

# Byggnadsdokumentation i 3D

Structure from motion som dokumentationsverktyg för hantverkare



**Benjamin Börjeson**

Uppsats för avläggande av filosofie kandidatexamen i  
Kulturvård, Bygghantverk  
22,5 hp  
Institutionen för kulturvård  
Göteborgs universitet

2018



GÖTEBORGS UNIVERSITET

Naturvetenskapliga  
fakulteten



# Byggnadsdokumentation i 3D

Structure from motion som dokumentationsverktyg för hantverkare

Benjamin Börjeson

Handledare: Gunnar Almevik

Examensarbete, 22,5 hp  
Bygghantverksprogrammet

Program in Conservation, Building Crafts  
Graduating thesis, 2018

By: Benjamin Börjeson  
Mentor: Gunnar Almevik

**Documentation of heritage buildings in 3D**  
**Structure from motion as a tool for documentation by craftsmen**

**ABSTRACT**

The aim of this study is to test and evaluate “structure from motion (SfM)” and the software Agisoft Photo Scan in particular, as a tool for empowering conservation craftspeople to document the built heritage.

The study aims to answer questions such as; how is a model created in Agisoft photoscan? What properties does 3D documentation created with SfM have in comparison to standard 2D documentation techniques? Is it practical to document a whole building with SfM? To answer these questions two case studies were conducted. The archeological material from Hemse stave church was documented piece by piece and a log built soldier barn was scanned as a whole. The process in addition to the resulting documentation was compared with 2D documentation methods and preexisting 2D documentation.

The findings of this study indicate that SfM indeed has the ability to in a time efficient way produce documentation of high quality. As such it could be a valuable tool for craftspeople to contribute in documenting the tangible cultural heritage with which they are constantly interacting.

Title in original language: Byggnadsdokumentation I 3D

Language of text: Swedish

Number of pages: 44

Keywords/Nyckelord:

En: Photogrammetry, Agisoft Photo Scan, Building documentation, 3D scanning, Hemse stave church, Structure from motion.

Sv: Fotogrammetri, Agisoft Photo Scan, Byggnadsdokumentation, 3D scanning, Hemse Stavkyrka, Structure from motion.

## Förord

Strax efter att detta arbete skrevs gick en av mina lärare, Nils-Eric Andersson bort. Jag vill ta detta tillfälle att ur djupet av mitt hjärta tacka dig för det du lärt mig om hus och om livet. En liten bit av dig kommer att finnas i varje spik som jag slår in. Jag skall göra mitt bästa för att förvalta kunskapen du gav och föra den vidare.

Tack.

Jag vill också tacka alla lärare, personal och studenter på institutionen för kulturvård i Mariestad för att jag fick tre fantastiska år med er. De har djupt präglat mig.

Jag vill tacka Gunnar Almevik som tog mig under sina vingar och gav mig långt mycket mer tid, uppmuntran och engagemang som handledare än vad jag kunnat förvänta mig.

Jag vill tacka Lena Andersson och Malin Jakobsson för eran fantastiska hjälp med redigering och korrekturläsning, och det borde du som läsare också göra!



1.	Inledning.....	9
1.1.	Bakgrund .....	9
1.2.	Problemformulering.....	9
1.3.	Syfte, frågeställning och avgränsning.....	11
1.4.	Aktuell forskning.....	11
1.5.	Metod och material.....	12
1.5.1.	Agisoft Photo Scan .....	12
1.5.2.	Förundersökning.....	12
1.5.3.	Fältarbete – Historiska museet.....	13
1.5.4.	Fältarbete – Lorentzbergsladan i Karleby.....	13
1.5.5.	Användning och förmedling av 3d-material.....	13
1.5.6.	Jämförelse mellan dokumentationsmetoder.....	13
2.	Dokumentationsförsök.....	14
2.1.	Förundersökningar.....	14
2.1.1.	att skapa en modell i Photo Scan .....	14
2.1.2.	Kamera och objektiv.....	17
2.1.3.	Kodade markörer och måttnoggrannhet .....	17
2.1.4.	Foton.....	19
2.1.5.	Utformning av bockar.....	21
2.2.	Fältarbete – Hemse stavkyrka.....	23
2.2.1.	Förutsättningar.....	23
2.2.2.	Arbetsgång.....	24
2.2.3.	Resultat .....	25
2.3.	Fältarbete - Lorentzbergsladan i Karleby .....	26
2.3.1.	Platsens förutsättningar.....	26
2.3.2.	Arbetsgång.....	26
2.3.3.	Resultat .....	28
2.4.	Förmedling av 3D information .....	29
2.4.1.	Konvertering till 2D.....	29
2.4.2.	Integrering av 3D modeller i PDF dokument .....	30
2.4.3.	Förmedling i full skala.....	31
2.4.4.	Molnbaserad förmedling.....	31
2.5.	Jämförelse mellan manuell och digital uppmätning .....	31
2.5.1.	Hemse stavkyrka.....	32
	.....	35
2.5.2.	Lorentzbergsladan.....	36

3. Diskussion och slutsatser.....	39
3.1. Resultatsammanfattning .....	39
3.2. Slutsatser.....	41
3.3. Kritisk reflektion.....	41
3.3.1. Reflektion kring 2d och 3d .....	41
3.3.2. Modellens överensstämmelse med verkligheten .....	42
Källförteckning.....	43
Tryckta källor och litteratur .....	43
Elektroniska källor.....	45
Programvara.....	45



## 1. INLEDNING

Tanken till detta arbete kom våren 2014 då jag, som en del i en kurs i dokumentation, gjorde en uppmätning av en timrad soldatlada. Uppmätningmomentet i kursen bestod av tre dagar i snålblåst och regn. Med tumstock, lod och snöre till hjälp skulle vi fånga en byggnad på papper. Förfarandet kändes omständligt, och jag blev väl medveten om hur beroende slutprodukten var av mina kunskaper och min ambitionsnivå. Situationen fick mig att fundera kring manuell uppmätning och om det inte kunde finnas modernare och bättre sätt att dokumentera byggnader. Ganska fort fick jag upp ögonen för den utveckling som skett inom 3D-skanning och eventuella tillämpningsmöjligheter inom kulturvård.

### 1.1. BAKGRUND

Vikten av att dokumentera vårt gemensamma kulturarv och alla ingrepp och åtgärder i detta slogs fast i Venedigdokumentet 1964 (ICOMOS 1964) och har sedan dess varit en självklar del i kulturvårdens teoretiska ramverk. I en rådgivande text från Getty Conservation Institute identifieras tolv grundläggande principer för hanteringen av kulturarvsinformation. Bland dessa understryks att dokumentation bör upprättas: när kritiska beslut fattas, när historisk information framträder/blottläggs samt före, under och efter alla typer av ingrepp och konserveringsarbeten. Lettelier menar även att alla involverade i bevarandeprocessen har ansvar att insamla, dokumentera och dela information och framhåller att dokumenterandet och förvaltandet av information är essentiellt i alla faser av bevarandearbetet (Letellier, 2007 s, xvii).

Samma synsätt genomsyrar även arbetet med kulturarv i Sverige. Stig Robertsson skriver för Riksantikvarieämbetet att ett av flera grundläggande moment i god byggnadsvård är att *”dokumentera det som verkligen utförs och vad som tas bort”* (Robertsson, 2003, s.39). *”Om delar av stommen eller äldre tidsskikt tillfälligtvis friläggs under byggtiden, bör man dokumentera sådant som kan belysa byggnadens historia”* (s. 143). Liknande formuleringar finns i flera andra skrifter från Riksantikvarieämbetet så som *”Byggnader och byggda miljöer – Dokumentation och rapporter”* från 1996:

*Vid en restaurering skall göras en vetenskaplig undersökning av frilagda delar, som annars inte är tillgängliga, t.ex. mark, golv, murverk, timmerstomme eller bjälklag. Alla iakttagelser, vidtagna åtgärder eller förändringar skall dokumenteras, dels för att kunna följa förändringarna hos objektet, dels för att få underlag i t.ex. materialfrågor vid framtida åtgärder.* (RAÄ 1996, s. 14)

Dokumentationen av kulturhistoriska byggnader och föremål har fram till nyligen huvudsakligen genomförts med foton, text och bilder. Under de senaste åren har digitala dokumentationstekniker i form av 3d-skanning använts med framgång. Denna metod är däremot inte allmänt spridd i det vardagliga arbetet med kulturarvet.

### 1.2. PROBLEMFÖRMULERING

I dagsläget är det huvudsakligen antikvarier som samlar in och dokumenterar kunskap vid arbeten på skyddade byggnader eller arbeten som finansieras med offentliga medel (Robertson, 2003, s. 143, RAÄ 2009). Hantverkare har förutsättningar att bidra till och utföra dokumentation i byggprocessen, men de saknar vanligtvis skolningen och förväntas inte heller bidra. Detta trots att de är närvarande i mycket större utsträckning än antikvarien (som även tränas i dokumentation) (Johansson 2011, s. 40). Hantverkaren är även på plats under hela ingreppet, fattar många beslut, besitter kompetens som kan hjälpa till att tolka och förstå objektet, är närmast materialet och har störst påverkan på det färdiga resultatet (Almevik 2016, s. 90). Detta kan även ses som olämpligt med tanke på att Lettelier och internationella charters understryker att bevarandet och

dokumentationen av byggnader är en multidisciplinär uppgift och att alla som har möjlighet bör bidra (Lettelier, 2007, s. XIII. ICOMOS, 1996, s. 2. ICOMOS, 1964, s. 1).

Viktiga användningsområden för dokumentationen av kulturhistoriska byggnader är projektering och utvärdering av bevarandeåtgärder. Detta gör det viktigt att reflektera över vad som efterfrågas i dessa situationer samt vad som i dagsläget dokumenteras. Antikvariska rapporter utlämnar ofta hur en åtgärd är utförd, varför det tillvägagångsättet valdes samt vilka material som använts. Detta är dock högst relevant information för de hantverkare som söker kunskap och erfarenheter samt vill förstå bakgrunden till en skada eller varför ett tillvägagångsätt valdes (Johansson, 2011, s.15) (Almevik, 2016, s. 90-91).

Hittills har dokumenterandet av byggnaders information framförallt utförts genom text, foton och uppmätningar eller ritningar. Text förmedlar vårt språk samt våra tankar och texten tillåter en upphovsman att på ett precist sätt förmedla sina slutsatser. Däremot kommer språket ofta till korta när det skall förklara spatiala samband och situationer, vilket är av stor vikt för att kunna beskriva byggnader. Fotografier är snabba och enkla att åstadkomma och kan på ett bra sätt fånga ett synintryck men de är tysta. De visar objektivt det fotografen valde, men innehåller i praktiken bara den information som betraktaren har kunskapen att utläsa. De innehåller också perspektivförskjutningar och är därför inte mätbara.

Ritningar är mätbara och kan ofta på ett bra sätt förmedla spatiala samband. De kan även liksom texten, förmedla en upphovsmans tolkning, vilket samtidigt enligt Sjömar är deras nackdel *"Har man ritat en linje har man påstått något i stort sett utan nyanser. Man säger att verkligheten ser ut just så som bilden visar. Värdet av dokumentationen och resonemangen är helt beroende av att resonemangen stämmer överens med verkligheten"*. (Sjömar, 2000, s. 72)

En metod som kan vara väl lämpad för att dokumentera byggnader, byggnadsdelar och deras egenskaper går eventuellt att finna i de högautomatiserade fotogrammetriprogram som idag finns tillgängliga. Fotogrammetri eller bildmätning möjliggör att i ett fotografi utläsa bl.a. storlek form och läge för specifika objekt. Det är i dagsläget möjligt att bearbeta serier av överlappande digitala fotografier i olika programvaror för att skapa tredimensionella modeller, metoden kallas för Structure from motion (hädanefter SfM).

Karin Johansson skriver att en digitalkamera skulle kunna ha en lika självklar plats i en hantverkarens verktygslåda som en hammare (Johansson, 2011, s. 43). Om denna kamera kombineras med en SfM-programvara så skulle detaljerade och exakta mätbara 3D-modeller kunna åstadkommas. Dessa 3D-modeller skulle kunna ses som en form av digitala uppmätningar eller tredimensionella foton. Denna dokumentationsmetod skulle dels kunna bidra till att göra hantverkaren till en aktiv part i insamlandet av den information som i dagsläget ofta inte dokumenteras vid arbeten på kulturhistoriska fastigheter, men även kunna bidra till att höja kvaliteten på dokumentation.

Först måste emellertid vissa frågor besvaras. SfM är i dagsläget inte en allmänt spridd teknik och för ett genomslag bland bygghantverkare krävs att tekniken är användarvänlig, effektiv och inte kräver lång specialutbildning. Det är även viktigt att studera teknikens exakthet och förmåga att skapa korrekta avbildningar under varierande situationer. Essentiellt är även att identifiera brister och svårigheter, både i metoden och i resulterande dokumentation. Det är också viktigt att reflektera över vilken information som insamlas i förhållande till tidigare dokumentationsmetoder, samt hur denna information kan förmedlas och bevaras.

### 1.3. SYFTE, FRÅGESTÄLLNING OCH AVGRÄNSNING

Syftet med denna studie är att undersöka om ”Structure from Motion (SfM)” är ett praktiskt applicerbart verktyg med vilket bygghantverkare kan bidra till att skapa kvalitativ dokumentation över det byggda kulturarvet. Med praktiskt applicerbart menas att det skall vara tidseffektivt, enkelt att förstå/utföra samt tillämpningsbart i fält. Med kvalitativ dokumentation menas att mediet skall kunna registrera och förmedla korrekt och relevant information av olika slag.

För att uppnå detta har följande frågor identifierats:

- Hur skapas en 3D-modell i Agisoft Photo Scan?
- Vilka parametrar (så som material, ytstruktur, bakgrund, form, fotokvalitet, ljus, kamera, datorkraft) är viktiga för ett bra resultat?
- Hur väl fungerar metoden för att dokumentera delar eller detaljer av en byggnad?
- Hur väl fungerar metoden för att dokumentera en byggnad i sin helhet?
- Är det möjligt att åstadkomma modeller som håller tillräckligt hög kvalitet för att användas i dokumentationssyfte?
- Hur ser en jämförelse mellan manuell och digital uppmätning ut?
- Hur kan 3D modeller användas, förmedlas och tillgängliggöras?

Det ryms inte inom detta arbete att jämföra flera olika tekniker och programvaror för att skapa 3D modeller. Valet har gjorts att i detta arbete utgå ifrån programvaran Photo Scan från företaget Agisoft.

### 1.4. AKTUELL FORSKNING

Dokumentation av kulturhistoriska platser utforskats av Robin Lettelier i *Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places*. Boken är utgiven av Getty institute of conservation och syftar till att vägleda beslutsfattare, föreståndare och yrkesverksamma inom kulturvården vid arbetet med dokumentation och principer för detta. Boken bygger bland annat på UNESCOs arbete och ICOMOS internationella charters (Lettelier 2007).

Uppmätningens praktik och historia inom Norden har belysts av Peter Sjömar i boken *Byggnadsuppmätning: Historik och praktik*. Boken har länge utgjort ett standardverk i manuell uppmätning och har använts vid undervisning på Göteborgs universitet. I verket diskuteras olika förhållningssätt till avbildning av byggnader, och principer för att skapa vederhäftiga och granskningsbara bilder identifieras. Även för och nackdelar med manuell uppmätning diskuteras. (Sjömar, 2000)

Hantverkarens relation till dokumentation och problematik kring hanteringen av denna, har undersökts av Karin Johansson i ett kandidatarbete på Göteborgs universitet. Studien består bland annat av genomgång av internationella charters, intervjuer med olika hantverkare samt genomgång av antikvariska kontrollrapporter från ett tjugotal olika projekt ifrån olika delar av Sverige. Arbetet visar på strukturella problem inom kulturmiljövården där hantverkare och antikvarier inte samarbetar i tillräcklig utsträckning. Arbetet visar även på en stor diskrepans mellan krav på dokumentation som ställs i internationella charters och den faktiska nivån på rapporter och dokumentationsarbete idag. (Johanson 2011)

Denna inställning delas av Gunnar Almevik som menar att dokumentation hittills i huvudsak varit en uppgift för museipersonal och konservatorer. Detta trots att internationella riktlinjer och nationell lagstiftning framhåller att alla arbeten med kulturhistoriska fastigheter och föremål skall grundas i vetenskap och dokumenteras. Almevik påpekar även att dokumentationen hittills i

huvudsak avhandlat vad som gjordes och när, men inte frågor som hur och varför. Hantverkare som vill lära sig av, förhålla sig till eller arbeta vidare med det som deras företrädare lämnat efter sig kräver annan information. Hantverkare kan även bidra med unik kunskap och möjliggöra förståelsen av ett objekt ur en ny synvinkel. (Almevik, 2016 s. 90-91)

3D-relaterade tekniker är föremål för omfattande forskning världen över. Ett intressant exempel är Lanternaprojektet vilket bestod av ett internationellt samarbetsprojekt med målet att testa 3D-tekniker på ett dopkapell i Rom. Byggnaden med delar från 400-500 e.kr. dokumenterades ingående genom att kombinera laserskanning och SfM. Rapporten beskriver tillvägagångssättet från insamlandet av data till efterbearbetning och produktion av färdigt resultat. PDF-dokumentet innehåller även interaktiva 3D-modeller och visar på så sätt konkret ett sätt att förmedla 3D-information i en rapportkontext. I arbetet kombinerades laserskanning och optiska mätverktyg med fotoskanning och efterarbete i bl.a. programvaran Meshlab (Agostina, Brandt, Menander & Thorén, 2014).

En stor aktör inom fotogrammetri är ISPRS (International society for photogrammetry and remote sensing) vilka anordnar konferenser och publicerar vetenskapligt granskade artiklar. Ett exempel är Nocerino, E. Menna, F. & Remondino, F. 2014, vilka undersökt exaktheten hos modeller skapade med SfM utifrån olika mönster vid fotograferingen.

En viktig studie är gjord av Galeazzi, Di Giuseppantonio Di Franco & Matthews (2015) och bestod av två försök där studenter och yrkesverksamma inom arkeologi fick tolka och beskriva föremål utifrån tillgång till foton, 3D-modeller eller tillgång till det fysiska föremålet. Studien analyserade sedan dessa beskrivningar kvantitativt och kvalitativt för att kunna dra slutsatser om vad som förmedlades. (Galeazzi et al., 2015).

Bland arkeologer och konservatorer har SfM fått större spridning och ett exempel på det är ett kandidatarbete från konservatorsprogrammet på Göteborgs universitet. Uppsatsen tar avstamp ifrån två konserveringsarbeten där 3D-tekniker använts och syftar till att beskriva 3D-teknikernas påverkan på konserveringens praktik. Uppsatsen har även en ingående etisk diskussion om autenticitet, original kontra kopia samt 3D-teknikernas roll. (Bobeck, 2015)

## 1.5. METOD OCH MATERIAL

### 1.5.1. AGISOFT PHOTO SCAN

Detta arbete utgick ifrån programvaran Photo Scan (2016b) som är en erkänd programvara och har använts och avhandlats i flera vetenskapliga texter och projekt inom kulturvårdsfältet (bland annat Agostina, 2014). Det finns även att tillgå som student på bygghantverksprogrammet, har en stor användarkrets samt ett aktivt online community och god tillgång till teknisk support. Andra program finns tillgängliga så som 123D Catch (från Autodesk) och Photomodeler, men även open source program så som VisualSFM.

Gemensamt för dessa program är att de använder SfM för att skapa 3D modeller. Structure from motion kan fritt översättas som ”form från rörelse” och avser tekniken att i flera överlappande foton finna samma punkter och på så sätt utläsa djup och form. Näraliggande begrepp är ”close range photogrammetry” och ”computer vision”

### 1.5.2. FÖRUNDESRÖKNING

Arbetet inleddes med en serie delundersökningar med syftet att först samla grundläggande kunskap om Photo Scan och SfM och därefter testa och utvärdera tekniken i olika kontrollerade situationer samt identifiera problem och svårigheter innan de två huvudsakliga fältarbetena genomfördes.

### 1.5.3. FÄLTARBETE – HISTORISKA MUSEET

Nästa steg var att under tre dagar (21-23 mars 2016) på historiska museets förråd i Tumba samla data till SfM-renderingar i form av bildserier på delar från Hemse stavkyrka som finns i förvar där. Källmaterialet bedömdes innehålla för arbetet intressant information och relevant problematik (så som verktygsspår, avlång form, konstruktiva detaljer m.m.). Valet motiveras även av tillgången på manuella uppmätningar som kan jämföras med fotoskannade 3D-modeller. Källmaterialet bestod av byggnadsdelar vilka befann sig inomhus i ett museumsförråd, detta i kontrast till Lorentzbergsladan i Karleby. Fältarbetet skedde i samarbete med Gunnar Almevik från institutionen för kulturvård och forskningsprojektet ”visualiserad medeltid”

De byggnadsdelar som utgör Hemse stavkyrka hittades 1896 återbrukade som golvkonstruktion vid ett restaureringsarbete i en ny kyrka på samma plats. Enlig dendrokronologisk datering fälldes virket till delarna mellan år 1098 och 1103 (Bråthen, 1995). Fyndet väckte intresse från Kungliga Vitterhetsakademien som sände ut Emil Eckhoff. En analys med uppmätningar och visualiseringar publicerades av Eckhoff i boken ”Svenska stavkyrkor” (Eckhoff 1914-1916). Källmaterialet är i dagsläget utspritt mellan Historiska museets förråd i Tumba, Gotlands fornsal samt Statens historiska museum i Stockholm.

Ett problem med Emil Eckhoffs uppmätningar är att de i dagsläget är mer än hundra år gamla och att en samtida manuell uppmätning eventuellt skulle ha utförts utefter andra, mer moderna, doktriner och i andra syften. Detta kan leda till att problem som snarare beror på äldre synsätt på kulturarv sammanblandas med problem som beror på det tekniska valet av manuell uppmätning.

### 1.5.4. FÄLTARBETE – LORENTZBERGSLADAN I KARLEBY

För att kunna jämföra dels ett manuellt dokumentationsarbete med ett tredimensionellt, men även för att testa tekniken i större skala gjordes en 3D-skanning av soldatladan i Karleby. Objektet bedömdes relevant eftersom att det bestod av en hel byggnad med interiör, detta i kontrast till föremålen från Hemse stavkyrka. Objektet bedömdes ha relevant problematik. Framst genom sin mörka och relativt komplexa interiör, vilken antogs kunna visa på problem med tekniken och även representera en typisk situation för bygghantverkare.

Objektet möjliggjorde även jämförelser med manuella uppmätningförfaranden som utförts på samma objekt inom ramen för ett tidigare utbildningsmoment. Dessa uppmätningar kan även i viss mån komplettera uppmätningarna gjorda av Hemse stavkyrka genom att de är nyligen genomförda och förhoppningsvis därför är grundade i moderna synsätt inom kulturvårdsfältet, å andra sidan är dessa uppmätningar genomförda inom ett begränsat utbildningsmoment och representerar därför inte erfarenhet och professionalitet

Lorentzbergsladan är en soldatlada som i dagsläget ägs av Ullervad-Lexbergs hembygdsförening. Ladan var i dåligt skick och genomgick därför ett större restaureringsarbete 2011. Ladan har under flera år använts som övningsobjekt i byggnadsuppmätning för studenter från bygghantverksprogrammet.

### 1.5.5. ANVÄNDNING OCH FÖRMEDLING AV 3D-MATERIAL

Efter förundersökningar och fältarbeten gjordes en översikt över olika format och förmedlingsmetoder med vilka det är möjligt att på ett relativt enkelt sätt använda och sprida 3D-material skapat i Agisoft Photoscan. Detta med fokus på en bygghantverkares behov.

### 1.5.6. JÄMFÖRELSE MELLAN DOKUMENTATIONSMETODER

För att möjliggöra analys av mediernas egenskaper och hur dessa egenskaper påverkade avbildningen av objekten från bägge utförda fältarbeten så ställdes tre format bredvid varandra. De manuella uppmätningarna ställdes sida vid sida med de rektifierade foton som exporterats från photoscan och ett transparent överlägg skapades för att förenkla jämförelsen. Bredvid dessa 2D-bilder infogades sedan interaktiva 3D-objekt.

## 2. DOKUMENTATIONSFÖRSÖK

### 2.1. FÖRUNDESRÖKNINGAR

#### 2.1.1. ATT SKAPA EN MODELL I PHOTO SCAN

Photo Scan (Agisoft, 2016b) arbetar genom att identifiera punkter i fotografier och jämföra dem med samma punkter i ett annat överlappande foto taget ur en något annorlunda vinkel. Skapandet av en 3D modell i Photo Scan görs i fem huvudsakliga steg (mellan dessa steg finns en mängd kommandon för att styra resultatet i vissa riktningar och förbättra kvalitén på modellerna). De flesta steg kan utföras i flera olika nivåer av noggrannhet, vilket i sin tur resulterar i olika upplösning på modellen och olika tidsåtgång. Mer detaljerade beskrivningar finns i Agisofts (2016a) instruktionsbok.

- **Fotografering (insamlande av data)**

Foton från de flesta digitalkameror kan användas till Photo Scan. Bättre upplösning och skärpa ger programvaran mer information, minst 5Mpix rekommenderas. Fotografierna tas med 60-80 % överlapp (Agisoft, 2016, s. 4).

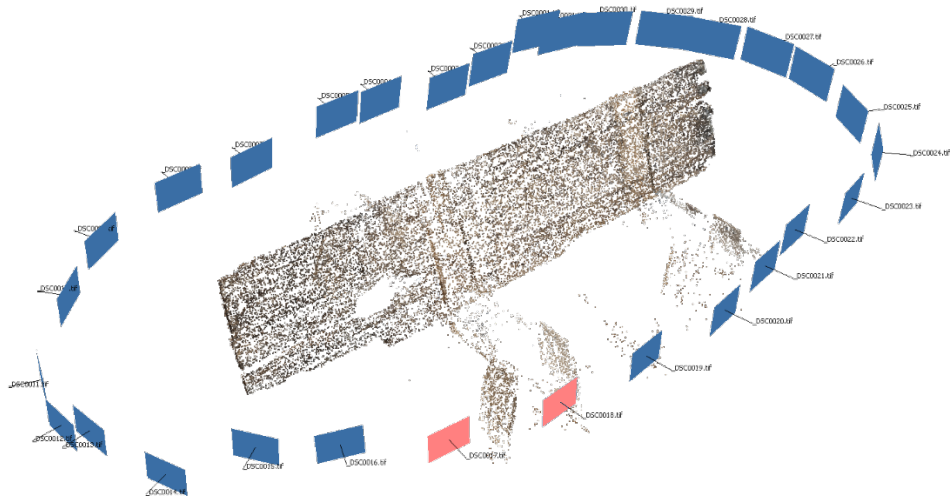


*Två foton tagna med överlapp.*

- **Kalkylering av bildpositioner**

Det första steget i Photo Scan är att låta programvaran beräkna fotografiernas positioner, alltså kamerans rumsliga plats vid foto-ögonblicket. Detta görs genom att programvaran identifierar punkter och matchar dem med punkter i angränsande foton. Resultatet blir ett relativt gles moln av tredimensionellt inmätta punkter samt beräknade positioner för kameran.





Överst: Samma två foton med innmätta punkter og placerade i förhållande till det skapade "glesa punktmolnet" vilket består av 31,514 punkter. De två fotografierna överst är markerade i rött i den nedre figuren vilken visar punktmolnet samt tagna fotografiers placering i förhållande till varandra og föremålet.

- **Generering av kompakt punktmoln**

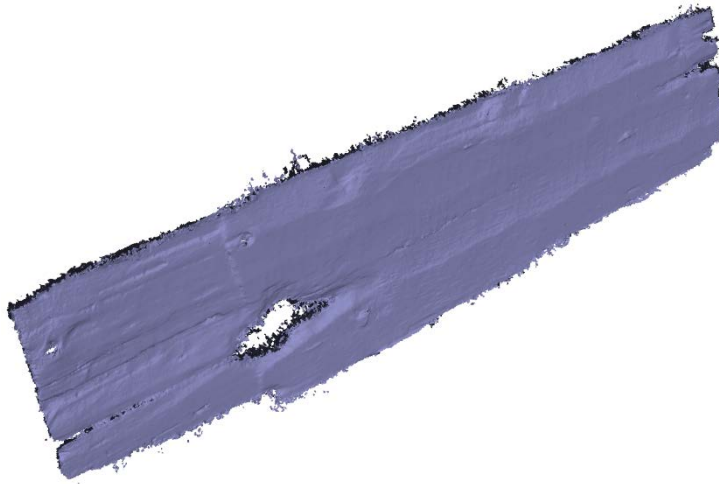
Programvaran har nu en första struktur att utgå ifrån og nästa steg är att generera ett kompaktare punktmoln. Detta steg kräver mer datorkraft og pågår ofta i flera timmar. Det kompakta punktmolnet innehåller ofta en viss mängd "skräp" alltså felaktigt innmätta punkter som bör rensas bort innan modellen kan bearbetas vidare.



Figuren ovan visar det täta punktmolnet (ifrån samma vinkel men här utan symbolerna för inplacerade foton) vilket i detta fall består av 2.640.031 punkter.

- **Generering av polygonstruktur**

Utifrån det kompakta punktmolnet skapar Photo Scan sedan en ytstruktur av trianglar (andra program använder även andra polygoner än trianglar)



*Här har det kompakta punktmolnet omvandlats till en polygonstruktur bestående av 528.002 ytor/trianglar (det kompakta punktmolnet rensades i detta fall inte innan polygonstrukturen skapades, skräpet är därför fortfarande närvarande).*

- **Generering av textur**

Det sista steget i skapandet av själva modellen är generera en textur. Texturen skapas genom att delar av fotografierna projiceras på polygonstrukturen.



*Färdig modell bestående av polygonstruktur med textur.*

- **Exportering och förmedling**

När modellen är färdig kan resultatet exporteras och användas på olika sätt. Photo Scan kan exportera modellen i flera filformat vilka sedan kan importeras i andra programvaror för att bearbeta eller visa modellen. Photo Scan kan även exportera modellen som PDF vilket möjliggör enkel spridning (i vissa fall begränsad upplösning). Photoscan möjliggör även skapandet av rektifierade foton (rektifierat foto innebär en bild som genom korrigeringar och sammansvetsningar av foton skapat en parallellprojektion vilket i sin tur möjliggör bland annat mätande i bilden, kallas även för ortofoto inom kartografi och flygfotogrammetri).



### 2.1.2. KAMERA OCH OBJEKTIV

Ett inledande test gjordes utan ingående förkunskaper. Syftet var dels att testa hur tekniken betedde sig med minimala ingångskunskaper och dels att jämföra tre olika kamerakonfigurationer. Testet genomfördes under förhållanden som grovt försökte likna kommande förhållanden på historiska museet i form av belysning, omgivning samt objekt. Belysningen bestod av lysrörsarmaturer i taket, vilka gav ett ganska jämnt ljus med vissa skuggor. Objektet var en 2,5m lång, cirkelsågad bjälke (130 x130mm). Fotograferingen tog totalt 30 minuter för tre omgångar på fri hand och resulterade i ca 60 kort per kamerakonfiguration. Fotograferingen genomfördes på fri hand, så likt som möjligt för alla konfigurationer. Bilderna processades i Photo Scan med inställningen medium i alla led.

#### 1. Nikon 3000D (10MP), Objektiv: Nikkor AF-S DX 10-24 f3,5-4,5G

57 kort togs med ett ultravidvinkelobjektiv. Den resulterande modellen var den mest heltäckande och rumsligt korrekta av de tre. Upplösningen på texturen var ungefär samma som med mobilkameran

#### 2. Nikon 3000D (10MP), Objektiv: Nikkor AF-S 18-55mm 1 3.5-5.6 g ii ed

57 kort togs med ett standardobjektiv. Den färdiga modellen i Photo Scan var osammanhängande då ytorna inte placerades korrekt i förhållande till varandra. Resultatet var klart sämst av de tre konfigurationerna

#### 3. Mobilkamera, Xperia Z1 Compact (20.7 MP, f/2.0, autofocus, 1/2.3" sensor).

55 kort togs med en mobilkamera. Hanteringen var enklare än med systemkameran då man med större display lätt kan se fokus även i obekväma vinklar. Mobilkameran hade på pappret dubbelt så hög upplösning men fotografen hade även mycket sämre kontroll över inställningar.

#### Slutsatser

De tre helt olika resultaten trots samma förutsättningar och renderingsförfarande i Photo Scan visar på fotokvalitetens betydelse. Att samma kamera med samma inställningar gav helt olika resultat med två olika objektiv (försök 1 & 2) visar att objektiv och kvaliteten på optiken är av stor betydelse.



Figuren ovan visar de tre punktmoln (längst till vänster visar resultatet av kamerakonfiguration 1, mitten visar 2 och höger visar 3) som skapades av samma föremål, med samma ljusförutsättningar men med olika kamera. Modellerna visar att kameran har stor inverkan men också att samma kamera med samma inställningar men olika objektiv ger olika resultat (se modellen till vänster och mittenmodellen). Försöket visar hur kamerans färgbalans påverkar modellen (jämför 1 & 2 med 3)

### 2.1.3. KODADE MARKÖRER OCH MÄTTNOGGRANNHET

En viktig egenskap hos 3D dokumentation är möjligheten att utvinna exakta mått ur modellen. El-Hakim, Remondino, Gonzo & Voltolini. (2008) har visat att punktmoln baserade på SfM kan uppnå en precision jämförbar från den från laserskanners på objekt av varierande storlek. Fassi, Fregonese, Ackermann, & Troia, (2013, s. 78-79) har visat en jämförbar precision mellan

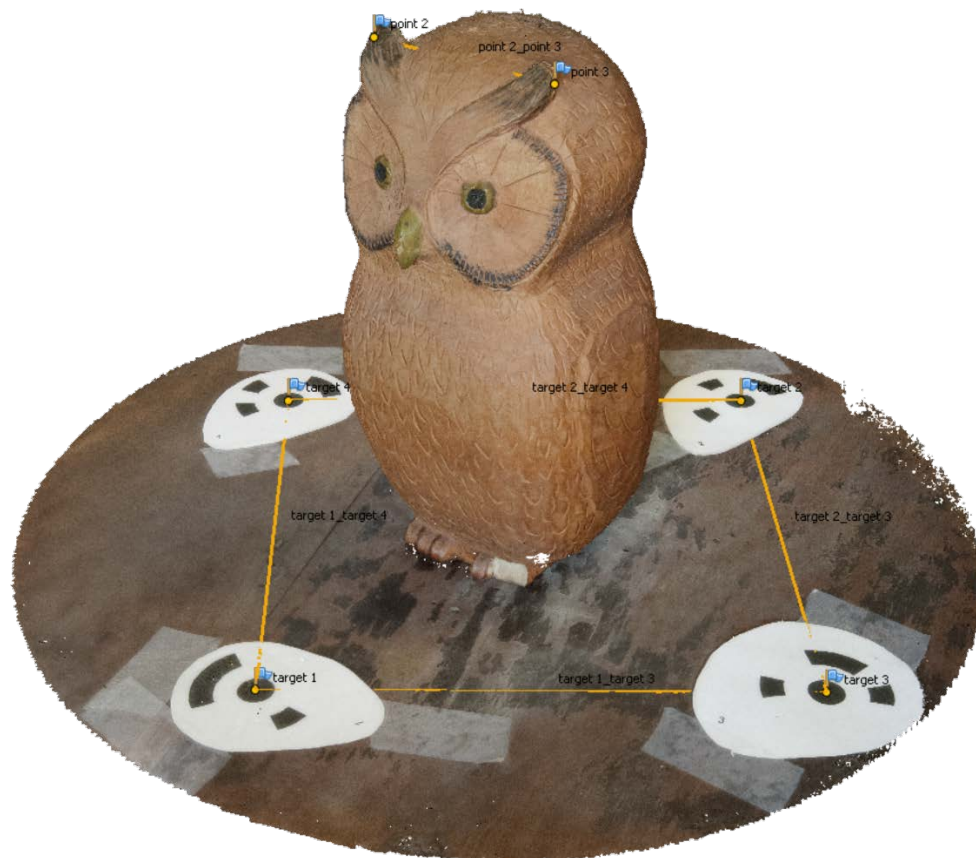
laserskanners och Photo Scan. Genom att jämföra två modeller av ett kapell kunde de visa att standardavvikelsen i deras fall var 3mm på 95% av ytan.

Photo Scan Pro möjliggör användandet av kodade markörer vilka programvaran automatiskt kan känna igen i fotomaterialet. Det är då möjligt att manuellt precisera ett avstånd mellan dessa punkter och på så sätt ge en skala och storlek till föremålet. Detta skapar möjligheten att hämta och läsa av mått direkt i modellen, vilket innebär att modellens exakthet ytterst blir beroende av precisionen på de givna referensmåten.

Syftet med detta försök var att undersöka tillvägagångssättet för att storleks bestämma modeller och vilken noggrannhet som kunde uppnås i Photo Scan. En piedestal förbereddes med 4 kodade markörer vilka tejpades fast på ytan med 150mm mellanrum. Placeringen gjordes manuellt med en ställinjal och noggrannheten uppskattas därför till +/- 0,3mm. En Trästatyett placerades mellan markörerna och fotograferades i två varv, ett snett ovanifrån och ett i höjd med föremålet. Utifrån dessa 51 kort skapades sedan en modell (på kvalitetsinställningen hög) med 7,2 miljoner punkter.

Programvaran lyckades automatiskt känna igen de fyra markörerna och avståndet mellan dem sattes manuellt till 150mm och precisionen till +/- 1mm. Programvaran kunde då jämföra felmarginalen för de fyra avstånden och på så sätt statistiskt fastställa felmarginalen till 0,128mm (se "tabell 1" nedan). Programvaran försökte även uppskatta exaktare avstånd än vad som matats in manuellt genom att jämföra dem statistiskt.

En punkt skapades nu vid vardera öra på modellen ("point 2" och "point 3" i figuren nedan) och avståndet mellan dem beräknades till 56,53mm av programvaran (se översta raden i tabell 1). Samma sträcka kontrollmättes manuellt med skjutmått (Analogt med en noggrannhet 0,05mm) till 56,45mm. Skillnaden mellan måttet som extraherades ur programvaran (och således var beroende av markörernas exakthet) och det manuellt tagna måttet var alltså endast 0,08mm.



Tabell 1

Scale Bars	Distance (m)	Accuracy (m)	Distance est (m)	Error (m)
<input type="checkbox"/> point 2_point 3			0.056533	
<input checked="" type="checkbox"/> target 1_target 3	0.150000	<b>0.001000</b>	0.149993	-0.000007
<input checked="" type="checkbox"/> target 1_target 4	0.150000	<b>0.001000</b>	0.149961	-0.000039
<input checked="" type="checkbox"/> target 2_target 3	0.150000	<b>0.001000</b>	0.150200	0.000200
<input checked="" type="checkbox"/> target 2_target 4	0.150000	<b>0.001000</b>	0.149847	-0.000153
<b>Total Error</b>				<b>0.000128</b>

Figuren överst visar den färdiga modellen över trästatyetten med 4 pappersmarkörer, de gula linjerna representerar sträckorna mellan markörerna (eng: scalebar). Point 2 och 3 vid figurens öron visar referensmättet som extraherades ur modellen. Tabellen är ett skärmutklipp från photoscan och visar först det manuellt uppskattade avståndet mellan markörerna på 0,15m och en beräknad noggrannhet på 1mm. Utifrån dessa parametrar beräknar programmet avvikelsen i kolumnen Error (m) för att sedan kunna ge ett beräknat avstånd i kolumnen "distance est". Den översta raden visar sträckan mellan statyettens två öron vilket av programmet uppskattas till 0,056533m.

(OBS. bilden är ett fotomontage, kolumnen "Distance est (m)", alltså uppskattad sträcka, har klippts in för att kunna visas sida vid sida med kolumnen "Distance (m)" vilka visar den manuellt bestämda sträckan).

Försöket visade alltså att Photo Scan hade kapacitet att direkt från en modell som storleksbestämts av markörer leverera ytterligare mått med en mycket hög noggrannhetsgrad vilket var i linje med vad som visats av El-Hakim et al. (2008) och Fassi, Fregonese, Ackermann, & Troia, (2013). Försöket visade även att programvaran genom att jämföra de fyra referensmått (med en tolerans på +0,05mm och -0,55mm) kunde generera avsevärt mycket exaktare mått. Detta tyder alltså på att brister i noggrannheten på referensmått kan kompenseras genom antalet referensmått.

#### 2.1.4. FOTON

Ljus är grundläggande för fotogrammetri eftersom att den data som bearbetas består av ljus (sparat i form av ett fotografi.) I praktiken så blir ljusförhållanden variabler som den dokumenterande individen behöver förhålla sig till och som inom vissa ramar kan regleras med hjälp av kamerainställningar så som ISO, bländaröppning och slutartid. Tillgång till ett stativ är nästan helt nödvändigt eftersom att det möjliggör långa slutartider vilket i sin tur gör det möjligt att ta foton med hög kvalitet även under svåra förhållanden.

Ljusförhållanden påverkar arbetsprocessen i Photo Scan på flera sätt. En förenkling av sambandet mellan ljus, foton och Photo Scan är att: mycket ljus möjliggör en liten bländaröppning i kameran vilket ger ett stort skärpedjup vilket ger skarpa bilder som i sin tur innehåller mycket information som kan användas av Photo Scan. Det går däremot inte att säga att en liten bländaröppning per definition alltid är bättre. Vilken bländaröppning som är optimal beror dels på vilken lins kameran använder och dels på objektets storlek och form.

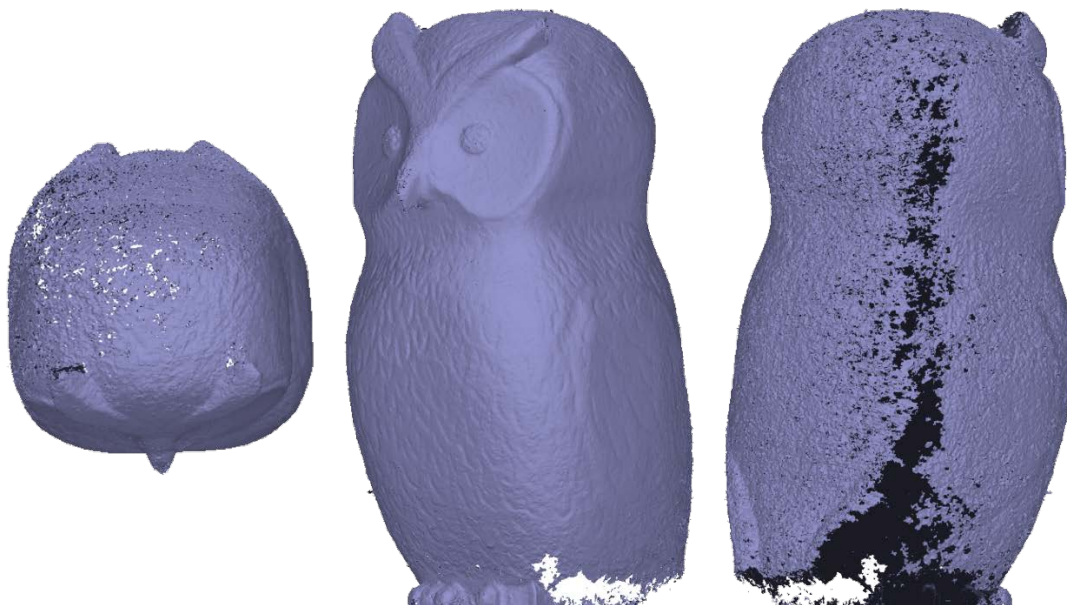
En lins med varierande brännvidd (en lins med zoomfunktion) har olika egenskaper vid olika brännvidd samt olika bländaröppning. En av linserna som användes i försök 2.1.2. (Nikkor AF-S DX 10-24 f3,5-4,5G) har till exempel olika egenskaper vid 10 och 24mm brännvidd. Vid 10 millimeters brännvidd blir bildens hörn något mindre skarpa än bildens centrum, hörnen blir åter något skarpare igen vid 24mm men inte riktigt lika skarpa som centrum. Samtidigt påverkar bländaröppningen skärpan och vid en bländaröppning mindre än f/11 börjar oskarpa på grund av diffraktion påverka bilden. Linsen har alltså sin optimala inställning på en brännvidd av 24mm och med en bländaröppning på minst f/11 (Alexander, 2009). Dessa egenskaper är som sagt olika för olika objekt, kvalitetsförsämringen av att frånga det optimala läget varierar också mellan olika objekt.

Ljusets kvalitet påverkar också resultatet i Photo Scan. Det är till exempel viktigt att ljuset är diffuserat och färgneutralt eftersom det annars skapas skuggor eller skev färgbalans. Till exempel kan ett angränsande starkt färgat föremål eller bakgrund reflektera ett färgat ljus på huvudobjektet.



Figuren ovan visar skuggbildningar som uppstår vid skarpt ljus. Figuren ovan består av två olika 3d skanningar, t.v. en baserad på foton tagna i skarpt solsken, t.h. en baserad på foton tagna en molnig dag vilket ger ett väl diffuserat ljus.

Skarpt motljus har också en negativ inverkan på modellkvaliteten, något som visade sig i försök 2.1.3. Trästatyetten fotograferades inomhus i två varv och de foton som togs i motljus från rummets fönster visade stora deformationer. Vid närmare inspektion av fotografierna uppvisade de som var tagna i motljus en grymig bildstruktur. En undersökning av bildernas metadata visade att kamerans ISO nivå var ställd i automatläge. ISO har en negativ inverkan på fotografiernas kvalitet (ur en SfM synpunkt) då kornigheten försvårar för programvaran att hitta punkter men också lurar den att hitta falska punkter. Agisoft rekommenderar att foton tagna med syftet att användas i photoscan har en låg ISO nivå (Agisoft, 2016a s. 4).



Figuren ovan visar modellen som skapades i försök 2.1.3. och hur en hög ISO inställning påverkar modellen. Den bäst återskapade sidan (ovan till mitten) var under fotograferingen vänd mot fönstret och diagonalt motsatt blev modellen dåligt återskapad eftersom att fotografierna där togs i motljus vilket gjorde att kameran ökade ISO inställningen (ovan till höger).

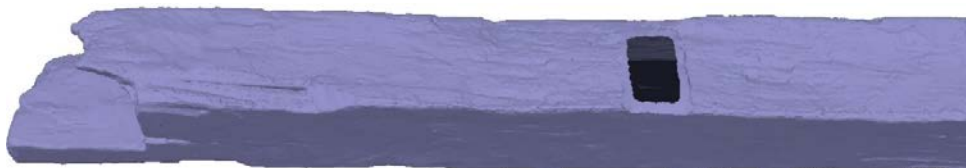


*För att möjliggöra en jämförelse mellan en inskanning med hög ISO inställning och en med låg skannades trästatyetten in igen. I figuren ovan går det tydligt att utläsa kvalitetsförbättringen, både på polygonstruktur och textur, mellan hög ISO till vänster och låg till höger. Även modellen med en fast ISO nivå på 100 fick en sämre modellkvalitet på de partier där foton tagits i motljus men effekten var betydligt mindre.*

För att förklara samverkan mellan bländaröppning, slutartid och ISO används ofta liknelsen med en hink som skall fyllas med regnvatten. Hinken som skall fyllas motsvaras av negativet som skall fyllas med rätt mängd ljus. För mycket ljus och fotot blir överexponerat (vitt), för lite ljus och det blir underexponerat (svart). Kamerans bländaröppning kan förklaras som hinkens bredd, en bred och låg hink fylls fortare i regnet än en hög och smal. Tiden som hinken står i regnet bestäms i sin tur av kamerans slutartid. ISO står för kamerans ljuskänslighet och kan beskrivas som att hinken delvis fylls med sand, detta gör att en hink inte behöver stå lika länge i vattnet men vattnet blir i gengäld sandigt vilket i fotot motsvaras av en kornig bildstruktur, Chan, Norman. (2004)

#### 2.1.5. UTFORMNING AV BOCKAR

Ett grundläggande problem vid fotografering av föremål är att det som fotograferas behöver någon sorts underlag. Detta leder till att vissa områden av objektet skymms vilket i sin tur leder till tomma hål i 3d modellen.



*Det svarta hålet i 3D modellen visar problemet med icke transparenta upplag vid fotoskanning.*

Det går inte heller att fritt flytta objekt eller upplag för att kunna fotografera tidigare tomma områden. Detta eftersom att Photo Scan kalkylerar alla fotografiers och föremåls position och förhållande till varandra samtidigt, för att skapa en exakt avbildning av en scen eller en situation. Om det fotograferade objektet (eller bakgrundsobjekt) flyttas i samma fotoserie kan programmet förlora sin orientering vilket leder till en felaktig modell eller till att vissa foton inte kan användas.

Photo Scan ger däremot användaren möjligheten att dela upp sitt objekt i flera delar ("chunks") vilka senare kan sammansvetsas i programmet. På så sätt är det möjligt att täcka ett objekt genom flera skanningar där objektet kan flyttas mellan varje. Detta är dock ytterligare ett arbetsmoment som förlänger arbetstiden. Det utgör även en möjlig felkälla då övergången inte alltid blir jämn och i vissa fall (om modellerna inte överlappar tillräckligt) misslyckas helt.

Ett annat alternativ är att försöka åstadkomma ett transparent underlag där hela objektet är synligt vilket möjliggör att hela objektet skannas i en omgång. En möjlighet för detta är att använda transparenta material så som plexiglas för att skapa en vagga som objektet kan vila i.

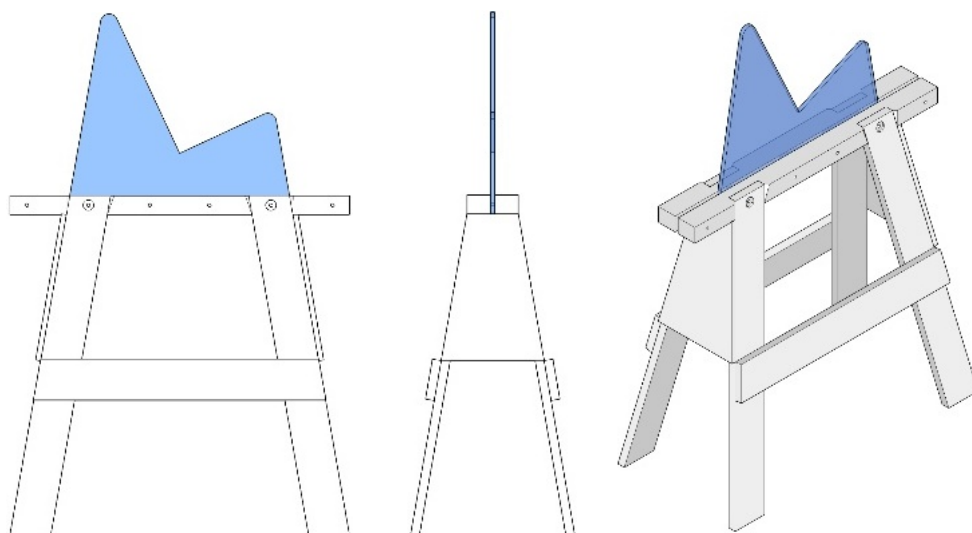
Ett första enkelt experiment för att pröva konceptet genomfördes med en liten bit plexiglas och ett par bockar. En remsa av plexiglas ställdes diagonalt i förhållande till en bock. Detta möjliggjorde att objektet kunde lutas mot denna. Trettio bilder togs i ett varv med en kamera på ett stativ. Fotografierna användes i Photo Scan för att skapa en modell med hög kvalitet.

Resultatet visade fördelar och nackdelar med transparenta upplag. Förfarandet möjliggjorde en enkel snabb och heltäckande inskanning. Eftersom att föremålet stod diagonalt blev det inte lika stor skillnad i ljus på ovansidan och undersidan vilket ledde till en jämnare kvalitet. Plexiglas remsan var däremot synlig på modellen som en liten grå rand och gav också upphov till en reflektion vid texturgenereringen. Användandet av transparenta upplag blir en avvägningsfråga.



*Figuren ovan till vänster visar tillvägagångssättet med den lutande plexiglasskivan T.h. visar 3D modellen med textur och inbakad reflektion av text, samt ett tunt grått streck från plexiglasskivan*

Eftersom att inskanning med hjälp av transparenta upplag visade sig effektivt under försöket konstruerades en variant av bockar med en vagga i 10mm plexiglas som tillverkades inför fältarbetet på historiska museet (där många föremål skulle skannas in på kort tid). Bockarna konstruerades för att kunna monteras ned för en enklare förflyttning. På bockarna monterades ett system av kodade markörer (se 2.1.3) med tanken att föremål som skannades enkelt skulle kunna ges storlek och skala.



Skiss över bockarnas utformning.



Punktmolnet (ej städad) ovan visar effekten av transparenta upplag, föremålet svävar över bockarna. Den diagonala grå randen efter plexiglasskivan som är synlig blir senare inbakad i modell och textur. De fritt svävande klustren av punkter utgörs av "skräp" och rensas bort manuellt, förekomsten kan i vissa fall minskas genom att använda fler och bättre foton till modellen

## 2.2. FÄLTARBETE – HEMSE STAVKYRKA

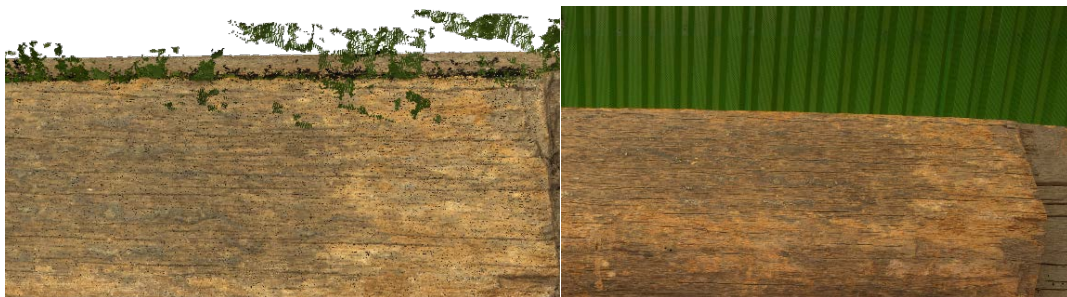
### 2.2.1. FÖRUTSÄTTNINGAR

Källmaterialet bestod av 46 objekt (ytterligare delar finns utställda på museet och på Gotlands fornsal,) som förvarades i ett metall-ställage inuti förrådet för arkeologiskt trä. De första inskanningarna gjordes i en av gångarna mellan två ställage. Ljusförutsättningarna inne i förrådet var dåliga och bestod av ett fåtal ljusarmaturer på hög höjd, delvis skymda. De dåliga

Ljusförhållandena ledde till långa slutartider på kameran vilket krävde stativ. För att öka kvaliteten på fotografierna användes även 2 diffuserade studiolampor på stativ som flyttades med kameran. De omgivande ställagen utgjorde även en komplex geometrisk bakgrunds miljö som verkade försvåra programmets arbete. Det finns en möjlighet att i programvaran sortera bort bakgrunder och irrelevant information men för att minimera efterarbetet var målsättningen att skapa fotodata av tillräckligt bra kvalitet för att undvika detta. För att öka kvaliteten på modellerna och hastigheten på fotograferingsmomentet flyttades därför inskanningsstationen till ett öppnare och ljusare utrymme.

Under arbetet fanns två systemkameror att tillgå en Nikon 3000D (se 2.1.1) samt en Canon EOS 100D med ett Canon EFS 18-55 objektiv. Båda dessa kameror får betecknas som instegsmodeller som inte är optimala för fotogrammetri och SfM. En kamera av högre kvalitet var beställd (Fujifilm XT1 med fast 35 mm objektiv och fasdetekterande bildsensor X-Trans, som rekommenderats i forum för SfM.) men hann inte anlända innan arbetet inleddes.

Lokalerna saknade helt dagsljus och hade dålig artificiell belysning. Detta skapade mycket merarbete och försämrade antagligen modellerna avsevärt. En större tillgång till diffuserat ljus hade kunnat möjliggöra frihandsfotografering vilket hade snabbat upp fotoarbetet. Vid skapandet av 3D modellerna uppvisade programvaran svårigheter att skilja på punkter ifrån bakgrunden och modellen. Detta skulle kanske kunnat undvikas med en annan bakgrund/omgivning. Eventuellt hade en större bländaröppning varit lämplig i detta fall. Detta eftersom att ett kortare skärpedjup kunde varit fördelaktigt då det skulle gjort bakgrunden suddig och på så sätt naturligt lyft bort den ur modellen.

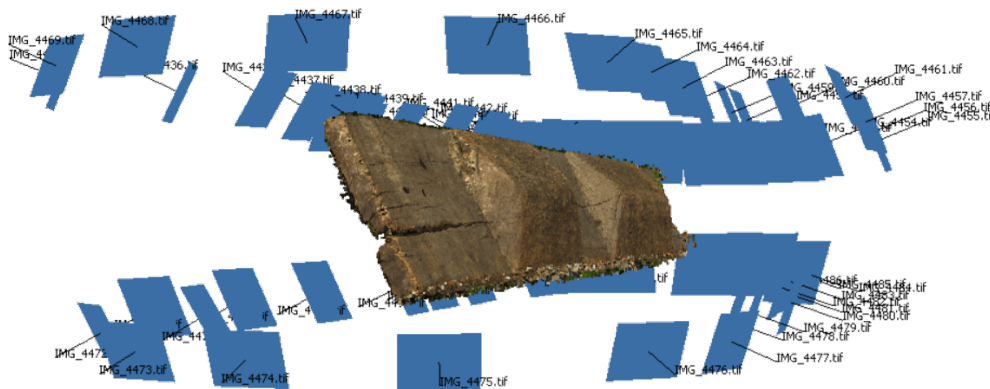


*Figuren o.t.v. visar ett punktmoln där bakgrunden felaktigt blivit en del av modellen. Övan till höger visar ett utsnitt ur en av bilderna som ligger till grund för punktmolnet, den gröna korrugerade plåten har felaktigt blandats samman med modellen.*

### 2.2.2. ARBETSGÅNG

De första inskannade modellerna bestod av en stav som skannades in i två varv, ett underifrån och ett ovanifrån. Dessa bilder överfördes direkt till datorn och processades i Photo Scan för att se om de resulterade i en sammanhängande modell. Modellen var sammanhängande men inte heltäckande och innehöll stora mängder felaktigt inmätta punkter vilket yttrade sig bland annat i form av fritt svävande kluster eller fält av punkter från bakgrunden som programvaran felaktigt placerat vid kanter och hörn. För att försöka minimera städarbetet i modellerna gjordes försök med ett par andra tillvägagångssätt men den initiala metoden med två varv, ett ovanifrån och ett underifrån, gav ändå bäst resultat och fick bli vägledande för kommande inskanning. Efter skanningen lades bilderna över i en mapp med samma namn som föremålets betäckning. Sammanfattningsvis fotades alltså stavar och mindre fragment i två varv med stödbelysning i form av diffuserade studiolampor som flyttades med kameran successivt. Kameran var monterad på stativ. Antalet bilder per objekt varierade utefter objektens storlek men utgjorde mellan 40 och 100 bilder vilket i råformat resulterade i 1-2GB data per del.





Figuren ovan illustrerar tillvägagångssättet vid fotograferingen av mindre objekt. De blåa rutorna representerar fotografier och det svarta sträcket deras riktning. De två varven av blåa rutor representerar således de två varven av fotografier som togs av varje objekt. Längs objektets kanter syns också en viss mängd "skräp".

Fotometoden ovan användes för majoriteten av modeller med undantag av två syllar och två hammarband som bedömdes vara för tunga för plexiglasvagnen. Dessa lades därför på bockarna med vagnen bortmonterad. Eftersom modellen därför inte längre låg diagonalt så gjordes bedömningen att dessa borde fotograferas i tre varv. Detta resulterade i 300-400 bilder per objekt och 6-8GB data.

### 2.2.3. RESULTAT

Fältarbetet på historiska museet synliggjorde problematik och möjligheter med SfM som dokumentationsmetod. En tydlig svårighet med arbetet var att förstå vilka parametrar i fotomentet som gav upphov till vilka effekter vid skapandet av 3D modellerna. Både fotomentet och skapandet av 3Dmodellen i Photo Scan innehåller ett stort antal variabler som inte kunde isoleras och hanteras inom ramen för fältarbetet, däremot synliggjordes i stor utsträckning vilka dessa parametrar och variabler var även om slutsatser är svåra att dra kring deras effekter.

Det är möjligt att i Photo Scan markera delar av foton som inte skall användas vid skapandet av modellen. Ett verktyg för detta är färgkänsligt och med rätt tröskelvärde var det möjligt använda den gröna färgen i bakgrunden som en sorts "green screen" och att på så sätt enkelt välja bort bakgrunden. Detta förfarande minskade "bruset" avsevärt men det var trots det nödvändigt att rensa punktmolnen då programvaran hade svårt att effektivt fånga hörn och kanter vilket ledde till brus i dessa områden.

#### *Foton.*

Objekt som fotades i större detalj gav upphov till bättre modeller. Fler foton minskar också risken för hål i modellen beroende på bristande överlapp. Undersidan på modellerna (vid fototillfället) blev genomgående sämre än ovasidan. Detta beror med största sannolikhet på en kombination av sämre ljusställgång och sämre fotovinkel. Att fotovinkeln oftast blev sämre snett underifrån beror på att stativet (vilket var nödvändigt för att ta skarpa bilder i dåligt ljus) hade en viss lägsta nivå.



Figuren ovan t.v. visar ett foto som togs ”snett underifrån”, det är i efterhand tydligt att bilden inte togs tillräckligt ”snett underifrån” då den undre ytan knappt är synlig, detta resulterar i hål i och deformationer i punktmolnet ovan t.h.

## 2.3. FÄLTARBETE - LORENTZBERGSLADAN I KARLEBY

### 2.3.1. PLATSENS FÖRUTSÄTTNINGAR

Lorentzbergsladan ligger enskilt placerad på en äng i Karleby, Mariestads kommun. Eftersom att tillgången till ladan är fri fanns möjligheten att vänta på gynnsamt väder (molnigt väder ger väl diffuserat ljus och får därför ses som gynnsamt för fotogrammetri). Ladans konstruktion består av en äldre timmerkonstruktion som genomgått ett stort reparationsarbete 2011, nytt och gammalt timmer är fortfarande tydligt åtskiljbart. Byggnaden består av fyra funktioner (två rum) i rad, först i väster ett fähus med dörr i västra gaveln, fähuset skiljs från angränsande lada med en timmervägg (med dörr utan röste), efter ladan finns en tröskloge avgränsad från angränsande lador med timmerväggar i brösthöjd (se bild s. 22).

### 2.3.2. ARBETSGÅNG

Byggnaden fotograferades vid två tillfällen. Totalt spenderades uppskattningsvis mellan 5 och 6 timmar på platsen.

Det första målet med fotograferingen var främst att samla data till en detaljerad modell över byggnadens sydfasad för att möjliggöra jämförelser mellan en manuell uppmätning. Sydfasaden fotograferades i fem rader. Raderna fokuserade på:

- Hela fasaden
- Den nedre halvan av timmerväggen samt stengrunden
- Den övre halvan av timmerväggen
- Undersidan av takfoten
- Plåttaket

Utöver sydfasaden fotograferades även byggnadens exteriör i sin helhet genom ett varv om 58 kort tagna från ca 10 meters håll. Ett av de inre rummen (fähuset) fotograferades delvis, detta för att försöka skapa en modell över en interiör. Bilderna processades vidare i Photo Scan och resultatet blev en modell över utsidan av byggnaden, en rektifierad parallellprojektion av sydfasaden samt en partiell modell av ett av rummen.

Modellen över interiören baserades på 10 foton tagna med kameran på stativ och inställd på lång slutartid. Bilderna processades i Photo Scan och gav upphov till en förvånansvärt lyckad modell trots de svåra ljusförutsättningarna och den rumsligt komplexa interiören. Modellen över byggnadens exteriör innehöll två brister som bedömdes vara allvarliga. Dels uppvisade programvaran svårigheter att rekonstruera plåttaket och dels uppstod deformationer vid projiceringen av texturen på polygonstrukturen.

Programvarans svårighet att skapa en heltäckande modell av takytan berodde antagligen på att ytan bestod av en repetitiv geometri utan färgvariationer eller andra utmärkande drag där programvaran kunde lokalisera fästpunkter, vilket är ett allmänt problem i dagsläget. Denna teori stöds av att taket modellerades bättre längs skarvar,nock och andra utmärkande delar. Grodperspektivet som uppstod vid markfotografering av ett takfall var även ogynnsam för detaljnivån på fotografierna



Ovan visas det rektifierade fotot (kraftigt förminskat), svårigheterna att återskapa plåttaket är tydliga.

Deformationerna av texturen berodde på att punktmolnet hade en för låg upplösning. Genereringen av polygonstrukturen resulterade därför inte i en skarp kant mellan timmer och täckbräda. Övergången var istället något rundad vilket skapar illusionen av att stocken svänger precis i mötet med täckbrädan.



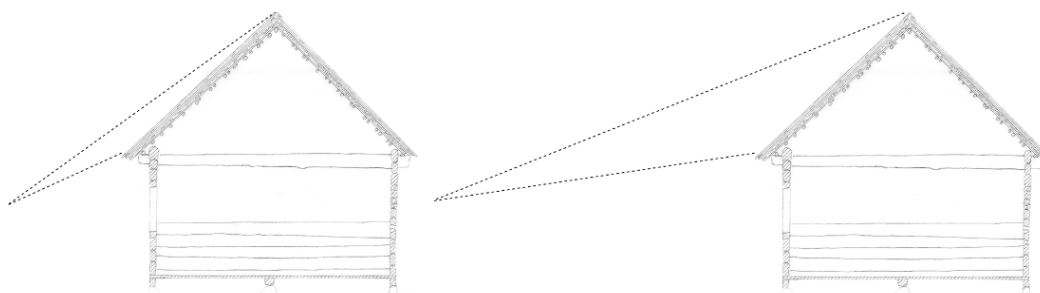
Ovan visas en täckbräda från två något olika vinklar. Bilden till vänster visar polygonstrukturen utan textur, den låga upplösningen gör att kanten mellan timmervägg och täckbräda rundas av. När texturen sedan projiceras över den felaktiga polygonstrukturen uppstår deformationerna synliga till höger.

Den lyckade modellen av ett av rummen samt svårigheterna med modelleringen av plåttaket och deformationerna i texturen motiverade ytterligare en dags fältarbete. Mellan två och tre timmar lades på att fotografera interiören av ladan. För att ge programvaran goda förutsättningar att koppla samman interiör och exteriör hängdes dörrar och fönster av vilket gav möjligheten att successivt ”fotografera sig in i byggnaden” genom dörrar och fönster. Detta gav programvaran data i vilket den kunde finna fästpunkter utomhus och inomhus samtidigt.



Figuren ovan till vänster visar en grov skiss över tillvägagångssättet vid fotograferandet. Den röda linjen representerar vägen genom byggnaden, in igenom dörren, genom fähuset, den första ladan, över till logen och till sist den östra ladan. Foton togs inte på väggen som var närmast utan tvärt om på den diametralt motsatta väggen (se figuren ovan till höger, hämtad ur manualen till Photo Scan). Detta för att få med mycket rum i varje foto för att på så sätt underlätta programvarans orientering.

För att få en bättre fotovinkel på takplåten fotograferades taket med ett zoom-objektiv (*Nikkor AF-S 18-55mm 1 3.5-5.6 g ii ed*). Med detta objektiv var det möjligt att fota taket i en bättre vinkel vilket gav mer information i bilden. Två rader av foton togs på bägge takfallen. I den första raden inkluderades medvetet ovankanten av timmerstommen för att underlätta programvarans orientering. Den andra raden bestod av foton på enbart takplåten.



Figuren ovan illustrerar fördelen med att fota vissa ytor med zoomobjektiv.

För att försöka hantera problematiken med förvrängd textur togs en serie foton specifikt av täckbrädorna. Syftet var att möjliggöra en högre täthet på punktmolnen på de ytorna där polygonstrukturen tidigare haft låg upplösning med förhoppningen om att detta skulle resultera i en skarpare kant och på så sätt skapa en mer korrekt modell.

### 2.3.3. RESULTAT

Med hjälp av fotografierna från de två fototillfällena skapades två modeller av Lorentzbergsladan. Dessa två modeller skapades i olika "chunks" och processades (med programvaran inställd på hög noggrannhet) i tre steg fram till och med genereringen av polygonstrukturer. Modellerna föreställde insidan respektive utsidan och var vardera baserade på 165 respektive 215 foton, vilket resulterade i kompakta punktmoln på 39 och 45 miljoner punkter samt polygonstrukturer med 7 och 9 miljoner ytor. Dessa två modeller sammansvetsades sedan till en modell med 85 miljoner punkter och en polygonstruktur på 16,5 miljoner ytor. Modellen blev mycket krävande datorn orkade bara rendera en eller två bildrutor per sekund, en så högupplöst modell är alltså i dagsläget olämplig för spridning och visualisering men kan användas i dokumentations syfte.

Processandet av dessa relativt tunga modeller med hög noggrannhet tog förhållandevis lång tid. Exklusive misslyckade modeller, datahaverier och manuell rensning och redigering krävde den

färdiga modellen totalt straxt under 20 timmars datortid (datorns specifikation: iCore-7 4710HQ, NVIDIA GeForce 860M 4gb, 16GB ram, SSD hårddisk). Datorn utförde beräkning och modellering under natten vilket möjliggjorde manuell bearbetning under dagen. total tid för manuellt arbete så som rensning av punktmoln, redigering av foton och manuell utplacering av referensmått tog uppskattningsvis runt 4 timmar effektiv arbetstid. Om manuellt arbete och datortid för misslyckade modeller räknas in var den manuella arbetstiden 7-8 timmar och datortiden runt 30 timmar.

Totalt tog modellen alltså uppskattningsvis 2 arbetsdagar att skapa. I samband med dessa siffror kan det vara relevant att även nämna de 5-6 timmar som spenderades på att ta foton samt att hela processen fortfarande innehöll ett stort mått av "trial and error". Att genomföra modelleringen igen skulle troligen gå något fortare. Tidsåtgången kan i sin tur jämföras med den manuella uppmätningen som genomfördes 2014 där tre dagar spenderades i fält och två dagar ägnades åt renritning.

Det är viktigt att ha i åtanke att den manuella uppmätningen 2014 utfördes i undervisningssyfte och att tidsåtgången därför inte går att jämföra med en professionell uppmätning av en erfaren individ. Det är även värt att notera att fotoskanningen inte heller utfördes av en individ med professionell erfarenhet av fotoskanning, vilket i viss mån likställer kunskapsnivån för de bägge försöken.

#### 2.4. FÖRMEDLING AV 3D INFORMATION

Tvådimensionella digitala foton är en av de huvudsakliga metoderna för att visualisera historiska föremål och för att skapa digitala arkiv (både on-line och off-line) i studiesyfte. Foton är ett snabbt enkelt och kostnadseffektivt sätt att dokumentera, bevara och förmedla information om artefakter. Bilder uppvisar ofta en lämplig detaljnivå vid visualisering och dokumentation men kan inte alltid anses vara det mest lämpade mediet att förmedla de fysiska kvalitéer som ofta är viktiga för att skapa förståelse för föremålets historiska innebörd (Galeazzi et al. 2015, s. 3).

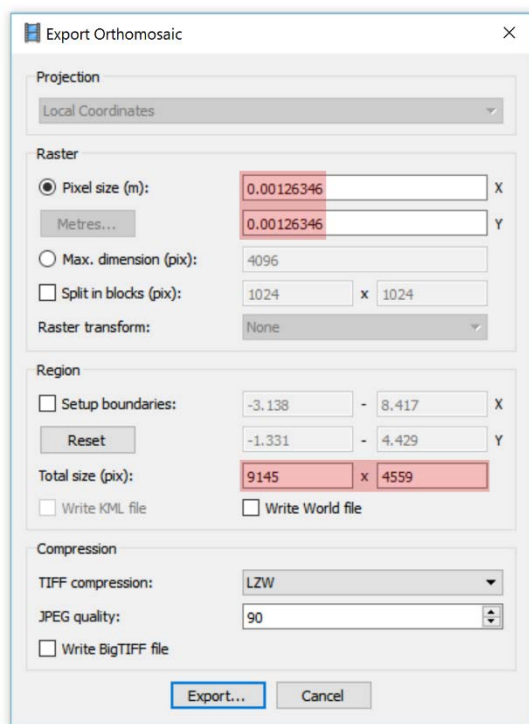
Även om fotoskanning framgångsrikt kan användas för att skapa 2D bilder och ritningar så är det tydligt att omvandlingen till 2D leder till att fördelar med 3D formatet går förlorade. Försök där studenter och yrkesverksamma inom arkeologi har fått studera föremål i fysisk form, via fotografier och via 3D modeller har visat att digitala 3D modeller har andra egenskaper vid förmedling än 2D foton. Studenter som via ett punktmoln studerade en ryttarstaty upplevde den som tyngre och mer livlig än de som studerade statyn via 2D foton. Studenterna med tillgång till ett 3D punktmoln visade även en bättre förståelse för specifika detaljer på statyn (Galeazzi et al. 2015, s. 27). 3D modeller gav upphov till lika långa beskrivningar tillgång till föremålet och längre beskrivningar än för 2D foton (Galeazzi et al. 2015, s. 16).

##### 2.4.1. KONVERTERING TILL 2D

Majoriteten av all kommunikation av uppmätningar eller andra typer av visualiseringar av kulturhistoriska byggnader och byggnadsdelar sker i dagsläget i tvådimensionella format så som papper eller PDF. Det blir därför viktigt för digital uppmätning att förhålla sig till detta i åtminstone ett initialt skede. Photo Scan har möjligheten att exportera rektifierade 2D foton. Om dessa rektifierade foton presenteras skalriktiga och med en måttstock så kan de fylla samma funktion som en manuell ritning eller uppmätning, med fördelen att de även visar en detaljerad textur.

För att kunna skapa ett rektifierat foto i Photo Scan krävs att modellen är processad så långt att det finns en polygonstruktur. Det krävs också att modellens storlek definieras antingen genom att skalstockar med kodade markörer använts vid fotograferingen eller genom att referensmått från föremålet överförs till 3d modellen. Det rektifierade fotot skapas genom kommandot "Workflow > Create Orthomosaic". Fotot kan sedan exporteras genom kommandot "File >

Export Orthomosaic > Export JPEG/TIFF/PNG” Om modellen har storleksbestämts korrekt (se 2.1.3) står då i påföljande dialogruta hur många meter en pixel representerar. Detta tal kan sedan multipliceras med antalet pixlar på bilden för att kalkylera bildens verkliga storlek, vilken sedan delas med önskad skala för att räkna ut hur stor bilden skall representeras i dokumentet för att representera en viss skala.



*Till exempel kan vi vid exporteringen få värdet 0.00126346 m/pix och en färdig bild på 9145x4559pix (se rödmarkerade fält i figuren till vänster). Antalet pixlar multipliceras då med pixlarnas storlek i meter. Bilden representerar alltså 11,554m x 5,760m och skall då till exempel i skala 1:100 vara 11,55cm x 5,76 cm i färdigt tryckt format. Att infoga bilder med ett visst mått är bland annat möjligt i Adobe In Design (Adobe, 2016).*

#### 2.4.2. INTEGRERING AV 3D MODELLER I PDF DOKUMENT

Acrobat Reader stöder visningen av 3D objekt i PDF filer sedan version 7. Objektet syns först i dokumentet som en bild (ifrån valfri förprogrammerad vinkel) men aktiveras när läsaren klickar på objektet, vilket tillåter läsaren att fritt vrida och vända på föremålet. Acrobat Reader tillhandahåller även en serie verktyg för att tolka modellen, så som möjligheten att ta mått direkt i modellen, skapa sektioner och snitt, byta mellan olika visualiserings lägen (så som textur, polygonstruktur, förstärkta konturer, perspektiv-projektion eller parallell-projektion). Det är även möjligt att i förhand programmera in olika kameravinklar, snitt och sektioner samt lägga till kommentarer i modellen. På så sätt kan upphovspersonen framhäva information som den bedömer som viktig eller nödvändig genom att komplettera med text, samtidigt som läsaren tillåts att bilda sig egna uppfattningar. Det går även att dela upp en modell i flera bitar som kan döljas eller göra sprängskisser (ett hus kan till exempel visas med eller utan tak och övervåning).

Photo Scan kan exportera modeller direkt till PDF. Detta möjliggör snabb och enkel spridning av inskannade modeller men dokumentet består då av enbart en modell. I många situationer är det mer intressant att kunna lägga till 3D innehåll i ett redan befintligt PDF dokument (så som en rapport eller dylikt). Då krävs andra programvaror så som Acrobat Pro DC (Adobe 2016) eller open-source programmet LaTeX (LaTeX 2016). Användandet av LaTeX beskrivs av Norman A. Graf i *Open Source Solutions for Incorporating 3D Information in PDF Files* (Norman, 2013).

3D-PDF är dåligt på att hantera högupplösta modeller och Agisoft rekommenderar att polygonstrukturer reduceras till 200,000 ytor innan de konverteras till 3D pdf (Agisoft, 2016, manual) men de flesta datorer kan hantera det dubbla, om än lite trögt. Om modellen exporteras som PDF direkt ifrån Photo Scan så uppstår ofta problem om texturen överstiger 4096k, vilket

kan vara i underkant på stora modeller. Denna reducering av polygonstrukturen och texturen minskar informationshalten i modellen och lämpar sig inte till alla syften. Till exempel minskar måttnoggrannheten i takt med att antalet polygoner minskar. För dokumentationsarbeten med mycket höga noggrannhetskrav är det därför ofta mer lämpligt att använda sig av fullupplösta modeller.

#### 2.4.3. FÖRMEDLING I FULL SKALA

För att kunna visa modeller i 3D utan att komprimera eller reducera upplösningen är ett enkelt alternativ att helt enkelt använda Photo Scans demoversion som visningsprogram. Demoversionen möjliggör öppnandet och navigerandet i modellen, mått kan extraheras och det är även möjligt att växla mellan punktmoln, polygonstruktur och textur. Den huvudsakliga begränsningen i demoversionen är att projekt inte kan sparas. En annan nackdel är att projektmappar för omfattande projekt kan bli ganska stora och därmed något svårare att förmedla. Projektmappan för inskanningen av Lorentzbergsladan var 2,6GB okomprimerad, men Photo Scan ger också möjligheten att spara filer i .psz (Photo Scan archive) vilket innebär en avsevärd minskning av filstorleken (filen för Lorentzbergsladan tar då bara 1,6GB). Photo Scan kan även exportera modellen till en mängd olika filformat och möjliggör på så sätt visning av modeller i 3e parts program.

Photo Scan har även en funktion för att skapa vad som kallas ”Tiled Models” vilket innebär att modellen delas in i block för att underlätta visning av stora filer och skapa förutsättningar för jämn navigering i stora modeller. Tekniken är ursprungligen utvecklad för att möjliggöra visning av mycket stora modeller så som städer eller stora geospatiala modeller. Vid navigering i modellen renderas endast de block som är synliga, upplösningen på modellen kan även varieras mellan olika block vilket möjliggör att block som befinner sig på avstånd kan visas med en lägre upplösning än block som är nära. Processen att skapa en block-modell kan ta ganska lång tid beroende på hur små blocken skall vara (mindre block tar längre tid att skapa men möjliggör en snabbare och jämnare modell). Agisoft tillhandahåller en särskild gratis programvara för visandet av block-modeller (Agisoft Viewer) vilken tyvärr inte stödjer måtttagning direkt i modellen.

#### 2.4.4. MOLNBASERAD FÖRMEDLING

Ytterligare ett alternativ vid förmedling av modeller är att använda sig av molnbaserade tjänster för att skapa allmänt tillgängliga arkiv av modeller. En intressant tjänst är Sketchfab vilken fungerar som en motsvarighet till youtube eller soundcloud fast för 3D modeller. Photoscan kan kopplas direkt till Sketchfab och modeller på Sketchfab kan bäddas in i webbsidor. Sketchfab har även stöd för VR, förinställda vyer och kommentarer länkade till punkter i modellen. Denna typ av förmedling kan med fördel användas för att tillgängliggöra 3D material. Sketchfab har olika kontoformer och tar ut avgifter för att visa modeller i hög upplösning. Ett bra exempel på informativt tillgängliggörande av kulturarv på sketchfab är modeller från Palmyra som laddats upp av den Parisbaserade gruppen ICONEM (<https://sketchfab.com/models/02c4e194c6d64a4385a30990ed9899bf>)

### 2.5. JÄMFÖRELSE MELLAN MANUELL OCH DIGITAL UPPMÄTNING

Manuell uppmätning har vissa tydliga fördelar: den bygger på enkla geometriska principer så som systemlinjer och koordinatsystem och är därför relativt enkelt att ta till sig och lära ut, ingen dyr utrustning krävs. Manuell uppmätning har också vissa betänkliga nackdelar. Flera individer är ofta inblandade och resultatet blir ytterst beroende på deras tillgängliga budget, tid, interna kommunikation, tålamod, ambition och förståelse för objektet. Arbetet delas upp i flera steg vilket kan ge upphov till felkällor och informationsbortfall vid uppmätning och renritning, eller mellan dessa. Arbetet blir även färgat av rådande synsätt och ideologi. Något som vid tidpunkten bedöms som helt irrelevant kan efter ett paradigmskifte vara av högsta vikt.

När de färdiga figurerna väl är skapade har materialet redan tolkats och förenklats flera gånger. Först och främst har ett tredimensionellt objekt omvandlats till ett tvådimensionellt genom att föras över till ett papper. Ytor finns ofta översiktligt visade i form av skrafferingar, eventuellt med vissa utmärkande detaljer inmätta för sig med större noggrannhet. I vissa fall visas fiktiva texturer, vilket enligt samtida uppmättningsdoktrin bör undvikas (Sjömar, 2000, s. 78) men verkar ha setts som oproblematiskt vid Eckhoffs uppmätningar. Samtliga mått har troligen avrundats vid omvandlingen till ritningens skala. För att konvertera ett verkligt tredimensionellt objekt till en platt figur med manuell uppmätning krävs alltså grova förenklingar.

### 2.5.1. HEMSE STAVKYRKA



*Interaktivt 3D-objekt,  
vänsterklicka för att aktivera.*



Ovan en stav från historiska museets förråd (Föremåls betn: SHM10232-18). Från vänster: Uppmätning stavens utsida (Eckhof, 1914, s. 87). Uppmätning med rektifierat foto som överlägg. Rektifierat foto skapat i Photo Scan. Till höger visas staven i profil enl. samma princip. Vid en jämförelse uppenbaras vissa tydliga skillnader. Den manuella uppmätningen har inte placerat ornament eller borrarade hål korrekt. Å andra sidan framträder resterna av borthuggna ornament i stavens ovanända tydligt i den manuella ritningen till skillnad från på det rektifierade fotot. Även stavens nedre ända skiljer sig från verkligheten. Jämförelsen av plankans profil (de tre figurerna t.h.) visar däremot fördelen med manuell uppmätning. Den i fotot knappt skönjbara falsen har i uppmätningen förtydligats för att underlätta läsarens förståelse för föremålet och byggnadens konstruktion. Det rektifierade fotot innehåller även artefakter där trä från bockar och reflektioner från plexiglas bakats in i bilden (se röda markeringar). Längst till höger finns en 3D modell av samma stav som aktiveras genom att vänsterklicka. Verktögsfältet visas genom att högerklicka och sedan välja verktyg>visa verktyg.



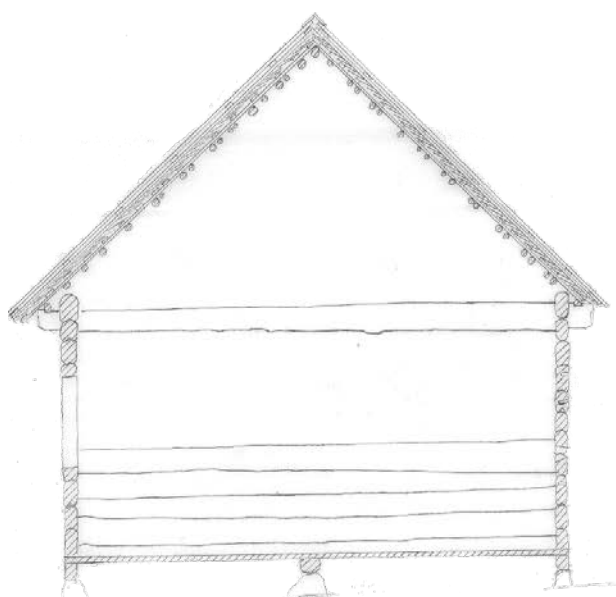
Figurerna till vänster visar alla en och samma syllstock från historiska museets förråd (Föremålsbeteckning: SHM10232 – 1). Figur nr 3 visar den manuella uppmätning som utfördes av Emil Eckhoff (1914, s81). Figur 5 visar ett rektifierat foto av samma del skapat i Photo Scan. Figur 4 visar uppmätningen med det rektifierade foto som transparent överlägg för att underlätta jämförelse. Figurerna i kolumn 2 visar förstoringar av ändarna ifrån samma perspektiv som fig. 3 (De tecknade figurerna är inte en förstoring av fig. 3 utan är detaljer hämtade från Eckhoff). Figurerna i kolumn 1 visar syllstockens ändrar vridna 90 grader (runt syllstockens längdaxel). Figuren på nästa sida är en 3D modell som aktiveras genom att vänsterklicka

En jämförelse mellan den manuella uppmätningen och det rektifierade fotot visar att de i huvudsak stämmer överens (se fig. 4). Den manuella uppmätningen verkar ha rätat ut de skevheter som föremålet uppvisar i det rektifierade fotot (se fig. 5, mindre troligt är att de har uppstått i efterhand) och det rektifierade fotot visar på så sätt mer objektiva egenskaper (vilket inte innebär att den stämmer överens helt med verkligheten). Den manuella uppmätningen visar konstruktiva detaljer med större tydlighet, denna skillnad är störst i det stora formatet (fig. 3-5) men vid en förstoring kommer det rektifierade fotots höga upplösning till sin rätt. Detta framträder tydligt i figuren nedan vilken visar att det rektifierade fotot har tillräcklig upplösning för att urskilja spår från brunröta och hål från skadeinsekter. (Detaljen överst i rad 1 visar en felaktighet där föremålet vid det manuella ritningsförfarandet inte orienterats korrekt).





## 2.5.2. LORENTZBERGSLADAN



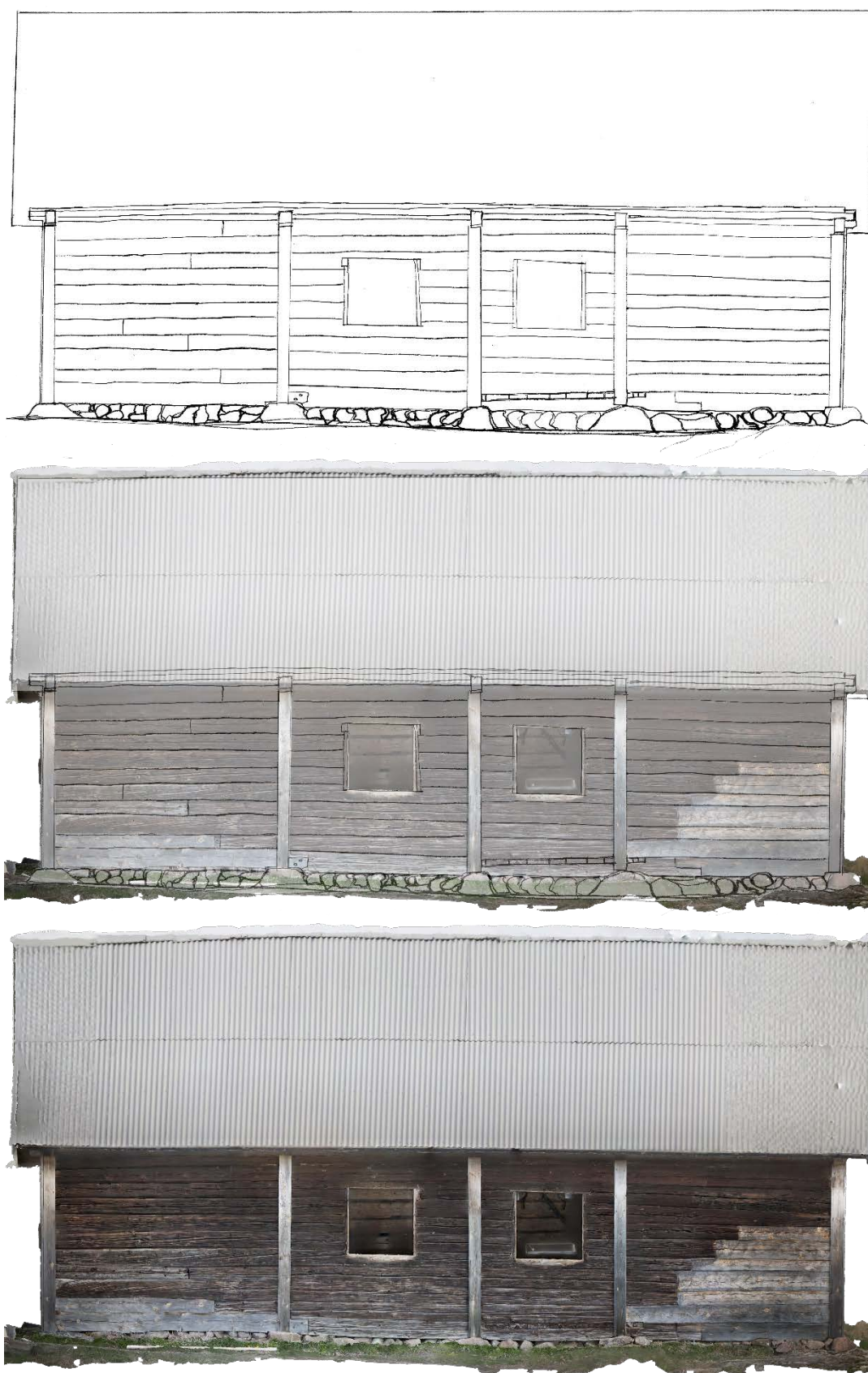
Överst: renritad uppmätning av snitt genom tröskloggen i Loentzbergsladan. Mitten: rektifierad bild från Photo Scan med uppmätningen som transparent överlägg. Nederst: rektifierad bild från Photo Scan.

En jämförelse mellan uppmätning och rektifierad bild visar på samma mönster som tidigare exempel. Den manuella uppmätningen visar till exempel takkonstruktionen med större tydlighet, medans det rektifierade fotot visar mer detaljer. Dock tenderar det rektifierade fotot att här ge "för mycket" information. Vid snitt genom takrafter visas till exempel inte bara snittytan utan även resten av raften i profil. Det kan även vara svårt att i det rektifierade fotot förstå skillnaden på de två mellanväggarna och gavelväggen.

Här har 3D modellen en klar fördel. Samma snitt kan åstadkommas i 3D modeller integrerade i PDF filer. Detta har en tydlig pedagogisk fördel då det blir enkelt att förstå till exempel mellanväggarnas inbördes relation. Vid snitt i modellen så markeras även snittkonturen med rött vilket förtydligar bilden. 3D-PDF har här fördelen av att visa den större mängden inmätt information utan att för den sakens skull offra förståelse. Den manuella uppmätningens visar en färdig tolkning medans 3D modellen tillåter informationskonsumenten att göra denna tolkning själv. Detta innebär däremot inte att tolkningen är helt upp till betraktaren eftersom att upphovspersonen kan förprogrammera vyer, snitt och även infoga kommentarer i modellen.



Interaktivt 3D-objekt, vänsterklicka för att aktivera.



Överst: Uppmätning av Lorentzbergsladan utförd 2014 (skalstock och systemlinjer är bortklippta och svärta och kontrast har ökats för att underlätta jämförelse). Mitten: Det rektifierade fotot med ett överlägg av uppmätningen. Nederst: Rektifierat foto exporterat ifrån Photo Scan.

*Den manuella uppmätningen och det rektifierade fotot uppvisar i huvudsak en god överensstämmelse. Tydligt är att olika information framträder beroende på mediet. Tröskgolvet's ändträ (synligt under det högra fönstret) framträder mycket tydligare i den manuella uppmätningen än på det rektifierade fotot. Även gränsen mellan stockarna framträder tydligare i den kontrastrika uppmätningen. Jämförelsen visar att den manuella ritningen inte redovisat skarvar mellan ursprungligt och lagat timmer i väggsektionen längst till höger, däremot har skarvar i den vänstra väggsektionen redovisats. Den manuella uppmätningen har även valt att lyfta bort plåttaket och visar på så sätt hammarbandet. Överlägget visar att stengrunden till stor del är fiktiv i den manuella uppmätningen, den bidrar till förståelsen för byggnaden men ger även ett felaktigt sken av att vara inmätt. Det rektifierade fotot å andra sidan uppvisar flera artefakter och felaktigheter framförallt på plåttaket. I höger och vänster ända av plåttaket har bristen på tillräckligt många överlappande foton skapat suddiga zoner och även vad som av betraktaren felaktigt skulle kunna läsas ut som en buckla (plåttakets nedre högra hörn). Även nocken har ett felaktigt utseende där nockplåten saknar skarpa kanter.*



*Interaktivt 3D-objekt,  
vänsterklicka för att aktivera.*

### 3. DISKUSSION OCH SLUTSATSER

#### 3.1. RESULTATSAMMANFATTNING

En modell skapas i Photo Scan i fem huvudsakliga steg. Först fotograferas objektet med överlappande fotografier. Ett systematiskt tillvägagångssätt ger oftast bättre resultat, samt gör problem med modellen enklare att förstå och felsöka. Fotografierna processas sedan i Photo Scan, bildpunkter identifieras automatiskt i bilderna och matchas med samma punkt i andra foton. Detta resulterar i ett gles punkt moln. Det glesa punktmolnet kan rensas och bearbetas för att förbättra modellens kvalitet eller direkt processas vidare till ett kompakt punktmoln. Det kompakta punktmolnet uppvisar oftast en varierande mängd artefakter (felaktigt inmätta punkter eller irrelevanta bakgrundsdetaljer) vilka måste rensas bort för att skapa en modell av hög kvalitet. Ur det kompakta punktmolnet skapas sedan en polygonstruktur på vilken en textur kan projiceras.

Fotografierna har en mycket stor inverkan på modellens kvalitet och deras skärpa är till stor del beroende på kvaliteten på kamera och objektiv. Samma kamera kan ge vitt skilda resultat om olika objektiv används. Varje objektiv har en optimal inställning där olika egenskaper balanseras mot varandra, denna punkt skiljer sig från objektiv till objektiv. Det är viktigt att ha låg ISO inställning eftersom att kornigheten som uppstår vid hög ISO förvirrar programvaran. För att få bra bilder är det oftast nödvändigt att ha ett stativ vilket även möjliggör bra bilder vid svaga ljusförhållanden. Ljusförhållanden påverkar modellens kvalitet på olika sätt. Skuggor och färgförvrängningar vid fotograferingen blir inbakade vid texturering. Skarpt motljus och olika ljusförhållanden på ett och samma objekt ger kvalitetsförsämringar och bör undvikas.

Om fotografier av hög kvalitet används är det möjligt att skapa modeller som väl stämmer överens med verkligheten. Användandet av markörer med kända inbördes avstånd skapar en möjlighet att åstadkomma mätbara modeller. Med hjälp av flera olika kända mått kan Photo Scan beräkna den genomsnittliga felaktigheten mellan dessa mått och på så sätt nå en högre noggrannhet än den för de individuella måtten. Photo Scan möjliggör dokumentation med en stor mängd mycket noggranna mått. För att på ett snabbt och effektivt sätt skapa modeller av föremål kan transparenta upplag användas men dessa kan ge bieffekter i form av förvrängningar och inbakade reflektioner. Inskanningen av Lorentzbergsladan visade även att en bra metod för att skapa heltäckande modeller är användandet av ”chunks” och denna metod bör därför användas när krav på absolut avbildning är viktigare än krav på tidsåtgång.

Fältarbetet på historiska museet och Hemse stavkyrka visade att Photo Scan kan användas för att skapa modeller av byggnadsdelar på ett mycket effektivt sätt men synliggjorde även problem så som svårigheter att identifiera och kontrollera de parametrar som påverkade resultatet. Komplicerade bakgrunder (i form av repetitiva ytor) inkluderades felaktigt i modellen av programvaran vilket i sin tur resulterade i en städningsprocess där mänskliga val krävdes för att avgöra vilka delar som var korrekt modell och vilka som utgjorde skräp och brus. Även vikten av korrekt systematik vid fotograferandet belystes dels genom att föremålens undersida genomgående blev sämre än ovansidan (ett resultat av dålig fotovinkel) och dels genom att programvaran i vissa fall inte lyckades skapa heltäckande korrekta modeller på grund av brist på foton eller förbisedda vinklar.

Fältarbetet med Lorentzbergsladan visade att Photo Scan kan skapa modeller över byggnader och även är kapabelt att korrekt sammanfoga interiör och exteriör. Denna modell blev däremot tung och mindre exakt än de enskilda byggnadsdelarna från Hemse Stavkyrka, ett resultat av den större skalan. Även här uppstod problem med repetitiva ytor och dålig fotovinkel när programvaran uppvisade svårigheter att korrekt modellera plåttaket på ladan. Tidsåtgången för skapandet av modellen visade att mängden tid spenderad på plats var relativt begränsad, och att processandet av modellerna tog lång tid men att ganska lite manuellt arbete krävdes.

Jämförelserna mellan manuella uppmätningar, rektifierade foton och 3D modeller visade att de olika medierna hade olika styrkor respektive svagheter. Den manuella uppmätningen kunde klart och tydligt visa vissa konstruktiva detaljer men utelämnade mycket information och uppvisade ofta felaktigheter. Rektifierade foton visade mer detaljer och dessa detaljer var mer exakt placerade, däremot kunde denna mängd av information i vissa fall överväldiga och förvirra betraktaren, de uppvisade även ofta artefakter i form av inbakade texturer. 3D modeller uppvisade styrkan från bägge de tidigare metoderna och gav en bättre spatial bild över objektet men drogs även med felaktigt återskapade ytor, skarpa hörn resulterade ofta i brus eller rundades av, texturer uppvisade även ofta problem med att angränsande föremål felaktigt bakades in i texturen. Ett annat problem med 3D modeller är att det enklaste sättet att i dagsläget förmedla dem är via 3D-PDF eller online-tjänster så som Sketchfab vilka oftast inte klarar att visa fullupplösta modeller och därför kräver att modellerna reduceras. Modeller kan även förmedlas med full upplösning på olika sätt men detta är ofta något mer komplicerat.

### 3.2. SLUTSATSER

SfM har definitivt potential att bidra till informationssamlandet kring och dokumenterandet av kulturhistoriska fastigheter och föremål och detta för alla yrkeskategorier som är involverade i bevarandearbetet. Metoden är kapabel att skapa mycket exakta modeller med en mängd information på väsentligt kortare tid än tidigare. SfM representerar ett nytt medium med nya fördelar och svårigheter men även en ny färdighet vilka olika individer kommer att tillägna sig i olika grad. Det krävs grundläggande kunskap för att över huvud taget kunna åstadkomma en modell och ytterligare kunskap leder i förlängningen till högre kvalitet på modellen. För att tekniken skall kunna få ett genomslag bland hantverkare krävs att dessa får möjligheten att tillgodogöra sig de grundläggande kunskaper som krävs för att kunna använda den.

Photo Scan har definitivt potentialen att utgöra ett tidseffektivt och därmed lönsamt verktyg för dokumentation av byggnader. Dokumentationen av Lorentzbergsladan tog med manuell uppmätning uppskattningsvis 40 timmar och med fotogrammetri ca 14 timmar (se punkt 2.3.3). En viktig faktor är att en licens för den professionella versionen av Photo Scan i dagsläget kostar straxt under trettio tusen kronor (billigare vid forskning och undervisning). Redan vid ett fåtal uppmätningar gör tidsbesparingen investeringen i Photo Scan lönsam.

Den nya tekniken öppnar dörrar för nya strukturer för byggnadsdokumentation, en väg framåt skulle kunna vara att antikvarier och hantverkare samverkar för att åstadkomma dokumentationen. Om hantverkaren tränas i att ta foton och antikvarierna i att skapa modeller skulle ett mycket effektivt informationsinsamlande kunna åstadkommas. För hantverkaren kan tekniken även användas på andra sätt än som en ren dokumentationsmetod. Högupplösta modeller med möjligheten att ge exakta längd, volym och ytmått samt visualiseringar är uppenbart värdefulla egenskaper vid projektering, planering och kostnadsberäkning. En hantverkare kan även komplettera en 3D modell med tänkta ändringar och på så sätt visualisera det för kunden.

### 3.3. KRITISK REFLEKTION

Detta arbete föresatte sig att undersöka SfM som verktyg för hantverkaren att dokumentera kulturhistoriska byggnader. Metoden testades på föremål som bedömdes vara representativa men en förutsättning var att det var tidigare dokumenterade, detta för att kunna skapa en jämförelse mellan manuell och digital uppmätning. Fokus hamnade även till stor del på de tekniska aspekterna och det praktiska användandet av programmet. För att ytterligare förstärka undersökningsmetoden borde fler hantverkare och autentiska hantverkssituationer integrerats i arbetet, i form av intervjuer och fallstudier in situ på byggarbetsplatsen. För att göra detta krävdes å andra sidan en förtrogenhet med teknik och material. Detta ledde i viss mån (inom ramen för detta ganska begränsade arbete) till en sorts moment 22.



En annan viktig fråga är livslängden på digital information. Det finns en utbredd oro över lagringshållbarheten för de digitala media som en övergång till 3D dokumentation skulle göra kulturmiljövården beroende av. Detta problem är stort och omfattar hela samhället, men är icke desto mindre viktigt att nämna. Omvandlingen av 3D modeller till materiella högupplösta rektifierade foton är ett alternativ som i viss mån skulle kunna användas som en analog backup, även om själva rumsdimensionen då går förlorad.

### 3.3.1. REFLEKTION KRING 2D OCH 3D

En tydlig skillnad mellan digital uppmätning och manuell uppmätning är att en manuell uppmätning har tolkning och bearbetning naturligt inbyggt i processen. Eller som Sjömar (2000, s. 72) skriver: *"När man ritar kan man utelämna det som är oväsentligt. Ritandet innebär att man tvingas att undersöka. Innan man sätter pennan till papperet, måste man studera situationen och översätta ögats bild till linjer"*. Detta framträder tydligt i jämförelserna mellan manuella uppmätningar och rektifierade foton (se kap. 2.5). De manuella uppmätningarna förmedlar ett redan tolkat och bearbetat koncept. De egenskaper som Eckhoff var intresserad av, så som de dekorativa ringarnas placering och den konstruktiva grundprincipen framträder klart och tydligt vilket förenklar läsarens förståelse av författarens vision och tanke. Andra saker lyser däremot med sin frånvaro, de har blivit kategoriserade (medvetet eller omedvetet) så som oväsentliga eller helt enkelt varit för svåra att mäta in och dokumentera. Denna utelämnade information består i de manuella uppmätningarna ofta av trästruktur (rötskador, sprickor, kvist), verktygsspår vilka kan skapa en annan typ av förståelse för byggnaden.

Processen att bearbeta och avlägsna det som är irrelevant i en digital uppmätning skiljer sig väsentligt ifrån det manuella uppmätandet. Arbetet med att processa informationen kommer vid den digitala uppmätningen snarare efter själva samlandet av data. Det kan vara svårt att lyfta bort vissa lager eller aspekter av föremålet, modellen avbildar scenen pliktstroget efter bästa förmåga. Att till exempel visa enbart tegelstenars kontur i ett murverk skulle kräva betydande efterarbete. I de figurer som föreställer det digitala snittet av Lorentzbergsladan (se kap. 2.4) finns till exempel ett överflöd av information där olika lager lätt flyter ihop och förvirrar. Den manuella uppmätningen ger eventuellt en bättre konceptuell förståelse för byggnaden och dess konstruktiva system. En möjlighet att här få det bästa från två världar kan vara att utgå ifrån ett rektifierat foto exporterat från Photo Scan och sedan manuellt eller via datorn "kalkera" information, för att på så sätt åstadkomma en bild med önskad komplexitet och information.

Något som ofta framhålls som en av det manuella uppmätandets stora fördelar är att det skapar en personlig kontakt med källmaterialet. Detta är något jag tidigare varit skeptisk mot men genom detta arbete har insett är högst relevant. Vid fältarbetet på Historiska museet var fokus i stor utsträckning på tekniken. Det var lätt att mitt bland Skärpedjup, ISO inställning och punktmoln glömma att objektet i fråga är ett av vårt lands äldsta byggnader och de känslomässiga upplevelser som det bär med sig. Arbetet fick en något mekanisk karaktär, vi räknade tid och försökte optimera processen.

En viktig funktion för vårt kulturarv är att skapa kontakt med det förflutna, att känna hur avstånd i tidsrymden vilka annars bara är siffror plötsligt krymper och skapar en närmast svindlande känsla av kontakt. Vad händer då när forskaren börjar betrakta föremål genom kamerans sökare och allmänheten genom en 3D modell (oavsett hur många polygoner den består av och hur högupplöst texturen är).

Sjömar talar om "hård" och "mjuk" information: *"Med hård information avses t.ex. planform, väggjocklek, fönsterplacering, dvs. sådant som är entydigt och rationellt. Med mjuk information menas stämningar och intryck, dvs. sådant som är sinnligt och intuitivt och snarare hör till omedvetet registrerande än till analytiskt klarläggande. Det kan vara ljusspelet i ett rum eller den subtila känslan av att något tidsmässigt hör samman."* En viktig fråga är hur digitala uppmätningssmetoder förhåller sig till hårda respektive mjuka värden. Digitala

uppmättningsmetoder har goda förutsättningar att registrera den ”hårda informationen” med extrem precision. Men kan de på sikt, kanske med hjälp av virtual reality, även fånga den mjuka aspekten av ett föremål eller en byggnad?

### 3.3.2. MODELLENS ÖVERENSTÄMMELSE MED VERKLIGHETEN

Det är viktigt att inte tänka på digitala uppmätningstekniker som helt objektiva. Instrumenten registrerar det vi riktar dem mot. Det mänskliga elementet finns fortfarande där under insamlande av data (fotografering) och städning av stökiga punktmoln där det felaktiga manuellt måste skiljas från det som bedöms vara riktigt. Fel i modellerna av olika slag och med varierande konsekvenser är vanligt förekommande. Ett exempel på det är syllstocken från Hemse stavkyrka (se punkt 2.5.1), det rektifierade fotot visar i ovanändan ett antal dymlingshål med vita prickar vilka skulle kunna ge en betraktare som inte personligen sett materialet uppfattningen att dessa dymlingshål var genomgående. I själva verket beror de på att modellen inte lyckades fånga hålets botten. På det rektifierade fotot som föreställer staven finns också ett antal vita dymlingshål. Dessa är skapades manuellt genom rensning av punktmolnet utifrån vetskapen om hur staven faktiskt såg ut. Samma fenomen på två delar från samma byggnad har alltså olika bakgrund och två helt olika informationsvärden. Det ena är direkt felaktigt medans det andra är et resultat av en empirisk kunskap om objektet.

Felaktigheter som dessa men även varierande noggrannhet, kunskap, syfte och ambition måste tydligt redovisas och hanteras för att informationen skall kunna ses som tillförlitlig. Det digitala uppmätandet kan i sin praktik hämta förhållningssätt och teorier från det manuella. Till exempel så kategoriserar Sjömar (2000) uppmätningar efter syfte och noggrannhetsgrad (skiss och notat, skissuppmätning, uppmätning) och påpekar att det är viktigt att på förhand skapa sig en tydlig bild om vad som skall dokumenteras, varför det skall dokumenteras, hur noga och på vilket sätt. Det digitala uppmätandet bör på samma sätt klart tydliggöra syftet med den digitala uppmätningen, dess detaljeringsgrad och dess måttnoggrannhet. Ur aspekten kritisk granskning kan digital uppmätning erbjuda goda möjligheter till granskning i och med att grund-data i form av fotografier lätt kan delas och bearbetas av andra och på så sätt kontrollera resultat.

## KÄLLFÖRTECKNING

### TRYCKTA KÄLLOR OCH LITTERATUR

Agisoft (2016 a). *Agisoft PhotoScan User Manual*

*Professional Edition, Version 1.2* [instruktionsmanual] tillgänglig:

[http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_2\\_en.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_en.pdf) [2016-05-06]

Alexander, Andrew. (2009) *SLRgear Rewiew - Nikon 10-24mm f/3.5-4.5G ED DX AF-S Nikkor*

<http://www.imaging-resource.com/lenses/nikon/10-24mm-f3.5-4.5g-ed-dx-af-s-nikkor/review/>

Almevik, Gunnar (2016) From Archive to Living Heritage. Participatory Documentation Methods in Heritage Crafts. In: *Crafting Cultural Heritage*, Ed. Palmsköld, Rosenqvist and Almevik. Gothenburg: Univ. pp. 77-99.

Appetecchia, Agostina (red.) (2014). *New methods for building archaeological documentation and analysis process: report of work 2012 : a project funded by the Swedish National Heritage Board, R & D funds*. Lund: Arkeologiska uppdragsverksamheten (UV Syd), Riksantikvarieämbetet

Bobeck, Josephine (2015) *3D-teknik som ett verktyg för bevarande - digital dokumentation och fysisk rekonstruktion* [kandidatarbete 15hp, konservatorsprogrammet, Göteborgs universitet] Tillgängligt:

[https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/39659/1/gupea\\_2077\\_39659\\_1.pdf](https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/39659/1/gupea_2077_39659_1.pdf)

Chan, Norman. (2004) *Living with Photography - What the Heck is an F-Stop?*

<http://www.tested.com/tech/photography/459735-living-photography-what-heck-f-stop/>

Eckhoff, Emil (1914-1916). *Svenska stavkyrkor: jämte iakttagelser över de norska samt redogörelse för i Danmark och England kända lämningar av stavkonstruktioner*. Stockholm: Cederquist

El-Hakim, S.F., F. Remondino, L. Gonzo and F. Voltolini (2008). Effective High Resolution 3D Geometric Reconstruction of Heritage and Archaeological Sites from Images, in: Posluschny, A., K. Lambers and I. Herzog (eds.), *Layers of Perception*. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Berlin, Germany, April 2–6, 2007 (Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte, Vol. 10). Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn, pp. 43-50.

Tillgänglig: [http://proceedings.caaconference.org/paper/19\\_el-hakim\\_et\\_al\\_caa2007/](http://proceedings.caaconference.org/paper/19_el-hakim_et_al_caa2007/)

Tillgänglig: <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/propylaeumdok/volltexte/2010/529>

Fassi, F., Fregonese, L., Ackermann, S. & Troia, V.D. 2013, "COMPARISON BETWEEN LASER SCANNING AND AUTOMATED 3D MODELLING TECHNIQUES TO RECONSTRUCT COMPLEX AND EXTENSIVE CULTURAL HERITAGE AREAS", *The International Archives of the Photogrammetry*, , pp. 73-80.

Tillgänglig: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5-W1/73/2013/isprsarchives-XL-5-W1-73-2013.pdf>

Galeazzi, F., Di Giuseppantonio Di Franco, Paola & Matthews, J.L. 2015, "Comparing 2D pictures with 3D replicas for the digital preservation and analysis of tangible heritage", *Museum Management and Curatorship*, vol. 30, no. 5, pp. 462-483.

ICOMOS (1964) *International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites* (The Venice Charter) 1964.

ICOMOS (1996) *Principles for the recording of monuments, groups of buildings and sites*

Sjömar, Peter & Hansen, Erik (2000). *Byggnadsuppmätning [Elektronisk resurs] : historik och praktik*. Stockholm: Riksantikvarieämbetet  
Tillgänglig på Internet: <http://www.raa.se/publicerat/9789172096301.pdf>

Internationall charters for restoration and conservation ICOMOS [samlingsdokument med charters]  
Tillgänglig: <http://www.icomos.org/charters/charters.pdf>

Johansson, K. 2011, *Byggnadsvårdsdokumentation. Hantverkarens perspektiv och bidrag*. Kandidatuppsats, institutionen för kulturvård, Göteborgs Universitet  
Tillgängligt: <http://hdl.handle.net/2077/25742>

Letellier, Robin., Schmid, Werner. & LeBlanc, François (2007). Recording, documentation, and information management for the conservation of heritage places [Elektronisk resurs] : guiding principles. Los Angeles: Getty Conservation Institute. Tillgänglig på Internet:  
[http://www.getty.edu/conservation/publications/pdf\\_publications/recordim.html](http://www.getty.edu/conservation/publications/pdf_publications/recordim.html)

Nationalencyklopedin, fotogrammetri.  
<http://www.ne.se.ezproxy.ub.gu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/fotogrammetri> (hämtad 2016-04-18)

Nocerino, E., Menna, F. & Remondino, F. 2014, "Accuracy of typical photogrammetric networks in cultural heritage 3D modeling projects", *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XL, no. 5, pp. 465.

Norman A. Graf (2012) 3DPDF: *Open Source Solutions for Incorporating 3D Information in PDF Files* SLAC-PUB-15295 Tillgänglig: <http://www-public.slac.stanford.edu/scidoc/docMeta.aspx?slacPubNumber=SLAC-PUB-15295> [2016-05-06]

RAÄ (Riksantikvarieämbetet), (2009) Vägledning Antikvarisk medverkan  
Tillgänglig: [http://www.raa.se/publicerat/varia2009\\_6.pdf](http://www.raa.se/publicerat/varia2009_6.pdf)

RAÄ, (1996) *Byggnader och byggda miljöer: dokumentation och rapporter*. 1. uppl. Stockholm: Informationsavd., Riksantikvarieämbetet

Robertsson, Stig (2003). *Fem pelare: en vägledning för god byggnadsvård*. 1. [uppl.] Stockholm: Riksantikvarieämbetet, Tillgänglig: <http://www.raa.se/publicerat/9789172096097.pdf>

Sjömar, Peter (2000). *Byggnadsuppmätning: historik och praktik*. 1. [uppl.] Stockholm: Riksantikvarieämbetets förl.

#### ELEKTRONISKA KÄLLOR

Bråthen, Alf. (1995). Wooden buildings on Gotland. <http://alfdendro.se/gotland/wooden.html#eke> [2016-04-28]

#### PROGRAMVARA

Adobe (2016), Acrobat XI Pro [programvara]

Adobe (2016), InDesign CC [Programvara] Tillgänglig: <http://www.adobe.com/se/products/indesign.html>

Agisoft (2016 b), Photo Scan 1.2.4 [programvara] tillgänglig: <http://www.agisoft.com/downloads/installer/>

LaTeX (2016) LaTeX [Programvara, Open Source] Tillgänglig: <https://latex-project.org/>