

3D-teknik som ett verktyg för bevarande

- digital dokumentation och fysisk rekonstruktion



Josephine Bobeck

Uppsats för avläggande av filosofie kandidatexamen i
Kulturvård, Konservatorprogrammet

15 hp

Institutionen för kulturvård
Göteborgs universitet

2015:09



3D-teknik som ett verktyg för bevarande - digital dokumentation och fysisk rekonstruktion

Josephine Bobeck

Handledare: Karin Hermerén

Kandidatuppsats, 15 hp
Konservatorprogram
Lå 2014/15

UNIVERSITY OF GOTHENBURG
Department of Conservation
P.O. Box 130
SE-405 30 Goteborg, Sweden

www.conservation.gu.se
Ph +46 31 786 4700

Program in Integrated Conservation of Cultural Property
Graduating thesis, BA/Sc, 2015

By: Josephine Bobeck
Mentor: Karin Hermerén

3D Technologies as a Tool for Preservation - Digital Documentation and Physical Reconstruction

This thesis aims to examine the impact of 3D technologies, how they can be implemented in conservation work and what practical or ethical aspects need to be considered. Literature studies and interviews provided information on the historical context of replication as well as technical application and methodology within the cultural heritage field.

Two case studies are presented in this thesis where 3D scanning and additive manufacturing have been used to restore fragmented sculptures: *The Thinker* by Rodin and *The Madonna of Pietranico*. During the restoration of *The Thinker* the original plaster cast was scanned to create a new lower leg that had been lost to vandalization. Deformations were analysed and corrected with the help of digital models. The restoration of *The Madonna of Pietranico*, which had been damaged in an earthquake, involved scanning the fragments to create an internal support structure. Digital analysis of the fractured fragments enabled exact positioning. These case studies show how digitization methods using non-contact structured light or laser scanning can be used to gain a detailed understanding of a work of art and its characteristics. Virtual models can help convey these aspects and virtual restoration can reveal the initial condition of the object. Additive manufacturing can aid in the process of restoration by enabling exact replication and reconstruction of an object's missing parts.

Additionally, the thesis explores how classic and contemporary theories of restoration ethics relate to the new working conditions made available by these techniques. 3D technologies have made it possible to recreate information digitally and physically with higher precision than ever before. As a result, questions arise about authenticity in terms of material and function, artist intent and integrity. Reconstruction of new parts can help reestablish the object as a whole and its associated values, but may also obscure its history. Complete replication of a work of art may indirectly protect the original, but poses questions about authenticity and originality. By displaying an object's restoration history alongside it, possibly complemented with virtual models, perhaps the experience of a restored work of art may be considered more "true" or complete. Finally, the role of the conservator is discussed in relation to the increase of interdisciplinary collaboration and the broadening tasks of the conservator. In short, the availability of 3D technologies, and the opportunities and problems they present, makes the ongoing discussions among conservators about the "ideal" and the "real" state of an object even more relevant.

Title in original language: 3D-teknik som ett verktyg för bevarande - digital dokumentation och fysisk rekonstruktion

Language of text: Swedish

Number of pages: 45

Keywords: 3D scanning, additive manufacturing, digital documentation, physical reconstruction, innovative restoration, fragmented sculpture, restoration ethics

TACK

Stort tack Karin Hermerén för fantastisk handledning.

Thank you for your valuable help

*Tonny Beentjes, Lucia Arbace, Elisabetta Sonnino, Marco Callieri, Alice Angossini,
Carlos Bayod, Marcel Bilow and Maria Franzon.*

1. INLEDNING	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Kunskapsläge.....	9
1.3 Problemformulering	10
1.4 Frågeställningar	10
1.5 Syfte och mål.....	10
1.6 Avgränsningar	11
1.7 Definitioner.....	11
1.8 Metod.....	12
1.9 Teoretisk referensram	12
2. HISTORIK, TEKNIK OCH ANVÄNDNING.....	14
2.1 Historiska replikeringsmetoder	14
2.2 Metoder för digital bildupptagning	15
2.2.1 Technical Imaging.....	15
2.2.2 Scanning och röntgen	16
2.3 Teknisk beskrivning: 3D-scanning	16
2.3.1 Laserscanning	16
2.3.4 Scanning med strukturerat ljus	17
2.3.5 Förutsättningar, noggrannhet och synfält	17
2.3.6 Digitalt efterarbete och virtuella modeller.....	18
2.4 Teknisk beskrivning: additiv och subtraktiv tillverkning	18
2.4.1 Additiv tillverkning med 3D-skrivare.....	18
2.4.1.1 Stereolithography.....	19
2.4.1.2 Selective laser sintering	19
2.4.1.3 Fused deposition modeling	19
2.4.1.4 Inkjet powder printing / 3D Printing	19
2.4.2 Subtraktiv tillverkning med CNC-fräsning	20
2.5 Praktisk applicering inom konservering.....	20
2.5.1 3D-scanning och virtuella modeller för dokumentation och analys	20
2.5.2 Additiv och subtraktiv tillverkning vid rekonstruktion och replikering	21
2.6 Begränsningar och riskfaktorer	24
3. FALLSTUDIER	25
3.1 Fallstudie 1: Rodins Tänkaren.....	25
3.1.1 Bakgrund och skadebild	25
3.1.2 Bakgrund och skadebild	25
3.1.3 Åtgärdsförslag och analys.....	25
3.1.4 Scanning av skulpturen och analys av digital modell.....	26
3.1.5 Restaurering med additiv metod	27
3.1.6 Retuschering	29
3.2 Fallstudie 2: Madonnan av Pietranico	30
3.2.1 Bakgrund, skadebild och åtgärdsförslag.....	30
3.2.3 Scanning, digital bearbetning och analys	30
3.2.4 Färganalys.....	32
3.2.4 Restaurering med traditionell och additiv metod.....	33
3.2.4 Retuschering	34
4. ETISKA PERSPEKTIV	35
4.1 Etikteori	35
5. ANALYS, DISKUSSION OCH SLUTSATSER	39
6. SAMMANFATTNING.....	44
KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING	46
APPENDIX.....	53

1. INLEDNING

Den här uppsatsen undersöker hur 3D-teknik kan integreras i konserveringsarbetet och vara ett verktyg för bevarande. Uppsatsen omfattar 15 hp och utgör examensarbete för kandidatexamen i kulturvård vid Göteborgs universitet. Uppsatsen är skriven under vårterminen 2015 och avslutar utbildningen på Konservatorprogrammet med inriktning mot kulturhistoriskt och arkeologiskt material.

1.1 Bakgrund

Inom kulturvård och konservering har olika sorters 3D-tekniker blivit ett förekommande verktyg för att dokumentera och stödja restaureringsprocessen. Trots att 3D-scanning och additiv tillverkning har använts under ett flertal år inom industrin är det först under de senare åren som spridningen och tillgängligheten har blivit större inom kulturvårdsfältet.

Med alla nya tekniker kommer frågeställningar kring användandet av dem; hur de kan tillämpas men även vad de har för inverkan på konservatorns arbete och sätt att se på bevarande. Genom att studera tidigare projekt och de frågeställningar som konservatorn ställts inför, kan konservatorer som ska närma sig tekniken idag få en bättre förståelse för möjligheterna men även de aspekter som kan beaktas i processen för att bevara verkets autenticitet.

I denna uppsats ges inledningsvis en historisk bakgrund av replikeringsmetoder, därefter en grundläggande teknisk presentation av 3D-scanning och additiv tillverkning med 3D-skrivare samt av kompletterande metoder. Aktuella projekt presenteras sedan för att visa hur dessa metoder kan appliceras inom konservering. Begränsningar och riskfaktorer beskrivs före avslutat kapitel. I kapitel tre undersöks två fallstudier där konservatorer har använt 3D-teknik för att digitalt dokumentera och fysiskt rekonstruera delar av skulpturer vid restaurering. Utifrån en etisk referensram given i kapitel 4, samt intervjuer, analyseras och diskuteras fallstudierna i påföljande kapitel 5.

1.2 Kunskapsläge

3D-teknik tillämpas idag inom många olika områden. Inom konservering har laser bland annat använts för att effektivt rengöra ytor eller göra uppmätningar av större byggnader och föremål. Idag används den information som kan utvinnas genom 3D-scanning allt oftare som underlag för digital dokumentation, analys och åtgärdsförslag. Med hjälp av scanning får konservatorn möjlighet att studera föremålet och dess tillstånd närmre än med traditionella uppmättnings- och analysmetoder.

Additiv tillverkning, ofta kallad 3D-printing, kan också vara en hjälp i restaureringsarbetet liksom subtraktiv tillverkning eller fräsning. Dessa metoder, i kombination med scanning, kan möjliggöra replikering av förlorade delar eller fullständiga verk.

Eftersom 3D-tekniken utvecklas konstant uppkommer nya frågor och möjligheter kontinuerligt. I litteratur för konservatorer idag diskuteras bland annat hur arbetet med digitala modeller kan utvecklas och anpassas till konservatorns behov samt hur viktig konservatorns roll kan vara i detta. Den omfattande mängd litteratur där autenticitet som begrepp diskuteras är främst inte knuten till 3D-teknik utan till historisk replikering och kopiering. I övrigt finns ett antal rapporter och artiklar publicerade där restaureringsprojekt innefattande 3D-teknik beskrivs i sin helhet, dock i ett till synes begränsat antal. Däremot finns ett flertal artiklar som berör 3D-teknik i förhållande till konservering och kulturvård tillgängliga.

1.3 Problemformulering

3D-teknik har revolutionerat sättet konservatorer kan utföra dokumentation och restaurering. I och med att tekniken möjliggör en högre form av precision än traditionella metoder, skapas andra förutsättningar till att återge och återskapa information digitalt och fysiskt. Nya metoder och förutsättningar ger upphov till nya frågeställningar rörande hur 3D-teknik påverkar bevarandearbetet — något som undersöks i denna uppsats.

Genom att studera två fallstudier ges en bild av hur tekniken kan användas för digital dokumentation och analys samt för rekonstruktion av skadad skulptur. Från en utgångspunkt i etikteori, diskuteras begreppet autenticitet utifrån de tekniska förutsättningar som finns idag. På så sätt kan etiska och praktiska frågeställningar undersökas vilka kan vara viktiga att belysa i förhållande till konservatorns arbete och uppgift.

1.4 Frågeställningar

- Vilka 3D-tekniker och metoder används idag inom konservering och hur kan de bidra till att bevara föremål av kulturhistoriskt värde?
- På vilka sätt kan dessa tekniker användas som ett verktyg för dokumentation och analys?
- När och hur kan dessa metoder användas för replikering eller rekonstruktion?
- Vilka etiska och praktiska aspekter kan uppkomma i arbetsprocessen som konservatorn bör ha i åtanke?

1.5 Syfte och mål

Syftet med denna uppsats är att undersöka hur 3D-teknik kan integreras i konserveringsarbetet och vara ett verktyg för bevarande. Målet är att belysa olika sätt som tekniken kan användas på, samt att undersöka de frågeställningar som uppkommer i och med nya förutsättningar i arbetsprocessen.

1.6 Avgränsningar

De tekniska beskrivningar som ges i inledningsdelen är översiktligt beskrivna. Endast de mest förekommande programvarorna för digital bearbetning kommer att omnämnas i texten. Prisuppgifter på teknisk utrustning kommer inte att anges då dessa varierar och är svåra att säkerställa. Juridiska aspekter så som copyright och äganderätt kommer inte heller att behandlas mer än att nämnas under diskussionen.

1.7 Definitioner

Begreppen replik, reproduktion, kopia och faksimil används ofta om varannat och kan vara svåra att åtskilja. *Replik* definieras enligt Nationalencyklopedien (2015) som en upprepning av ett verk av konstnären själv, medan *replik* beskrivs som en duplett eller kopia av ett konstföremål i Svenska Akademiens Ordbok (2014). En *kopia* kan beskrivas både som en ”reproduktion eller efterbildning av ett original” (Svenska Akademiens Ordbok, 2014) och som en ”avbildning av ett annat föremål” (Nationalencyklopedien, 2015).

Reproduktion kan definieras som en ”avbildning av ett konstverk avsedd att troget återge detta, vanligen mångfaldigad och utförd utan hänsyn till originaltes mått, ofta på papper” (Nationalencyklopedien, 2015) men även som ”en naturtrogen framställning eller skildring av något som tidigare framställts” (Svenska Akademiens Ordbok, 2014). En *faksimil* beskrivs i Nationalencyklopedien (2015) som ”en exakt avbildning i tryck” och som ”troget återgivande avbildning i skrift, teckning eller dylikt” eller ”reproduktion åstadkommen genom tryck” i Svenska Akademiens Ordbok (2014). Endast i Svenska Akademiens Ordbok (2014) anges att en *rekonstruktion* är en ”återuppbyggnad eller återskapande av något i dess ursprungliga form”.

Begreppen kopia och replik diskuteras i Hermeréns kapitel *Vad är en replik?* (2014). En *replik* beskrivs som en upprepning av ett tidigare verk utförd av konstnären eller dennes medhjälpare. Dupletten, som repliken även kallas, behöver inte vara i detalj likformig. En *kopia* däremot är en upprepning av ett verk utförd av någon annan. Form, färg och material stämmer överens med originalet men kopian kan göras i ett annat format (s. 29).

Det är med andra ord svårt att säkerställa entydiga definitioner vad gäller dessa begrepp. Även engelskans termer kan variera och påverka vårt sätt att associera till dem. I denna uppsats används både begreppen *replikera* och *kopiera* eftersom förlorade delar av verk tagits fram i exakta mått men inte alltid med samma material. Även begreppet *rekonstruktion* används för att beskriva en exakt återuppbyggnad av en form, eftersom denna term kan appliceras på båda fallstudier. Ordet *replikering* används även för att beskriva historiska metoder då dessa har varierat i utförande.

Begreppet 3D-printing används också på ett annat sätt än vad det från början hänvisade till; en specifik typ av skrivare som nu även kallas Inkjet Powder Printing. Idag använts det av

många som en övergripande term för alla skrivare som skapar en form genom att addera material. Dessa 3D-skrivare går under flera benämningar; 'rapid prototyping' och 'additive manufacturing' för att nämna några. I denna uppsats kommer termen additiv tillverkning, från 'additive manufacturing', att användas som samlingsnamn för alla typer av 3D-skrivare.

I övrigt används engelska termer där det inte finns svenska motsvarigheter.

1.8 Metod

Denna kvalitativa studie undersöker två olika fallstudier och hur de på sitt sätt har implementerat 3D-teknik i konserveringsarbetet. För att få en förståelse för hur teknikerna kan användas, har vetenskapliga artiklar och rapporter studerats — både specifikt för fallstudierna men även från andra projekt. Vidare har två intervjuer, en för varje fallstudie, genomförts via mejl för att öka förståelsen för respektive projekt. Tonny Beentjes, programansvarig för metallkonservering vid universitetet i Amsterdam och en utav konservatorerna vid arbetet med *Tänkaren* av Rodin, svarade på det ena intervjuformuläret. Det andra intervjuformuläret gällande restaureringen av *Madonnan av Pietranico* svarade tre personer på varav samtliga hade deltagit i arbetet; intendent för kulturarv i regionen Lucia Arbace, konservator Elisabetta Sonnino och teknisk forskare Marco Callieri. Ytterligare ett intervjuformulär skickades till företaget Factum Arte för att få en inblick i ett av deras projekt. Arkitekt Carlos Bayod svarade på detta.

1.9 Teoretisk referensram

Till denna uppsats har ett flertal vetenskapliga artiklar och rapporter studerats. Dessa har publicerats via vetenskapliga tidskrifter för konservering så som *Journal of the American Institute for Conservation*, *Journal of Conservation and Museum Studies* och *E-conservation Journal* eller vid konferenser för konservatorer, där vissa rapporter senare getts ut i bokform. Exempel på några av de artiklar som varit värdefulla i uppsatsen är *3-D Imaging as a Research Tool for the Study of Bronze Sculpture* (Beentjes et al., 2013), *Imaging Techniques in Conservation* (Payne, 2013), *Application of High Resolution Scanning Systems for Virtual Moulds and Replicas of Sculptural Works* (Tucci & Bonora, 2007) och *3D Scanning and Replication for Museum and Cultural Heritage Applications* (Wachowiak & Karas, 2009). Dessa artiklarna har varit särskilt viktiga eftersom de beskriver digital och praktisk tillämpning inom just konservering. Tekniska aspekter finns även beskrivna i dessa källor. Teknisk litteratur har studerats som komplement, varav *Printing Things* (Warnier & Verbruggen, 2014), *3D Printing for Artists, Designers and Makers* (Hoskins, 2013) samt *Infrared Reflectography Using 3D Laser Scanning* (Dietz et al., 2013) har gett särskilt relevant information. De två förstnämnda har gett koncis och grundläggande information medan den sistnämnda har satt tekniska aspekter i en större kontext inom konservering.

Det etiska perspektivet som främst undersöks i uppsatsen är autenticitet i förhållande till replikering och rekonstruktion med hjälp av 3D-teknik. Etiska perspektiv har studerats genom metodik-litteratur för konservatorer, både äldre och nyare litteratur, för att få en bild utav utvecklingen av etiska förhållningssätt. Även något nyare litteratur inriktad på replikering och autenticitet har studerats, bland andra *Authenticity and Replication: The Real Thing in Art and Conservation* (Gordon, 2014) och *Art Conservation and Authenticities: Material, Concept and Context* (Hermens & Fiske, 2009). Dessa två böcker har varit särskilt värdefulla då de innehåller texter från ett flertal författare. Samtliga texter diskuterar begreppet autenticitet i förhållande till konservering och restaurering vilket gjort böckerna viktiga som underlag för analysdelen.

Även *Conservation Treatment Methodology* (Appelbaum, 2007) har studerats för samtida konserveringsmetodik utöver *Contemporary Theory of Conservation* (Muñoz-Viñas, 2005). Eftersom Muñoz-Viñas ofta används som referens i etikdiskussioner, ansågs det viktigt att även referera till en annan metodteoretiker för att få ett bredare perspektiv.

2. HISTORIK, TEKNIK OCH ANVÄNDNING

För att ge en bakgrund till ämnet i uppsatsen, ges i detta kapitel en historisk beskrivning av replikeringsmetoder. Därefter presenteras metoder för dokumentation samt de scanning- och utskriftsteknikerna som används inom konservering idag.

2.1 Historiska replikeringsmetoder

Replikering är inte på något sätt ett nytt fenomen. Kunskapen att göra avgjutningar med ”cire perdue” eller förlorat vax har människan känt till sedan 7000 år (Sculptureworks, 2014). I romarriket reproducerades grekiska skulpturer i brons och marmor genom att man tog gipsavgjutningar av skulpturerna. De som skulle gjutas i brons var ihåliga och de som skulle tas fram i marmor var solida och markerade med mått (The Metropolitan Museum of Art, 2015). Under renässansen blev replikering av antika skulpturer vanligt igen. En tid senare i 1700-talets England väcktes frågan om reproduktiva processer och vilka skulpturer som verkligen var från Grekland och vilka som hade replikerats av romarna (Hughes & Ranfft, 1997, s. 2). Olika attityder kring reproduktion följde under århundradena fram tills idag. Idag ser metoden för replikering och kopiering annorlunda ut tack vare digital teknik. Tekniken är idag inte invasiv. De scanninginstrument som används vidrör inte ytan på föremålen.

Historiska metoder för replikering finns dokumenterade från sekelskiftet 1700-1800. Dessa kan sägas vara föregångare till dagens 3D-teknik och skrivare, där man överfört information och bearbetat material för att efterlikna ett annat föremål. I boken *3D-Printing for Artists, Designers and Makers* (2013) argumenterar Hoskins att James Watts skulpturkopieringsmaskin från denna tid är en av dessa föregångare. Watt, som även uppfann ångmaskinen patenterade aldrig sin maskin. Däremot vidareutvecklade Benjamin Cheverton Watts maskin år 1884 vilken han även patenterade. Denna skulpturkopieringsmaskin arbetade reducerande på material med hjälp av en så kallad pantagraf som är ett mekaniskt verktyg som överför information i en annan skala från en yta till en annan (Hoskins, 2013, s. 17).

En annan historisk metod är Francois Willèmes så kallade fotoskulptur från 1860-talet. Willèmes metod gick ut på att fotografera en skulptur från 24 olika perspektiv runt om objektet. Sedan ritades siluetterna av och projicerades på en skärm. Därefter användes en pantagraf med ett skärverktyg i ena änden för att karva ut formen ur ett block. Det finns även en variant av denna metod där hundra fotografier fördes över till träskivor som sedan kunde sättas ihop till en form (Hoskins, 2013, s. 18–19), vilken påminner om dagens additiva metoder med 3D-skrivare.

År 1865 utvecklade Walter Woodbury en fotomekanisk process. Denna metod bestod av att hålla gelatin i en blyform med relief gjord från ett foto. Kaliumdikromat tillsattes i gelatinet för att göra det ljuskänsligt. Gelatinet trycktes ut i formen och lades i en press

tillsammans med papper. Där reliefen var djupare och gelatinet tjockare, blev avtrycket mörkare (Hoskins, 2013, s. 20). Denna metod var på sätt och vis en föregångare till ljuskänsliga metoder inom additiv tillverkning.

Lite längre fram i tiden, under 1940-talet, utvecklades maskinen CNC (Computer Numeric Control) som enkelt beskrivet överför data till en mekanisk fräs som skär ut en form ur ett solitt block. CAD (Computer Aided Design) och CAM (Computer Aided Manufacturing) är designverktyg som används för att programmera CNC-maskiner. Dessa program används även idag. (Hoskins, 2013, s. 24–25).

Fotogrammetri, uppmätning med hjälp av fotografier, är en annan metod som har haft betydelse för utvecklingen av digital uppmätning. Analog fotogrammetri har funnits som metod sedan 1849 då man använde triangulation, eller tre punkter, för att rita kartor. I och med att metoden blev digital runt 1980-talet kunde den då appliceras på digital uppmätning av exempelvis skulpturer (Beentjes et al., 2013).

Ett av de första mer kända försöken att scanna en skulptur med hjälp av 3D-scanning var 1998-99 då två framstående universitet i USA digitaliserade skulpturer av Michelangelo (Groenendyk, 2013). Digital 3D-scanning med laser eller ljus hade då funnits sedan 1985 (Artescan, 2012).

2.2 Metoder för digital bildupptagning

Nedan presenteras några metoder som kan användas som alternativ och i samband med 3D-scanning och digital analys.

2.2.1 Technical Imaging

'Technical imaging' är ett samlingsbegrepp för olika typer av tekniskt fotografi där ljuskällor används på olika sätt för att ta fram information om ett objekts yta.

'Multispectral imaging' innebär att ett objekt belyses med olika typer av våglängder inom det elektromagnetiska spektrat. På så sätt kan information tas fram som inte är synlig för ögat (Dyer et al., 2013). Med 'infrared reflectography imaging' (IRR) i kombination med en kamera kan man synliggöra pentimenti (ändringar) och skisser gjorda av konstnären *under* själva målningen. Infrarött ljus penetrerar ytan men det är okänt hur djupt och på vilket sätt. Ultraviolett ljus penetrerar inte ytan lika djupt men kan ändå tydliggöra ytan och ge information om dess tillstånd (Heritage, 2015). Material som utsätts för UVA absorberar eller fluorescerar strålningen. De områden som fluorescerar kan exempelvis ge information om ytbehandlingar. Både IRR och 'ultraviolet fluorescence' (UVF/UV-FL) kan synliggöra pigment och organiskt material (Graham, 2012a, s. 53).

'Polynomial texture mapping' (PTM) är en teknik där en bild framställs av flera för att visa strukturen av en yta. Bilderna tas då ytan belyses från olika håll. Ljuset kan vara av olika våglängd och intensitet. Varje pixel innehåller information om färg och form. På så sätt skapas en tvådimensionell bild som upplevs tredimensionell. Bilderna kan påvisa skador som saltvandringar, craquelure och pigmentbortfall men även text och form som inte syns med blotta ögat (Payne, 2013). PTM kan även användas på blanka ytor (Cultural Heritage Science Open Source, 2015).

Colorimetri eller kalibrering av färgfoton görs för att säkerställa färg eftersom denna kan ändra karaktär beroende på ljuset. Varje färg har ett digitalt siffervärde som används som utgångspunkt för en viss färg. Kalibreringen innebär att ett foto jämförs med den numeriskt rätta färgen och justeras till denna. På så sätt kan rätt färg tas fram oavsett i vilket ljus bilden först togs. På detta sätt kan färgförändringar studeras och färg analyseras (Vasquez et al., 2013).

2.2.2 Scanning och röntgen

En skiktröntgen (CT-scanning) kan ta fram bilder på insidan av ett föremål och även detektera organiskt material. Numera är även micro-CT väl utvecklat som kan ta fram högupplösta bilder på mindre föremål. Bilderna kan modifieras till 3D-bilder och användas till virtuella modeller eller som underlag till 3D-utskrift. Bilderna är svartvita där vita områden indikerar högre densitet i materialet (Payne, 2013). Att se hur ett föremål ser ut i detalj på insidan kan vara en viktig del för förståelsen av exempelvis arkeologiska föremål.

Med svepelektronmikroskop (SEM-scanning) kan en yta analyseras genom scanning med en fokuserad stråle av elektroner. Bilderna som tas fram är högupplösta och kan ha en förstoring med upp till flera tusen gånger. Den här typen av scanning kan användas i kombination med andra analysinstrument så som röntgen-flouescens (XRF) för analysera materialets komposition och nedbrytning. Bilder tagna med båda metoder kan läggas ihop och analyseras tillsammans (British Museum, u.å.).

2.3 Teknisk beskrivning: 3D-scanning

3D-scanning innefattar olika metoder med laser eller ljus och är idag ett verktyg för dokumentation av föremål och framtagning av virtuella modeller. De två mest vanliga typerna för scanning av kulturhistoriska föremål är laserscanning byggd på principen triangulation och scanning med strukturerat ljus då dessa ger exakta uppmätningar, är pålitliga och kan ha lägre kostnad (Wachowiak & Karas, 2009, s. 148). Ingen av de metoder som presenteras nedan vidrör föremålet vid uppmätning.

2.3.1 Laserscanning

En uppmätning med laserscanning byggd på ett triangulationsystem sker då en UV-laserstråle med låg intensitet projiceras på ytan av ett föremål och reflektionen registreras

och mäts med en digital kamera eller sensor. Laserkällan och kameran måste vara i bestämt avstånd från varandra för en riktig uppmätning. På så sätt skapas tre referenspunkter som kan räkna ut avståndet mellan alla punkter på ett föremål (Wachowiak & Karas, 2009, s. 150). Digitala kameror har ofta möjlighet att detektera infraröda våglängder vilket gör att bilder på den underliggande ytan kan tas i samband med uppmätningen (Dietz, 2011). Time-of-flight-system (även kallat LiDAR) är en annan typ av laserscanning som lämpar sig bättre för arkitektoniska objekt och byggnader då scannern kan mäta större avstånd. Dessa typer av scannrar mäter avstånd genom att beräkna tiden det tar för laserstrålen att reflektera tillbaka till sensorn (Payne, 2013).

2.3.4 Scanning med strukturerat ljus

'Structured light scanning' eller scanning med strukturerat ljus görs också med tre fasta referenspunkter; en projektor, en kamera och ett objekt. Från projektorn projiceras ett strukturerat mönster på ytan av ett föremål. Kameran spelar in hur ljuset deformeras och räknar ut avståndet genom en algoritm. Metoden är fördelaktig inom konservering då varje registrerad XYZ-koordinat kan registreras med sin individuella RGB-valör (röd, grön, blå) vilket kan vara förmånligt vid efterarbetet (Wachowiak & Karas, 2009, s. 150). Färgat ljus eller vitt ljus kan användas beroende på vilken information man vill få fram. Inom konservering används främst vitt, infrarött och ultraviolett ljus (Klaas, 2012).

2.3.5 Förutsättningar, noggrannhet och synfält

Både triangulation och strukturerat ljus som metoder kan registrera färg, däremot kan de ibland stöta på upptagningsproblem bland annat då ytan på föremålet är för blankt, ljusabsorberande eller har för skarpa kanter. Dessa typer av scannrar behöver även direkt synfält över föremålen och ofta en fixerad position mellan laser-eller ljuskällan och kameran för att kunna göra uppmätningen. Vanligtvis lämpar sig portabla scannrar som kan monteras på en ställning eller tripod för scanning av museiföremål (Wachowiak & Karas, 2009, s. 148–151). Hur exakt en uppmätning kan bli beror på storleken på objektet och avståndet mellan scannern. Små objekt kan ha ett ungefärligt avstånd till scannern på 0.1 till 1 meter. Medelstora objekt kan ha ett avstånd på 1 till 10 m och stora objekt ett avstånd på 10 till 100 m. Precisionen i uppmätningen varierar mellan 1 mm till 0.1 mm hos scannrar baserade på triangulation och strukturerat ljus (Tucci & Bonora, 2011, s. 576). Synfältet i scannern (FOV; Field of view) och bildernas upplösning beror på avståndet. Företrädelsevis används en scanner som har olika synfältsinställningar. På så sätt kan bilder med olika upplösning samlas in och sedan sammanföras digitalt. Bilderna består av punkter med XYZ-koordinater. Punkter som relaterar till varandra kallas "point clouds" (Wachowiak & Karas, 2009, s. 151–152). Antalet punkter som registreras beror på scannern, men dessa kan uppgå till 80 000 per sekund (Happa et al., 2009).

2.3.6 Digitalt efterarbete och virtuella modeller

Efter scanningen bearbetas den information som samlats in digitalt i det program som tillhör den specifika scanningutrustningen. Bilder tagna från olika vinklar överlappas och sys ihop. Eventuella hål i det tredimensionella nätet kan sys ihop genom att beräkna kurvor (Happa et al., 2009). Sammanförandet mellan de överlappade bilderna kan göras genom att matcha konturer mot varandra. Systemet rättar själv till så att överlappningen blir perfekt (Wachowiak & Karas, 2009, s. 152).

Det finns olika typer av programvaror och filformat för digital bearbetning. Virtuella modeller kan göras i program som CAD och MeshLab. Inom kulturvårdssektorn används särskilt programmet MeshLab för att skapa virtuella modeller av så kallade ”point clouds”. MeshLab har tagits fram särskilt för kulturvårdssektorn av ISTI-CNR (Istituto di Scienza e Technologie dell’Informazione, Pisa) (Graham, 2012a, s. 46). Filformatet kan skilja sig beroende på vilket program som används. Vanligt förekommande är PLY- och STL-filer. Båda filformat sparar information i geometriska nät, vanligtvis trianglar. För att kunna skriva ut filen i 3D-skrivare krävs en STL-fil (Tucci & Bonora, 2007).

Trots att många system registrerar färg vid varje koordinat finns det de där man behöver applicera färg vid efterarbetet; en så kallad ”texture-mapping”. Detta är ett arbete som kan ta lång tid men det kan också vara önskvärt då det möjliggör lättare filer. Konservatorer kan spela en viktig roll för utvecklingen av scanners med färgupptagning eller metoder för färgläggning menar Wachowiak och Karas (2009, s. 156).

Det finns många sätt att studera en virtuell modell. Den kan roteras, studeras på nära håll, belysas med olika ljus och appliceras med färg (färgdata eller ”falsk” färg). En virtuell modell kan även visas i tvärsnitt och ge uppgifter om volym och tyngdpunkt för att nämna några möjligheter (Wachowiak & Karas, 2009, s. 154–155). Virtuella modeller kan även kombineras med bilder tagna med andra metoder.

2.4 Teknisk beskrivning: additiv och subtraktiv tillverkning

’Additive manufacturing’, ’layered manufacturing’, ’rapid prototyping’ eller ’3D Printing’ är alla benämningar på olika sorters 3D-skrivare som alla skapar en form genom att addera material. Subtraktiva metoder eller konventionell tillverkning syftar på CNC-maskiner som tar fram en form genom att subtrahera material.

2.4.1 Additiv tillverkning med 3D-skrivare

Additiv tillverkning syftar på information som skrivs ut i tvådimensionella lager och på så sätt skapar en tredimensionell form (Hoskins, 2013, s. 42). Utskriften kan göras på olika sätt. I detta avsnitt presenteras de vanligaste grupperna (Warnier & Verbruggen, 2014, s. 10–14), som även är de mest förekommande inom kulturvård.

2.4.1.1 Stereolithography

'Stereolithography' (SLA/STL) var den första 3D-skrivaren att kommersialiseras under 1980-talet (Warnier & Verbruggen, 2014, s. 10–11). Den här typen av skrivare använder fotopolymerisation för att ta fram en form. UV-laser skär ut formen ur ett bad av flytande fotopolymerharts som sedan tvärbinder och stelnar i ljuset. Varje avslutat lager förs under ytan och formen byggs sedan upp lager för lager (Hoskins, 2013, s. 44). Om föremålet som skrivs ut kräver ett stöd konstrueras detta automatiskt genom programvaran (Knaack et al., 2010, s. 25). Det finns idag ett begränsat antal hartser som är kompatibla med den här typen av skrivare vilka alla är opaka (Warnier & Verbruggen, 2014, s. 10–11). Tekniken skriver ut med hög modellprecision runt 0.2 mm (Knaack et al., 2010, s. 25). Denna teknik är lik 'Digital light processing' (DLP) som även den har hög precision.

2.4.1.2 Selective laser sintering

'Selective laser sintering' (SLS/LS) togs fram under mitten av 1980-talet. Skrivaren bygger i det här fallet upp en tredimensionell form genom laser som smälter och binder pulveriserat material. För varje avslutat lager läggs ett nytt lager med pulveriserat material på med en typ av roller (Hoskins, 2013, s. 50). Det överflödiga materialet fungerar som ett stöd under processen och kan sedan återanvändas efter att det borstats bort och samlats ihop (Hoskins, 2013, s. 47). I princip alla material som kan pulveriseras kan användas för den här metoden; exempelvis sand, keramik, trä och metall men även syntetiska polymerer som nylon. Skrivaren passar främst för mindre objekt då den inte kan skriva ut obegränsat med lager (Warnier & Verbruggen, 2014, s. 11–12).

2.4.1.3 Fused deposition modeling

Tekniken 'Fused deposition modeling' (FDM), framtagen 1991, utsöndrar ett upphettat termoplastiskt filament genom en pip. De upphettade trådarna läggs lager på lager och stelnar. Objekten som tas fram är mekaniskt starka men däremot kan man se de olika lagren om de inte bearbetas efteråt. Oftast används termoplaster så som Akrylnitril-butadien-styren (ABS), Polylaktid (PLA, biopolymer) och Polykarbonater (Hoskins, 2013, s. 45). I princip alla material som har en smältpunkt mellan 100-250 °C kan användas. Material så som vax, pulveriserat trä och metall kan blandas med en syntetisk polymer och skrivas ut (Bilow, 2015). Formen som tas fram kräver stöd men detta kan framställas under processen och sedan sköljas bort med kemikalier. För närvarande kan skrivaren bara skriva ut i en färg i taget. Det tidigaste patentet har däremot löpt ut vilket bidragit till fler kommersialiserade alternativ (Hoskins, 2013, s. 44).

2.4.1.4 Inkjet powder printing / 3D Printing

'Inkjet powder printing' även kallad '3D Printing' (3DP), utvecklad under 1990-talet, är en teknik som påminner om en vanlig inkjet-skrivare för papper. Skrivaren skriver ut lager på lager genom att binda lim med pulveriserat material av exempelvis gips, stärkelse, keramiskt material, kalk eller lera (Knaack et al., 2010, s. 28) (Arbace et al., 2013, s. 340).

Formen som tagits fram måste stärkas efter utskriftsprocessen. Detta gör man genom att täcka den med epoxiharts. Formerna har ofta en lägre hållbarhet än SLA och SLS på grund av materialen som används. Däremot finns andra fördelar som att kunna skriva ut i CMYK-färg (Knaack et al., 2010, s. 28–29).

2.4.2 Subtraktiv tillverkning med CNC-fräsning

Subtraktiva metoder bygger på avlägsnandet av material för att ta fram en form. Den vanligaste metoden är fräsning med CNC-maskiner (Computer Numeric Control). CNC-fräsning eller 'CNC milling' är en subtraktiv metod där en form tas fram ur solitt material med hjälp av en programmerad maskin. Istället för en virtuell modell bearbetas formen utifrån en G-kod. En G-kod översätter XYZ-koordinaterna till fräsmaskinen. Koden kan skapas i ett CAM-program (Computer Aided Manufacturing) från en CAD-modell. Ju fler axlar en CNC-maskin har, desto mer komplexa former kan den ta fram. En maskin med fem axlar kan exempelvis kombineras med en roterande plattform för optimal flexibilitet (Tucci & Bonora, 2007).

2.5 Praktisk applicering inom konservering

Additiv och subtraktiv tillverkning samt 3D-scanning är metoder för bevarande av information. Vid virtuell replikering eller fysisk kopiering tillgängliggörs information och objekt för publik, samtidigt som risken för skador på originalobjektet minskar eftersom potentiella skadeorsaker undviks (Muñoz-Viñas, 2005, s. 24). Genom virtuell och fysisk kopiering kan även ovärderlig information öka förståelsen för verket och dess nedbrytning (Appelbaum, 2007, s. 256–257).

2.5.1 3D-scanning och virtuella modeller för dokumentation och analys

Virtuella modeller kan tydliggöra information om objektet och dess tillstånd och på så sätt ligga till underlag för ett åtgärdsförslag. Eftersom den virtuella modellen kan bearbetas kan även restaureringsförslag appliceras digitalt. Förståelsen för verket kan också öka genom möjligheten att synliggöra funktioner, teknik eller innehåll som tidigare varit dolt. Att göra en virtuell modell kan vara ett sätt att öka tillgängligheten av ett verk för en publik. Modeller kan användas som ett pedagogiskt inslag i utställningar eller finnas tillgängliga online. Digital information kan möjliggöra att fler människor från olika delar av världen kan studera och arbeta med samma projekt.

Det finns många exempel på hur 3D-scanning och virtuella modeller idag används på museer. Smithsonian driver bland annat ett projekt vid namn 'X 3D' där delar av deras samlingar ska digitaliseras antingen i 2D eller 3D. Av 137 miljoner verk har nu 10% digitaliserats. Ledaren för projektet, Günter Waibel, skriver att projektet har potential att inte bara stödja Smithsonian's mål utan även att transformera museets grundläggande funktioner. Kuratorer, konservatorer, lärare och studenter nämns alla som målgrupper. Konservatorer beskrivs kunna använda de virtuella modellerna för att få en bild av hur ett

verks tillstånd förändras — modeller kan jämföras med varandra digitalt och ge en exakt bild av nedbrytningsförloppet (Smithsonian, u.å.).

'Tracking Color' är ett annat projekt som drivs av 'The Copenhagen Polychromy Network' och är initierat av Ny Carlsberg Glyptotek. Med hjälp av bland annat UVF och 'visible induced luminescence' (VIL) som ligger nära det infraröda spektrat, har man påvisat färgpigment på antika romerska skulpturer (Graham, 2012b, s. 65). I fallet av *The Roman Boy* (IN 821), ett porträtt i vit marmor, utfördes en scanning med ett triangulationsystem för att kunna skapa en virtuell modell. Porträttet scannades på ett roterande bord med en portabel scanner med ett avstånd på 43 cm. Totalt togs 32 bilder från två olika vinklar; en underifrån och en ovanifrån (Graham, 2012a, s. 43–46). Den digitala modellen togs fram i programvaran MeshLab. Bilder tagna med VIL och UVF lades in i modellen (Graham, 2012a, s. 53). Pigmenten kunde därefter analyseras och modellen färgläggas (Graham, 2012a, s. 62). Denna typ av virtuell modell kan användas för referens, analys och i jämförande syfte (Graham, 2012b, s. 71). Några av de modeller som togs fram i projektet användes som underlag för att ta fram bemålade fysiska kopior av hur skulpturerna en gång sett ut. Dessa visades sedan i utställning (Glyptoteket, 2014).

3D-scanning och digitala modeller kan också användas för att studera måleritekniken som konstnären använt. Ett exempel på detta är analyserna av Rembrants och van Goghs målningar vid tekniska universitetet i Delft, Nederländerna, där pentimenti påvisades och penseldrag analyserades. I detta projekt användes även en additiv metod för att reproducera kopior av målningarna för att kunna studera hur färgen applicerats (3ders, 2013).

2.5.2 Additiv och subtraktiv tillverkning vid rekonstruktion och replikering

3D-utskrifter kan bland annat användas för att ta fram delar av ett föremål som saknas för att på så sätt kunna presentera verket i sin fulla form. Intentionen med verket kan på så sätt tydliggöras. Ett exempel på detta är arbetet med Gaudís Sagrada Familia i Barcelona som nu färdigställs med hjälp av additiv tillverkning (3DSystems, 2015).

Verk som inte kan ställas ut på grund av omfattande skador, kan med hjälp av replikerade delar eller formanpassade stöd få hjälp att visas. Formanpassade stöd är även något som kan användas i den preventiva konserveringen. MoMA, Museum of Modern Art, i New York skapade exempelvis en anpassad transportlåda till Claes Oldenburgs *Red Tights* genom att laserscanna verket och sedan tillverka en stödstruktur med hjälp av fräsning (Zycherman & O'Banion, 2013). Nationalmuseums konservatorer utvecklar även metoder för att tillverka formanpassade stöd till dräkt genom scanning med strukturerat ljus och fräsning (Franzon & Hultgren, 2015, s. 13–14).

Fullständiga repliker kan göras antingen med det bearbetade materialet från skrivaren eller genom gjutning i de former som tagits fram. Repliker kan tas fram för att skydda originalföremålet. Det kan handla om att minska "trycket" på ett verk eller en

kulturhistorisk plats som utsätts för massturism. Det kan också handla om att undvika en geografisk flytt av ett verk och därmed risken för skador. Replikering kan även göras för studiesyften eller för att göra ett verk tillgängligt för en publik som kräver ett annat sätt att uppleva verket. På Neue Museum i Berlin finns till exempel en kopia i brons av Nefertitis huvud, så att människor som är blinda kan uppleva verket. Att få vidröra en kopia kan öppna upp fler möjligheter till att uppleva och studera ett verk.

Ett exempel på en fullständig kopia är faksimilen av Tutankhamuns grav i Egypten som gjorts i bevarande syfte av Factum Arte i Madrid. Massturism hade lett till ökad luftfuktighet och damm samt ytor och konsolideringar som inte kunde klara ytterligare restaureringar. Därför krävdes ett nytt hållbart förhållningssätt för att bevara platsen och den information som den besitter (Factum Arte, 2015).



Fig. 1. Scanning med strukturerat ljus. photo©Factum_Arte.

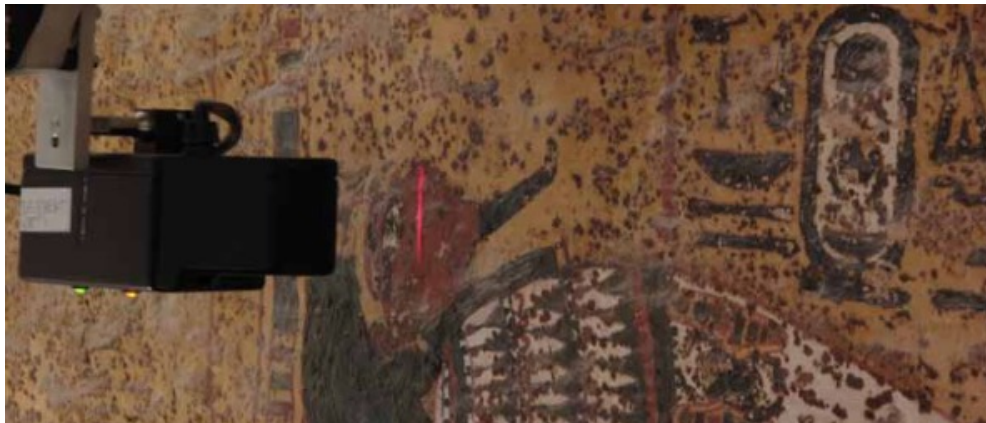


Fig. 2. Laserscanning av Tutankhamuns grav. photo©Factum_Arte.

Scanningen av gravplatsen påbörjades 2009. En laserscanner togs bland annat fram speciellt för ändamålet med en möjlighet att registrera 100 miljoner punkter per kvadratmeter. Exakta avbildningar av väggarnas yta och struktur frästes sedan ut. Formarna pressades i silicon och därefter gjordes avgjutningar med harts som fästes mot en rigid stödstruktur. De digitala högupplösta bilderna som tagits med digitalkameror, skrevs sedan ut och konsoliderades på ytan med hjälp av vakuum. År 2014 var installationen klar. I samband med installationen gjordes en interaktiv digital modell av platsen tillgänglig för specialister. På så sätt kan konservatorer kommentera och tillsammans bevaka

nedbrytningen. Factum Arte undersöker genom deras projekt vad kopiering som metod innebär. Ledaren Adam Lowe menar att ”originality is a process and not a state of being” — en tanke och påstående vars innebörd är högaktuell idag (Factum Arte, 2015).

Ett annat av Factum Artes projekt är att scanna och ta fram faksimiler av ett välkänt renässansverk; *Polittico Griffoni*, en altaruppsats målad mellan 1471 och 1472 av Francesco Cossa och Ercole de’Roberti. De sexton tavlorna som tillsammans skapar *Polittico Griffoni* gjordes för Basilikan i San Petronio i Bologna. Dessa är idag utspridda på nio olika museer världen över. Informant 1, arkitekt hos Factum Arte, berättar att Factum Artes uppgift är att skapa ett digitalt arkiv av dessa för att öka förståelsen av verket. Den digitala informationen ska kunna användas för research och som underlag till konservering. Därefter ska en kopia av hela altaruppsatsen göras med syftet att återföra verket till kyrkan i Bologna. Detta ökar verkets symboliska, historiska och religiösa värde menar Informant 1.

För scanningen användes en Lucida 3D-laserscanner baserad på triangulation. Laserstrålen läser av ytan likt en streckkod. Ojämnheterna som lasern känner av i reliefen registreras med två USB-videokameror (Factum Arte, 2015). Tavlorna fotograferades även med hög resolution beskriver Informant 1. Efter att den digitala modellen skapats, togs reliefen fram med CNC-fräsning (Fig. 3). Därefter skrevs färginformation ut lager på lager för att bygga upp färgens djup med en skrivare framtagen för ändamålet (Fig. 4). Till sist vaxades ytan för att efterlikna originalet (Factum Arte, 2015).

Den digitala informationen ska finnas tillgänglig online för alla museer som deltagit i projektet. Därmed kan varje museum använda de digitala modellerna i didaktiska syften och få möjlighet att visa hur hela verket ser ut i sin helhet. Återföring av ett verk genom en faksimil, menar Informant 1, kan avslöja en hel del om våra förfäders attityd till originalitet, ägande och kultur.



Fig. 3. Relief framtagen med fräsning.
photo©Factum_Arte.



Fig. 4. Färginformation skrivs ut med flatbed-skrivare.
photo©Factum_Arte.

2.6 Begränsningar och riskfaktorer

Det finns fortfarande begränsningar med 3D-teknik trots att denna utvecklas kontinuerligt. Eftersom arbetet kan vara ett hantverk i sig arbetar ofta konservatorer tillsammans med tekniker för att ta fram virtuella modeller med hög precision. Vilken typ av programvara som används kan spela stor roll för modellens kvalitet. Då filerna kan bli tunga behöver de ofta komprimeras i ”post processing”-program vilket kan påverka detaljupptagningen i strukturen. Ibland kan även resultatet skilja sig åt trots att samma scanner har använts (Beentjes et al., 2013a, s. 304).

Miljön vari ett verk scannas kan också påverka bildupptagningen. Temperatur och strålning från annan källa kan störa instrumentet. Scanners kan även påverkas av bland annat ytans reflektion, mörka färgtoner, skarpa kanter eller genomskinlighet. De senaste scannrarna med strukturerat ljus har dock LED-lampor vilket förbättrar förutsättningarna för bildupptagningen (Beentjes et al., 2013a, s. 304–305).

Om ett verk är komplext kan det ibland vara nödvändigt att använda två olika typer av scanningutrustning för att kunna registrera de olika egenskaperna. Det kan även vara nödvändigt att komplettera information med bilder tagna med olika typer av ’technical imaging’ (Beentjes et al., 2013a, s. 302).

Utöver dessa begränsningar finns andra riskfaktorer. Samtliga metoder som nämns i texten utsöndrar en viss del elektromagnetisk strålning vilket kan leda till oxidation av känsliga, ofta organiska material. Dock skulle man behöva utsätta verket för exponering upprepade gånger under lång tid för att detta över huvud taget skulle utgöra en risk. Styrkan på laserstrålen ska därför anpassas till det individuella föremålet (Payne, 2013). Generellt sett är laserns intensitet redan låg hos de scannrar som används för scanning av konst- och kulturhistoriska föremål.

Vid användandet av dessa scanning-metoder kan konservatorn göra en riskbedömning utifrån det individuella föremålet för att bedöma om föremålet är lämpligt att scanna och isåfall hur. Ett tillståndsprotokoll med dokumentation före, under och efter kan också tillhöra rutinen. Riskbedömningen kan inkludera säkerhetsaspekter kring hantering och montering och hur konservatorn på bästa sätt kan optimera dessa. Eventuell flytt eller montering av föremålet bör planeras om verket inte kan dokumenteras på sin plats (Payne, 2013).

Vid replikeringsarbeten bör det även finnas en plan för preventiv konservering av originalföremålen så att dessa inte negligeras i magasin (Muñoz-Viñas, 2005, s. 24). Ytterligare en aspekt att beakta i en riskbedömning är planeringen för hur den digitala information som samlats in ska tas om hand då teknologin ständigt utvecklas (Payne, 2013).

3. FALLSTUDIER

I detta kapitel presenteras två konserveringsprojekt där 3D-teknik har integrerats i konserveringsarbetet för att analysera skadade skulpturer digitalt och återskapa fysiska delar av verken.

3.1 Fallstudie 1: Rodins *Tänkaren*

I denna fallstudie presenteras ett konserveringsprojekt från universitetet i Amsterdam och institutionen för konservering och restaurering, där 3D-teknik använts som del i restaureringsarbetet av ett vandaliserat exemplar av Auguste Rodins *Tänkaren* (Le Penseur) från Singer Museum i Laren, Nederländerna. Chefskonservator Tonny Beentjes arbetade med metallkonservatorn Rozemarijn van der Molen och masterstudenten Tamar Davidowitz i återställandet av skulpturen.

3.1.2 Bakgrund och skadebild

Konservatorerna Tonny Beentjes och Rozemarijn van der Molen beskriver i artikeln *3D scanning and printing as conservation tools: an innovative treatment of a vandalized bronze statue* i boken *Lasers in the Conservation of Artworks IX* (2013b, s. 146–153) att skulpturen stals från museets trädgård år 2007 och återfanns svårt vandaliserad därefter. Skulpturen hade skador av såg- och hammarverktyg och material saknades (Fig. 5). Sågmärken fanns över hela skulpturens kropp och huvudet var nästintill avsågat. Ena överarmen hade blivit svårt deformerad och ett av smalbenen saknades helt. Ett försök att utradera signaturen hade också gjorts och patinan hade blivit skadad på utsatta områden (Beentjes & van der Molen, 2013b, s. 146).

Tänkaren i Laren tillverkades strax efter Rodins död år 1917 (Beentjes et al., 2013b, s. 148). Skulpturen är en av cirka femtio registrerade avgjutningar av *Tänkaren*. Tjugo av dessa tillverkades efter konstnärens död. Hälften av dessa hade Rodin påbörjat själv, medan den andra hälften färdigställdes av Musée Rodin med hans tillåtelse (The Cleveland Museum of Art, u.å.). *Tänkaren* finns i tre olika storlekar. Fyra av gipsmodellerna finns i Rodins ateljé i Meudon utanför Paris. Där fanns den gipsform (IN s2840) som använts till att gjuta den skulptur som nu finns på Singer Museum. Denna kunde identifieras genom att titta på avvikelser i formen. Skulpturen är gjuten i sand, precis som nästintill alla versioner av *Tänkaren* (Beentjes et al., 2012b, s. 147–148). Tack vare att gipsformen fanns tillgänglig för forskning kunde en nytänkande restaurering påbörjas.

3.1.3 Åtgärdsförslag och analys

Efter ett år av överläggande, beslutade en grupp specialister inom konsthistoria, konservering och etikfrågor att skulpturen skulle restaureras. Året därpå togs ett åtgärdsförslag som innehöll 3D-teknik fram av en annan tvärvetenskaplig grupp specialister. Tekniken valdes då ingen annan metod skulle ge motsvarande precision i

arbetet. Ramen för restaureringen var att eventuella tillägg inte skulle kompromissa framtida konserveringsarbete. Tillägg skulle inte synas och vara möjliga att ta bort. Målet var att återställa skulpturen till sin egentliga form genom att skapa ett nytt smalbän, justera deformationerna och fylla i de områden där material saknades. I grunden till detta beslut låg en vilja att ställa ut skulpturen i sin egentliga form och behålla det ikoniska värdet skulpturen representerat (Beentjes & van der Molen, 2013b, s. 147).

Innan det praktiska arbetet påbörjades, gjordes en materialanalys med XRF för att mäta styrkan och formbarheten i materialet. Analyserna visade att material var skört på grund av bly-nivån i legeringen. Legeringens sammansättning bestod av 94.5% koppar, 4% tenn, 0.9% zink och 0.5% bly. En röntgendiffraktion (XRD) visade att patinan bestod av främst kopparsulfater vilket är typiskt för bronsskulpturer som stått i utomhusklimat (Beentjes & van der Molen, 2013b, s. 147, 150). Informant 5, chefskonservator i projektet, berättar att ett digitalt mikroskop för att studera ytan även hade använts om restaureringen hade utförts idag.



Fig. 5. *Tänkaren* före restaurering. photo©Svenson, M.

3.1.4 Scanning av skulpturen och analys av digital modell

Både den skadade skulpturen och gipsformen den gjutits i scannades med ett Steinbichler COMET 5.4 Megapixel, C400 system. Detta är en scanner baserad på vitt strukturerat ljus men som även använder laser för att peka ut referenspunkter. Denna typ av scanner valdes på grund av systemets precision och höga hastighet menar Informant 5. Scanningen utfördes med ett synfält på 400 x 400 mm från ett fast avstånd. Precisionen uppgick till 25 μm . Noggrannheten verifierades efter varje kalibrering. De delar som var avtagbara på gipsmodellen scannades separat. Bilderna sattes sedan ihop digitalt (Beentjes & van der Molen, 2013b, s. 149–150).

De scannade bilderna lappades ihop i programvaran Geomatic Qualify, berättar Informant 5. De digitala modellerna från de båda skulpturerna lades sedan ovanpå varandra (Fig. 6).

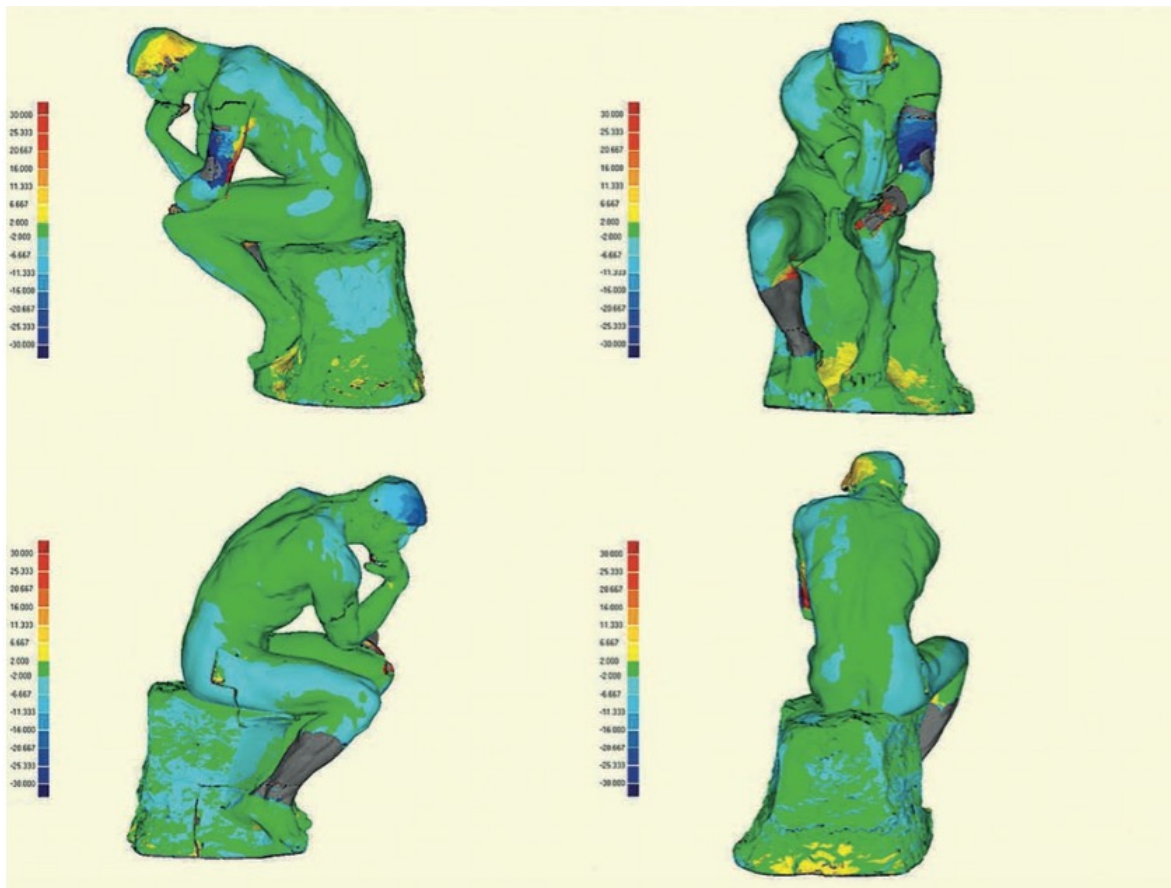


Fig. 6. Överlappande 3D-bilder av den skadade skulpturen från Singer Museum och gipsmodellen från Musée Rodin. Färgen påvisar deformationer och avvikelser i bronsen. photo©Introtech.

De färgskiftningar som uppstod vid överlappningen av bilderna indikerade den deformation som bronsen utsatts för under vandaliseringen. Dessa områden gav även information om deformationernas form och mått (Beentjes & van der Molen, 2013b, ss. 149, 151). Informant 5 menar att bilderna användes som referens under hela processen, eftersom de även kunde ge en ökad förståelse för skulpturen i stort.

Studien av skulpturen som scanningen möjliggjorde, var del av ett större samarbete mellan National Gallery of Victoria, Melbourne och The Metropolitan Museum, New York, som även de har varsitt exemplar av *Tänkaren*. Genom att jämföra de digitala modellerna var det möjligt att studera metoder för gjutning och variationer i tillverkning. Eventuellt skulle man även ha kunnat studera kronologin i tillverkningen (Beentjes et al., 2013a, s. 302–303).

3.1.5 Restaurering med additiv metod

Deformationerna justerades med hjälp av klamrar som gradvis spändes, både på huvudet och på skulpturens kropp. För att kontrollera att justeringen av huvudet blivit korrekt, användes formar i epoxi av den omvända formen. Formarna togs fram med SLA-skrivare, vari epoxi sedan gjöts. För att justera deformationen på vänsterarmen, placerades en klammer inuti för att på så sätt trycka ut deformationen från insidan. Trots stor försiktighet gick en skadad bit av på grund av trycket, vilket trots allt underlättade korrigeringen. De sköra området nedanför knäet började också påvisa sprickbildning. Arbetet avbröts därför

och beslutet togs att ta bort den skadade biten och låta kopian av benet göras något större. (Beentjes et al., 2013b, s. 150–151).

Efter att deformationerna återställts, scannades dessa delar av skulpturen en gång till. De nya bilderna lades än en gång ovanpå bilderna av gipsmodellen. Denna gång var färgförändringarna mellan de två bilderna minimerade, vilket tydde på att behandlingen varit lyckad. En STL-fil skapades från informationen av de två kombinerade bilderna. De formar som skulle substituera förlorat material, skrevs ut med en SLA-skrivare med harts. Även FDM och SLS-skrivare övervägdes men SLA-skrivaren valdes då den ansågs ha högre precision (Beentjes & van der Molen, 2013b, s. 151).

Eftersom det inte var känt hur den syntetiska hartsen skulle åldras över tid, valde man istället att använda formarna till att gjuta i. Att gjuta i ren brons visade sig vara svårt eftersom brons krymper under processen. Istället valde man att testa tre olika typer av så kallad ”cold cast metals” som består av epoxi och metallpulver. Araldite 2020, Hxtal Nyl-1 och Fynebond testades med olika mängd pigment och bronspulver. Araldite 2020 mättad med bronspulver gav bäst resultat. Araldite härdar snabbare men kan gulna med tiden. Eftersom fyllnaden skulle mättas och retuscheras skulle den på så sätt skyddas från UV-ljus menade konservatorerna. Den beräknade livslängden för dessa fyllnader uppgavs vara 30 år. Glansigheten i fyllnaderna mattades ned med fint sandpapper (Beentjes & van der Molen, 2013b, s. 151). Informant 5 menar att man i och med dessa typer av fyllningar, kunde undvika metoder som krävde värmebehandling så som svetsning eller lödning. Eftersom skulpturen skulle stå inomhus behövde materialen inte heller vara vattentäta, vilket i sin tur möjliggjorde en mindre invasiv behandling.

Epoxi med bronspulver användes även för att fylla i sågmärkena på skulpturens huvud. De långsmala formarna utskrivna i SLA-skrivaren gjöts i block av silikongummi för att underlätta arbetet. Dessa placerades sedan med hjälp av värme i skulpturen och fästes med Paraloid B72 (Fig. 7). Mellanrum åtgärdades med ny epoxiblandning (Beentjes & van der Molen, 2013b, s. 152).

Kopian av det avsågade benet skulle fästas i skulpturen med en mekanisk apparatur och behövde tillverkas i ett starkare material. Därför gjöts benet i brons i en form framtagen med skrivaren. Gjutningen gjordes med metoden ”cire perdue” under vakuum med en legering lik originalet. Detta gjordes hos ett gjuteri. Benet säkrades med Paraloid B72 och små mellanrum fylldes i med epoxi och bronspulver (Beentjes & van der Molen, 2013b, s. 151). Informant 5 menar att det var viktigt att använda brons i det här fallet, eftersom ytan var betydligt större och materialet behövde uppträda med liknande egenskaper som den övriga skulpturen.

3.1.6 Retuschering

Skulpturen hade en varierad patina, troligtvis för att den behandlats med vax och patinerats tidigare samt stått ute under många år. För att få en naturell ytstruktur att retuschera på, patinerades det nya smalbenet med kopparnitrat som gav ett mörkbrunt utseende. Därefter retuscherades ytan med akrylfärger i guldton. Flera av områdena applicerades först med utspädd akrylfärg innan de blandades med vatten eller glasyr ("restoration glaze"). På armen lades lasyr och glasyr på lager för lager, för att uppnå rätt djup i färgen. Retuscheringen skulle inte vara synlig på avstånd men identifierbar på nära håll (Beentjes et al., 2013b, s. 152–153).



Fig. 7. Tänkaren före, under och efter behandling med epoxi/brons-fyllnad. photo©Beentjes, T., van der Molen, R. and Svenson, M.

3.2 Fallstudie 2: *Madonnan av Pietranico*

Denna fallstudie presenterar ett restaureringsprojekt från Museo Nazionale d'Abruzzo (Nationalmuseet i Abruzzo), Italien där 3D-teknik använts för att skapa en stödstruktur åt en skadad polykrom skulptur i terrakotta från renässanstid. Chefskonservatorn Elisabetta Sonnino, samordnare för arbetet Luciano Marchetti och kulturarvs-intendent för området Lucia Arbace ledde arbetet.

3.2.1 Bakgrund, skadebild och åtgärdsförslag

Madonnan av Pietranico (La Madonna di Pietranico) skadades svårt i en jordbävning år 2009 i L'Aquila, Abruzzo, Italien. Eftersom Madonnan har ett historiskt och ikoniskt värde för regionens identitet, ansågs restaureringen viktig (Arbace et al., 2013, s. 334).

Då skadorna var omfattande krävdes ett nytänkande tillvägagångssätt för att kunna återställa statyn. Rapporten *Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue* i tidskriften *Journal of Cultural Heritage* (Arbace et al., 2013, s. 332–345) beskriver hur konserveringsprojektet gick till.

Efter jordbävningen återfanns nitton större fragment och fem mindre. Delar av skulpturen saknades så som näsan, delar av munnen, slöjan, ärmarna på kappan, vänstra handen, fingrar på högra handen samt delar av huvudet och skulderna. Samtliga fragment var smutsiga och en del av vänstra benet var nedbrutet och skört. Det blev även tydligt att statyn hade restaurerats ett flertal gånger innan. Tidigare retuscher var synliga, vilka även hade applicerats direkt på skulpturen trots att det skyddande lagret saknades. Tidigare lagningar med stål och gips upptäcktes även (Arbace et al., 2013, s. 334). Genom fotografier var det möjligt att säkerställa att Madonnans barn hade saknats redan före den omfattande restaureringen år 1935 (Arbace et al., 2013, s. 336).

För att skulpturen skulle kunna visas igen, krävdes ett måttanpassat stöd för skulpturen att monteras på. Genom att använda additiv tillverkning kunde stödet optimeras då en exakt avbildning av insidan av skulpturen kunde tas fram. För att rekonstruera formen behövde man först scanna skulpturen (Arbace et al., 2013, s. 333). Innan detta arbete påbörjades limmades de fragment som tydligt hörde ihop. Varje del konsoliderades även för att skydda materialet från att skadas under hantering (Arbace et al., 2013, s. 335).

3.2.3 Scanning, digital bearbetning och analys

Skulpturen scannades med en Konica Minolta Vivid 910 laserscanner baserad på ett triangulationsystem. Denna typ av scanner valdes eftersom den kunde ge en hög resolution även av de små fragmenten, berättar Informant 2 — intendent i projektet. Informant 2 menar även att arbetet gick smidigt eftersom terrakottans yta varken var glansig eller mörk. Fragmenten som varierade i storlek (från 30 x 60 x 50 cm för statyns bas till 7 x 12 x 3 cm för de mindre delarna) scannades var för sig under två arbetsdagar tillsammans med två tekniker (Arbace et al., 2013, s. 336). Scannern stod i fast position i förhållande till

fragmenten som lades framför förutom när statyns bas scannades, enligt Informant 2. De allra minsta bitarna som var mindre än en centimeter scannades inte då relevant data inte skulle kunna tas fram. För de mindre delarna togs minst 15 högupplösta bilder och för de största upp till 60 stycken (Arbace et al., 2013, s. 336).

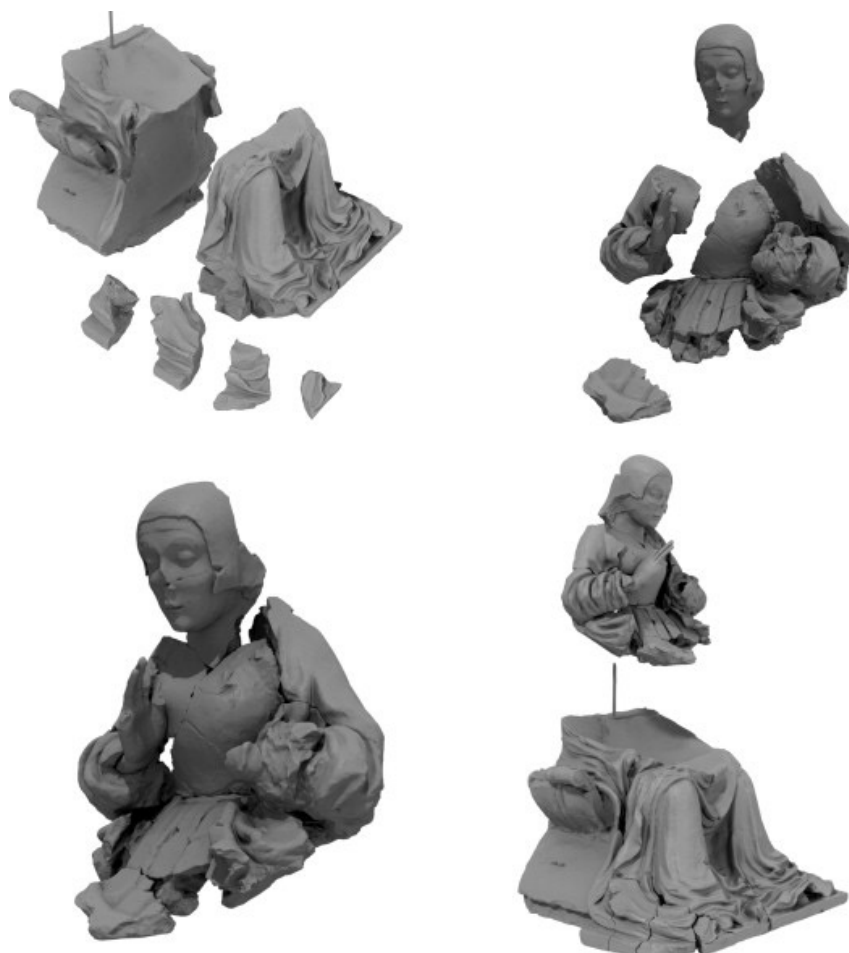


Fig. 8. Digital hoppassning av Madonnan av Pietranico.
photo©Elsevier and Arbace, L., Sonnino, E.

För att kunna montera ihop alla delar scannades varje fragment fog i fog, så att ett slags bibliotek skapades med alla tänkbara alternativ. Med hjälp av ett ”geometry processing”-program speciellt framtaget för ändamålet, kunde varje fragment passas ihop utan att behöva hanteras fysiskt (Fig. 8). Den digitala hoppassningen gjordes genom att en algoritm beräknade vilka fragment som passar till vilka (Arbace et al., 2013, s. 337). Denna funktion finns i olika programvaror. Informant 2 berättar att ett flertal försök till att fysiskt montera fragmenten skulle slita på fogarna. Det var heller inte möjligt att stödja alla fragment och på så sätt testa alla alternativ. Tack vare den digitala monteringen, kunde ytterligare två fragment passas ihop som inte hade kunnat placeras innan. Den digitala modellen gjorde det även möjligt att finna den korrekta uppriktningen mellan bas och ovandel så att statyn kunde få en mer balanserad hållning, berättar Informant 2.

Bilderna från scanningen bearbetades i MeshLab. Bilderna rätades upp, överflödiga information togs bort och fylldes i. Tack vare det digitala formatet var det möjligt att testa olika alternativ och bekräfta när hoppassningen blivit korrekt. Efter bearbetningen gjordes

en master-modell. Denna består alltid av ett komplicerat nät av extremt små trianglar. En millimeter på statyn motsvarades av tre till sex trianglar, vilket gjorde bilden komplex och full med information om verket och ytans struktur (Arbace et al., 2013, s. 336).

3.2.4 Färganalys

Äldre retuscheringar togs bort under rengöringen för att försöka få fram de verkliga färgerna. Även tidigare restaureringar i gips avlägsnades mekaniskt för att få fram originalytan. Under rengöringen av statyns ansikte blev det tydligt att det röda pigmentet som använts knappt fanns kvar. Däremot upptäcktes en dekorativ förgyllning på den blå manteln. Troligtvis hade manteln varit målad i azurit och dekorerad med bladguld. Genom stratigrafisk analys av en provyta från manteln, kunde sexton lager av olika pigment observeras. Elva av dessa identifierades att ha tillkommit efter olika restaureringar. Analyser av Madonnans dräkt visade även på dekorationer i bladsilver och en röd lack lik en emalj (Bevilacqua, 2011).

Informant 2 berättar vidare att färgfoton som kalibrerats användes för att analysera färgen på statyn. Runt 500 bilder togs med en Nikon D80 från olika håll i ett jämnt och stabilt ljus. Fotona kalibrerades med en Gretag MacBeth färgkarta. Bilderna registrerades sedan till geometrin i den digitala modellen. De tvådimensionella bilderna registrerades som tredimensionella genom att användaren gav relevanta punkter i modellen (Arbace et al., 2013, s. 337). Konservatorerna ville undersöka möjligheten att återskapa den dekorativa



Fig. 9. Virtuellt restaurering. photo©Elsevier and Arbace, L., Sonnino, E.

polykroma ytan digitalt, vilket visade sig svårt eftersom det inte fanns tillräckligt mycket information att utgå ifrån (Arbace et al., 2013, s. 342). Denna möjlighet är annars eftersträvansvärd då en restaurerad digital modell kan användas för studie- och didaktiska syften, samt som underlag för en eventuell faktisk restaurering. Den färginformation som fanns lades in i den digitala modellen (Fig. 9). I övrigt användes den som komplettering till dokumentationen av statyn (Arbace et al., 2013, s. 337).

3.2.4 Restaurering med traditionell och additiv metod

Konservatorerna lämnade den restaurering från 1935 som gjorts i gips på Madonnans knä. Genom att studera den digitala modellen och äldre fotografier, upptäcktes däremot att denna behövde justeras något för att överensstämna med originalet (Bevilacqua, 2011).

För att återskapa Madonnans vänstra hand som saknades helt och de fingrar som saknades på den högra handen, användes traditionella metoder. De saknade delarna samt handen återskapades av en skulptör specialiserad på terrakotta (Arbace et al., 2013, s. 339). Måtten för de förlorade delarna kunde beräknas genom att studera den högra handen spegelvänd. Informant 3, 3D-tekniker i projektet, menar att handen var så pass skadad att det inte gick att säkerställa alla de mått som saknades. Därför ansågs en handgjord hand kunna uppnå ett likvärdigt resultat. Skulptören återskapade handen utifrån digitala bilder som innehöll måttuppgifter och tvärsnitt. Handen brändes sedan i en gammal ugn från 1500-talet i en by i Abruzzo (Bevilacqua, 2011). Informant 4, chefskonservator, menar att den traditionella tekniken ansågs vara viktig i sig att bevara. Skulptörens specialisering på terrakotta var en viktig del för restaureringen av statyn.

Stödstrukturen som skulle tas fram krävde en hög precision för att kunna stödja alla fragment. Efter att ha frångått den första planen att använda ett stöd i metall, då fragmentens ojämna kontaktytor inte skulle kunna monteras säkert, beslutade gruppen att använda sig av additiv tillverkning för att ta fram ett formanpassat stöd för bysten. Genom denna metod kunde precisionen uppgå till mindre än en millimeter. För att ta fram stödet bearbetades den digitala bilden av skulpturens insida separat. Samma metod användes för att skapa ett stöd åt huvudet (Fig. 10) (Arbace et al., 2013, s. 340).

Valet av tillverkningsmetod, som vid restaureringstillfället var begränsat, stod mellan CNC-fräsning och Inkjet powder printing / 3DP med pulver av krita och lera. Fräsning valdes bort då stödet skulle ha blivit för tungt och kostsamt, samt svårt att bearbeta för konservatorerna. Krita och lera var trots sin skörhet material som var lätta att bearbeta med verktyg vanliga inom konservering. Stödet skrevs ut i fyra ihåliga delar med en tjocklek på tre millimeter som tillät manuella justeringar om så skulle behövas. För att göra stöden mer stabila och hållbara täcktes de med en harts, vilket man gör med utskrifter från denna typ av 3D-skrivare (Arbace et al., 2013, s. 340–341). Huvudets stödstruktur gjordes i två halvor för att kunna passas in i skulpturen. En metallstång monterades däremellan. På så sätt kunde avståndet mellan halvorna justeras och anpassa till huvudet (Arbace et al., 2013, s. 340).

För att fragmenten inte skulle limmas direkt mot terrakottan, applicerades en skyddande barriär av Paraloid B67 på stödstrukturen. Därefter lades en epoxi med vinyl-klorid samt en låg procent silica punktvis över stödstrukturen innan fragmenten sattes dit (Arbace et al., 2013, s. 342). Håligheter fylldes i med gips för att definiera detaljerna (Bevilacqua, 2011).

Trots att stödstrukturen blev lyckad, drogs slutsatsen att arbetet hade kunnat underlättats om en typ av stift hade lagts in ad-hoc redan i den digitala modellen. På så sätt hade gravitationslagen kunnat utnyttjas för att fästa fragmenten (Arbace et al., 2013, s. 342).

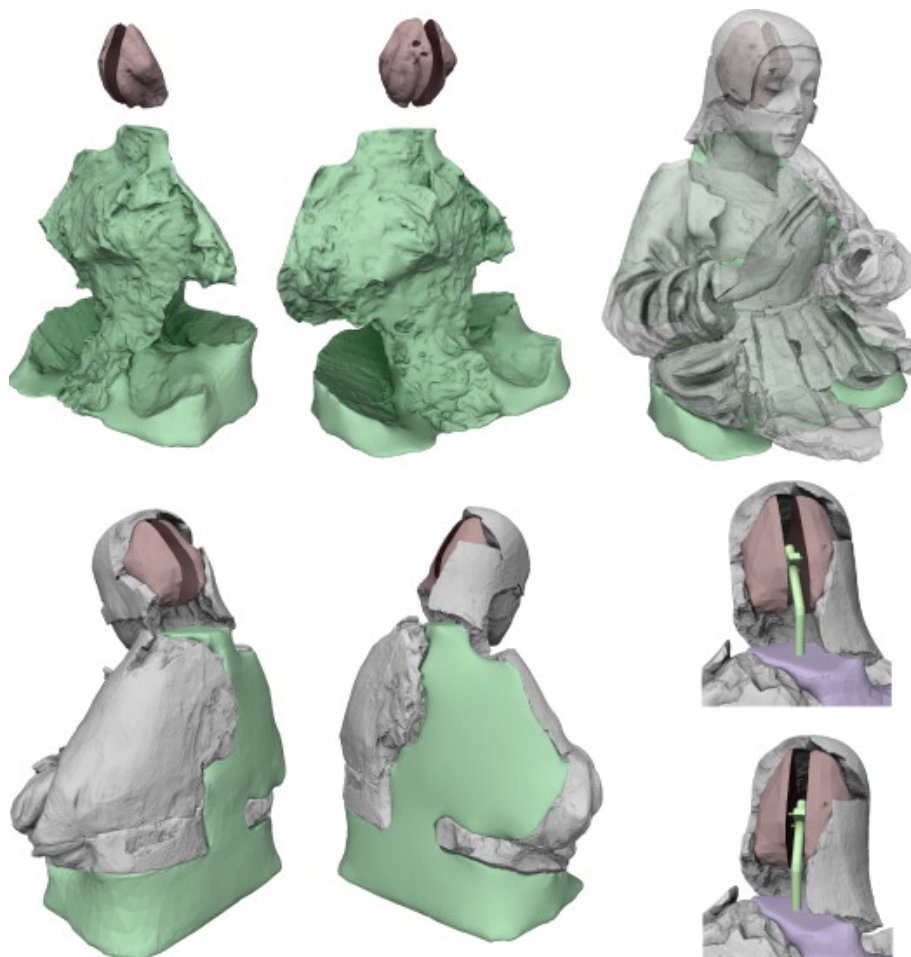


Fig. 10. Digitala modeller av stödstrukturerna. photo©Elsevier and Arbace, L., Sonnino, E.

3.2.4 Retuschering

Innan statyn retuscherades, fylldes mindre ojämnheter upp med gips. För större håligheter användes ett speciellt framtaget murbruk med pulvriserad röd lera. Även partier som näsan rekonstruerades med gips (Bevilacqua, 2011). Baksidan av huvudet skulpterades för att dölja den interna stödstrukturen (Grayce West, 2011). Retuschering utfördes sedan med vattenfärger och glasyrer. Detta gjordes inte för att rekonstruera, utan för att balansera intrycket av den bemålade ytan (Bevilacqua, 2011).

4. ETISKA PERSPEKTIV

I detta kapitel ges en överblick av klassiska och samtida etiska teorier i förhållande till begreppet autenticitet och dess relation till rekonstruktion. I följande kapitel 5 analyseras fallstudierna utifrån dessa teorier samt genomförda intervjuer och slutsatser dras om vilka etiska och praktiska frågeställningar som kan uppkomma och som konservatorn bör beakta för att behålla verkets autenticitet i och med de nya förutsättningar som 3D-teknik möjliggör.

4.1 Etikteori

Autenticitet är ett komplext och relativt begrepp inom konservering. Muñoz-Viñas menar att det är omöjligt att det bara finns ett tillstånd som är autentiskt i ett verks historia och att vi inte kan göra ett verk mer eller mindre autentiskt genom våra ingrepp (Muñoz-Viñas, 2009, s. 36; Mulholland, 2014, s. 92). Gordon menar att autenticitet fortfarande idag förknippas starkt med konstnärens intention (Wimsatt och Beardsley, 1962; Gordon 2009, s. 260).

De klassiska teorier som underbygger begreppet autenticitet introducerades i och med Venedigdokumentet (1964). Året där innan hade Brandi gett ut texten *Theory of Restoration* som hade blivit mycket inflytelserik (Gordon, 2014, s. 96). Brandi skrev i sin text att ”restoration is the methodological moment in which the work of art is appreciated in its material form and in its historical and aesthetic duality, with a view to transmitting it to the future” (1996, s. 231). Denna tes har sedan dess blivit stöttad av ytterligare teorier om vad konservering är och vilka aspekter som konservatorn ska förhålla sig till för att bevara verkets autenticitet.

Problematiken med begreppet autenticitet lyfts fram i Naradokumentet (1994). Förståelsen för begreppets innebörd beskrivs som en fundamental del i konserveringsarbetet, trots vetenskapen att begreppet inte ens existerar på vissa språk (Brooks, 2014, s. 7). Genom tiderna har därför ett flertal försök gjorts till att definiera begreppet.

I Venedigdokumentet (1964) angavs riktlinjer för konservatorer genom *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention*. Autenticitet definierades här genom fyra aspekter; material (material), utförande (workmanship), konstruktion (design) och omgivning (setting). År 2012 lades traditioner, teknik, språk eller annan form av immateriella arv; interna eller externa, till. Både ECCO (European Confederation of Conservator-Restorers’ Organisations) och ICON (Institute of Conservation) betonar i sina etiska regler att material är centralt (Gordon, 2014, s. 96).

Även Muñoz-Viñas lyfter fram dessa fyra aspekter som betydande för ett verks integritet och autenticitet. Han talar om verkets materiella komponenter (material components), märkbara kännetecken (perceivable features), konstnärens intention (producer’s intent) och

den originella funktionen (original function). Clavir definierar integritet genom fysiska (physical), estetiska (aesthetic) och historiska (historical) aspekter. Gemensamt anser teoretikerna att konservering ska vara sanningsenlig (Muñoz-Viñas, 2005, s. 66). Muñoz-Viñas argumenterar däremot att ett sanningssökande inte ska vara byggt på ett nödvändigt ont som kan upplevas abstrakt och moraliskt. Han menar att konservering är starkt associerat till vilka värden vi ger objekt och att konservatorer ibland kan värdesätta andra värden än publiken (Muñoz-Viñas, 2005, s. 192; Narkiss, 2009, s. 242).

I sin bok *Conservation Treatment Methodology* menar Appelbaum att värden tillskrivs olika objekt beroende på vilken kontext de befinner sig i. När objekt flyttas till ett museum ändras deras funktion och sättet vi ser på deras materiella egenskaper (2007, s. 117). Publiken förväntar sig att se olika typer av föremål och verk på olika sätt; ett arkeologiskt föremål kan presenteras på ett annat sätt än en modern skulptur.

Den komplexa innebörden av ett verks autenticitet leder till frågan hur en kopia påverkar ett original. Gordon (2009, s. 260) ställer frågan hur upplevelsen skiljer sig från kopia och original, och om upplevelsen av en kopia inte skulle vara autentiskt?

Gordon menar att kopior och original kan ha olika roller (2009, s. 264). Genom att delvis eller helt kopiera, replikera och rekonstruera kan man höja eller tillskriva ett värde till ett objekt och lägga till information som kan bidra till att skapa en helare upplevelse av verket. Replikering som metod kan öka förståelsen för hur originalet har tillverkats, menar Appelbaum, och höja det vetenskapliga värdet för publiken (2007, s. 256). En kopia kan även indirekt skydda ett original genom att ta dess plats i en utställning eller på en offentlig plats. Det informativa värdet kan vara särskilt viktigt i dessa processer, vilket är varför denna typ av bevarande kallas ”informativt bevarande” (Muñoz-Viñas, 2005, s. 24).

Informant 1, vars arbete handlar om att kopiera verk i bevarande syfte, menar att kopieringsprocessen ökar förståelsen för verkets egenskaper; dess mening och funktion men även dess tillverkning och nedbrytning. Denna tanke kan sägas följa en historiskt bild av kopiering i studiesyfte.

Även virtuell replikering kan bidra till att öka förståelsen av ett verks tillstånd och hur nedbrytningen ser ut (Appelbaum, 2007, s. 256–257). En digital modell kan också ha ett upplevelsevärde för en publik. Den kan tillgängliggöra information och möjliggöra närmre studier. Levenson menar däremot att en virtuell utställning inte kan förmedla samma upplevelse (Levenson, 1998, s. 90; Gordon, 2009, s. 264). Däremot kan virtuella modeller ha lika viktiga uppgifter. Då ett verk totalförstörts, kan en digital modell vara det enda sättet att återskapa en detaljerad bild av verket.

Ett exempel på detta är digitaliseringen av den antika skulpturen *Lejonet från Mosul* som slogs i spillror av IS tidigare i år på Museet i Mosul, Irak. Tack vare åttahundra fotografier

som bland annat skickats in från besökare, kunde Marinos Ioannides och hans doktorander vid Cyperns tekniska universitet, återskapa en digital modell av skulpturen. Genom fotogrammetri och triangulering omvandlades den tvådimensionella informationen till tredimensionell. Modellen visar exakt hur lejonet såg ut och kan studeras från olika håll. Idag har tio verk från museet återskapats digitalt med hjälp av fotografier. Ioannides menar att de tack vare teknik åtminstone kan återskapa berättelserna (Hansson, 2015). Virtuella modeller eller utställningar kan med andra ord vara ett sätt att bevara information och ett sätt att möjliggöra en upplevelse av ett verk då det inte finns kvar.

Man kan fråga sig hur samtida teorier förhåller sig till ett verk som är en ”ruin”, är skadat eller vandaliserat? Brooks menar att konservatorer har blivit mer öppna till att ställa ut skadade objekt som ett sätt att visa tidens gång och inverkan (2014, s. 7). Vissa typer av objekt kan sakna delar men ändå inte tillskrivas lägre värden, menar Appelbaum. Istället tillskrivs bara andra värden. De förväntningar vi har av ett objekt påverkar de värden vi tillskriver det (2007, s. 116).

Brandi skrev i sina texter om ”ruiner” och hur konservatorer ska tänka kring dessa. Han menar att konservatorns uppgift är att behålla ruinen i ett status quo (1996, s. 233). Brandi beskriver dock vidare att ett tillägg på ett skadat verk kan göras antingen då fragmentet är underförstått eller då det finns säkra uppgifter om originalet (1996, s. 340). Både Informant 2 och 5, delaktiga i respektive projekt, menar att återställandet av skulpturerna inte hade varit möjligt utan 3D-teknik. De menar också att scanningen i första hand gjordes för att återskapa formen av skulpturen och dess värden, inte för att i detalj analysera ytan och materialets nedbrytning — vilket hade varit möjligt men inte var målet med projekten.

Brooks argumenterar för att det ibland är nödvändigt att göra ett större ingripande för att återfå eller upprätthålla meningen med verket och dess värde (2014, s. 7). Mening och värde hör här samman med integritet eller autenticitet. Både Brandi och Appelbaum menar att tillägg ska behandlas som en del av verket och konserveras på lika villkor (Brandi 1996, s. 234). Appelbaum menar att de värden som ett verk tilldelats, avgör vad som konserveras, inte vad som tillhört objektet från början eller inte (2007, s. 257). Nya tillägg blir en del av en längre restaureringshistoria. Om integritet till stor del ligger i materialet, kan nutida konst på ett sätt behålla mer av sin integritet i och med att verk ofta förnyas.

Nutida konst har på sätt och vis vänt upp och ner på de klassiska begreppen i och med att materialen som ofta används inte är tänkta att vara i en evighet. Nutida konstnärer utmanar på så sätt konservatorers sätt att se på bevarande och de teorier som de etiska reglerna bygger på just eftersom de frångår material som en konstant. Mullholland menar att ett verks autenticitet inte ligger knuten till en särskild tidpunkt eller tillstånd, utan i alla de fysiska tillstånd som verket någonsin befunnit sig i (2014, s. 92). Kanske kommer konservering av nutida konst vidga sättet vi ser på konservering och restaurering av äldre verk, samt hur vi tillskriver autenticitet.

Replikering väcker också frågan om olaga kopiering och distribution. Nutida konstnärers integritet skyddas av VARA (Visual Artist Rights Act, 1990). Denna lag kan däremot inte appliceras retroaktivt (Beunen, 1999, s. 223). Det finns lagar mot exploatering av verk (Berne-konventionen 1886) som reglerar efter hur lång tid ett verk får kopieras. I Europa lades ”moralisk rätt åt konstnären” till år 1928 men inte förrän 1989 i USA (Beunen, 1999, s. 226). Moraliska lagar och etiska riktlinjer har alltså en särskild stor roll i systemet, inte bara i konservatorns arbete.

Man kan fråga sig om 3D-teknik kommer att få en inverkan på hur konservatorer ser på bevarande och förhåller sig till de etiska reglerna i framtiden. Kanske blir frågan om tillgänglighet och information mer central, eller den om upplevelse och interaktion. Då 3D-teknik möjliggör exakta kopior och ingående studier, kan istället vissa av de klassiska etiska värdena stärkas. Konstnärens intention kan teoretiskt sett bli realiserad på ett annat sätt än förut, samtidigt som det väcker frågor om konstnärens integritet. Andra värden kanske blir mindre centrala; autenticitet kanske kommer värdesättas mer än originalitet.

Kopior eller repliker, som görs med syftet att bevara och tillgängliggöra, eller som del i konstnärens arbete, kan vara ett verk i sig menar Hill Stoner. Konstnärer har låtit göra massupplagor av sina verk eller bett assistenter färdigställa deras verk genom alla tider. Historiskt sett har många verk med olika funktion producerats på det här sättet. Därför kan ett verk som konstnären själv inte arbetat med, fortfarande ha ett autentiskt värde (2009, s. 14). Om detta autentiska värde är lika med det autentiska värde som konstnären själv ger, är en subjektiv fråga. Vissa anser att ett restaurerat verk ger ett större värde, medan andra menar att konstnärens hantverk och integritet kan komma att kompromissas. En ”ruin” berättar om historien och vad verket varit med om. Denna historia kan aldrig suddas ut. På så sätt kan det autentiska värdet även ligga däri.

Hur man visar ett verk i sin verkliga form eller i sitt ideala tillstånd är subjektivt eftersom det kan vara en stor skillnad mellan begreppen eller ingen alls — beroende på hur de tolkas. Konstnärens intention har ett relativt värde, menar McBride (McBride, 1997, s. 93: Mullholland, 2014, s.92). Lowenthal instämmer att begreppet i sig förändras med tidens ideologi och därmed är ouppnåeligt (Lowenthal, 1998: Mullholland, 2014, s. 92). Att kopiera delar av ett verk som skadats kan vara att återföra verket till sin ”rätt” då dess naturliga gång blivit avbruten. Autenticiteten, menar Jokilehto, skapas både av oss och det tillstånd vi för verket till. Brooks beskriver att Jokilehto [is] ”commenting on the reinforcing circularity of the process of establishing ’authenticity’ whereby the values embodied in the object are seen as a means of validating this status while themselves creating it” (Jokilehto, 1995, s. 32: Brooks, 2014, s. 7).

5. ANALYS, DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Fallstudierna i uppsatsen visar hur konservatorn kan integrera 3D-teknik i arbetet med att restaurera skulpturer som utsatts för skador på grund av yttre omständigheter. I båda projekt har åtgärder planerats utifrån etiska riktlinjer som konservatorn har att förhålla sig till. I båda fallen har värde och funktion varit viktiga ledord i arbetet.

Lucia Arbace, intendent för kulturarv i Abruzzo-regionen, menar att Madonnans värde ligger i hennes historiska och religiösa betydelse, inte i den specifika konstnärens arv eftersom denna är okänd (di Napoli, 2011). Informant 4, chefskonservator i projektet, menar att syftet bakom restaureringen inte bara var att återställa materialet utan även de värdena som statyn stod för. Tack vare att handen återskapades, kunde Madonnans bedjande gest återställas och på så sätt även statyns funktion. Madonnans historiska och ikoniska värde stärktes även genom att arbetsgruppen besökte staden Pietranico, dit skulpturen nu har återförts, och intervjuade invånarna om deras minnen (Bevilacqua, 2011).

Till skillnad från Madonnan är Rodin-skulpturen starkt förknippad med en känd konstnär. *Tänkaren* har ett högt konstnärligt och konsthistoriskt värde. För Singer Museum i Laren har skulpturen även ett ikoniskt värde (Beentjes & van der Molen, 2013, s. 147). Trots att skulpturen förlorade mycket av sitt konsthistoriska värde på grund av vandaliseringen, kunde verket fortfarande ha ett ikoniskt värde för museet. Därför prioriterade man de estetiska värdena vid restaureringen. Informant 5, chefskonservator, menar även att bronzen, trots att den är en i serien av ett flertal avgjutningar, fortfarande har unika egenskaper.

Förhållningssättet som konservatorerna arbetat utifrån i dessa projekt har varit likt det traditionella. Informant 4 menar att de aspekter som beaktades längs vägen med Madonnan handlade om förberedande studier (dokument, foton, intervjuer), dokumentation av material (före, under och efter restaurering), reversibilitet av samtliga åtgärder samt organisation och samverkan i en tvärvetenskaplig grupp för att nå samma mål; att återställa statyns värde och mening. Informant 5 lyfter också fram reversibilitet, dokumentation och samverkan som viktiga aspekter i arbetet med *Tänkaren*. Samverkan skulle kunna sägas öka eller förstärkas genom integreringen av 3D-teknik.

Eftersom material ofta poängteras som en viktig aspekt för ett verks autenticitet, kan man fråga sig hur förhållandet till detta kommer att utvecklas i framtiden. Redan idag kan de flesta material bearbetas i 3D-skrivare. Troligtvis kommer det bli ännu lättare att bearbeta fler typer av material, vilket i sin tur skulle möjliggöra mer komplexa restaureringar. Det är även möjligt att material med särskilda egenskaper skulle kunna tas fram för ett speciellt ändamål — material med samma typ av utseende men med andra egenskaper.

I relation till material lyfts frågan om hållbarhet. Informant 5 berättar att hållbarhet var en viktig aspekt i val av material för *Tänkaren*. Materialet skulle inte heller påverka originalmaterialet negativt och ha liknande egenskaper som bronzen. Informant 2 menar att hållbarheten av Madonnans stödstruktur var beroende av de tekniska förutsättningar som fanns vid restaureringstillfället. Man kan se i båda projekten att hållbarhet på sätt och vis har fått stå tillbaka för andra prioriteringar som formbarhet, användarvänlighet, kostnad och kemiska egenskaper — anledningar som kan ha varit knutna till vad som var möjligt vid respektive tillfälle. Men vad räknas som lång hållbarhet? Material som till exempel används i SLS- och SLA-skrivare håller inte i en evighet, precis som allt annat. Dessa material bryts ned av UV-ljus och gulnar med tiden. Vilka material är det som restaureras till slut efter ett flertal genomförda restaureringar?

Det faktum att restaureringar ofta behöver förnyas och göras om, skulle kunna stödja Jokilehtos tes att autenticitet är ett cirkulärt skeende. Det kan även stödja idén att upplevelsen av ett verk kan bero mer på autenticitet än originalitet. Material som konstant kan både frångås och optimeras.

Vilka värden ett verk tillskrivits beror som tidigare beskrivet på det individuella objektet och hur vi förhåller oss till det. Hur gamla verken är, vem som har skapat dem och vilken funktion de har haft, påverkar hur vi ser på restaureringen av dem — samtidigt som att vi utgår från att det ska finnas en viss typ av autenticitet som ska kunna appliceras på samma sätt oavsett verk. Respektive värden och förutsättningar har påverkat hur dessa restaureringar kunde utföras. Eftersom Rodin-konservatorerna hade tillgång till gipsmodellen som museets *Tänkaren* hade gjutits i, var det möjligt för dem att kopiera de estetiska egenskaperna på ett annat sätt än för Madonnan, vars halva insida enbart kunde kopieras. Man skulle kunna säga att konstnärens intention kunde infrias i arbetet med *Tänkaren*, samt verkets funktion i arbetet med Madonnan.

Man kan fråga sig hur upplevelsen av dessa två skulpturer på sitt respektive sätt förhåller sig till begreppet autenticitet. Trots att begreppet är subjektivt och individuellt för varje verk, kan det vara intressant att applicera på dessa två fallstudier. Gordon (2009) ställde frågan om upplevelsen av en kopia inte är autentisk. I detta fall när det inte handlar om fullständiga kopior, finns det ändå något att utforska i den frågan i och med att kopiering har varit en förutsättning för båda dessa projekt. Spelar det någon roll för upplevelsen hur osynligt eller synligt ett tillägg är? Som Appelbaum (2007) tidigare nämnde, förväntar vi oss att olika typer av objekt ska ställas ut på olika sätt. Ett verk som har gått igenom många tidigare restaureringar har fler historiska lager som kan betraktas tillhöra objektet och förväntas finnas där. Vi tillskriver objekt olika värden beroende på deras kontext. Men vad händer med upplevelsen av ett verk när vi tillskriver det ett värde?

Ett verks historia har ett inflytande på hur vi ser på ett restaurerat verk. Hur kommuniceras ett verks restaureringshistoria till publiken? Har den historien en inverkan på hur autentiskt

ett verk upplevs? Om ett verks restaureringshistoria skulle förmedlas oftare till museibesökare, skulle kanske det autentiska begreppet upplevas bredare. De som upplever ett skadat verk mer verkligt, äkta eller autentiskt än ett restaurerat verk, kan på så vis få en mer rättvis bild av verkets historia. Att ett komplett original besitter en särskild känsla och värde ifrågasätter nog inte många. Däremot kanske det finns olika typer, plan eller nivåer av den verkliga autentiska upplevelsen.

De båda restaureringsprojekten kommunicerades till publiken på olika sätt. Innan hela restaureringen av Madonnan var klar, visades statyn på Italian American Museum i New York som bidragit ekonomiskt till projektet. Under utställningen kunde man se baksidan av stödstrukturen och huvudets interna stöd. Detta gjorde man för att visa hur omfattande skadorna hade varit och hur restaureringsarbetet hade gått till. Innan statyn sedan återfördes till sin ursprungliga plats, kyrkan Chiesa di San Michele e Santa Giusta i Pietranico, åtgärdades de synliga stödstrukturerna med gips (di Napoli, 2011 & Arbace et al., 2013, s. 342). Informant 2 menar att stöden, särskilt det för huvudet, tillverkades så att de skulle bli så osynliga som möjligt.

Efter att restaureringen av *Tänkaren* färdigstälts, visades skulpturen i utställningen Rodin — De Denker Denkt Weer (*Tänkaren* tänker om). Hela restaureringsprocessen illustrerades med bilder och olika gipsmodeller och reproduktioner från Musée Rodin visades också (Singer Laren, 2011). Informant 5 berättar att publiken idag informeras om restaureringen genom presentationen av skulpturen.

Tänkaren i Laren är inte den enda som har blivit vandaliserad i historien. Den *Tänkaren* som finns på Cleveland Museum of Art visar ett exemplar som blev skadad av dynamit 1970. I och med att de restaureringsalternativ som fanns tillgängliga då skulle inneburet större ingrepp, beslutade museet att visa skulpturen i sitt skadade tillstånd som ett sätt att även visa dess historia (The Cleveland Museum of Art, u.å.).

Informant 5 menar att de moderna konserveringsprinciper som råder inte behöver kompromissas tack vare den teknik som finns tillgänglig idag. 3D-teknik kan däremot möjliggöra en högre precision än vad restaureringen av verket kräver. Äldre bronser är i regel mindre detaljerade än gipsformarna de gjutits i. Eftersom konservatorerna hade tillgång till att scanna gipsformen kunde alltså en högre detaljerad version av smalbenet tas fram. Enligt etiska regler för konservatorer ska ett verk inte förbättras, samtidigt som konstnärens intention numera kan fångas på ett annat sätt.

Man kan ifrågasätta vad som händer med hantverket när utförandet kan optimeras med hjälp av teknik. Går immateriella värden förlorade när datorer kan kopiera hantverket och dessutom utföra det ”bättre”? Vad händer med konstnärens intention och integritet då? Om ett verk är skadat är det bättre att göra en full kopia eller en virtuell modell än att restaurera verket i fråga? Blir upplevelsen av verket mer sant om historien får sätta sina spår?

Historiskt sett har replikering och kopiering förknippats med dupliceringen av yttre estetiska egenskaper. Vad händer när vi nu får möjligheten att kopiera insidan av ett verk? Är det en form av replikering eller en rekonstruktion? Vad händer med vårt sätt att se på begreppen?

3D-teknik ställer många frågor. I praktiken är det kanske främst arbetsprocessen som ser annorlunda ut för konservatorer. Ett projekt innehåller flera tekniska aspekter. Detta kan på längre sikt betyda att fler yrkesgrupper arbetar tillsammans eller att konservatorns roll breddas till att inbegripa fler moment och arbetsuppgifter. Respektive projekt har visat hur viktigt det är med samverkan mellan olika yrkesgrupper. Tekniker, konsthistoriker och kuratorer har med sina respektive kunskaper bidragit till att projekten blivit tvärvetenskapliga. Informant 2 berättar att konservatorerna var den drivande kraften i att använda 3D-teknik vid arbetet med Madonnan. Konservatorerna arbetade i tätt samarbete med tekniker för att återställa statyn.

Konservatorns roll kommer inte behöva negligeras eftersom denna har den viktiga uppgiften att tolka informationen och göra den relevant, samt att skapa en helhet av verket i fråga. Konservatorns kunskap kommer även vara viktig för en riskbedömning och individuell anpassning av utrustning. I artikeln om Madonnan poängteras att konservatorns skicklighet var viktig och att inget lämnades upp till datorn (Arbace et al., 2013, s. 337). Detta menar även konservatorerna som arbetade med Rodin-skulpturen, vilka anser att man inte ska förlita sig på automatiserade algoritmer utan även arbeta manuellt med att justera och definiera den digitala modellen. I och med att 3D-teknik utvecklas snabbt och blir mer och mer tillförlitligt är det mycket troligt att tekniken kommer att få en inverkan och betydelse för konservatorns arbete (Beentjes et al., 2013a, s. 302).

Båda projekt har även använts i didaktiska syften. Informant 4 berättar att de digitala modellerna av Madonnan främst använts i undervisningen för kulturvårdstekniker och studenter i datorgrafik, men att en dokumenterad film om projektet även producerades för att publiken skulle få en inblick i hur arbetet gått till. Informant 5 berättar att en dokumentär gjordes om beslutsprocessen och restaureringen av *Tänkaren*. Ett flertal artiklar publicerades även i samband med arbetet.

Sammanfattningsvis har fallstudierna visat att digital 3D-teknik är ett accepterat tillvägagångssätt för att vetenskapligt undersöka ett verk (Arbace et al., 2013, s. 344). Modeller kan ge information om tillstånd, skador och förlorade delar. De kan även ge uppgifter om mått och dimensioner, samt ge en ökad förståelse för konstnärens arbete och verkets tillverkning (Beentjes et al., 2013a, s. 302).

Fallstudierna kan ses genom Brooks (2014) tidigare argument, att det ibland kan vara nödvändigt att göra ett större ingripande för att återfå eller upprätthålla ett verks mening

och värde. Båda projekt har prioriterat verkens respektive värden i restaureringen av dem. Brandi talade om att behålla en ruin i ett status quo samtidigt som att han gav sitt stöd till att restaurera om det fanns tillförlitliga källor. Kanske är det dessa förhållningssätt som även råder idag — att replikering bör göras för att rädda, skydda eller möjligen återställa, förutsatt att verkets historia fortfarande kan förmedlas. Tillgänglighet kan istället utökas med hjälp av digital information och dokumentation.

Slutligen verkar de etiska och praktiska förhållningssätt som konservatorn traditionellt sett arbetar utifrån i grunden inte skilja sig från de aspekter som beaktas vid användandet av 3D-teknik. Däremot har tekniken gett oss andra förutsättningar. Vi kan utvinna mer information och återskapa den mer exakt än vad vi tidigare har kunnat. Vad får den möjligheten för inverkan på hur och när vi väljer att restaurera? Ska vi återställa ett verk bara för att det är möjligt? I och med de förutsättningar som finns idag, är det ännu mer viktigt att definiera när ett verk ska visas i sitt ”verkliga” tillstånd eller i sitt ”ideala” tillstånd. 3D-teknik är ett verktyg som kommer att föra denna diskussion vidare och troligtvis göra den ännu mer aktuell. Konservatorn kan vara med och driva denna diskussion.

6. SAMMANFATTNING

Syftet med denna uppsats har varit att undersöka hur 3D-teknik kan integreras i konserveringsarbetet och användas som ett verktyg för bevarande. Frågeställningarna som lett arbetet har handlat om hur dessa tekniker kan användas för digital dokumentation och fysisk replikering eller rekonstruktion. Målet har även varit att lyfta några av de frågor som kan uppkomma under processen och belysa några av de aspekter som konservatorn kan ha i åtanke i och med de nya förutsättningar som uppstår.

För att få en inblick i hur 3D-teknik appliceras idag inom konservering, har ett flertal olika vetenskapliga artiklar och rapporter från tidskrifter och konferenser studerats. Två fallstudier valdes ut av dessa där konserveringsprojektet var väl beskrivet. För att få en djupare förståelse för de tekniska aspekterna kompletterades studierna med teknisk litteratur. Metodik-litteratur för konservatorer studerades; både klassiska och samtida teorier. Tre intervjuer genomfördes för tre olika projekt, varav två är fallstudier i texten. Intervjufrågorna hade till avsikt att öka förståelsen för de praktiska bitarna i projekten men även för att få en bild av de etiska aspekter som konservatorn ställts inför.

Uppsatsen inleds med en historieberövning av replikeringsmetoder för att ge en bakgrund i ämnet. Därefter ges en grundläggande presentation av de vanligaste scanning-metoderna som används inom konservering, samt metoder för additiv tillverkning (ofta kallat 3D-printing). I avsnittet därefter ges exempel från verkligheten på hur dessa metoder kan användas för dokumentation, analys och restaurering. Begränsningar och risker med tekniken diskuteras sedan utifrån praktiska aspekter.

De två fallstudierna beskriver två skilda projekt där 3D-teknik; scanning och additiv tillverkning, har använts för att restaurera skadade skulpturer. En skulptur är modern; *Tänkaren* av Rodin, och den andra från renässanstid; *Madonnan av Pietranico*.

Vid Singer Museum i Laren, Nederländerna, vandaliserades ett exemplar av Rodins *Tänkaren*. Skulpturen återfanns med sågmärken, deformationer och ett avsågat smalben. Innan restaureringen påbörjades genomfördes analyser av legeringen och tillverkningen. Tack vare att den gipsmodell som skulpturen tagits fram med fanns att studera i Rodins ateljé, kunde ett åtgärdsförslag med replikering tas fram. Både den vandaliserade skulpturen och gipsmodellen scannades med strukturerat ljus. Måtten och formen på deformationerna visades i den digitala modellen. Skulpturen justerades mekaniskt och scannades igen. Justeringen visade sig då vara lyckad. Ett nytt smalben gjöts i brons i en form framtagen med SLA — en annan typ av 3D-skrivare. Mellanrummen som orsakats av sågverktygen kunde fyllas med en epoxiblandning med bronspulver som även de gjöts i formar framtagna med skrivaren.

Madonnan av Pietranico skadades i en jordbävning i Abruzzo, Italien. Ett flertal fragment saknades när skulpturen återfanns. För restaureringen krävdes en stödstruktur varpå fragmenten kunde fästas. Med hjälp av ett scanning-system baserat på triangulation togs en digital modell av statyn tas fram. Insidan av modellen skrevs ut med en 3DP-skrivare för att användas som stödstruktur. Genom att jämföra brottytorna digitalt kunde hoppassningen optimeras. Statyns polykroma yta analyserades och ett försök till att återskapa denna virtuellt gjordes.

Båda restaureringar kan sägas ha ökat de historiska och ikoniska värdena som respektive skulptur tilldelats. Även det informativa värdet har ökat. Respektive förutsättningar för varje skulptur påverkade metod och tillvägagångssätt. 3D-teknik användes i båda fallen för att kunna optimera restaurering och utvinning av information. Digitala modeller ökade tillgänglighet och möjlighet att studera och förstå verket och dess problematik. Rekonstruktion och replikering av fysiska delar, som verken saknade, möjliggjorde en återföring av verket och dess värden.

I diskussionsdelen undersöks etiska och praktiska förhållningssätt genom klassiska och samtida etikteorier. Begreppet autenticitet diskuteras samt konserveringsetik i förhållande till replikering, rekonstruktion och tillägg. Innebörden av dessa teorier appliceras sedan på fallstudierna. Även konservatorns roll och uppdrag diskuteras.

Fallstudierna pekar på att konservatorns arbetsuppgifter antingen kan komma att breddas i och med de tekniska aspekter som denna ställs inför eller så blir samverkan mellan olika yrkesgrupper allt mer viktig. Konservatorns kunskap kan även komma att bli viktig i riskbedömningar och tolkning av information.

Grunden för de etiska och praktiska förhållningssätt som konservatorn traditionellt sett arbetar utifrån är till synes lika vid användandet av 3D-teknik. Däremot har tekniken gett oss nya förutsättningarna för bevarande. Vi kan utvinna mer information och återskapa den med större precision än tidigare. Denna möjlighet ställer i sin tur fler frågor. Hur kommer vi se på material och hållbarhet? Ska ett verk visas i sitt ”verkliga” eller ”ideala” tillstånd? Ska vi konservera eller restaurera? Vad är det vi väljer att bevara, hur gör vi det och varför? Hur förhåller vi oss till konstnärens intention och integritet? Oavsett hur ett verk väljer att visas, bör så mycket information som möjligt om verket, dess historia och restaurering att förmedlas till publiken. Konservatorn kan vara en förespråkare för delgivande av restaureringshistorien och vara delaktig i diskussionen om hur 3D-teknik kan implementeras i konserveringsarbetet för att behålla verkets autenticitet.

I förhållande till tidigare forskning har den här uppsatsen presenterat och analyserat fallstudier utifrån ett helhetsperspektiv och försökt sätta dessa i relation till konservatorns arbete och uppgift. I och med att tekniken utvecklas kontinuerligt har uppsatsen gett en bild av hur några av möjligheterna sett ut fram tills idag.

KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING

Bildförteckning:

Omslag:

Digital modell av *Tänkaren*. photo©Introtech. In: Beentjes, T., van der Molen, R. (2013b). 3D scanning and printing as conservation tools: an innovative treatment of a vandalized bronze statue. In: Saunders, D. R., Strlič, M., Korenberg, C., Luxford, N., Birkhölzer, K. (Eds.) *Lasers in the Conservation of Artworks IX*. London: Archetype.

Digital modell av *Madonnan av Pietranico*.
photo©Elsevier and Arbace, L., Sonnino, E. (2011). *La Madonna di Pietranico. Storia, restauro e ricostruzione di un'opera di terracotta*. Pescara: Edizioni ZIP.

Fig. 1: photo©Factum_Arte. In: *Factum Arte's work in the tombs of Tutankhamun, Nefertari and Seti I. For the Supreme Council of Antiquities*. (2009). http://www.factum-arte.com/publications_PDF/Tutankhamun_Report_may2009.pdf [2015-04-13]

Fig. 2: photo©Factum_Arte. In: *Factum Arte's work in the tombs of Tutankhamun, Nefertari and Seti I. For the Supreme Council of Antiquities*. (2009). http://www.factum-arte.com/publications_PDF/Tutankhamun_Report_may2009.pdf [2015-04-13]

Fig. 3: photo©Factum_Arte. In: *Polittico Griffoni - Digital technology applied to the reunification of a scattered altarpiece*.
<http://www.factum-arte.com/pag/637/Polittico-Griffoni> [2015-04-13]

Fig. 4: photo©Factum_Arte. In: *Polittico Griffoni - Digital technology applied to the reunification of a scattered altarpiece*.
<http://www.factum-arte.com/pag/637/Polittico-Griffoni> [2015-04-13]

Fig. 5: photo©Svenson, M. In: Beentjes, T., van der Molen, R. (2013b). 3D scanning and printing as conservation tools: an innovative treatment of a vandalized bronze statue. In: Saunders, D. R., Strlič, M., Korenberg, C., Luxford, N., Birkhölzer, K. (Eds.) *Lasers in the Conservation of Artworks IX*. London: Archetype.

Fig. 6: photo©Introtech. In: Beentjes, T., van der Molen, R. (2013b). 3D scanning and printing as conservation tools: an innovative treatment of a vandalized bronze statue. In: Saunders, D. R., Strlič, M., Korenberg, C., Luxford, N., Birkhölzer, K. (Eds.) *Lasers in the Conservation of Artworks IX*. London: Archetype.

Fig. 7: photo©Beentjes, T., van der Molen, R. and Svenson, M. In: Beentjes, T., van der Molen, R. (2013b). 3D scanning and printing as conservation tools: an innovative treatment of a vandalized bronze statue. In: Saunders, D. R., Strlič, M., Korenberg, C., Luxford, N., Birkhölzer, K. (Eds.) *Lasers in the Conservation of Artworks IX*. London: Archetype.

Fig. 8: photo©Elsevier and Arbace, L., Sonnino, E. (2011). *La Madonna di Pietranico. Storia, restauro e ricostruzione di un'opera di terracotta*. Pescara: Edizioni ZIP.

Fig. 9: photo©Elsevier and Arbace, L., Sonnino, E. (2011). *La Madonna di Pietranico. Storia, restauro e ricostruzione di un'opera di terracotta*. Pescara: Edizioni ZIP.

Fig. 10: photo©Elsevier and Arbace, L., Sonnino, E. (2011). *La Madonna di Pietranico. Storia, restauro e ricostruzione di un'opera di terracotta*. Pescara: Edizioni ZIP.

Otryckta källor:

Informant 1: Carlos Bayod, arkitekt, Factum Arte. Intervjuformulär via e-mail (2015-04-24).

Informant 2: Lucia Arbace, intendent för kulturhistoriskt arv i Abruzzo-regionen (Soprintendenza per i beni storici, artistici ed etnoantropologici dell'Abruzzo). Intervjuformulär via e-mail (2015-05-04).

Informant 3: Marco Callieri, forskare Visual Computing Lab of ISTI-CNR. Intervjuformulär via e-mail (2015-05-04).

Informant 4: Elisabetta Sonnino, konservator-restorer, Museo Nazionale d'Abruzzo. Intervjuformulär via e-mail (2015-05-04).

Informant 5: Tonny Beentjes, konservator-restorer, programansvarig metallkonservering Universiteit van Amsterdam. Intervjuformulär via e-mail (2015-05-08).

Adrian Heritage, professor Universität zu Köln. Föreläsning Göteborgs universitet (2015-2-15).

Marcel Bilow, ingengör Technische Universiteit Delft. Personlig kommunikation (2015-4-15).

Tryckta källor och litteratur:

Appelbaum, B. (2007). *Conservation Treatment Methodology*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.

Arbace, L., Sonnino, E., Callieri, M., Dellepiane, M., Fabbri, M., Idelson, A.I., Scopigno, R. (2013). Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue. *Journal of Cultural Heritage*, 14(4): 332–345.

Beentjes, T., Street, R., Thurrowgood, D., Blanchetière, F. (2013a). 3-D imaging as a research tool for the study of bronze sculpture. In: Hyslop, E., Gonzalez, V., Troalen, L., Wilson, L., (Eds.) *Metal 2013 Edinburgh, Scotland. Interim Meeting of the International Council of Museums Committee for Conservation Metal Working Group*. Edinburgh: Historic Scotland, pp. 301–306.

Beentjes, T., van der Molen, R. (2013b). 3D scanning and printing as conservation tools: an innovative treatment of a vandalized bronze statue. In: Saunders, D. R., Strlič, M., Korenberg, C., Luxford, N., Birkhölzer, K. (Eds.) *Lasers in the Conservation of Artworks IX*. London: Archetype, pp. 146–153.

Beunen, A.M. (1999). Moral right in modern art: an international survey. In: Hummelen, U. & Sillé, D. (Eds.) *Modern Art: Who Cares?* Amsterdam: The Foundation for the Conservation of Modern Art och The Netherlands Institute for Cultural Heritage, pp. 222–232.

Brandi, C. (1996). Theory of Restoration I & II. In: Price, S.N., Talley Jr, M., Vaccaro, M.A. (Eds.) *Historical and Philosophical Issues in the Conservation of Cultural Heritage*. Los Angeles: Getty Conservation Institute, pp. 230–235 & 339–342.

Brooks, M.M. (2014). 'Indisputable authenticity': engaging with the real in the museum. In: Gordon, R. (Ed.) *Authenticity and Replication: The Real Thing in Art and Conservation*. London: Archetype, pp. 3–10.

Dietz, C., Catanzariti G., Martínez, A.J. (2011). Infrared reflectography using 3D laser scanning. *E-conservation Journal*, 18: 32–42.

Dyer, J., Verri, G., Cupitt, J. (2013). *Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence Modes: A User Manual (Version 1.0, October 2013)*. London: British Museum.

Franzon, M., Hultgren, R. (2015). 3D-scanning och 3D-fräsning/printing, är det inte längre en omöjlighet? *SFT NYTT*, 1(1): 12–15.

Gordon, R. (2014). Identifying and pursuing authenticity in contemporary art. In: Gordon, R. (Ed.). *Authenticities and Replication: the Real Thing in Art and Conservation*. London: Archetype, pp. 95–107.

Gordon, R. (2009). The 'paradigmatic art experience'? Reproductions and their affect on the experience of the 'authentic' art work. In: Hermens, E., Fiske, T. (Eds.). *Art Conservation and Authenticities: Material, Concept and Context*. London: Archetype, pp. 259–264.

Graham, C.A. (2012a). *Applications of Digitization to Museum Collections Management, Research, and Accessibility* (Master's Thesis). Lund: Institutionen för arkeologi och antikens historia, Lunds universitet. <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=2543856&fileId=2543866> [2015-04-15]

Graham, C.A. (2012b). 3D digitization in an applied context: polychromy research. *Tracking Colour-The Polychromy of Greek and Roman Sculpture in the Carlsberg Glyptotek Preliminary Report 4*. Köpenhamn: Ny Carlsberg Glyptotek, pp. 64–88.

Groenendyk, M. (2013). *A further investigation into 3D printing and 3D scanning at the Dalhousie University Libraries: a year long case study*. *Library Hi Tech*, 31(1): 34–42.

Hansson, M. (2015). Mosuls lejon återskapas digitalt. *Ping magasin*, 4: 52–53.

Happa, J., Williams, M., Turley, G., Earl, G., Dubla, P., Beale, G., Gibbons, G., Debattista, K., Chalmers, A. (2009). Virtual relighting of a Roman statue head from Herculaneum: a case study. *Afrigraph '09, Proceedings of the 6th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa*. New York: ACM, pp. 5–12.

Hermerén, K. (2014). Vad är en replik? I: Faxe, J., Hermerén, K., Reuterswärd, M. (Red.) *Konservering av en praktmålning. Karl XI med familj av David Klöcker Ehrenstrahl*. Malmö: Exaktaprinting, s. 29–32.

Hill Stoner, J. (2009). Degrees of authenticity in the discourse between the original artist and the viewer. In: Hermens, E., Fiske, T. (Eds.) *Art Conservation and Authenticities: Material, Concept and Context*. London: Archetype, pp. 13–21.

Hoskins, S. (2013). *3D Printing for Artists, Designers and Makers*. London: Bloomsbury Publishing.

Hughes, A., Ranfft, E. (1997). *Sculpture and Its Reproductions*. London: Reaktion Boos Ltd.

- Knaack, U., Bilow, M., Strauß, H. (2010). *Rapids-Layered Fabrication Technologies for Facades and Building Construction*. Rotterdam: 010 Publishers.
- Mullholland, R. (2014). 'And I know damned well what he wanted!'. In: Gordon, R. (Ed.) *Authenticity and Replication: the Real Thing in Art and Conservation*. Archetype: London, pp. 86–94.
- Narkiss, I. (2009). 'Is this real?' Authenticity, conservation and visitor experience. In: Hermens, E., Fiske, T. (Eds.) *Art Conservation and Authenticities: Material, Concept, Context*. London: Archetype, pp. 237–245.
- Payne, E.M. (2013). Imaging techniques in conservation. *Journal of Conservation and Museum Studies*, 10(2): 17–29.
- Tucci, G., Bonora, V. (2007). Application of high resolution scanning systems for virtual moulds and replicas of sculptural works. *XXI International CIPA Symposium, 01-06 October 2007, Athens, Greece*. Athens: CIPA — The ICOMOS/ISPRS Committee for Documentation of Cultural Heritage.
- Tucci, G., Bonora V. (2011). From real to...”real”. A review of geomatic and rapid prototyping techniques for solid modelling in cultural heritage field. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-5/W16, 2011 ISPRS Trento 2011 Workshop, 2-4 March 2011, Trento, Italy*. Trento: ISPRS, pp. 575–582.
- Muñoz-Viñas, S. (2005). *Contemporary Theory of Conservation*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Vasquez, D., Alvarez, A., Muñoz, J., Garcia-Botella, A. (2013). Spectral and colorimetric measurements for cultural heritage. In: Bentkowska-Kafel, A., Murphy, O. (Eds.) *Proceedings of the Colour and Space in Cultural Heritage Session at the Denkmäler 3D Conference, "From low-cost to high-tech 3D-Doc. in Archaeology & Monument Preservation", The LWL Industrial Museum Zeche Zollern, Dortmund, 18 October 2013, COSCH e-Bulletin, No.1 (2014)*. Dortmund: Colour & Space in Cultural Heritage, pp. 1–6.
- Wachowiak, M.J., Karas, B.V. (2009). 3D Scanning and Replication for Museum and Cultural Heritage Applications. *Journal of the American Institute for Conservation*, 48: 141–158.
- Warnier, C., Verbruggen, D. (2014). *Printing Things*. Berlin: Gestalten, pp. 10–14.

Zycherman, L., O'Banion, S.K. (2013). Cooperation creates a custom crate: conservation, laser scanning, 3D milling and crate building work together. *AIC Annual Meeting 2013 Abstracts*. Washington: American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, p. 72.

Elektroniska källor:

Artescan. (2012). *3D Laser scanning history*. <http://artescan.net/blog/3-d-laser-scanner-history/> [2015-04-14]

Bevilacqua, M. (Regissör). (2011). *Madonna di Pietranico (20 min) - Restauro*. [Video]. Italien: MBV Production.

British Museum. (u.å.). *Scanning electron microscopy (SEM)*. http://www.britishmuseum.org/about_us/departments/conservation_and_science/research/scientific_techniques/scanning_electron_microscopy.aspx [2015-04-13]

Cultural Heritage Science Open Source. (2015). *Instrumentation*. <http://chsopensource.org/instrumentation/> [2015-5-5]

di Napoli, G. (2011). A Piece of Abruzzo in NYC- Italian American Museum showcases the Madonna di Pietranico. *Magna Grece- Ethno-cultural journal for people of Southern-Italian Descent*, May 3rd. <http://magnagrece.blogspot.fr/2011/05/a-piece-of-abruzzo-in-nyc.html> [2015-05-07]

Factum Foundation. (2015). *Facsimile of the tomb of Tutankhamun*. <http://www.factumfoundation.org/ind/40/Facsimile-of-the-Tomb-of-Tutankhamun> [2015-04-13]

Factum Arte. (2015). *Interview with George Stolz. Revisit de Occidente Magazine, 2010*. <http://www.factum-arte.com/pag/205/Adam-Lowe-interviewed-by-George-Stolz> [2015-05-07]

Factum Arte. (2015). *Polittico Griffoni - Digital technology applied to the re-unification of a scattered altarpiece*. <http://www.factum-arte.com/pag/637/Polittico-Griffoni> [2015-04-13]

Glyptoteket. (2014). *Transformations. Classical sculpture in color*. <http://www.glyptoteket.com/whats-on/calendar/transformations-classical-sculpture-in-colour> [2015-05-11]

Grayce West, M. (2011). Restored Italian statue visit its guardian angels. *The Wall Street Journal*, April 9th. <http://www.wsj.com/articles/SB10001424052748704415104576251023627156448> [2015-05-11]

- Klaas, E. (2012). *What light color should a White-Light-Scanner use?* http://8-tree.com/wp-content/uploads/2012/11/CMSC-2012-What-light-color-should-a-White-Light-Scanner-use_v5-final.pdf [2015-04-22]
- Nationalencyklopedin. (2015). Faksimil. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/faksimil> [2015-04-12]
- Nationalencyklopedin. (2015). Kopia. <http://www.ne.se/uppslagsverk/ordbok/svensk/kopia> [2015-04-12]
- Nationalencyklopedin. (2015). Replik. [http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/replik-\(2\)](http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/replik-(2)) [2015-04-12]
- Nationalencyklopedin. (2015). Reproduktion. [http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/reproduktion-\(2\)](http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/reproduktion-(2)) [2015-04-12]
- Sculptureworks Inc. (2014). *The story of sculpture: from clay to bronze*. <http://www.gobronze.org/from.html> [2015-04-13]
- Singer Laren. (2011). *Rodin - de Denker denkt weer*. <http://www.rodindedenker.nl/denker/> [2015-05-08]
- Smithsonian. (u.å.). *About Smithsonian X 3D*. <http://3d.si.edu/about> [2015-04-15]
- Svenska Akademiens Ordbok. (2014). Faksimil. Kopia. Rekonstruktion. Replik. Reproduktion. <http://g3.spraakdata.gu.se/saob/> [2015-04-12]
- The Cleveland Museum of Art. *Rodin's The Thinker*. <http://www.clevelandart.org/research/in-the-library/collection-in-focus/rodins-thinker> [2105-05-08]
- The Metropolitan Museum of Art. (2015). *Roman copies of Greek statues*. http://www.metmuseum.org/toah/hd/rogr/hd_rogr.htm [2015-04-13]
- 3ders. (2013). *Rembrandt prints in 3D: for research on painting process*. <http://www.3ders.org/articles/20130925-rembrandt-prints-in-3d-for-research-on-painting-process.html> [2015-04-22]
- 3DSystems. (2015). *Sagrada Familia: color jet printing (CJP) helps architects at Sagrada Familia follow Gaudi's method while saving time and money*. <http://www.3dsystems.com/nl/node/867> [2015-05-11]

APPENDIX

Bifogat finns de två intervjuformulär som användes för fallstudierna. Det första användes för Rodins *Tänkaren* (Le Penseur) i Laren, Nederländerna och det andra för *Madonnan av Pietranico* (Madonna di Pietranico) i Abruzzo, Italien.

Intervjuformulär 1: Rodins *Tänkaren*

1. Could you please describe further what approaches were taken in the decision making of the restoration? What values were prioritized?
2. In addition to structured light scanning being accurate and high speed, how come it's appropriate for bronze sculpture? When scanning The Thinker did you use a combination of structured light and laser scanning with triangulation? If so, why?
3. Did you use any 3D imaging methods in addition to 3D scanning and the technical analysis, to gain a better understanding of the condition of the sculpture?
4. What aspects were considered most important in the restoration of the fillings and the missing leg? How was the discussion on material, sustainability, aesthetics and reversibility?
5. Could you please clarify how you made the fillings for the gaps and saw cuts and if you used stereolithography or digital light processing for the additive manufacturing?
6. Did the virtual models help you gain a better understanding of the sculpture apart from the possibility of being able to adjust the deviations? What software was used to create the models?
7. Are the virtual models used for didactic purposes? What information is communicated to the public about the restoration?
8. What values were heightened after the restoration of the art work?
9. What practical and ethical aspects were considered during the process to maintain authenticity? What, if any, influence may 3D technologies have on the codes of ethics (that were developed before these technologies existed), and the concepts of authenticity and originality?

Intervjuformulär 2: *Madonnen av Pietranico*

1. How did the properties of the sculpture influence the choice of a triangulation based scanner?
2. What information was gathered on the condition of the object through scanning and imaging methods?
3. Could you please clarify if it was a kind of polynomial texture mapping that was used to obtain the color information?
4. Did the team consider using rapid prototyping or conventional prototyping techniques to produce the missing parts of the fingers? Why was it important to include traditional sculptural techniques in the process?
5. Could you please describe the decision making of the support structure in terms of material, its sustainability and the aesthetics in which it was applied? Did the application of the plaster differ from the front or backside?
6. Could you please explain further how the values associated with the sculpture affected the decision making in the restoration process?
7. What values were heightened by the reassembling?
8. What information is communicated to the public at exhibition? Is the virtual model used for didactic purposes?
9. What practical and ethical aspects were considered to maintain the authenticity of the work?
10. How has 3D technologies influenced the work of the conservator? Have you had new experiences in which the limitations you experienced have improved?

