

NIKU Oppdragsrapport nr.14/2012

Testing av to skannemetoder for dokumentasjon av limfargedekorerte overflater i Urnes stavkirke

Tone Marie Olstad, Lars Gustavsen, Annika Haugen og Mille Stein



Overflateprofilometerets registreringsenhet i bruk



Innstilling av den optiske skanneren

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Bakgrunn.....	5
1.1	Prosjekthistorikk.....	5
1.2	Prosjektobjektet: Limfargedekor i koret i Urnes stavkirke	5
1.2.1	Behandling av veggdekoren i 2011.....	5
1.3	Målet for prosjektet	5
2	Dokumentasjonsmetoder brukt i prosjektet.....	6
2.1	Skanning med strukturert lys.....	6
2.2	Bruk av overflateprofilometer	7
2.3	Mål for den optiske skanningen.....	8
2.4	Mål for overflaterregistreringen med profilometer	8
3	Områder i limfargedekoren valgt ut for prosjektet	9
3.1	Områder for optisk skanning	9
3.2	Områder for bruk av overflateprofilometer.....	10
4	Gjennomføring av registreringene i kirken	12
4.1	Merking av dekoren med referansepunkter for optisk skanning.....	12
5	Analyser og resultater.....	14
5.1	Resultat etter den optiske skanningen	14
5.1.1	Analyse ved hjelp av 3D-gjengivelse av den skannede overflaten	15
5.1.2	Analyse med snittlinjer. Sammenligning av skannerresultatene før og etter behandling.....	16
5.1.3	Analyse utført i <i>Geomagic studio 12</i> . Sammenligning av skannerresultater	18
5.2	Resultater ved bruk av profilometer.....	22
5.2.1	Analyse av overflaten med 3D-kart.....	24
5.2.2	Analyse av overflaten med snittlinjer.....	26
6	Erfaringer med og kommentarer til metodene.....	27
6.1	Praktiske erfaringer ved bruk av optisk skanner i Urnes stavkirke.....	27
6.1.1	Bruk av referansepunkter for skanningen. En belastning for dekoren?	27
6.1.2	Lysbelastning på dekoren ved skanning	28
6.2	Praktiske erfaringer ved bruk av profilometer i Urnes stavkirke	29
6.2.1	Metodens belastning på dekoren.....	29
7	Diskusjon og oppsummering	29
7.1	Observerte feilkilder ved bruk av optisk skanning.....	29
7.1.2	Forskyvning mellom før- og etterskannene.....	30
7.1.3	Feilkilde ved sammenligning grunnet skannenes individuelle polygonbaserte oppbygning.....	31
8	Konklusjon.....	32
9	Litteratur	33
	Vedlegg 1	34
	Vedlegg 2	43
	Vedlegg 3	44
	Vedlegg 4	45
	Vedlegg 5	46
	Vedlegg 6	47

Bygning:	Urnes stavkirke
Topografisk nr.:	A 284
Oppdragsgiver:	Riksantikvaren
NIKUs prosjekt nr.:	156.3177
Feltarbeidsperiode:	April 2011
Prosjektleder:	Malerikonservator/forsker Tone Marie Olstad
Prosjektdeltakere:	Arkeolog Lars Gustavsen, Ingeniør/forsker Annika Haugen Malerikonservator/forsker Mille Stein,
Samarbeidspartnere:	Ingeniør Håkan Eriksson, Ramböll Sverige AB

1 Bakgrunn

1.1 Prosjekthistorikk

Prosjektet ble i 2008 akseptert av Riksantikvaren, og det skulle gjennomføres i 2009 ifølge omforent budsjett og prosjektbeskrivelse. Prosjektet ble utsatt først til 2010 og deretter til 2011 på grunn av Riksantikvarens istandsettelsesarbeider i Urnes stavkirke. Da prosjektet skulle gjennomføres i 2011 måtte det endres på grunn av kutt i bevilgning fra Riksantikvaren. Prosjektet ble etter søknad tildelt strategiske forskningsmidler fra NIKU i 2011 slik at et prosjekt kunne gjennomføres.

1.2 Prosjektobjektet: Limfargedekor i koret i Urnes stavkirke

Limfargedekoren på veggene i koret i Urnes kirke er datert 1601. Den er en av de få limfargedekorer i kirker i Norge, om ikke den eneste, som stort sett ikke er behandlet.¹ Dette er derfor en dekor som er meget viktig som kilde til kunnskap om limfargedekor.

NIKU vurderte limfargedekoren i Urnes kirke i 2003 (Olstad 2003) og i 2010 i forbindelse med arbeid med inventaret i kirken etter reparasjon av kirkebygget (Stein og Olstad 2010).

Se vedlegg 1. Beskrivelse av limfargedekoren i koret i Urnes stavkirke

1.2.1 Behandling av veggdekoren i 2011

Etter reparasjonene av kirkebygget i forbindelse med Riksantikvarens stavkirkeprogram, ble det besluttet at støv skulle fjernes fra veggdekoren og at nødvendig konsolidering av dekoren på veggene skulle gjøres. Dekoren på veggene i koret ble tørr-rensset med en myk pensel, mens støvet ble fanget opp med støvsuger. Lokale konsolideringer på små områder ble gjort på alle veggene. Punkt-konsolideringene som ble dokumentert i dette prosjektet ble gjort med 2,5% størlim som ble påført med spisspensel på aktuelle punkter. Området med løs maling hvor lim ble påført, ble presset forsiktig mot underlaget til malingen var festet. Overflødig lim på overflaten ble fjernet. Det var bestemt at behandlingsprosjektet (NIKU prosjekt 15620354), skulle samkjøres med dette prosjektet (NIKU prosjekt 1563177) slik at overflaten på dekoren kunne dokumenteres før og etter behandling.

1.3 Målet for prosjektet

Det overordnede målet var å finne en dokumentasjonsmetode som kan registrere en malt overflate som et tallfestet tredimensjonalt bilde. Metoden må kunne brukes repeterende til å spore endringer i overflaten forårsaket av for eksempel klimabelastninger og behandlinger.

De spesifikke målene for de to metodene som ble prøvd ut i prosjektet er noe forskjellige. De er beskrevet sammen med metodene i: *2 Dokumentasjonsmetoder brukt i prosjektet.*

¹ Vi har ikke funnet noen skriftlige kilder eller *in situ* dokumentasjon for tidligere behandling før 2011.

2 Dokumentasjonsmetoder brukt i prosjektet

To skannemetoder basert på reflektert lys ble brukt i prosjektet. Hensikten med begge metodene er å gi et bilde av topografien på utvalgte detaljer av dekoren.

- Skanning med strukturert lys, i det følgende kalt optisk skanning.² Det ble skannet på tre områder som varierte i størrelse og form, men som var cirka 30x30cm.³ For skanning med strukturert lys ble det brukt en fotoskanner av type GOM ATOS 2e.
- Skanning med overflateprofilometer basert på skyggebilder av overflaten.⁴ Overflateprofilometeret registrerer et område på nøyaktig 5x5mm. Det ble skannet på 28 punkter innenfor de samme områdene som var valgt ut til optisk skanning. Overflateprofilometeret TRACEiT® ble benyttet.

Den optiske skanningen ble kjøpt som tjeneste fra Ramböll Sverige AB, mens NIKU utførte registreringen med overflateprofilometeret og den påfølgende og bearbeidingen av innsamlet data. Prosessering av informasjonen ble utført av Ramböll AB og NIKU.

Hvorledes de to metodene registrerer informasjon fra overflatene så vel som resultatet av registrering med de to metodene er vanskelig sammenlignbare. Metodene ble derfor vurdert hver for seg.

2.1 Skanning med strukturert lys

Den optiske skanneren (GOM ATOS 2e) består av to kameraer samt en projektor, og metoden baserer seg således på avansert fotogrammetri. Projektoren projiserer strukturert lys, såkalte «fringes», mot overflaten som skal dokumenteres. Overflaten er i tillegg påsatt små, reflekterende klistrelapper som fungerer som referansepunkter for instrumentet. Kameraene, som står i en bestemt vinkel mot hverandre, filmer brytningene i dette lyset samt de reflekterende klistrelappene og beregner på denne måten avstand og vinkler til det skannede objektet. Instrumentet beregner inntil 4 millioner punkter per skann. Disse danner grunnlaget for å produsere et triangulert nettverk av polygoner. På denne måten kan instrumentet bygge opp en digital overflatarepresentasjon av objektet. I motsetning til tradisjonell fotogrammetri foregår beregningene og flategenereringen i sanntid, og man kan hele tiden kontrollere at deler av objektet er ferdigskannet. Ettersom metoden er basert på kontraster i det strukturerte lyset fungerer den best under kontrollerte lysforhold (Gustavsen 2009). Metoden krever ikke fysisk kontakt med objektets overflate.

Nøyaktighet og oppløsning

Slik den optiske skanneren ble brukt i Urnes, var punkttettheten cirka 70 punkter per kvadratmillimeter.⁵ Oppløsningen er fastsatt i instrumentet og punkttettheten påvirkes ikke av antallet skann som gjennomføres. Programvaren som brukes velger den punktskyen som

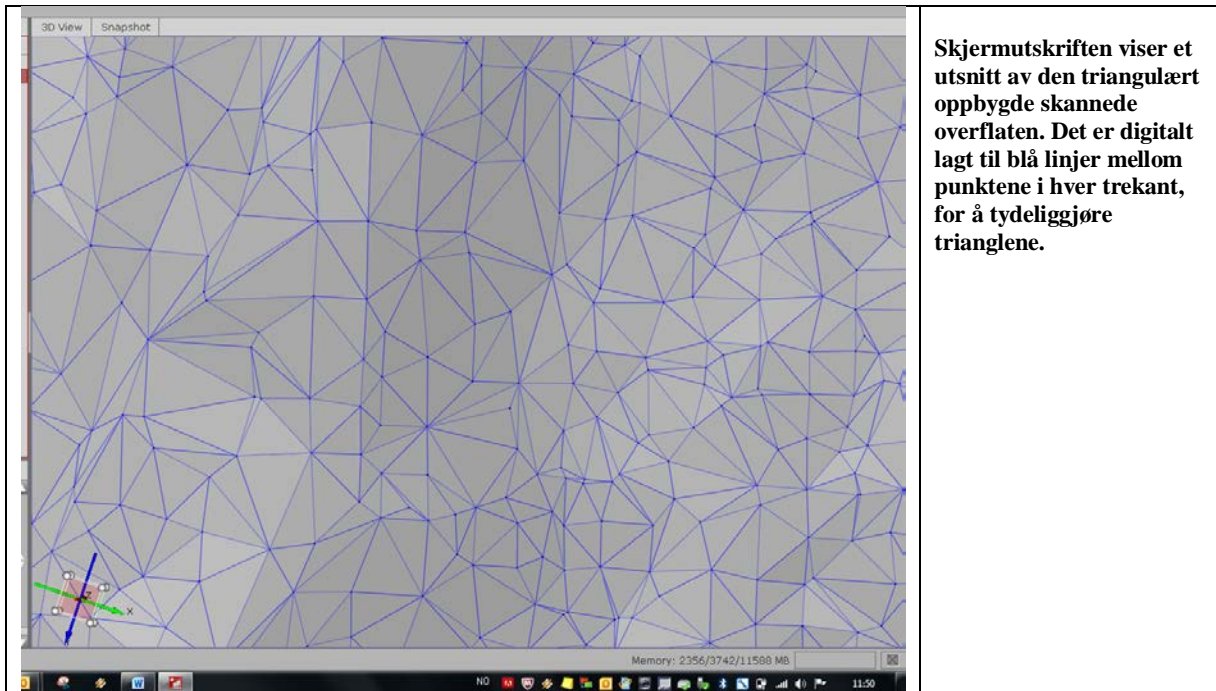
² Optisk skanning er den vanlig brukte betegnelsen på metoden. Skanning med strukturert lys er en mer nøyaktig beskrivelse av metoden. Prinsippene for bruk av strukturert lys er beskrevet på http://en.wikipedia.org/wiki/Structured-light_3D_scanner

³ Optiske skann i den oppløsningen vi ønsker, dekker i teorien så store områder som helst, men er i praksis begrenset til små områder på grunn av tidsforbruk og datamengde som skal prosesseres.

⁴ Innebygde lyskilder skaper tre skyggebilder av overflaten (shape by shading-principle).

⁵ Informasjon fra Håkan Eriksson, Ramböll Sverige AB: «Punkttettheten på måtvolum 175 (ungefær «håndflate») er ca 70 punkter på kvadratmillimeter. På rådatan från scannern. Innan denna processas till triangelmodell. Den måtvolum vi använde på Urnäs är (bas)175 x (höjd)140 x (djup)135 mm».

har best forutsetning for å generere den mest nøyaktige overflaterrepresentasjonen. Triangelstørrelsen velges etter overflatens kurvatur, der en mer kupert overflate vil gi mindre triangler enn en jevn overflate. Nøyaktigheten, det maksimale avviket mellom faktisk punkt og målt punkt er for den optiske skanneren 0,02mm.⁶



Skjermutskriften viser et utsnitt av den triangulært oppbygde skannede overflaten. Det er digitalt lagt til blå linjer mellom punktene i hver trekant, for å tydeliggjøre triangelene.

2.2 Bruk av overflateprofilometer

Overflateprofilometeret TRACEiT® er et optisk «ikke-kontakt»⁷ instrument som kalkulerer overflatens topografi ved en metode basert på refleks fra den av instrumentet opplyste overflaten. Instrumentet består av to enheter: en registreringsenhet og en PC med software utviklet for dette instrumentet. Beregningen av overflatens topografi er basert på reflekser fra overflaten, generert av tre faste lyskilder innebygd i registreringsenheten. For at målingene skal bli korrekte, må det ikke komme falskt lys inn på måleområdet. Registreringsenheten er derfor påsatt en gummiring som sikrer tett kontakt mellom instrumentet og overflaten som skal registreres. For lettere å kunne plassere registreringsenheten der man ønsker, og for i ettertid å kunne gjenfinne omtrent tidligere registrert område, har instrumentet en innebygget lyskilde som generer en visuelt gjenkjennbart bilde av overflaten.

De registrerte verdiene kan avleses direkte på PC-skjermen som visuelle fremstillinger eller som tallverdier.

Nøyaktighet og oppløsning

Instrumentet registrerer topografien på et område som måler 5x5mm i flaten (x- og y-akse) og 2mm i høyden (z-akse). Oppløsningen, avstanden mellom målepunktene, er 3µm

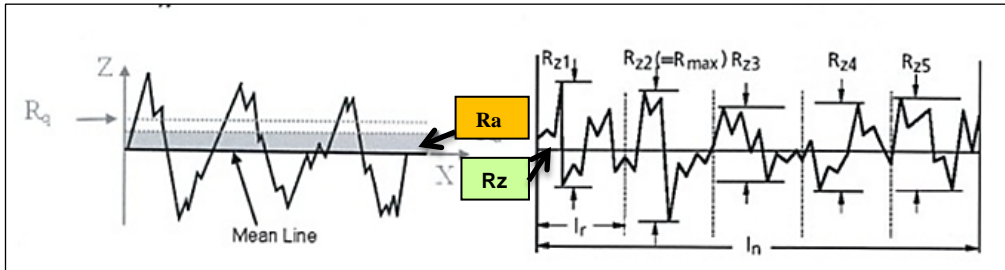
⁶ Informasjon om punkttetthet opplyst fra Ramböll AB, Håkan Eriksson 19.12.2011: *Jag har varit i kontakt med leverantören av vår skanner ett antal gånger angående detta nu. De svara att Punkttätheten på vår mätvolym är ca 70 punkter på kvadratmillimeter. Att vi skannar samma yta flera pånger påverkar inte punkttätheten. Programvaran väljer den punktsvärm som har bäst förutsättningar att skapa den noggrannaste mesh som går att presetera per ytenhet. De minsta trianglar vi kan prestera med denna skanner är ca 0.10-0.20 mm. Triangelstorleken väljs efter hur kurvaturen ser ut på den yta vi skannar. Ju planare ytan är ju större blir trianglarna. Ju mer kuperad ytan är ju mindre trianglar.*

⁷ Til forskjell fra et «kontakt- overflate profilometer» som registrerer overflaten med en stylos.

(0,003mm) i flaten, og 1.5 μ m (0,0015mm) i høyden. Det betyr at overflatens topografi kan registreres på pigmentnivå.⁸

Registreringene resulterer også i tallverdier som beskriver blant annet:

- Gjennomsnittlig ruhet (Ra)
- Gjennomsnittlig ruhetsdybde (Rz)



Illustrasjon fra: TRACEiT®. Manual V1.51 Edition: August 2009. INNOWEP

Gjennomsnittlig ruhet, Ra, er den gjennomsnittlige absoluttverdien som ruhetsprofilen genererer, og gjennomsnittlig ruhetsdybde, Rz, er den gjennomsnittlige dybden mellom høyeste og laveste punkt i fem påfølgende snitt av ruhetsprofilen, se skisse over.

2.3 Mål for den optiske skanningen

Målene var å:

- undersøke om bruk av optisk skanning med den valgte oppløsningen kan gi et tredimensjonalt bilde av dekorens overflate som en dokumentasjon av dekorens tilstand
- undersøke om registrering med optisk skanning kan gi informasjon om endring i overflatestrukturen til en limfarge forårsaket av behandling eller klimabelastning

2.4 Mål for overflateregistreringen med profilometer

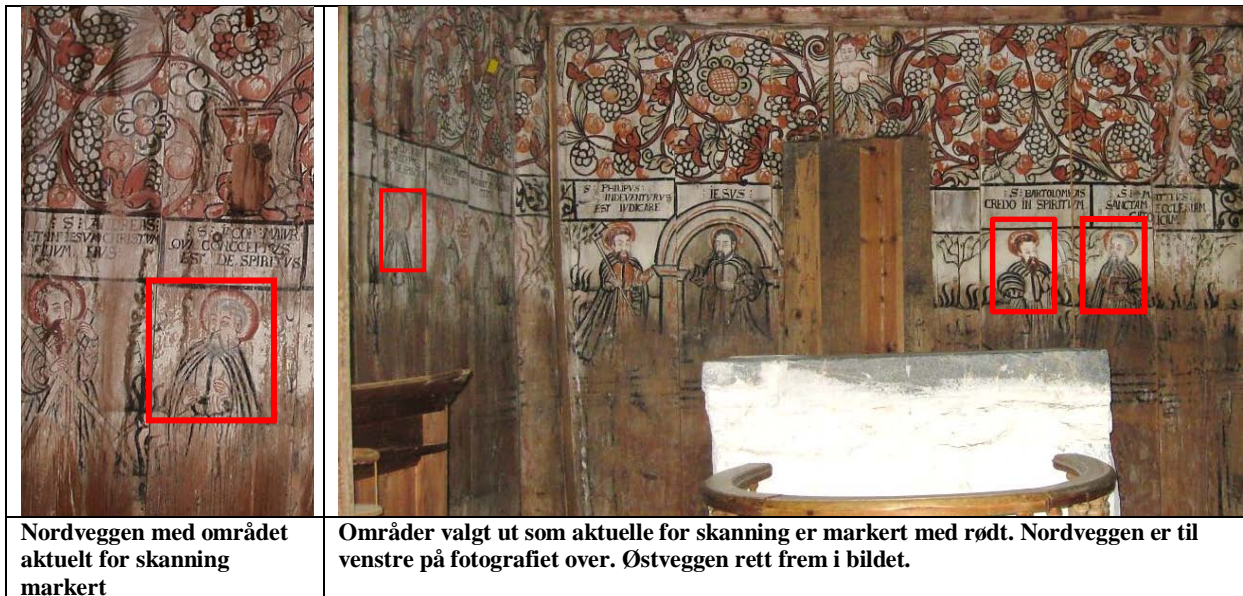
Målene var å:

- undersøke om registrering med et «ikke-kontakt» profilometer kan gi informasjon om endring i overflatestrukturen til en limfarge forårsaket av behandling eller klimabelastning
- følge opp NIKUs tidligere utprøving av «ikke-kontakt» profilometer som et supplement til verbalbeskrivelse av tilstanden på malte overflater (Stein & Haugen 2010).

⁸ Eastlaugh, N. (2004, bd. 2 s.XVII) klassifiserer pigmenter etter størrelser: very coarse 40 μ m, coarse 10 – 40 μ m, large 10-3 μ m, medium 3-1 μ m

3 Områder i limfargedekoren valgt ut for prosjektet

Tre områder ble valgt ut som egnet for prosjektet: To områder syd på østveggen og ett område omtrent midt på nordveggen. Vi valgte områder med forholdsvis like motiver hvor vi visste at deler av malingen måtte konsolideres. Vi så det som en fordel å velge områder fra to vegger ettersom den generelle tilstanden er noe dårligere på nordveggen enn på østveggen. Valg av områder var begrenset på grunn av alteret og utstyrets muligheter og krav til plass.⁹



3.1 Områder for optisk skanning

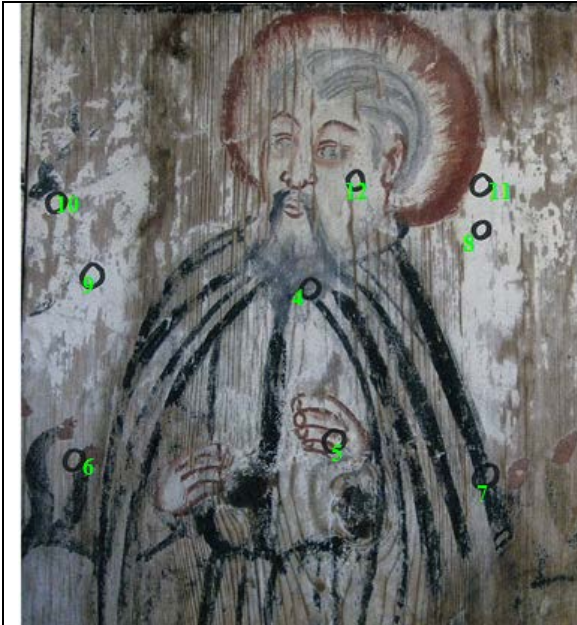
Bildene nedenfor viser de områdene som konservatorene vurderte som mest aktuelle for optisk skanning. Utstrekningen på de områdene som ble skannet er noe større.



⁹ Det er begrenset hvor høyt på veggen det er mulig å skanne uten for mye tilleggsutstyr. Bruk av tilleggsutstyr ville gjøre skanningen mer komplisert og tidkrevende, og vi ønsket ikke en slik tilleggskomplikasjon.

3.2 Områder for bruk av overflateprofilometer

De 28 områdene som ble registrert med overflateprofilometer ligger innenfor de samme områdene som ble valgt til optisk skanning. Se figurer nedenfor hvor punktene er markert. Sirklene og tallene markerer registreringspunkter for TRACEiT®. Markeringene er omtrentlige.



Ansikt 1 på nordvegg



Ansikt 3 på østvegg, nord



Ansikt 4 på østvegg, sør

Kriterier for valg av punkter til registrering med TRACEiT® :

Variasjon i områdene for å registrere områder med:

- kun hvit bakgrunnsfarge
- hvit bakgrunnsfarge med dekor med markerte penselstrøk/struktur
- hvit bakgrunnsfarge med dekor hvor deler av dekoren er bleket bort
- rester av dekor hvor bakgrunnsfargen nærmest er slitt av

Det er i praksis ikke mulig å gjenfinne eksakt det samme punktet to ganger. Derfor ble det lagt vekt på å legge registreringspunktene på overflaten etter behandling så nær opptil punktene før behandling som mulig. Ut fra en ren statistisk synsvinkel blir beregningene av gjennomsnittsverdier og standardavvik mer korrekt hvis man har mange måleverdier sammenlignet med hvis man har få måleverdier. Det er derfor et mål er å bruke mange måleverdier, og gjennomsnittsverdier av disse. 8-10 målepunkter ble vurdert som et antall som ville gi statistisk tilstrekkelig pålitelige resultater for å kunne vurdere hva som skjer i forbindelse med behandlingen. For å få resultater som tydelig viser størrelsesorden på en eventuell forandring ville det være nødvendig med betydelig flere målepunkter. For å få så god og representativ spredning som mulig har målepunktene blitt plassert med stor avstand fra hverandre.

4 Gjennomføring av registreringene i kirken

Den optiske skanningen i Urnes stavkirke ble utført av Håkan Eriksson, Ramböll Sverige AB¹⁰ over tre dager i april 2011 i samarbeid med NIKU. Kombinasjonen av ulik kompetanse, hvor konservatoren samarbeider tett med oppmålingsingeniøren er helt nødvendig for å oppnå et best mulig resultat. Samme type skanner ble i 2009 brukt for å dokumentere kirkens nordportal (Gustavsén 2009). **Se vedlegg 2. Prosess for optisk skanning av limfargede koren i Urnes stavkirke.**

Dokumentasjon av overflaten med overflateprofilometer ble utført av Stein og Olstad, NIKU i samme periode. **Se Vedlegg 3. Prosess for overflateregistreringen i Urnes ved bruk av TRACEiT®.**

4.1 Merking av dekoren med referansepunkter for optisk skanning

	
<p>Merker for koordinatsystemer ble festet på veggen på områder uten maling</p>	<p>Passmerker ble festet på områder uten maling.</p>
	
<p>Det firkantede koordinatmerket er uten klebestoff og ble i Urnes festet med maskeringstape</p>	<p>Det selvklebende passmerket (plast) er hvitt, omrammet av en sort sirkel og cirka 3 mm i diameter</p>

¹⁰ Prosjektleder tok i begynnelsen av februar 2011 kontakt med Sven-Olav Johansson som i begynnelsen av 2000-tallet i samarbeid med arkeolog Knut Paasche scannet Osebergskipet på oppdrag for Kulturhistorisk museum, UiO, og som tidligere hadde utført oppdrag for NIKU. Johansson arbeidet nå for Ramböll Sverige AB og var i ferd med å gå av med pensjon. Han ga likevel inntrykk av at han ville bidra til arbeidet i Urnes stavkirke, noe som var en medvirkende årsak til at NIKU valgte Ramböll Sverige AB (Ramböll Sverige AB, Box 5343, Vädursgatan 6, 402 27 Göteborg).

Ved optisk skanning benyttes det generelt to typer gjenfinningsmerker:

- **Koordinatmerker** – Merker for å legge skannene inn i samme koordinatsystem. Det ble gjort forsøk på å legge de tre områdene inn i samme, lokale koordinatsystem. Fordelen med ett koordinatsystem ville være at resultatet av disse skannene lettere kunne brukes sammen med en eventuell senere utvidet skanning av limfargedekoren. Av praktiske grunner, i hovedsak forårsaket av rommets innredning, var dette ikke gjennomførbart. Det ble derfor brukt to koordinatsystemer: De to skannede områdene på østveggen ligger i samme koordinatsystem, mens det skannede området på nordveggen ligger i et eget koordinatsystem.
- **Passmerker** – En mindre type som brukes for selve skanningen.¹¹

Koordinatmerkene er cirka 12x12mm og sorte med varierende hvite symboler. Et forholdsvis stort antall koordinatmerker måtte festes på veggen og dessuten på diverse andre objekter som ble plassert ved dekoren (gardintrapp, fotostativer o.a.) for å få tilstrekkelig mengde merker. Disse ble festet med biter av maskeringstape på områder uten maling.

Det selvklebende passmerket er hvitt omrammet av en sort sirkel og cirka 3mm i diameter. Antallet punkter og fordelingen av disse på flaten ble godkjent av Ramböll AB sin representant i Urnes. NIKU festet passmerkene i områder uten maling.¹²

¹¹ Firmaet bruker i sin manual for den optiske skanneren de engelske begrepene «coded and uncoded reference marks». Coded = koordinatmerker, uncoded=passmerker.



¹² NIKU var i utgangspunktet skeptiske til det å skulle klebe referansepunkter på veggene i kirken og var i planleggingsprosessen opptatt av om passmerker kunne etableres uten å belaste dekoren. Før oppstart av prosjektet fikk NIKU opplyst fra Ramböll ABs representant Sven-Olav Johansson at det ikke ville være nødvendig med pålimte referansepunkter på veggen. Ramböll ABs representant i kirken menet at passmerker var helt nødvendig. Da NIKU i kirken, under forberedelsene til skanningen, viste til Johanssons utsagn, ble antallet punkter redusert til de absolutt nødvendige. Verken koordinatmerkene eller passmerkene belastet dekoren i dette tilfellet fordi de ble plassert på områder uten maling.

5 Analyser og resultater

5. 1 Resultat etter den optiske skanningen

Det ble produsert 6 skann: ett skann fra hvert av de tre valgte områdene før og etter behandling.¹³ Skanningen har gitt en tredimensjonal representasjon av de skannede overflatene, men på grunn av en forskyving er det ikke samsvar mellom før- og etter-skannet på de enkelte områdene. Dette vanskeliggjorde sammenligningen mellom før- og etterskannene. I samråd med Ramböll AB valgte NIKU derfor å bruke skannerresultatene fra ansikt 4, det søndre området på østveggen, til videre analyse.¹⁴ For dette utvalgte området kan før- og etterskannene sammenlignes visuelt, men forskjellene kan ikke tallfestes.

De enkelte skannene kan presenteres digitalt og vurderes på mange forskjellige måter. Utfordringen ligger i å finne den visningsformen som for den visuelle vurderingen er den beste. Skannet før behandling kan legges sammen med informasjonen fra det digitale fotografiet og man kan for eksempel velge om skannene skal farges i hver sin farge for å lette sammenligningen av dem. Nedenfor sees skannerresultatet fra de to skannede områdene på østveggen. Før- og etter-skannet er lagt på hverandre.



	
<p>Det nordre skannede området på østveggen. Før- og etter-skannet er lagt på hverandre. Skannet etter behandling, som her er gråfarget, er større enn skannet før behandling og dekker delvis før-skannet. Informasjonen fra digitalt foto er lagt sammen med før-skannet, slik at førskannet her fremstår nærmest som et foto.</p>	<p>Det søndre skannede området på østveggen, ansikt 4, er det skannet som ble brukt til sammenligning av før og etterskann. Før- og etter-skannet er her lagt på hverandre. Det gråfargede etter-skannet er større enn før-skannet, men dekker ikke ytre, venstre del av før-skannet.(se pil).</p>

¹³ Datasettene fra skanningen ble levert NIKU i skannerens eget råformat samt i to utvekslingsformat; ASCII og STL, for videre bearbeidelse og analyse. ASCII-filene er enkle tekstfiler som inneholder koordinatinformasjon om modellenes oppbygning, mens STL-formatet er et standardformat for utveksling av geometriske overflatemodeller.

¹⁴ NIKU betegnelse: Ansikt 4 østvegg. Ramböll AB betegnelse:2gubb höger

5.1.1 Analyse ved hjelp av 3D-gjengivelse av den skannede overflaten

Hvert enkelt helhetsskann gir informasjon om en tredimensjonal flate. Strukturen i veggen og strukturen i malingen kan leses i skannene.

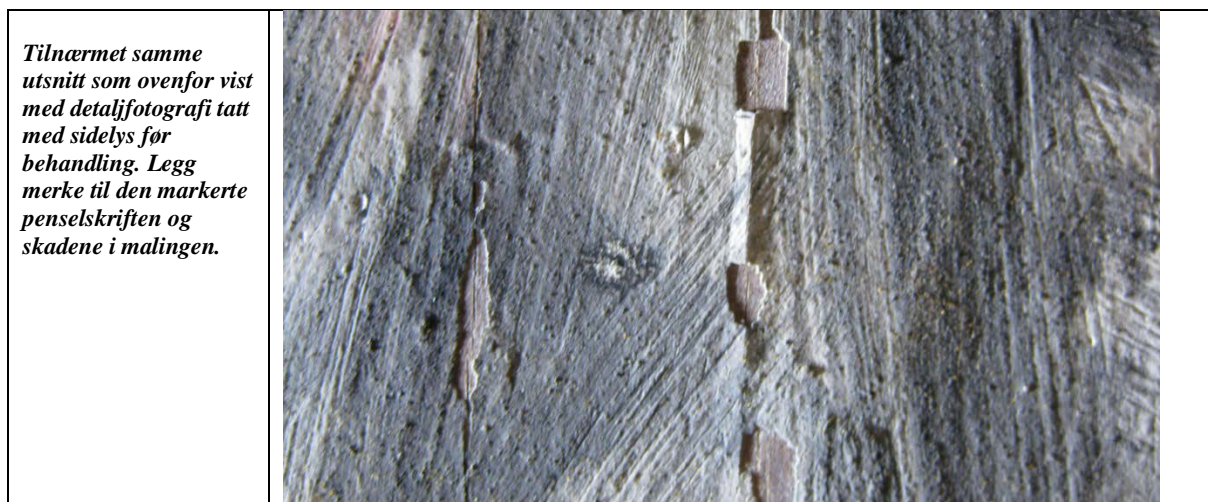
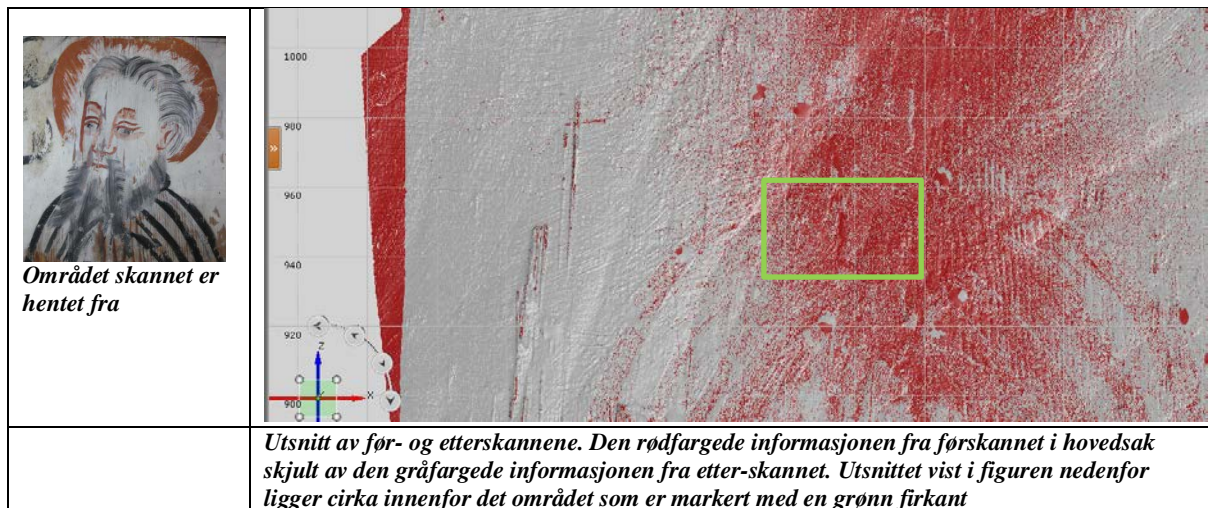
<p>Trestrukturen eller rettere spor etter avrettingsverktøy, skavkniv eller øks sees som vertikale fordypninger i strukturen som løper nærmest diagonalt fra venstre til høyre, over flaten. Penselskriften i limfargedekoren er tydelig.</p> <p>Det er vanskelig å skille mellom hva som er skader i dekorlaget og hva som er ujevnheter i treet.</p>	
<p>Foto tatt etter behandling av det samme området. Foto: Birger Lindstad</p>	

Konklusjon for overflateanalyser med tredimensjonal gjengivelse av skannet
Skann gjengitt i 3D-modus er egnet til å visualisere og tydeliggjøre overflatestrukturer

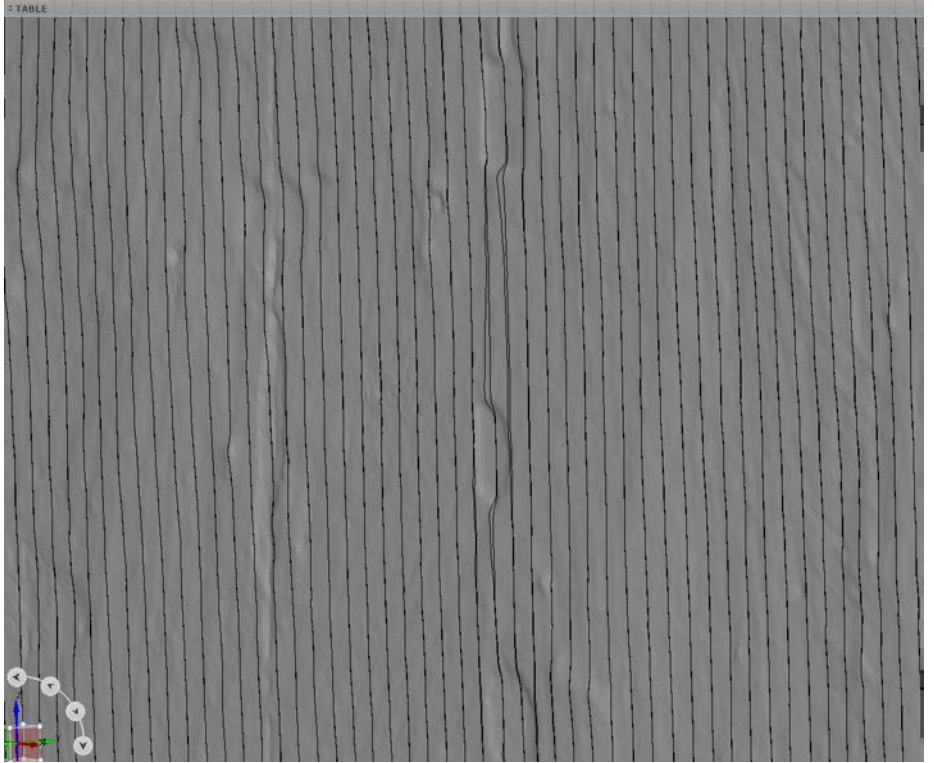
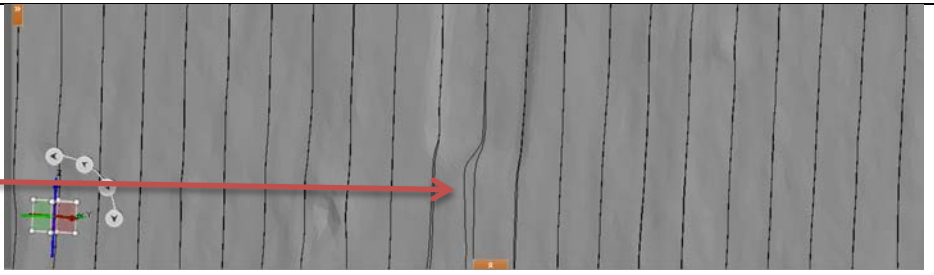
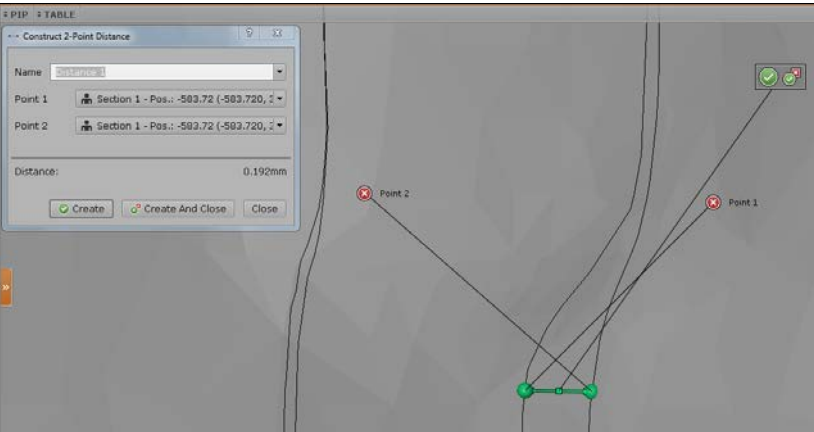
5.1.2 Analyse med snittlinjer. Sammenligning av skannerresultatene før og etter behandling.

Seksjonering av skannene. Snittlinjer

For å identifisere og tallfeste endringer forårsaket av behandlingen ble det lagt inn snittlinjer i før- og etterskannet fra ansikt 4. Snittlinjene følger strukturen i skannets triangulerte overflate, og gir informasjon om endringer i overflaten fra førskann til etterskann.¹⁵ Det ble lagt inn snitt med avstand 1 mm. Sammenligning utført ved hjelp av snittlinjer bekrefter at den oppskallede malingen er lagt ned; det er en markert forskjell mellom snittlinjene før- og etter. Samme undersøkelse på områder hvor vi kun hadde renset, men ikke gjort konsolidering viste ikke denne typen sprang mellom snittlinjene før og etter behandling.



¹⁵ Snittene kan gjøres i hvert enkelt skann, men også i to skann digitalt lagt på hverandre. Vi la inn snitt i før- og etterskannet til det utvalgte skannede området og utvalgte mindre felt av skannene ble vurdert.

<p><i>Samme detalj av skannet området som på fotografiet over. Legg merke til utfallene i malinglaget midt i bildet.</i></p> <p><i>Snittlinjer er lagt inn i før- og etter-skannet.</i></p> <p><i>Snittlinjene for før- og etterskann samsvarer bra. Det betyr at det er liten endring etter behandling, bortsett fra det området hvor vi har konsolidert dekoren (områdene omtrent midt i figuren): der skiller linjene lag.</i></p> <p><i>Utenfor disse områdene ligger linjene forholdsvis tett. Dette er de rensede områdene.</i></p>	
<p><i>Detalj fra figuren over: Detaljen er fra det øverste av malingutfallene omtrent midt i området ovenfor.</i></p>	
<p><i>Utsnittet av område markert med pil på skannet over.</i></p> <p><i>Måleavstanden mellom snittlinjene som er markert med en grønn horisontal linje på figuren, er målt til 0,192 mm.</i></p> <p><i>På det aktuelle målepunktet tilhører linjen til høyre etter-skannet, mens linjen til venstre tilhører før-skannet.</i></p>	

Konklusjon for sammenligning ved hjelp av snittlinjer

Den visuelle fremstillingen av sammenligning med snittlinjer viser at det er større avstand mellom før- og etterlinjene der malingen er punktkonsolidert, enn der malingen kun er støvrenset. I de støvrensede områdene mener vi at forskjellen mellom skannenes snittlinjer før og etter skyldes forskjellen i oppbygning av overflaten med polygoner. Programvaren som brukes for å bearbeide skannerresultatene bygger for hvert enkelt skanne opp en unik overflate basert på utvalgte best egne skannede punkter for oppbygging av flaten. Det at

hvert skann har en unik oppbygging betyr at snittlinjene gir en visuell forståelse av endring, men ingen tallfestet informasjon om endring før og etter behandling. Dette fordi det ikke er mulig å tallfeste hvilke endringer mellom snittlinjene som er knyttet til reelle endringer forårsaket av behandlingen, og hvilke som er knyttet til forskjeller i oppbyggingen av strukturen. I enhver sammenligning mellom før- og etterskann må tas høyde for en feil som er av ukjent størrelse. Denne problematikken diskuteres i **7.1.3 Feilkilde ved sammenligning grunnet skannenes individuelle polygonbaserte oppbygning**

5.1.3 Analyse utført i *Geomagic studio 12*. Sammenligning av skannerresultater

Skannerresultatene fra før og etter behandling av ansikt 4 ble hentet inn i programmet Geomagic Studio 12.¹⁶ Ved hjelp av dette programmet er det mulig å legge to skann fra samme koordinatsystem på hverandre, for å analysere eventuelle avvik mellom datasettene. Dette sammenligningsverktøyet ble brukt på datasettene til ansikt 4. Resultatene viser klare endringer i overflaten, med områder som ligger høyere og lavere enn kontrolloverflaten. Det bør imidlertid gjøres oppmerksom på at dette ikke gir et helt korrekt bilde av virkeligheten, siden det som nevnt finnes avvik mellom de to datasettenes posisjoner.¹⁷ Bildet gir allikevel et inntrykk av hvordan man med denne metoden kan visualisere og kvantifisere endringer.

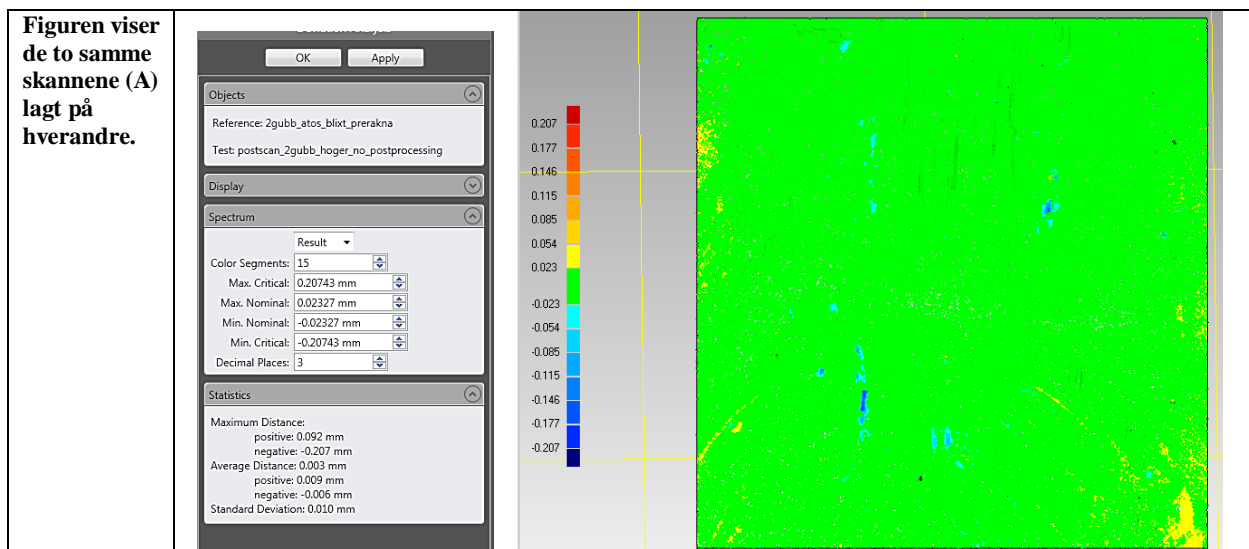
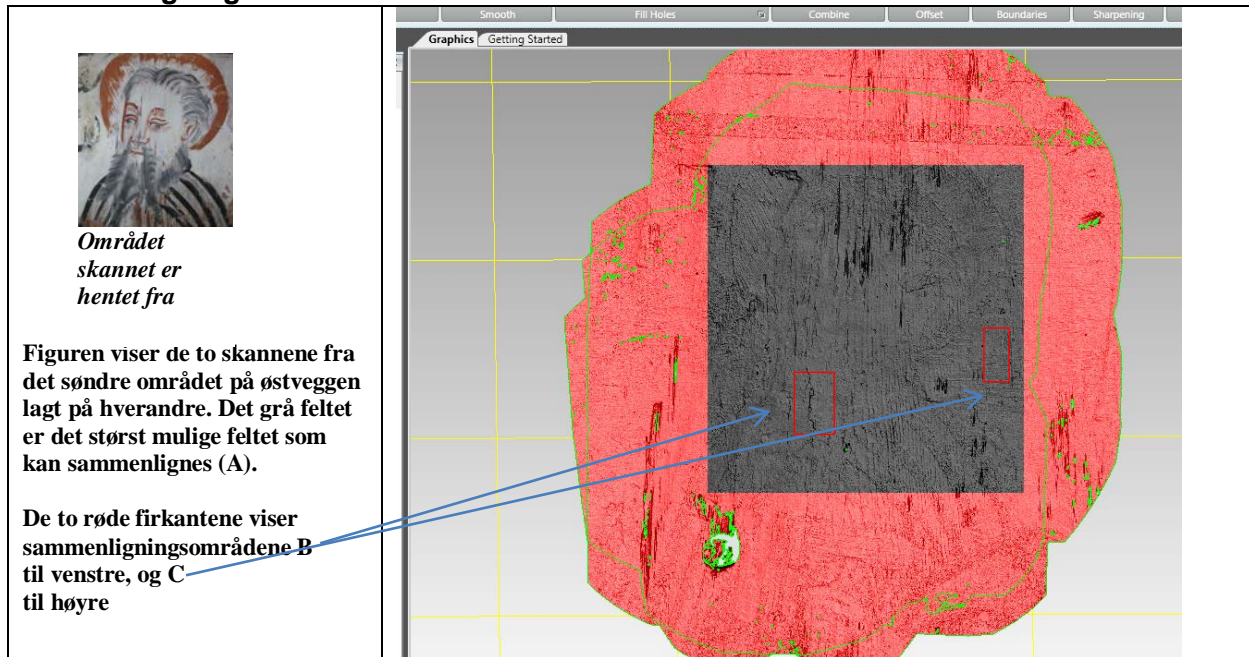
Vi sammenlignet tre områder:

- A. Et område som var det størst mulige sammenligningsområdet for før- og etterskannene.
- B. Et område innenfor A hvor vi hadde konsolidert skader og som også ble analysert med snittlinjer.
- C. Et område innenfor A hvor vi kun hadde støvrenset og som ligner de områdene som ble vurdert med overflateprofilometer

¹⁶ Et program for behandling, manipulering og analyse av tredimensjonale overflatemodeller

¹⁷ Knyttet til en forskyvning på grunn av passmerkene

Sammenligning A.



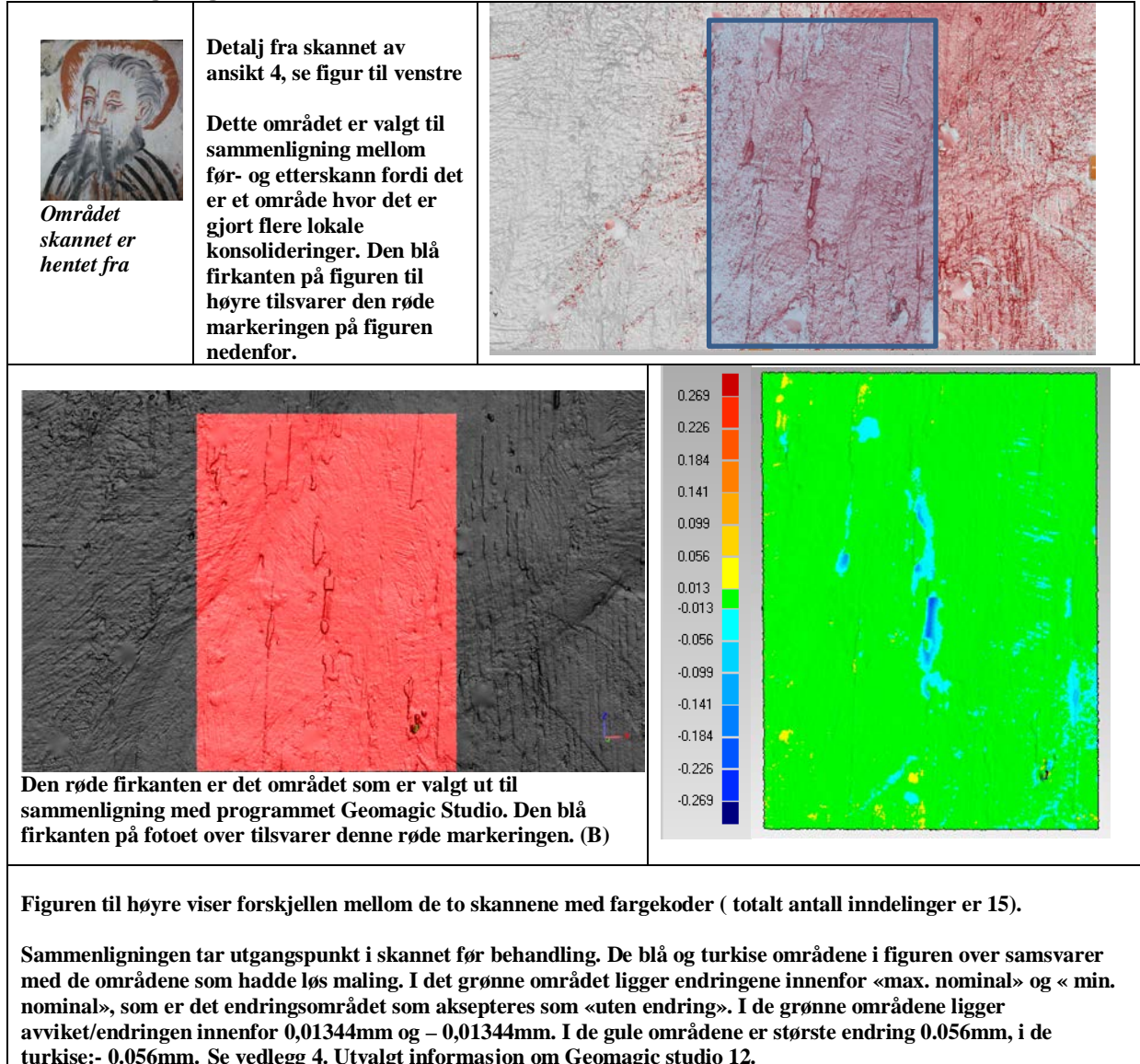
Figuren viser forskjellen mellom de to skannene med fargekoder (totalt antall inndelinger er 15).

Sammenligningen tar utgangspunkt i skannet før behandling. Om man tolker det viste kartet korrekt, samsvarer de blå og turkise områdene i figuren over med de områdene hvor løsmaling ble lagt ned og klebet til underlaget.

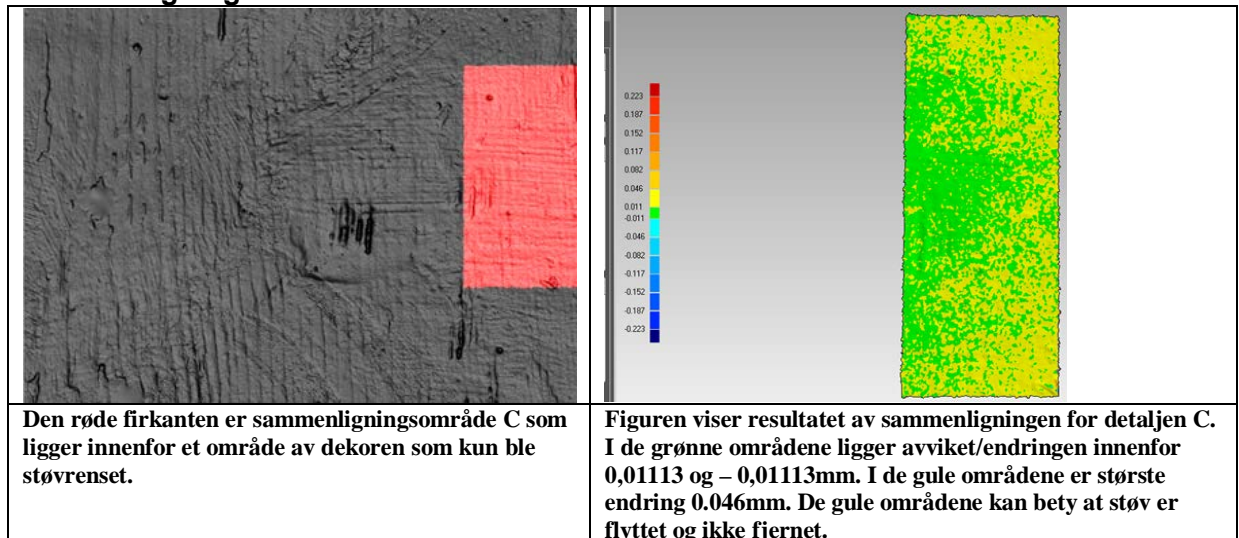
I det grønne området som er definert som område uten endring ligger endringene innenfor «max. nominal» og «min. nominal». De nominelle verdiene definerer det endringsområdet som aksepteres som «uten endring». I de grønne områdene ligger avviket/endingen innenfor 0,002327mm og - 0,002327mm. Vi har verken her, eller i sammenligning B og C endret de nominelle verdiene programmet har valgt.

I de gule områdene er største endring 0.054mm, i de turkise: - 0.054mm. Se vedlegg 4. Utvalgt informasjon om Geomagic Studio 12.

Sammenligning B



Sammenligning C



Den visuelle presentasjonen av områdene for A, B og C generert av programmet, var forskjellig for de tre områdene. De registrerte maksimums- og minimumsavstander var også forskjellige for A-, B- og C-sammenligningene. Vi hadde forventet at minimums- og maksimumsavstandene for B og C ville ligge innenfor distansene for A, ettersom begge de to områdene ligger innenfor A. Vi forstår ikke hvorfor de registrerte endringsforskjeller avviker fra vår antakelse.

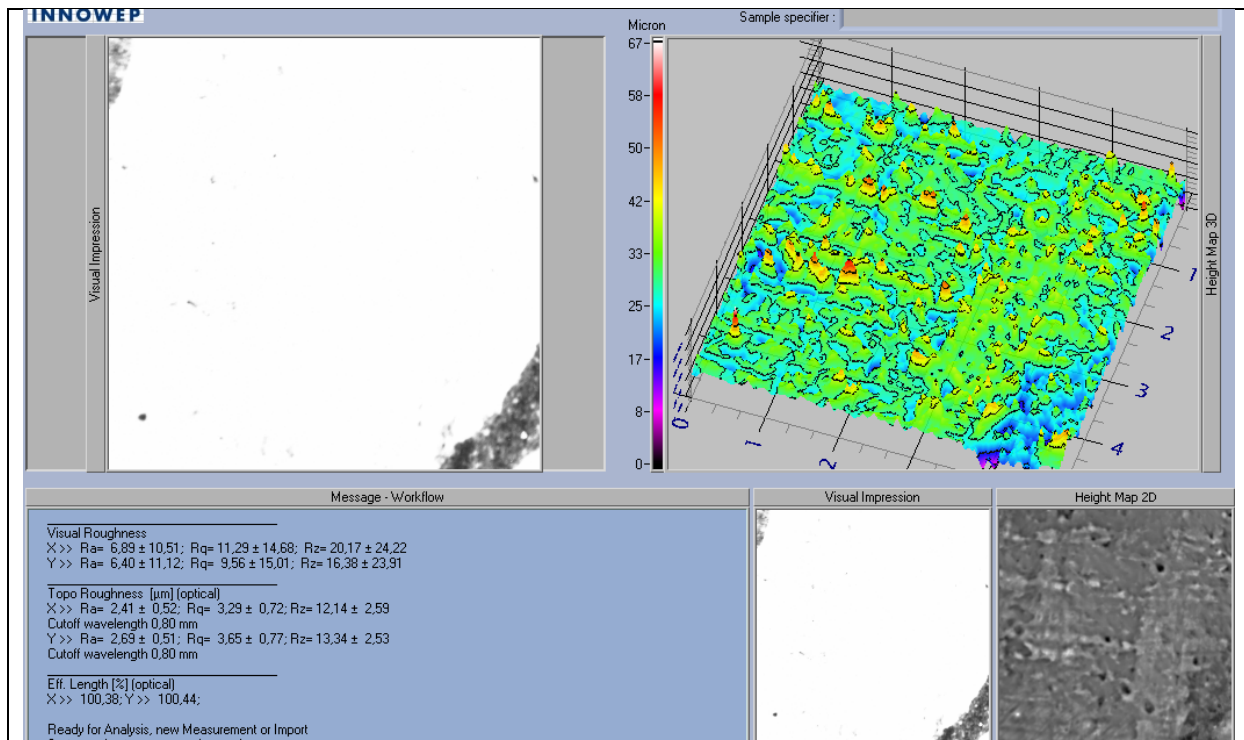
Statistics	Statistics	Statistics
Maximum Distance: positive: 0.092 mm negative: -0.207 mm Average Distance: 0.003 mm positive: 0.009 mm negative: -0.006 mm Standard Deviation: 0.010 mm	Maximum Distance: positive: 0.237 mm negative: -0.269 mm Average Distance: -0.003 mm positive: 0.004 mm negative: -0.006 mm Standard Deviation: 0.010 mm	Maximum Distance: positive: 0.223 mm negative: -0.035 mm Average Distance: 0.011 mm positive: 0.011 mm negative: -0.002 mm Standard Deviation: 0.004 mm
Størst mulige sammenligningsområde(A)	Sammenligningsområde med konsoliderte skader (B)	Sammenligningsområde som kun ble støvrenset (C)

Konklusjon for sammenligning av skannerresultater med Geomagic Studio 12.

Sammenligningene gjort i dette programmet bekrefter det vi så med snittlinjene. Sammenligningene har den samme feilkilden som snittlinjevurderingen.

5.2 Resultater ved bruk av profilometer

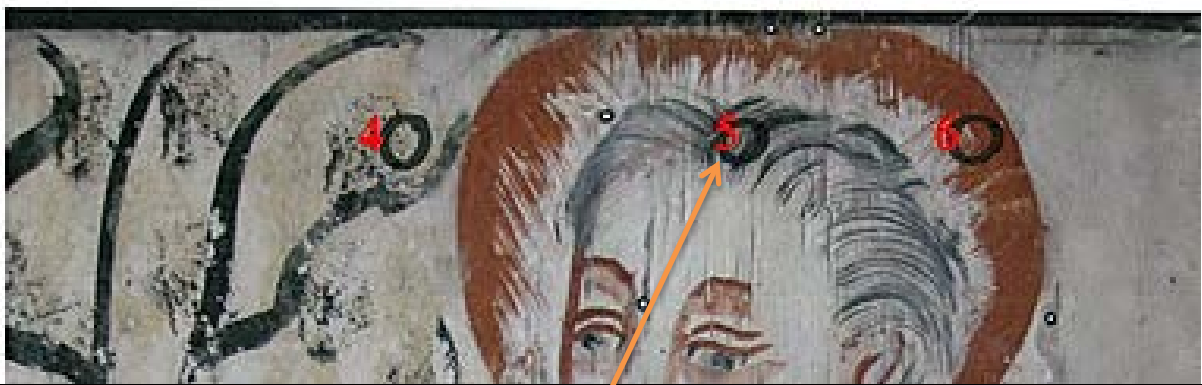
Det ble utført 28 overflaterregistreringer på de utvalgte områdene: 14 før og 14 etter støvrensing. Hvert registreringsområde var på 5 x 5 mm. Registreringene gjort med overflateprofilometeret leveres som tallverdier for videre bearbeiding i Excel, og som visuelle fremstillinger i ulike modus. Figuren nedenfor viser skjermbildet slik det så ut etter registreringen av en detalj i ansikt 5 etter støvrensing.



Figuren viser skjermbildet med registreringsparameterne slik de kommer opp på skjermen etter at registreringen er utført. Registreringsparameterne er fra registrering før rensing på område 5 på ansikt 4, se figur under.

Bildet øverst til venstre på skjermbildet over viser videosignalet.¹⁸ Til høyre for dette vises et 3D-kart¹⁹ av det samme området som videobildet. 3D-kartet er basert på «skyggebilderegistreringene». I ruten nederst til høyre er en todimensjonal fremstilling av det samme området som videosignalet og 3D-kartet.

De registrerte tallverdiene sees nede til venstre.



Område 5 på ansikt 4.

¹⁸ Dette betegnes av instrumentleverandøren: Visual impression. Videobildet viser overflaten slik den oppfattes av det menneskelige øyet. Øyet oppfatter ikke forskjeller mellom farge og struktur, for eksempel om en mørk flekk er en sort flekk eller et sort hull.

¹⁹ Høydekartet er beregnet topografisk basert på informasjonen fra skyggebildene av overflaten som lages av de tre innebygde lyskildene som er plassert i tre forskjellige og faste retninger. Kartet gjengir overflaten slik den faktiske er.

Når instrumentet benyttes i feltarbeid er det ikke mulig å være sikker på at registreringene før og etter en behandling blir utført på nøyaktig samme sted. Overflatebeskrivelse basert på registrerte tallverdier om topografien må derfor basere seg på et statistisk utvalg. Billegjengivelser av overflaten, som profillinjer og topografiske høydekart, kan derfor bare brukes som indikatorer på overflatens ruhet. Dette medfører at det ikke er relevant å sammenligne to registreringer av et og tilnærmet samme område før og etter behandling.

Instrumentets oppløsning (1,5 – 3 μm) tilsier at en del endringer forårsaket av fjerning av støv (partikler mindre enn 500 μm) burde kunne registreres med dette instrumentet.²⁰

5.2.1 Analyse av overflateendringer i Excel

Ved valg av parametere for vurdering av innsamlet informasjon benyttet vi de samme som tidligere har vært benyttet av NIKU ved bruk overflateprofilometeret TRACEiT® (Stein & Haugen 2010). Tallverdiene er generert fra den topografiske registreringen av overflaten.

Følgende 8 parametere²¹ ble valgt;

1. Optisk gjennomsnittlig ruhet i X-retning (μm)
2. Optisk gjennomsnittlig standardavvik i ruhet i X-retning(μm)
3. Optisk gjennomsnittlig ruhet i Y-retning (μm)
4. Optisk gjennomsnittlig standardavvik i ruhet i Y-retning(μm)
5. Optisk gjennomsnittlig ruhetsdybde i X-retning (μm)
6. Optisk gjennomsnittlig standardavvik i ruhetsdybde i X-retning (μm)
7. Optisk gjennomsnittlig ruhetsdybde i Y-retning (μm)
8. Optisk gjennomsnittlig standardavvik i ruhetsdybde i Y-retning(μm)

Med parameterne 1 og 3 ble målt gjennomsnittlig ujevnheter eller ruhet i x- og y-retning for hvert av registreringsområdene. Parameterne 2 og 4 viser hvor stort standardavviket fra disse er (1 og 3). Parameterne 5 og 7 viser et gjennomsnitt av de maksimale ujevnhetsverdiene når registreringsområdene deles i fem områder (Rz). Disse siste parameterne (5 og 7) viser tydeligere enn parameterne 1 og 3 hvor stor spredning det er i verdiene over et område. Parameterne 6 og 8 viser standardavviket fra disse (5 og 7).

Informasjonen for de åtte parameterne fra registreringene før behandling er satt sammen for å kunne vurdere de forskjellige parameterne for hvert punkt og for å kunne sammenligne informasjonen fra punkt til punkt. Dette samme er gjort med informasjonen fra registreringene etter behandling. Gjennomsnittet for hvert av de 8 parameterne for de forskjellige målepunktene er brukt for å sammenligne informasjonen før og etter behandling.

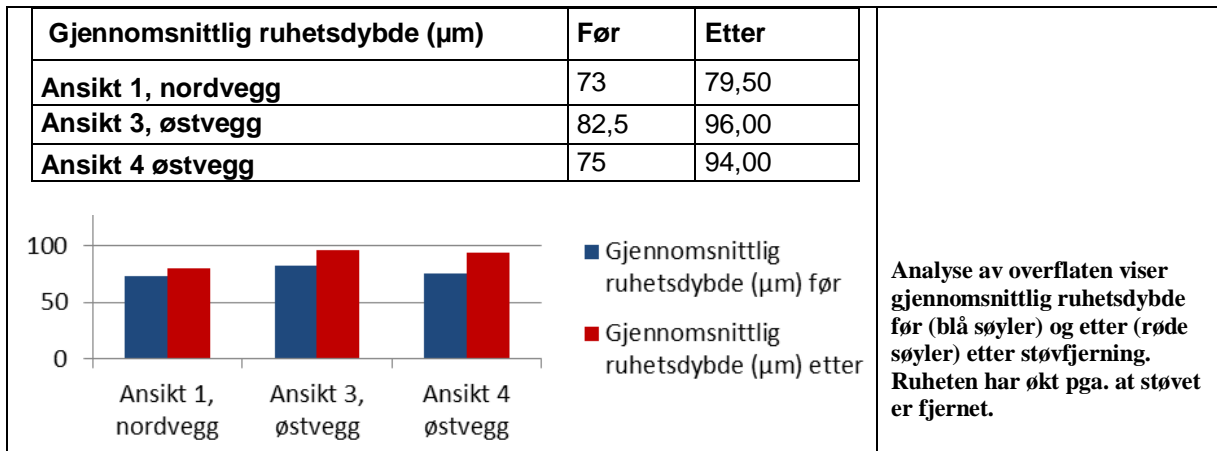
En sammenligning av resultatene før og etter støvrenging av limfargedekoren viser at ujevnheten i overflaten er økt. Dette samsvarer med de resultatene NIKU tidligere har kommet frem til ved bruk av TRACEiT® (Stein & Haugen 2010).

²⁰ «Støv er det alminnelige navnet på meget små faste partikler med diameter på mindre enn 500 mikrometer (se ellers sand eller granulat), og, mer generelt, for findelt materie... » (<http://no.wikipedia.org/wiki/St%C3%B8v>)

²¹ Dette er de engelske betegnelsene som er oversatt til norsk

1. Optical average roughness X (μm)
2. Optical average standard deviation X (μm)
3. Optical average roughness Y (μm)
4. Optical average standard deviation Y (μm)
5. Optical mean roughness depth X (Rz) (μm)
6. Optical mean roughness depth standard deviation X (μm)
7. Optical mean roughness depth Y (Rz) (μm)
8. Optical mean roughness depth standard deviation Y (μm)

Om man tenker seg overflaten som et landskap og man lager en gjennomskjæring i landskapet, viser målingene at gjennomsnittsnivået ligger forholdsvis likt før og etter behandling (Ra), men gjennomsnittlig ruhetsdybde(Rz) øker etter behandling.



Standardavviket øker også etter behandling, noe som bekrefter at flere verdier skiller seg fra gjennomsnittet, og at overflatelandskapet har fått større sprang fra daler til topper. En kan tenke seg at støvet som har jevnet ut overflaten, nå er fjernet og overflatens ujevnheter derfor har økt.

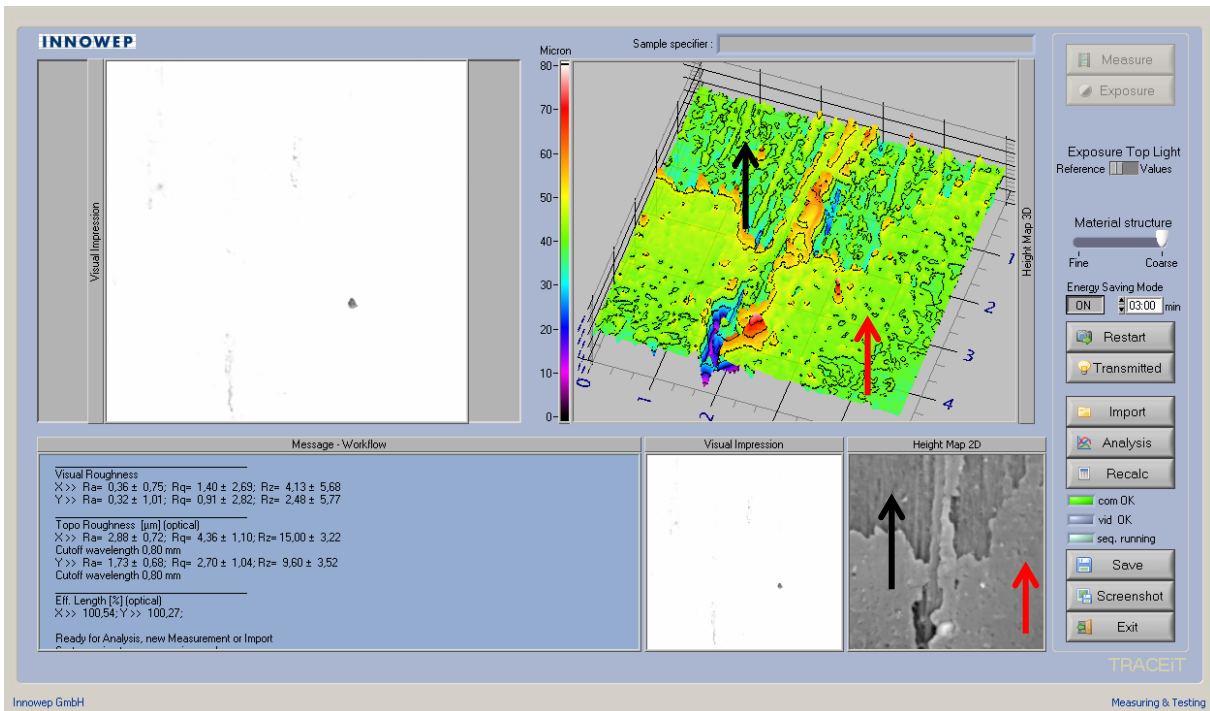
Konklusjon for bruk av overflateprofilometer for beregning av endringer i overflaten.

Gitt at det statistiske utvalget er representativt, kan overflateprofilometeret tallfeste endringer i en overflates ruhet, forårsaket av overflaterens.

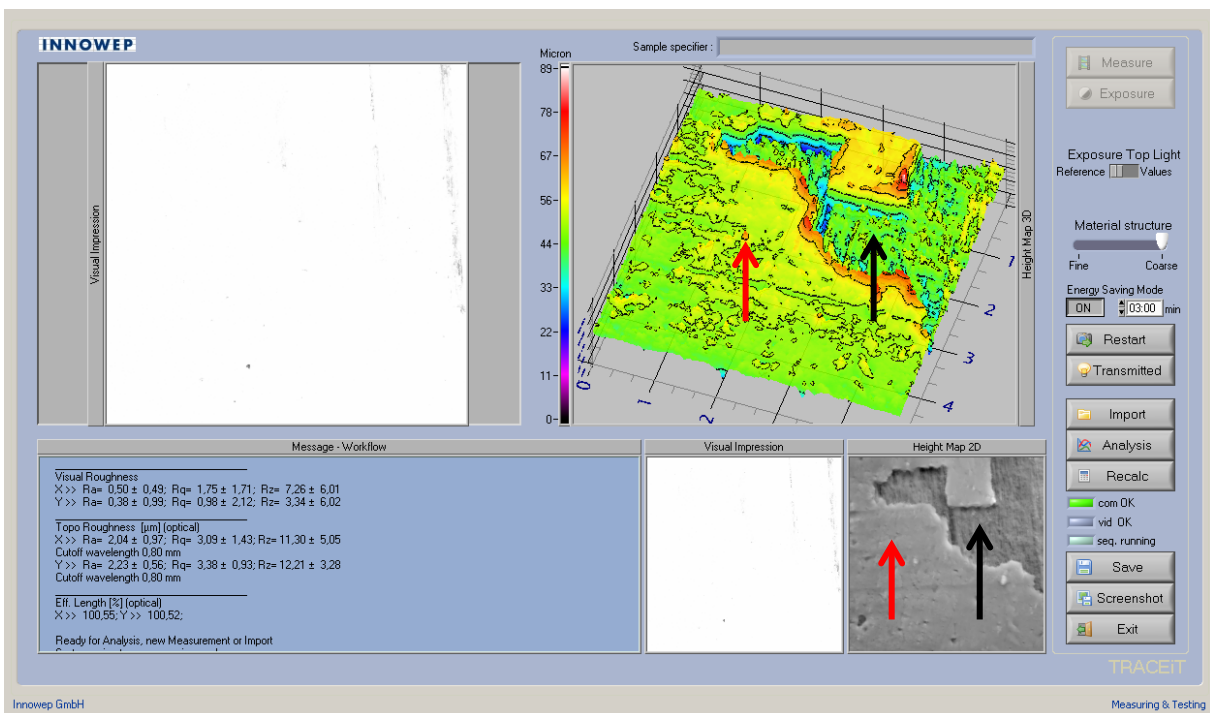
5.2.1 Analyse av overflaten med 3D-kart

Overflateprofilometeret kan brukes til å beskrive en overflates topografi/ruhet generelt, basert på statistiske målinger, eller til å beskrive overflaten på utvalgte punkter.

Vi har valgt å vise utvalgte punkter for å vise overflateinstrumentets muligheter til visuell beskrivelse av overflaten. Nedenfor er vist to skjermbilder av ansikt 1, område 8 før og etter behandling. Selv om registreringene ikke er tatt på nøyaktig samme sted, ligger de tett på hverandre. Det sees best i 2D-høydekartene (bildet nederst til høyre på skjermen). Vi ser et område med maling og med avskallet maling ned til treoverflaten. De fargesatte 3D-kartene viser at ruheten på malingen har økt etter behandlingen. På 3D-kartet av malingoverflaten etter behandling er fargene fordelt annerledes enn på malingoverflaten før behandling.



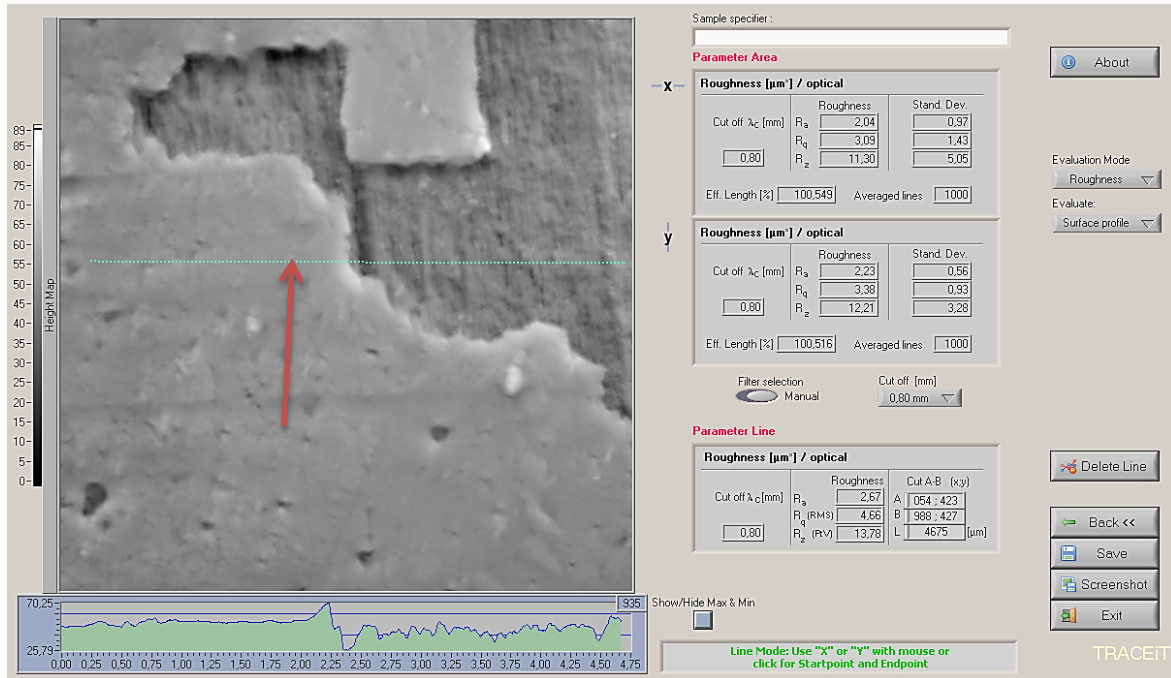
Skjerm bilde av ansikt 1, område 8, før behandling. Røde piler viser maling, sorte viser trevirket.



Skjerm bilde av ansikt 1, område 8, etter behandling.

5.2.2 Analyse av overflaten med snittlinjer

Det kan trekkes snittlinjer over overflaten i alle retninger i x- og y-planet for å vise overflatens profil langs i et ønsket område. Snittlinjen er lagt inn i 2D-høydekartet; bildet til venstre på figuren nedenfor.²² Figuren nedenfor viser en snittlinje trukket over et område med hvit bunnfarge og en avskalling som går ned til treverket. Snittlinjen gir informasjon om malingens ruhet og tykkelse, og om treverkets ruhet. Vi ser at bunnfargen er mye mindre ru enn treverket, og at malingen er om lag 15µm tykk (0,015mm).



Snittlinje (grønn- markert med pil på 2Dbildet - pilen ligger på det malte området) trukket gjennom et område med hvit bunnfarge og avskalling ned til treet i ansikt 1, område 8, etter behandling.

Kommentarer til registreringsresultatet

Ettersom registreringspunktene i dette tilfellet kun kan ligge i områder uten løs maling, vil en registrering av overflaten kun gi et sammenlignbart resultat av områdene i dekoren uten løs maling.

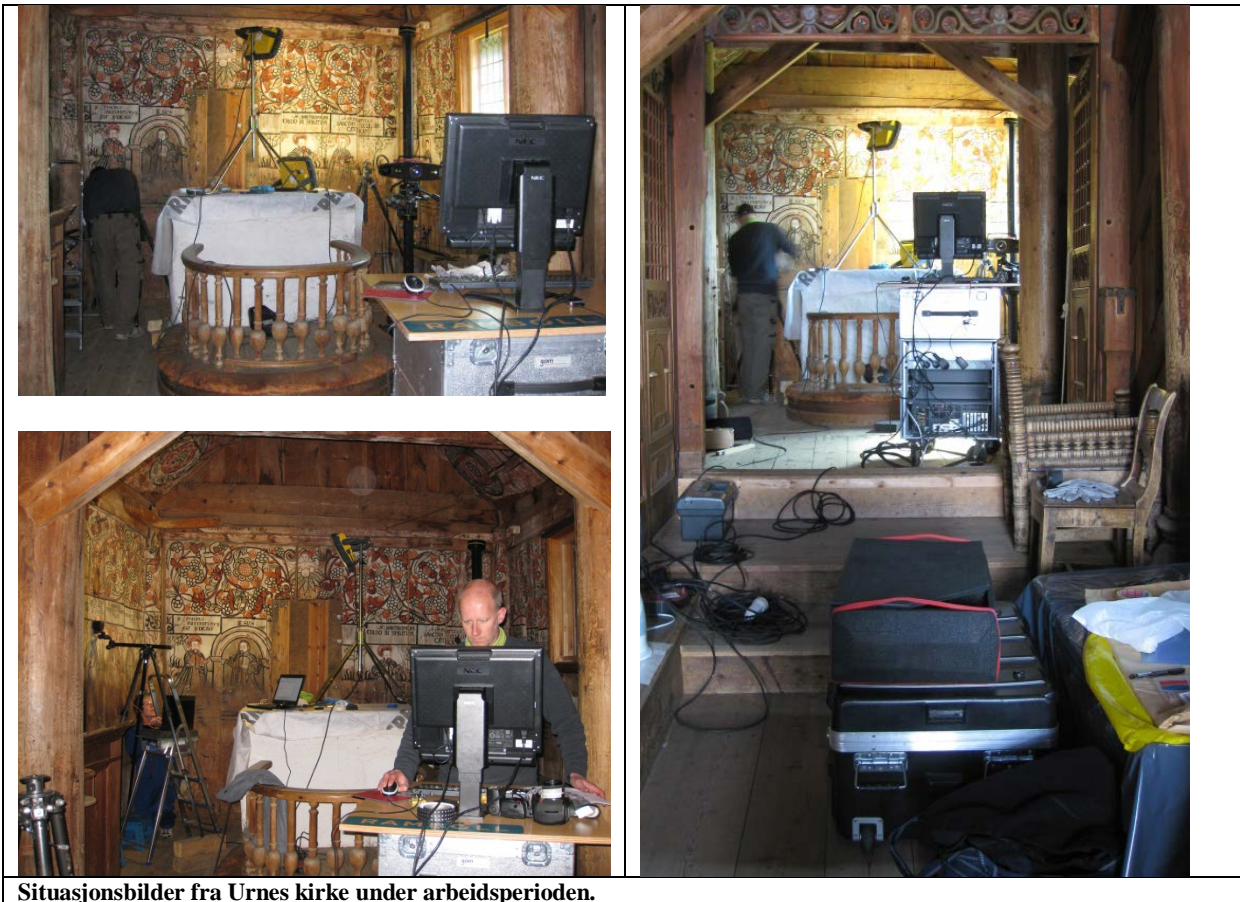
Økningen i ujevnheten i overflaten mener vi skyldes tørr-rensing av overflaten. Stein og Haugen diskuterer hvorfor optisk gjennomsnittlig ruhetsdybde er økt etter rensing av en oljemalt flate i sin artikkel (Stein & Haugen 2010). Deres resultat kan sammenlignes med resultatet i Urnes, selv om de to malingoverflatene i utgangspunktet er forskjellige: i en blank oljemaling ligger pigmentpartiklene innbakt i bindemiddelet, mens en limfargedekors matthet skyldes blant annet at pigmentene ikke totalt er dekket av bindemiddelet.

Det er nærliggende å tenke seg at støvet på en limfargedekor vil «jevne ut» overflaten og en fjerning av støvet derfor vil gi et mer kupert overflatelandskap. At enkelte «topper» har økt, kan skyldes at støvet er flyttet til «toppene» i overflatelandskapet.

²² Dette tilsvarer området som er vist på den forgående figuren; skjerm bilde av ansikt område 8, etter behandling.

6 Erfaringer med og kommentarer til metodene

6.1 Praktiske erfaringer ved bruk av optisk skanner i Urnes stavkirke



Situasjonsbilder fra Urnes kirke under arbeidsperioden.

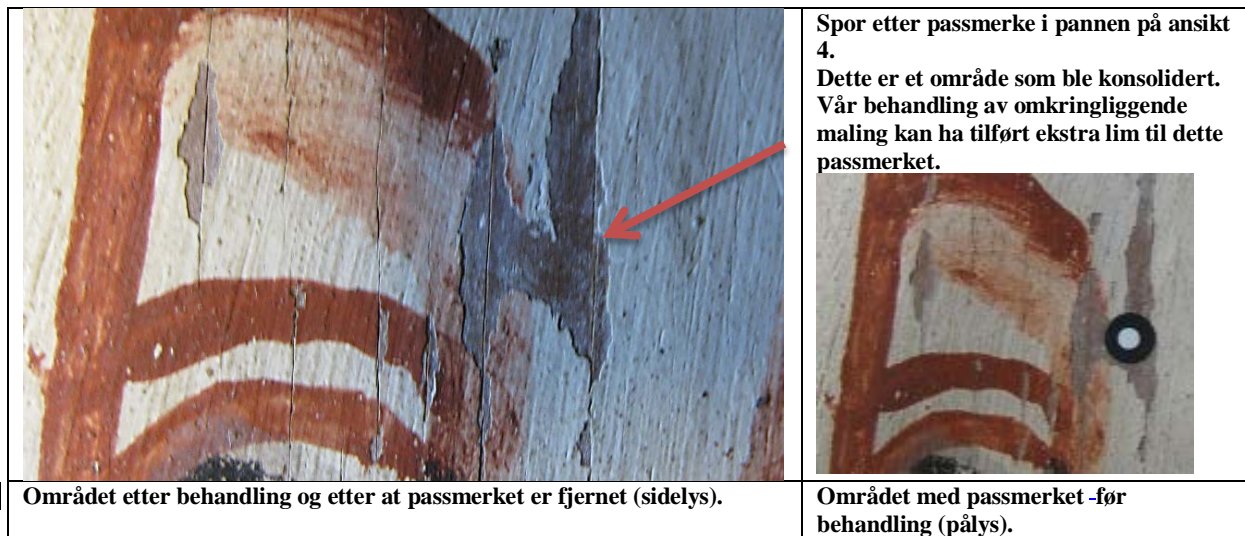
Koret i Urnes stavkirke er lite og det står et stort steinalter midt mellom nord- og sydvegg og cirka 50 centimeter fra østveggen. De trange arbeidsforholdene gjorde arbeidet komplisert og tidkrevende, og var også til en viss grad styrende for hvor på veggen vi kunne skanne. Det er en mengde plasskrevende og tungt utstyr som er nødvendig for å gjennomføre skanningen. Dette bør man ta med i betraktningen når skanning vurderes utført i et lite rom. Koret i Urnes ble forholdsvis fylt opp med utstyr, med den økede risiko for at uhell skjer, og skader på dekoren oppstår.

Fotograferingen og skanningen tok mye lengre tid enn forventet både fra Ramböll ABs og NIKUs side. Prosjektet var fra Ramböll ABs side vurdert som et utviklingsprosjekt hvor uventede problemer kunne dukke opp. Manglende erfaring med denne type skanning gjorde det nødvendig med en del prøving og feiling. Det ville sannsynligvis vært en fordel å være to med skannefaglig bakgrunn, slik at problemer lettere kunne løses på stedet og mindre tid ble brukt til utprøving.

6.1.1 Bruk av referansepunkter for skanningen. En belastning for dekoren?

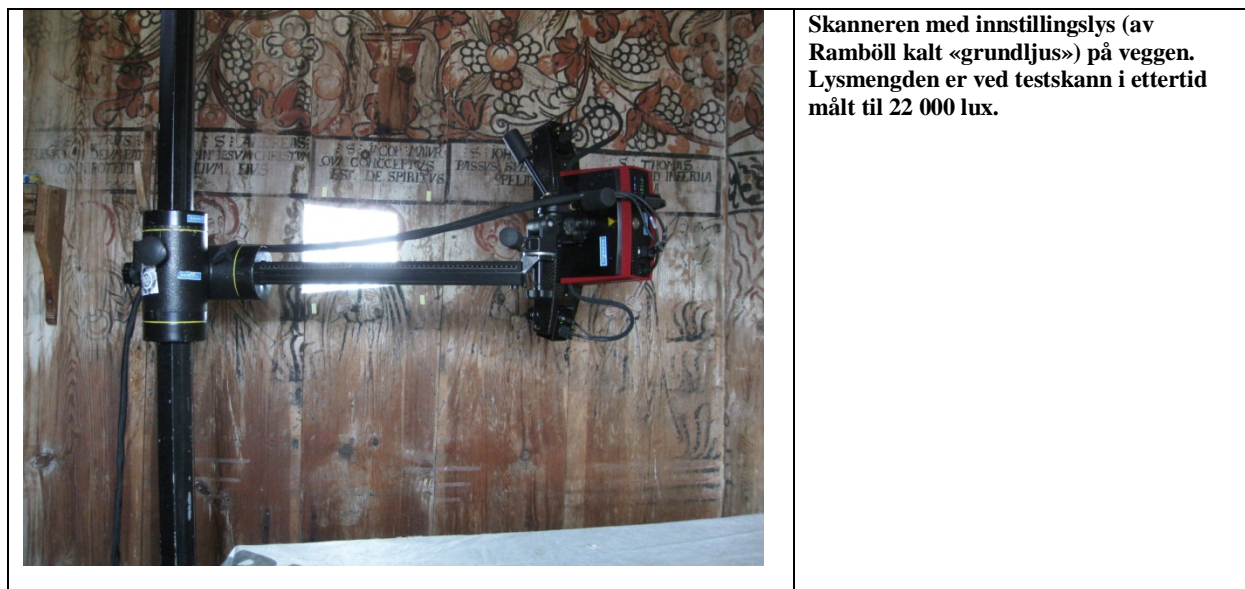
Det er ikke ønskelig å feste gjenfinningsmerker på en dekorert overflate. Limet kan skade dekoren, og det kan bli skader i overflaten når merkene fjernes. I Urnes kunne koordinatmerkene og passmerkene festes til overflaten i områder der malingen var borte. For dekoren i Urnes var den største skaderisikoen alle de løse elementene som ble lent til veggen eller stilt opp ved dekoren som underlag for nødvendige koordinatmerker.

Merkingen av dekoren i Urnes medførte ingen skader på dekoren, men vi brukte lang tid på å fjerne ett av passmerkene og merker etter dette passmerket sees på overflaten. Vi sjekket ikke i UV-lys om det lå lim igjen på overflaten der merkene hadde sittet. I vanlig pålys eller i sidelys var det ikke mulig å se limrester på overflaten.



Dersom limfargedekor med en ubrudd malingoverflate skal skannes, må det utvikles en bedre metode for opphenging av koordinatmerkene og festing av passmerkene. Å skanne uten passmerker, slik Ramböll AB i utgangspunktet sa var mulig, er fra et bevaringssynspunkt det beste.²³ Bruk av cyclododekan²⁴ som klebemiddel for passmerkene er en mulighet og vil prøves ut ved NIKUs konserveringsatelier i nær framtid.²⁵

6.1.2 Lysbelastning på dekoren ved skanning



²³ Vi sjekket ikke limtypen på passmerkene på forhånd, - og hva man eventuelt kunne løse limet i, ettersom vi trodde det ville bli skannet uten passmerker.

²⁴ For informasjon om cyclododekan: http://cyclododecane.net/html_e/index_.htm?spraydosen.htm (Besøkt 16.01.2012)

²⁵ NIKU prosjekt 15620377. Holdhus kirke. Middelalder-madonna. Prosjektleder Mille Stein

Lys er en nedbrytende faktor for malt dekor. Enkelt sagt igangsetter lysets energiprosesser som fører til bleking av farger og nedbrytning av bindemiddel. Lysets effekt er akkumulereende. I stedet for å sette en grense for lysstyrken man kan utsette dekoren for uten å skade den, snakker man om total mengde lys som kan tolereres i løpet av et år eller en livssyklus. Om man vurderer dekoren slik den nå er til å være moderat sensitiv overfor lys, bør den årlige lysmengde dekoren utsettes for ikke overstige 600 000 luxtimer.²⁶ Registreringslyset, dvs. det lyset som brukes ved selve skanningen, er målt til maksimum 80 000 lux.²⁷ Det betyr at med denne lysstyrken er det tillatte er den anbefalte maksimumsverdien for ett års lyspåvirkning brukt opp i løpet av 7,5 timer.²⁸ **Se vedlegg 5 Kontrollmåtning vid 3D-scanning Atos 2e.**

6.2 Praktiske erfaringer ved bruk av profilometer i Urnes stavkirke

Registrering ved bruk av denne type overflateprofilometer må gjøres av to personer. Den ene må være malerikonservator som både på forhånd og under registreringen kan vurdere dekorens tilstand. Dette fordi det må gjøres en løpende vurdering om overflaten tåler belastningen fra registreringsenheten til instrumentet.

6.2.1 Metodens belastning på dekoren

Ved bruk av profilometeret TRACEiT® må registreringsenheten være i tett kontakt med den overflaten som skal registreres. Det betydde at vi ikke kunne benytte instrumentet i områder hvor det var fare for at berøring av limfargedekoren ville fått malingen til å falle av.

Om malingen er meget bindemiddelfattig, eller overflaten på annen måte er sårbar er det en risiko for at registreringsenheten kan lage merker i overflaten.

7 Diskusjon og oppsummering

7.1 Observerte feilkilder ved bruk av optisk skanning

Da skanning ble besluttet å bruke som metode var mulige feilkilder for sammenligning av skann ikke et tema. Dette kan skyldes flere ting; prosjektlederen innså ikke, på grunn av liten praktisk erfaring med skanning at dette kunne være en problematikk, og de som skulle utføre selve skanningen hadde ikke stor erfaring med denne type sammenlignende skanning.

Prosjektet har funnet to feilkilder:

- forskyvning mellom før- og etterskann som har gjort at resultater kun fra ett område kunne brukes
- hvert skann har sin individuelt oppbygde polygonbaserte struktur som gjør at synlig endringer ikke kan tallfestes

Dette betyr at det i enhver sammenligning i dette prosjektet mellom før- og etterskann måtte det tas høyde for en feil som er av ukjent størrelse.

²⁶ For sensitive materialer er grensen satt til 150 000luxtimer/år. Det er viktig å ikke slippe inn lys i kirkerommet når det ikke er i bruk. Flere tidligere farger i limfargedekoren er nesten totalt bleket bort. For mer informasjon om lys, se: The National Trust, Manual on housekeeping: The Care of Collections in Historic Houses Open to the Public. 2006. side: 92-102.

²⁷ Ifølge Rambøll AB er denne lysbelastningen deler av et sekund, hver gang det gjøres et skann.

²⁸ $600000/80000=7,5$

7.1.2 Forskyvning mellom før- og etterskannene

NIKU forventet at ved en sammenligning av den visuelle fremstillingen av skannerresultatene, ville etterskannet legge seg bak førskannet. Ettersom noe er fjernet fra overflaten hadde vi en hypotese om at overflaten ville «trekke» seg bakover i rommet etter at den var behandlet. Unntaket fra dette kunne være de konsoliderte områdene. Om vi ikke hadde vært nøye nok med å fjerne lim fra overflaten, kunne overflaten være kommet «nærmere».

Det vi så da skannene fra de samme områdene ble lagt på hverandre var at dette ikke var tilfellet. Førskannet la seg foran etterskannet over store deler av de registrerte overflatene.

En slik forskyvning kan sikkert ha flere forklaringer, men verken NIKU eller Ramböll AB kan forklare hvorfor dette har skjedd. NIKU vurderer imidlertid at det er tre mulige feilkilder:

- **Materialene:** En endring i dekorlaget eller treverket kan ha før til at passmerkenes posisjon er endret.

Treverket og malematerialene påvirkes av endring i temperatur og relativ fuktighet. Tre personer som oppholder seg i et lite rom avgir varme og fuktighet. Vi målte ikke relativ fuktighet og temperatur på de aktuelle stedene på veggene, så vi kjenner ikke tallene for en eventuell endring. Det må ha skjedd en endring i luftens temperatur og relativ fuktighet som kan ha påvirket materialene (Cassar 1995). I ettertid kan man se at det er mulig at det burde ha vært etablert fastpunkter utenfor objektet.²⁹

- **Metoden:** Hvorledes skannet er utført kan ha ført til forskjell i registrering av passmerkene.

Er det mulig at en endring i skannemønsteret ved før- og etter-skann kan ha betydning for sammenlignbarheten? Med andre ord, kan et slikt misforhold skyldes metoden eller menneskelig svikt?

- **Instrumentet:** Det kan ligge feilkilder i instrumentet som fører til at passmerkene registreres noe forskjellig fra posisjon til posisjon. Dette anses imidlertid som en lite sannsynlig årsak.

Vi tror det er lite sannsynlig at instrumentet alene kan ha skapt en forskyvning i forhold til passmerkene, men kan det være andre egenskaper ved instrumentet, kombinert med metode eller bruk som kan gi avvik?

Oppsummering og tiltak

Man må finne årsaken til mistilpasningen for å kunne sammenligne overflater skannet med høyeste oppløsning.

Resultatene av forskning på dimensjonsendringer i treverk bør vurderes i sammenheng med de praktiske erfaringene fra Urnes. Det bør etableres en situasjon i laboratorium som klimatisk etterligner situasjonen i Urnes m.h.t. antall personer, utstyr og lamper hvor RF og T registreres. Informasjonen kan, basert på kjente forskningsresultater, brukes for å si noe om dimensjonsendring i treverk og malematerialer.

For et eventuelt videre skannearbeid av denne typen, er det viktig at den som utfører skannet er godt kjent med instrumentet som anvendes, kjenner dets begrensninger og

²⁹ Ifølge Knut Paasche, NIKU, etablerte Ramböll AB fastpunkter utenfor Urnes stavkirke i forbindelse med annet skannearbeid som er blitt gjennomført i kirken (Gustavsen 2009). Disse punktene står på plass.

muligheter. Som bestillere må vi vite hva vi ønsker å oppnå og kunne formidle det, men vi må samtidig kunne stole på at innleide profesjonelle har kunnskap på sitt fagområde.

7.1.3 Feilkilde ved sammenligning grunnet skannenes individuelle polygonbaserte oppbygning

NIKU forventet at man ved digitalt å legge før- og etterskannene på hverandre, ville kunne se og kvantifisere forskjeller mellom før- og etterskannet.

Vurdering av snittlinjene ved sammenligning mellom før- og etterskann, viste at hvert enkelt skann bygger opp unike geometrinettverk av polygoner. Vi var usikre på om disse nettverkene var forskjellig i før- og etterskann, om de viste en før- etter - endring, eller om ethvert skann ville bygge opp en triangeloverflate som et unikt nettverk uavhengig av eventuelle endringer i overflaten. Ettersom Ramböll AB heller ikke kunne svare på dette, besluttet vi å få utført to tett påfølgende skann av den samme overflaten uten at noe var gjort med overflaten mellom de to skanneprosessene og med samme skanneforhold.

Testen viste at snittlinjene ikke var identiske, dvs. at hvert enkelt skann bygger opp unike nettverk av polygoner. Dette gjør at snittlinjer aldri vil være helt sammenfallende selv for to påfølgende skanneprosesser på samme utsnitt av samme flate. **Se vedlegg 6 Testskanning for vurdering av den polygonbaserte oppbygningen av overflaten.**

Vi har søkt i litteraturen for å undersøke om vi kunne ha oversett at dette var en kjent feilkilde, men har så langt ikke funnet litteratur som tar opp denne problematikken. Stefani Adolf sammenligner i en artikkel publisert i 2011 en utendørs stenskulptur med en gipsmodell fra 1911 av den samme skulpturen for å se hvor mye utendørsskulpturen er endret. Hun problematiserer ikke den feilkilden vi har funnet. Dette kan skyldes at hennes sammenligning ligger på et annet oppløsningsnivå (Adolf 2011).

For dette prosjektet var det ikke mulig å tallfeste hvilke endringer som er knyttet til reelle endringer forårsaket av behandlingen, og hvilke som er knyttet til forskjeller i oppbyggingen av geometrinettverk. Med en tallfestet feilkilde kunne ved en sammenligning, en gitt verdi trekkes fra for å finne de reelle forskjellene mellom snittlinjene og skannene. Sagt på en annen måte: Om vi kunne si at alle forskjeller under et gitt tall for snittlinjene for to skann, var knyttet til oppbyggingen av den unike geometrien, så ville vi kunne si at endringstall over dette tallet var reelle forskjeller i overflaten forårsaket av behandlingen av dekoren.

Oppsummering og tiltak

Dersom optisk skanning med denne type oppløsning skal kunne brukes til å sammenligne en malt overflate eller for eksempel en helleristning, må det gjøres flere undersøkelser for å forsøke å tallfeste en innebygget feilkilde gjennom forskjellige geometrinettverk, eller undersøke om det er mulig å skape identisk oppbygde overflater.

Slik vi leser manualen for skanneren, ser det ut til å kunne være mulig å manipulere oppbyggingen av den polygonbaserte overflaten av skannet.

Inntil denne feilkilden er definert eller eliminert kan ikke skanning brukes til å sammenligne overflaten på en malt dekor før og etter behandling, eller som overvåkingsverktøy, men det er et utmerket verktøy for å beskrive en malt overflate.

8 Konklusjon

Begge metodene gir resultater som beskriver overflaten, men på ulike måter og med forskjellig resultat.

Overflateprofilometeret har et svært begrenset arbeidsområde da det kun måler områder på 5x5mm. Å tallfeste endringer i overflaten må derfor baseres på et statistisk utvalg av målepunkter.

Resultatene fra Urnesprosjektet bekreftet tidligere NIKU-målinger med samme overflateprofilometer. Overflateregistreringer generert som høydekart og snittlinjer gir god visuell informasjon om overflatens ruhet på utvalgte punkter. Fjerning av støv og smuss øker overflatens ruhet. Men hvordan denne informasjonen skal ha en nytteverdi, for eksempel ved metodevalg og kvalitetssikring av overflaterensing, er usikkert før man eventuelt har samlet flere data med dette instrumentet.

En ulempe er at metoden ikke kunne brukes til å beskrive områder med sårbar overflate ettersom registreringsenheten må ha kontakt med overflaten. Det betyr at instrumentet her kun registrerer endringer etter rensing i områder med god tilstand.

Optisk skann ga en meget god beskrivelse av overflaten på de utvalgte områdene, uavhengig av konserveringstilstand. Sammenligning av skannerresultatene før og etter behandling viste at det hadde skjedd en endring i overflaten på grunn av konsolideringen, lokalfesting av løs maling, men endringene kunne ikke tallfestes med sikkerhet. I de områdene som kun ble rensset, var det vanskelig med skanningen å se en markert forskjell mellom før- og etterskann. Vi er usikre om dette er på grunn av de tidligere beskrevne feilkilder, eller om det handler om instrumentets oppløsning.

Metoder for overflateregistrering basert på reflektert lys, som TRACEiT® og skanning med strukturert lys, brukes i økende grad i konserveringsfaget. Det betyr at dette er metoder i utvikling og særlig for skannemetoder er det en kontinuerlig utvikling av utstyr og programvare. Utstyret blir mindre plasskrevende, mer brukervennlig og får enklere prosessering av informasjonen. En viktig del av utviklingen er at feilkildene vi oppdaget må elimineres, eller forstås og tallfestes, slik at sammenligning eventuelt kan gjøres med en kjent, innebygget og tallfestet feilkilde. Problematikken med forskyvning av etterskannene burde, slik vi ser det, ikke ha oppstått, og er ikke et generelt problem.

Arbeidet utført i dette prosjektet må sees på om en del av prosessen mot målet. Vi fant ikke den endelige metoden i dette prosjektet, men har tro på at optisk skanning med strukturert lys er en metode med potensiale som dokumentasjonsmetode for å registrere endringer i en malt overflate, uansett konserveringstilstand.

9 Litteratur

ATOS User manual. (GOM mbH, Mittelweg 7-8, D-38106 Braunschweig, Tyskland)
http://cs.wmich.edu/~mrmcaule/design/ATOS%20Manuals/ATOS_MANUAL_EN.PDF
(Besøkt 5. januar 2012)

Adolf, S. 2011 Optical Measurement Techniques for multi-dimensional measurement of Cultural Heritage, I: Eds. Jonathan P. Bowen, J.P, Dunn, S. & Kia Ng, K. Electronic Visualisation and the Arts, EVA London 2011 (ISBN: 9781906124885)

Cassar, M. 1995. Environmental management: guidelines for museums and galleries. London

Gustavsen, L. 2009. Laserskanning av Urnes stavkirke, Luster kommune, Sogn og Fjordane. NIKU Oppdragsrapport 180/2009

Olstad, T., 2003. Urnes kirke. Fargespor i interiøret. Limfargedekor i koret. Upublisert NIKU-notat til Riksantikvaren

Stein, M. & Haugen, A. 2010. Topographic registration of surfaces on canvas paintings. Investigations with mobile non-contact profilometer. - RESTAURO. Forum für Restauratoren, Konservatoren und Denkmalflege 116(6): 396-401. Callwey, Germany

Stein, M. & Olstad, T.M. 2010. A 284 Urnes stavkirke, Luster kommune. Etterarbeid i forbindelse med bygningsarbeider i kirken. Behandling av altertavlen. NIKU Oppdragsrapport 106/2010

TRACEiT®. Manual V1.51 Edition: August 2009. INNOWEP, Würzburg
Se også: <http://www.innowep.de/pages/en/products/traceit-r.php?lang=EN>
(Besøkt 23. januar 2012)

2006. The National Trust. Manual on housekeeping: The care of collections in Historic Houses open to the Public. side 92-102

Vedlegg 1

Beskrivelse av limfargedekoren på veggene i koret i Urnes stavkirke

Beskrivelsen av dekoren er hentet fra:

Olstad, T.M. 2003. Notat fra befaring til A 284 Urnes kirke 27- 28.mai 2003

Vurdering av limfargedekoren på veggene i koret



Deler av nord- og østvegg i koret. Altertavla til høyre i bildet.

Dekoren ble vurdert og tilstanden beskrevet av Brønne og Havrevold i 1984. Ettersom vi vurderer veggdekoren som viktigere enn takdekoren og også fordi veggdekoren er lettere tilgjengelig, er hoveddelen av tiden på stedet brukt til å beskrive og vurdere dekoren på veggene. Det er ingen grunn til å tro at ikke tak og vegger er malt samtidig. Tvert i mot ser det ut til at rommet man ønsket å dekorere var ferdiglaget med listverk og bueknær og at alle elementer innenfor rommet ble malt samtidig. Negative fargespor som sees i dag pga. sekundære endringer kan tyde på dette.

Datering



Dekoren er datert til 1601. Dette er malt inn i dekoren på sydveggen.

Dekoren i Urnes stavkirke er trolig landets eldste etter-reformatoriske monumentaldekor.³⁰

³⁰ Muntlig informasjon fra malerikonservator, forsker Jon Brønne, NIKU

Omfang

Limfargedekoren dekker den indre delen av veggene i koret, samt den buede himlingen over alteret. Det totale limfargedekorerte området er stipulert til 27 m² (Havrevold & Brønne 1984).

De dekorerte veggene er ca. 235 cm høye. Dekoren på syd- og nordvegg løper fra østvegg og ca. 255 cm vestover i koret. Der limfargen slutter mot vest, løper det en bjelke nord-syd i høyde med remma oppe på veggene. Den opprinnelige flate, dekorerte himlingen har ligget an mot denne bjelken. Denne bjelken er dekorert på undersiden og et stykke opp på siden. Dvs. det som var synlig da den flate himlingen lå an mot denne bjelken. Det dekorerte feltet på bjelken er ca. 20x340cm. Remma oppe på veggene er nå delvis udekorert, mens de fire knærne og hjørnestolpene er dekorert.

På sørveggen er det satt inn et vindu sekundært. Vinduet dekker totalt 110x122cm. Her har også veggplankene vært tatt ned og satt opp igjen. De er merket fra 1 til 6 (6 mot vest). På vestveggen, rett bak alteret er det et ca. 200cm høyt og 65cm bredt felt med gjenbrukte og udekorerte planker. Dette er ifølge Håkon Christie en gjenspunset døråpning inn til et sekundært sakristi. Døråpningen er tolket til å være laget etter at veggen er dekorert.

Himlingens dekorerte felt er anslått til ca. 235x340 cm. Himlingen er sekundært buet og det er lagt inn noen umalte bord i den søndre delen for å få flaten stor nok. Det er også noen mindre umalte innspunsinger sentralt i himlingen. Brann-detektorer er montert på en umalt innspunsing midt i himlingen.

Motiv og fargebruk

Dekoren på alle de tre veggene er delt inn i fire horisontale felt. Det øvre tre feltene er de dominerende og det nest nederste feltet med stående skikkelser fanger blikket først. Over dette løper et smalere skriffelt, og over dette igjen et bredere felt med rankedekor. Det nederste feltet som domineres av en slags marmorering, er ikke umiddelbart synlig, men sees på østveggen. Bunnfargen i hele dekoren fremstår hvit og de umiddelbart synlige dekorfargene er sort og rød.

Dekoren omtales av dr. theol. Oddvar Johan Jensen som "Trosbekjennelsen i Urnes stavkirke".³¹

³¹ Jensen har skrevet en kort artikkel i Luster sogns kirkeblad; Kyrkje og Heimbygd. Undertegnede fikk kopier av artikkelen av Marit Bøen.

Øverste felt med rankedekor



Nordvegg. Rankefelt



Østvegg. Rankefelt

Dette er et ca. 70cm bredt felt med ranker slyngnet i sirkler av varierende størrelse. På nord- og sydvegg vokser rankene ut fra sentral plasserte urner. På østveggen kommer rankene fra en yngling med bladformet underkropp. Han er det sentrale motivet i det øvre feltet og viser sammen med plasseringen av Jesus på østveggen at limfargemaleren sannsynligvis ikke hadde tenkt seg at en altertavle skulle skjule dekoren på denne veggen. Urnes kirke har en skrifttavle datert 1610. Om denne har stått på alteret, så har dekoren stått utildekket kun i 9 år.³²

Rankene har røde stilker med røde og hvite blader og blomster. Inn i mellom er det strødd lysere røde epler og hvite og røde drueklaser. Konturering og staffering er gjort med sorte, markerte linjer. Elementene og motivet er typisk for 1600-tallet og er de samme som for eksempel på 1600-talls dekoren i Numedalskirkene, men i Urnesdekoren er frukter og

³² Skrifttavla er 127cm høy, dagens altertavle er ca. 200 cm høy.

blomster løsere i sammenstillingene enn i dekoren i Nore og Uvdal stavkirker. Det er nok ingen annen sammenheng mellom dekoren i Urnes og dekoren i Nore og Uvdal stavkirker, enn 1600-tallets dekortype og maleteknikk.

Skriffelt

Skriffeltet er ca. 21cm høyt. Det er vertikalt inndelt i små felt over hver av skikkelsene i feltet under, det nest nederste feltet på veggen; apostelrekken. Inndelingen er gjort med sorte streker som varierer i bredde mellom 1,5 og 1 cm.



Hvert skriffelt har tre linjer, bortsett fra på det vestre feltet på sydveggen, hvor en fjerde linje er presset inn. Her er skrifthøyden bare 2-cm, mens den andre steder kan være oppe i 6cm.

Det er risset inn markerte linjer til skriften etter at den hvit bunnfargen er påført. Linjehøyden varierer grovt sett mellom ca. 3 og ca. 5-cm. Skriften er sort på hvit bunn. Det er skrevet på latin og det som er fremstilt er utvalgte deler av trosbekjennelsen, knyttet til den enkelte apostel i feltet under som også er nevnt med navn.

Nest nederste felt på veggene; apostelrekken

Feltet er ca. 62cm høyt. De fremstilte skikkelsene er Jesus og apostlene (i Getsemane?). Skriffeltene beskriver følgende apostler og annet (fra venstre):

Nordvegg: St. Petrus, S.Andreas, S. Iacop Maior, S. Iohannes (iohannes), S.Thomas

Østvegg: S.Philipus, **leusus**, - ødelagt felt -, S.Bartholomeas, S.Matteus

Sydvegg: S. Simion, - felt med datering 1601 (ingen skikkelse under), S. Iudas Thadeus (iudas).

Apostlene står i et landskap med bølgende bakker og trær som repeteres regelmessig. De bølgende bakkene er fremstilt som sorte linjer. På disse er det korte, sorte stående linjer som avsluttes i ett rødt kjapt penselstrøk. Det er mulig at dette skal være blomster som er nærmest helt skjematisk fremstilt.

Trærne er like. De har en sort stamme med forgrening og med blader i sort og gul³³ stopling. Jesus står mellom pilastre under en bue, eller nærmest som i en døråpning.³⁴ Pilastrene har en rød dekor av halvsirkler satt på hverandre.

Skikkelsene er i helfigur og står nærmest i trekvartprofil. De er fremstilt med kjortel som er holdt sammen i livet og med kappe. Noen med markerte oppbretter på kjortelermene. Kjortler og kapper fremstår brunrøde og hvite, og konturert med sort. Alle har rødgule glorier. Hår og skjegg er rødt, rødbrunt eller grått. Karnasjonen er hvit med modellering og detaljer i røde farger og med sort og grått brukt i øynene. Den eneste uten skjegg er Johannes (på nordveggen).

³³ Misfarget

³⁴ Marit Bøen funderte på om dette kan symbolisere Jesus sitt utsagn: "Jeg er døren".

Nederste felt

Det nederste feltet er ca. 1 meter høyt. I den øvre delen er det malt striper, sorte vertikale og røde horisontale, nærmest for å illudere en gesimslist som en overgang til hovedfeltet over. Nedenfor "gesims stripene" er flaten inndelt vertikalt i felt hvor bredden veksler regelmessig mellom ca. 55cm og ca. 18cm. De brede feltene har en nærmest treimiterende dekor eller en fridekor i rødt på hvit bunn av samme type som i taket. Det smaleste feltet skal trolig forestille er søylestamme. Over de smale feltene er det i "gesimsfeltet" malt streker nærmest som et kapitel på søylen. Dekoren er tofarget; sort og rødt på hvit bunn.

Maleteknikk

Visuelt vurdert er dette en vannbasert maling, hvor bindemiddelet høyst sannsynlig er lim, muligens med tilsetning av egg eller olje. Maleren eller malerne har begynt å male dekoren oppe og arbeidet seg nedover på veggen. Den grønne dekormalingen på trærne på "Simionfeltet" på sydveggen ligger på rødt søl fra feltet over. Dessuten ligger de øvre horisontale linjene på skriffeltet konsekvent oppå dekoren på rankedekorfeltet ovenfor. Dekoren på skikkelsesfeltet ligger konsekvent på den nedre sorte linja som avgrenser skriffeltet.

Maleren ser ut til å ha gått frem på følgende måte:

På grovt teljede furubord er det lagt opp en hvit bunn som er forholdsvis tynn.

Denne er trolig lagt over hele veggen. Deretter må en tenke seg at det er gjort en inndeling av veggflaten og at innrippingen i skriffeltet er gjort.



Motivet er skissert på de forskjellige feltene. Det ser ut til være brukt en slags metallstift.

Opptegningen kan være gjort mens malingen har vært fersk, ettersom undertegningen noen steder er en mørk strek, noen steder repet inn i malingen. Et eksempel på det siste sees på den høyre hånda til ynglingen på østveggen.

Undertegningen sees flere steder i rankedekoren. Undertegningen på skikkelsene er vanskeligere å se. Men på Matteus kan det være synlig undertegning på kappa. Alle små detaljer er ikke tegnet inn. Undertegningen er ikke slavisk fulgt. Maleren har kun brukt undertegningen som veileder. Dette er særlig synlig på rankedekoren på østveggen.

På rankedekoren er de røde rankene trukket. Deretter er lokalfargene for dekorelementene lagt på og deretter er konturer og høylys påført for å lage formen. Lokalfargen til blader og blomster er flere steder lagt på den røde ranken, som nå sees gjennom bladet eller blomsten. Rankestilken går konsekvent bak blader og blomster. Maleren har nok vært rasjonell og malt alt som skulle være i en farge før neste farge er blandet opp og malt. Underliggende farge har generelt vært tørr når påfølgende farge er lagt på. Stort sett er

fargene brukt uoppblandet med andre, men det er blandet hvit maling inn i den røde. Dette sees på enkelte elementer helt mot syd på østveggens rankedekor.

Samme teknikk med lokalfarge før konturering og detaljering er brukt på apostlene. Hodet til Matteus på østveggen beskrives nedenfor som typisk for teknikken på alle hodene. Kroppen er malt før hodet er ferdiggjort.



Malerekkefølge for Matteus på østvegg

1. Ansiktsfargen er påført i samme størrelse som hodet. Se bildene over.
2. Rød konturer og oppteeningen i ansiktet, også bak håret. Se bildene over.
3. Rød glorie. Dette ser ikke ut til å være samme farge som konturer i ansiktet. Se bildet til venstre.
4. Grått og hvitt i hår og skjegg, påført vått i vått. Sort i øynene, deretter grått, nærmest som en vask til pupiller. Se særlig bildet til høyre over.

Vi vet ikke noe om hvor lang tid maleren har brukt på denne dekoren. Vi vet heller ikke om han eller de har forholdt seg til alle de tre veggene på en gang, eller om de har ferdiggjort en og en vegg. Det er nærliggende å tenke seg at alle tre veggene er malt parallelt. Dekoren er sikkert og drevent malt. Rankedekoren er mer profesjonell enn figurene, som er stive og litt stereotype. Dette er gjort av en maler, eller flere, som hadde sin styrke i det dekorative, mer enn i det å fremstille mennesker.

Maleteknikken er typisk for limfargedekor. Det eneste som er spesielt er måten håret til ynglingen er laget. Der er krøllene laget ved at maling er skarpt vekk i bølgende linjer med en pinne eller f. eks. bakenden på penselen.



Legg merke til krøllene i håret og den røde dekoren som kolliderer med hodet til ynglingen.

Farger

Følgende farger sees på veggene i dag:

Hvit
Sort
Grå
Rødbrun
Rød
Rødgul
Gul

Følgende farger har sannsynligvis vært brukt

Hvit
Sort
Grå
Rødbrun

Rød, iallfall to røde brukt i forskjellig bindemiddelblanding; som vask eller tett farge. (Se på rankedekoren på østvegg)

Rødgul, f.eks. glorier
 Grønn blandet av gul og blå; blå farge er bevart noen steder på østveggen
 Grønn brukt på trærne, se på sydveggen.
 Rød lasur på druene
 Hvitt? som høylysmarkering på druene



Den grønne fargen er stort sett borte, men kan sees der det er kommet lite lys til og der den ligger tykt, som på dette bladet på østveggen. Her sees også undertegning som grå streker i det hvite området

Tilstand

Generelt

Limfargedekoren i Urnes kirke er en av de meget få i landet som ikke er konsolidert eller på annen måte behandlet. Til tross for at den er skadet, oppleves den generelt som velbevart. Det er et mål å kunne bevare den lengst mulig uten konsoliderende inngrep.

Vegger

Nedre del av veggene er meget slitt. Nedre del betyr det nederste feltet og store deler av det nest nederste feltet; apostelrekken. Dette skyldes at man har berørt veggene og at man har skubbet seg inntil veggene ved passering og når benken på nordveggen har vært i bruk. Mennesker har oppholdt seg i koret for å komme inn i sakristiet som hadde inngang bak alteret, trolig for å gå rundt alteret ved ofring (før kisten ble plassert bak alteret), og for å fylle hjelpefunksjoner ved gudstjenestene.

Dekoren på nordveggen er meget nedbrutt av denne mekaniske slitasjen og av lyspåvirkningen fra vinduet på sydveggen. Sydveggen er mindre nedbrutt i de øvre delene og øst for vinduet, mens under vinduet er kun fragmenter av dekoren bevart. Østveggen er den som er best bevart av de tre veggene. Denne har vært beskyttet av altertavlen mot lyset og har også vært mindre utsatt for berøringsslitasje.



Fukt- og vannskader på sydveggen.



Detalj øst for vinduet

Flerlagsstrukturer er generelt bedre bevart enn ett-lagsstrukturer.

Følgende skadetyper er observert på alle veggene:

- Fargeendringer; grønne, blå og eventuelt gule farger er nesten fullstendig bleket bort
- Riper og riss i malingflaten
- Sporadiske oppskallinger
- Grafitti: utført med kritt, brunkritt og blyant
- Tap av maling; særlig i de nedre deler og på nordveggen
- Brune skjolder etter vannlekkasjer
- Stripper i malinga pga at vann har rent nedover
- Glansending/"oppfetting" av overflaten

Dessuten er overflaten noe skitten og er stedvis skjemmet av fugleeksremitter



Deler av dekoren på nordveggen er skadet av vann, som har vasket av dekoren og forårsaket de brune skjoldene

Det er påfallende lite oppskallinger på veggene, men iallfall ansiktet til apostelen Matteus på østveggen bør holdes under oppsikt, ettersom det her er noe løs maling.

Vedlegg 2

Prosess for optisk skanning av limfargedekoren i Urnes stavkirke

Prosess etter at overflatene er merket.

Trinn 1: Overflaten fotograferes med digitalt kamera. Informasjonen fra kameraet legges inn i et såkalt TRITOP-system som gjør at informasjonen fra bildene kan appliseres på skanneinformasjonen og gi skann med farge som på fotografiet. TRITOP-systemet bruker de samme passmerkene som fotoskanneren. Denne informasjonen brukes sammen med skannene som ble gjort før behandling.

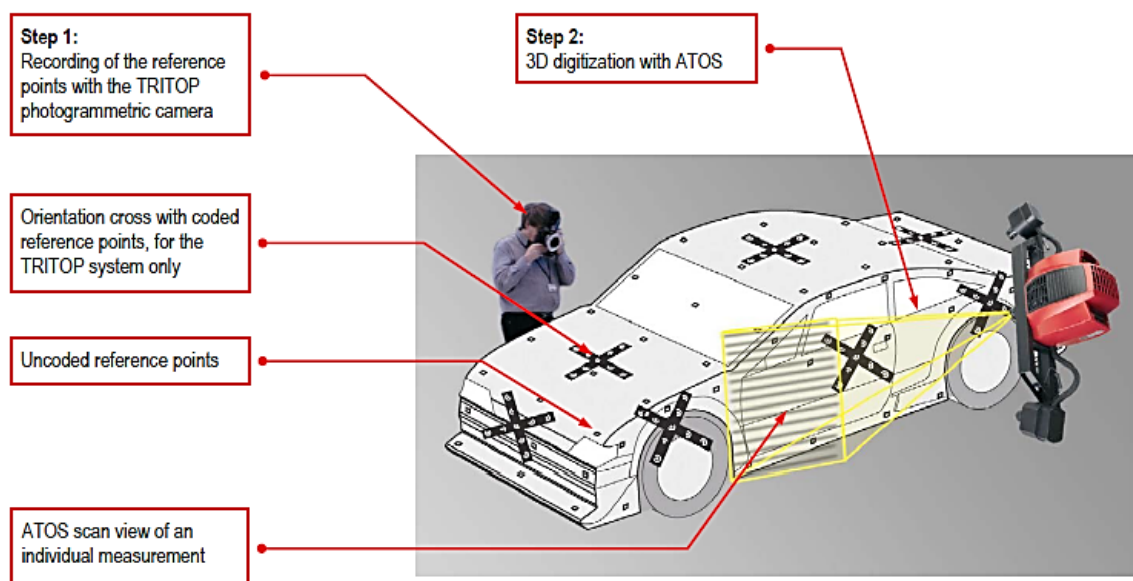
Trinn 2: Projektoren projiserer strukturert lys i striper, såkalte «fringes», mot overflaten som skal dokumenteres. De projiserte stripene brytes i overflatestrukturen og denne brytningen fanges opp av instrumentets to kameraer. På denne måten er det mulig å beregne tredimensjonale koordinater langs stripene, og dette gjør det mulig å bygge opp en digital geometri som representerer overflaten.

Idealavstanden fra projektoren til den malte flaten er 73cm når det skannes med projektorens minste målevolum, slik det ble gjort i Urnes. Det skannes fra flere posisjoner for å få en tettest mulig punktsky og for å få frem overflatens tredimensjonalitet. På denne måten vil man også dekke alle skyggefelt³⁵ som måtte oppstå på overflaten. Hvert skann dekker et område på cirka 20x20cm. Derfor måtte mange skann gjøres både for å dekke de aktuelle områdene på veggen og for å vise overflatens struktur.

Den optiske skanneren GOM ATOS 2e ble brukt i dette prosjektet.

Brukermanualen for skanneren ligger på:

http://cs.wmich.edu/~mrmcaule/design/ATOS%20Manuals/ATOS_MANUAL_EN.PDF (Siden besøkt 15.12.2011). Der er prosessen vist på denne måten:



³⁵ Skyggefelt er områder som skanneren ikke kan registrere.

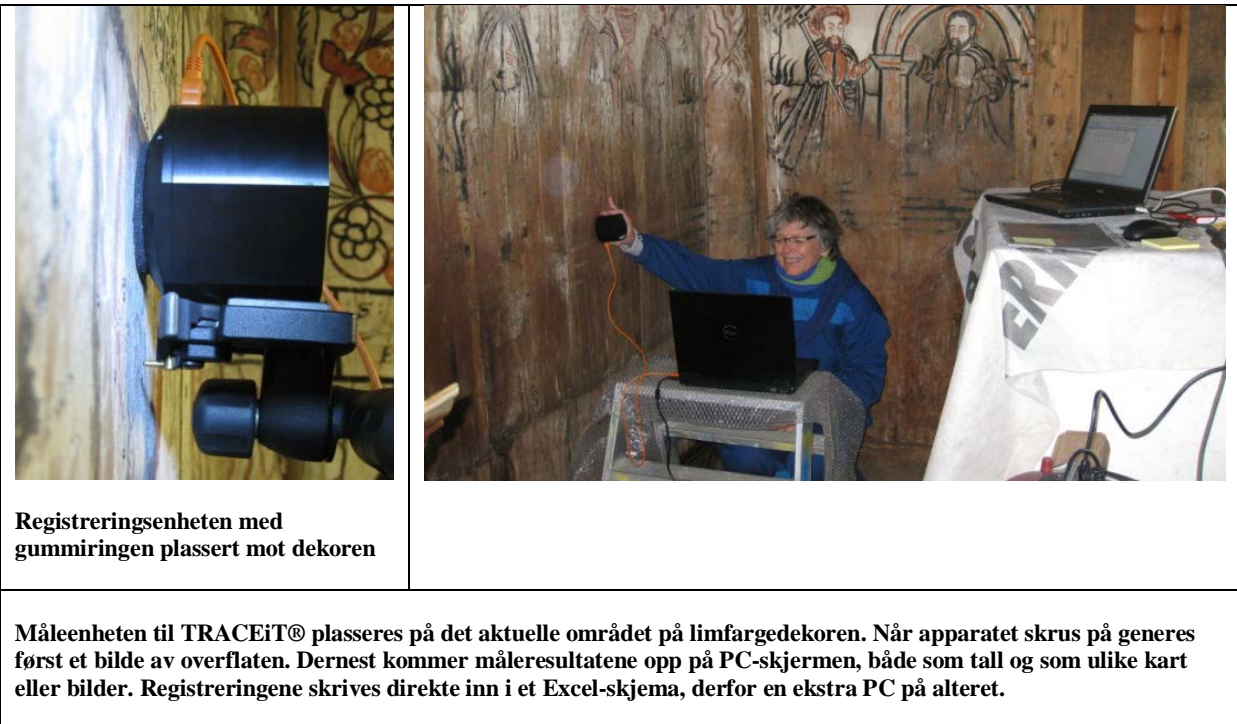
Vedlegg 3

Prosess for overflateregistreringen i Urnes ved bruk av TRACEiT®

Etter at registreringspunktene var valgt ble punktene dokumentert med TRACEiT® før og etter behandling. Punktene før- og etter er ikke fullstendig sammenfallende.

Registreringen ble utført av to personer. En var ansvarlig for å holde instrumentet, den andre for å styre registreringen via PC. Følgende prosedyre ble fulgt:


1. PC skrues på og instrumentet kalibreres i henhold til bruksanvisningen
2. Måleenheten holdes inn mot registreringsområdet. Det er viktig å kontrollere at det ikke kommer falskt lys inn på måleområdet da dette vil gi feilaktig registrering.³⁶
3. Registreringen igangsettes ved en kommando på PC
4. Registreringsverdiene kommer umiddelbart opp på PC og lagres.
5. Utvalgte måledata ble overført og lagret i Excel.
6. Bearbeidingen av måledataene ble gjort etter feltarbeidet



³⁶ Instrumentet kan festes til et fotostativ. I dette tilfellet fant vi det enklere og sikrere å holde instrumentet i hånden. Kontroll med hensyn til falsk lys gjøres i videobildet på PC-skjermen.

Vedlegg 4

Utvalgt informasjon om Geomagic studio 12: Anvendte parametere for sammenligning mellom to skann



Getting Started > Frequently Asked Questions > All About Spectrums

About the Deviation Spectrum

A *Deviation Spectrum* is a color-coded representation of the differences between two or more objects .

A *Deviation Spectrum* is a stored object that represents the assignment of colors to deviation ranges.

To modify the default Spectrum that appears with several Geomagic functions, or to customize a Spectrum and assign a name to it for later use, go to [Edit Deviation Spectrum](#).

- Unnamed dropdown - allows the selection of a Deviation Spectrum object (a stored set of Spectrum parameters). (A Deviation Spectrum object can be created and stored by [Edit Deviation Spectrum](#).)

The following parameters affect this usage of the Spectrum on a one-time basis, but do not affect the stored Deviation Spectrum object.

- **Color Segments** (default 15) - specifies the number of deviation ranges reported by this Spectrum, each represented by a different color.
- **Max. Critical** - specifies the highest positive deviation reported by this Spectrum.
- **Max. Nominal** - specifies the highest positive deviation that is considered acceptable or "green".
- **Min. Nominal** - specifies the highest negative deviation that is considered acceptable or "green".
- **Min. Critical** - specifies the highest negative deviation reported by this Spectrum.
- **Decimal Places** field - specifies the number of decimal places that appear in the legend of the Spectrum in the Graphics Area.

Note the following behaviors:

- If **Max. Critical** is modified, **Min. Critical** is set to the negative value of **Max. Critical**. But **Min. Critical** can be set independently of **Max. Critical**.
- If **Max. Nominal** is modified, **Min. Nominal** is set to the negative value of **Max. Nominal** . But **Min. Nominal** can be set independently of **Max. Nominal** .

Additional actions that can be taken, which affect this instance of the Spectrum but not the stored Spectrum object, are:

- Right-click on the color box and check either a **Vertical** or **Horizontal** display.
- Right-click on the color box and check or uncheck **Display Border**.
- Right-click on the color box and check or uncheck **Transparent Background**.
- Right-click on the color box and select either **Energy** for a deviation spectrum or select **Go/No Go** for a two-color deviation result.
- Right-click on the color box and check or uncheck **Histogram** to show a histogram of the frequency of deviations.

Copyright © 2010 Geomagic, Inc. All rights reserved. // [Email Studio Support](#) // [Geomagic Support Center](#)

Spectrum

Result ▾

Color Segments: 15

Max. Critical: 0.26877 mm

Max. Nominal: 0.01344 mm

Min. Nominal: -0.01344 mm

Min. Critical: -0.26877 mm

Decimal Places: 3

Statistics

Maximum Distance:
 positive: 0.237 mm
 negative: -0.269 mm

Average Distance: -0.003 mm
 positive: 0.004 mm
 negative: -0.006 mm

Standard Deviation: 0.010 mm

Det viktigste i tabellen over er: Betegnelse *Max. Nominal* og *Min. Nominal* betegner henholdsvis det største positive og det største negative avviket/endringen som aksepteres som grønt; som «nullpunkt»/der det ikke har skjedd endringer mellom de to skannene som sammenlignes.

Vedlegg 5

(Rapport fra Håkan Eriksson, Ramböll Sverige AB. desember 2011)

Kontrollmåting vid 3D-scanning Atos 2e

Kontrollmåting av lys, temperatur og luftfuktighet vid scanning med optisk 3D-scanner Atos 2e og måtvolum 175. Scanningen sker på ett optimalt avstånd från objektet 73cm.

Kontrollmåtingen skedde med hjälp av Dataloggers, Tinytag view. Dataloggern inneholder ett klimatkänsligt membran av polymertyp.

Kontrollmåtingen skedde i Göteborgs Konstmuseums aula av Håkan Eriksson, Otto Mackerle Ramböll Sverige AB tillsammans med Petra Waern, konservator, Göteborgs Konstmuseum. 2011-12-21.

Måtingen genomfördes som ögonblicksmåtingar vid olika tillfällen under scanningproceduren. Scanningen genomfördes med få scanningsscener under en halv timme. Objektet som scannades utsattes for 10 scanningsscener under en halv timme.

Följande parametrar mättes: Ljus (lux), Luftfuktighet RH%

Temperatur (°C).

Skillnaderna i luftfuktighet RH%, temperatur (°C) var inom felmarginalen under alla scanningmoment og bedöms ej påverka materialet.

Grundförutsättningar i lokalen

Utan påverkan av 3D-scanner:

LJUS: 3,7 lux (svag belysning), LUFTFUKTIGHET: RH 35%, TEMPERATUR: 20.0 °C

Grundljus 3D-scanner 90° mot objektet

Detta lys strålar från 3D-scannerns projektor när den är påslagen.

Normalt är inte 3D-scannern inte riktad mot samma yta av objektet under hela scanningproceduren.

LJUS: 22000 lux

Registreringslys

Det lys 3D-scannern strålar med under den period när data registreras. Normalt handlar detta om delar av en sekund.

Normalt 3D-scannar vi varje yta ur 4-8 riktningar.

Registreringslys 90° mot objekt.

LJUS grund: 22000 lux

LJUS max: 80000 lux

Registreringslys 60° mot objekt.

LJUS grund: 18000 lux

LJUS max: 66000 lux

Registreringslys 45° mot objekt.

LJUS grund: 12000 lux

LJUS max: 43000 lux

Datum
Ramböll Sverige AB
Box 5343, Vådursgatan 6
402 27 Göteborg
Region: Väst

T: +46-10-615 60 00
F: +46-31-40 39 52
www.ramboll.se

Upprättat av Håkan Eriksson

+46 (0)10 615 34 92

hakan.eriksson@ramboll.se

Ramböll Sverige AB
Org nr 556133-0506



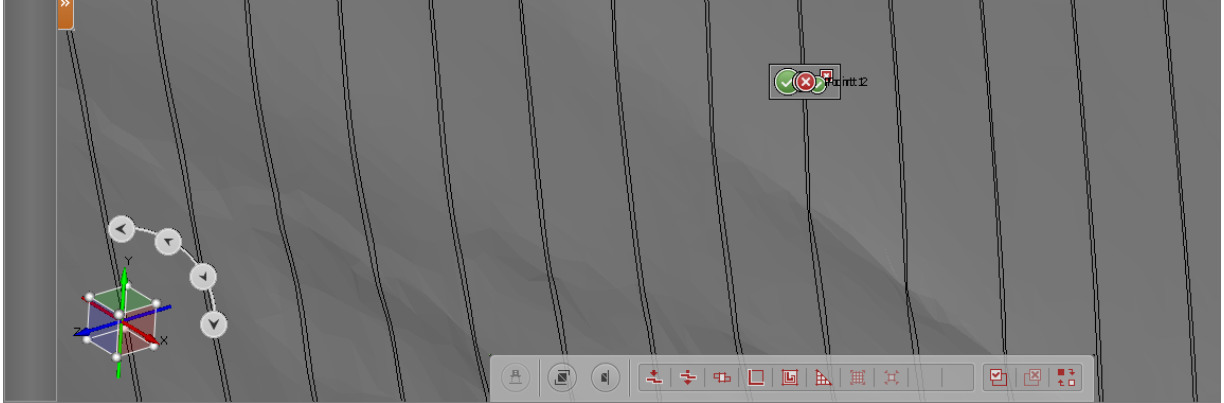
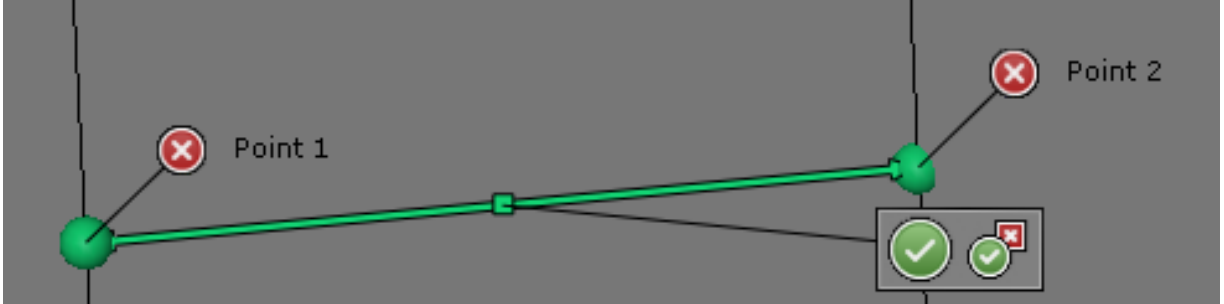
Vedlegg 6

Testskanning for vurdering av den polygonbaserte oppbygningen av overflaten

Objektet nedenfor ble skannet to påfølgende ganger under like forhold og uten at noe ble gjort med objektet mellom de to skanneepisodene.

Det er ikke samsvar mellom snittlinjene. Hvert skann bygger opp en unik overflate som gjør at snittlinjene ikke kan brukes til å tallfeste endringer i de virkelige overflatene.

Figurene nedenfor viser sammenligning av snittlinjer for to, tett påfølgende skann av det samme objektet og under samme forhold.

<p>Scannet objekt (ca. 30x5cm) med informasjon fra digitalt foto. Objektet har samme type overflate som limfargedekoren i Urnes stavkirke</p>	
<p>Scannet objekt. Begge skannene er lagt på hverandre og gitt forskjellige farger.</p>	
	
<p>Snittlinjene fra de to skannene er ikke sammenfallende. Utsnittet er hentet innenfor den røde firkanten på bildet over.</p>	
	
<p>0,026mm avstand mellom linjene på valgt målepunkt. Vi målte forskjeller mellom ned til 0,002mm mellom linjene. Disse forskjellene skyldes oppbygningen av det enkelte skanns polygonbaserte overflate.</p>	