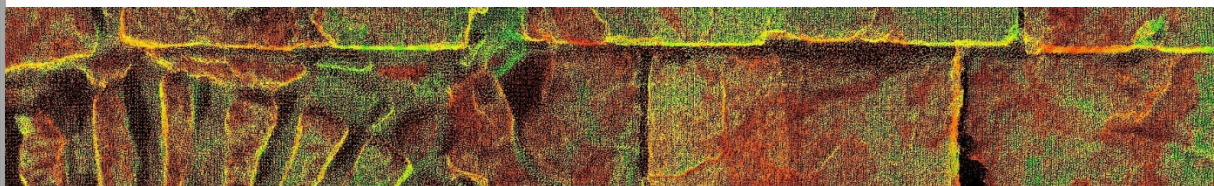


NIKU Oppdragsrapport 226/2011

Laserskanning av Oktogonen i Nidaros Domkirke

Lars Gustavsen



NIKU

GEOPLAN3D
3 DIMENSIONAL SCANNING

Forord

NIKU har, i samarbeid med ingeniørfirmaet Geoplan 3D, gjennomført en detaljdokumentasjon av Oktogonen i Nidaros Domkirke ved hjelp av laserskanning. Denne tekniske rapporten tar for seg resultatene fra prosjektet. Oppdraget er bestilt av Nidaros Domkirkes Restaureringsarbeider (NDR).

NIKU prosjektnummer	1563472
Berørt område	Oktogonen i Nidaros Domkirke, Trondheim
Gnr/bnr	400/2
Oppdragets art	Laserskanning
Oppdragsgiver	Nidaros Domkirkes Restaureringsarbeider (NDR)
Oppdraget utført av	Knut Paasche – NIKU Odd Erik Mjørlund – Geoplan 3D Bjørn Magnus Stensby – Geoplan 3D Eirik Ruden – Geoplan 3D
Prosjektleder	Knut Paasche/Lars Gustavsén
Oppdraget utført dato	15. – 19. november 2010
Koordinater	UTM sone 33 (EUREF89) N:7041411 Ø:270425
Vernestatus	Automatisk fredet kulturminne
Askeladden ID	85130
Kulturhistorisk tolkning	Domkirke fra middelalderen

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	4
2	Terrestrisk laserskanning.....	5
2.1	Metode.....	5
2.2	Prosjektgjennomføring og utstyr.....	5
3	Resultater fra skanningen	6
3.1	Resultater	6
3.2	Sluttleveranse.....	7

1 Innledning

I perioden 15. – 19. november 2010 gjennomførte NIKU i samarbeid med ingeniørfirmaet Geoplan 3D en laserskanning av Oktogonen i Nidaros Domkirke. Resultatene fra laserskanningen skal i første rekke nyttiggjøres av Nidaros Domkirkes Restaureringsarbeider 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 Oktogonen, 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.

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 overvåkning 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), Urnes stavkirke (Gustavsen 2009b), Stavanger domkirke (Meyer 2011) og båtvraket Tønsberg I (Gustavsen 2010). Se for øvrig faktaboksene nedenfor for mer informasjon om de forskjellige skannertypene.

2.2 Prosjektgjennomføring og utstyr

Skanningen ble gjennomført av NIKU i samarbeid med ingeniørfirmaet Geoplan 3D. 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, da man på denne måten kan forsikre seg om at rett metode velges til oppdraget, og at de rette beslutningene tas i felt.



Figur 1 - Leica HDS6000 fasebasert laserskanner. Foto: Knut Paasche, NIKU

Instrumentet som ble brukt i forbindelse med skanningen var en fasebasert skanner av typen Leica HDS 6000, samt en pulsskanner av typen Leica C10. Skanningsdata fra de forskjellige posisjonene har i ettertid blitt prosessert og slått sammen til én enkelt punktsky som danner grunnlaget for videre arbeid. Siden datasettet består av flere milliarder punkter er det for enkelthets skyld delt opp i 8 delprosjekter, hvor hvert prosjekt dekker en enkelt vegg i Oktogonen. Bygget er skannet både utvendig og innvendig.

Punktskyen er georeferert til fastmerker som er målt 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.

3 Resultater fra skanningen

3.1 Resultater

Resultatene fra laserskanningen av Oktogonen i Nidaros Domkirke har gitt oss en detaljert dokumentasjon av kirkebygget. Punktskyen kan suppleres med tidligere manuelle målinger og den kan danne grunnlag for å produsere to- og tredimensjonale tegninger og modeller av byggets bestanddeler. På denne måten er det mulig å skille ut enkeltdeler av bygget for å produsere måleriktige strektegninger dersom dette er ønskelig. Dokumentasjonen er også målestokkuavhengig,

og tegninger kan derfor enkelt produseres i alle størrelser og målestokker. Punktskyen kan også brukes til å produsere snitt som viser skjevheter og vinkler i forhold til vertikal- og horisontalaksen, samt andre bygningsdeler. På bakgrunn av skanningsdataene kan man også sammenligne dagens situasjon med eldre tegnings- og dokumentasjonsmateriale. En slik sammenligning er eksempelvis gjennomført ved Selje kloster og helgenanlegg, hvor både overenstemmelse og avvik er registrert.

Resultatene fra skanningen av Oktogonen vil inneholde variasjoner fra de enkelte nivåene og fra murparti til murparti. Konsentrasjoner av punktskyer varierer etter avstand og skanningsposisjon til murverket, og skyggefelt kan oppstå der hvor objekter og konstruksjonselementer har blokkert for laserstrålene. I tilfeller hvor det har blitt utført skanning med høy oppløsning og overlapping har dette blitt minimert.

De forskjellige skanningsdataene vil, i tillegg til å fungere som grunnlag for tegning og modellering, være en ren tredimensjonal dokumentasjon av Oktogonen. Datasettet består av filer som kan konverteres til enkle, tredimensjonale koordinater som kan åpnes av et hvilket som helst tekstbehandlingsprogram, noe som igjen betyr at vi nå har sikret et øyeblikksbilde av Oktogonen som kan lagres for framtiden. 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.

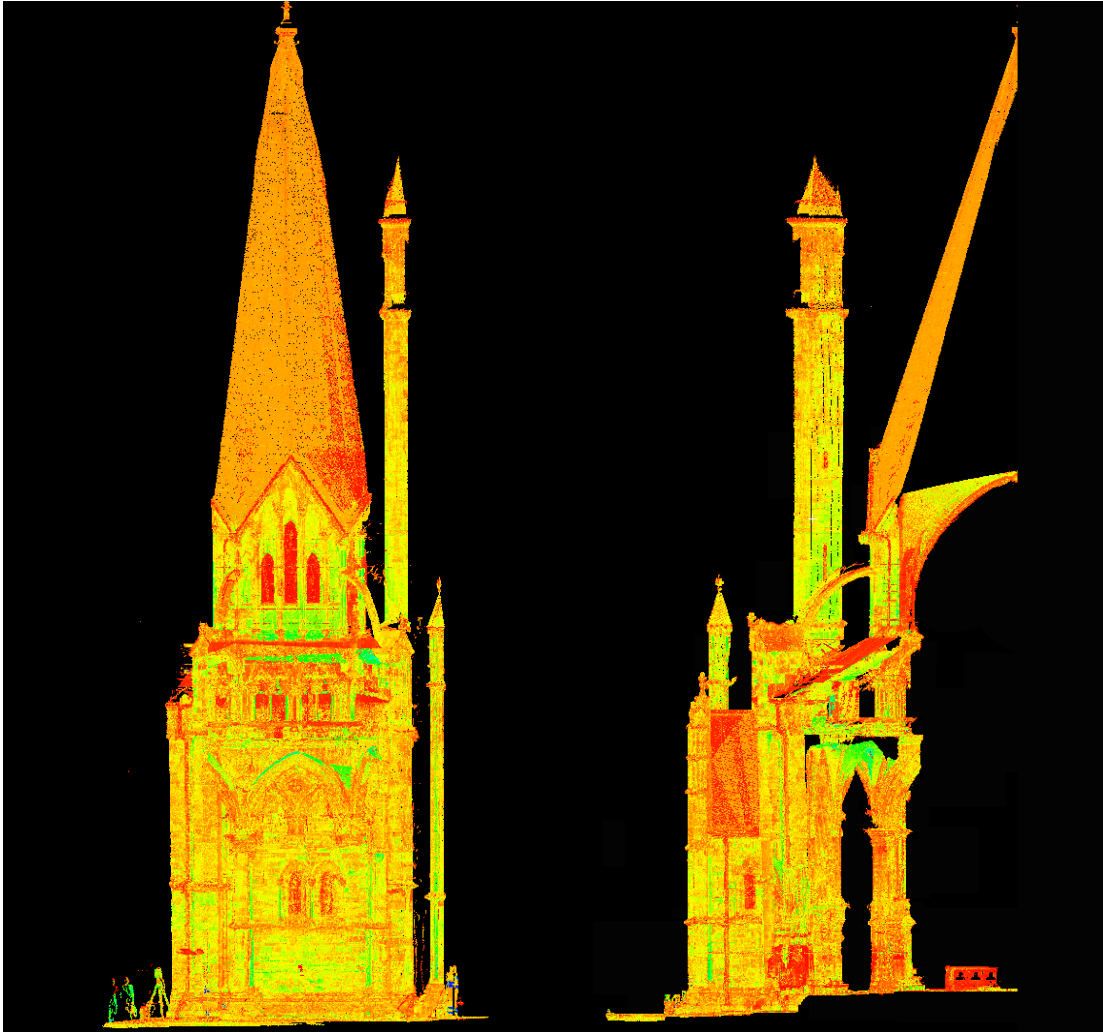
3.2 Sluttleveranse

Sluttleveransen fra laserskanningen består av prosesserte rådata samt denne rapporten. Rådataene fra faseskanneren leveres i Leicas proprietære imp-format. Disse datasettene bør konverteres i egnet programvare til et arkivformat slik som for eksempel ASCII. Ettersom dette kun er tekstfiler, vil koordinatlistene kunne åpnes og leses i lett tilgjengelig programvare. Punktskyene inkluderer i tillegg til vanlige koordinater, også intensitetsinformasjon. Det er ikke tatt bilder under skanningen, og punktene i datasettet inkluderer derfor ikke videre fargeinformasjon.

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 fulle 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.

4 Oppsummering

Laserskanningen av Oktogonen i Nidaros Domkirke har resultert i en digital tredimensjonal punktsky som gjengir byggets ytre og indre konstruksjonselementer. Dette har også gitt et grunnlag for å utarbeide tegninger av murliv, snitt og plan. I så måte gir punktskyen store muligheter hva gjelder dokumentasjon, formidling og overvåkning, samt muligheter for komplettering av eksisterende dokumentasjonsmateriale.



Figur 2 - Punktsky av Oktagonens søndre vegg sett mot sør (venstre) og vest (høyre).

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 Urnes stavkirke, Luster kommune, Sogn og Fjordane. NIKU Oppdragsrapport 180/2009

Gustavsen, L. (2010) Laserskanning av båtvirket Tønsberg I, Nedre Langgate, Tønsberg, Vestfold fylkeskommune. NIKU Oppdragsrapport 15/2010

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

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

6. Vedlegg

A. Prosjektdeltakere

NIKU

Knut Paasche – Prosjektansvarlig

Lars Gustavsen – Prosjektleder

Geoplan 3D

Odd Erik Mjørnlund – Oppmålingsingeniør

Eirik Ruden – Oppmålingsingeniør

Bjørn Magnus Stensby - Oppmålingsingeniør

Bjørn Magnus Stensby - Oppmålingsingeniør

B. Maskinvare

Fasebasert laserskanner: Leica HDS6000

Pulsbasert laserskanner: Leica C10

Oppmålingsutstyr: Leica 1205 totalstasjon

C. Programvare

Leica Cyclone 7.1

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 trekrone 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 2011

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 (2011) 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 utdanning 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 C10, Trimble GS200, Riegl VZ400

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.

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

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.

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