

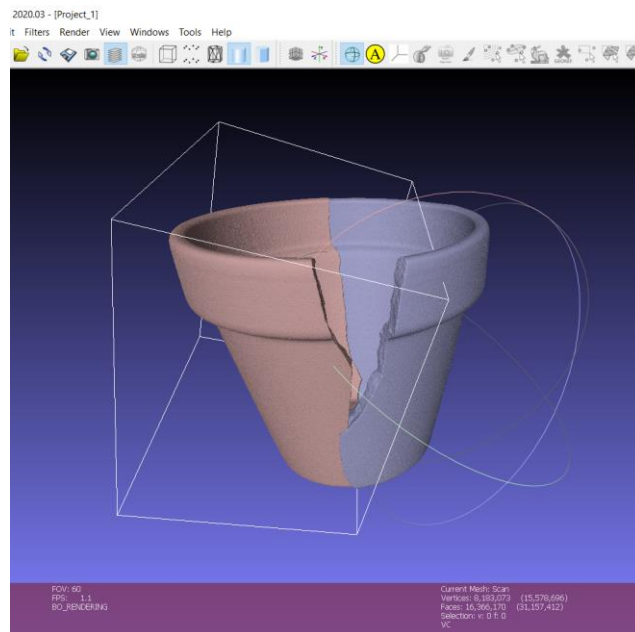


GÖTEBORGS
UNIVERSITET

INSTITUTIONEN FÖR KULTURVÅRD

3D-SKANNING SOM TEKNIK FÖR DIGITAL HOPSÄTTNING

- Ett alternativ till fysisk hopsättning inom aktiv konservering



Emma Karlsson Björksund

Uppsats för avläggande av filosofie kandidatexamen med huvudområdet kulturvård med inriktning mot konservering

2020, 180 hp

Grundnivå

2020:25

3D-skanning som teknik för digital hopsättning

- Ett alternativ till fysisk hopsättning inom aktiv
konservering

Emma Karlsson Björksund

Handledare: Gunnar Almevik

Examensarbete 15 hp
Konservatorprogram 180 hp
Lå 2019/20

Program in Integrated Conservation of Cultural Property
Graduating thesis, BA/Sc, 2020

By: Emma Karlsson Björksund
Mentor: Gunnar Almevik

3D scanning as a technique for digital reassembly
- An alternative to physical reassembly in active conservation

ABSTRACT

This thesis aims to test and assess 3D-scanning and digital reassembly of objects in conservation. To do this, two 3D-scanning techniques have been tested, first scanning with structured light and secondly photogrammetric triangulation. The reassembling was done in Meshlab for the structured light and in Agisoft Metashape for the photogrammetric triangulation.

The research questions were: How does these scanning techniques work for digital reassembly of objects in conservation and how does the result differ between the two techniques? How can the working process look when using the techniques for digital reassembly and what is important to consider to achieve the best possible result?

The objects used in this examination was a terracotta pot, the breastbone from a bird and a skull from a deer. The three objects were scanned, two were later broken and the fragments were scanned again and then digitally reassembled. All three objects were scanned with structured light and the breastbone was also scanned with photogrammetric triangulation.

The result shows that there are many aspects to consider in the working procedure. After evaluating the result, it was clear that one important factor to get good 3D-models and good texture on the models was to have good light conditions. This is especially important when using photogrammetric triangulation. Both scanning techniques were relatively fast and easy to use but because the camera was fixed in structured light it was harder to control the process compared to photogrammetric triangulation. Using photogrammetric triangulation also gives the possibility to take photos from different angles but requires more settings to get good and high-quality images. Meshlab and Agisoft Metashape both requires good computer capacity for usage.

The conclusions were that 3D scanning and digital reassembly is possible to apply in conservation and can be an alternative to physical reassembly. Furthermore, conservation knowledge and skills in non-destructive supporting materials and stabilising arrangements could improve the work process. It is also important to have a critical perspective in the digital process, as there are many choices that impact the reliability of the digital output.

Title in original language: 3D skanning som teknik för digital hopsättning – Ett alternativ till fysisk hopsättning inom aktiv konservering

Language of text: Swedish

Number of pages: 42

Keywords: 3D scanning, Digital reassembly, Structured light, Photogrammetric triangulation,

ISSN 1101-3303

ISRN GU/KUV—20/25-SE

Förord

Tack till min handledare Gunnar Almevik för allt stöd.

Tack till Rebecka Karlsdotter och Krister Wallerstedt för benmaterialet och stort visat intresse.

Även stort tack till alla i min omgivning som hjälpt mig sortera tankar, korrekturläst och fixat mina datorproblem!

Innehållsförteckning

1.	Inledning	8
1.1.	Bakgrund	8
1.2.	Forsknings- och kunskapsläge	9
1.3.	Syfte och målsättning	10
1.4.	Frågeställningar	10
1.5.	Avgränsningar	11
1.6.	Metod	12
1.7.	Teoretisk referensram	12
1.8.	Definitioner och begrepp	14
2.	3D-skanningstekniker och programvaror	15
2.1.	Skanning	15
2.1.1.	Strukturerat ljus	15
2.1.2.	Fotogrammetrisk triangulering	16
2.2.	Programvaror	16
2.2.1.	Meshlab	16
2.2.2.	Agisoft Metashape	16
3.	Undersökning	17
3.1.	Keramik	17
3.2.	Bröstben från fågel	23
3.3.	Rådjursskalle	29
4.	Resultat	29
5.	Analys och diskussion	33
5.1.	Strukturerat ljus	33
5.2.	Fotogrammetrisk triangulering	36
5.3.	Manuell hantering	37
5.4.	Programvaror	38
5.5.	Digital hopsättning som metod	38
6.	Slutsats	39
7.	Vidare forskning	40
8.	Sammanfattning	41
9.	Källor och Litteratur	42

1. Inledning

Denna uppsats testar och utvärderar möjligheterna att använda 3D-skanning för dokumentation och digital hopsättning av föremål som ett alternativ till aktiv konservering. Uppsatsen omfattar 15 hp och utgör examensarbete för kandidatexamen i kulturvård vid Göteborgs universitet. Uppsatsen är skriven under vårterminen 2020 och avslutar utbildningen på Konservatorprogrammet. Alla bilder i denna uppsats är tagna av Emma Karlsson Björksund om inget annat anges.

1.1. Bakgrund

Som konservator är det vanligt att stöta på fragmenterade objekt, oavsett om man går igenom samlingar på ett museum eller får föremål från en arkeologisk utgrävning. De har gått sönder med tiden eller genom oförsiktighet eller okunskap hos de personer som hanterat objekten. Även om ett objekt är skadat kan fragmenten berätta en hel del om objektets historia, om material som använts eller om föremålets proveniens. För att kunna få ut mer information och en ökad förståelse av form och uttryck, kan föremålet sättas ihop igen. Det ger en bättre helhetsbild av föremålet som också kan ingå i utställningar. Om fragment från ett föremål saknas kan de behöva rekonstrueras för att kunna byggas ihop, då de kan utgöra bärande eller betydelsefulla delar av en helhet.

Vid hopsättning av föremål är första steget att göra en plan för i vilken ordning bitarna skall sättas ihop. Brottytorna rengörs och ett adhesiv appliceras innan bit för bit sätts samman och föremålet sakta byggs ihop igen. Detta arbetssätt har inte förändrats särskilt mycket. Det som har förändrats är det adhesiv som används. Det är inte ovanligt att redan hopsatta föremål går sönder igen. Det kan antingen bero på den inre stress som verkar mellan adhesiv och fragment, spänningarna blir för starka i de sköra fragmenten och de går av. Andra anledningar kan vara att adhesiv inte fästs mot brottytan eller att det blir för skört och bräckligt när det åldras (Horie, 2013). Detta leder till att vissa föremål måste konserveras om och därmed sättas ihop på nytt. Det gamla adhesivet måste då lösas upp och tas bort innan nytt adhesiv kan appliceras.

Nya sätt att tänka och resonera kring konservering uppkommer och andra prioriteringar fastslås. I dagsläget är en målsättning att påverka föremålet så lite som möjligt, något som följs av konservatorer runt om i världen. (AIC, 1994) Dock är det så att minsta möjliga åtgärd innebär olika hantering av ett föremål beroende på i vilken kontext det ska användas (Caple, 2000), exempelvis om ett objekt konserveras för utställning eller för förvaring.

På grund av att tankesätt och ramverk för hur konservering skall utföras ständigt utvecklas behöver även konserveringsmetoder förändras. Nya material utvecklas och metoder som använts inom andra områden appliceras även inom konservering.

Röntgen och CT-skanning som används inom det medicinska området har överförts till konserveringsområdet exempelvis för att ta reda på innehåll i behållare som inte går att öppna, så som mumifierade objekt eller kistor (Brown och Martin, 2014). 3D-skanning kan användas för att dokumentera föremål och byggnader genom att skapa tre-dimensionella modeller. Detta kan appliceras inom kulturvård som ett sätt att bevara kulturarv. Det gör att digitala museum och samlingar kan presentera en tre-dimensionell bild av ett föremål som besökaren själv kan vrida och vända på.

På samma sätt borde föremål i bitar kunna 3D-skannas för att sedan digitalt sättas ihop. Detta gör att föremål inte behöver utsättas för adhesiv och andra kemikalier. Delar av föremål som tidigare inte kunnat ställas ut, kan nu visas digitalt och dessutom ge en uppfattning om hur ett föremål sett ut i ursprungligt tillstånd. Även de föremål som kräver speciellt klimat, är för sköra eller är för ljuskänsliga för att kunna ställas ut utan att de bryts ner får nu en möjlighet att visas upp utan att riskera dess kondition.

För en ovan person kan det vara svårt att få ett sammanhang av skävor och delar från ett föremål som inte sitter ihop. Sätts dessa delar då ihop så blir de delar av något större och kan då vara lättare att ta till sig.

Hopsättning är inte en konserveringsåtgärd då det inte stoppar/bevarar objektet från nedbrytning, men kan vara viktigt för utställning och tolkning av objekt.

I denna uppsats kommer möjligheten att skanna fragment av föremål, för att sedan digitalt sätta samman dem, att beskrivas. Två specifika 3D-skanningstekniker, skanning med strukturerat ljus samt fotogrammetrisk triangulering, används. Resultatet av skanningen används sedan med lämpliga programvaror för att sätta samman objekten digitalt. Utvärdering av skanningsmetod och programvara kommer att ske.

1.2. Forsknings- och kunskapsläge

I dagsläget finns det olika områden där 3D-skanning appliceras för att underlätta arbetsprocessen. Inom kriminologin används 3D-skanning och digital rekonstruktion för att sammanfoga skelettdelar för att lättare kunna identifiera offret (Li et al, 2011). Kulturvårdssektorn har blivit bättre på att utnyttja andra områdets verktyg och tillvägagångssätt för att kunna dokumentera och identifiera olika typer av material och objekt. På samma sätt utforskas digitala tekniker för dokumentation för att tillgängliggöra och bevara objekt för framtida generationer. Det blir vanligare med VR-upplevelser på museum och dylikt.

De två metoder för skanning som undersöks är etablerade inom kulturvårdssektorn. Strukturerat ljus har använts för dokumentation, främst av mindre föremål men även större statyer (Rocchini et al, 2001) och fotogrammetrisk triangulering används ofta för dokumentation av byggnader och platser (Corns et al, 2015), men även för att kartlägga utgrävningsområden inom arkeologin. Även Livrustkammaren, Skokloster slott och stiftelsen Hallwylska museet (LSH) har genom fotogrammetrisk triangulering dokumenterat föremål från sina samlingar. Deras mål med dokumentationen är att öka tillgängligheten och för att lättare kunna avgöra föremålets kondition exempelvis inför utlån av föremål (Riksantikvarieämbetet, 2016).

Dock är området med hopsättning av fragment inte lika utforskat i konserveringssammanhang.

Förutom skanning med strukturerat ljus och fotogrammetrisk triangulering används även laserskanning inom kulturvård. Bland annat har det använts för att dokumentera gravkammare i Egypten och göra dessa tillgängliga som VR-upplevelser. (Lucini Bayod, 2015)

Lämpligheten av 3D-skanning kan begränsas av vilket föremål som skall skannas. Transparenta och reflekterande föremål är i sig svåra att fotografera då ljuset reflekteras eller bakgrunden syns igenom. Även ljusförhållandena ger vissa begränsningar till bägge skanningsmetoderna. Vissa ljusförhållanden kan påverka hur skanning med strukturerat ljus fungerar då det kan störa hur kameran skannar objektet. I fotogrammetrisk triangulering behövs bra och jämna ljusförhållanden för att det inte ska bli för mycket skuggor, som sedan påverkar modellen.

1.3. Syfte och målsättning

Syftet med uppsatsen är att testa och utvärdera digital dokumentation och hopsättning av fragment inom konservering med hjälp av två olika 3D-skanningstekniker. Dessa tekniker är ”Skanning med strukturerat ljus” och ”Fotogrammetrisk triangulering”. Målsättningen är att ge ökad förståelse och förslag på tillvägagångssätt vid digital hopsättning av föremål inom konservering.

1.4. Frågeställningar

Frågeställningarna som undersöks är:

- Hur fungerar 3D-skanningsteknikerna ”Skanning med strukturerat ljus” och ”Fotogrammetrisk triangulering”, för digital hopsättning av föremål i ett konserveringssammanhang, och hur skiljer sig resultatet av teknikerna åt?
- Hur kan arbetsprocessen se ut för en konservator vid användning av teknikerna för digital hopsättning och vad är viktigt att tänka på för att uppnå ett bra resultat?

1.5. Avgränsningar

Undersökningen kommer utföras på ett oglaserat keramiskt material samt benmaterial från djur genom skanning med strukturerat ljus och fotogrammetrisk triangulering. Anledningen till att dessa material valdes var för att underlätta skanningen, då matta ytor är lättare att skanna. De är vanliga fynd vid arkeologiska utgrävningar och kan då även överlämnas till konservatorer för konservering. Förutom detta var materialen lätta att ta sönder vilket krävdes för den digitala hopsättningen. De tekniker som valdes är vanliga inom kulturvård, samt att de fanns tillgängliga. Även laserskanning används inom kulturvård men då detta inte fanns tillgängligt kunde tekniken inte undersökas.

Det oglaserade keramiska materialet är en terrakottakruka.

Benmaterialet består av ett bröstben från en fågel samt ett rådjurskranium.

Dessa föremål skänktes i samband med undersökningen.



Bild 1 Överst till vänster: Terrakottakruka

Bild 2 Överst till höger: Bröstben från fågel

Bild 3 Nederst: Rådjurskalle

1.6. Metod

För att undersöka möjligheten att sätta ihop föremål digitalt studerades två 3D-skanningstekniker. Dessa tekniker var skanning med strukturerat ljus och fotogrammetrisk triangulering, även kallad Structure from motion eller fotoskanning. Den utrustning som användes vid skanning med strukturerat ljus var Shining 3D's Einscan 2x pro med en roterande platta. För fotogrammetrisk triangulering användes en systemkamera, Canon 1000D, med objektiv 18–55 mm, samt ett stativ. Programmen som användes för hopsättning var Meshlab och Agisoft Metashape.

De föremål som valdes var en terrakottakruka, ett bröstben från en fågel och skallen från ett rådjur. Dessa valdes då de har matta ytor vilket underlättar skanningen och de var lätta att slå sönder.

Alla tre föremålen skannades hela med strukturerat ljus, men bröstbenet skannades även med fotogrammetrisk triangulering. Detta utfördes dels för att få en referensbild av föremålen, dels för att testa de olika teknikerna. Sedan slogs terrakottakrukan och bröstbenet sönder och delarna skannades därefter med varsin teknik. Därefter redigerades 3D-modellerna och delarna av de sönderslagna föremålen sattes ihop till hela föremål med hjälp av Meshlab respektive Agisoft Metashape.

Under arbetets gång beaktades hur en konservator skulle behöva arbeta med teknikerna och vad som skulle behöva justeras för att processen skulle lämpa sig för sköra föremål. Det noterades även hur olika egenskaper hos föremålen påverkade resultatet av skanningen och därmed även om ett användbart resultat i konserveringssammanhang skulle kunna uppnås.

1.7. Teoretisk referensram

Hopsättning av föremål görs med flera olika syften så som att underlätta tolkning av ett föremåls användning, dimensioner, form eller uttryck. Det är lättare att få en uppfattning av ett föremål om det är hopsatt än om det visas upp som skärvor.

Svårigheter vid hopsättning av ett föremål kan vara att det saknas delar vilket gör att föremålet inte blir stabilt när det sätts ihop. Det kan också vara så att de saknade delarna gör att andra delar inte får någon brottyta att fästa mot vilket leder till att de inte kan sättas ihop med resterande delar.

Vid hopsättning av föremål finns vissa riktlinjer som behöver beaktas för att hopsättningen skall gå rätt till och inga onödiga risker tas.

Den referensram och de teorier som utgör grunden för det här arbetet riktar sig mot minsta möjliga åtgärd, bevarande av originalmaterial och anastylosis. Arbetet är ett sätt att utforska alternativ till fysisk hopsättning och ett sätt att införa etablerade tekniker inom ett nytt område.

Inom konservering är ett väl genomarbetat begrepp ”minsta möjliga åtgärd”. Detta innebär att enbart det som anses nödvändigt som konserverings-åtgärd skall utföras. Detta kan variera beroende på vad målet med konserveringen av objektet är. Det kan vara att ett objekt enbart behöver rengöras medan ett annat kanske behöver rengöras, stabiliseras, retuscheras och packas. Innebörden blir då att minsta möjliga åtgärd skiljer sig från objekt till och objekt, samt hur målen med konserveringen ser ut. (Caple, 2000). När det gäller minsta möjliga åtgärd vid hopsättning innebär det rengöring av brottytor och påförel/applicering av adhesiv. Det kan även vara så att gammalt adhesiv behöver lösas upp och ett föremål behöver omkonserveras och sättas ihop igen.

Bevarande av originalmaterial i samband med sammanfogning av delar, berör det material som försvinner vid rengöring och det material som eventuellt försvinner vid borttagning av gamla adhesiv. Det kan även vara så att en del material lossnar vid hopsättning då brottytorna nöter varandra om man inte är tillräckligt försiktig, eller om materialet i sig är så pass skört. Det är viktigt ur den aspekten att konservatorn som ansvarar för hopsättningen kan ta beslut om föremålet klarar av att bli ihopsatt igen utan att skadas mer.

Anastylosis eller digital anastylosis har också granskats som ett möjligt ramverk för uppsatsen. Med anastylosis menas “The reconstruction of a monument from fallen parts” (Merriam-Webster dictionary, 2020). Alltså återuppbyggnaden av de fragment som fallit. Inom byggnadsvård används detta begrepp, och målet är att i så stor utsträckning som möjligt använda de originaldelar som finns på plats där monumentet eller byggnaden fallit. I de fall där det saknas delar som är bärande återskapas dessa i samma material och med samma metod som originalen (Ajie, 2018), eller så bör materialet synas vid integreringen och hjälpa till vid konservering och återskapande av dess form (ICOMOS, 1964)

Vid 3D-skanning blir förhållningssättet kring anastylosis att de delar som finns är de som sätts ihop. Saknas det något bärande behövs inte detta då det inte är ett fysiskt objekt som behöver kunna stå.

Inom kulturvård och konservering finns redan exempel på användning av digitala tekniker. Dessa tekniker används framförallt till dokumentering och till att tillgängliggöra föremål för allmänheten genom tre dimensionella modeller.

Fotogrammetrisk triangulering och digital anastylosis har använts för att rekonstruera en spansk klosterportal som efter nedplockning bevarats i delar (Anguolo et al, 2017). Objektet, som riskerade att förlora sin kontext och försvinna, kunde på så sätt bevaras och en ungefärlig bild av portalen kunde skapas. Den data som fanns och samlades in angående portalen kunde samlas ihop och därmed kan den digitala modellen användas för forskning och analys av portalen. De saknade delarna som återskapats digitalt går att justera om framtida analyser skulle peka på att de såg annorlunda ut.

Ett annat exempel på användning av 3D-skanning är skanning av den västra frisen från Parthenon (Bouzakis et al, 2016), här med avsikt att tillgängliggöra frisen i

dess originalmiljö. Originalfrisen, som är monterad på Akropolismuseet skannades med laserskanning. Frisens detaljer och texturering, det vill säga den digitala geometrin för frisen, kartlades. Efter detta användes kartläggningen för att virtuellt placera och rekonstruera frisen i sin ursprungliga miljö. På så sätt kan frisen betraktas i sin ursprungliga placering samtidigt som detaljer som i verkligheten döljs av pelare och andra arkitektoniska element kan ses.

De ovanstående exemplen har använt 3D-skanning som teknik för bevarande av byggnader och större arkitektoniska element medan detta arbete kommer fokusera på skanning och digital hopsättning av mindre föremål.

1.8. Definitioner och begrepp

Nedan presenteras olika termer och begrepp som används i texten:

Aktiv konservering – Åtgärder där faktiska ingrepp krävs som utförs direkt på ett föremål med syfte att förhindra nedbrytningsprocesser eller stabilisera föremål. (Raä, 2019)

Kulturarv – Alla materiella och immateriella uttryck för mänsklig påverkan, till exempel lämningar, föremål, eller traditioner. (RAÄ, 2017)

Kulturvård – Att vårda och bevara kulturarv, i denna uppsats framförallt de materiella arvet så som föremål. I kulturvård ingår också alla människors rätt att få tillgång till kulturarv.

Rekonstruktion – Återuppbyggnad eller återskapande av något i dess ursprungliga form. (Svenska akademins ordbok, u.å)

Hopsättning– Sätta olika föremål eller delar av föremål fast vid varandra. Hopfogning av söndrigt eller söndertaget material. (ibid) Detta kan också avse restaurering.

Triangulering – Triangulering innebär att avstånd beräknas mellan tre punkter där två av punkterna är fasta och kända. (Flynt, 2020)

Point cloud – En uppsättning datapunkter (i ett tredimensionellt koordinatsystem) som representerar objekt eller rymd, (Gray, 2019) där ett tätt kluster med referenspunkter bildar en modell baserat på uträkning av avstånd och djup bland referenspunkterna. När datapunkterna utgör ett tätare kluster kallas det för Dense cloud.

3D mesh – En 3D mesh är en tredimensionell modell byggd av polygonytor, faces på engelska, med referenspunkter i X-, Y- och Z-axeln för att mäta höjd, bredd och djup. (Rouse, 2016) En 3D mesh kallas även 3D modell eller geometri på svenska.

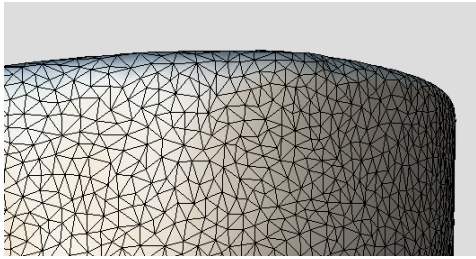


Bild 4: Exempel på polygonytor på en 3D mesh

Texturering – Färgen och det bemålade motivet som påförs på en 3D-modell i form av platta bilder, uppbyggda med pixlar.

2. 3D-skanningstekniker och programvaror

2.1. Skanning

Här nedan beskrivs de skanningsmetoder som undersöks i uppsatsen samt de programvaror som använts vid efterarbetet. Bägge metoderna använder sig av triangulering.

2.1.1. *Strukturerat ljus*

Skanning med strukturerat ljus innebär att skannern visar ett ljusmönster på en tredimensionell yta. Själva skannern består av en ljusprojektor och en till två kameror. En ljuskälla projicerar ett ljusmönster som en eller ett par kameror sedan följer. Detta ljusmönster har en bestämd geometri vilket gör att alla avstånd i mönstret är lika stora. Mönstret som deformeras när formerna på ett objekt blir belysta, registreras av kamerorna. (Motley, 2017) Genom triangulering beräknas sedan avstånden mellan projektor, kamera och punkter på objektet. Programmet som medföljer skannern har en algoritm som sedan skapar en 3D-modell.

Ljusskanning är en populär metod som både är snabb och precis. Dock är det så att metoden är känslig för olika faktorer i omgivningen, exempelvis kan andra ljuskällor skapa problem för algoritmen (Flynt, 2020). Metoden har även samma problem som andra skanningstekniker när det gäller objekt som är reflekterande eller transparenta då ljusets reflektion från objektet är en grundsten i hur skanningen fungerar. (Flynt, 2020)

2.1.2. Fotogrammetrisk triangulering

Fotogrammetrisk triangulering eller fotoskanning som det också kallas innebär att en tre-dimensionell modell skapas av foton som tagits av ett objekt från olika vinklar. Foton tas med en digital systemkamera eller kameran i en smartphone. För att en modell skall skapas behöver bilderna bearbetas och sättas ihop i ett program, detta program markerar ut korresponderande pixlar i alla bilderna och skapar sedan ett punktmoln genom triangulering av den insamlade metadatan från kameran, information om fotopositionen och de korresponderande pixlarna. (Flynt, 2019). För att få så bra precision som möjligt på modellen spelar inställningarna på kameran stor roll. Många bilder med överlappande täckning av föremålet måste tas. Även ljussättningen och upplösningen på bilderna påverkar hur modellen blir. Ljuset bör vara så jämt som möjligt så det inte blir för mycket eller för skarpa skuggor på objektet då det kommer synas i modellen vilket gör att ljussättningen blir fel. (Riksantikvarieämbetet, 2016)

2.2. Programvaror

Programvarorna som valdes var de som fanns tillgängliga vid undersökningen. Det finns ett flertal program som kan bearbeta arbetet av modeller genom fotogrammetrisk triangulering och strukturerat ljus, alla programmen har likartade verktyg och arbetsätt men Meshlab och Agisoft Metashape är vanligt förekommande inom kulturvård.

2.2.1. Meshlab

Meshlab används för att processa och redigera 3D-modeller och för att förbereda modeller för 3D-printing. Dessa modeller är ofta skapade genom någon form av skanning, exempelvis strukturerat ljus.

Meshlab har en rad olika verktyg som används för att bearbeta en modell, det kan handla om rendring, texturering m.m. Meshlab är ett program som finns gratis att ladda ned på <http://www.meshlab.net>

I denna uppsats kommer Meshlab användas för att sätta ihop (align) modeller av delarna av ett objekt som skannats med strukturerat ljus.

2.2.2. Agisoft Metashape

Agisoft Metashape hanterar modeller skapade genom fotogrammetri. Digitala bilder tas av ett tredimensionellt objekt där mätningar av tredimensionella positioner hos objektet bildar en modell. Agisoft Metashape processar de fotogrammetriska

bilderna och skapar en modell. Första steget i programmet är att importera bilderna och sedan sammanfoga dem. Detta görs genom att programmet identifierar överlappande punkter i varje bild, samt räknar ut kamerans positionering och slår ihop detta till ett "sparse point cloud", vilket innebär att programmet räknar ut vilka bilder som överlappar. (Agisoft Metashape, 2020). Därefter görs detta om till ett "dense point cloud" där avstånd i objektet beräknas och de överlappande bilderna slås ihop, här bildas ett första utkast av modellen. Utifrån "dense point cloud" går det sedan att bygga en 3D-modell.

3. Undersökning

3.1. Keramik

Första föremålet skannades med strukturerat ljus. Det var en terrakottakruka som var 13 cm i diameter. Skannern som användes var Einscan 2X plus med en tillhörande roterande platta. Plattan roterar automatiskt när skanningssekvensen startats. Avståndet mellan den roterande plattan och skannern var från början ca 30 cm och skannern var vinklad nedåt. (Bild 5)



Bild 5: Uppställningen av skanning med strukturerat ljus.

Krukan placerades på den roterande plattan och programmet "Einscan" startades. Där valdes "Fixed Scan", "textured" samt hur många scannningar som skulle göras. Standardinställningen var på 8 scannningar på ett varv men denna siffra ändrades till 10 för att få högre precision. Inga andra inställningar behövde ändras, utan standardinställningarna användes. (Bild 7)

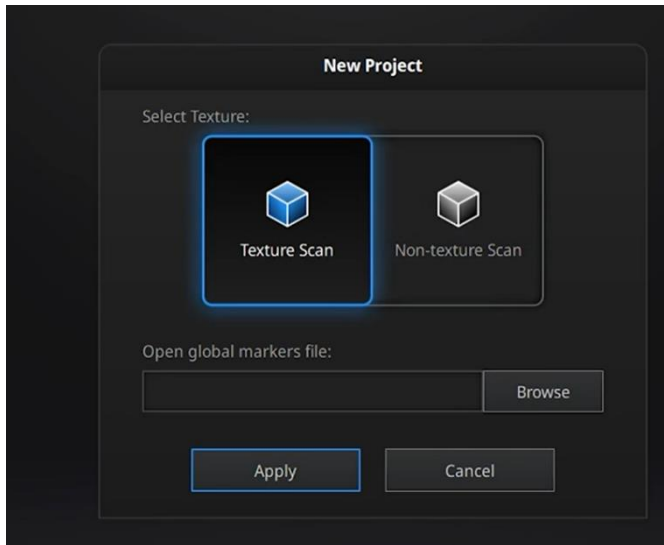


Bild 6: Val av "texture scan"

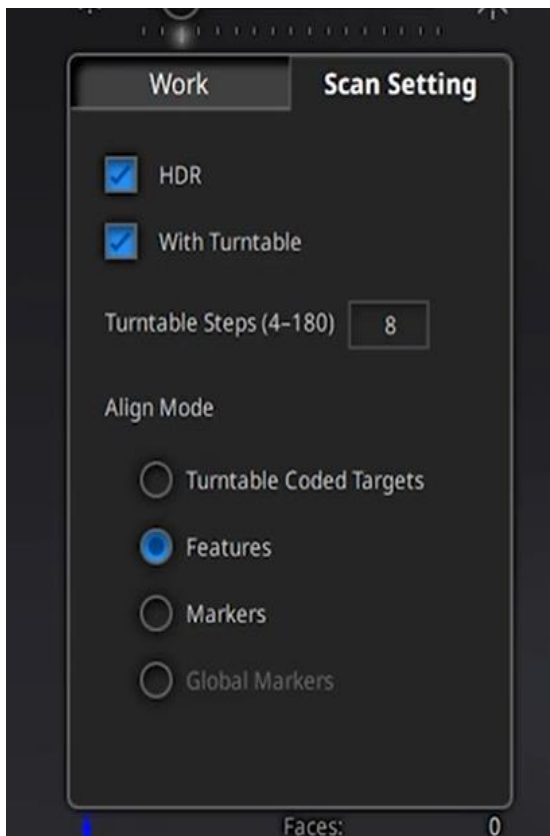


Bild 7: Standardinställningar där enbart "turntable steps" ändrades

Innan skanningen påbörjas gör skannern fyra för-skanningar där avstånd till objektet registreras, så kallad verifiering.

Skanningen påbörjades och föremålet skannades stående och liggande. För att krukans inte skulle rulla av den roterande plattan när den låg ned lades tidningspapper under krukans (Bild 8). Detta gjorde även att krukans lyftes upp lite så insidan på krukans också blev skannad.



Bild 8: Terrakottakrukan med tidningspapper som stöd vid skanning.

När skanningen var klar redigerades modellen i Einscan, där önskad data så som stöd och annan data som inte var objektet redigerades bort. Sedan exporterades de insamlade punktmolnen till en modell, där alternativet ”watertight” modell valdes. (Bild 9) Detta innebär att de delar av objektet som inte gått att skanna på objektet fylls i automatiskt av programmet.



Bild 9: Resultat av skanningen av den hela terrakottakrukan.

När krukan var skannad lades den i en påse och slogs sönder i mindre bitar. Det blev totalt 6 skärvor av krukan (Bild 10), som också skannades via strukturerat ljus med samma inställningar som för den hela krukan.



Bild 10: De sex skärvorna efter att krukans tagits sönder

Då storleken varierade mellan skärvorna ändrades avståndet mellan skanner och platta samt vinkeln på skannern beroende på vilken skärva som skannades. När verifieringen misslyckas beror det ofta på avståndet mellan roterande platta och skanner. Vissa av skärvorna fick även stöd i form av frigolitplattor och tidningspapper, vilket redigerades bort innan skanningen exporterades till en modell. (Bild 11)

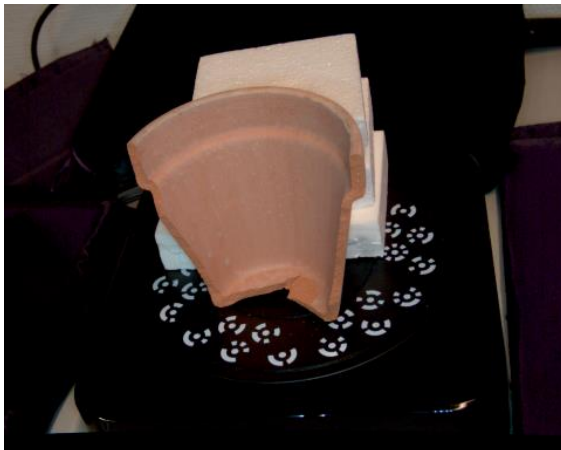


Bild 11: Stöd byggt av frigolitbitar

De största skärvorna skannades med textur, men på grund av att verifieringen misslyckades provades en del av de mindre skärvorna att skannas utan textur. Detta hjälpte och verifieringen lyckades och skärvorna blev skannade till lyckat resultat. Modellerna sparades i olika filformat, .OBJ, .PLY och .STL filer för att kunna öppna filerna i andra program så som Meshlab.

Varje modell importerades till programmet Meshlab. Verktyget "Align Tool" användes för att sammanfoga skärvorna.

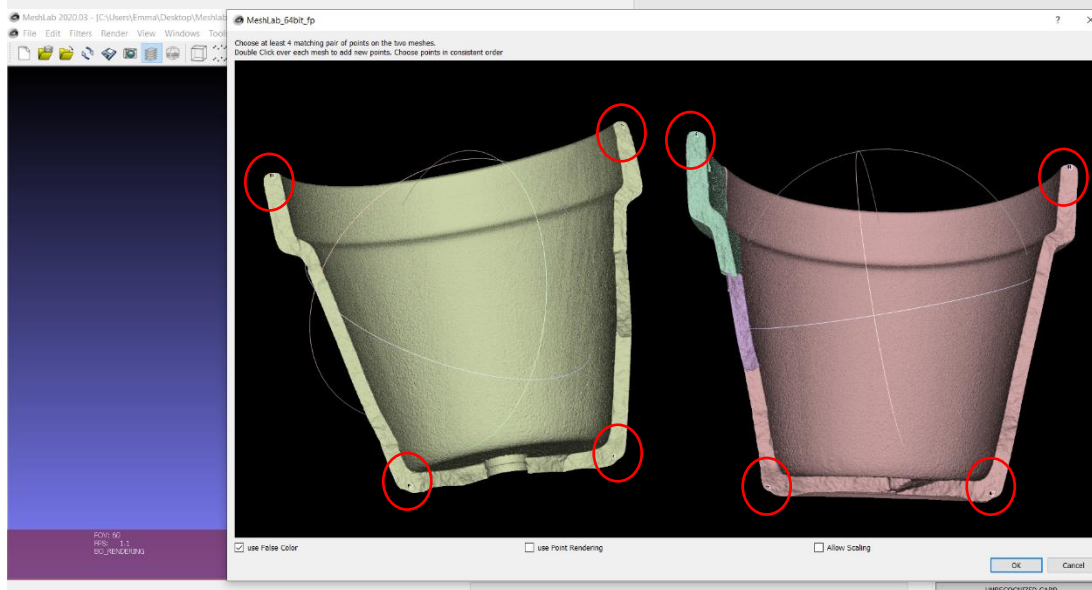
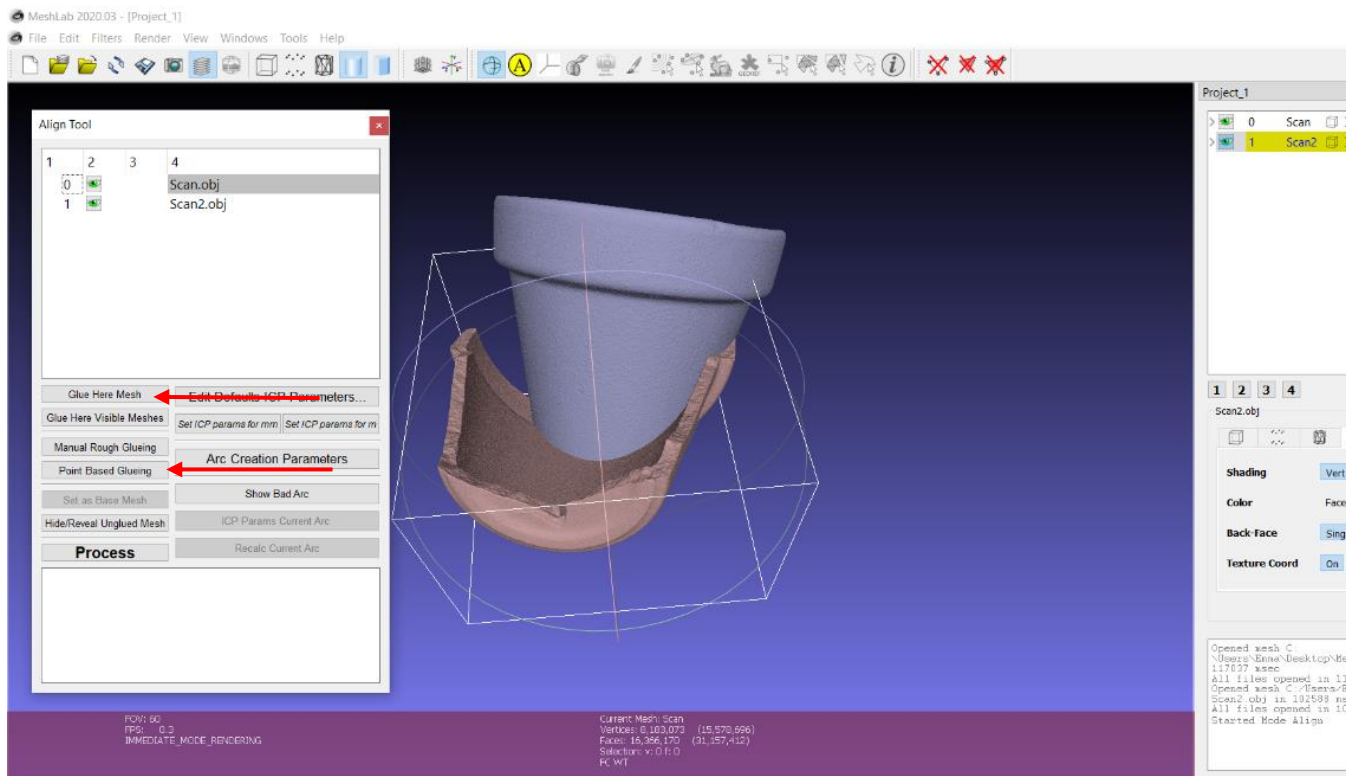


Bild 12 Överst: Två filer som importerats till Meshlab innan hopsättning.

Bild 13 Nederst: Verktöget "Point based alignment" med korresponderande punkter i ringarna

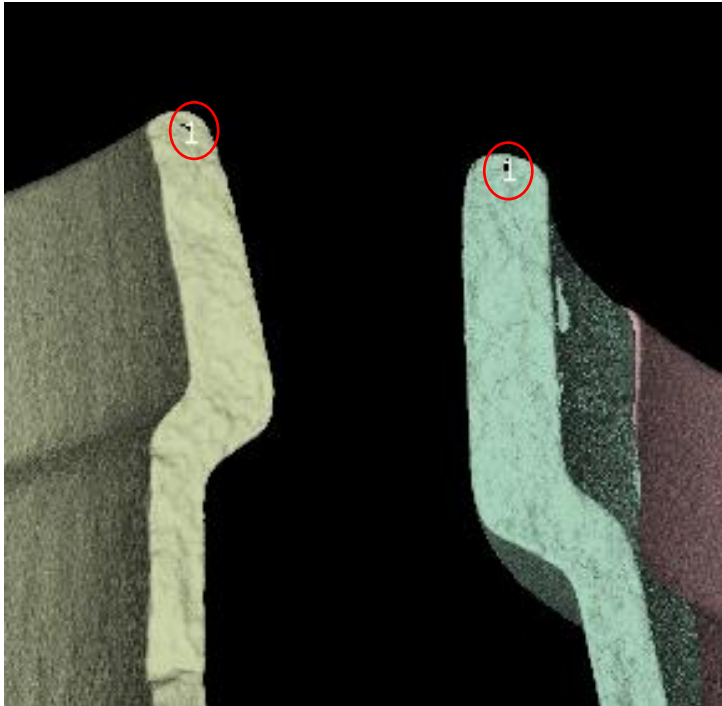


Bild 14: Närbild på två korresponderande punkter.

Detta gjordes med en skärva åt gången. En skärva valdes som utgångspunkt och ”limmades” fast på arbetsytan genom kommandot ”glue here mesh”. Sedan valdes en annan skärva för att kommandot ”point based glueing” skulle utföras (Bild 12). Där valdes fyra korresponderande punkter på varje skärva som sedan sammanfogades för att passa ihop och bilda en hel modell (Bild 13). Under sammanfogningen går det att rotera, förstora och förminska den modell man arbetar med. Detta gör att mer exakta positioner för de korresponderande punkterna kan väljas och hopsättningen blir så exakt som möjligt.

Vid undersökningarna var det vissa verktyg som inte fungerade till en början. Det tog det väldigt lång tid att rotera de större bitarna vilket gjorde hopsättningen problematisk. Det visade sig efter lite undersökning att programmen inte använde sig av grafikkortet i datorn utan använde sig av det integrerade grafikkortet som finns i datorns processor, CPU (Central Processing Unit). Genom att gå in på grafikkortets inställningar (NVidia control panel) och välja att köra Agisoft Metashape och Meshlab på datorns GPU (Graphic processing Unit) istället för CPU löste sig de problemen. Detta påverkade även hur många modeller av skärvorna som kunde importeras samtidigt, vilket ledde till att de fick importeras en och en allt eftersom de passades ihop med varandra.

Skärvorna numrerades 1-6, vilket även bestämde namnet på den sparade filen. Till exempel om skärva 1 och 5 linjerades bra sparades dessa som ”hopsatt_1_5”. Efter fler hopsatta skärvor ändrades namnet i enlighet med det.

När fler skärvor importerats valdes en till två av de redan hoppasade skärvorna som utgångspunkt, det vill säga att de ”limmades” fast på ytan och den skärvan som

importerats hade fler brottytor att passa ihop med. För de skärvor som inte passade ihop tillräckligt bra med "point based glueing" användes "manual rough glueing", för att försöka uppnå ett bättre resultat. När man använder sig av "manual rough glueing" har man möjlighet att rotera och flytta sin valda modell istället för att välja ut korresponderande punkter. Det är svårt att från början använda sig av detta då det kräver mycket tid för att få rotationerna och flyttningen av delen helt rätt.

Då man kan välja en eller flera redan hoppassade skärvor spelar hopsättningsordningen ingen roll.

3.2. Bröstben från fågel

Fågelskelettet skannades med strukturerat ljus med samma inställningar som krukan, alltså "fixed scan", "textured" och med 10 skanningar. Detta objekt behövde skannas i tre olika positioner för att så mycket som möjligt skulle komma med och det inte skulle bli några större områden där data saknades. Positionerna blev en skanning av ovasidan och två av undersidan i olika vinklar.

Sedan gjordes en "watertight" modell. Textureringen fungerade på de flesta ställen men en del av markeringarna från den roterande plattan kom med på modellen.

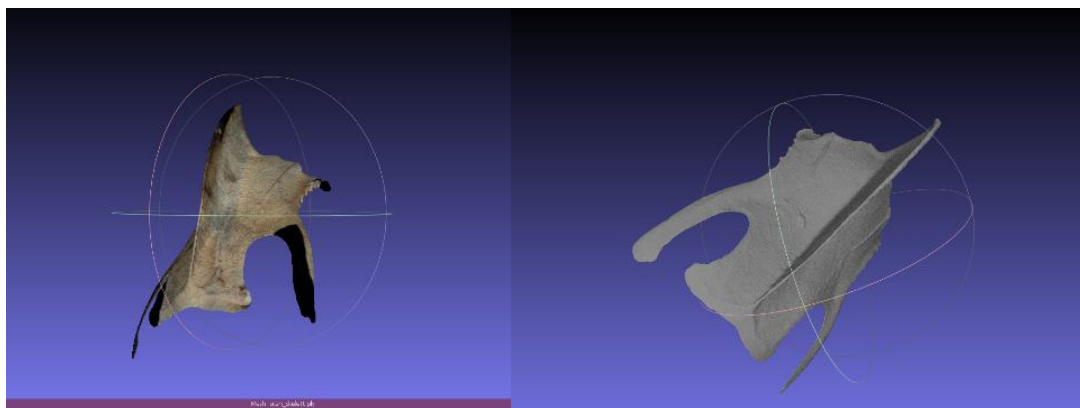


Bild 15, vänster: Modell från strukturerad ljus med texturering.

Bild 16, Höger: Samma modell fast visad utan texturering.

Länk till 3D modell: <https://skfb.ly/6SMKM>

Fågelskelettet skannades även via fotogrammetrisk triangulering. För att få så bra ljusförhållanden som möjligt placerades det på ett bord vid ett fönster med dagsljus samt två fristående lampor för att göra ljuset starkt men skuggorna mjuka. Sedan låg objektet stilla medan kameran flyttades runt och bilder togs i olika höjder och ur olika vinklar. För att modellen skulle bli bra och tydlig togs många bilder med mycket överlappning.

De inställningar på kameran som användes var följande:
Bländartal: F/11
ISO: 100
Brännvidd: 55

Det är viktigt med högt bländartal då detta tal påverkar skärpedjupet. Är skärpedjupet inte högt nog kan det bli sämre modeller då punkter med oskarpa kommer med eller att programmet inte finner punkter. Brännvidden är viktig att hålla konstant, alltså ska zoomfunktionen inte användas under fotograferingen.

Bilderna togs med skelettet i två olika positioner, dels när skelettet låg med ”ovansidan” upp och dels med ”undersidan” upp. Sedan importerades bilderna till Agisoft Metashape. I Agisoft Metashape läggs bilderna som importerar ihop till en ”Chunk”, en slags mapp där alla bilder och all data kring varje bild samlas. Datan från fotografering separerades beroende på vilken position föremålet fotograferats i. De lades i separata chunks för att hålla isär bilderna, ”chunk 1” för översidan och ”chunk 2” för undersidan

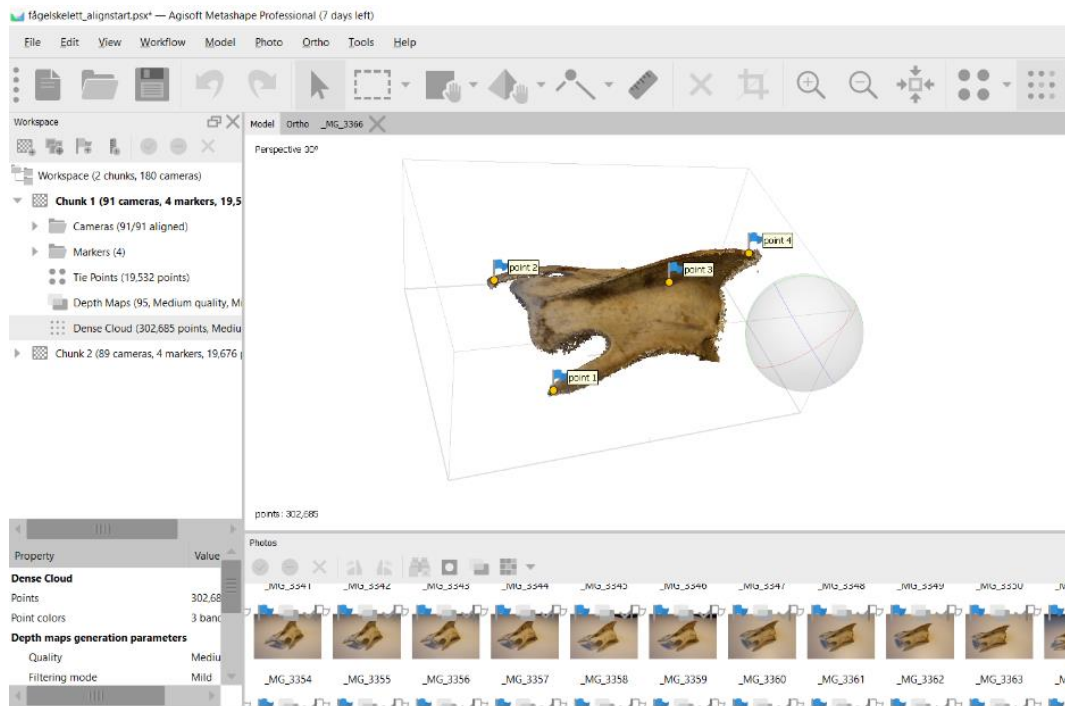


Bild 17: Översidan av bröstbenet, visat som "dense cloud".

Där hamnar även bilder som importerar senare om man inte aktivt skapar en ny ”Chunk”. Utifrån denna ”Chunk” väljs sedan verktyget ”align photos”. Här identifierar programmet genom en algoritm alla överlappande punkter i bilderna. Sedan samlas alla referenspunkter som stämmer överens på flera bilder i en ”tiepoint”. Detta gör programmet genom fotogrammetrisk triangulering. Med hjälp av inställningarna som använts på varje bild, beräknas vilket avstånd och vilken vinkel kameran var på när bilderna togs.

Efter detta maskerades bakgrunden i bilderna så bakgrunden inte skulle komma med när ett ”Dense cloud” bildades, alltså redigerades oönskad data bort. Efter att alla bilder maskerats valdes bilderna i varje ”Chunk” att genomgå ”align photos” igen, men denna gång applicerades maskeringen på varje tie-point (Bild 18). Sedan valdes ”Build Dense Cloud”.

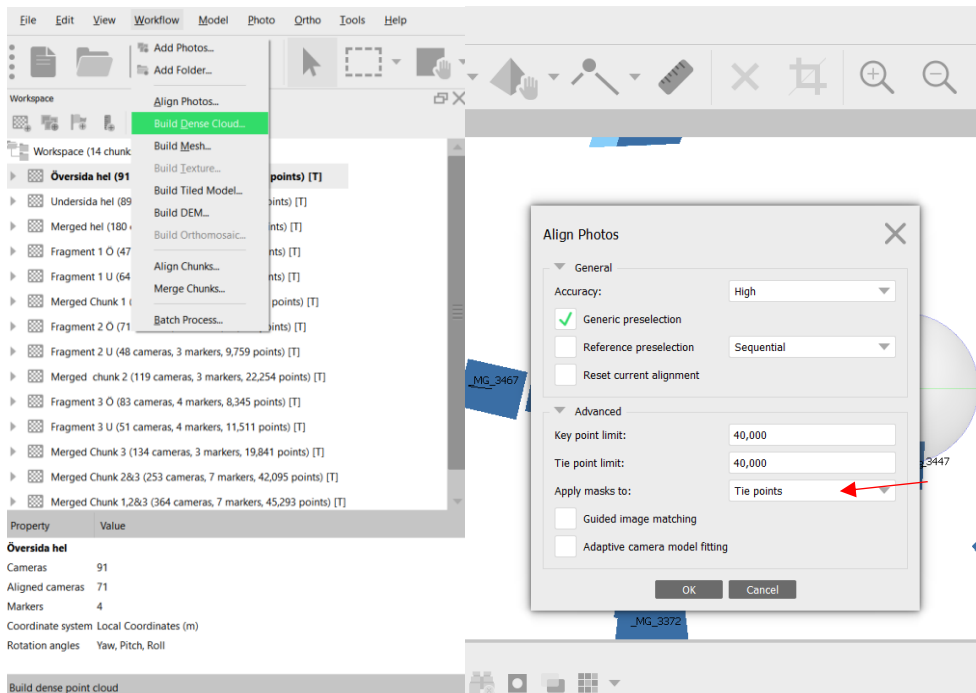


Bild 17: Val av ”align photos”

Bild 18: Inställningen ”apply masks to” ändrad till ”tie points”

För att kunna göra en 3D-modell behövde Chunk 1 och Chunk 2 slås samman genom att välja ”merge Chunks”. Innan detta görs måste de först sammanfogas. Detta görs genom att välja alternativet ”Align Chunks”, de förinställda inställningarna användes. ”Markers” placerades ut på korresponderande positioner för att över- och undersidan av modellen skulle hamna på rätt plats. När detta var klart valdes sedan ”Merge Chunks” för att slå ihop ”dense cloud” och även ”markers” markerades för att även de skulle slås ihop så det skulle bli en modell med både över och undersida. När de båda ”dense cloud” slås samman bildas ett nytt med all data från bägge ”dense cloud”. Dessa samlas sedan i en ny ”chunk”.

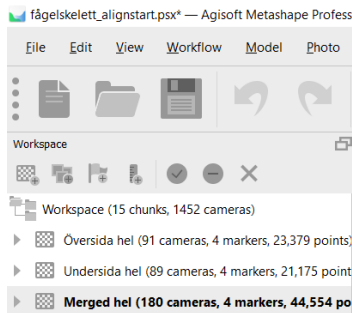


Bild 19: Två "chunks" samt "Merged chunk" här döpta för att lättare kategoriseras.

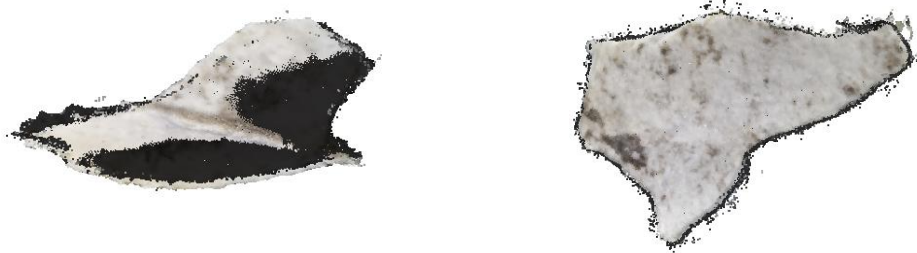
Det sista steget i modellbygget var att faktiskt bygga en modell. Bygget blev inte lyckat, då det finns stora hål i modellen. Detta kan bero på att det inte finns tillräckligt med data och referenspunkter på just de platserna, vilket innebär att kompletterande bilder behöver tas för att få en hel modell.



Bild 20: 3D modell byggd utifrån "dense cloud" där man kan se hål i modellen.

Nästa steg i processen var att ha itu bröstbenet. För att inte få för många delar bröts det itu för hand, vilket resulterade i två mindre fragment och en större del. Alla tre delarna fotograferades på samma sätt som det hela skelettet och bilderna importerades till Agisoft Metashape. Varje del fick två "Chunks", en för ovansidan och en för undersidan. Därefter fick bilderna genomgå samma process med maskering, "align photos" och "create dense cloud" som bilderna på det hela skelettet. För att delarna inte skulle vara uppdelade i två modeller, en av översidan och en av undersidan, placerades "markers" ut på tre positioner på varje "dense cloud". Dessa "markers" korresponderade med varandra, det vill säga att det var samma position på båda "dense cloud" som markerades. Sedan lades dessa "markers" ihop genom kommandona "align chunk" och "merge chunk" och både "dense cloud" och "markers" markerades i kommandorutan. Genom dessa kommandon slogs "dense cloud" och "markers" samman för att få en modell med över- och undersida. När detta utförts på de tre olika delarna, gjordes ett försök att sammanfoga dem, genom att sätta ut nya "markers" och använda kommandot "merge chunk". Då "markers" används för att sammanfoga överlappande punkter

när de slås ihop, var det inte självklart att det skulle fungera att passa ihop fragmenten då det inte finns några överlappande punkter i brottytorna.



0016.jpg

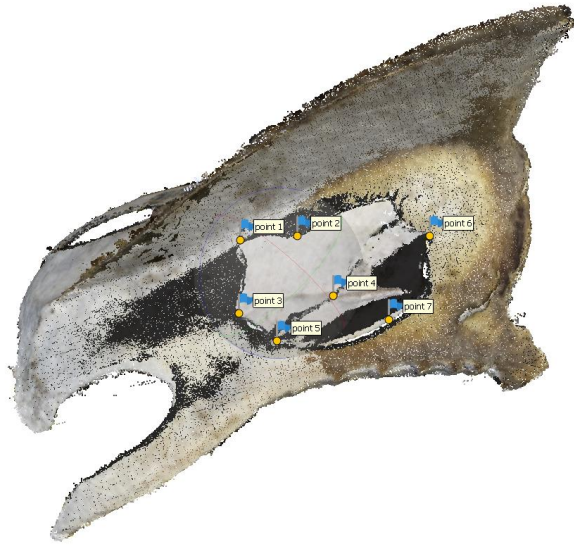


Bild 21, 22, 23: Hopslagen över och undersida av de olika delarna från bröstbenet där första och sista delen har mörka fläckar på modellen.

Därför exporterades de tre fragmenten även till en .PLY fil för att kunna öppnas i Meshlab och genom samma process som med terrakottakrukan sammanfoga de olika fragmenten. I Meshlab blev det första problemet att skärvorna inte var skalensliga med varandra. En skärva var väldigt liten medan en annan var väldigt stor. Då det inte hittades någon lösning på detta problem så sattes inte delarna ihop i Meshlab.

Den största av de tre skärvorna (Bild 23) valdes som grund och sedan utgick sammanfogningen från den. Tre "markers" placerades ut på en av de andra två skärvorna och sedan valdes korresponderande punkter på den stora skärvan. Efter att detta gjorts valdes återigen "align chunks", "merge chunks" med inställning "merge dense cloud" och "merge markers". Samma sak gjordes med den sista skärvan fast istället för att använda den största skärvan användes istället den nu sammanslagna "Chunk" av de två först sammanfogade skärvorna. På detta sammanfogade objekt placerades de "markers" som korresponderade med de från den enskilda skärvan.

Ortho
tve 30°



514,927

Bild 24: Det hopsatta bröstbenet med "markers synliga.

29



27

Bild 25: Det hopsatta bröstbenet utan synliga "markers.

Passningen av skärvorna blev inte bra, och det blev vissa tomrum där det inte borde vara det. Det gick att få en ungefärlig helhetsbild av objektet men på grund av fläckiga områden på modellen blev resultatet inte helt lyckat. Under arbetet med Agisoft Metashape uppstod problem med visning av bilderna och maskering, dessa problem berodde på att programmet använde sig av fel grafik kort och löstes på samma sätt som i Meshlab.

3.3. Rådjursskalle

En rådjursskalle med tänder och horn skannades med strukturerat ljus. Först placerades skallen rättvänd på den roterande plattan och skannades. Den skannades med textur och 10 skanningar. För att sedan komma åt att skanna under skallen lades den på sidan. En bit frigolit lades under ett av hornen för att stabilisera skallen så den inte rörde sig när plattan snurrade. Allt som inte var skalle eller horn redigerades bort innan skanningen exporterades till en "watertight" modell. Rådjursskallen skannades för att utmana skanningens detaljering och precision. Då skallen har olika former blir det ett tydligt exempel på vad en skanner klarar av, även de olika gropar och ihåligheter som naturligt finns på ett kranium måste gå att skanna utan att det blir en otydlig bild. Då huvudmålet med skanningen var att skanna skallen lades inte fokus att hornen skulle komma med. Därav saknas topparna på hornen. (Bild 26, 27)

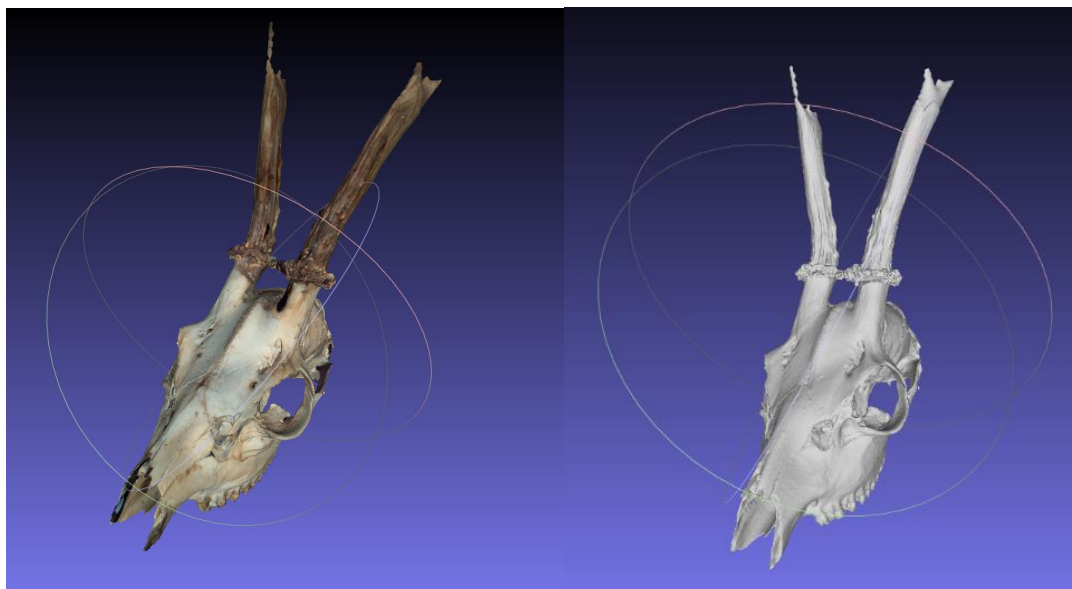


Bild 26: Modell av rådjursskallen med texturering

Bild 27: Modell av rådjursskallen utan texturering

4. Resultat

Undersökningen resulterade i en digitalt hopsatt kruka, ett digitalt hopsatt bröstben från fågel där två olika skanningstekniker användes, samt en detaljerad skanning av en rådjursskalle.

De båda skanningsteknikerna och databearbetningen fungerade väl i konserveringssammanhang. Genom att kunna skanna fragmenten behövdes ingen adhesiv tillföras och brottyorna behövde inte riskera att nötas ner.

Den stora skillnaden mellan teknikerna var att med strukturerat ljus blev det en tydlig modell av det skannade objektet direkt. Detta gjorde att den slutgiltiga

modellen skannad med strukturerat ljus inte behövde bearbetas lika mycket. Med fotogrammetrisk triangulering var det mer bearbetning som krävdes innan det blev en modell, däremot var skanning med fotogrammetrisk triangulering enklare att hantera då det enbart var foton som togs av ett objekt.

Hopsättningen av skärorna via Meshlab gick bra. Alla modeller importerades som de skulle och det gick att få ihop en hel modell igen. De metoder och verktyg som användes vid den digitala hopsättningen visade sig båda vara lämpliga metoder att sätta ihop fragment. 3D skanning av fragment skulle alltså kunna vara ett alternativ till den fysiska hopsättningen och användas som förlaga för fysisk hopsättning.

En lämplig arbetsprocess för 3D-skanning och digital hopsättning av föremål kan se ut på följande vis. Utifrån behov av skanning och sammansättning av föremål i bitar, bedöma om föremålet är lämpligt att skanna, baserat på kondition och egenskaper, och fastställa vad målet med skanningen är. Utifrån dessa parametrar väljs en lämplig skanningsmetod, och arbetsytan förbereds med bra ljusförhållande och utrymme, samt den skanningsutrustning som krävs. De delar som skall skannas analyseras för att avgöra om stöd och anordningar i lämpligt material behöver byggas. Sedan skannas föremålet. Resultatet bedöms och kompletteringar görs vid behov. Därefter påbörjas den digitala hopsättningen, med hjälp av lämplig programvara. Till slut exporteras det digitalt hopsatta föremålet till lämplig fil och förbereds för uppladdning på vald hemsida eller för en digital utställning. Skulle målet istället vara att använda metoden för att skapa en förlaga kan processen avslutas tidigare.

Arbetsprocessen som användes i denna uppsats följde i stort sett ovanstående beskrivning och fungerade bra. Det som hade kunnat förbättra resultatet hade varit om mer tid lades vid varje skanning för att försäkra att modellerna blev bra. Ett exempel på detta är att ta många bilder i olika vinklar om fotogrammetrisk triangulering används för att ha ett större urval och många överlappande punkter.

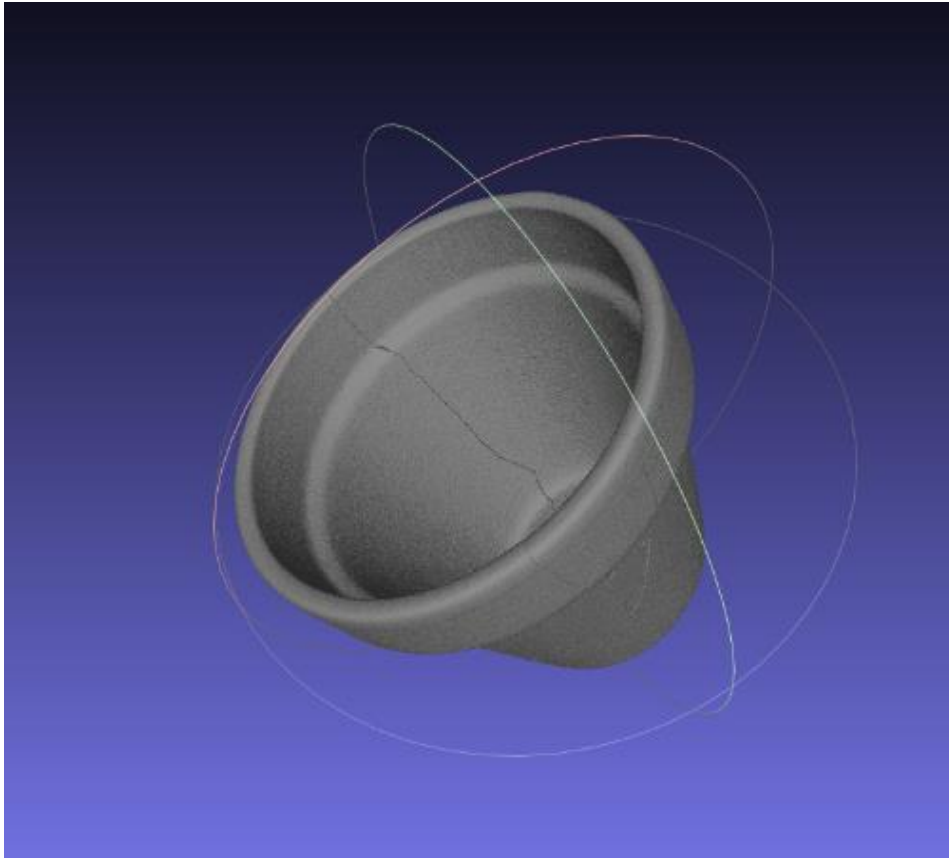
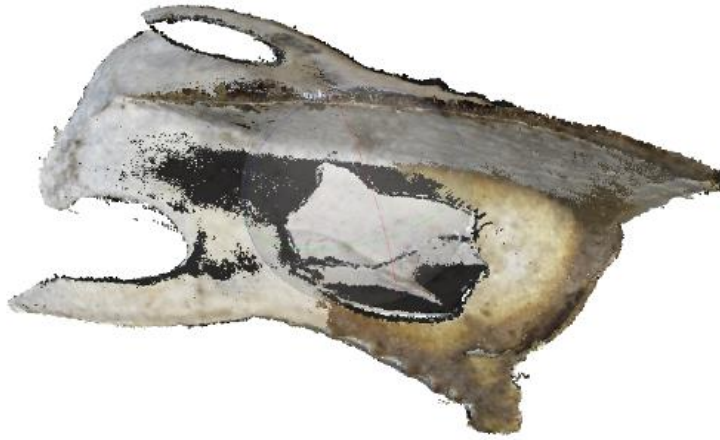


Bild 28: Slutgiltig modell av den hopsatta krukan här utan texturering

Länk till 3D modell för den hopsatta krukan: <https://skfb.ly/6SDSU>

Länk till 3D modell för en av skärvorna: <https://skfb.ly/6SBOU>

Länk till 3D modell för den hela krukan: <https://skfb.ly/6SMKR>



*Bild 29: Slutgiltig modell av det hopsatta bröstbenet med texturering genom fotogrammetrisk triangulering. Tomrum syns vid hopsättningen.
Länk till 3D modell: <https://skfb.ly/6SCz8>*



*Bild 30: Den slutgiltiga modellen av rådjursskallen här med texturering. Hornen är inte helt med i modellen och det syns lite svarta fläckar längst fram, vilket kommer från den roterande plattan.
Länk till 3d modell: <https://skfb.ly/6SMKU>*

5. Analys och diskussion

Arbetet utfördes för att undersöka möjligheterna med digital hopsättning inom kulturvårdsområdet, specifikt avseende konservering, framförallt med syfte att göra föremål mer tillgängliga och kunna skapa en helhetsbild av ett föremål.

5.1. Strukturerat ljus

Skanningen med strukturerat ljus, med hänsyn till geometrin fungerade bra, men skanningen av textureringen fungerade sämre. Vissa delar blev alldeles för mörka och skuggade medan andra fick med sig en del av den roterande plattans markeringar.

Själva skanningen var en enkel process som mestadels var automatiserad. Det som behövs för att kunna utföra den är en skanner som hanterar skanning med strukturerat ljus, exempelvis Einscan, som användes i denna uppsats.

Skanning med strukturerat ljus kan inte anses lämpligt för sköra föremål då det skakar lite när plattan rör sig. Dessa vibrationer skulle kunna orsaka att material lossnar. Här skulle stöd som minimerar vibrationer kunna byggas för att hålla fast och stabilisera fragment för att kunna skanna dem på den roterande plattan. Det är då viktigt att se till att fragmentet ligger stabilt och att materialen som används väljs med konserveringsperspektiv. Skanning med strukturerat ljus är inte heller att rekommendera på allt för tunna föremål då det är svårt att skanna brottytan. Om skanning med strukturerat ljus ändå skall användas går det att skanna utan att använda den roterande plattan, då måste man istället själv rotera objektet för varje skanning.

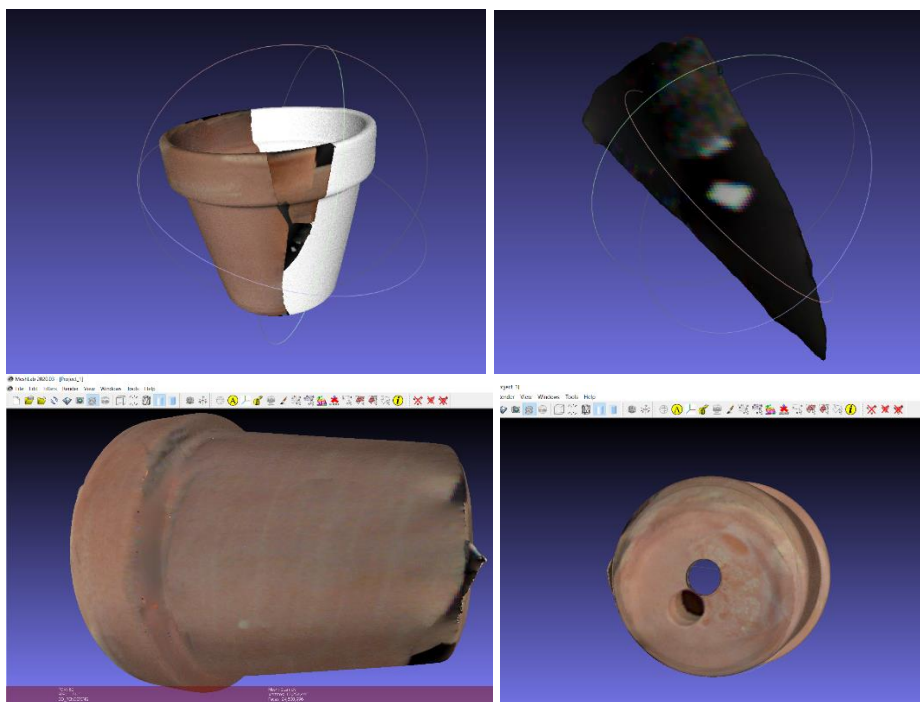


Bild 31 Överst till vän: Hopsatt kruka med texturering, de vita fälten är de skärvor som inte skannats med texturering.

Bild 32 Överst till hö: En av skärvorna där all texturering kommer från den roterande plattan.

Bild 33 Nederst till vän: Texturering på den hela krukans som stör uppfattningen då krukans inte ser rund ut.

Bild 34 Nederst till hö: Skuggan från hålet i botten har tagits med i textureringen och ger då uppfattningen av två hål.

Det är inte riktigt klart varför det var problem med textureringen men en anledning skulle kunna vara att lamporna som användes i salen vid skanning påverkade upptagningen av ljus av skannern och kamerorna. Möjligtvis hade resultaten blivit bättre om det varit släckt. Det var även problematiskt att få skannat alla ytor då vissa delar inte gick att komma åt med kameran. Här skulle man kunna pröva med ett digitalt USB-mikroskop för att kunna ta bilder där en vanlig systemkamera inte kommer åt. Det framgick tidigt att det var svårt att skanna objekt som är runda och har en insida. Textureringen blev inte helt rund just på grund av skuggningen. Även skuggan av hålet som var i botten av krukans kom med i texturen. (Bild 33,34) Just skanning med roterande platta var begränsande när det gäller vilka typer av objekt som kan skannas. Ett objekt som skulle skannas var ett bröstben från en svan, men då det var för långt fick hela inte plats i bilden och det roterade inte heller med plattan. Då varken inställningarna "Handheld HD scan" eller "Handheld rapid scan" testades går det inte att avgöra hur passande de är för just skanning av fragment. Det skall också nämnas att "Handheld rapid scan" ger lägre upplösning och lägre precision, vilket gör att den passar bättre för större objekt med "starka drag" medan "Handheld HD scan" passar bättre för objekt som inte går att flytta.

Något som kan skapa problem är att när modellen som skannats med strukturerat ljus exporteras till en "watertight" modell där programmet fyller igen de hål som finns i modellen. Detta kan leda till att formen på objektet blir lite felaktig och då

inte överensstämmande med det fysiska objektet. När det gäller kulturhistoriska föremål och föremål som konserveras för utställning kan detta bli problematiskt då den digitala bilden inte blir densamma som den fysiska. I bild 35 finns ett exempel där det kan ha varit just detta som gjorde att undersidan av kanten inte blev helt plan. När ett objekt har skannats, oavsett metod kan det förekomma brus i modellen. Detta innebär att det finns pixlar och data runtomkring modellen som inte håller sig i samma form som objektet. För att slutmodellen skulle bli så tydlig som möjligt redigerades detta bort, vilket kan innebära att mätpunkter från objektet försvinner då de istället uppfattas som brus.



Bild 35: En del på modellen där "watertight" alternativet skapat problem i modellens form.

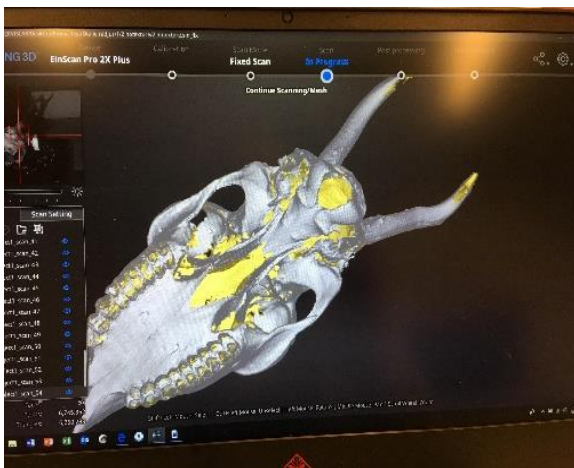


Bild 36: Avsaknad av skanning visad i gult som fylls i automatiskt när inställningen "watertight" väljs.

När alla fragment satts ihop i Meshlab finns det möjlighet för redigering av hur fragmenten placerats om man anser att linjeringen inte var tillräckligt bra för att ge en översiktlig känsla för formen av objektet. "Manual rough glueing" hade då kunnat användas för att bättre passa ihop fragmenten vilket skulle kunna göra hopsättningen mer noggrann. Det går även att använda sig av "Manual rough glueing" från början men det kräver mycket arbete då rotationer och panorering sker

i de axlarna som sikten utgår från. Detta innebär att man måste rotera och vinkla hela objektet för att kunna passa in skärvan rätt.

Då krukans inte hade något sammanhängande mönster eller motiv störde det inte helhetsbilden om en skärva satt någon millimeter för långt ned, på samma sätt som det hade gjort om det var ett mönster som blev avbrutet.

5.2. Fotogrammetrisk triangulering

För att kunna utföra fotogrammetrisk triangulering behövs enbart en digitalkamera. Men även en mobiltelefon med bra kamera kan fungera tillräckligt bra. Fördelarna med en systemkamera är att inställningarna kan ändras och därav anpassas bättre till omgivningen och även resultera i bättre bilder.

Ljussättningen var en viktig del av den fotogrammetriska trianguleringen. På grund av att ljusförhållandena inte var optimala, då det blev skarpa skuggor och överexponerade partier, blev vissa bilder suddiga och kontrasterna i bilden blev ottydliga. I Agisoft Metashape går det att uppskatta kvalitén i bilderna, programmet genererar en siffra baserad på kontrastvärdet mellan pixlarna i bilden. Denna siffra var väldigt låg i de bilder som tagits vilket innebär att de hade låg kvalitet. Genom att ta fler bilder och ha bättre ljus hade kvalitén i bilderna dels kunnat bli bättre men de sämsta bilderna hade även kunnat tas bort vilket hade resulterat i en bättre slutmodell. Resultatet blev inte så bra som det hade kunnat bli, men blev tillräckligt bra för att det skulle gå att arbeta med "dense cloud".

På grund av att det var så dålig kontrast i bilderna beslöts att bilderna skulle maskeras för att underlätta identifieringen av korresponderande punkter. På grund av ljuset smälte vissa delar av objekten in i bakgrunden. I dessa fall hade det kunnat underlätta om bakgrunden hade varit svart, men det största problemet låg i för dåliga ljusförhållanden.

När benet vändes och undersidan skulle fotograferas låg det inte helt plant på grund av benets form. Därför syntes inte enbart undersidan på bilderna utan i vissa vinklar syntes även en del av översidan. Detta kan ha påverkat hur textureringen blev och möjligtvis att textureringen blivit bättre om de bilder med mer översida än undersida tagits bort eller inaktiverats och då inte använts vid byggande av tiepoints och "dense cloud". Troligtvis beror de svarta fälten (Bild 37) på att det fallit en skugga på undersidan men inte på översidan och blir då en skuggad fläck vid sammanslagningen av deras "Chunks".

När alla delarna av benet sammanfogats byggdes en modell av det hopslagna "dense cloud", denna modell har många hål. En teori är att det saknades data, vilket innebär att fler bilder och bättre bilder hade kunnat göra en bättre modell. En bra utgångspunkt hade varit att ha 100 bilder som minimum vid fotograferingen för att garantera att det fanns tillräckligt med data och överlappande punkter, detta hade kunnat leda till att slutmodellen blev bättre.

5.3. Manuell hantering

Verifieringen misslyckades vid flera tillfällen. Det är inte klart varför, men det kan ha berott på ljussättningen i rummet. Vissa av fragmenten var lättare att skanna när de höjdes upp eller stöttades av frigolit eller tidningspapper. När detta sedan skulle redigeras bort kan för mycket eller för lite redigerats bort vilket kan ha resulterat i att en del av modellen försvann eller att en del av stödmaterialet fanns kvar. Detta kan sedan ha lett till att modellen av fragmentet inte stämde helt överens med det fysiska fragmentet och därav inte passade perfekt vid den digitala hopsättningen. I den slutgiltiga modellen syns vissa delar från just stödmaterialet. På grund av att det inte är någon texturering så märks resterna från stödmaterialet inte lika tydligt.



Bild 37: De svarta fälten på modellen. Beror förmodligen på skuggor vid fotografering.

När fragmenten och objekten skannas med någon av teknikerna måste de vridas och vändas, samt stödjas ibland. Det är viktigt att detta görs på rätt sätt för att inte skada fragmenten.

De material som använts för att ge stöd, frigolit och tidningspapper, används normalt inte inom konservering. Dessa material är inte åldersbeständiga och bläcket på tidningspapper kan färga av sig på föremålen, men då de enbart skulle vara i kontakt en kortare stund ansågs dessa fungera för arbetet som skulle utföras. Dock kan det vara bra att ha i åtanke att det kanske hade varit bättre med silkespapper och foam av olika hårdhet. Även här är det viktigt att tänka på textureringen, om stödmaterialet är för likt objekten som skannas kan det vara svårt att redigera bort stödmaterialet ordentligt.

Alla fragment skannades inte med texturering vilket gjorde att det blev en enfärgad modell. Detta försvårade hopsättningen då det var svårt att välja den exakta korresponderade punkten då allt hade samma färg. Detta ledde i sin tur till att hopsättningen inte blev perfekt på alla platser. Det var också svårt att veta var fragmenten skulle sitta under de första hopsättningsförsöken men ju mer man arbetade med hopsättningen ju tydligare blev det.

Dock är det en bra metod inför en fysisk hopsättning av bitar av ett föremål. På grund av att man fritt kan vrida och vända på skärvorna samt passa ihop dem utan att behöva nöta kant mot kant vid provning av var bitarna kan passa, lär man sig väldigt bra hur bitarna ser ut samt hur de kan passa ihop med varandra. Ordningen som de måste sättas ihop i blir också mer självklar när det först gjorts digitalt ett par gånger.

En aspekt som värderades under arbetet var hur mycket fysisk kontakt med föremålen som krävdes och vilka risker som undveks genom att hopsättningen inte var fysisk. Genom att inte behöva passa ihop delarna fysiskt fanns det ingen risk att originalmaterial föll bort genom nötning av brottytorna.

5.4. Programvaror

Bägge metoderna har speciella program som är lämpliga för bearbetning av filer och modeller. Meshlab som används för strukturerat ljus är gratis och har även instruktionsvideos på sin hemsida, medan Agisoft Metashape är ett program som kräver en licens om man ska kunna använda alla funktioner. Man kan använda programmet gratis i 30 dagar. Det finns dock andra program för hantering av fotogrammetrisk triangulering som också går att använda. Det positiva med skanningsteknikerna är att även om ett objekt skannats med fotogrammetrisk triangulering så går det att exportera det bearbetade "dense cloud" till Meshlab och sedan jobba med hopsättningen där.

För att kunna utnyttja programmen och teknikerna i största mån är det viktigt att dels ha en kraftfull dator som kan hantera all den data som bearbetas, men det är också viktigt att se till så programmen använder sig av rätt typ av processor enhet.

De gånger problem eller frågor kring användning av verktyg i programvarorna uppstod hade både Agisoft och Meshlab väldigt bra guider på sina hemsidor. Meshlab har även bra YouTube-videor där de visar hur verktygen används.

5.5. Digital hopsättning som metod

Bägge skanningsteknikerna samt hopsättningsmetoden var tidskrävande, i vissa fall mer tidskrävande än vad fysisk hopsättning hade varit. För att få så bra resultat som möjligt kan kompletterande skanningar behöva göras i flera omgångar. Skanning, bearbetning av data och hopsättning kräver kompetens och erfarenhet. Det är troligtvis inte ekonomiskt försvarbart att upprätthålla den kompetensen enbart för enstaka föremål.

En erfarenhet från arbetet är att det är svårt att garantera att skanningen blir exakt och trogen originalet. Både färg och texturering kan påverkas, vilket inte är optimalt om föremålet skall ställas ut, eller när det gäller dokumentering och bevaring av kulturarv. Föremålets färg och form kan feltolkas vilket kan medföra att den dokumenterade informationen blir felaktig.

Under våren 2020 har vi upplevt en tid där man inte får besöka museum, istället har virtuella besök erbjudits. Då kan de föremål som redan skannats kunna kompletteras med digitalt hopsatta föremål. Om tillgängligheten till föremålen är viktigt är det även möjligt att sätta ihop ett föremål digitalt utan att behöva göra det fysiskt om detta är önskvärt.

6. Slutsats

Skanning med strukturerat ljus och fotogrammetrisk triangulering är skanningstekniker som en konservator kan dra nytta av. De kan användas för dokumentation, undersökning samt digital hopsättning av fragment. Det kan användas antingen som den enda hopsättning som görs eller som en förlaga för den fysiska hopsättning som skall göras. Genom att det är digital modeller är det möjligt att prova hur olika bitar kan höra ihop. När det gäller skanning och digital hopsättning tillförs inga nya material och om objekten hanteras på rätt sätt så finns inga risker att originalmaterial påverkas.

Skanning med strukturerat ljus var enklare att använda än förväntat, dock var det många problem med textureringen. Det vibrerade också när plattan roterade vilket gör att det inte är en passande metod till väldigt sköra föremål som inte tål för mycket vibrationer. Här är konservatorns specialkunskap viktig då stöd och anordningar för stabilisering kan behöva byggas.

Fotogrammetrisk triangulering passar bra som alternativ då det bara kräver en kamera som utrustning, däremot är det viktigt att ha goda ljusförhållanden. Fotogrammetrisk triangulering är en enkel metod att använda. Själva ”skanningen” går snabbt och modellerna blir högupplösta. En negativ aspekt är tiden det tar för valt program att bearbeta modellerna. Denna metod är dock passande för större objekt som inte går att flytta på eller byggnader.

Den största skillnaden mellan de olika teknikerna är själva skanningen. Skanning med strukturerat ljus är mer automatiserat, det går fort att avgöra om fler skanningar behöver göras. Det som krävs är dock mer utrustning för att kunna utföra skanningen.

Vid fotogrammetrisk triangulering behöver personen som fotograferar röra sig runt objektet vilket kan ha inverkan på resultatet. Det behövs mer bearbetning efter fotograferingen för att få fram en modell. För att nå bästa resultat vid fotogrammetrisk triangulering rekommenderas användning av en fotostudio då det är lättare att kontrollera ljusförhållandena.

Det skall också påpekas att kraftfulla datorer är en viktig grund vid bearbetning av modeller. Det är framförallt viktigt att ha en högpresterande GPU (Graphics Processing Unit), för att kunna hantera modellen i realtid.

I arbetsprocessen är det viktigt att utifrån vilket slags föremål som skall skannas välja den optimala skanningsmetoden, detta är också viktigt beroende på vad målet med skanningen är, exempelvis krav på detaljeringsnivå. Man måste också tänka på ljusförhållandena då de påverkar skanningen men även se till att de delar som skannas har bra stöd så de inte riskerar att skadas och kan skannas ur alla vinklar.

Ytterligare en möjlighet är att applicera tekniken på föremål som idag enbart finns i samlingar. Museum har idag samlingar med föremål som inte visas upp eller sätts samman. Konserveringsprioriteringarna fokuserar framförallt på att stoppa nedbrytningsprocesser och inte på hopsättning av skärvor. Genom att göra hopsättningen digitalt behöver inte skärvorna sättas ihop fysiskt, utan kan förvaras på samma sätt som innan samtidigt som de kan visas upp i en mer sammanhängande form. Föremål som behöver särskilda klimat för att inte brytas ned kan även ställas ut utan att en monter med klimatkontroll behöver special byggas.

Teknikerna behöver utvecklas mer för att de modeller som skapas efter skanning är så sanningsenliga som möjligt när det gäller form och uttryck.

Utifrån de resultat som uppnåddes är slutsatsen att digital hopsättning genom 3D skanning kan appliceras inom konservering. Det behövs bra förutsättningar för att kunna använda metoderna men baserat på andras resultat från fotogrammetrisk triangulering och strukturerat ljus finns bra möjligheter för digital hopsättning. Det går även att få bra hopsatta modeller som speglar de fysiska objekten på ett rättvist sätt. Därigenom kan bättre förutsättningar skapas för digital utställning samt en bättre bild av ett föremåls ursprungliga utseende även om delar av föremålet saknas. Detta kan leda till en bättre tillgänglighet för allmänheten till föremål som inte visas idag.

7. Vidare forskning

Framtida forskning skulle kunna rikta sig mot att undersöka huruvida bilder tagna i mikroskop kan vara grund för 3D-modeller. Kan man utifrån bilder tagna genom mikroskop bygga modeller av väldigt små fragment eller väldigt små föremål i större skala? Det skulle kunna vara ett sätt att lättare visa inristningar eller liknande

som enbart syns genom mikroskop. Skulle foton tagna genom mikroskop kunna användas som komplettering till fotogrammetrisk triangulering och ge högre upplösning på små detaljer som annars enbart syns i släpljus.

Andra programvaror skulle också kunna undersökas för att se hur de skiljer sig i arbetssätt och hantering av data.

Det som är ett stort problem är hur skanning av insidan på föremål kan gå till, exempelvis rådjursskallen. Skulle det gå att använda sig av mindre kameror som används inom exempelvis vården för att på så sätt kunna skanna eller fotografera insidan av föremål där en vanlig kamera inte kommer åt?

Något annat som kan utforskas är om det går att skanna väldigt tunna föremål och om det går att sätta ihop dem digitalt.

På grund av rådande omständigheter (COVID-19 våren 2020) kunde inte laserskanning utforskas men skulle kunna vara ett forskningsområde för att se hur tekniken fungerar kring hopsättning i förhållande till strukturerat ljus och fotogrammetrisk triangulering.

Ett annat område som kan utforskas är hur föremål med skärvor som har nötta brottytor kan sättas ihop digitalt. Även föremål med skärvor som inte passar ihop på grund av att material saknas skulle kunna bli en del av ett föremål genom digital hopsättning.

Användningsområdena av de skannade och hopsatta modellerna kan utforskas för att se om det finns mer dessa modeller kan användas till än enbart utställning. Kanske de även skulle kunna användas vid forskning utan att objektet självt behöver lånas ut. Skanningen av föremålen skulle kunna visa mer än vad man kan se med blotta ögat, till exempel märken av verktygsspår från tillverkning vilket kan bidra till kunskap om föremålet.

Det finns många områden för utveckling av teknikerna för att anpassa dem så mycket som möjligt till just sköra föremål och konserveringsverksamheten. Exempelvis skulle stöd och andra anordningar för att underlätta skanningen kunna byggas och monteringar för att stabilisera sköra fragment behöver undersökas för att det inte ska bli något materialbortfall.

Det finns utvecklingsområden för digitaliseringen av föremål men även utveckling av att se en bredare bild för hur teknikerna kan användas för att underlätta och hjälpa arbetet med bevarande av kulturarv.

8. Sammanfattning

Denna uppsats syftar till att undersöka 3D-skanning och digital sammanfogning och dess möjlighet att användas inom kulturvård, huvudsakligen konservering och sammanfogning av föremål.

För att undersöka detta testades två 3D-skanningstekniker och mjukvara som passade för att hantera den data som samlats in från skanningen. De två teknikerna som undersöktes var skanning med strukturerat ljus där Meshlab användes som mjukvara och fotogrammetrisk triangulering där Agisoft Metashape användes som mjukvara. Tre olika föremål skannades, två togs sedan sönder och fragmenten skannades igen för att sedan digitalt sättas ihop igen. Föremålen som användes i undersökningen var en terrakottakruka, bröstbenet från en fågel och skallet från ett rådjur. Alla tre föremålen skannades med strukturerat ljus men enbart bröstbenet skannades även med fotogrammetrisk triangulering.

Resultatet var två hopsatta föremål: en terrakottakruka och bröstbenet från en fågel, samt en detaljerad skanning av rådjursskallen. Hopsättningen av krukans blev väldigt bra medan fågelbenet blev sämre. Vissa problem med textureringen under skanning och bearbetning av data upptäcktes. Skanning med strukturerat ljus fick med markeringar från den roterande plattan som användes vid skanningen i textureringen, det är oklart varför detta hände.

Skanningen med fotogrammetrisk triangulering var problematisk då ljusförhållandena inte var så bra som de hade behövt vara för att få de bästa resultaten. Detta resulterade i mörka fläckar på de slutgiltiga modellerna och stora hål där data saknades.

Slutsatsen av undersökningen var att 3D skanning och digital sammanfogning är möjlig att använda inom konservering och kan vara ett alternativ till fysisk hopsättning. Det är viktigt med bra ljusförhållanden för att få modeller med hög kvalitet och en så verklighetstrogen texturering som möjligt.

9. Källor och Litteratur

ABEND, K., CASPI, S. & LANERI, N. 2010. *Conserving fragments of icons: Clay votive plaques from Hirbemerdon Tepe, Turkey*. *Studies in Conservation*, 55, s. 158-164. Doi: 10.1179/sic.2010.55.Supplement-2.158

AGISOFT METASHAPE, 2020, *Agisoft Metashape user manual - Standard edition, version 1.6*. [Online] Available: https://www.agisoft.com/pdf/metashape_1_6_en.pdf [Hämtad: 05-05-2020]

AJIE, S. 2018. *Kedulan temple restoration enters anastylosis phase*. [Online] The Jakarta Post. Available: <https://www.thejakartapost.com/life/2018/02/15/kedulan-temple-restoration-enters-anastylosis-phase.html>, [Hämtad: 05-05-2020]

- ALMEVIK, G. 2020a. *KUD101 Basic workflow in Metashape, part 1*. [Online]
Available:https://play.gu.se/media/KUD101+Basic+workflow+in+Metashape%2Cpart+1/0_0atp1vh8, [Hämtad: 07-04-2020]
- ALMEVIK, G. 2020b. *KUD101 Basic workflow in Metashape, part 2*. [Online]
Available:https://play.gu.se/media/KUD101+Basic+workflow+in+Metashape%2Cpart+2/0_6uzniuby, [Hämtad: 07-04-2020]
- ALMEVIK, G. 2020c. *KUD 101: Introduction to Photoscanning*. [Online]
Available:
https://play.gu.se/media/KUD+101+Introduction+to+Photoscanning/0_mseo034e,
[Hämtad: 07-04-2020]
- ALMEVIK, G. 2020c. *Einscan basic workflow*. [Online], Available:
https://play.gu.se/media/Einscan+basic+workflow/0_02p111qr,
[Hämtad: 07-04-2020]
- AMERICAN INSTITUTE FOR CONSERVATION. 1994. *Code of Ethics and Guidelines for Practice*. [Online], Available:
<http://www.conservationus.org/aboutconservation/code-of-ethics>,
[Hämtad: 20-05-20]
- ANASYLOSIS, (u.å) , In Merriam-Webster.com dictionary, [online] Available:
<https://www.merriam-webster.com/dictionary/anastylosis>, [Hämtad: 07-05-2020]
- ANGUOLO, R., PINTO, FRANCISCO., RODÍGUEZ, J. & PALOMINO, A. 2017, *Digital Anastylosis of the Remains of a Portal by Master Builder Hernán Ruiz: Knowledge Strategies, Methods and Modelling Results*. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, vol 7. S. 32-4.
Doi:<https://doi.org/10.1016/j.daach.2017.09.003>
- BOUZAKIS, K. D., PANTERMALIS, D., MIRISIDIS, I., GRIGORIADOU, M., VARITIS, E., SAKELLARIDOU, A., BOUZAKI, A., EFSTATHIOU, K., THEDORIDOU, S., PAPACHARISI, A. & DIAMANTI, E. 2016, *3D-laser scanning of the Parthenon west frieze blocks and their digital assembly based on extracted characteristic geometrical details*. Journal of Archaeological science, Vol 6, s. 94-108. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.01.030>
- BROWN, J. P. & MARTIN, R.D. 2014, *Restoration by other means: CT scanning and 3D computer modeling for the re-restoration of a previously restored skull from the Magdalenian era*. Objects Specialty Group postprints (American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. Objects Specialty Group), 21, 81-101.
- CAPLE, C. 2000. *Conservation ethics, Conservation skills : judgement, method and decision making*, London, New York: Routledge, s. 59-69

COUNCIL ON TRAINING IN ARCHITECTURAL CONSERVATION, 2015, *Conservation Strategy*, Understanding Conservation. Available: <http://www.understandingconservation.org/content/107-conservation-strategy>, [Hämtad: 02-05-2020]

CORNS, A., DEEVY, A., DEVLIN, G., KENNEDY, L. & SHAW, R. 2015. *3D-ICONS: Digitizing Cultural Heritage Structures*. New Review of Information Networking, Vol. 20, s. 59-65, Doi: <https://doi.org/10.1080/13614576.2015.1115232>

FLYNT, J. 2019. *Types of 3D Scanning Technologies*. Available: <https://3dinsider.com/3d-scanning-technology/> [Accessed 02-05-2020].

FLYNT, J. 2020. *Structured Light 3D scanning: What Is It and How Does It Work?* Available: <https://3dinsider.com/structured-light-3d-scanning/> [Accessed 02-05-2020].

GRAY, D. 2019. What are point clouds? 5 easy facts that explain point clouds. *VERCATOR* [Online]. Available from: <https://info.vercator.com/blog/what-are-point-clouds-5-easy-facts-that-explain-point-clouds>. [Hämtad:02-05-2020]

HOPSÄTTNING, (u.å) , ur Svenska Akademiens ordbok (SAOB), [online] Available: https://www.saob.se/artikel/?unik=H_1009-0253.N8qM&pz=5, [Hämtad: 12-06-2020]

HORIE, C. V. 2013. *Adhesion*, Materials for Conservation, New York, London: Taylor and Francis, s. 97-104.

INTERNATIONAL COUNCIL OF MONUMENTS AND SITES. 1964, *International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sities*, [Online], Available: https://www.icomos.org/charters/venice_e.pdf , [Hämtad: 29-03-2020]

LI, X., YIN, Z., WEI, L., WAN, S., YU, W. & LI, M. 2011. *Symmetry and template guided completion of damaged skulls*. Computers & Graphics Vol. 35, s.885-893. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cag.2011.01.015>

LUCINI BAYOD, C. 2015, Lucida: The 3D Laser Scanner for Conservation, LiDAR News Magazine, Vol. 5, Issue. 2. [Online] Available: http://lidarmag.com/wp-content/uploads/PDF/LiDARNewsMagazine_Bayod-LucidaConservationScanner_Vol5No2.pdf, [Hämtad: 24-04-2020]

MOTLEY. D, 2017, *How structured-light 3D scanners work*, [Online] Available: <https://gomeasure3d.com/blog/how-structured-light-3d-scanners-work-video/>, [Hämtad: 02-05-2020]

MISTER P. MESH LAB TUTORIALS, 2011, *3D scanning Alignment*, [Video]

Available: <https://www.youtube.com/watch?v=4g9Hap4rX0k>, [Hämtad: 28-04-2020]

MISTER P. MESH LAB TUTORIALS, 2014, *3D scanning Alignment Advanced 1*, [Video] Available: <https://www.youtube.com/watch?v=jAXAxQvX8Cc&t=1s>, [Hämtad: 28-04-2020]

REKONSTRUKTION, (u.å) , ur Svenska Akademiens ordbok (SAOB), [online] Available: <https://www.saob.se/artikel/?seek=rekonstruktion&pz=1>, [Hämtad: 12-06-2020]

RIKSANTIKVARIEÄMBETET. 2017. *Definition av kulturarv och kulturmiljö* [Online]. Available: <https://www.raa.se/kulturarv/definition-av-kulturarv-och-kulturmiljo/>, [Hämtad: 12-06-2020]

RIKSANTIKVARIEÄMBETET. 2016. *Fotogrammetri för nybörjare* [Online]. Available: <https://www.raa.se/spana/fotogrammetri-for-nyborjare/>, [hämtad: 22-04-2020]

RIKSANTIKVARIEÄMBETET. 2019. *Konservering* [Online]. <https://www.raa.se/museer/samlingsforvaltning/bevara/konservering/>, [hämtad: 12-06-2020]

ROCCHINI, C., CIGNONI, P., MONTANI, C., PINGI, P., SCOPIGNO, R., FONTANA, R., GRECO, M., PAMPALONI, E., PEZZATI, L., CYGIELMAN, M., GIACHETTI, R., GORI, G., MICCIO, M. & PECCHIOLI, R. 2001. *3D Scanning the Minerva of Arezzo*, International Cultural Heritage Informatics Meeting: Proceedings from ICHIM 2001, Vol. 2 s. 266-272

ROUSE. M, 2016, *3D mesh*, [Online] Available: <https://whatis.techtarget.com/definition/3D-mesh>, [Hämtad: 02-05-2020]

TECHNOPEDIA, 2020, *Polygon mesh*, [Online], Available: <https://www.techopedia.com/definition/31616/polygon-mesh>, [Hämtad: 30-04-2020]

WACHOWIAK, M., KARAS, B, 2009, *3D scanning and replication for Museum and Cultural Heritage Applications*. Journal of the American Institute for Conservation, Vol. 48, s. 141-158, Doi: <https://doi.org/10.1179/019713609804516992>