

NIKU Oppdragsrapport 180/2009

# Laserskanning av Urnes stavkirke, Luster kommune, Sogn og Fjordane

Lars Gustavsen



Forord.....	3
1. Innledning .....	4
2. Terrestrisk laserskanning.....	4
2.1. Metode.....	4
2.2. Prosjektgjennomføring og utstyr.....	6
3. Resultater fra skanningen .....	9
3.1 Resultater .....	9
3.2 Sluttleveranse .....	14
3.3 Veien videre.....	15
4. Konklusjon .....	15
5. Litteratur .....	16
6. Vedlegg .....	17
A. Prosjektdeltakere.....	17
B. Maskinvare .....	17
C. Programvare .....	17
D. Fastmerker og koordinatsystem .....	17
E. Faktabokser.....	18
F. Målerapport – Geoplan 3D.....	21

## Forord

NIKU har, i samarbeid med ingeniørfirmaene Geoplan 3D og Ramböll AB samt Riksantikvaren, gjennomført en tredelt detaljdokumentasjon av Urnes stavkirke ved hjelp av laserskanning. Denne tekniske rapporten tar for seg resultatene fra prosjektet, og dekker således den første skanningen gjennomført i 2008, samt de to delprosjektene som ble gjennomført i 2009. Oppdraget er bestilt av Riksantikvaren og er finansiert gjennom Riksantikvarens stavkirkeprogram.

NIKU prosjektnummer/årstall	1563059/2009
Berørt område	Urnes stavkirke, Luster kommune, Sogn og Fjordane
Gnr/Bnr	183/77
Oppdragets art	Laserskanning
Oppdragsgiver	Riksantikvaren
Oppdraget utført av	NIKU v/Lars Gustavsen, Ola Storsletten og Knut Paasche, i samarbeid med Geoplan 3D v/Odd Erik Mjørnlund, Bjørn Magnus Stensby og Eirik Ruden og Ramböll v/Sven-Olav Johannson og Hans-Otto Mackerle.
Prosjektleder	Knut Paasche/Lars Gustavsen
Oppdraget utført dato	Del I - 19. – 22. nov. 2008 Del II og III 15. – 19. jun. 2009
Koordinater	UTM sone 32 (EUREF89) N:6820180 Ø:89321
Vernestatus	Automatisk fredet kulturminne
Askeladden ID	85729
Kulturhistorisk tolkning	Stavkirke fra middelalderen (ca. 1130)

## 1. Innledning

I perioden 19. – 22. november 2008 gjennomførte NIKU et pilotprosjekt ved Urnes stavkirke i Luster kommune, Sogn og Fjordane, for å undersøke og demonstrere hvorvidt laserskanning var egnet som dokumentasjonsmetode ved stavkirker og andre typer stående byggverk. I forbindelse med en omfattende restaurering av kirken hadde store deler av inventaret samt gulvet blitt fjernet, noe som i denne omgang gjorde det mulig å dokumentere grunnstokker og fundamenter så vel som resten av kirkebygget.

Resultatene fra dette første delprosjektet viste seg å være svært lovende, og en ny runde med detaljdokumentasjon ble planlagt til det påfølgende året. Denne delen av prosjektet var todelt, hvor formålet med del II var å slutføre skanningen av kirkebygget, mens del III gikk ut på å finskanne kirkens nordportal. Disse delprosjektene ble gjennomført samtidig i perioden 15. – 19. juni 2009.

Del I og III av dette prosjektet ble gjennomført av NIKU i samarbeid med ingeniørfirmaet Geoplan 3D og Riksantikvaren, mens det svenske ingeniørfirmaet Ramböll AB også deltok under del II. For NIKU har dette vært et prøveprosjekt hvor nytt utstyr og metode har vært testet ut, mens det for de to ingeniørfirmaene har vært en utfordring å tilpasse det tekniske utstyret inn mot NIKUs høye krav til dokumentasjon av et meget komplisert kulturhistorisk objekt. Metodene har i vår erfaring vist seg som svært effektive, i og med at store datamengder har blitt innhentet i løpet av relativt kort tid, og at tredimensjonal informasjon om bygningsdeler og arkitektoniske detaljer kan uthentes og studeres uten større problemer.

Resultatene fra de tre delprosjektene skal i første rekke nyttiggjøres av Riksantikvarens stavkirkeprogram til videre arbeid i restaureringsprosessen og i overvåkningsøyemed. Den nye dokumentasjonen er i så måte ment benyttet i forbindelse med fornyet og mer grundig dokumentasjon av stavkirken, samt at datagrunnlaget vil fungere som tegningsgrunnlag ved restaureringen. Datasettet kan dessuten anses som en digital sikkerhetskopi av kirkebygget og dets dekorerte flater.

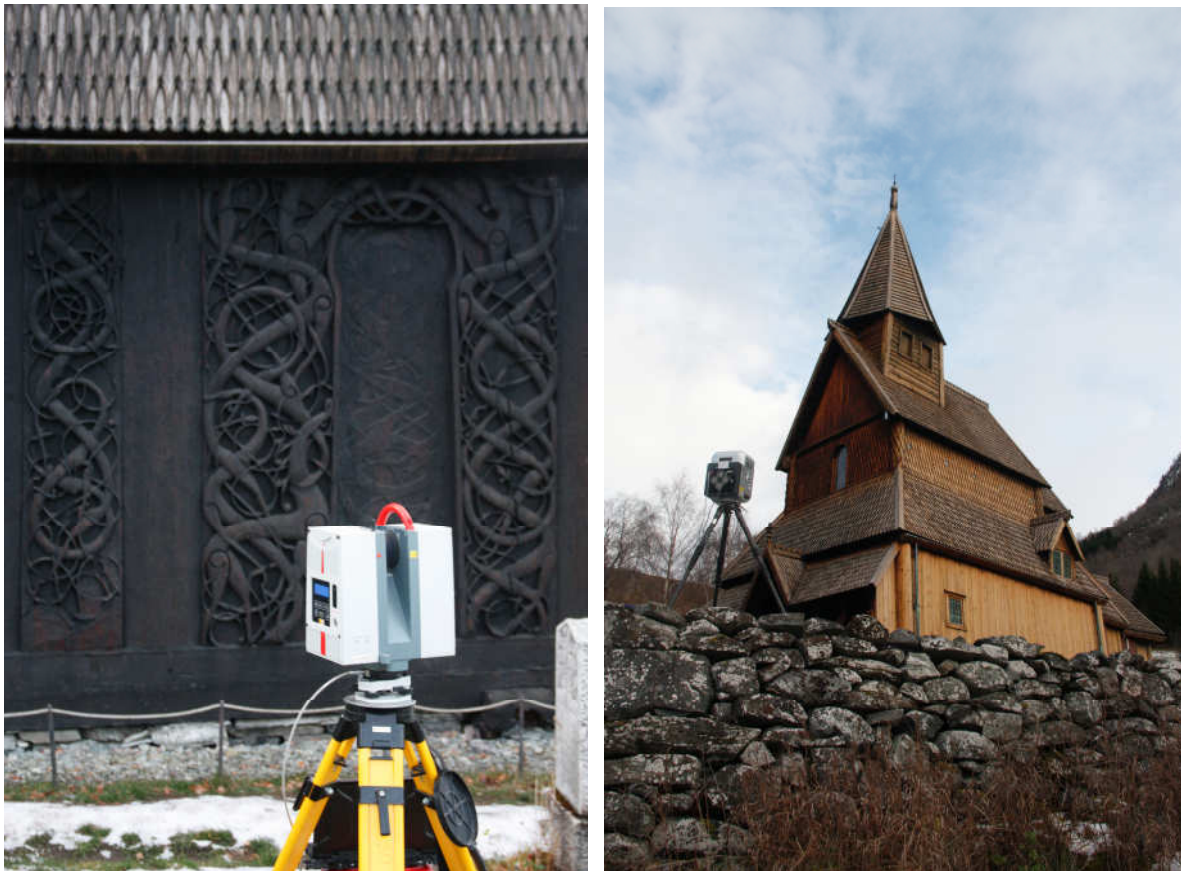
## 2. Terrestrisk laserskanning

### 2.1. Metode

Terrestrisk laserskanning har til hensikt å detaljdokumentere landskap, bygninger eller andre objekter. Den vanligste datainnsamlingen foregår ved at laserpulser sendes mot objektet fra et bakkebasert laserinstrument (figur 1). Pulsene skytes ut fra et laserinstrument med en frekvens på opp i mot 500 000 per sekund. Laserinstrumentet roterer rundt sin egen horisontalakse og laserpulsene sendes via et speil som roterer rundt instrumentets vertikalakse. På denne måten kan instrumentet dokumentere 360° rundt vertikalaksen samt 310° rundt horisontalaksen. Laserpulsene som emitteres fra instrumentet reflekteres i objektet som skal dokumenteres og ved å måle forskjellige egenskaper ved retursignalet, kan avstander og vinkler beregnes. Dette gjør igjen at koordinater for punktet der laserpulsen treffer objektet kan beregnes. Resultatet av en slik operasjon er en tredimensjonal punktsky, som regel bestående av flere millioner eller milliarder unike punkter. Nøyaktigheten som oppnås i en slik type dokumentasjon er svært høy men er avhengig av faktorer som blant annet instrumentets avstand og vinkel til objektet samt generelle vær- og lysforhold. Dersom instrumentet står mellom 1 og 25 meter fra objektet som skal skannes, kan man anslå en nøyaktighet på mellom 2 og 6 mm (1 sigma).

Punktskyene settes til slutt sammen til et enkelt datasett. Dette refereres til et sett lokale referansepunkter som igjen kan måles inn ved hjelp av totalstasjon og GPS. På denne måten kan hele datasettet kartfestes i henhold til reelle koordinatsystemer. Den ferdigprosesserte

punktskyen danner således grunnlaget for videre behandling i form av analyse, uttegning og modellering.



**Figur 1 - Leica HDS6000 fasebasert laserskanner (til venstre) og Trimble GS200 pulsbasert laserskanner (til høyre). Foto: Knut Paasche, NIKU**

En annen vanlig metode i bruk innen laserskanning er såkalt fotoskanning (figur 2). Her benyttes et optisk instrument bestående av to til tre 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 dekket med 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. På denne måten kan instrumentet bygge opp en digital overflaterrepresentasjon 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. Dette er en metode som opererer med et nøyaktighetsnivå ned til 1/200 mm. Ulempen med metoden er at den er basert på kontraster i det strukturerte lyset og at den derfor fungerer best under kontrollerte lysforhold slik som inne på et laboratorium eller i mørke. Se for øvrig faktabokser nedenfor for mer informasjon om de forskjellige skannerne.

De forskjellige formene for laserskanning benyttes i dag innenfor en rekke forskjellige sektorer som dokumentasjons- og kontrollmetode. De siste ti årene har metoden også blitt tatt i bruk innenfor forskningsmiljøer rundt om i verden, deriblant innenfor arkeologien hvor den benyttes til dokumentasjon, rekonstruksjon, analyse, visualisering og overvåking av alt fra gjenstander og ruiner til hele lokaliteter. Hittil har metoden ikke vært spesielt utbredt innenfor det arkeologiske miljøet i Norge, til tross for at det har vært gjennomført sporadiske prosjekter siden begynnelsen av 2000-tallet (se for eksempel Hommedal 2005). Noen av de viktigste objektene som har blitt skannet ved hjelp av terrestrisk laserskanner er Tune- og



Osebergskipet (Paasche et al), Selje kloster (Gustavsen 2009a), søylerekken på Domkirkeodden på Hamar (Gustavsen 2009b) og båtvraket 'Sørenga 2'. I tillegg er det gjennomført flere undersøkelser av datasett fra flybårne laserskannere (Risbøl et al 2007).



Figur 2 – Bruk av ATOS GOM III fotoskanner til detaljskanning av nordportalen. Foto: Knut Paasche, NIKU

## 2.2. Prosjektgjennomføring og utstyr

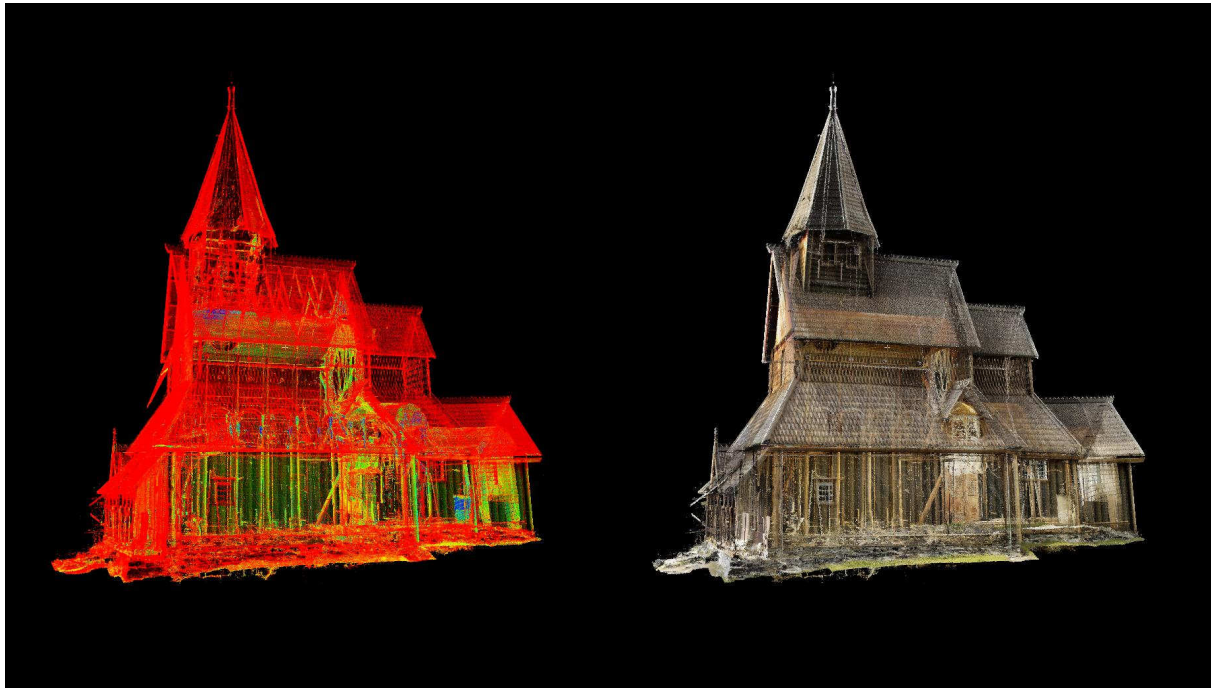
Skanningen ble gjennomført av NIKU i samarbeid med ingeniørfirmaene Geoplan 3D og Ramböll AB. Denne kombinasjonen av fagpersonell, hvor personer med kulturhistorisk bakgrunn samarbeider tett med oppmålingspersonell med måleteknisk bakgrunn er helt nødvendig for å oppnå et best mulig resultat. På denne måten kan en forsikre seg om at rett metode velges til oppdraget, og at de rette beslutningene tas i felt.

Instrumentene som ble brukt i forbindelse med skanningen var en fasebasert skanner samt en fotoskanner. I første del av prosjektet ble også en pulsbasert laser tatt i bruk. Den fasebaserte lasereren ble brukt til å skanne selve kirkebygget mens landskapet rundt ble dokumentert ved hjelp av den pulsbaserte skanneren. Fra disse skannerne ble det innhentet til sammen ca. 1,4 milliarder punkter fra til sammen 63 posisjoner. Skanningsdataene fra de forskjellige posisjonene og de forskjellige skannerne har i ettertid blitt prosessert og slått sammen til én enkelt punkttsky som danner grunnlaget for videre arbeid. Punktskyen er georeferert til fastmerker som kan måles inn ved hjelp GPS og totalstasjon. Dette vil gjøre det mulig å sammenligne skanningsdataene med data fra eventuelle senere oppdrag, og således vil skanningen ikke bare ha en verdi som dokumentasjonsverktøy, men dataene vil også kunne brukes i overvåknings- og kontrolløyemed.

I tillegg til selve laserskanningen ble det tatt fotografier fra en brakett festet til laserskannerens stativ. Fotografiene ble tatt med en ekstrem vidvinkel linse (12 mm brennvidde) og i 360 grader horisontalt med et overlapp på minimum 15 % per bilde. Fargeinformasjonen i disse fotografiene er deretter ekstrahert og lagt på punktskyen, noe som gjør at hvert enkelt punkt i punktskyen får en ekstra attributt som representerer fargeinformasjon (figur 3).

Skanningen med fase- og pulsskannerne gikk uten nevneverdige problemer. Skannerne og resten av utstyret ble oppbevart ved kirken, og transport til og fra kirken bød ikke på spesielle logistiske problemer. Urnes stavkirke var i prosjektperioden under restaurering, noe som førte til en rekke måletekniske utfordringer. I første del av prosjektet var ikke det moderne gulvet fullstendig fjernet, samt at en del verktøy og bygningsmateriale lå i veien for

skanneren. Dette førte til at mye tid gikk med på opprydning i forkant av skanningen. I tillegg var deler av interiøret, deriblant prekestolen, tildekket for å bevare limdekoren i kirken. Disse delene av interiøret er derfor ikke med i dette datasettet.



**Figur 3 - Skanningsdata fra kirken. Til venstre vises punktskyen med intensitetsdata fra instrumentet, mens bildet til høyre viser skanningsdata med informasjon hentet fra de digitale fotografiene.**

I den siste delen av prosjektet bar kirkerommet preg av arbeidet som pågikk med utskiftningen av kirkens fundamenter. Inne i kirkens skip var det anbrakt en stor haug med stein til fundamenteringen og det var også montert opp en kraftig rigg for å løfte denne steinen inn i kirka (figur 4). Både steinhaugen og riggen har derfor blitt en del av datasettet fra denne delen av prosjektet.

Et av målene ved denne delen av prosjektet var å skanne de delene av kirken som ikke ble ferdigskannet i den første delen. Dette inkluderte oversiden av tønnehvelvingene i skip og kor samt innsiden av takrytteren og kirketårnet. Tønnehvelvingen i skipet bød ikke på spesielt store problemer, mens hvelvingen i koret derimot ikke lot seg dokumentere da laserinstrumentet rett og slett ikke fikk plass i rommet mellom hvelvingen og konstruksjonen over. Noe av den samme problemstillingen ble påtruffet ved skanningen av takrytteren og tårnet, da disse rommene er små med begrenset plass for personell og skanner (figur 5). Ideelt sett skal skanneren flyttes flere ganger for å få dokumentert objektets overflate på en tilfredsstillende måte. Dette lot seg altså ikke gjøre på grunn av rommenes utforming, og datasettet fra denne delen av kirken er således noe ufullstendig.

Fotoskanneren ble brukt til å dokumentere stavkirkens nordportal. Denne portalen viste seg raskt å by på en rekke utfordringer. Portalen karakteriseres av komplekse utskjæringer i svært dypt relieff, noe som gjorde at enkelte deler av utskjæringerne ikke var synlige for skanneren. Dette problemet ble imidlertid løst ved at det ble skannet fra flere posisjoner enn tidligere planlagt. For å nå inn i alle kroker og krokar av utskjæringerne måtte det også konstrueres en treplattform slik at instrumentet kunne heves til ønsket høyde. Dette ble raskt snekret sammen av det lokale bilelaget.

En annet utfordring med denne delen av skanningen var selve materialet i portalen. Urnes stavkirke tjærebres med jevne mellomrom, og siden nordsiden av kirken ikke utsettes for



spesielt store mengder direkte sollys fremstår overflaten i trematerialet som svært mørkt, nærmest svart. Dette, i tillegg til ujevne lysforhold, gjorde det nærmest umulig for fotoskanneren å tolke kontrastene i det projiserte lyset, og det ble derfor bestemt at akkurat denne delen av prosjektet skulle gjennomføres på kveldstid og om natten.



Figur 4 - Rigg for fundamenteringsstein. Foto: Knut Paasche, NIKU.



Figur 5 - Trangt om plassen - Skanning av takrytter og tårn på Urnes stavkirke. Foto: Knut Paasche, NIKU

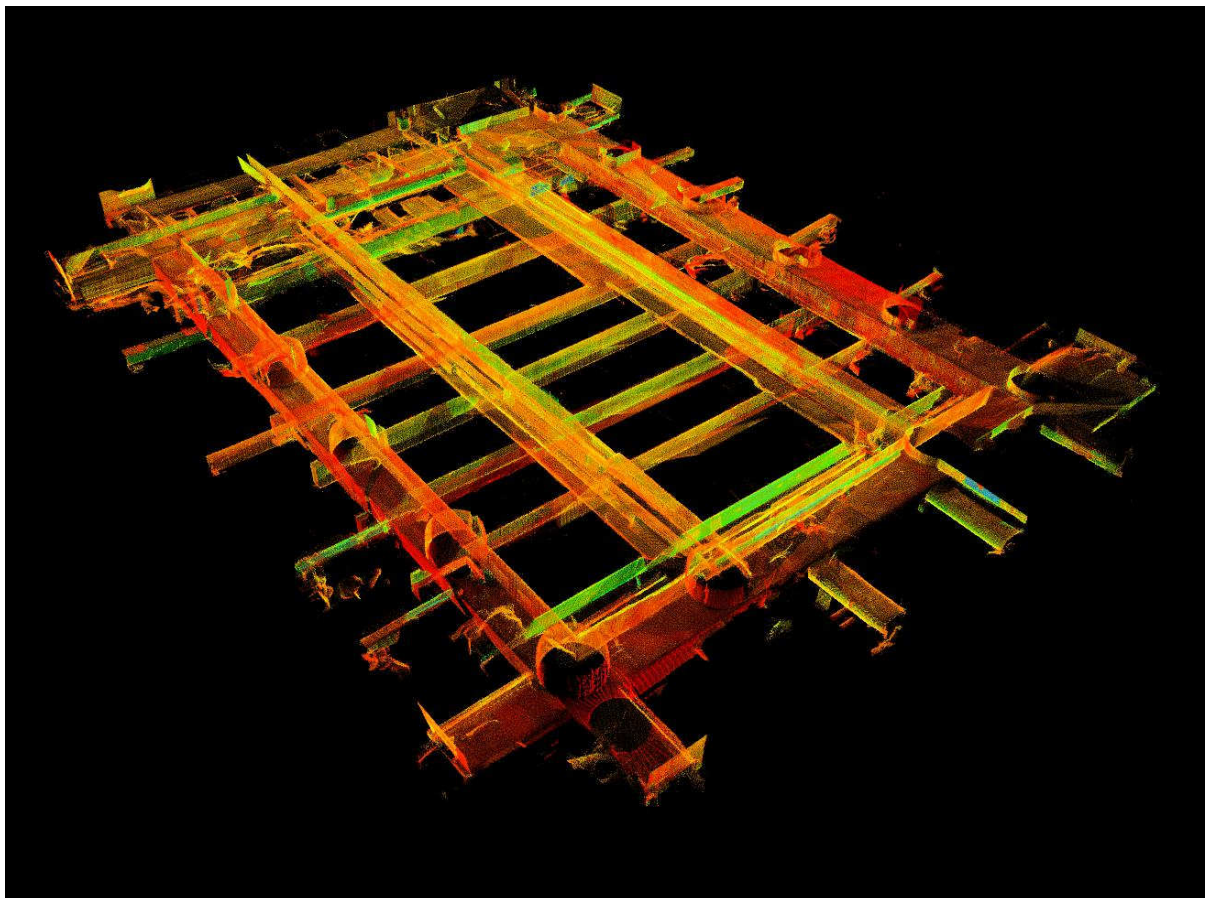


### 3. Resultater fra skanningen

#### 3.1 Resultater

Resultatene fra disse tre delprosjektene er svært lovende, og datainnsamlingen har gitt oss en svært god dokumentasjon av kirken og området rundt. Når punktskyen blir supplert med tidligere manuelle målinger kan den danne grunnlag for å produsere to- og tredimensjonale tegninger og modeller av kirkens bestanddeler. Det er ikke satt av penger til dette i denne omgang, og uttegningen som presenteres her har derfor vært begrenset til mindre partier av kirken for å vise potensialet i metoden.

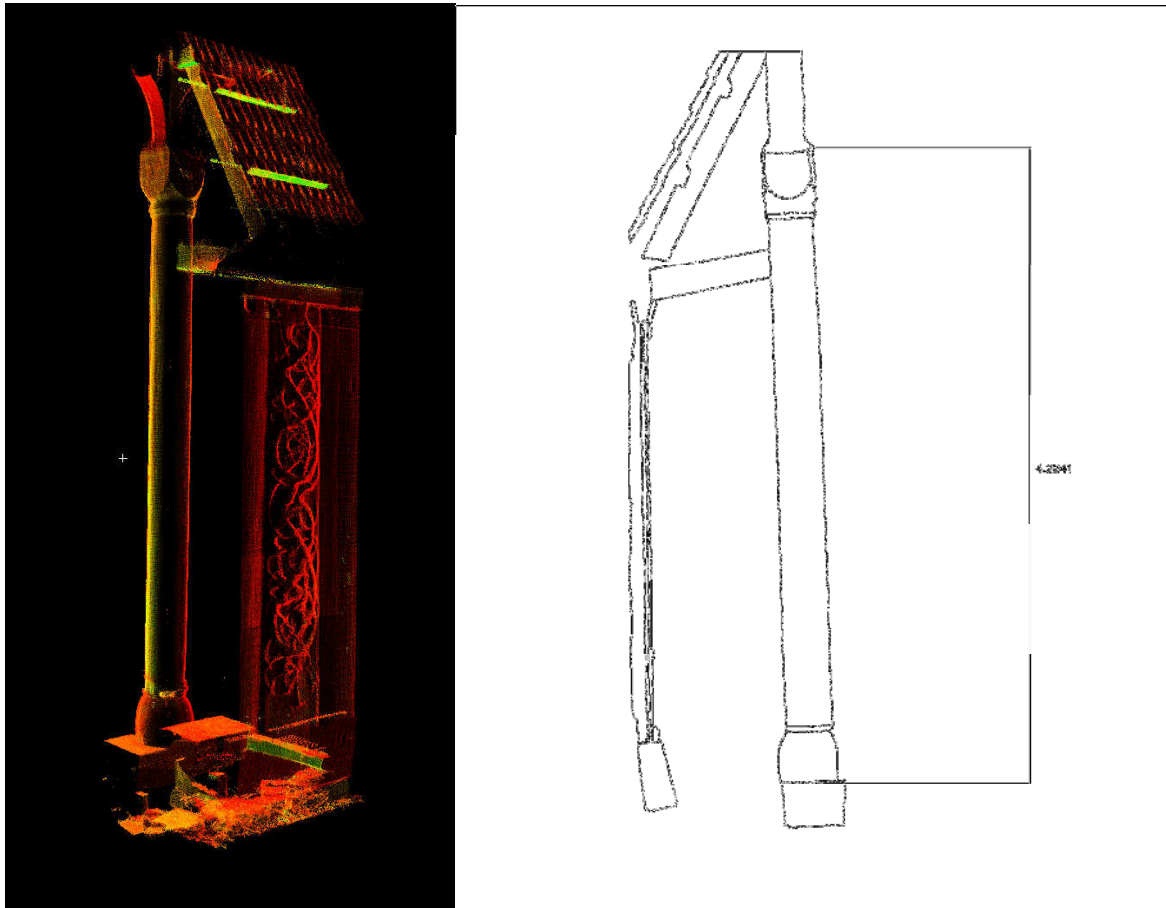
Datasettet gjør det for eksempel mulig å fjerne uønsket informasjon, slik at man kun sitter igjen med den informasjonen man ønsker. På denne måten kan vi danne oss helt nye bilder av stavkirken og få en bedre forståelse for hvordan kirken er konstruert (figur 6).



**Figur 6 - "Understellet" på Urnes stavkirke. Punktsky hvor overdelen av kirken er klippet vekk slik at kun grunnstokkene kommer til syne.**

Ved hjelp av denne metoden er det således mulig å skille ut enkeltdeler av kirken for å produsere måleriktige strektegninger (figur 7).

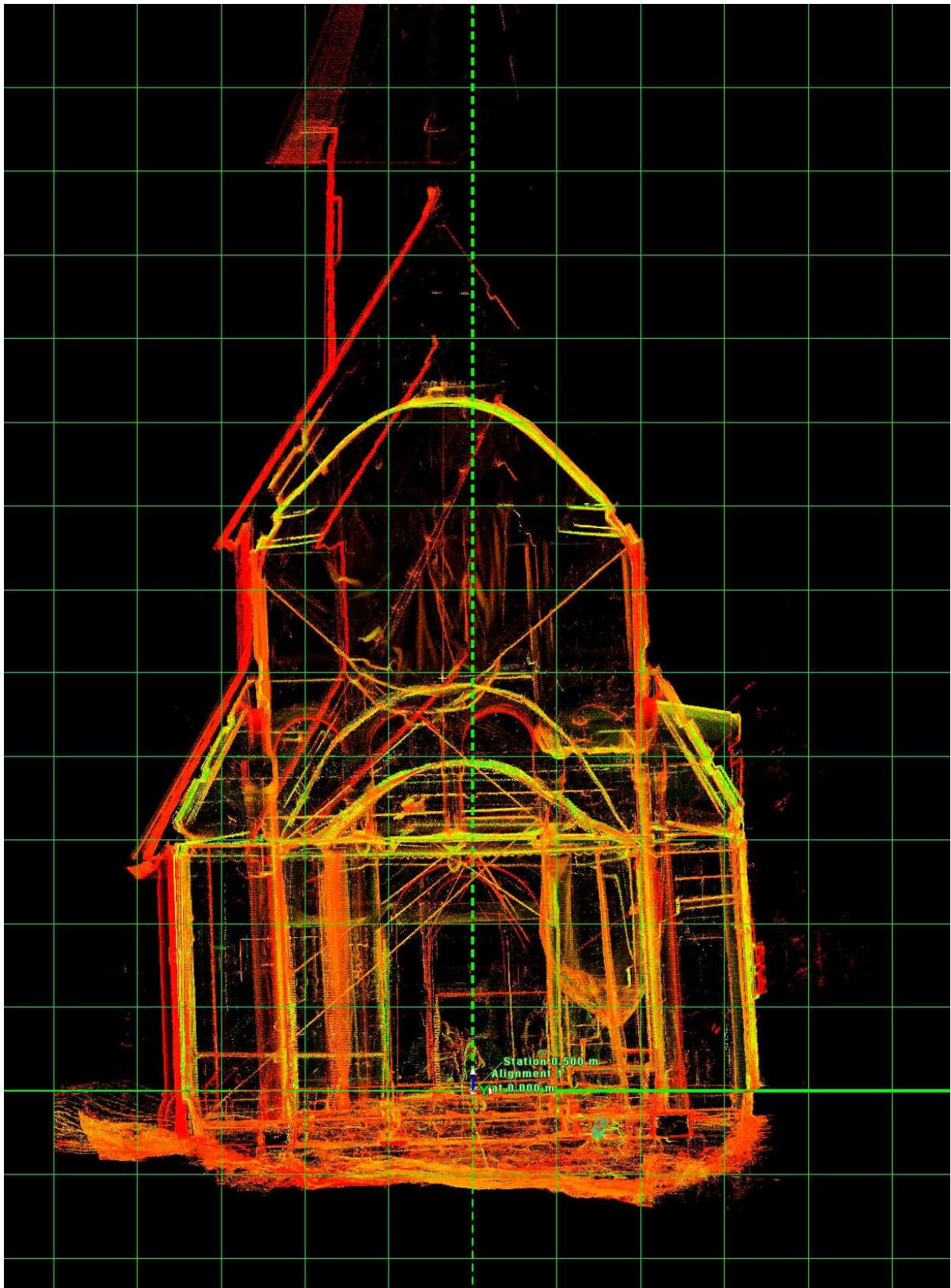
Videre har datasettet blitt brukt til å vurdere en kjent problemstilling ved Urnes stavkirke. Stavkirken heller nokså kraftig mot nord, noe som belaster både den nordre grunnsvillen og de dekorerte portalplankene. Det er noe usikkert når denne skjevheten har oppstått, og det er heller ikke fastslått med sikkerhet om det er en pågående prosess. Mye tyder imidlertid på at endringene har funnet sted etter de arkeologiske undersøkelsene av kirken på slutten av 1950-tallet (Storsletten 2008).



**Figur 7 - Utsnitt fra nordveggen av kirken. Til venstre: Utsnitt fra punktssky. Til høyre: Strektegning av samme utsnitt med den nordre grunnsvillan ytterst til venstre. Legg merke til grunnsvillens posisjon i forhold til veggen.**

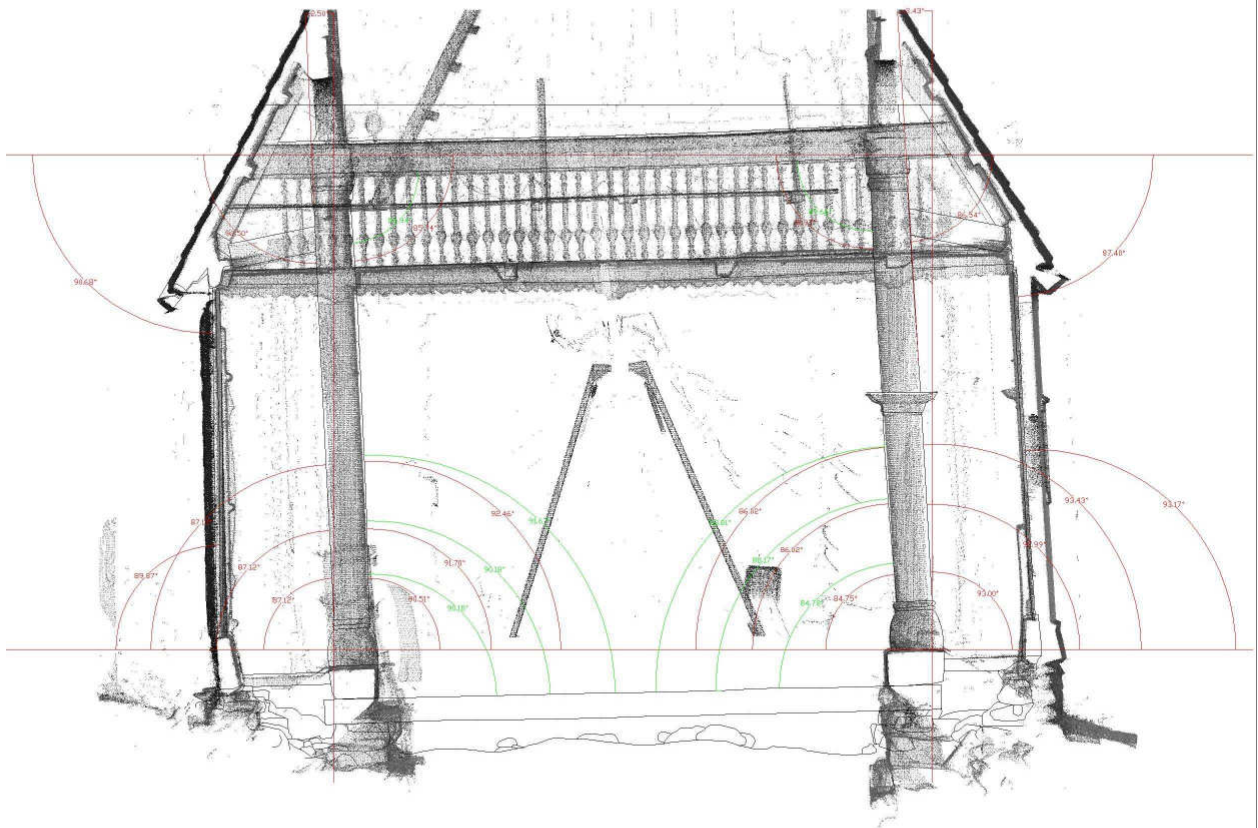
Skjevhetene i kirken har ved flere anledninger blitt målt inn på tradisjonelt vis ved hjelp av loddsnor, vater, nivelleringskikkert og fastmerker (kobberspiker). Enkelte av disse målingene har nøyaktighet på centimeternivå, og er vanskelige å etterprøve ettersom vi ikke vet nøyaktig hvor de forskjellige målingene er tatt. I og med at vi nå kan klippe vekk uønsket informasjon i datasettet, kan vi nå lage snitt gjennom kirkebygget akkurat der vi måtte ønske, og tegninger hvor skjevhetene og nivåforskjellene kan måles med millimeters nøyaktighet kan nå produseres. Viktig er det også at vi nå er i stand til å måle fra samme punkt hver gang, og at vi på så vis kan etterprøve de forskjellige resultatene (figur 8 og 9). Dokumentasjonen er også målestokkuavhengig, og tegninger kan derfor enkelt produseres i alle størrelser og målestokker (figur 10 og 11).

De forskjellige skanningsdataene vil, i tillegg til å fungere som grunnlag for tegning og modellering, være en ren tredimensjonal dokumentasjon av stavkirken. Datasettet består av filer med enkle, tredimensjonale koordinater som kan åpnes av et hvilket som helst tekstbehandlingsprogram, noe som igjen betyr at vi nå har sikret et øyeblikksbilde av Urnes stavkirke som kan lagres for framtida. I og med at dataene er georeferert mot utplasserte fastmerker vil de også kunne benyttes i overvåkningsøyemed, da man vil kunne sammenligne dette skannet med data fra eventuelle senere prosjekter.

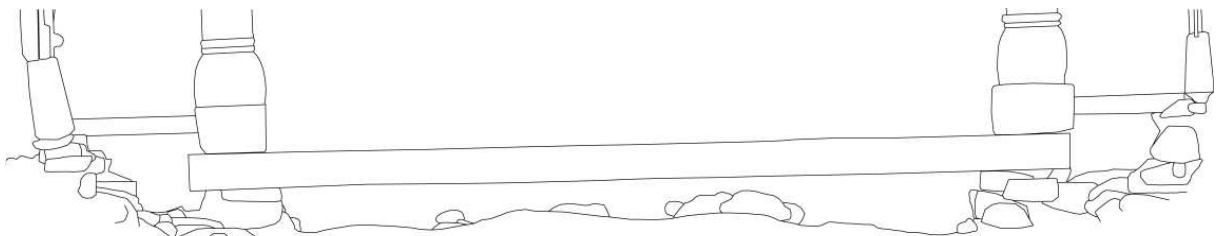


Figur 8 - Snitt gjennom det første datasettet fra Urnes stavkirke sett mot øst. Bildet illustrerer med all tydelighet skjevheten i konstruksjonen.



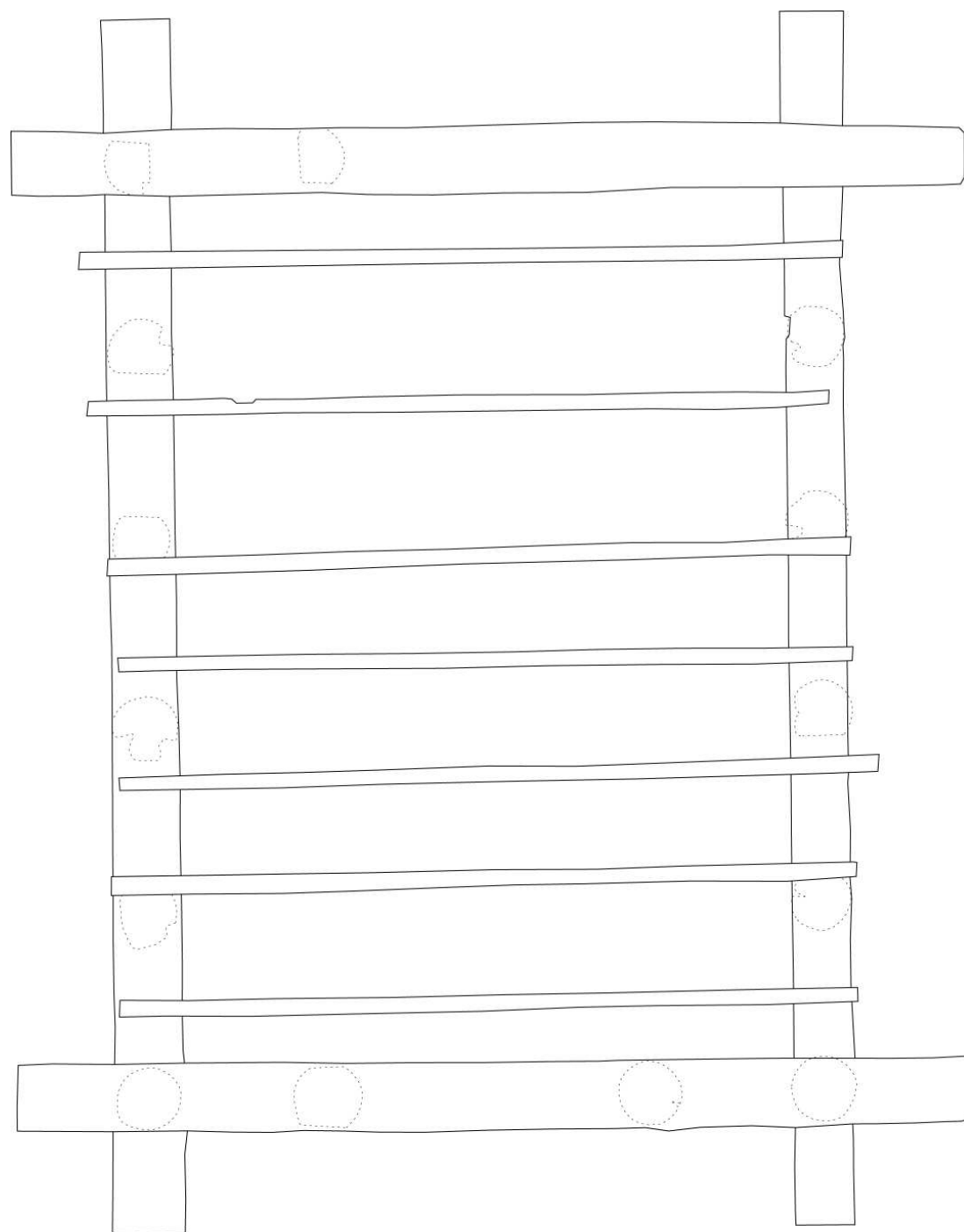


**Figur 9 - Sammenstilling av strektegning fra første del av prosjektet med rådata fra siste omgang med skanning. Sammenstillingen viser at det ikke er målbare forskjeller mellom de to datasettene.**



**Figur 10 - Rentegning av snitt av nedre del av konstruksjonen.**





0 2m

Figur 11 - Rentegning av plan som viser grunnstokkene og sekundære gulvbjelker i skipets midtrom. Jfr. figur. 6



**Figur 12 - Detalj fra datasettet fra fotoskanneren. Bildet viser en del av Urnes-portalen generert som en overflate i STL-format.**

### **3.2 Sluttleveranse**

Sluttleveransen fra de tre delprosjektene består av prosesserte rådata fra de tre skannerne, bildefiler og animasjoner samt rapport og metadata. Det er viktig at det lagres en sikkerhets kopi hos RA eller annet sted, slik at dette øyeblikksbildet av Urnes stavkirke blir kan sikres. Rådataene fra fase- og pulsskannerne leveres derfor i ASCII-format og består av x, y og z-koordinater, intensitetsdata samt fargedata (Ref. Paasche avisartikkel). Ettersom dette kun er tekstfiler, vil koordinatlistene kunne åpnes og leses i lett tilgjengelig programvare. I tillegg til disse filene leveres også filer i Leicas PTS- og IMP-format, slik at dataene er lettere tilgjengelig i originalprogramvaren.

Fotoskanneren leverer digitale modeller i STL-format. Dette er automatisk genererte overflater som er satt sammen for å danne en tredimensjonal modell av portalen (figur 12). STL-formatet er et standardformat innen stereolitografi og er valgt da det er mulig å åpne disse filene i en rekke programvarepakker for 3D-modellering. Det er også generert punktfiler

i ASCII-format fra disse overflatene slik at dataene kan lagres som koordinatlistene på samme måte som dataene fra de andre instrumentene.

En visualisering av tredimensjonal dokumentasjon i et todimensjonalt medium slik som en papirrapport kan være en utfordring, og det er nok først ved bruk av spesialtilpasset programvare at det er mulig å se det full potensialet i metoden. Visualisering og redigering av originalfilene stiller imidlertid relativt store krav til program- og maskinvare. Det er spesielt prosessorkapasitet, minne og grafikkort som avgjør hvorvidt dette kan gjøres uten for store problemer. Av den grunn er bildefilene levert i JPG-format, mens de animerte sekvensene er levert i AVI-format. Dette er standard bilde- og animasjonsformater som kan åpnes og leses uten spesialprogramvare.

NIKU garanterer inntil 3 års lagring av rådataene, mens tiltakshaver står som ansvarlig for lagring utover dette tidsrommet. Det gjøres oppmerksom på at rådatafilene kan komme opp i flere titalls gigabyte.

### **3.3 Veien videre**

Til tross for at store deler av Urnes stavkirke nå er laserskannet og på denne måten sikret for fremtiden, er det viktig å ha en forståelse for at dette datasettet kun utgjør et øyeblikksbilde av bygget og området rundt. Kirkebygget er i stadig endring, spesielt nå som det er under restaurering, og laserskanningen som har blitt gjennomført i denne omgang kan derfor på ingen måte betraktes som endelig. Som nevnt er imidlertid datasettet referert til et koordinatsystem, og det anbefales derfor å benytte dette til å kontrollere kirkebygget ved hjelp av laserskanning med jevne mellomrom i årene fremover. På denne måten kan man raskt avgjøre om det oppstår endringer i konstruksjonen og om det i så fall bør igangsettes mottiltak.

Det vil også være hensiktsmessig med videre dokumentasjon av kirkens interiør så snart dette er tilbake på plass. Deler av interiøret slik som kirkebenker og gulv har blitt fjernet i forbindelse med restaureringen mens andre deler har vært tildekket. Det er derfor enkelte mangler ved det eksisterende datasettet, og videre skanning for å komplettere dette ansees som en naturlig fortsettelse av prosjektet. I tillegg vil det være hensiktsmessig å ferdigstille detalj- dokumentasjonen av de dekorerte partiene på utsiden av kirken. Resultatene fra fotoskanningen av portalen er svært gode og har demonstrert det ekstremt høye detaljnivået man kan oppnå med en slik skanner. Det lot seg imidlertid ikke gjøre å skanne alle de dekorerte flatene på utsiden av kirken innenfor prosjektets tidsrammer.

## **4. Konklusjon**

Laserskanningsprosjektet på Urnes har gitt meget gode resultater. Målet med prosjektet var å demonstrere og teste laserskanning som dokumentasjonsmetode for bygninger generelt og stavkirker spesielt. Dette ble gjennomført på relativt kort tid og uten de helt store utfordringer. Datasettet har i ettertid dannet grunnlaget for en delvis uttegning av utvalgte deler av kirken, og vil i fremtiden kunne brukes til videre tolkningsarbeide, analyse og visualisering. I tillegg fungerer datasettet som en digital sikkerhets kopi av anlegget, hvor det tredimensjonale øyeblikksbildet vil kunne lagres for all framtid.

Sammen med informasjonen fra de tidligere manuelle målingene og den eksisterende kunnskapen om kirken, gir datasettet et helt nytt utgangspunkt for å jobbe videre med bygget. Prosjektet har også demonstrert at en ved hjelp av disse metodene får mye ut av relativt få dager ute i felt. Metodene er svært nøyaktige, og dersom en ser på rent manuelle metoder for å gjøre lignende arbeid, er det heller ingen tvil om at denne dokumentasjonsmetoden er særdeles kostnadseffektiv.

## 5. Litteratur

Gustavsen, L. (2009a) Laserskanning av Selje kloster- og helgenanlegg, Selje kommune, Sogn og Fjordane. NIKU Oppdragsrapport 179/2009

Gustavsen, L. (2009b) Laserskanning av søylerekken på Domkirkeodden, Hamar kommune, Hedmark. NIKU Oppdragsrapport 181/2009

Hommedal, A. T. (2005) Portbygningen ved Hovedøya kloster. Dokumentasjon og bygningsarkeologisk undersøkning av ruinen. NIKU Upubliserte rapporter nr 06/2005

Paasche, K. Kronikk i Stavanger Aftenblad 03.06.09

Paasche, K.; V. Bischoff, et al. (2007) Rekonstruksjon av Osebergskipets form. Rapport Oslo, Roskilde, Tønsberg, Kulturhistorisk Museum. Stiftelsen Nytt Oseberg, Vikingskibsmuseet.

Storsletten, O. (2008) En presset situasjon. Belastninger på nordveggen i Urnes stavkirke. NIKU Rapport 18/2008



## 6. Vedlegg

### **A. Prosjektdeltakere**

#### *NIKU*

Knut Paasche – Prosjektansvarlig  
Lars Gustavsen – Prosjektleder  
Ola Storsletten - Bygningshistorisk rådgiver

#### *Geoplan 3D*

Odd Erik Mjørland – Oppmålingsingeniør  
Eirik Ruden – Oppmålingsingeniør  
Bjørn Magnus Stensby - Oppmålingsingeniør

#### *Ramböll AB*

Sven Olav Johansson – Oppmålingsingeniør  
Hans-Otto Mackerle - Oppmålingsingeniør

### **B. Maskinvare**

#### *Fasebasert laserskanner:*

Leica HDS6000

#### *Pulsbasert laserskanner:*

Trimble GS200

#### *Fotoskanner:*

ATOS GOM III

#### *Oppmålingsutstyr:*

Leica 1205 totalstasjon

### **C. Programvare**

Leica Cyclone 6.0  
Autodesk AutoCAD Civil 3D med Cloudworx 4.0  
ATOS Viewer 6.1.1

### **D. Fastmerker og koordinatsystem**

Det ble etablert 4 stk grunnlagspunkter for oppmålingen på området.

#### PP7066 (kommunalt punkt):

X:924,207 Y:517,540 Z:89,795

#### HPP1 (tidligere nedsatt punkt):

X:997,496 Y:479,673 Z:97,775

#### PP10 (nytt punkt)

X:1107,598 Y:491,862 Z:118,253

#### PP11 (nytt punkt):

X:1013,997 Y:462,594 Z:103,626

## E. Faktabokser

### BRUK AV LASERSKANNING INNEN KULTURMINNEVERNET

#### Hva er laserskanning?

Laserteknologi har vært i bruk innen industri og forskning i over ti år. Det er imidlertid kun i de siste fem årene at kulturminneinstitusjoner rundt om i verden har fått generell tilgang til denne teknologien. Hensikten med laserskanning er å fremstille tredimensjonale overflater som kan viderebehandles og brukes til analyse og visualisering.

Innen kulturminnevernet skannes det både fra fly og bakke, og alle typer objekter alt fra gravhauger i landskapet til bygninger, kulturskatter og dokumentasjon ved arkeologiske undersøkelser.

Det finnes flere typer laserskannere på dagens marked. Felles for instrumentene er at teknologien er basert på emisjon av lys. Laser står for *light amplification by stimulated emission of radiation*, altså en optisk strålingskilde hvor strålingen forsterkes ved såkalt stimulert emisjon. Laserstråler kjennetegnes ved at de normalt er sterkt konsentrert, har meget liten spredningsvinkel og strålediameter, og at de er ensfarget. Laser brukes i måleinstrument innen mange ulike områder innen industri, transport, forskning og det militære der det kan brukes til å måle blant annet avstand, hastighet og akselerasjon.

Datainnhenting ved hjelp av en laserskanner foregår ved at laserpulser sendes ut mot objektet som skal dokumenteres. Når disse treffer objektet, reflekteres de og instrumentet kan måle forskjellige egenskaper ved retursignalene. Enkelte laserskannere tar tiden fra signalet emitteres til retursignalet når instrumentet. Ettersom lysets hastighet er kjent kan derfor denne tiden omregnes til avstand. Andre instrumenter igjen beregner distanse ut fra forskjellen i bølgelengde fra det emitterte signalet til det returnerte.

#### Fordeler ved laserskanning:

Det er en rekke fordeler med laserskanning sammenlignet med tradisjonell måling og håndtegnning. Laserskanning er en berøringsfri teknologi som i minimal grad påvirker objektet som skal dokumenteres. I tillegg går datasamlingen i felt svært raskt, og metoden er derfor kostnadsbesparende. Skannerne som brukes til landskaps- og bygg-/objektskanning opererer innenfor laserklasse 3. Dette er en klasse som er ufarlig for mennesker. Laserstrålene som sendes ut fra instrumentene har en punktflate på noen få millimeter og hver stråle belyser objektet kun i få mikrosekunder. Det er derfor ingen direkte fare forbundet med laserskanning, hverken for mennesker eller for objektene som skannes.

Viktig for kulturminnevernet er at utstyret er bærbart og at måleresultater er nøyaktige. Siden dataene knyttes til eksterne fastmerker er de også etterprøvbare. Dette er svært viktig i en overvåkningssituasjon. Man kan for eksempel skanne et helleristningsfelt som er utsatt for vær, vind og annen slitasje. Etter noen år kan man komme tilbake og gjennomføre et tilsvarende skann, knyttet til de samme fastmerkene som det første. Deretter kan man sammenligne de to skannene for å se hvor slitasjen er størst, for deretter å sette i gang tiltak for å begrense skadene.

#### Hva kan vi gjøre med dataene?

I tillegg til det klare overvåkingsperspektivet som følger av gjentagende skann av samme objekt, vil skannet fungere som en sikkerhets kopi av det skannede kulturminnet. Videre vil den gi grunnlag for nøyaktige uttegninger av hele eller deler av det inskannede objektet i to eller tre dimensjoner.

Laserskanning fra fly og ved hjelp av bakkeskanner gir oss grunnlaget for å på en svært effektiv måte kunne analysere og tolke et landskap. Man har for eksempel mulighet til å fjerne data fra vegetasjonen i området, og kan således "se" gjennom trekroner og løvverk. Data kan skyggelegges og høydeforskjeller kan manipuleres slik at man får fram detaljer i landskapet som ikke kan sees på flyfoto eller med det blotte øye. Dataene kan også legges inn i et geografisk informasjonssystem (GIS) hvor det kan kombineres med andre data for videre analyse. I tillegg kan man fargesette kartet slik at endringer i høyde eller helningsgrad kan forsterkes.

### Eksempler på andre bruksområder

- **Dokumentasjon**
  - Ruiner, stavkirker og andre historiske bygg
  - Gjenstander som for eksempel kirkekunst
- **Sikkerhetskopi**
  - Alle typer kulturminner
- **Miljøovervåking:**
  - Forvitring av ruiner
  - Bevegelser i bygninger
  - Kulturminner i landskapet
  - Nedbrytning av arkeologiske gjenstander
- **Forskning**
  - Deling av nøyaktig dokumenterte objekter over nett
- **Formidling**
  - Animasjoner, rekonstruksjoner, på trykk eller via internett

### Laserskanning per 2009

Et viktig moment før man foretar en skanning er å vite hva slags instrumenter man bør benytte seg av og hva man ønsker å få ut av skanningsdataene. Det finnes flere forskjellige typer skannere, og det er viktig at instrumentet passer til oppgaven. Denne teknologien utvikles imidlertid år for år, og skanneren som var i toppklassen i fjor er gammel i år. I skrivende stund (2009) er eksempelvis skannere med realistisk fargegjengivelse på full fart inn på markedet.

### Skanning hos NIKU

Ved NIKU har det vært gjennomført prosjekter på skanning som registrerings- og dokumentasjonsmetode fra fly over flere år. Videre skal dette kombineres med innskanning av kulturminner også fra bakken. Nytt av året er at vi nå ønsker å kombinere alle disse registreringsmetodene inn mot større registreringsprosjekter, som vei og jernbane i fylkeskommunene.

NIKU satser bredt på videreutvikling av disse metodene, og tjenesten tilbys nå også utad mot våre kunder og samarbeidspartnere. Vi har investert både i utdannelse av personale, maskinvare og programvare. Ikke minst har vi også bygget opp et nettverk med flere ulike samarbeidspartnere som gjør at vi etter hvert kan levere bredt innen dette feltet. Vi har sterk tro på at kombinasjonen satellittbilder, fly- og bakkeskanning samt ulike geofysiske metoder vil gi meget gode resultater inn mot registrering av arkeologiske kulturminner både på og under bakken.

Målet må være at kulturminneforvaltningen, ved at en i større grad benytter mer høyteknologiske metoder, kan bli mer effektiv i felt. Samtidig vil vi oppnå bedre arkeologifaglig- og forvaltningsmessige resultater. Kanskje den viktigste delen av dette prosjektet er NIKUs kombinasjonen av høy kulturfaglig kompetanse og spisskompetanse på skanning og datateknologi. Det er møtet mellom to fagfelt som her skaper resultater både for forskning, forvaltning og i bevaringssammenheng.

**Noen fakta:****NIKU benytter en rekke ulike typer skannere:**

**Pulsbasert skanner:** Såkalt *time-of-flight* skanner, hvor instrumentet måler tiden det tar fra strålen blir sendt ut fra instrumentet til den kommer tilbake. Ut i fra dette prinsippet kan avstanden til det skannede objektet beregnes. Disse instrumentene måler store områder svært raskt, men har noe lavere oppløsning enn andre skannere. Eksempler på pulsbaserte skannere: Leica ScanStation, Trimble GS200

**Fasebasert skanner:** En type skanner som sammenligner bølgelengden i returstrålen med strålen som ble sendt ut, og som på denne måten kan beregne avstand til det skannede objektet. Fasebaserte skannere har begrenset rekkevidde, men er raske og opererer med relativt høy oppløsning. Eksempel på fasebasert skanner: Leica HDS6000

**Optisk skanner:** En skanner som ved hjelp av kameraer, projisert lys og triangulering innhenter tredimensjonal informasjon. Ved hjelp av denne typen instrument kan man oppnå detaljnivå ned til 1/200 av en millimeter. Oppsett og skanning tar imidlertid lang tid og instrumentet er ikke spesielt egnet for feltarbeid. Eksempel på optisk skanner: GOM Atos III

**Hva er laser?**

Laser står for *light amplification by stimulated emission of radiation*, altså en optisk strålingskilde hvor lys forsterkes ved stimulert emisjon. Laserstråler kjennetegnes ved at de normalt er sterkt konsentrert, har meget liten spredningsvinkel og strålediameter og at de er ensfarget. Laser brukes i måleinstrument innen mange ulike områder, der det brukes til å måle blant annet avstand, hastighet og akselerasjon.

**Lasersikkerhet og laserklasser**

Laserskannere som brukes av NIKU og våre underleverandører er alle klassifisert og merket i samsvar med strålevernforskriften og normen NEK EN 60825-1 (IEC 60825-1). Denne forskriften sikrer sikker bruk av laserinstrumenter

Puls- og fasebaserte laserskannere opererer innenfor laserklassene 2 til 3R. Innenfor disse klassene kan en laserskanner opereres uten behov for ekstra sikkerhetsstyr.

**Forskjellige formål – forskjellige instrumenter***Landskap*

**Pulsskanner** (f.eks. Trimble GS200)  
Effektiv rekkevidde inntil ca. 200m  
Maks 6.5mm avvik på 200m  
Data: ASCII

*Bygg/objekt*

**Faseskanner** (f.eks. Leica HDS6000)  
Effektiv rekkevidde mellom 1 og 25m  
Maks 6mm avvik på 1-25m  
Maks 10mm avvik på 25-50m  
Data: ASCII

*Gjenstand*

**Optisk skanner** (f.eks. GOM Atos III)  
Effektiv rekkevidde inntil 2m

**Dataleveranser og dataformat**

NIKU leverer som standard rådata i forskjellige formater avhengig av type prosjekt og type skanner.

STL Stereolitografifil som beskriver en overflate i 3D  
TXT Egendefinert ASCII-format  
PTS Standardformat fra Leica. Inneholder x, y og z koordinater samt intensitetsinformasjon fra laserskanneren

Andre filformater kan også leveres dersom dette er ønskelig. NIKU garanterer for inntil 3 års lagring av rådata, mens tiltakshaver står som ansvarlig for lagring utover dette tidsrommet.



## ***F. Målerapport – Geoplan 3D***