

DIGITAL REKONSTRUKSJON AV HOLDHUSMADONNAEN BASERT PÅ FARGEUNDERSØKELSE OG 3D LASERSKANNING

MILLE STEIN OG LARS GUSTAVSEN

BAKGRUNN

I Holdhus kirke utenfor Bergen finnes det en malt og forgyllt madonnaskulptur i sandstein. Holdhusmadonnaen (119,5 x 42 x 23,5cm) er en elegant hugget skulptur fra 1400-tallet, utført av førsteklasses håndverkere, og antakeligvis importert fra kontinentet. Den er Norges eneste polykrome steinskulptur fra middelalderen som er bevart in situ. Skulpturen er godt bevart, men de originale fargene er sterkt falmet. Den er derfor ikke så lett å få øye på i konkurranse med de fargesprakende dekorasjonene på tømmerveggene i skipet, og det er vanskelig å forstå hvordan skulpturen opprinnelig har sett ut (fig. 1). Skulpturen ble konserverert på Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU) i Oslo i 2011-2012 (Stein 2012, 25-34).

Holdhus kirke (bygget ca. 1300, ombygget ca. 1726) er i dag en museumskirke som eies av Fortidsminneforeningen og som jevnlig brukes av skolelever fra den nærliggende Hålandsdalen leirskole. I kirken får elevene undervisning i hvordan kirken ble brukt i eldre tider. Kirkens eldste klenodium, Holdhusmadonnaen, inngikk inntil nylig ikke i undervisningsopplegget. For å øke interessen for og kunnskapen om skulpturen ble det derfor, i forbindelse med konserveringen, laget en digital rekonstruksjon av skulpturens polykromi slik vi mente den kan ha sett ut som ny. Rekonstruksjonen ble basert på fargeundersøkelse og på tilgjengelig kunnskap om senmiddelalderpolykromi.

Å visualisere resultater av fargeundersøkelser av skulpturer kan gjøres på ulike måter. I 2D-format, som håndkolorerte tegninger og manipulerte fotografier (Stein 2010, 78, 84), eller i 3D-format, enten som fysiske rekonstruksjoner (Brinkmann og Koch-Brinkmann 2010, 122), som digitale rekonstruksjoner (Geary 2006, 511), eller som digitale animasjoner. Prosjektets økonomi tilsa at vi måtte velge en enkel rekonstruksjonsmetode, og valg av metode var dessuten betinget av formål og målgruppe. I vårt tilfelle var målgruppen først og fremst leirskoleelevene, og formålet var å vise hvordan skulpturen kan ha sett ut som ny. Vi valgte derfor å lage rekonstruksjonen i et format som er velkjent for sko-

leelever: den digitale animasjon. Dessuten kan malerikonservatorer og kunsthistorikere ha nytte av slike rekonstruksjoner i diskusjon om originalpolykromi. Rekonstruksjonsforslaget skulle utføres som en 3D-animasjon som skulle kunne lastes ned fra internett uten spesielle krav til programvare. Videre ville vi teste om en mobil, liten og lett, håndholdt laserskanner var egnet til å lage en digital grunnmodell for en digital fargerekonstruksjon, og om en slik skannemetode er av en slik kvalitet at den kan brukes til å lage en fysisk 1:1 rekonstruksjon av en skulptur, om den skulle gå tapt.

I denne artikkelen beskrives fargeundersøkelsen, laserskanningen og den digitale fargerekonstruksjonen. Til slutt diskuteres metodevalg og resultat. Fargeundersøkelsen og laserskanningen ble gjennomført av NIKU, mens den digitale rekonstruksjonen av farger og teksturer ble utført av Arkikon AS, etter anvisning fra NIKU. Arkikon AS er et Bergenbasert (arkeologisk) selskap som driver med visualisering (bl.a. rekonstruksjon) og formidling av kulturhistoriske tema.



Fig. 1. Holdhusmadonnaen, fotografert etter konservering, på sin faste plass i Holdhus kirke. Skulpturen måler 119,5 x 42 x 23,5 cm. Foto: NIKU 2012

The Holdhus Madonna photographed after conservation at its usual location in Holdhus Church. The sculpture measures 119.5 x 42 x 23.5 cm.

METODE

Vi brukte følgende metoder for fremstillingen av den digitale 3D-animasjonen:

- Fargeundersøkelse
- Laserskanning
- Digital rekonstruksjon av farger og teksturer

FARGEUNDERSØKELSE

Skulpturen ble fargeundersøkt av NIKU på tradisjonell måte. Den ble undersøkt i pålys, sidelys og UV, og det ble laget 15 tverrsnitt av ulike strukturer. Åtte av tverrsnittene ble i tillegg analysert ved hjelp av elektronmikroskop (SEM-EDX).

LASERSKANNING

Skulpturen ble skannet ved hjelp av en laserskanner. Resultatet fra denne skanningen skulle brukes som basis for den digitale rekonstruksjonen av farger og tekstur. Til skanningen ble det benyttet en håndholdt, selvposisjonierende laserskanner av typen Creaform VIUScan (fig. 2).

Dette er et svært fleksibelt instrument, da dets størrelse (1,3 kg) og utforming gjør det mulig å komme til på vanskelig tilgjengelige steder på skulpturen, samtidig som det kan kobles til batteri slik at det med enkelthet kan flyttes til objektet som skal skannes.¹ For overføring av data kobles skanneren via en ledning til en bærbar pc med tilhørende programvare.

Skanneren består av et håndtak med to videokameraer som er plassert med en kjent avstand og vinkel i forhold til hverandre. LED-lys i instrumentet belyser overflaten som skal skannes, og de to kameraene fanger opp refleksjonen i retroreflektorer som er festet til overflaten. Retroreflektorer er små (6 mm Ø) sirkulære plastskiver med en reflekterende overflate, som brukes til å beregne skannerens egen posisjon i forhold til objektet. Instrumentet belyser samtidig overflaten med laserlys, og videokameraene fanger opp hvordan lyset projiseres mot overflaten. Instrumentet kan ut fra dette beregne hvor det projiserte lyset befinner seg, og skannerens programvare kan generere overflaten som en digital modell i form av triangulære polygoner, et såkalt mesh.

Retroreflektorene festes i et vilkårlig mønster på skulpturens overflate, med 2 til 10 cm innbyrdes avstand. Klisteret på baksiden av retroreflektorene er nokså kraftig, og kan påføre malingen skade ved fjerning. På malte og forgylte overflater ble de derfor festet til områder som på forhånd var isolert med Cyclododekan, mens de på mindre sensitive overflater som umalt sandstein og retusjer ble festet direkte til overflaten etter å ha blitt trykket mot et tekstil for å redusere limstyrken.² Det ble festet om lag 260 retroreflektorer på skulpturen (fig. 2).

Det var uproblematisk å fjerne dem etter at skanningen var ferdig.

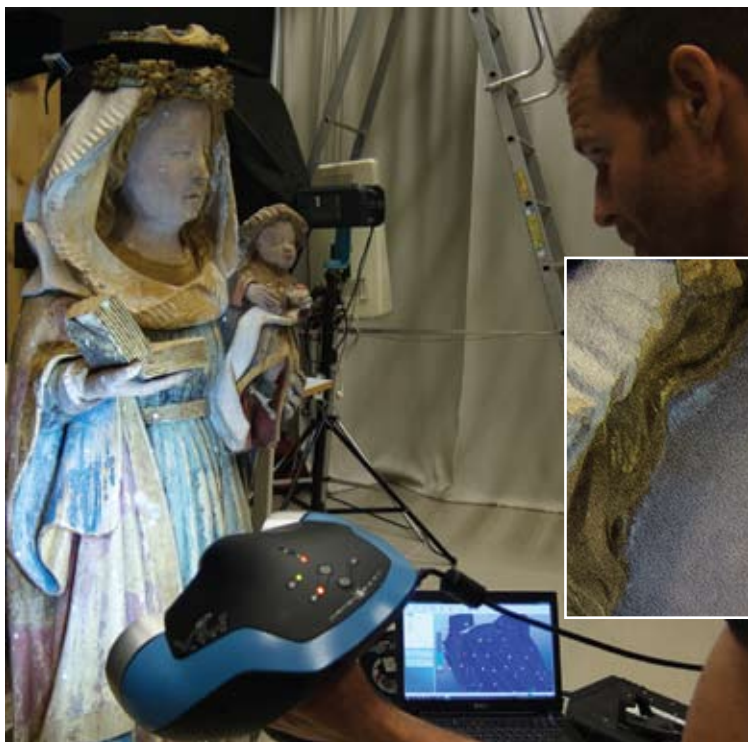


Fig 2. Laserskanning av Holdhusmadonnaen. Observer den håndholdte skanneren, samt de pålimte retroreflektorene på skulpturen. På pc-skjermen i bakgrunnen sees den i sanntid digitale gjengivelse av skulpturen. Foto: NIKU 2012

Laser scanning of the Holdhus Madonna: showing the hand held laser scanner and the retro reflectors attached to the surface of the sculpture. The digital mesh, created in real-time during the scanning, can be seen on the laptop screen in the background.

KALIBRERING AV INSTRUMENTET

Instrumentet kalibreres deretter geometrisk, hvilket korrigerer mekaniske endringer som har oppstått i instrumentet under transport eller ved temperaturendringer, samt radiometrisk der laserlysets intensitet i forhold til objektet

som skal skannes justeres. Slik kan instrumentet bedre «lese» laserlyset når det treffer overflaten på objektet. I begge tilfeller skjer kalibreringen ved hjelp av instrumentets programvare og gjennomføres i løpet av minutter.

KOORDINATSYSTEM

Neste steg i skanningsprosessen er å etablere et koordinatsystem for skulpturen. Dette gjøres ved å skanne alle retroreflektorene med den håndholdte laserskanneren, uten å skanne selve overflaten på objektet. Under denne prosessen genererer programvaren et unikt koordinatsystem gjeldende for objektet som skal skannes. Koordinatsystemet består av x, y og z-koordinater, og lagres som en tekstfil. For at datasettet ikke skulle bli for stort ble skulpturen skannet i flere deler, hvor hvert datasett ble knyttet til dette koordinatsystemet, og til slutt koblet sammen til ett enkelt datasett.

OPPLØSNING OG DETALJGRAD

Skannerens maksimale oppløsning er av produsenten oppgitt til 0,1 mm. Det vil si at polygon-sidene er maksimalt 0,1 mm lange. Jo høyere oppløsningen er, jo mer detaljert registreres ob-

jektet. Å skanne med høyeste oppløsning kan være tidkrevende ettersom det genereres datamengder som selv en kraftig bærbar pc kan ha problemer med å prosessere. Siden hovedformålet i dette prosjektet var visualisering og formidling, ikke eksakt dokumentasjon, besluttet vi å generere en modell der polygonenes sider var 0,98 mm lange. Oppløsningen ble bestemt på grunnlag av et testskann på en utvalgt del av skulpturen, hvor detaljnivå ble vurdert opp mot tidsforbruk og hvor effektivt den bærbare pc'en kunne håndtere datamengdene. Med denne oppløsningen tok det ca. 7 timer å skanne Holdhusmadonnaen.

SKANNING

Selve skanningen gjennomføres ved å føre instrumentet systematisk og i glidende bevegelser over overflaten med ca. 15 cm avstand. Uregelmessige bevegelser påvirker ikke datasettet da skanneren til en hver tid oppdaterer sin egen posisjon i forhold til objektet. Den digitale overflaten bygges opp automatisk i instrumentets programvare og kan observeres i sanntid på pc-skjermen (fig. 2), slik at man til en hver tid har oversikt over hvilke områder som er skannet,



Fig 3a. Det skannede og ferdig etterprosesserte datasettet slik Arkikon mottok det. NIKU 2012. b. Datasettet etter at Arkikon hadde forenklet det for videre bearbeiding. Billedbehandling: Arkikon 2012. c. Stillbilder av den digitale rekonstruksjonen av Holdhusmadonnaens originalpolykromi. Billedbehandling: Arkikon 2012. d. Holdhusmadonnaskulpturen anno 2012. Foto: B. Lindstad 2012. Fig.3a. The post-processing data compilation as received by Arkikon. NIKU 2012. b. The data following processing by Arkikon. Image processing: Arkikon 2012. c. Still images of the digital reconstruction of the original polychromy of the Holdhus Madonna. Image processing: Arkikon 2012. d. The Holdhus Madonna im 2012.

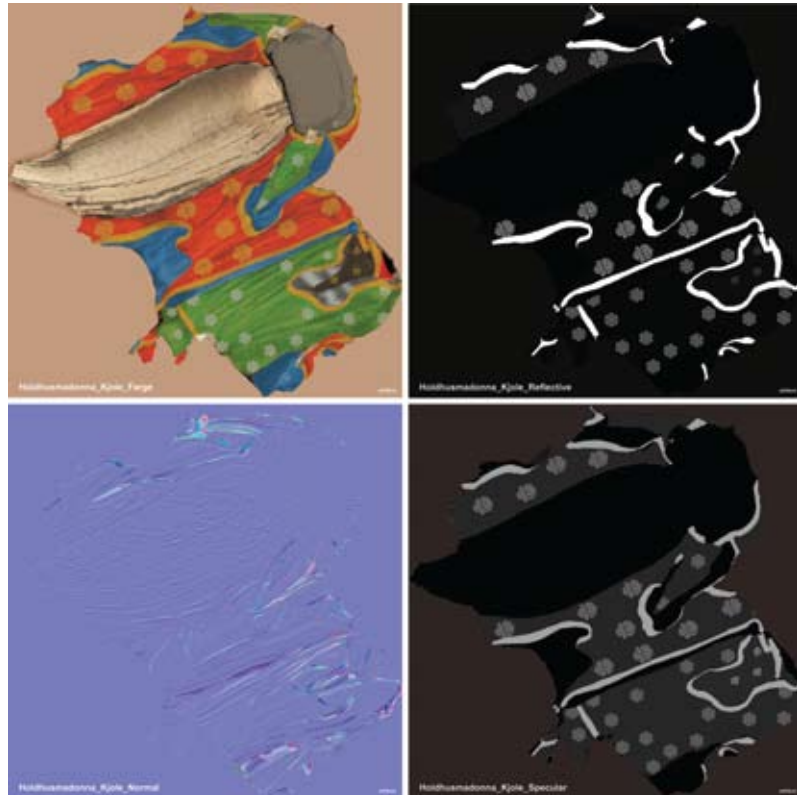


Fig. 4. 2D-kart av skulpturens korpus med de tre strukturene som ble bearbejdet i billedbehandlingsprogrammet. De fire bildene viser, fra øverst til v: "Farger"/farger, penselstrøk o.l.. "Reflective": refleksjon definert med grå-toneskala (jo lysere jo mer refleksjon). "Normal": et bilde generert av programvaren som beskriver topografien i små detaljer. "Specular": lys/skygge (jo hvitere jo mer høylys).

2D-map of the sculpture's corpus with the three structures processed in the colouring software. From upper left: "Color", brush strokes etc... "Reflective" defined in a grey tone scale (the lighter, the more reflective). "Normal" is an image generated by the software describing the topography in small details. "Specular": light/shadow (the whiter, the more specular).

samt områder der man er nødt til å komplettere datasettet. For å ha kontroll på sammenføyning av de ulike datasettene ble det skannet med et overlapp på ca. 10 %.

PROSESSERING

Det enkelte datasett ble deretter optimalisert, slik at uønskede elementer i den digitale overflaten ble fjernet. Videre ble overflaten finjustert i henhold til koordinatsystemet. De enkelte datasettene ble så eksportert til OBJ format, et åpent filformat som regnes som en industristandard. Filene ble hentet inn i programvaren Geomagic Studio, hvor datasettene ble satt sammen til ett enkelt datasett. Det eksisterende overlappet mellom de enkelte datasettene ble fjernet og modellen ble analysert for å finne og fjerne uregelmessigheter, samtidig som programvaren fylte igjen hull i modellen.

DIGITAL REKONSTRUKSJON AV FARGER OG TEKSTURER

Arkikon mottok et datasett som besto av ca. 5 millioner polygoner (fig. 3a). Ut fra det originale datasettet ble det generert en ny, mer håndterbar versjon av modellen med overflaten til det originale datasettet som mal. Det nye datasettet besto av ca. 0,5 millioner polygoner (fig. 3b), og ut fra dette kunne den tredimensjonale overflaten foldes ut til et 2D-kart slik at modellen ble mulig å fargelegge.³ Som referanse for utviklingen av 2D-kartet ble det benyttet en verbalbeskrivelse av skulpturen samt høykvalitets fargefotografier (fig. 3d). For å ivareta detaljer i overflaten som var mindre enn størrelsen på enkeltpolygonene i den nye modellen, ble disse overført fra det originale til det nye datasettet i form av en billedfil, en såkalt «normal map» (fig. 4). Den nye 3D-modellen har således færre polygoner enn det originale datasettet, mens detaljnivået beholdes visuelt.

Det er på 2D-kartet de ulike områdene på skulpturen karakteriseres, med eksempelvis farge, glans og refleksjon. Jo høyere oppløsning 2D-kartet har, jo mer presist blir resultatet. Det ble laget fire 2D-kart av skulpturen; Marias hode, Marias hånd med oppslått bok, Jesusbarnet med skriftbåndet og skulpturens korpus. Dette ble gjort for å øke oppløsningen på farge-rekonstruksjonen av 3D-modellen (fig. 3c).

Farger og teksturer ble laget ved hjelp av foto av de ulike fargene på skulpturen, tatt etter konsolidering og rensing. Da dagens farger som nevnt avviker fra de originale, ble små områder på de ulike fargene på skulpturen fuktet med white spirit før fotografering, slik at de ble mer lik de originale lokalfargene. De white spirit-mettede fargene ble brukt som referanse ved utvikling av farger og teksturer til den digitale rekonstruksjonen. Til hvert foto var det knyttet en fargereferanse (X-Rite ColorChecker) (fig. 5). De digitale lokalfargene ble også bearbejdet slik at de skulle se håndmalte ut, og de ble gitt en egen glans. Blankest er den digitale imitasjonen av oljeforgyllingen. Mattest er Marias blå kappefôr, som vi mener er malt med azuritt i et vandig medium. Brokadeimitasjonene på Marias kjole lot seg delvis rekonstruere som firkorsblomster med grønn kanting av kronbladene. Hvilken farge kronbladene har hatt ga ikke fargeundersøkelsen svar på. I rekonstruksjonen ble de laget så de skulle imitere hvitt metall med grønn konture-

ring. De øvrige brokadeimitasjonene, på hvilke vi hadde observert små fragmenter av bladgull, ble laget som kopier av andre, samtidige brokadeimitasjoner (fig. 6).⁴

Etter at farger, tekstur og glans var definert ble 2D-kartet overført til 3D-modellen. Deretter ble den digitale modellen lyssatt. Fordi skulpturens proveniens før ca. 1720 er usikker, ble den digitale modellen lyssatt med det lyset som er i kirken anno 2012, det vil si likt med lyset i kirken etter 1726. Den digitale modellen ble lyssatt med en jevn, nøytral bakgrunnsbelysning, og skyggelagt ved hjelp av to nøytrale lys fra henholdsvis høyre og venstre forfra. I tillegg ble lys fra omgivelser i kirken definert på grunnlag av fargefotografier av kirkens interiør. Til slutt ble 3D-modellen animert. Av økonomiske årsaker ble det ikke anledning til å lage en interaktiv animasjon. Vi valgte derfor i første omgang at rekonstruksjonen skulle dreie seg rundt sin egen vertikale akse, slik at alle sider bortsett fra over- og undersiden ble eksponert.

RESULTAT

Fargeundersøkelsen bekreftet at skulpturen ikke er overmalt andre steder enn på hodelinet, hvor den hvite limfargen er gjentatt minst en gang. Fargeundersøkelsen påviste også at skulpturen er limdrenket og deretter grundert med en gul oker oljemaling. Grunderingen ligger på hele skulpturens polykromerte områder, bortsett fra området under Marias røde kappe. Denne delen av kappen er malt med en rød lasur på en gul undermaling som består av gul oker og blytinnngult. Det ble ikke utført analyse av den blå fargen på Marias kappefôr, men både mikroskopi og maleteknikk (svart undermaling) tilsier at det er brukt azurit. Marias grønne kjole er malt med koppergrønt iblandet blytinnngult. Det er påvist tinn i en av pressbrokadene, mens bruk av bladgull er bedømt visuelt.

Den digitale 3D-rekonstruksjonen er tilgjengelig på internett og kan lastes ned uten særlige krav til programvare.⁵ 3D-animasjonen benyttes nå regelmessig i undervisningen på leirskolen ved kirken hvor den er tilgjengelig via QR-kode. I tillegg til animasjonen er det også laget stillbilder av rekonstruksjonen (fig. 3c og 6). Resultatet fra skanningen kan videre brukes til å måle vilkårlige områder på skulpturen. I forkant av skanningen ble skulpturens høyde målt med tommestokk til å være 119,5 cm, mens høyden



Fig. 5. Montasje av et utvalg av fargene på Holdhusmadonnaen, fotografert med og uten fukting med white spirit. Foto: B. Lindstad 2012
Montage of a selection of colours found on the Holdhus Madonna, photographed both with and without the application of white spirit.

i den originale digitale 3D-modellen (fig. 3a) ble målt til 119,82 cm.

DISKUSJON

De viktigste parameterne for metodevalg ved utviklingen av den digitale rekonstruksjonen var formål, målgruppe og økonomi, samt utprøving av en mobil, håndholdt laserskanner.

Formålet var å visualisere og formidle resultatet av fargeundersøkelsen. Å rekonstruere en flere hundre år gammel originalpolykromi med absolutt sikkerhet mener vi ikke er mulig, uansett hvor vitenskapelig polykromien er undersøkt. For det første fordi polykromeringen ble utført med hånd, med de uregelmessigheter det innebærer. Dernest fordi alle de ulike overflatene er nedbrutt på ulike måter, befinget blant annet av pigmentsammensetninger, bindemiddel og klimapåvirkning.

Rekonstruksjoner av denne typen er med andre ord basert på en tolkning av innsamlet informasjon av ulike typer, som fargeundersøkelser, oppstryksprøver, skriftlige kilder og andre samtidige, bedre bevarte objekter. Spørsmålet som da blir vesentlig å ta stilling til er: når er en digital



Fig. 6. Detalj av brokadeimitasjonen på Marias kappe. Billedbehandling: Arkikon 2012

Detail of the imitation brocade on Maria's mantle. Image processing: Arkikon 2012

fått en annen farge enn hvitt metall, hvilket de sannsynligvis ikke har hatt. Like fullt mener vi at rekonstruksjonen gir en bedre visualisering av originalpolykromien enn verbalbeskrivelser og 2D-rekonstruksjoner.

Målgruppen var først og fremst leirskole-elevene. At skolen benytter animasjonen i undervisningsopplegget tolker vi som at lærerne er tilfreds med resultatet, sett fra et pedagogisk ståsted. Derfor foreligger det konkrete planer om en interaktiv 3D-animasjon. Om animasjonen og stillbildene av rekonstruksjonen vil bli benyttet i fagmiljøer innen konservering og kunsthistorie gjenstår å se.

Som vist over kan den digitale grunnmodellen (fig. 3a) også brukes til å ta mål på skulpturen dersom den ikke er fysisk tilgjengelig. Måledata på en skulptur angis normalt i faglitteratur med en nøyaktighet på 1 mm, en nøyaktighet tilsvarende den vi oppnådde med den håndholdte skanneren.

Om skanningen av Holdhusmadonnaen kan brukes til å lage en fysisk rekonstruksjon av originalen dersom den gikk tapt, kan diskuteres. Et digitalt rekonstruksjonsgrunnlag vil naturligvis bli best om skanningen er gjort med høyest tilgjengelig oppløsning. Med den oppløsningen vi valgte vil fine detaljer i skulpturen bli upresist gjengitt dersom den ble fysisk rekonstruert i målestokk 1:1. Spørsmålet vi sitter igjen med til slutt er: hvor nøyaktig skal en digital rekonstruk-

sjon være? I andre rekonstruksjonsprosjekter, der skannere med langt høyere oppløsning er brukt til dette formål, har de utfreste fysiske modellene likevel blitt etterbehandlet for hånd av håndverkere.⁶

Den håndholdte skanneren kan etter våre erfaringer ikke benyttes til overvåking hvor man skal registrere endringer på pigmentnivå, altså 1-40 µm (Esthaug 2004, XVII). Til dette formål må man benytte instrumenter med langt høyere oppløsning, eksempelvis et som benytter seg av strukturert lys (Trudsø 2010, 5) eller et overflateprofilometer (Stein og Haugen 2010, 397). Håndholdte skannere betegnes gjerne som berøringsfrie, det vil si at det ikke er kontakt mellom instrumentet som måler og objektet som måles. Denne betegnelsen kan imidlertid diskuteres, da det må festes retroreflektorer på objektets overflate før skanning. Bruk av nyere fotogrammetriske metoder, der objektet kan dokumenteres i 3D kun ved hjelp av høyoppløselige fotografier, og uten retroreflektorer kan således vise seg å være mer hensiktsmessig (Remondino 2013, 121).

Den håndholdte skanneren kan etter våre erfaringer ikke benyttes til overvåking hvor man skal registrere endringer på pigmentnivå, altså 1-40 µm (Esthaug 2004, XVII). Til dette formål må man benytte instrumenter med langt høyere oppløsning, eksempelvis et som benytter seg av strukturert lys (Trudsø 2010, 5) eller et overflateprofilometer (Stein og Haugen 2010, 397). Håndholdte skannere betegnes gjerne som berøringsfrie, det vil si at det ikke er kontakt mellom instrumentet som måler og objektet som måles. Denne betegnelsen kan imidlertid diskuteres, da det må festes retroreflektorer på objektets overflate før skanning. Bruk av nyere fotogrammetriske metoder, der objektet kan dokumenteres i 3D kun ved hjelp av høyoppløselige fotografier, og uten retroreflektorer kan således vise seg å være mer hensiktsmessig (Remondino 2013, 121).

KONKLUSJON

Gitt formålet for denne digitale 3D-rekonstruksjonen, og de økonomiske begrensinger som lå i prosjektet, mener vi at resultatet ble tilfredsstillende. Animasjonen viser hvordan den originale polykromien kan ha sett ut. Skanningen var enkel og rask å utføre og har resultert i en oppmåling av skulpturen som vi mener kan tilfredsstille de fleste behov.

TAKK

Takk til seniorkonservator Kaja Kollandsrud og prof. emeritus Unn Plahter (begge KHM/UiO) for SEM-analysen og diskusjoner om tolkning av denne. Takk til arkeolog Ragnar Børsheim, Arkikon AS i Bergen for bidrag til arbeidet med denne artikkelen.

SAMMENDRAG

For å øke interessen for og kunnskapen om en sterkt falmet 1400-talls-skulptur, ble det laget en digital 3D fargerekonstruksjon av den. Målgruppen for rekonstruksjonen var elevene på en leirskole i nærheten, malerikonservatorer og kunsthistorikere. Artikkelen beskriver hvordan rekonstruksjonen ble laget og diskuterer resultatet og hva det kan brukes til.

NØKKELORD

Håndholdt laserskanner, digital oppmåling, formidling, polykrom skulptur, oppløsning, nøyaktighet.

ABSTRACT

In order to increase interest and knowledge regarding a heavily faded 15th century sculpture, a digital 3D reconstruction was made. The target groups for the reconstruction were pupils at a nearby summer school site, conservators and art historians. The article describes how the reconstruction was created, discusses the results and how these can be used.

KEY WORDS

Hand held laser scanner, digital recording, resolution, accuracy, polychrome sculpture

YHTEENVETO

Haalistuneesta 1400-luvun veistoksesta tehtiin digitaalinen 3D-värimallinnos tiedon ja veistokseen kohdistuvan mielenkiinnon lisäämiseksi. Mallinnoksen kohderyhminä olivat läheinen kesäkoulu, konservaattorit ja taidehistorioitsijat. Artikkelissa kuvaillaan kuinka mallinnos tehtiin, samoin keskustellaan tuloksista ja siitä, mihin mallinnosta voidaan käyttää.

AVAINSANAT

Käsikäyttöinen laserskanneri, digitaalinen tallennus, resoluutio, tarkkuus.

NOTER

1. Se <http://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/portable-3d-scanner-handyscan-3d>
2. Cyclododekan, tynnet med white spirit (100-140°C) i forholdet 9:1, ble påført skulpturen med pensel. Retroreflektorene ble påsatt etter at Cyclododekanen var tørket. Retroreflektorene bør fjernes så raskt som mulig ettersom Cyclododekanen etter om lag tre døgn sublimerer og retroreflektorene kleber seg til overflaten med sitt eget lim.
3. Alt arbeid i 3D-format (inkludert lyssetting og animasjon), ble utført i programvaren Autodesk Maya. Farger, teksturer, glans o.l. ble bearbeidet i Adobe PhotoShop.
4. Marias kappe: St. Ursula (1510-1520). Skulptur i Convent of the Sisters of St. John, Brussel. Modell 16.1. Marias underkjole: Virgin and Child with Saint and Donors (sent 1400-tall). Panelmaleri. Museum vor Schone Kunst, Gent. Modell 39.1c. Jesus' kjortel: St. Leonardo (1476-1478). Alterskap, Church of St. Leonard, Zoutleeuw. Modell 62.1. (Geelen og Steyaert 2011).

5. Se <http://www.youtube.com/watch?v=AurlSihsGKo>
6. Se <http://kollandsrud.wordpress.com/2012/04/19/na-skannes-madonna-fra-biri-i-3d/>

LITTERATUR

- Brinkmann, V. og U. Koch-Brinkmann (2010): On the Reconstruction of Antique Polychromy Techniques, i Brinkmann, V., Primavesi, O. og M. Hollein (red.). *Circumlitio the Polychromy of Antique and Mediaeval Sculpture*, München, s. 114-135.
- Esthaug, N. (2004): *The Pigment Compendium. Optical Microscopy of Historical Pigments*. Oxford.
- Geary, A. (2006): 3D Virtual Restoration of Polychrome Sculpture, i MacDonald, L. (red.) *Digital Heritage. Applying Digital Imaging to Cultural Heritage*, Oxford, s. 489-519.
- Geelen, I. og D. Steyaert (2011): *Imitation and illusion. Applied Brocade in the Art of the Low Countries in the Fifteenth and Sixteenth Centuries*. Brussel, Royal Institute for Cultural Heritage.
- Remondino, F. (2013): *Worth a Thousand Words? Photogrammetry for Archaeological 3D surveying*. I Opitz, R. S. og D. C. Cowley (red.). *Interpreting Archaeological Topography. 3D Data, Visualisation and Observation*. Oxford og Oakville, s. 115-122.
- Stein, M. (2010): *Madonnaskapene i Hedalen og Reinli stavkirker. Forslag til rekonstruksjon av skapenes opprinnelige utseende*. *Collegium Medievale* (23), s. 58-90
- Stein, M. og A. Haugen (2010): *Topographic Registration of Surfaces on Canvas Paintings. Investigations with a mobile non-contact profilometer*. *Restaurator* (6), s. 396-401.
- Stein, M. (2012): *Den hemmelighetsfulle Holdhusmadonnaen: undersøkelse, rekonstruksjon, bevaring*. Årbok 2012. Fortidsminneforeningen. Oslo, s. 25-34.
- Trudsø, S. (2010): *3D-lysscanning som dokumentations- og sammenligningsmetode*. *Meddelelser om Konservering* (2), s. 3-14

MILLE STEIN
MALERIKONSERVATOR/FORSKER.
mille.stein@niku.no
&
LARS GUSTAVSEN
ARKEOLOG
lars.gustavsens@niku.no

NIKU. P.B. 736 SENTRUM
NO-0105 OSLO
NORGE

7.