utan överlappning av punktmoln.

"Complex mesh"-metoden fungerar inte tillfredställande på punktmoln där skannern registrerat små objekt framför den yta som är intressant. Vid sådana tillfällen skapar funktionen små falska ytor i luften (vid tillfällen där t.ex. grässtrån skapat "falska" punkter). Samtidigt som det blir hål i polygonytan bakom (se figur 4.3). En polygonyta med många hål innebär mycket reparationsarbete i en 3D-modelleringsmjukvara, därför passar inte "Complex mesh"-metoden i vårt fall.



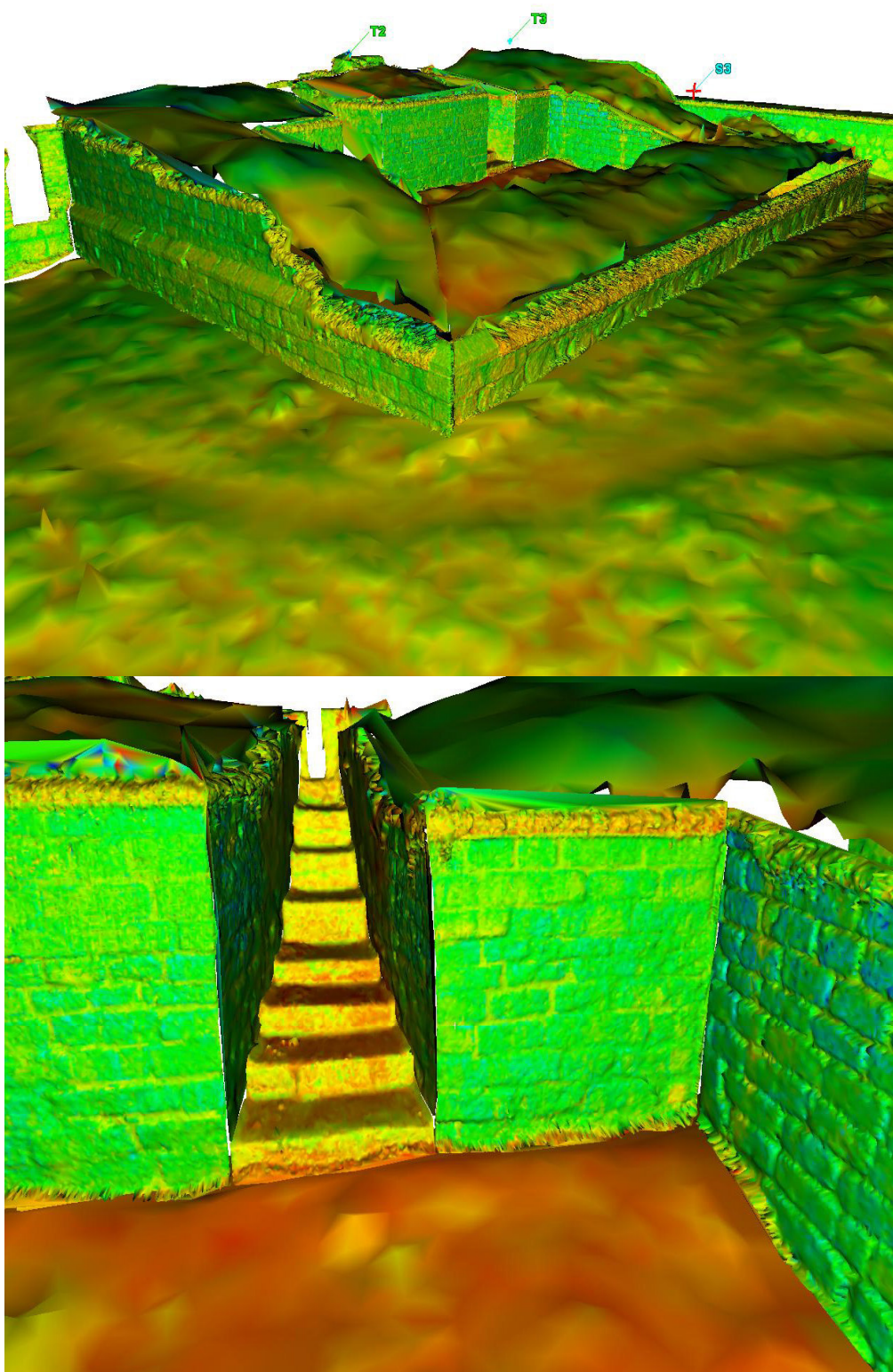
Figur 4.3. Polygonyta skapad med "Complex mesh"-metoden i Cyclone. Hål uppkommer där vegetation skymmer muren.

4.2.2 TIN mesh (Triangulated Irregular Network)

TIN-metoden har två stora fördelar gentemot "Complex mesh"-metoden:

- Den skapar polygonmodeller utan hål.
- Den kan skapa polygonmodeller av punktmoln från flera olika laserskanningar.

Metoden skapar en polygonyta vinkelrät mot uppåtriktningen (Z-axeln). Punkter som registrerats vid små objekt framför den intressanta ytan skapar inte hål som "Complex mesh" metoden gör, utan ger istället spikar i den riktning som är satt att vara upp. TIN-metoden kan endast skapa polygonytor av punktmoln vilka innehåller "ytor" som är horisontella. Det finns en väg runt detta genom att manipulera koordinatsystemet. När koordinatsystemet ändras är det möjligt att skapa en polygonyta av ett godtyckligt punktmoln. I Cyclone 5.8 är det möjligt att använda sig av ett arbiträrt koordinatsystem, vilket gör det möjligt att sätta en valfri riktning som uppåtriktning. Genom att byta uppåtriktningen (Z-axeln) till en riktning som är vinkelrät mot en viss yta, kan TIN-funktionen skapa polygonytor även av punktmoln med icke-horisontella ytor. För att skapa polygonmodeller av Aranäs alla murar byttes koordinatsystem (uppåtriktningen) flera gånger. För varje nytt koordinatsystem skapades polygonmodeller av punktmoln med ytor som var vinkelräta mot den valda uppåtriktningen (Z-axeln). Då ruinens alla sidor bearbetats bestod polygonmodellen av flera ytor med skarvar i hörnen av ruinen (se figur 4.4).



Figur 4.4. Polygonmodell skapad med TIN-metoden i Cyclone.

4.2.3 Mesh decimering

Med decimering menas att antalet polygoner reduceras i modellen. Detta skall helst göras utan att väderfull information om modellens geometri går förlorad.

Efter att alla polygonytor var skapade undersöktes om modellen kunde decimeras utan att förlora någon viktig information. Väggarna skannades med precisionen 2,5 cm mellan punkterna och på en del ställen överlappade även punktmolnen varandra vilket gav en ännu högre precision.

Polygonytorna decimerades till 70 % av dess ursprungliga antal faces/vertexar utan att någon märkbar skillnad syntes i modellen. Viktigt var att stenarnas konturer fortfarande syntes. Vissa ytor som exempelvis marken decimerades hårdare, eftersom det endast är den generella formen på marken som är intressant och inte detaljerna.

Decimeringsmetoden som är implementerad i Cyclone 5.8 heter "Surface Simplification Using Quadric Error Metrics" av Garland och Heckbert. Detta är en mycket bra metod då man är ute efter att decimera en modell men ändå behålla detaljrikedomen från originalytan [15].

4.3 Placera vertex-punkter samt guidelinjer i Cyclone

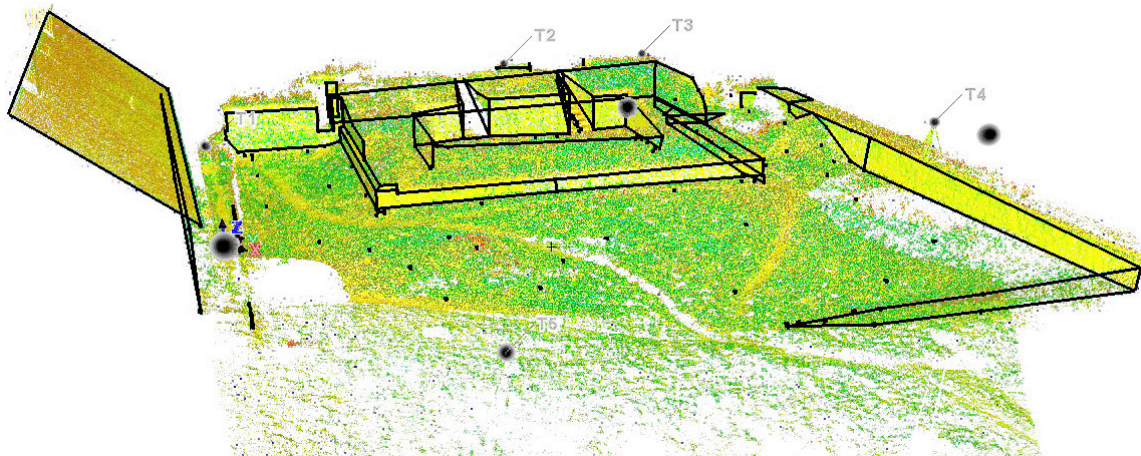
Tanken från början var att använda den ovan nämnda decimerade polygonmodellen av Aranäs för att sedan bygga på modellen i höjddled. Detta för att få en så exakt modell som möjligt. I teorin går detta bra men hårdvarumässigt skulle en sådan modell ha alldeles för många polygoner för att bli hanterbar. Därför började sökandet efter en alternativ metod. Den decimerade polygonmodellen av Aranäs är trots detta långt ifrån oanvändbar eftersom det är en extremt detaljerad 3D-dokumentation av hur ruinen ser ut i dagsläget. Denna modell användes som referens i rekonstruktionsarbetet i 3ds Max.

I den alternativa metoden var planen att först exportera hela punktmolnet till 3ds Max men 3D-modelleringsmjukvaran är inte optimerad för att hantera stora mängder med punkter på samma sätt som Cyclone är. Därför användes Cyclone för att placera ut nyckel-vertex-punkter vid viktiga hörn och kanter på ruinen. Dessa vertex-punkter används senare för att bygga upp en 3D-modell med de rätta proportionerna och måtten (se figur 4.5). En del vertex-punkter placerades även ut på marken för att få marknivån.



Figur 4.5. Vertexpunkter strategiskt placerade i punktmolnet. Detta för att ge information om ruinens geometri.

Nästa steg är att koppla samman de utvalda vertex-punkterna med linjer. Detta för att senare få en bättre uppfattning om hur vertexpunkterna hänger samman (se figur 4.6).



Figur 4.6. Vertexpunkter sammankopplade med linjer.

4.4 Exportering från Cyclone

Det sista som gjordes i Cyclone var att exportera ut punkter, guidelinjer samt skapade polygonytor till olika format. Det format som fungerade bäst för importering till 3ds Max var DXF. Vilket också har använts.

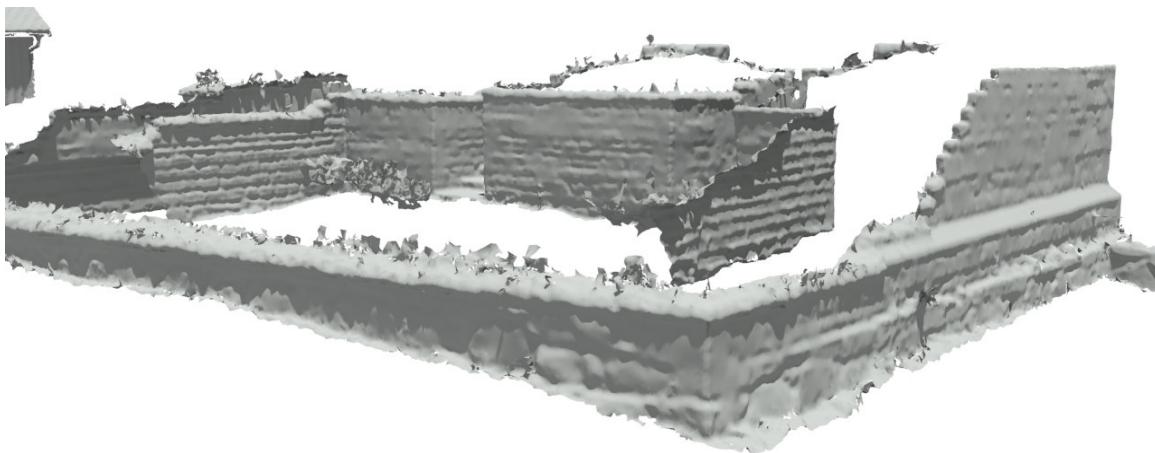
4.5 Skapa polygonytor med Geomagic

Senare i arbetet användes en licens av mjukvaran Geomagic Studio. Geomagic Studio är en programvara som bland annat kan skapa polygonytor (meshar) av punktmoln. Det filformat som fungerade bäst att importera i Geomagic var DXF-filer.

Programmet har ett lättarbetat användargränssnitt med tydliga ikoner och textrutor med information. Programmet har även en smidig "wizard" (Points to polygons) som kan användas då en polygonyta skall skapas från ett importerat punktmoln. Detta är en typ av guide som är väldigt bra för en förstagångsanvändare, som vill lära sig vilka olika steg som finns och i vilken ordning de skall genomföras. Guiden går bland annat igenom funktioner som:

- Borttagning av fristående punktgrupper.
- Borttagning av enskilda avvikande punkter.
- Brusreducering av punktmoln.
- Omsampling av punktmoln.
- Svepning av polygonyta.

När polygonytan är skapad finns det flera verktyg som kan förbättra modellen. Ett av de verktyg som upplevdes mest kraftfullt är verktyget "Fill holes". Detta verktyg kan laga flera olika typer av hål i en skapad polygonyta baserat på den närliggande kurvaturen. På så vis blir lagningarna av polygonytans hål mjuka och följsamma, vilket gör att den visuella kvalitén ökar betydligt. I figur 4.7 visas en modell bestående av 800 000 polygoner vilken har genererats från punktmoln i Geomagic. Lägg märke till att den höga detaljrikedomen gör enskilda murstenar synliga. Figur 4.7 finns även i Bilaga B.



Figur 4.7. Polygonyta genererad från punktmoln i Geomagic. Totalt 800000 polygoner.

4.6 Skapa polygonytor med Polyworks

En annan programvara som i viss mån testats under sista delen av arbetet är Polyworks. Denna programvara används för att lägga samman flera punktmoln samt skapa polygonytor av dessa. Upplevelsen är att programvaran har en högre inlärningströskel än tex Geomagic och Cyclone. Fördelen är att det går att göra mycket, nackdelen är att det inte finns någon bra wizard som visar hur man gör detta.

4.7 Jämförelse av Cyclone, Geomagic och Polyworks

Tidigare har påpekats att Cyclone i huvudsak är till för att mäta i ett befintligt punktmoln och inte för att skapa polygonmodeller. Till exempel är det ingen av metoderna i Cyclone som klarar av att skapa en sammanhängande polygonyta utan hål eller skarvar. Däremot är det smidigt att "undersöka" ett punktmoln, det vill säga rotera det och mäta i det, trots att punktmolnet består av flera miljoner punkter.

Geomagic och Polyworks har i stort sett samma funktionalitet, den stora skillnaden mellan dem är användarvänligheten och arbetsflödet.

I Geomagic importeras punktmoln från flera olika laserskanningar och läggs samman till ett stort punktmoln. Därefter behandlas hela punktmolnet efter behov (se kap 4.5). Till sist genereras polygonytan från hela punktmolnet.

I Polyworks bearbetas ett punktmoln från en laserskanning åt gången. Det vill säga ett punktmoln importeras och därefter genereras polygonytan av respektive punktmoln. Då polygonytan genereras är det viktigt göra det från en position som är så nära laserskannerns skanningsposition som möjligt. Detta reducerar polygonytans topologiska fel. Att generera en polygonyta för varje delskanning gör att viss information kan gå förlorad. Till exempel kan delar av ett objekt ha låg punktdensitet i alla delpunktmoln medan kombinationen av dem alla ger en hög punktdensitet. När alla delpunktmoln är genererade till polygonytor slås de ihop med hjälp av en modul som heter "IMMerge". Denna modul kan även reducera brus och antalet polygoner, baserat på kurvaturen, i polygonytan. Sist används modulen "IMEdit" för att editera polygonytan. Denna modul erbjuder funktioner som klippning, fyllning av hål, editering av enskilda polygoner [13].

Geomagic används med fördel eftersom det är mer användarvänligt än Polyworks. Dessutom kan Geomagic slå samman punktmoln från flera skanningar och skapa en polygonyta från det sammanslagna punktmolnet. Denna förmåga saknar Polyworks vilket gör att viktig information kan gå förlorad vid genereringen av polygonyterna.

Enligt [13] är Polyworks stabilare än Geomagic som kraschade vid flera tillfällen, vi har dock inte upplevt detta.

5 3D-rekonstruktion med guidelinjer och vertexpunkter

Vid importen av polygonytor, linjer och vertexpunkter till 3D-modelleringsmjukvaran är det viktigt att allting ligger i samma koordinatsystem samt position i det globala koordinatsystemet för att inpassningen mellan dem ska stämma.

Från Cyclone exporterades en fil med TIN-ytor, en annan med "complex mesh"-yor och en tredje med guidelinjer och vertexpunkter. 3ds Max har använts för att konstruera nya polygonytor utifrån guidelinjerna.

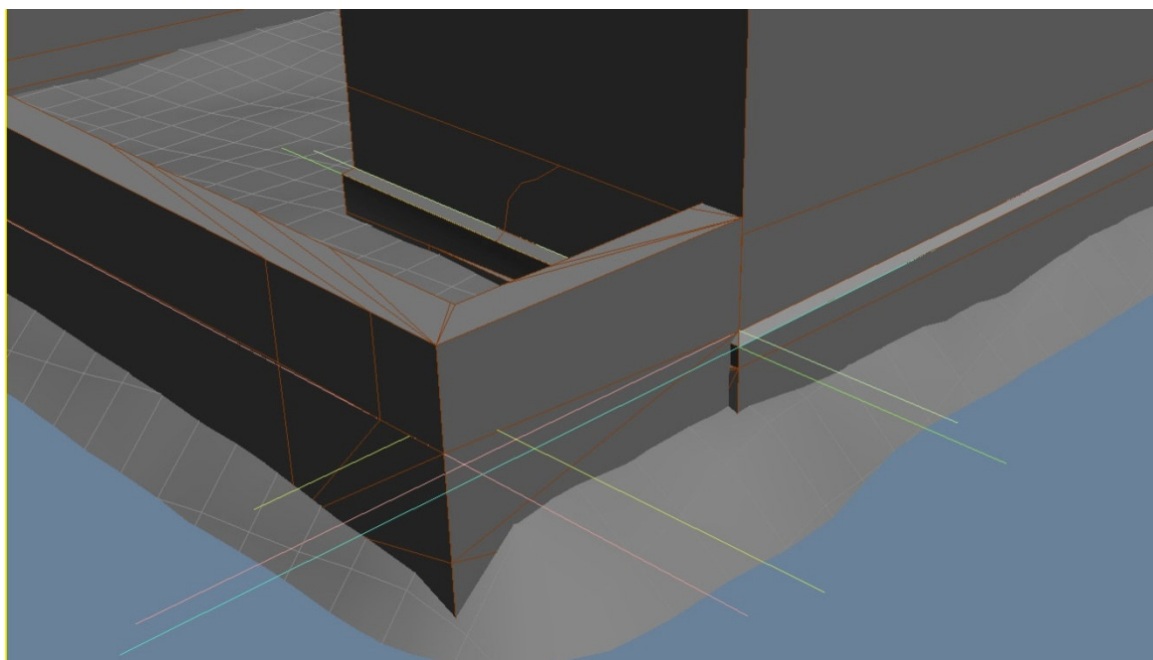
Vår rekonstruktionsmetod är att skapa helt nya polygonytor istället för att bygga vidare på TIN-ytorna. Från början var planen att bygga vidare på de detaljerade TIN-ytor som skapats i Cyclone, men att fortsätta en så detaljerad uppbyggnad skulle ta alldeles för lång tid och polygonmodellen skulle inte bli hanterbar. Rekonstruktionsmetoden bör vara så snabb och enkel som möjligt. TIN-modellen består av ca 620000 faces och användes som referens för att jämföras med den nya rekonstruerade modellen.

Ruinen av huvudborgen består av en skalmur med en tjocklek på omkring 3-4m och är som högst runt 4m hög. I anslutning till huvudborgen finns ruinen av ringmuren som bildar en kvadrat med cirka 30m långa sidor och är på högsta punkten cirka 2m hög. Eftersom det endast är mindre än en tiondel av hela huvudborgen och ringmuren kvar idag, baserades modelleringen till stor del på arkeologernas expertis. Till hjälp fanns utgrävningsrapporter från Aranäsprojektet [6,7]. För att få svar på ytterligare frågor upprättades kontinuerlig e-post och telefonkontakt med Aranäsprojektets huvudförfattare Magnus Stibeus och Lars Lundqvist på Riksantikvarieämbetet. I de fall där Aranäsprojektets författare inte kunnat ge entydiga svar, har Christian Lovén kontaktats. Christian Lovén är docent i konsthistoria samt författare till "Borgar och befästningar i det medeltida Sverige", där bland annat Aranäsborgen behandlas. Dessutom har inspiration hämtats från [9, 10, 11].

Uppgifter erhöles om var den troliga vindbryggan genom ringmuren funnits och vilken höjd ringmuren respektive huvudborgen haft. Baserad på huvudborgens tjocklek bedömde arkeologerna att den bör ha varit omkring 30m hög och haft 5-6 våningar. Ringmuren bedömdes inte ha haft någon större försvarsfunktion med tanke på dess ringa tjocklek, men kunde ändå ha varit upp till 6m hög. Enligt C. Lovén finns det på kontinenten exempel av stadsmurar som varit tunna och höga, tjockleken är trots allt inte synlig för en från utsidan anfallande fiende.

5.1 Modellering av Huvudborgen

Arkeologerna var mest intresserade av att se Aranäsborgen i sin helhet, därför har alla interiöra delar av huvudborgen uteslutits. Flera av murarna fanns endast delvis med i laserskanningen, vissa (till exempel den nordvästra muren), fanns inte med alls. Därför fick flera murar "syftas" fram med hjälp av riktlinjer från kända vinklar och ytor (se figur 5.1 och figur 5.2). När polygonmodellen av ruinen hade skapats med hjälp av guidelinjer och vertexpunkter kunde rekonstruktionen i höjddled börja. Genom att utgå från de högst belägna kanterna på polygonmodellen av ruinen kunde huvudborgen byggas på uppåt. På så vis skapas de högre belägna murarna med hjälp av informationen från de nedre befintliga murarna. Murarna byggdes upp till en höjd om 30 meter. Hur det övre partiet av huvudborgen har sett ut är omöjligt att veta, eftersom det inte finns några som helst spår kvar av det. Genom att studera bilder från andra liknande/samtida borgar [9, 10, 11] och konsultera arkeologerna, kunde de resterande delarna av byggnationen rekonstrueras. Enligt arkeologerna fanns det alltid en festvåning i någon (eller båda) av de övre våningarna, vilket innebär att dessa våningar troligen haft stora och vackra fönster. Till exempel kan det ha varit masverksfönster med romboidglas eftersom man hittat spår av sådana fönster från "palatset" vid den yttre borggården i anslutning till huvudborgen. Ingången placerades ett våningsplan upp med en trätrappa från borggårdens mitt.

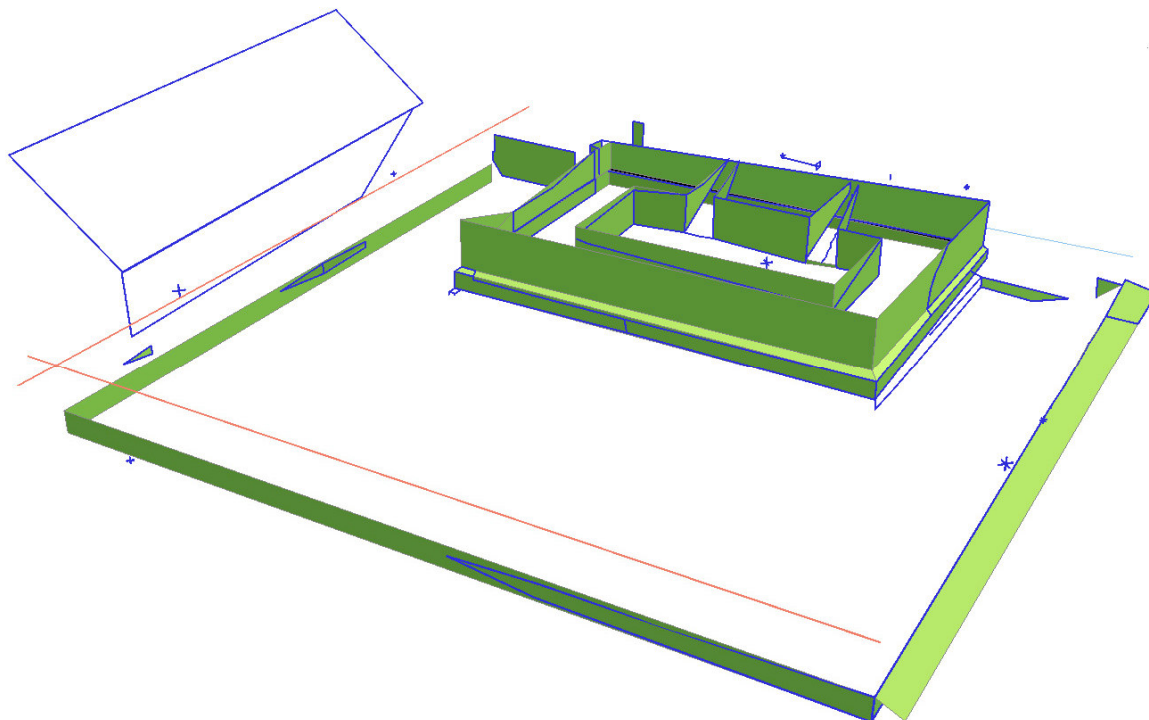


Figur 5.1. Huvudborgen och ringmuren under rekonstruktion. Rekonstruktionen sker med syftningslinjer skapade från befintliga ytor.

5.2 Modellering av ringmuren

Ringmuren var även den delvis med i laserskanningen. Precis som med huvudborgen är det svårt att veta exakt hur den sett ut på de övre delarna och hur hög den varit. Tidigare har arkeologerna trott att ringmuren haft en överbyggnad av tegel men denna teori har förkastats eftersom man ej hittat några stora mängder av tegelrester. Huruvida ringmuren haft skottgluggar, skyttegångar och tak över skyttegången är också svårt att veta. Enligt arkeologerna var Aranäs ett "skrytbygge" vilket tyder på att ringmuren troligtvis inte var helt kal, utan byggd för att ge ett mäktigt intryck. Därför beslutades i samråd med C. Lovén att ringmuren mycket väl kunnat ha skottgluggar (varannan bred och varannan smal), skyttegångar och ett inåtlutande tak över skyttegången. Polygonmodellen av ringmuren modellerades fram med hjälp av guidelinjer och de vertexpunkter vi fått från Cyclone (se figur 5.1 och figur 5.2). När polygonmodellen av den nedre delen var färdig kunde de övre delarna rekonstrueras med samma metod som på huvudborgen. Det vill säga att använda informationen från ytterkanterna på den nedre delen av ringmuren för att bygga vidare på ringmurens höjd.

Ingången till den inre borggården, genom ringmuren, finns det i dagsläget inga spår kvar av. Arkeologerna misstänker att den har legat väster om huvudborgen och att det även har funnits en vindbrygga där. Detta baserar man på det faktum att man har hittat rester av fundament under marknivå [6]. Ytterligare fakta som styrker detta är att man ofta placerade ingången så att en ridande besökare fick rida med sin oskyddade sida (d.v.s. svärdsida/högersida) mot borgen [12]. Enligt detta har vi placerat en vippbrygga. Vippbryggan är en typ av vindbrygga som i viloläge är stängd med hjälp av vikter och istället måste spännas upp för att hålla sig öppen (se figur 7.4). Denna konstruktion fick vi vetskap om från C. Lovén.



Figur 5.2. Ringmuren under rekonstruktion med hjälp av syftningslinjer.

5.3 Texturering av huvudborgen och ringmuren

Vid laserskanningstillfället fotograferades även översiktsbilder och närbilder av murarna. Dessa bilder var bra att ha som referensbilder (utifall någon del av punktmolnet var svårtolkat), men speciellt värdefulla var dessa bilder för textureringen av byggnaderna vid Aranäs. Laserskannern tog själv bilder vid inskanningen men bildkvalitén var tyvärr dålig på dessa bilder.

Huvudborgen består av fyra stycken sidor som alla är så kallade "skalmurar" med kvaderstenar som byggmaterial och jord som fyllning [6]. Det som kännetecknar kvaderstenar är att de är fyrkantigt uthuggna och har väldigt släta fina ytor. Längst ner på yttersidan av huvudborgen finns en tydlig sockel (se figur 5.3). Eftersom sockeln har lite större stenar än övriga murar texturerades den separat. Både övre muren och nedre sockeln texturerades med hjälp av våra fotografier av stenarna.



Figur 5.3. Släta och skickligt uthuggna kvaderstenar från huvudborgen. Lägg märke till sockel i nedre kanten.

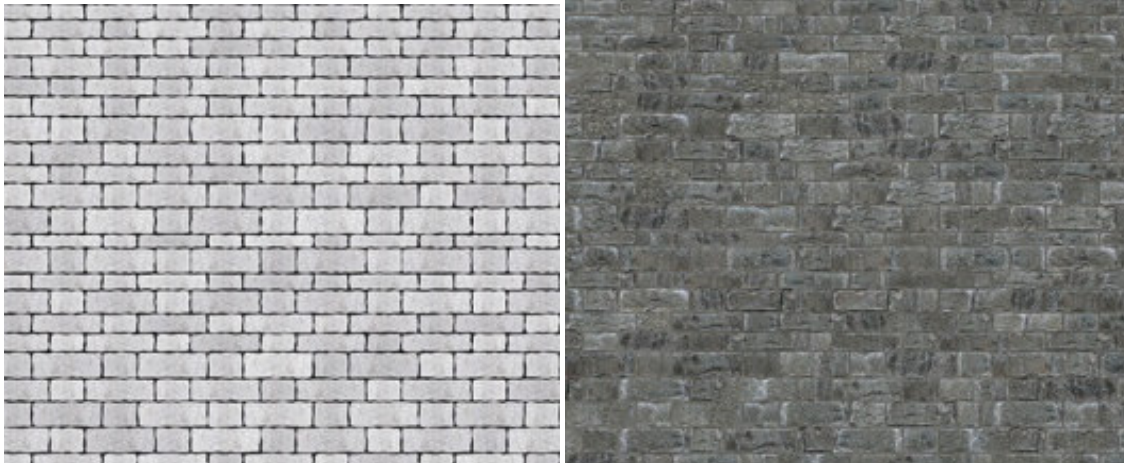
Ringmuren är byggd av både kvadersten och gråsten. Ringmurens alla insidor består av gråsten medan utsidorna består av både gråsten och kvaderstenar. De södra och östra utsidorna har antingen ansetts vara mindre viktiga eller restaurerats och därför byggts med "fulare" gråsten (se figur 5.4). Samtidigt måste de västra och norra sidorna ha varit mer synliga/viktiga eftersom de, precis som huvudborgen, består av fint huggna kvaderstenar. Utefter detta texturerades murarna med de eget tagna fotografierna av murarna.



Figur 5.4. En av ringmurens insidor vilka alla är byggda av gråsten.

Texturerna till murarna gjordes repeterbara och variationsrika med hjälp av ett program som heter "Bricks'n'Tiles". I detta program skapades även så kallade "bump

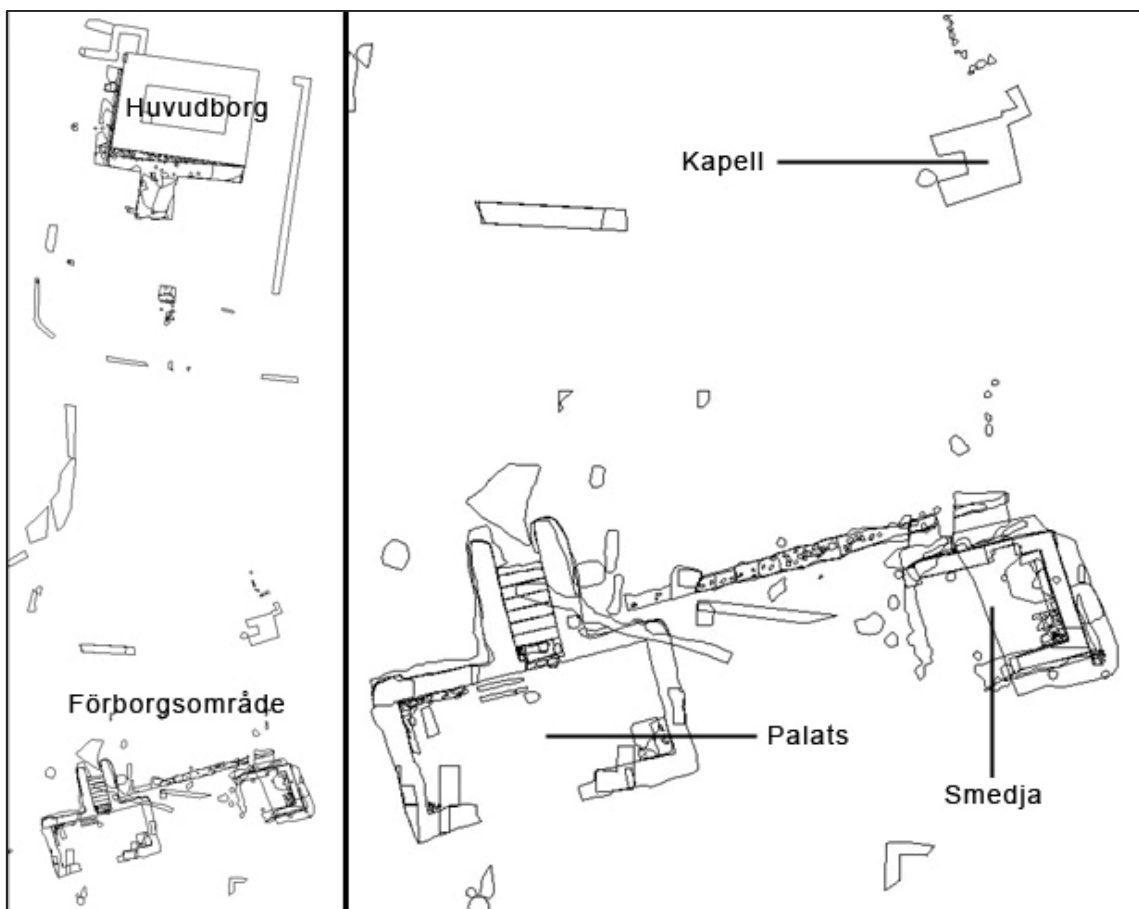
maps” för att ge illusionen av att stenarna sticker ut ur muren. En ”bump map” är en gråskalebild som beskriver var, och hur mycket en yta ska se ut att sticka ut. Detta gav murarna en extra dimension av realism. Figur 5.5 innehåller ett exempel på repeterbar murbild med tillhörande ”bump map”.



Figur 5.5. Repeterbar murtextur genererad med ”Bricks’n’Tiles”. Till vänster den diffusa färgen och till höger tillhörande ”bump map”.

6 Rekonstruktion från shape-filer

Arkeologerna önskade att se huvudborgen samt närliggande byggnationer modellerade. Dessa närliggande byggnader finns inte ovan jord och kom därför inte med vid laserskanningen. Utgrävningar har dock skett i området år 1999, 2001 och 2003. Vid dessa utgrävningar har man fört in data av fynden i en fil. Dessa data erhöles i form av en shape-fil och innehållet i denna fil importerades till 3ds Max. Shape filen innehåller former efter utgrävda murar och grunder i XYZ-rymden (se figur 6.1). Formen av huvudborgen från shape-filen matchades med vår befintliga huvudborg i "3ds Max"-filen och därmed blev även placeringen av alla utgrävda byggnader rätt.



Figur 6.1. Utgrävning av kringliggande byggnader.

6.1 Modellera palatset, kapellet samt smedjan

Eftersom det endast fanns en källargrund att utgå från, rådfrågades arkeologerna om hur palatset kan ha sett ut. Utifrån detta gjordes en polygonmodell som har källare och två våningar ovanpå. Den översta våningen tros ha varit festvåning och därför har den

modellerats med finare och större fönster. Taket har enligt arkeologerna varit gjort av tegel (se figur 6.2).

Precis som med palatset var grunden allt som fanns att utgå ifrån vid modelleringen av kapellet. Arkeologerna berättade att kapellet var ganska litet och troligen endast hade ett fönster ut mot vattnet. Utefter dessa kriterier skapades kapellets polygonmodell (se figur 6.3).

Smedjan (byggnaden öster om palatset) är konstruerad utifrån en grundritning där dörröppningen samt ugnen var synlig (se figur 6.4).

6.2 Texturera palatset, kapellet samt smedjan

Palatset är texturerat enligt samma princip som huvudborg och ringmur. Palatset var byggt av kvadersten, vilket gjorde att fotografier av borgens kvaderstenar kunde användas. I denna textur lades även fönster in.

Enligt arkeologerna har det lilla kapellet varit vitputsat med ett fönster. Kapellet texturerades därför med en vit putstextur och med en "bump map" av stenar. Av taket har arkeologerna tyvärr inte hittat några fynd, men de tror att taket har haft tegel.



Figur 6.2. Palatset i förborgsområdet vid Aranäs.



Figur 6.3. Kapellet i förborgsområdet vid Aranäs.



Figur 6.4. Smedjan i förborgsområdet vid Aranäs.

7 Övrig rekonstruktion

Övrig rekonstruktion har skett med hjälp av referensböcker och diskussion med arkeologer.

7.1 Modellera och texturera terrängen

Terrängen har skapats i 3ds Max med hjälp av riktlinjer och skisser från arkeologerna. Med utgångspunkt från dagens Aranäs, skissades dåtidens Aranästerräng upp på papper. Detta skannades sedan in och en svartvit gråskalebild med formen skapades i Photoshop. I figur 7.1 visas formen av dåtidens terräng tillsammans med nutidens bakom. Till att börja med trycktes terrängen upp med en bitmap i gråskala.



Figur 7.1. Aranäsudden. Det vita markerar hur området tros ha sett ut på 1300-talet.

Därefter finjusterades hela terrängen med en funktion som heter "paint deform". Det är en funktion som gör så att man kan justera en yta genom att måla dit en höjning

eller sänkning. För att göra hela landskapet lite mer levande deformerades det med en noise-funktion. Till sist lades växtlighet till med hjälp av partikelsystem.

Inriktningen vid visualiseringen av Aranäsborgen är helheten, det vill säga vyer där hela omgivningen syns. Därför passar inte bitmappar som textur på terrängen, eftersom visuellt synliga repetitioner då uppstår. I största mån har därför procedurella metoder använts vid textureringen. Texturen på terrängen gjordes procedurellt med ett GroundWiz-material. Därefter lades väg och torg till med hjälp av alpha-maskar i form av bitmappar. Vägens färg gjordes med standard noise för att få en grusliknande känsla. Torget gjordes med en repeterbar bitmap av en bit kullersten eftersom det området är relativt litet.

7.2 Övrig modellering och texturering

Utöver ovan nämnda byggnader modellerades även broar, hamn med båtar, trähus, stall, träd, palissad, trävärn, vindbrygga samt hus och tak vid den inre borggården (se figur 7.2-7.8).



Figur 7.2. Hamnen väster om förborgsområdet vid Aranäs.



Figur 7.3. En roddbåt vid en brygga väster om förborgsområdet.



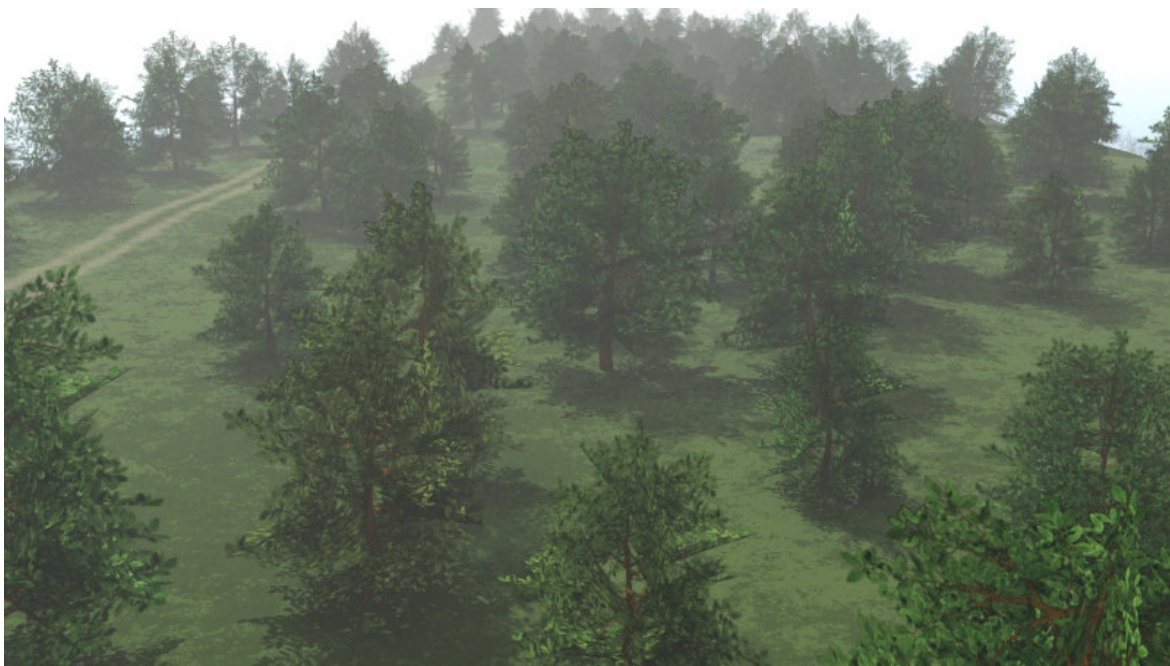
Figur 7.4. Vippbryggan vid ingången genom Aranäs ringmur.



Figur 7.5. Trätorn, trävärn, palissad, bro och gärdesgård. I området kring en vallgrav vid Aranäs.



Figur 7.6. Stallbyggnad utanför ingången vid Aranäs ringmur.



Figur 7.7. Skog vid Aranäs.



Figur 7.8. Trähus från förborgsområdet vid Aranäs.

7.4 Använda "normal maps" för fönstren

En komplex 3D-geometri kan drastiskt öka antalet polygoner i en scen vilket i sin tur gör scenen tyngre att arbeta med. En polygonmodell av en stenmur kan modelleras sten för sten eller med ett plan som representation för hela muren, beroende på vad hårdvaran klarar av. Våra murar representeras av plana ytor med en stentextur som lurar ögat att varje enskild sten sticker ut. Den vanligaste metoden för att åstadkomma denna effekt är genom att använda "bump maps", vilket också gjorts.

Vi har provat på en vidareutveckling av detta som kallas "normal maps". "Normal maps" innebär att antalet polygoner kan reduceras i en modell utan att viktiga detaljer går förlorade genom att normalen ändrar riktning beroende på färgen av texturen. Man kan på så vis öka detaljrikedomen i en låg-polygonmodell genom att använda en hög-polygonmodells "normal map".

I 3ds Max kan en "normal map" skapas genom att projicera normalerna av en 3D-modell på ett underliggande plan. Bilden kan sedan redigeras i ett godtyckligt bildbehandlings-program och eventuellt läggas in ovanpå en annan textur. Denna teknik användes för att skapa ett fönster på ett plan på palatsbyggnaden och ändå få effekten av att fönstret sticker in i muren. Tekniken ökar inte antalet polygoner men förbättrar realismen väsentligt (se figur 7.9).



Figur 7.9. Fönster utan och med "Normal map".

8 Presentation av resultat

Resultatet består av en 3ds Max-fil innehållandes texturerade 3d-modeller av Aranäsborgen med omgivning. Visuellt kan detta presenteras på en mängd olika sätt. I dagsläget finns det renderade stillbilder, filmsekvens samt panoramavyer av vårt resultat. Animeringen samt panoramavyerna kan ses på adressen:

<http://aranas.webb.se>

8.1 Stillbilder

Nedan följer tre bilder som visar resultatet (se figur 8.1-8.3). Bilderna kan även ses i bilaga A-C.



Figur 8.1. Aranäsborgen sedd från Nordväst.



Figur 8.2. Aranäsborgen sedd från Sydöst.



Figur 8.3. Aranäsborgen sedd från Väster.

8.2 Animation

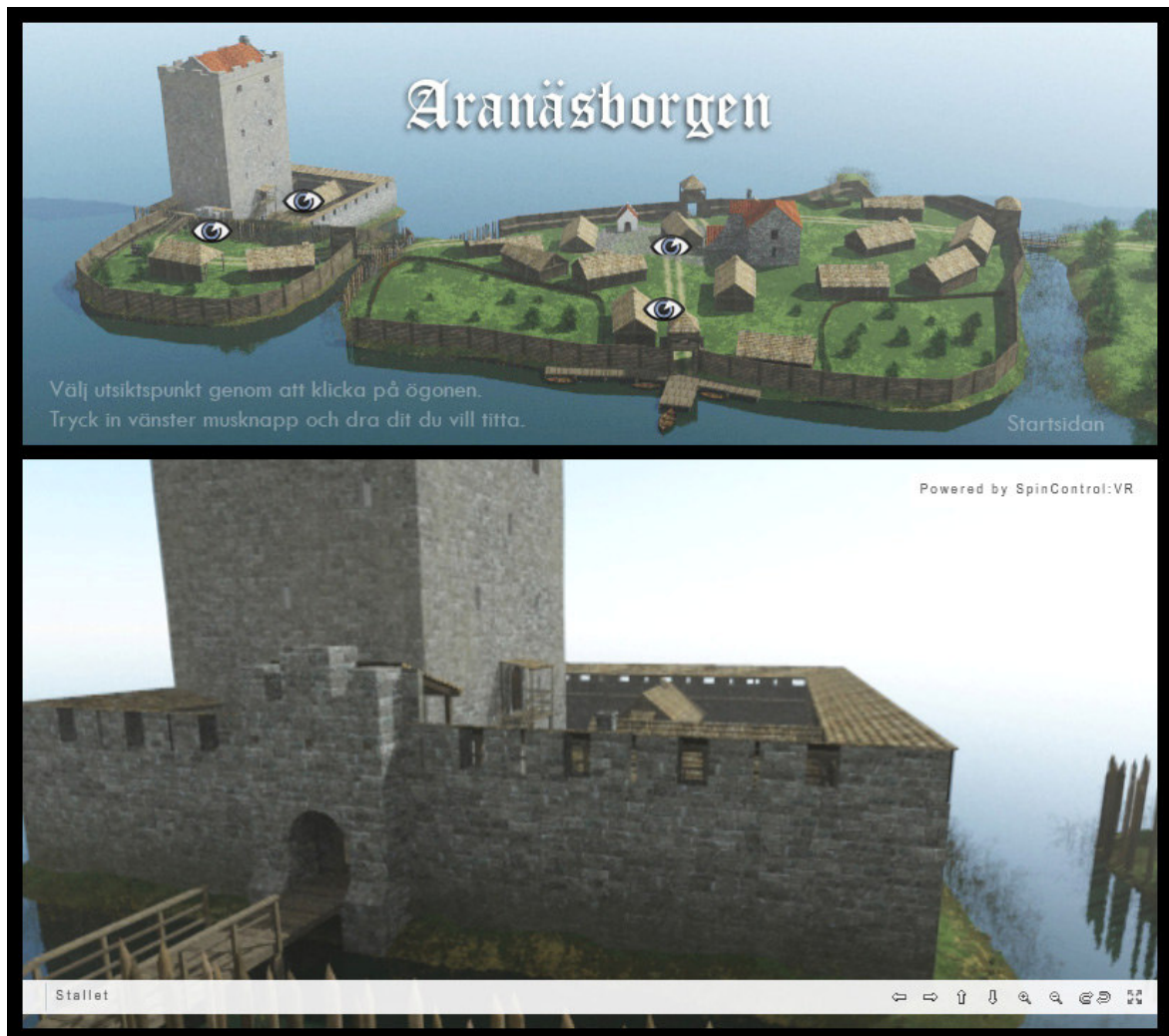
Animationen består av ett antal olika flygningar vid Aranäsborgen. Målet har varit att försöka få en så bra helhetsbild av området som möjligt (se figur 8.4).



Figur 8.4. Stillbildsekvens från animationen av Aranäsborgen.

8.3 Panoramavyer

Realtidsmotorer innehållandes 3d-modeller kräver vid hög komplexitet en dator med bra prestanda. En förenkling av realtidsmotorer är att välja ut strategiska punkter i omgivningen där man ges möjligheten att se sig omkring i alla riktningar, d.v.s. en panoramavy. Detta gjordes för fyra positioner som markeras med ögon i en översigtsbild direkt tagen från hemsidan (se figur 8.5).



Figur 8.5. Panoramavy från hemsidan.

9 Analys

I denna del behandlas reflektioner kring laserskanningstillfället och från vår rekonstruktionsmetod. Dessutom analyseras rekonstruktionsmetodens fördelar och begränsningar.

9.1 Reflektioner från laserskanningen av Aranäs

Vid skanningen av Aranäsborgen använde vi oss av en TOF-skanner (Leica Scanstation 1). På grund av det rådande väderförhållandet och skannerns hastighet hann vi endast med tre stycken skanningsuppställningar. Detta innebar att vi var tvungna att prioritera skanning av vissa delar. Den västra källartrappen kom bara delvis med och en av de inre väggarna på huvudborgen uteslöts helt. Den största "förlusten" var framförallt att huvudborgens nordvästra mur var tvungen att rationaliseras bort. Ur ett rekonstruktionsperspektiv hade det varit bättre att skanna fler murar med en lägre punkttäthet eftersom vi då fått information om hela borgens geometri. Det absolut bästa hade naturligtvis varit om vi hade kunnat skanna alla murar med hög upplösning och hög punkttäthet. Detta hade dock inneburit en ökning av den totala tiden för skanning, vilket var vår största begränsning. I dagsläget hade en annan typ av laserskanner kunnat användas, en så kallad CW-skanner. Med en CW-skanner hade vi hunnit med att skanna alla murar med högre punkttäthet på kortare tid eftersom en den skannar upp till tio gånger snabbare än en TOF-skanner.

9.2 Fördelar och begränsningar med vår rekonstruktionsmetod

Vår rekonstruktionsmetod är applicerbar med i stort sett vilka mjukvaror som helst. Förutsättningarna i det första steget är att mjukvarorna kan importera/öppna punktmoln från något av de format som Cyclone kan exportera samt att de har funktioner som kan rita linjer och vertexpunkter. I nästa steg krävs att mjukvarorna kan skapa polygonytor, vilket de flesta modelleringsprogram idag klarar av. I dagsläget finns även möjligheten att importera punktmoln direkt till 3ds Max och Maya vilket betyder att Cyclone bara behöver användas till exportering av punktmolnet. Vår metod inte är kopplad till en specifik mjukvara, detta är en fördel eftersom många användare är bundna till vissa mjukvaror eller har sina egna favoriter. En annan fördel är att vår metod inte kräver extremt hög punkttäthet eftersom det är den generella formen och avstånden som är det centrala, inte detaljerna. Detta hade kunnat utnyttjas vid skanningstillfället genom att skanna från fler positioner med en lägre punkttäthet och med samma totala tidsåtgång. Vid skanningstillfället var det dock svårt att veta exakt

hur vi senare skulle komma att angripa rekonstruktionsproblemet. Med facit i hand kan vi dra slutsatsen att fler skanningspositioner hade gett oss en mer komplett geometri av Aranäsborgen.

Tanken från början var att utifrån punktmolnet automatiserat göra en polygonyta med ett mjukvaruprogram. Denna polygonyta skapades först i Cyclone och skulle sedan byggas vidare på. Allt eftersom arbetet fortskred byttes inriktning baserat på bland annat hårdvarubegränsningar samt ändamålet med visualiseringen. Därför rekonstruerades hela byggnationen från grunden med hjälp av utplacerade vertexpunkter och guidelinjer. Detta gav en modell med få polygoner. Den automatgenererade modellen hade från början alldeles för många polygoner för att den skulle kunna användas. Vid hög decimering minskade mängden polygoner men medförde även att geometrin ändrades oförutsägbart, vilket inte kan tillåtas vid en rekonstruktion.

I ett senare skede av examensarbetet tillkom möjligheten att utvärdera mjukvarorna Geomagic Studio och Polyworks. Mjukvarorna används för att bearbeta punktmoln samt för att skapa polygonmodeller av dem. Det visade sig att Geomagic erbjuder snabba och enkla verktyg för att filtrera bort felaktiga punkter.

Vid de inledande diskussionerna med arkeologerna (efter skanningstillfället), bestämdes att inriktningen skulle vara helheten av Aranäs och inte detaljerna. Detta innebar att Aranäsborgens interiör prioriterades bort trots att det fanns en del interiör i punktmolnet från skanningstillfället. De delar som uteslöts var bland annat huvudborgens innerväggar samt källartrappen med skottglugg ut genom muren. Detta var en förlust av inhämtad data och en nackdel med valet av inriktning.

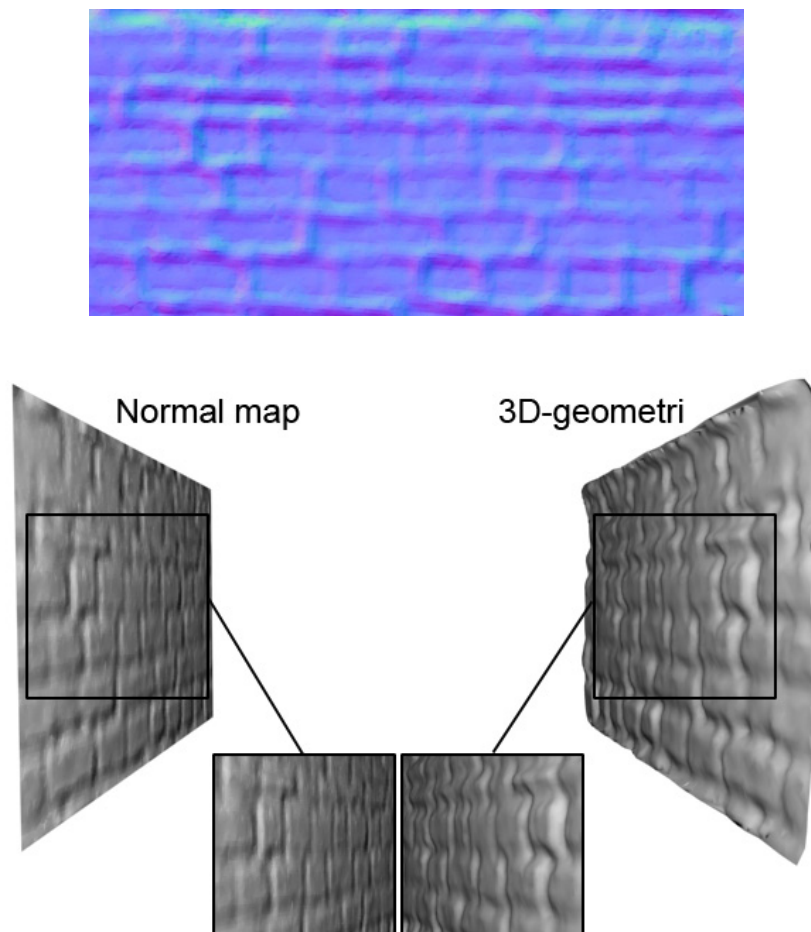
9.3 Reflektioner kring vår rekonstruktionsmetod

Den "upprepning" av punktmolnet som utfördes manuellt i Cyclone, hade genomförts på mycket kortare tid i Geomagic. Därför bör Geomagic (alternativt Polyworks) användas i framtiden vid liknande projekt.

En skanning med lägre punkttäthet hade gjort att vi hunnit med att skanna från flera positioner och på så vis fått med Aranäsborgens alla murar. Det absolut bästa hade naturligtvis varit om vi kunnat skanna Aranäsborgen vid en temperatur på minst 15°C.

I 7.4 beskrivs hur "normal maps" kan användas för att bevara detaljer i en polygonmodell och samtidigt reducera antalet polygoner. Denna metod skulle vara direkt

applicerbar på en detaljerad polygonmodell från ett punktmoln. Detta har undersökts på en utvald del muren. Överst i figur 9.1 syns murbitens "normal map". Längst ner i figur 9.1 visas resultatet i jämförelse med en uttagen polygonmodell av samma murparti. "Normal maps" skulle även ha kunnat användas i kombination med foton av murarna på Aranäs, vilket troligtvis skulle gett ett mer realistiskt resultat.



Figur 9.1. Normal map av stenmur.

Mycket av tiden har lagts på att utreda hur olika saker varit byggda, placerade och sett ut. Från början fanns två arkeologer för att besvara frågor av detta slag. Ganska tidigt i arbetet visade det sig att de inte hade möjlighet att besvara frågor i den utsträckning som vi hoppats på. Detta gjorde i sin tur att mycket mer av vår tid var tvungen att läggas på utredande och arkeologiskt arbete. För att förebygga en situation som denna skulle ett projekt med ett tydligt mål och begränsad tidsrymd ha valts. Till exempel skulle projektet kunnat vara en del av en utställning på ett museum eller en del av ett tv-program. I ett sådant fall hade arkeologer som slutat varit tvungna att ersättas av nya eftersom arbetet i ett sådant projekt måste gå vidare och slutföras innan premiärvisningen.

10 Diskussion

I denna del behandlas resultatets användningsområden utifrån olika perspektiv och användare. Dessutom diskuteras hur man kan bygga vidare på vårt resultat i framtiden.

10.1 Användningsområden för punktmoln och polygonmodell

För en arkeolog som vill använda en 3D-modell av en ruin som dokumentation är högupplösta polygonmodeller att föredra, eftersom man då kan mäta i detalj det inbördes avståndet mellan t.ex. stenar i en mur. Det skulle även fungera att mäta direkt i ett punktmoln, men det är oftast visuellt svårare. I dagsläget dokumenteras arkeologiska fynd främst med totalstationer. Om dokumenteringen i framtiden sker med laserskanning, kan en bättre analys ske i ett senare skede. En detaljerad polygonmodell av befintliga arkeologiska fynd, kan med fördel skapas i antingen Geomagic eller Polyworks.

Om däremot användningsområdet av modellen innefattar att visualisera resultatet i en realtidsmodell för publik visning, måste få polygoner användas på grund av begränsningar i datorernas hårdvara. Detsamma gäller även om man, som i vårt fall, vill göra en visualisering av en stor scen med flertalet modeller, terräng och omgivning.

10.2 Användningsområden av resultatet

Resultatet från denna typ av projekt kan användas på många olika sätt. I dagsläget har alla grävande institutioner (inklusive Riksantikvarieämbetet) krav på sig att redovisa sina resultat för allmänheten enligt Lars Lundqvist. Att presentera resultatet från en utgrävning med en visualisering baserad på en laserskanning är tydligt och lättförståeligt. I jämförelse med att presentera ett resultat med konventionella skisser, kartor och fotografier, är vår metod mer lättillgänglig samt lättbegriplig för allmänheten. Därför tycker vi att vår metod är ett bra komplement till redovisning av arkeologiska resultat i framtiden.

Byggnationens geometri har stor betydelse när man vill rekonstruera en byggnation från förr. Vid byggnationer där hörnen är raka, och avstånden är korta är det ofta möjligt att mäta in ruinen med måttband. Däremot är det inte helt säkert att hörnen verkligen är vinkelräta, såsom i fallet med Aranäs. Vid stora och/eller komplexa ruiner som Borgholms slottsruin är laserskanning den överlägset bästa inmätningssmetoden. Man får då med höjden på byggnationen samt alla detaljer.

I 7.4 och analysen påvisades möjligheten att använda "normal maps" för att behålla detaljrikedomen i en polygonreducerad 3D-modell. Att använda "normal maps" i kombination med en polygonreducerad 3D-modell från en laserskanning är en vidareutveckling av vår metod och skulle kunna undersökas/utvärderas i framtiden.

I analysen poängteras förlusten av Aranäsborgens interiör. I framtiden skulle det vara möjligt att komplettera vår modell med interiör. Dock skulle ett sådant arbete betyda många gissningar och antaganden utan säkra grunder eftersom det finns få arkeologiska fynd som berättar om borgens interiör.

10.3 Kontaktpersonernas utvärdering av resultatet

Då resultatet var klart och presenterat på hemsidan ställdes ett antal frågor till kontaktpersonerna (se utvärderingsfrågorna i Bilaga F). Detta gjordes för att utvärdera vårt resultat.

10.3.1 Punktmoln

I dagsläget används totalstationer vid utgrävningar, men det finns även tillfällen då fotogrammetriska tekniker och laserskanner använts, enligt Håkan Thorén. Han säger att dokumentering med laserskanner är vanligare utomlands. Hanna Menander påpekar att laserskanner har använts på Läckö slott för att kunna jobba med väggarnas tjocklek och volym [16].

Båda tror att punktmoln från laserskanning kommer att användas som dokumenteringsmetod i framtiden. Menander menar att de måste lära sig att tänka tredimensionellt. I dagsläget ser och arbetar arkeologer oftast med fornlämningar på plan. Hon menar dock att det finns mycket att lära om "rummet" när man genom 3D får "volym" på lämningarna. Både Menander samt Thorén säger att i dagsläget är laserskanner för dyr i inköp för att användas vid utgrävningar. Han säger även: "Lasercannern är dum i förhållande till totaltationen, den scannar allt. Problemet är att klippa bort den information man egentligen inte är intresserad av."

10.3.2 3D-modell av punktmoln

Alla personer som svarat på våra frågor har tagit upp fördelar med en digital gentemot en klassisk miniatyrmodell. Bland annat att en 3D-modell har fler användningsområden än en miniatyrmodell. Lars Lundqvist menar att en 3D-modell är lättare att göra tillgänglig då den kan publiceras fritt på nätet i många olika digitala format. Lundqvist påpekar också att 3D-Modellen skulle kunna skildra flera års olika skeden av en

byggnation. Menander ser också fördelarna med att röra sig i en 3D-modell. Hon menar att man får en uppfattning om rummet och hur det har använts men även förändrats över tid. Promenader i en 3D-miljö iklädd olika roller (som försvarare av Aranäsborgen eller anfallare) menar Menander "kan leda till nya tolkningar av miljön".

Christian Lovén säger att en fysiskt byggd modell är svår att fotografera på nära håll. Han menar också att den stora fördelen med en 3D-modell är att folk slipper resa till en fysiskt byggd modell på ett museum. Thorén fortsätter i samma linje. Han tror att fysiska miniatyrmodeller i framtiden kommer att ersättas helt av 3D-modeller eller "utskrivna" 3D-modeller.

Lundqvist menar att rekonstruktionsprocessen är nyttig eftersom den skärper upp tolkningarna och tvingar fram ställningstagande. Thorén tycker att arkeologernas och historikernas tolkningar förbättras av 3D-rekonstruktioner. Han menar att det är svårt att "smita undan" problem då man måste ta ställning. Menander anser att nya tolkningar växer fram under rekonstruktionsprocessen. Hon menar att "upplevelsen av rummet" kan leda till "empatiska" analyser som "innebär att vi kan erhålla ny kunskap om dåtidens människor". Lovén gör en liknelse med vår rekonstruktionsprocess och experimentell arkeologi. Han menar att man tvingas fundera över hur anläggningen fungerade rent praktiskt.

På frågan om det är något som bör ändras eller läggas till i rekonstruktionen menar Thorén att den är för "klinisk", För lite smuts, för lite växtlighet, för lite djur och människor. Även Menander tycker att några människor skulle vara med så att man får skalan på byggnaderna.

10.3.3 Framtid

Samtliga inkomna svar är positiva på frågan om 3D-visualisering med punktmoln som grund är ett presentationsverktyg för framtidens arkeologi. Lundqvist nämner även att det är viktigt att hitta snabba och bra metoder för efterbearbetning och sprida informationen till olika medier.

Bland svaren nämns flertalet andra platser vilka med fördel skulle göras tillgängliga för allmänheten genom en rekonstruktion i 3D. Lovén menar att det kräver goda utgrävningar med många hus identifierade, eller bra gamla avbildningar. Menander tycker framförallt att kloster och borgar som inte syns ovan mark ska återskapas. Att platsen är "hypad" genom media eller som människor känner bra till ser Lundqvist som något viktigt vid en rekonstruktion. Han tänker sig även att "stora monumentala

anläggningar med tydligt igenkännligt landskap görs sig särskilt bra, genom att man kan känna igen sig idag.”

10.3.4 Kommentarer till kontaktpersonernas utvärdering av resultatet

När vi startade examensarbetet fanns det ett fåtal utgrävningar utomlands som använt sig av laserskanning. Vi har sett en ökning av laserskanning för dokumentation av arkeologiska fynd under tiden examensarbetet fortskridit. Thorén och Menander menar att det fortfarande är dyrt i inköp med laserskanner. Detta betyder att det dröjer innan laserskanning blir vanligt förekommande.

Största fördelen med en digital gentemot en klassisk miniatyrmodell verkar vara tillgängligheten. Något som vi själva inte har tänkt på, är att en digital modell i vilken man kan promenera, kan leda till nya tolkningar av miljön. Upplevelsen av rummet gör att man kan erhålla ny kunskap om dåtidens människor. Även tidsaspekten är intressant. Det blir lätt att resa fram och tillbaka i tiden med en musklickning.

Själva rekonstruktionsprocessen skärper upp tolkningar och tvingar fram ställningstagande, detta har vi märkt under arbetets gång. Exempel på det är svaren på frågor som:

- Var går gränsen mellan land och vatten?
- Var gick vägen in till borgen?
- Vilket material hade taken?
- Vilken slags vindbrygga hade man?
- Var låg hamnen?

Människor samt djur är något som vi gärna skulle lägga in i vår visualisering, dels för att ge liv och öka realismen men även för att få skala på byggnaderna som Menander nämner. Detta har vi dock inte prioriterat då fokus låg på byggnaderna.

I framtiden tror både vi och tillfrågad expertis att det kommer bli fler historiska visualiseringar med punktmoln som grund.

Referenser

1. Chevalier, T. Grönwall, C. Gustafsson, F. Larsson, H. Letalick, D. Steinvall, O. Tolt, G. "3D-avbildande laserradar i statiska miljöer", (2007), Slutrapport 2005-2007, Totalförsvarets Forskningsinstitut FOI. Avdelningen för Sensorsystem, Linköping.
2. S. Jain, "A Survey of Laser Range Finding", 2003.
3. Kilpelä, A. "Pulsed Time-of-flight laser range finder techniques for fast, high precision measurement application", (2004), Academic Dissertation, Univ. of Oulu.
4. Hiremagalur, J. Yen, K S. Akin, K. Bui, T. Lasky, T A. Ravani, B. "Creating Standards and Specification for the Use of Laser Scanning in Caltrans Projects", (2007), AHMCT Research Report, Uni. of California at Davis.
5. Leica Geosystems AG, "Leica ScanStation - A new level of versatility in laser scanners", (2007), Heerbrugg, Switzerland.
6. Lundkvist, L., Stibéus, M, Aranäsborgen, arkeologisk undersökning 1999. (1999), Göteborg.
7. Lundkvist, L., Stibéus, M, Aranäsborgen, arkeologisk undersökning 2001. (2001), Göteborg.
8. Törnquist, L. "Svenska borgar och fästningar. En historisk reseguide", (2007), Medströms, Stockholm.
9. Platt, C. "The Castle in Medieval England and Wales", (1982), Secker & Warburg, London.
10. Aluve, K. "Eesti Keskaegsed Linnused", (1993), Tallins boktryckeri ("Tallinna Raamatutrükikoda"), Tallin.
11. Stibéus, M. "Arkeologi vid borgholms slott. –Bebyggelse från järnålder och medeltid", (2007), Linköpings Tryckeri, Linköping.
12. Jonsson, L. "Läckö. Landskapet, Borgen, Slottet", (1999), Carlsson, Stockholm.

13. Akca, D., Remondino, F., Novák, D., Hanusch, T., Schrotter, G., Gruen, A., "Performance Evaluation of coded structured light system for cultural heritage applications", ETH Zurich, Switzerland.
14. Okänd författare (27.12.2007), "Arns hjälm" på Historiska [www]. Tillgängligt på < <http://www.historiska.se/press/pressmeddelanden/Pressarkiv-2007/Aranashjalmen/> > Hämtat 1.02.2010.
15. Garland, M., Heckbert, P. S., "Surface Simplification Using Quadric Error Metrics", SIGGRAPH 97.
16. Menander, H., Thorén, H., "Byggnadsarkeologisk undersökning på Läckö slott", (2009), UV Öst, Linköping.

Personliga kontakter

Lennart Krantz - Säljare, Leica Geosystem AB.

Christian Lovén - Docent i konstvetenskap.

Lars Lundqvist – Enhetschef, Riksantikvarieämbetet.

Håkan Larsson - Forskningsingenjör, FOI.

Magnus Stibéus - Arkeolog, Riksantikvarieämbetet.

Håkan Thorén - Systemutvecklare, Riksantikvarieämbetet.

Hanna Menander - Arkeolog, Riksantikvarieämbetet, UV Öst.

Använda programvaror

Autodesk 3ds Max

Cyclone

Polyworks

Geomagic Studio

Adobe Photoshop

Bricks'n'Tiles

Ordlista

Bump Map: En gråskalebild som beskriver var, och hur mycket en yta ska se ut att sticka ut.

CW (Continous Wave): Fasmätande.

Fotogrammetri: Ett teknikområde som avser konsten att göra mätningar av tre-dimensionella positioner hos objekt i världen utifrån två eller flera fotografiska eller digitala bilder.

LADAR: Laser detection and ranging.

Normal Map: En textur som beskriver hur normalen ska ändras. Läs mer under kapitel 7.4.

Polygon: En yta med raka kanter som har sina hörn i vertex-punkter. Minsta polygonen har formen av en triangel.

Polygon mesh: En samling polygoner som sitter ihop med varandra.

Procedurell: Betyder att skapa data algoritmiskt istället för manuellt.

Punktmoln: En mängd vertexpunkter i 3D-rymden. Resultat från laserskanning.

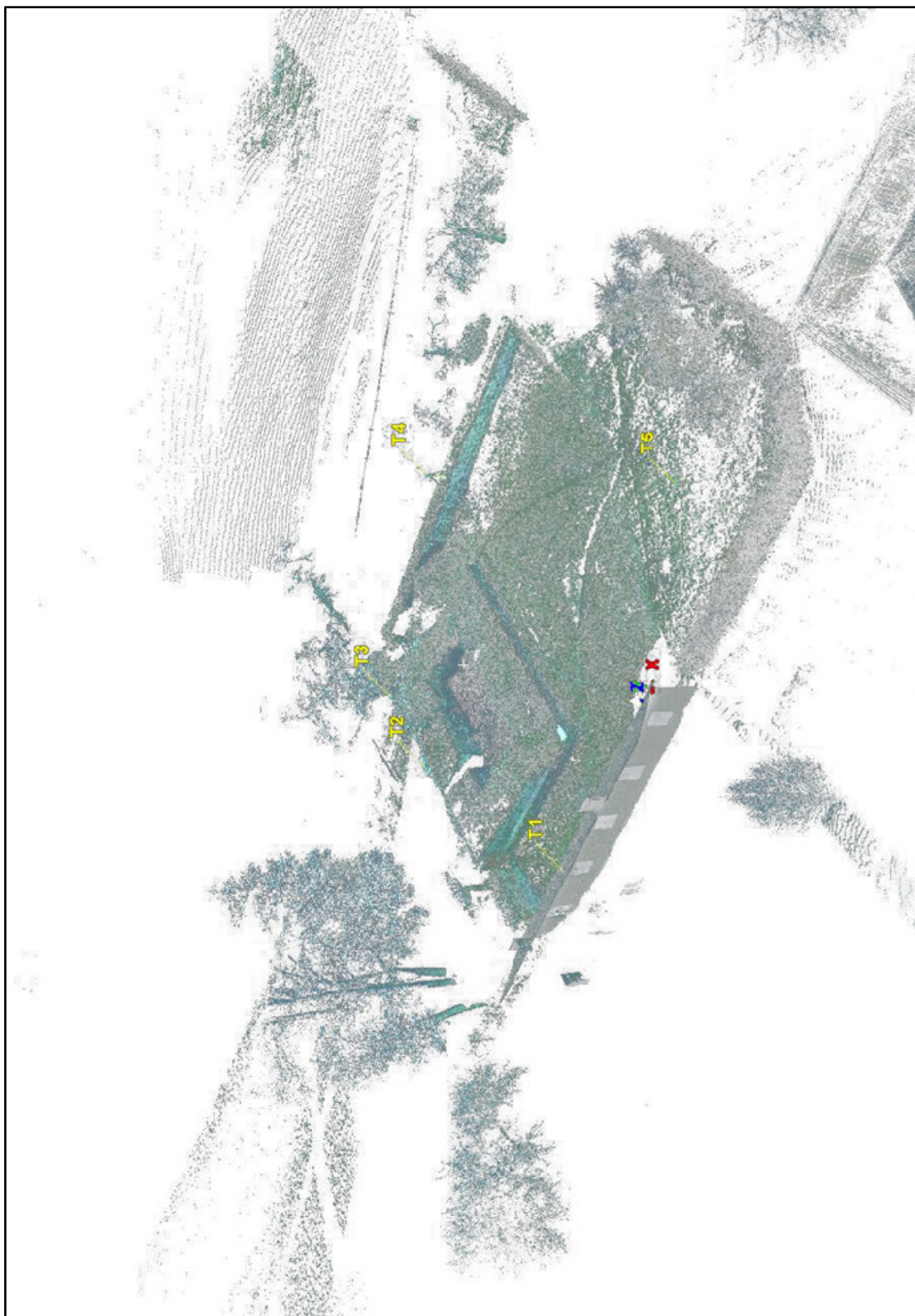
Textur: En datamängd som bestämmer en ytas utseende och beskaffenhet. I enklaste fallet består den av en tvådimensionell bitmap som projiceras på en yta.

TOF (Time Of Flight): Mätning av flygtid.

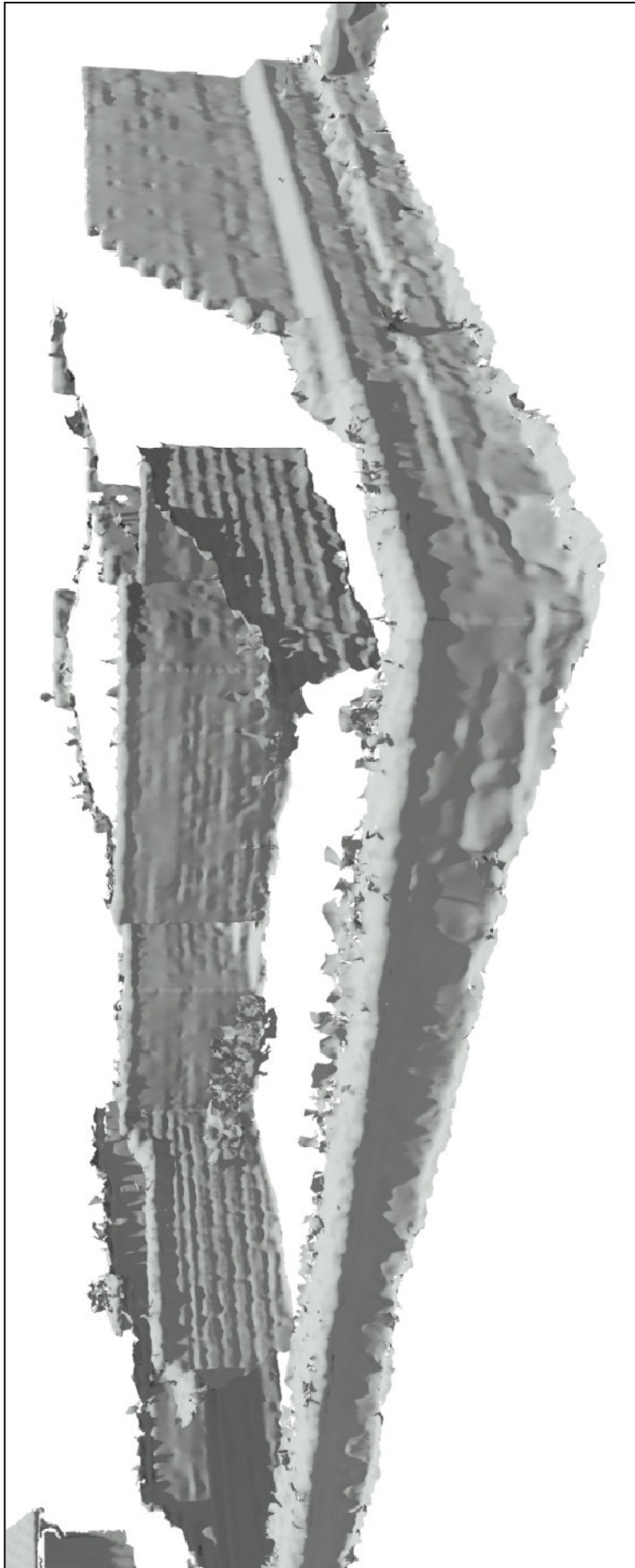
Triangulering: En metod för att bestämma positionen av en punkt genom mätningar i en triangel där två punkters avstånd och vinklar är kända.

Vertex: En punkt placerad i 3D-rymden.

Bilaga A



Bilaga B



Bilaga C



Bilaga D



Bilaga E



Utvärderingsfrågor

1. Vilka tekniker används i dagsläget för att dokumentera en utgrävning?
2. Tror du att ett punktmoln från en laserskanning kan komma att användas som dokumentation vid utgrävningar istället för konventionella mätmetoder? Varför/ varför inte?
3. Vilka fördelar, nackdelar och användningsområden ser du med en 3D-modell av historisk rekonstruktion i jämförelse med en fysiskt byggd miniatyrmodell?
4. Hur påverkas arkeologers/historikers analyser av denna typ av rekonstruktionsprocess?
5. Rekonstruktionen av Aranäs har baserats på de befintliga skriftliga källor som finns men även på muntlig överförd kunskap. På en skala 1-5, hur historiskt korrekt anser du att rekonstruktionen är?
6. Finns det något som du anser borde läggas till eller ändras i vår rekonstruktion?
7. Är 3D-visualiseringar med punktmoln som grund ett presentationsverktyg för framtidens arkeologi?
8. Ser du några andra liknande historiska platser i Sverige som med fördel skulle göras tillgänglig för allmänheten genom en rekonstruktion i 3D? Vilka?

Övrigt

9. Vi har hört att RAÄ numera måste redovisa sina resultat för allmänheten. Stämmer detta?
10. Vad heter du och vilken titel har du?
11. Är det något övrigt du skulle vilja tillägga?