

BACHELOROPPGAVE I GEOMATIKK:

# Fra punktsky til BIM

*Kulturhistorisk og byggeteknisk  
informasjon i samme modell*

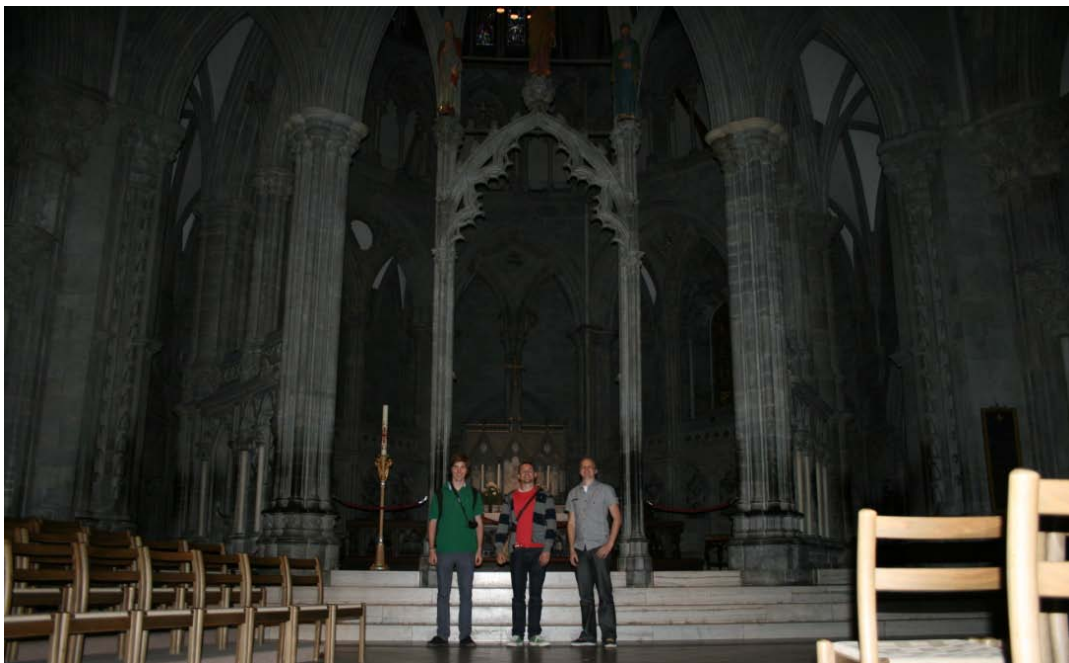
GEIR KARSRUD, FRODE RASTAD OG MORTEN RUDI

## Forord

Denne oppgaven er utarbeidet i samarbeid med Geoplan 3D. Oppgaven er skrevet ved instituttet for teknologi, økonomi og ledelse ved Høgskolen i Gjøvik. Høgskolen i Gjøvik har 2600 studenter og har et bredt fagområde, man kan blant annet studere helse, IT, teknologi, media og økonomi og ledelse. Skolen tilbyr studier på både års-, bachelor- og masternivå i tillegg til at den har en del viderutdanningstilbud. Gruppens medlemmer, Geir, Morten og Frode har hatt stort utbytte av å studere geomatikk ved Høgskolen i Gjøvik. Vi startet studiene i 2008, og valgte alle studieretning GIS da vi fikk mulighet til å velge i 2009. Vi har hatt et veldig stort faglig utbytte av å studere ved Høgskolen i Gjøvik, og er veldig fornøyde med vår studietid ved Høgskolen. Geomatikkprogrammet ved HiG er et program som på en fantastisk måte kombinerer teori og praksis. Det fokuseres mye på prosjektarbeid, som også er en fordel å ha erfaring med når man kommer ut i arbeidslivet.

Tittelen på oppgaven er «Fra punktsky til BIM – Kulturhistorisk og byggeteknisk informasjon i samme modell», vi har selv valgt tema for oppgaven etter samtaler med Geoplan 3D og veileder Bjørn Arild Godager.

Vi vil også takke veiledere Bjørn Arild Godager og Anne Kristin Kvitle, Lars Gulbrandsen fra Leica Geosystems, 3D DAK-Operatør Stein Wincentz Hansen og daglig leder Odd Erik Mjørlund fra Geoplan 3D for hjelp og veiledning underveis.



## Sammendrag av bacheloroppgaven

Tittel:	Fra punktsky til BIM	Dato :	27. mai 2011
	Kulturhistorisk og byggeteknisk informasjon i samme modell		
Deltakere:	Geir Karsrud Frode Rastad Morten Rudi		
Veiledere:	Bjørn Godager Anne Kristin Kvitle		
Oppdragsgiver:	Geoplan 3D		
Kontaktperson:	Odd Erik Mjørlund		
Stikkord:	Laserscanning, modellering, BIM		
Antall sider:	Antall vedlegg: 2 (A-B)	Publiseringsavtale inngått: Ja	
<p>Geoplan 3D har fått i oppdrag fra Nidarosdomens administrasjon å utarbeide en 3D-modell av Nidarosdomen som kobler sammen byggeteknisk og kulturhistorisk informasjon. Hver enkelt stein som Nidarosdomen består av skal modelleres og kunne tilknyttes informasjon som steintype, steinbrudd og alder. Den ferdige modellen skal også egne seg godt til presentasjon for politikere, planleggere og andre. Grunnet arbeidsmengden ble det bestemt at en del av Nidarosdomen kalt oktagonen skulle modelleres først som et prøveprosjekt.</p> <p>Det ble bestemt at for å løse denne utfordringen skulle Nidarosdomen laserscannes og modelleres som en BIM.</p> <p>Gjennom opplæring hos Geoplan 3D og Leica Geosystems, deltagelse i prosjektet og litteraturstudier var vår oppgave å få innsikt i hele prosessen med laserscanning, modellering og fremstilling av BIM ved å delta i og observere arbeidet med dette prosjektet, vi skulle også vurdere og drøfte resultater og metodikk.</p> <p>Prosjektet ble dessverre ikke ferdig før denne oppgaven skulle leveres ettersom modelleringen så vidt var satt i gang. Vi har vurdert laserscanningen opp mot andre alternativer, blant annet fotogrammetri, flybåren laserscanning og scanning med håndholdt laserscanner, vi har også forsøkt å vurdere modellering og BIM, men dette var vanskeligere ettersom det ikke er ferdig og ikke klart nøyaktig hvordan dette skal utføres.</p>			

## Abstract of bachelor thesis

Title:	From point cloud to BIM	Date :	May 27. 2011
	Cultural and Technical Information about Buildings in a Single Model		
Participants:	Geir Karsrud Frode Rastad Morten Rudi		
Supervisors:	Bjørn Godager Anne Kristin Kvitle		
Employer:	Geoplan 3D		
Contact:	Odd Erik Mjørlund		
Keywords:	Laser scanning, modelling, BIM		
Number of pages:	Number of appendix: 2 (A-B)	Availability: Open	
<p>The administration of Nidarosdomen cathedral has given Geoplan 3D the task of making a 3D model of Nidarosdomen that will link cultural and technical information. Each stone that Nidarosdomen is comprised of are to be modelled individually and linked to information like rock type, quarry and age. The completed model should be well suited for presentation to politicians, planners and others. Due to the amount of work needed it was decided that a part of Nidarosdomen called the octagon was to be modelled first as a proof of concept.</p> <p>To solve this challenge it was decided to laser scan Nidarosdomen and model it as a BIM. Through training at Geoplan 3D and Leica Geosystems, participation in the project and theoretical studies, our task was to gain insight in the entire process of laser scanning, modeling and the creation of the BIM by participating in and observing this project, we were also to evaluate and discuss the results and methods used.</p> <p>Sadly the project did not finish by the deadline of this report since the modeling had just begun. We have contrasted the laser scanning against other options, such as photogrammetry, airborne laser scanning and handheld laser scanners, we have also attempted to evaluate the modeling and BIM, but this was difficult as it has not been finished and it has not been decided exactly how this is to be done.</p>			

## Innholdsfortegnelse

<b>Forord .....</b>	<b>2</b>
<b>Sammendrag av bacheloroppgaven .....</b>	<b>3</b>
<b>Abstract of bachelor thesis.....</b>	<b>4</b>
<b>Innledning.....</b>	<b>8</b>
Problemstilling.....	9
Mål .....	10
Geoplan 3Ds mål .....	10
Vårt mål.....	11
Delaktige i prosjektet.....	12
Gruppens deltagere .....	12
Geoplan 3D.....	12
Veiledere og kontaktpersoner .....	12
Metode .....	14
<b>Bakgrunn.....</b>	<b>15</b>
Nidarosdomen .....	16
Bygnings- og materialhistorie .....	16
Oktogonen .....	19
Steinhuggermerker.....	21
Steinhuggermerkene i Nidarosdomen.....	21
<b>Teori .....</b>	<b>22</b>
Laserscanning .....	23
Targets og georeferering .....	24
Scanningsmetoder .....	24
Databehandling .....	27
Sammenslåing av punktskyer.....	27
Datarens.....	27
Modellering.....	28
BIM.....	29
Bruksområder for BIM i dag.....	30

<b>Gjennomføring</b> .....	<b>31</b>
Innscannede data .....	32
Innscannede data .....	32
Fremgangsmåte .....	33
Laserscanning.....	33
Modellering.....	37
Verktøy .....	42
Leica HDS6100.....	42
Leica C10 .....	43
Kamera med vidvinkellinse .....	44
Programvare.....	44
<b>Drøfting av alternative metoder</b> .....	<b>47</b>
Innsamling av data.....	48
Tidligere arbeid ved Nidarosdomen .....	48
Fotogrammetrisk datafangst .....	48
Flybåren laserscanning.....	49
Fra plantegninger .....	49
Finscanning .....	50
Bilder .....	50
Modellering .....	50
Mesh.....	50
Automatisk steingjenkjennelse .....	51
Alternativer til BIM .....	51
<b>Vurdering og konklusjon</b> .....	<b>53</b>
<b>Bibliografi</b> .....	<b>57</b>
<b>Vedlegg</b> .....	<b>62</b>
Vedlegg A – Logg.....	63

## Figurliste

Figur 1: Nidarosdomens vestfasade .....	9
Figur 2: Nidarosdomens grunnplan Kilde: pilgrim.info .....	16
Figur 3: Oktogonen sett fra nord-øst .....	19
Figur 4: Steinhuggermerke i Nidarosdomen .....	21
Figur 5: Punktsky av oktogonen sett utenfra .....	32
Figur 6: Leica HDS6100 på taket av Nidarosdomen .....	33
Figur 7: Kamera med vidvinkellinse på stativ.....	34
Figur 8: Lokalt koordinatsystem .....	34
Figur 9: Utplassering av targets.....	35
Figur 10: TruView punktsky med bilde drapert.....	41
Figur 11: Utstyr satt opp utenfor Nidarosdomen .....	42
Figur 12: Leica HDS6100 på stativ .....	42
Figur 13: Leica C10 på stativ .....	43
Figur 14: Kamera med vidvinkellinse .....	44
Figur 15: Illustrasjon av de to alternativene for modellering av steiner .....	56

---

# Innledning

---



## Problemstilling

Det er et ønske fra Nidarosdomens administrasjon om å kombinere kulturhistorisk informasjon om Nidarosdomen, spesielt informasjon knyttet til murverket, sammen med byggeteknisk informasjon. Det er også ønskelig at informasjonen kan lagres om hver enkelt stein.

Kulturhistorisk informasjon finnes i form av 2D-tegninger og tabeller, både digitalt og på papir, men dette er svært lite fleksibelt og kan brukes som lite annet enn et statisk oppslagsverk.

Komplett byggeteknisk informasjon finnes per dags dato ikke, men skal opprettes ved hjelp av laserscanning og datamodellering.

*“I dag lever kulturhistorisk dokumentasjon og byggeteknisk dokumentasjon hver sine liv. Dette prosjektet skal være et forsøk på å få disse dokumentasjonsbehovene til å nærme seg hverandre i en og samme modell.”*

*Odd Erik Mjørland, Geoplan 3D, 2. desember 2010*



Figur 1: Nidarosdomens vestfasade

## Mål

Målet er å produsere en BIM fra en punktsky som kombinerer byggeteknisk og kulturhistorisk informasjon til alles tilfredsstillelse. Det innebærer at punktskyen er teknisk godt nok utført til at modellen korrekt gjengir byggeteknisk og strukturell informasjon, at modellens struktur for lagring av egenskaper er fleksibel nok til både nåværende og fremtidig informasjon som skal lagres om murverket, samt at inndelingen må helt ned på stein-for-stein nivå.

Den endelige modellen må dessuten ha intelligens, den må være egnet til f.eks å sortere på og bare vise steiner fra en bestemt epoke eller steinhugger, eller på sikt annen og fremtidig informasjon som steintype, forvitring etc. Modellen skal på denne måten være godt egnet for presentasjon for politikere og andre.

## Geoplan 3Ds mål

Geoplan 3D har som mål å levere et produkt som viser at de kan utføre både scanningen og modelleringen med et resultat som viser at de kan dekke behovene til Nidarosdomens administrasjon. I motsetning til tidligere arbeid med modellering som er utført, må de vise at de kan levere et produkt som er dynamisk og fleksibelt nok til å kunne visualisere ønsket informasjon til enhver tid, inneholde informasjon som kan brukes i analyser, samt gi informasjon som kan kombineres og brukes sammen med andre systemer ved at det er digitalt. Kort sagt må de vise verdien av sin metode, de må vise et produkt som kan selges.

Opgavens omfang tilsier at det i første omgang ikke kan utføres på hele Nidarosdomen. Arbeidet vil etter all sannsynlighet måtte fortsette i mange år før hele bygningsmassen er modellert. Ønsket om en dynamisk modell som kan inneholde også fremtidig innsamlet informasjon tilsier også at det ikke leveres et komplett produkt nå. For å demonstrere fremgangsmåten og mulig resultat utføres derfor jobben i denne omgang bare på Oktogonen som et "proof of concept".

## Vårt mål

Vi ønsker å få innsikt i hele prosessen med laserscanning, modellering og fremstilling av BIM ved å delta i og observere arbeidet med dette prosjektet. Vi skal hele veien samarbeide med Geoplan 3D som utfører selve scanningen og modelleringen, men vi skal også undersøke alternative metoder selvstendig. Underveis i prosjektet vil vi lære mer om metodene ved hjelp av egenstudier og opplæring fra Geoplan 3D og Leica Geosystems. Til slutt skal vi vurdere og drøfte resultater og metodikk.

## Delaktige i prosjektet

### Gruppens deltagere

Alle gruppens medlemmer studerer geomatikk, med studieretning geografiske informasjonssystemer ved Høgskolen i Gjøvik. Vi har ikke hatt noen fag som omhandler BIM, men vi har en god del erfaring med laserscanning og landmåling. Vi har tilegnet oss en del kunnskap om BIM ved å ha samtaler med veileder Bjørn Arild Godager og oppdragsgiver, Geoplan 3D, i tillegg til å ha lest tidligere master- og doktorgradsavhandlinger og annen litteratur.

### Geoplan 3D

Geoplan Øst startet opp i 1997 og har siden opplevd en kraftig vekst på mellom 20 og 30 % hvert år, og har nå rukket å bli en av landets ledende landmålingsfirmaer. De har hovedkontor på Kapp rett utenfor Gjøvik, i tillegg har de kontor i Oslo. Firmaet har 21 ansatte og spesialiserer seg på bygg- og anleggsmåling i Østlandet, også med oppdrag i andre deler av landet og Sverige. Geoplan Øst får mange typer oppdrag: kartlegging, masseberegning, digitale terrengmodeller, systemer for maskinstyring, bygg- og anleggsmåling og laserscanning.

Laserscanningen ble hovedsaklig brukt for dokumentasjon og produksjon av BIM av bygninger og infrastruktur, dette var en så stor suksess at GeoPlan 3D i 2005 ble utskilt som en egen entitet med ansvar for laserscanningsoppgavene. Eksempler på noen prosjekter der Geoplan 3D har scannet inkluderer Oslo Domkirke, Stavanger Domkirke, Vøringsfossen, Holmenkollen og Nytorvet Gjøvik. Geoplan 3D har i dag tre laserscannere og er det firmaet i Norge med lengst erfaring i scanning.

### Veiledere og kontaktpersoner

Underveis i prosjektet har vi hatt Bjørn Godager og Anne Kristin Kvitle, begge lektorer ved Høgskolen i Gjøvik, som veiledere som har gitt oss tilbakemeldinger på arbeidet vi har utført.

Fra Geoplan 3D har vi hatt mest kontakt med daglig leder Odd Erik Mjørland, men også 3D DAK-operatør Stein Wincentz Hansen, som vi har hatt støtte av gjennom arbeidet med det praktiske arbeidet med modellering fra punktskyen.

Gjennom Geoplan 3D har vi også fått kontakt med Lars Gulbrandsen, som er produktansvarlig for HDS hos Leica Geosystems, som har gitt oss en innføring i scanneutstyr og programvare relatert til dette.

## Metode

I arbeidet med oppgaven har vi jobbet i 6 faser:

### 1) *Litteraturstudier*

Vi har gjort en grundig studie av bakgrunnsstoff i artikler, fagbøker og nettsteder. Dette har vært en viktig fase for å få en grundig forståelse av arbeidet, resultatet er bakgrunnsstoffet om måleutstyr og -metoder, BIM, modellering, programvare og Nidarosdomen.

### 2) *Intervjuer*

Vi har siden november 2010 foretatt en rekke samtaler med Odd Erik Mjørlund og Stein Wincentz Hansen fra Geoplan 3D, samt en presentasjon og spørreunde om laserscanning med Lars Gulbrandsen fra Leica Geosystems. Det vi lærte fra disse kommer frem i gjennomføringsdelen av oppgaven samt delvis i bakgrunnsstoffet.

### 3) *Opplæring*

Vi har fått opplæring fra Geoplan 3D i bruk av programvare for håndtering av punktskyer og modellering, først og fremst i Cyclone, AutoCAD og Revit Architecture. Vi har også fått opplæring av Lars Gulbrandsen fra Leica Geosystems i bruk av laserscanner, først og fremst Leica C10, samt import og bruk/modellering av punktsky i Cyclone og 3D Reshaper.

### 4) *Scanning i Nidarosdomen*

Her har vi vært med Geoplan 3D i Trondheim under arbeid med laserscanning og satt oss inn i metode, utfordringer og løsninger i forbindelse med arbeidet.

### 5) *Vurdering*

I denne fasen har vi gjennom litteraturstudier og intervjuer vurdert metoden og sammenlignet med lignende arbeider utført tidligere på Nidarosdomen og andre steder.

### 6) *Rapportskriving*

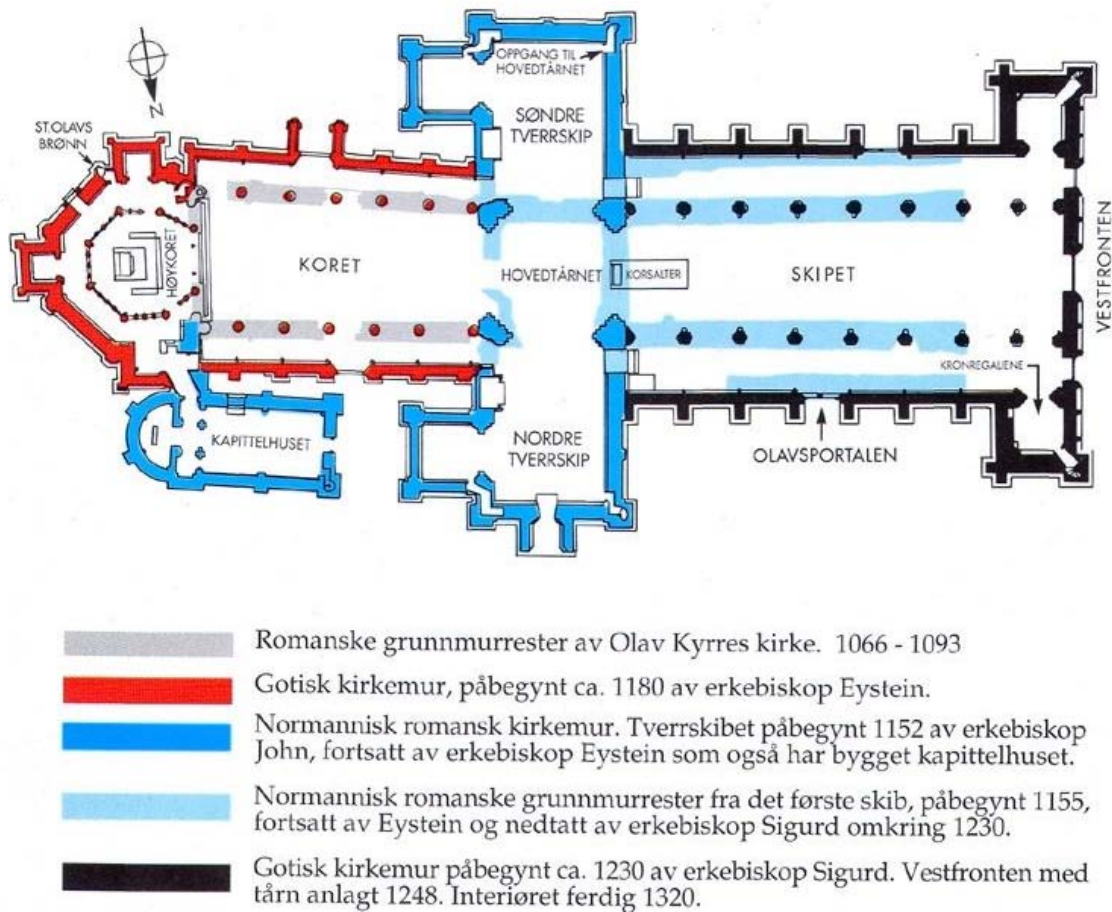
Gjennom hele prosessen har vi jobbet med å skrive ferdig rapport.

---

# Bakgrunn

---

## Nidarosdomen



Figur 2: Nidarosdomens grunnplan Kilde: pilgrim.info

### Bygnings- og materialhistorie

Nidaros Domkirke, eller Nidarosdomen, ligger i Kongsgårdsgata sentralt i Trondheim. Før Nidarosdomen ble bygget skal det her ha ligget et trekapell som huset Kong Olav den Helliges grav, dette kapellet skal ha blitt bygget rundt pr 1030, grunnmurrester finnes fremdeles under dagens kirkegulv.

For å hedre Olav den Hellige satte Kong Olav III Kyrre i gang konstruksjon av en kirke i stein for å erstatte trekapellet om lag 1070. Lite er igjen av denne kirken i dag, men man vet at kirken var i romansk stilart, influert av samtidige angelsaksiske kirker. Kristkirken som den ble kalt stod der det nåværende koret står. Det at sørveggen av koret i dag er så skjevt sammenlignet med resten av kirken skyldes sannsynligvis plasseringen av den gamle Kristkirken (Storemyr 1997, s. 65). Mesteparten av Kristkirken ble sannsynligvis bygget



hovedsaklig i lokal grønnskifer med noen innslag av marmor og trondheimskleber. Dette var de eneste egnede steinsortene som var lett å få tak i fra lokale steinbrudd, andre steintyper fra lengre unna ville innebære svært høye transportkostnader i middelalderen. Noen fine steintyper som marmor ble importert i noen grad fra utlandet, men det ble i hovedsak brukt i prestisjetunge mindre prosjekter, gravmonumenter og gjerne privatimportert.

Olav den Helliges helgenopphøyelse trakk pilegrimer i store mengder til kirken, Kristkirken ble etter hvert gjort til bispesete, i 1152 ble det erkebispesete. Med den nye prestisjen var det selvfølgelig at kirken måtte utvides. Påbyggene og utbedringene ble påbegynt i den normannisk-romanske byggestil.

Rundt 1183 hadde erkebiskop Øystein vært i England hvor han ble påvirket av byggestilen unggotikk, resten av forbedringene som ble påbegynt i 1152 ble nå i økende grad utført i denne nye, lettere stilen sammenlignet med den tunge normanniske arkitekturen. Koret, tverrskipet, kapittelhuset og hovedtårnet stammer alle fra denne tiden, alt bygget hovedsakelig i kleberstein, grønnskiferen i disse delene stammer trolig fra gjenbruk av stein fra riving og endring av eldre deler.

Erkebiskop Sigurd Erlendsson begynte arbeidet med skipet og vestfronten i 1248. Denne delen ble laget i høygotikk, man hadde på dette tidspunktet lagt den romanske stilen helt bak seg.

Kristkirken ble ansett som ferdig i 1300, etter mange forsinkelser grunnet borgerkriger sent på 1100-tallet og utover i 1200-tallet. En brann som følge av lynnedslag i 1328 førte til at alt av tre i katedralen ble ødelagt og store deler av steinstrukturen slo sprekker. Dette markerte begynnelsen på en over 500 år lang periode med forfall og nødreparasjoner. Mesteparten av skaden ble rettet opp, men i 1432 slo et nytt lyn ned med påfølgende brann, Norge var på denne tiden svekket av svartedauden at de påfølgende reparasjonene led. Nok en brann i 1453 kombinert med manglende penger til reparasjoner førte til at erkebiskop Erik Valkendorf satte i gang en stor restaurering i 1510. En ny brann i 1531 førte til store ødeleggelser, store deler av katedralen hadde kollapset. Reparasjonene bar preg av hastverk

og dårlig økonomi. Byggedeler ble hentet ut av ruinene og kombinert med nye steiner for å bygge opp igjen tak og vegger.

Med 1537 kom reformasjonen. Resten av reparasjonene ble utført med stein fra andre falleferdige kirker i Trondheimsområdet. Skipet var i totalruin og ble brukt som steinbrudd helt frem til 1900-tallet (Storemyr 1997, s. 69). I 1689 blåste en storm ned kirkespiret hvilket forårsaket stor skade. Flere branner i 1708 og 1718 ødela alt i katedralen som var brennbart. Dårlig økonomi førte igjen til manglende reparasjoner.

Utover 1800-tallet bedret økonomien seg, samtidig som den nasjonalromantiske trenden opphøyet Nidarosdomen til et nasjonalt symbol. I 1869 ble det endelig bestemt å restaurere Nidarosdomen fullstendig. På dette tidspunktet var katedralen falleferdig. Skipet og vestfronten var i totalruin og resten var et lappverk av billige og hastig utførte reparasjoner. Steinverket var fremdeles for det meste lokal grønnskifer og kleber.

Restorasjonen var grundig. Store deler ble revet og gjenoppbygget under ledelse av først arkitekt Schirmer, senere Christie. Grunnet mangel på kunnskap om katedralens opprinnelige tilstand ble sandstein og andre uoriginale steintyper i noen grad brukt, spesielt i kapittelhuset, vannlekkasjer ble fikset, maling fra barokken ble tatt vekk og takene ble dekket med bly. Oktagonen bestod fremdeles for det meste av steinverk fra middelalderen, mens koret bestod for det meste av steiner fra reparasjoner etter brannen i 1531. Også tverrskipene og spiret var preget av reparasjoner. Skipet og vestfronten måtte bygges opp så å si fra grunnen. Vestfronten spesielt var en stor utfordring ettersom man ikke visste helt hvordan den så ut til å begynne med.

I 1969 var restaurasjonen endelig ferdig. Steinene kirken består av er fra veldig forskjellige tidsepoker og steintyper. Stein fra over 70 steinbrudd i inn- og utland ble brukt i restaureringsarbeidet (Storemyr et al. 2010, s. 185), med lokal stein fra forskjellige steder som stammer fra før restaureringen som er blitt omrokkert mange ganger gjennom Katedralens tusenårige historie. Alle steintypene har litt forskjellige bygningstekniske egenskaper. Noen er for eksempel mer utsatt for forvitring enn andre: "Allerede i 1990-årene ble det oppdaget at klebersteinen som ble hentet fra Grytdal ved Støren var av svært

dårlig kvalitet, opplyser avdelingsdirektør for restaurering, Lene Landsem i Nidaros Domkirkes Restaureringsarbeider (NDR).” (Guhnfeldt 2011). Denne dårlige klebersteinen er i ferd med å byttes ut, men det er ikke alltid like greit å vite hvilke steiner som er fra hvor. Andre grunner til at man kunne tenke seg å få oversikt over steinene er kulturhistoriske. Katedralens lange og kompliserte historie og mange forskjellige steintyper gjør det nødvendig med en grundig BIM.

## Oktagonen

Oktagonen fremstår i dag som den mest autentiske delen av Nidarosdomen ettersom denne delen har tatt mindre skade av branner enn resten. Funn tyder dessuten på at det under arbeidet med oktagonen oppsto en egen steinhuggerskole i Nidaros, noe som førte til at figurfremstillingene her ikke følger forbildene i Frankrike og England som ellers står modell for mye av utformingen på Nidarosdomen og oktagonens form spesielt. Dette gjør denne delen spesielt interessant sett fra et arkeologisk synspunkt.

I tillegg har den en kompleks utforming med en blindarkade omgitt av en yttervegg med figurative utsmykninger. Blindarkaden består av spissbuer med

blondeutsmykning, kapiteler med bladutsmykning, samt en buegang i relieff på en hel vegg. I tillegg er det blitt oppført en gjennombrutt skillevegg ut mot koret, også den med kompliserte former. Denne utformingen er brukt for å skape et ambulatorium, en koromgang, for pilegrimer som dermed kunne komme nær inntil Olavsskrinet på høyalteret.

Utformingens kompleksitet gjør laserscanning spesielt egnet, men modellering er fremdeles en utfordring ettersom programvare for dette formål har lite støtte for den irregulære



Figur 3: Oktagonen sett fra nord-øst

geometrien. Dette er sammen med den vesentlige arkeologiske verdien grunnen til at nettopp dette området er valgt ut for dette prosjektet.

## Steinhuggermerker

Mange av steinene i nidarosdomen har steinhuggermerker. Det finnes hovedsakelig to typer, sammensetningsmerker og signaturer. Sammensetningsmerker brukes for å vise hvor i en konstruksjon steinen skal plasseres. Signaturene derimot brukes for å vise hvem som har laget steinen, når man hadde disse var det også lettere å lønne arbeiderne (Fischer 1965, 529-548).

### Steinhuggermerkene i Nidarosdomen

I Nidarosdomen er det hugget inn merker med en tynn meisel fra de forskjellige steinhuggerne, som en signatur på de fleste stein. Steinhuggermerkene gjør det mulig å se hvilke tidsepoker de forskjellige delene av kirken er bygd, og kan gi oss store mengder informasjon, ikke bare om Nidarosdomen, men også om områdene rundt. Steinene ble opprinnelig brukt for å se hvor mye stein hver enkelt steinhugger hadde hugget, siden de jobbet på akordlønn. Det ble i 2009 startet opp et prosjekt som skulle registrere og analysere de forskjellige steinhuggermerkene, prosjektet skulle vare i tre år og det ble brukt stilas og lift for å kartlegge alt. I Nidarosdomen er det totalt registrert 5027 steinhuggermerker, der det er 220 forskjellige signaturer. Disse ble registrert i perioden år 1920 til 1950.



Figur 4: Steinhuggermerke i Nidarosdomen

---

# Teori

---

## Laserscanning

Laserscanning er en ganske ny teknologi og metode innen geomatikk. Det er en bakkebasert teknikk for å samle 3D-punktdata med høy tetthet og god nøyaktighet. Geoplan 3D var blant de tidligste selskapene i Norge som brukte scanning for å løse landmålingsutfordringer i 2004. Siden har teknologien og bruken blitt bedre og fått langt større betydning. Laserscanning har den fordelen fremfor totalstasjoner at man får en langt raskere måling og med mange flere punkter samt at man ikke trenger reflektorer til annet enn targets. Dette gjør at scanning egner seg spesielt godt ved måling av store og/eller kompliserte objekter, som bygninger, fabrikker, landskap, veier eller tunneler. Gjort riktig vil det gjøre en del prosjekter billigere, raskere, mer nøyaktig og mer hensiktsmessig utført. Resultatet av laserscanning er store mengder punktdata, en såkalt punktsky, dette er mange punkter som er definert i tre dimensjoner med X-, Y- og Z-koordinater. Med store mengder 3D-data er det mulig å lage virtuelle modeller som kan brukes i programvare og i visualisering. I fremtiden vil laserscanning sannsynligvis tas i bruk mer og mer og i nye felter.

Laser står for Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Dette er en teknologi som gjør det mulig å produsere en jevn og forsterket elektromagnetisk stråle, dette kan i prinsippet være i hvilken som helst bølgelengde, men i landmåling brukes oftest i det synlige til det infrarøde spekteret. I prinsippet går laserscanning ut på at elektromagnetisk laserstråling sendes ut fra scanningsapparatet. Disse strålene spres så av bevegelige speil inne i apparatet, samtidig som apparatet selv beveger seg. Strålingen reflekteres av objektet som skal scannes, det reflekteres tilbake til scanneren registreres av en fotocelle. Det registreres en retningsvinkel og avstand, kombinert med scannerens posisjon og orientering beregnes 3D-koordinater til hvert enkelt punkt laserstrålen har reflektert fra relativt til scanneren. Punktene som samles kalles en punktsky.

Punktskyen kan gis farge på en av to måter. Den mest nøyaktige måten er at det tas bilder fra samme synspunkt som scanneren, enten ved at et kamera er innebygget i scanneren eller at et kamera settes på samme stativ. Bildet kan senere draperes over punktskyen og hvert punkt kan få en RGB-verdi i tillegg til koordinater. En annen mulighet er at scanneren

registrerer farger basert på intensiteten til reflektert laserpuls, objekter som reflekterer godt blir grønne og objekter som reflekterer dårligere blir røde.

## Targets og georeferering

For å scanne større områder eller kompliserte objekter brukes gjerne flere scanninger. For senere å kunne kombinere forskjellige scanninger brukes targets. Et target er en definert blink som kan gjenkjennes av laserscanner eller programvare, de flyttes ikke og scanninger knyttes sammen ved hjelp av disse blinkene.

For å knytte sammen flere oppstillinger bør de inneholde scan av minst et felles target, aller helst tre eller flere. Targetene kan plasseres på kjentpunkter eller måles inn med totalstasjon for å gi punktskyen absolutt stedfesting, da fungerer de på samme måte som vanlige referansepunkter i landmåling. Brukes flere targets er det viktig at de godt spredd både horisontalt og vertikalt, at man får god geometrisk spredning. Laserscanneren selv kan også måles inn med tanke på georeferering, gjerne med et prisme eller en GNSS-antenne på toppen av apparatet.

Et target er oftest sirkulært, den kan enten bestå av en metallskive eller kan være så enkelt som en papirutskrift, det er spesielt viktig med gode kontrastfarger, for eksempel svart og hvitt. Forskjellige scannere har forskjellige krav til hvilke type targets som kan gjenkjennes.

Det kan brukes blå og hvite 6" sirkulære eller 3"x3" kvadratiske targets, disse kan brukes opp til 100 meter. Siden de runde targetene er større, brukes disse oftere på lenger avstander, de kvadratiske brukes der det er lite plass. Det blir også brukt svarte og hvite targets, disse brukes for kortere avstander, opp til 25 meter (Leica Geosystems 2011). Targetene kan også festes ved hjelp av magnet, noe som ble hyppig brukt ved scanningen av Nidarosdomen.

## Scanningsmetoder

Laserscanning innen landmåling er gjøres hovedsakelig med tre hovedmetoder: flybåren, mobil og bakkebasert.



### *Flybåren laserscanning*

Ved flybåren laserscanning er laserscanneren gjerne montert på undersiden av et fly, sveipemekanismen i scanningsapparatet kombinert med flyets fremdrift gjør at forholdsvis vide korridorer på bakken kan scannes. Denne scanningsmetoden brukes fortrinnsvis der store områder skal scannes og der kravene til nøyaktighet er relativt lave, eksempelvis til produksjon av topografiske kart.

For å finne absolutte koordinater til punktskyen brukes GNSS i kombinasjon med INS. INS, inertial navigation system, måler parametre som akselerasjon og orientering ved hjelp av akselerometer og gyroskop til hjelp av beregning av 3D-koordinater.

### *Mobil laserscanning*

Mobil laserscanning fungerer i prinsippet på samme måte som flybåren. Laserscanneren er montert på bil eller tog og punktskyen georefereres ved hjelp av GNSS og INS. Her er fotavtrykket lite og man beholder bare første reflekterte puls.

### *Bakkebasert laserscanning*

Det aller meste av laserscanning som utføres er bakkebasert. Her settes en laserscanner opp, vanligvis på et stativ, og scanner omgivelsene. Scanneren står i ro. Stedfesting skjer ved sikt til georefererte targets, eventuelt at scanneren er oppstilt over et kjentpunkt. Det er sammenlignbart med måling med tradisjonell totalstasjon, datafangst er langt større og raskere, men vanligvis noe mindre nøyaktig.

Vidden av laserstrålen kalles ofte laserstrålens fotavtrykk. Ved bakkebasert laserscanning er fotavtrykket gjerne på under 5 mm, ved flybåren laserscanning kan fotavtrykket ofte bli på mer enn en meter, avhengig av lasertype og flyhøyde. Dette gjør at laserstrålen kan reflekteres av flere objekter, som for eksempel løv. Dette gjør at første de første refleksjonene som treffer løvet kan filtreres bort slik at man sitter igjen med en terrengmodell.

Det finnes tre forskjellige hovedtyper laserscanner som bruker forskjellige teknologier avhengig av hvilken avstand det skal scannes på:

### *Fasemåling (korte avstander)*

Fasemåling er en teknikk som brukes på å scanne objekter som er høyden noen få titalls meter unna. Scanneren sender ut en elektromagnetisk laserstråle som har en kjent bølgelengde. Avstanden laserstrålen har beveget seg regnes ved at faseforskjellen mellom sendt og returnert laserstråle måles, derav navnet. I tillegg sendes laserstrålen ut i en jevn stråle, ikke i pulser. Denne type scanner har høyest nøyaktighet og detaljrikdom, det brukes der avstandene er korte og kvalitetskrav er høye, ofte innendørs. De har en frekvens på opptil 500 000 punkter per sekund og en nøyaktighet på 1-2 mm på avstander opptil 25 meter.

### *Pulsmåling (lengre avstander)*

Pulsmåling, også kalt time-of-flight måling, sender i motsetning til fasemåling ut laserpulser, derav navnet. Denne metoden brukes vanligvis til litt lengre avstander enn fasemåling.

Hovedprinsippet er at laserpulser sendes ut fra scanneren, pulsen reflekteres fra objektet som skal scannes tilbake til en fotocelle og tiden pulsen bruker måles. Avstanden finnes ved prinsippet  $s = c \cdot t$ , eller avstand er like lysets hastighet ganget med tiden brukt.

Ved pulsmåling brukes laserstråling med frekvenser alt fra 10  $\mu\text{m}$  opp til 250 nm. Bruksområdet for pulsmåling er på avstander fra 2 til 100 meter, målefrekvens er typisk på opptil 100 000 punkter i sekundet, de kan ofte scanne hurtigere men med tap i kvalitet. Som ved fasemåling kombineres avstand med vinkelmåling for å beregne 3D-koordinater. Dette er den metoden som er hyppigst i bruk ved utendørs bakkebasert landmåling.

### *Pulsmåling (veldig lange avstander)*

Ved veldig lange avstander, hundrevis av meter eller mer, må en very long range scanner brukes. Disse er vanligvis ikke de samme apparatene som brukes ved kortere avstander, selv om prinsippet med pulsmåling er det samme. Frekvens er på opptil noen få tusen punkter per sekund. Nøyaktigheten er en del lavere enn ved kortere avstander. Denne metoden brukes for det meste til flybåren laserscanning.

## Databehandling

### Sammenslåing av punktskyer

Har man flere punktskyer fra forskjellige oppstillinger ved samme sted blir disse vanligvis slått sammen, i tillegg til å få en sammenslått punktsky bedrer dette kvaliteten og minsker datamengden. Punkter som er veldig nærme et annet slettes gjerne i en sammenslåing. To eller flere punktskyer må slås sammen på punkter som er felles for punktskyene. Dette kan være punkter som er lette å finne igjen i skyene, som små objekter eller hjørner. Vanligere er det å bruke targets. Dette er utplasserte målblinker, man skal kunne se flere targets felles mellom punktskyer for at programvare skal kunne slå sammen skyene. Hvis targetene er riktig registrert i laserscanneren kan punktskyene slås sammen med et minimum av brukerinput. Man kan ofte se kvalitet på targets innmåling og dette brukes ofte som grunnlag for sammenslåing. Når punktskyene slås sammen må det også foretas en transformasjon til et felles koordinatsystem. Hvis targets eller andre sammenslåingspunkter ikke er georeferert blir koordinatsystemet ofte basert på den første oppstillingen med origo der scanneren sto. Er targets georeferert transformeres hele punktskyen.

### Datarens

Rådataresultat fra laserscanning er en stor mengde punktdata som kollektivt kalles en punktsky. Punktskyen har ofte mange feil, det finnes mange feilkilder til at man kan ha for mange eller for få punkter. Fotavtrykket til laserstrålen kan med avstand bli for stor, da risikerer man at strålen treffer en kant og strålen deles i to og reflekteres fra to forskjellige avstander. Dette kalles hjørneeffekten. Mørke objekter kan reflektere strålen for dårlig og strålen kan treffe objekter for skjevt. Om laserstrålen treffer støv, damp, tåke eller spindeltev kan strålen brytes eller i verste fall reflekteres.

Punkter som åpenbart er på galt sted eller er overflødige slettes manuelt i programvare. Dette krever god skjønn og ikke all feil kan tas.

## Modellering

Etter dette trinnet er punktskyen klar for modellering. Dette kan gjøres i veldig mange forskjellige programmer: Cyclone, AutoCAD med CloudWorx, Revit, 3D Reshaper. En punktsky brukes sjelden som modell i seg selv, men som utgangspunkt for en 3D-modell. Programvare kan enten modellere frihånd basert på punktsky, plassere objekter basert på et objektsbibliotek, sette vegger og gulv osv ved hjelp av verktøy eller hele overflater kan beregnes for eksempel ved hjelp av en mesh-funksjon.

Når data tilknyttes komponentene via en database kommer vi nærmere en BIM.

## BIM

En BIM, bygningsinformasjonsmodell, er en måte å digitalt lagre og håndtere informasjon om en bygning fra planlegging til nåværende dato. Det skapes en 3D-modell med en tilknyttet database som inneholder all informasjon om bygningskomponenter og andre deler av bygningen, man skal enkelt kunne gå inn i en modell, velge en komponent og få informasjon som dimensjoner, leverandør, forventet levetid, sammenheng med andre komponenter og farge. Komponenten som i BIM sammenheng ofte kalles et objekt, kan tildeles egenskaper og ha relasjoner til andre objekter i modellen. Med denne informasjonen kan man enkelt få beskjed om at en del må byttes ut og hvilke dimensjoner den nye delen skal ha. BIM kan brukes til mange ting, som for eksempel bygg, elektro og vann og avløp. BIM gjør det enklere for forskjellige personer i forskjellige yrker å ta i bruk tilgjengelig data. Alt vil ved hjelp av BIM få en mye bedre flyt, og vil om det brukes riktig spare mye tid og penger. For å lage en BIM må man bruke spesialisert programvare som for eksempel Revit.

BIM som konsept ble oppfunnet av Charles Eastman fra Georgia Tech på 1970-tallet mens de første implementasjonene ikke kom før på slutten av 80-tallet. I all tid før dette har arkitekter, ingeniører og bygningsarbeidere vært avhengige av 2D-tegninger for alt arbeid. Det har vært flere ulemper med dette: det kreves mange 2D-tegninger for å fremstille et 3D-objekt. Forskjellige faggrupper har gjerne hatt sine egne tegninger, rørleggere, elektrikere og andre har ofte hatt manglende tilgang til hverandres informasjon. 2D-tegninger har også vært vanskelige å oppdatere. Man vet ofte lite eller ingenting om en bygning historie. Informasjon om komponenter i en bygning er fragmentert og ofte manglende.

En BIM forsøker å rette på alle disse feilene. All relevant informasjon om alle delene av en bygning gjennom hele dens levetid skal lagres digitalt og i 3D. En BIM kan enten opprettes allerede i designfasen av en bygning, da følger BIM-en bygningen fra dette stadiet og oppdateres ved endringer, eller den kan opprettes for en allerede eksisterende bygning. Den fungerer da som dokumentasjon.

I bygningsinformasjonsmodellering representeres infrastruktur som objekter. Objektene kan være forhåndsmodellerte fra et objektbibliotek, modellert for frihånd eller fra punktsky. Samlet utgjør objektene en bygningsmodell. Dette er i seg selv et gammelt konsept. Det er

tilførselen av intelligens gjennom en tilkoblet database som utgjør informasjonsdelen av en BIM. Hvis komponenter flyttes eller endres gjøres dette lett og kun én gang. 2D-tegninger kan lett tas ut av en 3D-modell i hvilken som helst størrelse, skala og innhold. Topologi ivaretas også. Hvis et objekt endres eller flyttes vil tilknyttede objekter endres tilsvarende etter topologiske regler, som for eksempel en dør må ligge i en vegg, en trapp må ende i et gulv eller terreng.

Det er mange grunner til at BIM er viktig og bør implementeres i prosjekter. PC-er er bedre enn mennesker i å sjekke om en bygning er teknisk korrekt, for eksempel med tanke på romlige forhold og konflikter. Bestilling av utbyttbare komponenter kan gå lettere, kostnadsanslag kan regnes ut automatisk. Mulighetene for menneskelige feil i alle faser av en bygnings levetid reduseres. BIM-en er i motsetning til 2D-planer alltid (ideelt sett) oppdatert. Ved design og utbygging kan BIM-en brukes til å utforske alternativer og konsekvenser. Man kan umiddelbart se effekten av endringer.

BIM egner seg også veldig godt til presentasjon. Modellene kan pålegges tekstur og man kan bevege seg rundt i modellen. Små presentasjonsvideor kan settes sammen. Dette er et godt verktøy for visualisering med tanke på politikere, presse og andre som ikke er fagpersoner. Selv for fagpersoner er en 3D-modell lettere å tolke.

Med alle fordelene til BIM kan det antas at det vil bli vanligere i fremtiden. Det mangler fremdeles kompetanse, og en BIM er ofte dyr og komplisert å opprette. Utspredd konservatisme i bransjen til hvordan ting alltid er blitt gjort er også et hinder. Dette viser at videreutdanning og god PR er viktig.

## **Bruksområder for BIM i dag**

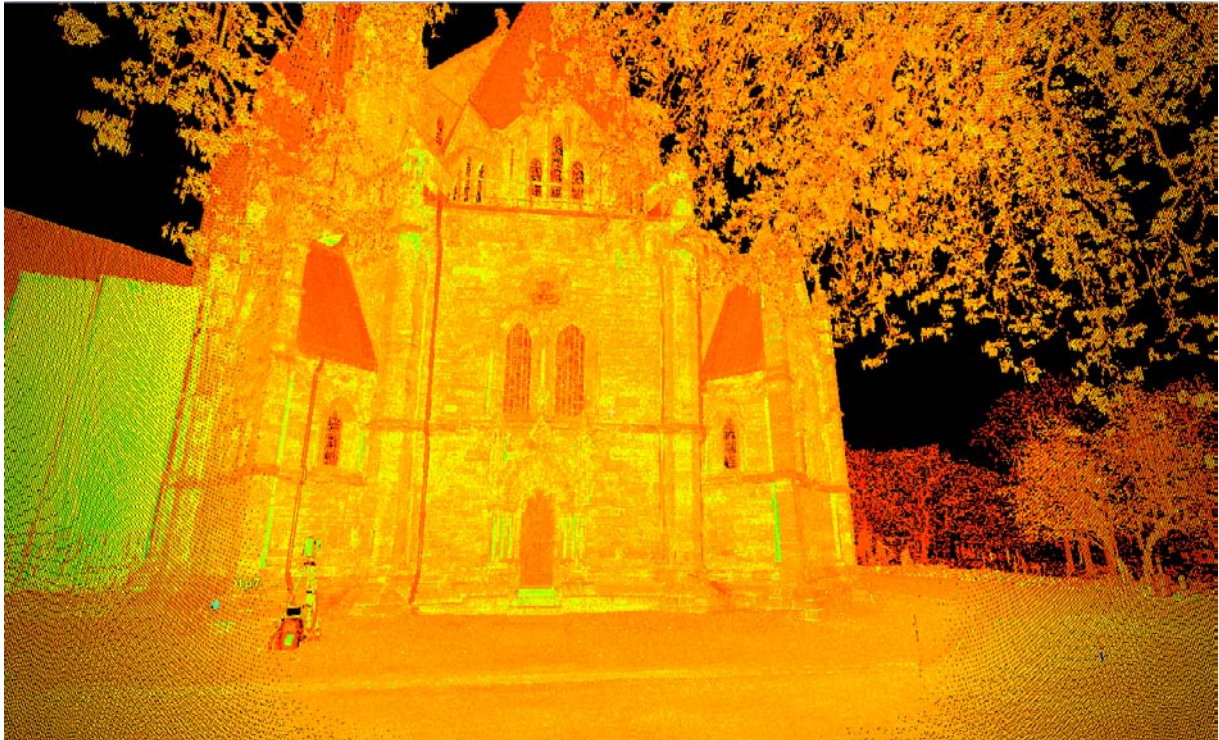
BIM er i dag i forskjellig grad brukt i så og si alle nye byggeprosjekter. Og det vil også bli laget mange BIM modeller av allerede eksisterende bygninger. BIM er også flittig brukt offshore, blant annet når det kommer til konfliktanalyser. Det er en stor fordel å kunne se om en del vil passe før man bruker penger på å flytte den ut til en plattform.

---

# Gjennomføring

---

## Innscannede data



Figur 5: Punktsky av oktogonalen sett utenfra

## Innscannede data

Arbeidet med scanningen av innsiden av Nidarosdomen foregikk over 2 uker i månedsskiftet november-desember 2010. Utsiden ble også scannet over to dager 11.-12. mai 2011. På innsiden av Nidarosdomen ble det foretatt i underkant av 50 oppstillinger, de fleste på bakkenivå men noen ble utført på avsatter lenger oppe langs veggene for best mulig innsyn. Det meste av scanningen ble utført med Leica HDS6100 og C10, samt totalstasjoner for innmåling av targets. Det ble også tatt bilder fra hver oppstilling med spesialmontert kamera med vidvinkellinse. Det ble brukt high oppløsning, med HDS6100 innebærer dette 6,3 x 6,3 mm avstand mellom punkter på 10 meters avstand.



## Fremgangsmåte



Figur 6: Leica HDS6100 på taket av Nidarosdomen

## Laserscanning

### *Oppstillinger*

To personer fra Geoplan 3D arbeidet med laserscanningen av innsiden av Nidarosdomen over to uker i månedsskiftet november/desember 2010. Hovedfokuset var på innsiden av oktagonet i østsiden av katedralen. På grunn av kompleksitet, detaljrikdom og at oktagonet er delt av en blindvegg krevde arbeidet nøye planlegging. Målet med scanningsposisjonene er å få med så mye av området som mulig samtidig som at så mange targets som mulig skal ses fra forskjellige posisjoner. Dette er en utfordring i oktagonen, for å få med hele utsiden av blindveggen måtte scanneren stilles opp i ambulatoriet rundt. Dette er en veldig smal passasje og man er aldri langt nok unna blindveggen til å få med mye av gangen. I tillegg er blindveggen en av de mest detaljerte delene i hele katedralen. For å få med hele overflaten måtte det benyttes i underkant av 50 oppstillinger. Veldig mange av disse fra ambulatoriet. Noen av dem ble utført fra avsatser oppover langs veggene for å få godt innsyn ovenfra.

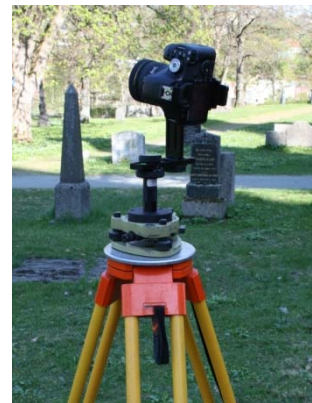
### *Scanneren*

Mesteparten av arbeidet ble utført med Leica HDS6100, det ble også brukt totalstasjon for å måle inn targets. Scanneren var innstilt på high oppløsning, dette innebærer 6,3 x 6,3 mm avstand mellom punkter på 10 meters avstand. Vanligvis var avstandene kortere enn dette hvilket førte til kortere avstander mellom punktene. Høyere oppløsning ble vurdert, men forsøk viste at disse produserte for mye støy i punktskyen, spesielt i forbindelse med skulpturer og utskjæringer. Ett spesielt problem var spindelnev høyt oppe under takene og andre utilgjengelige steder, noen av disse ble med i scan, spesielt ved høye oppløsninger. Støyproblemet kombinert med at avstandene var korte gjorde at high oppløsning ga optimale resultater.

Det ble i alle tilfeller scannet i 360° x 310° vinkel, dette er maksimalt utslag og også mest praktisk på innsiden der alt rundt scanneren skal registreres.

### *Bilder*

For hver oppstilling ble det også tatt bilder. Laserscanneren ble skrudd av trefoten og et kamera med god oppløsning og vidvinkellinse ble montert på samme sted. Når kameraet skrur på samme trefot som scanneren sikres det at bildene nøyaktig dekker området som skal scannes. Det ble tatt 6 bilder som dekket 360° rundt oppstillingen. Bilder av samme område som er scannet skal brukes for å gi farger til punktskyen til presentasjon i TruView. Det kan også brukes til å fargelegge modellen og for senere å kunne skille steinene fra hverandre.



Figur 7: Kamera med vidvinkellinse på stativ

### *Georeferering*

Nidarosdomen har sitt eget koordinatsystem med origo i spiret (Haakonsen 2009). Dette koordinatsystemet utgjorde tidligere også basis for Trondheims eget lokale nettverk. Nidarosdomen har beholdt systemet selv etter at Trondheim har beveget seg bort fra det. Det finnes en del fastmerker i dette nettverket i og rundt Nidarosdomen. Fastmerkene



Figur 8: Lokalt koordinatsystem

nøyaktighet ble undersøkt ved totalstasjonmålinger, punktene inne og ute ble kontrollert og sammenlignet med hverandre ved hjelp av sikt gjennom døråpninger. Geoplan 3D valgte å bruke dette koordinatsystemet for å georeferere punktskyen. I seg selv trenger ikke prosjektet noe mer enn lokalt nettverk, men utført i dette etablerte nettet kan prosjektet senere transformeres til EUREF89 ved å bruke kjente transformasjonsformler hvis det skulle bli nødvendig.

### *Targets*

For å kombinere oppstillingene senere ble det benyttet targets, noen av disse ble plassert på fastmerkene til Nidarosdomens koordinatsystem. Targetenes posisjon måles inn med totalstasjon. På denne måten kan punktskyen og modellen georefereres til koordinatsystemet. Med HDS6100 uten kompensator burde man ha minst 4 eller 5 targets felles mellom to scan for å binde dem sammen best mulig. Med så mange punkter og detaljer er nøyaktighet ved sammenfletting av punktskyer veldig viktig. Mange punkter ble plassert høyt oppe i vegger og tak for å sikre god geometrisk spredning. Finscanning av targets ble utført etter selve hovedscanningen ved hver oppstilling for å gjøre sammenslåingen av punktskyene mer nøyaktig.



Figur 9: Utplassering av targets

### *Utsiden*

Utsiden av oktogonalen ble scannet av Geoplan 3D over to dager 11.-12. mai 2011. Her er det færre detaljer enn på innsiden og det er lettere å komme til. Blant annet det at man kunne få større avstand til det som skulle scannes gjorde at det ble behov for færre oppstillinger. Sammenlignet med andre bygninger var det likevel så komplekst at det måtte omtrent 30 oppstillinger til for å få med så mye som mulig. En del av oppstillinger ble foretatt på taket for å få med så mye av toppen av katedralen som mulig. Bakkeoppstillinger alene ville gitt

mange dødvingler og “skygger” på taket. Fra bakken ble det målt med C10, HDS6100 ble brukt på taket og i forbindelse med finere detaljer.

Også ute ble det brukt high oppløsning og kamera montert på trefoten etter hver oppstilling. Det ble scannet med 360° x 310° selv om omgivelsene rundt Nidarosdomen var irrelevante. Dette førte ikke til nevneverdig lengre scannetid. Det ble brukt en kombinasjon av blå og hvite 6 tommers HDS-targets og black & white targets. De ble plassert på fastmerker eller innmålt i forhold til Nidarosdomens koordinatsystem. Med C10 holdt det med ett felles target mellom oppstillinger i kontrast til HDS6100 der det helst skulle være 4-5.

### *Utfordringer*

Området rundt Nidarosdomen ble ikke avsperrert for ferdsel, noe som innebar at scanningen stadig ble forstyrret av forbipasserende. Selv om dette førte til at mange scanninger måtte tas flere ganger for å få gyldige scan av targets, var det Geoplan 3Ds mening at ulempen ikke var så betydelig at det var nødvendig med avsperring.

Spindellev og støv som ikke synes med det blotte øye registreres av laserscanneren og dukker opp som artefakter i modellen. Dette må dermed manuelt vaskes fra punktskyen for at modellen skal gjengi virkeligheten korrekt. Under arbeidet med Nidarosdomen viste dette seg ofte i indre hjørner hvor spindelvevet var så tett at scannerens laserstråler ikke nådde gjennom og punktskyen dermed bare viste et avrundet hjørne. For å finne ut hvordan hjørnet egentlig så ut og om spindelvevet eventuelt skjulte andre geometriske former måtte dette da kontrolleres visuelt, enten ved å manuelt undersøke på stedet, se på bilder eller bruke Leica TruView med bildeinformasjon påført punktskyen. Dette problemet kan vanskelig elimineres på annen måte enn å vaske og fjerne slikt i forkant av scanningen.

En stor rengjøring av innsiden av Nidarosdomen ble faktisk satt i gang rett etter scanningen, og sett i ettertid kunne laserscanningen vært satt i gang etter denne rengjøringen for å eliminere spindellev og andre rengjøringsrelaterte problemer. Erfaringen fra dette prosjektet er at dette gir så mye merarbeid at det ville ha lønt seg å rengjøre i forkant.

## Modellering

### *Cyclone*

Det første trinnet i modelleringsprosessen er at rådataene eksporteres fra laserscanneren via USB til PC. Det skal deretter importeres til Cyclone. For hele prosjektet opprettes det en ny database og en importfunksjon brukes for å få inn rådata fra laserscannerne. Alt er lagret på en database på en sentral server som hos Geoplan 3D er lagret sentralt på en server, noe som gjør at flere kan jobbe med prosjektet.

### *Unify*

Alt som er scannet er delt opp i forskjellige oppstillinger, det første som må gjøres er å slå disse oppstillingene sammen til en felles punktsky. At denne delen utføres nøyaktig er veldig viktig for videre behandling og modellering. Dette er noe som gjøres av maskinvaren ganske automatisk hvis targets er riktig innstilt. For å slå sammen punktskyene brukes verktøyet unify i Cyclone. I denne fasen kunne nøyaktigheten vurderes ved at man kan se avvik mellom targets i de forskjellige punktskyene ved sammenslåing. Er avvik for store kan man velge å se bort fra et eller flere targets eller forkaste hele oppstillinger. Targetene var innregistrert med koordinater fra Nidarosdomens koordinatsystem og på denne måten georefereres hele punktskyen. Siden noe tid går mellom hvert scan vil scannene ikke være helt like. I noen scan kan mennesker komme i veien, vinduer eller dører kan være åpne eller stengt i forskjellige scan eller det kan være andre problemer som ikke nødvendigvis kommer frem i datavask. I slike tilfeller må det bestemmes hva som er riktig og slette de punktene man ikke vil ha, eksempelvis et åpent vindu.

Noe annet som skjer ved en unify er punktreduksjon. Veldig mange punkter havner veldig nærme hverandre når flere oppstillinger slås sammen. For å spare dataplass og øke prosesseringstid reduseres antallet punkter i en punktsky etter en unify-operasjon. Forskjellige algoritmer brukes i forskjellig programvare, de er ofte basert på at en grid regnes ut for punktene i skyen og at enten fjernes overflødige punkter eller så slås punkter sammen i nye utregnede punkter.

Den samlede punktskyen krever veldig mye datakraft, hele prosjektet ble derfor delt opp i mange deler som ble jobbet med hver for seg.

### *Datavask*

Punktskyen er nå klar til å bearbeides videre. Etter unify må punktskyen gjennom en datavask. For hver oppstilling ble det slettet punkter som ikke skal være med. Dette kan være punkter som er scannet riktig men er irrelevante for jobben, som for eksempel mennesker, utstyr eller trær og gravsteiner utenfor katedralen. Det kan også være punkter som er der ved tekniske feil, spindelnev og støv eller sollys som er registrert som reflekterte punkter. Det at overflødige punkter slettes er viktig for at modellering skal bli så enkelt og nøyaktig som mulig, overflødig data bruker unødvendige mengder med lagringsplass og datakraft. Dessuten er katedralen det viktigste, omgivelsene er irrelevante. Dette var en svært tidkrevende prosess. I mange tilfeller var det ikke lett å vite hva som var punkter som måtte slettes og hva som skulle beholdes, dette var typisk der det var mye spindelnev.

### *Modellering*

På dette tidspunktet hadde vi en sammenføyd og vasket punktsky og det kunne settes i gang med modellering.

Med punktskyen fremdeles i Cyclone begynte man modelleringen med å lage horisontale og vertikale polylinjer rundt hele bygget. Planen med disse var at de senere skulle brukes til en lofting i AutoCAD. Horisontale linjer ble laget fra gulvnivå opp til taket. Vertikale linjer måtte også brukes noen steder for å få med alle detaljer. Antall linjer kommer an på kompleksiteten til veggen. Prinsippet var at en ny polylinje måtte legges til hver gang veggen gjorde et nytt "knekk" for at loftingen skulle fungere. Et typisk antall horisontale linjer var cirka 20.

For å modellere hadde Geoplan 3D valgt å eksportere polylinjene i COE-format til AutoCAD. AutoCAD støtter ikke COE i utgangspunktet, for å kunne importeres må en plugin fra Leica kalt "Leica COE data transfer" være installert. COE, cyclone object exchange, er et format som brukes for punktskyer og objekter laget i Cyclone.

Da vi skulle levere rapporten var Geoplan 3D ikke kommet lenger i prosessen enn til hit. Resten av fremgangsmåten er slik Geoplan 3D har tenkt det foreløpig. Det er en del usikkerhet rundt hva som skal gjøres, spesielt rundt etableringen av BIM og hvordan hver enkelt stein skal modelleres.

Med polylinjene i AutoCAD er planen fremover å bruke verktøyet loft. Det loft gjør er at det fyller inn området mellom to eller flere polylinjer (eller andre typer objekt som ikke er relevant for denne oppgaven) for å lage en 3D-form, enten i form av en overflate eller et solid objekt. Polylinjene som brukes er vanligvis tverrsnittslinjer. Resultatet av dette skal være en 3D-representasjon av overflaten som er scannet.

### *BIM*

Denne 3D-overflaten av Nidarosdomen skal nå eksporteres i DWG-format til AutoCAD Architecture og så eksporteres videre derfra i IFC-format. Det er dette formatet de ønsker skal importeres i Revit. IFC er et dataformat for lagring og utveksling av BIM. Det står for Industry Foundation Classes og er beskrevet i en ISO-standard. Det at filen føres gjennom AutoCAD Architecture er den letteste måten å få konvertert modellen til IFC.

Alle 3D-objektene fra AutoCAD er såkalte døde objekter, det vil si at 3D-objektene er uadskillelige. De henger sammen, slettes ett objekt slettes alle tilhørende objekter. Objektene blir delt opp i Revit, intelligensen til objektene blir også tilført her, det er dette som utgjør forskjellen mellom en 3D-modell og en BIM. Geoplan 3D skal her forsøke å modellere stein for stein. Nøyaktig hvordan det skal gjøres er ennå ikke bestemt.

### *Videre fremover*

Geoplan 3D er ikke ferdige med prosjektet når denne oppgaven skal leveres. Det som er tenkt er en BIM av oktogonen i Nidarosdomen som prøveprosjekt, og at det skal utarbeides en BIM for resten av katedralen hvis dette prøveprosjektet anses som godt nok.

Til forskjell fra en vanlig BIM skal vegger, søyler, gulv og andre deler av modellen ikke bare bestå av homogene store flater, men hver enkelt stein skal modelleres hver for seg. Steinene skal kunne tillegges den informasjon som Nidarosdomen måtte ønske, så som steinbrudd, steintype, årstall osv. Det er utenfor Geoplan 3Ds og vår oppgave å legge inn denne

informasjonen eller legge til rette for at den informasjonen skal kunne legges inn. Vi vet ikke om noen objekttyper i Revit der denne typen kan legges inn og vi vet ikke hvordan denne utfordringen skal løses av Nidarosdomen, den eneste måten vi og Geoplan 3D ser hvordan denne informasjonen skal kunne legges inn er i tekstbokser. Dette blir da som ustrukturert informasjon og dette vil gjøre det vanskelig å sortere steinene etter alder, steintype osv.

Geoplan 3D har heller ikke i særlig grad sett på hvordan steinene skal skilles fra hverandre. Fugene mellom steinene er ofte smale og grunne, punktskyen er i vår erfaring ofte for tykk og unøyaktig til å finne fugene. Det kan tenkes bildene som er tatt er nødt til å tas i bruk for å skille steiner fra hverandre, selv om det ikke var tenkt i begynnelsen.

For å modellere hver stein er det tenkt to alternativer:

- Veggen består av 3D-steiner. Det tegnes ingen veggobjekter i Revit, men det kan lages klosser som skal representere steiner. Dette er ifølge Geoplan 3D den ideelle løsningen. Problemet med dette er at det er umulig å vite hvor dypt steinene går, en laserscanner er bare i stand til å scanne overflaten. Én løsning kan være å gjette hvor dypt steinene går, eventuelt å undersøke om det er samme stein på begge sider av vegger slik at steiner kan modelleres helt gjennom.
- En annen mulighet kan være å tegne vegger, søyler og andre elementer som i en vanlig BIM, og så legge steininformasjon oppå dette igjen. Slik dette var tenkt var planen å legge steingeometrien som et flatt rutenett over modellen av Nidarosdomen, og gi hver rute informasjonen om steinene.



### *TruView*

En ting som er produsert er en TruView-modell til presentasjon for Nidaros. Dette er en modell der man kan bevege seg i og som er overlatt med bildene som ble tatt med kamera.



Figur 10: TruView punktsky med bilde drapert

### *Utfordringer*

Nidarosdomen preges av komplisert geometri, både trange og dype kroker, veggflater som ikke er rette og detaljrike figurer og bueganger. Dette gir utfordringer både i form av manglende dekning der scanneren ikke har fritt innsyn, ujevne vegger som må modelleres manuelt ettersom programvaren vanligvis forutsetter rette vegger, samt figurer som krever svært nøyaktig scanning for korrekt gjengivelse.

De detaljerte figurene kan, når formålet nå er å dele inn i enkeltsteiner, forenkles til enklere objekter i modellen, men for at modellen skal ha verdi senere bør disse detaljene også legges til. Ettersom modellen er gjengitt i et kjent koordinatsystem kan detaljer som senere scannes når som helst tilføyes modellen.

## Verktøy



Figur 11: Utstyr satt opp utenfor Nidarosdomen

### Leica HDS6100

Til hele arbeidet med scanningen av Nidarosdomen er den fasebaserte laserscanneren Leica HDS6100 brukt. Dette er en forbedring av den eldre HDS6000, laserscanningsindustriens mest populære fasebaserte scanner.

I motsetning til en del tidligere laserscannere har HDS6100 innebygget kontrollpanel slik at den kan brukes uavhengig av laptop. Dette letter bruken betraktelig.

Den fungerer godt på opptil 79 meter, kan scanne 360° x 310°, har en frekvens på opptil 508 000 punkt per sekund. Fotavtrykket er på 3 mm ved starten av stålen,



Figur 12: Leica HDS6100 på stativ

dette blir noe større med avstand. Nøyaktigheten er ca 5 mm på 25 meters avstand og 9 mm ved 50 meters avstand. Tettheten på scan ved forskjellige avstander kan leses av tabellen nedenfor (Leica Geosystems 2007, Leica HDS6100):

Scannetetthet	Ved 10 meter	Ved 50 meter
“Preview”	50.6 x 50.6mm	250 x 250mm
Middle density	12.6 x 12.6mm	62 x 62mm
High density	6.3 x 6.3mm	31.4 x 31.4mm
Super high density	3.1 x 3.1mm	15.8 x 15.8mm
Ultra high density	1.6 x 1.6mm	7.9 x 7.9mm

Tettheten sier noe om hvor mange punkter som måles inn. Dette er en innstilling som bestemmes på apparatet for hver scanning som skal utføres Ved andre avstander enn de som er oppgitt i tabellen må tettheten regnes ut/interpoleres. På ultra high density ved 10 meters avstand er hvert punkt 1.6 mm fra hvert annet punkt både horisontalt og vertikalt. Tettheten som trengs må avgjøres etter behov. Det kan være fristende å alltid bruke høyeste innstilling, men dette gjør at hvert scan tar lengre tid, opptil en halvtime. En annen stor begrensning er datakraft. Med store punktskyer vil alt arbeid gå tregt, modellering og forening av punktskyer vil gå veldig sakte. Store prosjekter kan lett gi rådata som er på flere gigabyte hvilket fører til at lagringskapasitet også kan være til hinder.

## Leica C10

En annen scanner som er brukt til mindre deler av Nidarosdomen er Leica C10. Leica C10 er en kompakt meget populær alt-i-ett laserscanner som også har det nye roterende speilet til leica, Smart X-Mirror, som vil gjøre at scanningen går mye raskere.

Leica C10 er også kompatibel med andre måleinstrumenter fra Leica, man kan for eksempel bytte ut bærehåndtaket på toppen med en Leica GPS SmartAntenna eller en prismeholder. Den ligner på en totalstasjon når det



Figur 13: Leica C10 på stativ

kommer til hvordan man bruker den, med sin innebygde berøringskjerm. Leica C10 har også et innebygget kamera, med dette kan hvert punkt i en punktsky tilknyttes en fargekode. Erfaringer tilsier at det er å foretrekke å heller bruke et kamera med vidvinkel linse montert på trefoten enn å bruke det innebygde kameraet.

### Kamera med vidvinkellinse

Kameraet som ble montert på trefoten var et Canon speilreflekskamera med en 8mm Sigma vidvinkellinse. Grunnen til at det ble brukt en 8mm vidvinkellinse var for å fange størst mulig del av området per bilde. Den vide vinkelen tillater at bare fire bilder blir tatt i hver sin retning er nok til å danne et 360° sammensatt bilde.



Figur 14: Kamera med vidvinkellinse

### Programvare

#### *Leica Cyclone*

Cyclone er en programvaresuite utviklet av Leica til å være hovedprogramvaren til deres laserscannere. Det var tidligere så integrert med scannerne at det var via dette programmet på en laptop eller PDA man kontrollerte laserscanneren i felten. I det siste har scannerne blitt mer uavhengige med programvare innebygget i et integrert kontrollpanel, men Cyclone forblir viktig for bearbeiding av punktskyer. Suiten består av mange forskjellige moduler til arbeid med forskjellige aspekter, hvilke moduler man vil ha kontrollerer prisen, ikke alle er relevante til vårt og Geoplan 3Ds arbeid.

SCAN er grensesnittet som styrer flere av Leicas laserscannere, denne modulen er innebygget i HDS6100. Gjennom SCAN kan endre parametre for scanning, som punkttetthet, område som skal scannes, datafiltrering med mer.

*REGISTER* er modulen som gjør det mulig å kombinere punktskyer fra forskjellige oppstillinger til en samlet punktsky, selv uten targets. Her kan man også georeferere punktskyer.

*MODEL* gjør det mulig å lage 3D-modeller ut fra punktskyer, og å importere og eksportere data fra/til CAD- og andre modelleringsprogrammer. Man kan modellere mange forskjellige typer objekter, for eksempel punkter, linjer og flater i forskjellige fasonger.

*SERVER* tillater forskjellige brukere å jobbe med samme punktsky eller modell samtidig. Dette kan være svært tidsbesparende på store eller kompliserte prosjekter.

*PUBLISHER* konverterer punktbaserte punktskyer og modeller til pikselbaserte bilder som forberedelse til webbasert presentasjon.

*TruView* er gratis programvare fra Leica som kan brukes til presentasjon av punktskyer. Den er ikke en del av Cyclone-suiten, men er nært beslektet med PUBLISHER. Programmet er gratis og er ment å kunne brukes av ikke-profesjonelle. Den støtter enkle målinger, zooming, markups og panorering rett i modellen.

### ***Autodesk AutoCAD***

AutoCAD er et CAD-program laget av Autodesk. CAD står for computer aided design. AutoCAD var en av de første CAD-programmene som ble utgitt til PC i 1982. Programmet kan brukes til 2- og 3-dimensionell tegning og modellering samt dokumentering og tilegning av attributter. AutoCAD kan brukes til å modellere det meste, også bygninger som Nidarosdomen. AutoCAD kan i utgangspunktet jobbe med punktskyer, men er treg og dårlig egnet når punktskyene blir større.

I forbindelse med laserscanning egner AutoCAD seg godt til viderebehandling av modellerte data fra Cyclone. Cyclone er bedre til å jobbe med store punktskyer, men AutoCAD har mer avanserte modelleringsmuligheter. AutoCAD har muligheten til å importere .COE-filer fra Cyclone og kan eksportere videre i .DWG-format.

CloudWorx-tillegget fra Leica til AutoCAD tilføyer bedre verktøy for å orientere seg i en punktsky, bedre modelleringsmetoder og øker hastigheten på arbeidet.

### *Autodesk Revit Architecture*

Revit er laget av Autodesk og er ment for å utforme arkitekturmodeller i henhold til BIM-prinsipper. Med Revit kan man tillegge 3D-objekter intelligens. Objektene, for eksempel dører og vinduer, blir tilknyttet relevant bygningsteknisk informasjon, for eksempel materialtype, produsent og installasjonsdato. I tillegg oppretter Revit en database som husker informasjon fra hele bygningens levetid, fra planlegging via nyoppført til dagens tilstand.

Revit kan også brukes også til 3D-modellering, men denne funksjonen er ikke brukt mye til arbeidet med Nidarosdomen. Hvilken type informasjon som skal legges til forskjellige objekter er forhåndsdefinert i Revit. Den type informasjon som kan legges inn for et vindu er ikke den samme type informasjon som kan legges inn for et tak.

Filformatet Revit bruker for å lagre en BIM er .RVT, dette er en enkelt databasefil.

### *3D Reshaper*

3D Reshaper er et kraftig modelleringsverktøy fra franske Technodigit. I dette programmet kan man behandle punktskyer rett fra laserscanner til ferdig modell. Modelleringsmulighetene er annerledes fra Cyclone, AutoCAD og Revit, blant annet har man her en kraftig mesh-funksjon som kan lage kompliserte overflater fra utvalgte punkter.

---

# Drøfting av alternative metoder

---

Vi vil i her se nærmere på og vurdere alternative metoder som har blitt benyttet tidligere, samt eventuelle alternativ vi anser som egnet for formålet.

## Innsamling av data

### Tidligere arbeid ved Nidarosdomen

Alternative metoder forsøkt tidligere på Nidarosdomen inkluderer tegning og avstøpning, nøyaktig innmåling av detaljer og modellering fra dette (Storemyr 2001, s. 5). Ulempen er at dette tar fryktelig lang tid, en kan faktisk risikere å havne i den paradoksale situasjonen at bygningsmassen forvitrer helt mens man fremdeles kartlegger den (Storemyr 2001, s. 10).

Scanning med inndeling stein for stein i Nidarosdomen har tidligere blitt forsøkt i 2002, men resultatet ble ikke tilfredsstillende ettersom dybdeforskjellen mellom stein og fuger ikke var stor nok til at steinene kunne skilles fra hverandre, selv ved 1mm oppløsning (Langø & Tylden 2006, s. 10). Et senere studentprosjekt prøvde også å lage en stein-for-stein-modell. Det ble brukt laserscanner med lignende oppløsning, og i tillegg ble det tatt bilder. De konkluderte med at steiner kunne skilles fra hverandre hvis det ble brukt kamera med god nok oppløsning (Langø & Tylden 2006, s. 32).

### Fotogrammetrisk datafangst

En alternativ metode til laserscanning er ved hjelp av fotogrammetri. Dette er blitt brukt med stor suksess ved katedralen Santa Maria de Vitoria i Spania. Ved fotogrammetrisk datafangst tas det fotografier med høy oppløsning av objektet som skal modelleres. Bildene bør overlappe og dekke alle deler av objektet. Det trengs ingen targets i motsetning til laserscanning. Bilder mates deretter inn i spesiell programvare, for eksempel PhotoModeler, hvor en 3D-modell kan lages (Shashi & Jain 2007). For Santa Maria-katedralen er det også utarbeidet en 3D-modell med tekstur og geometrien til hver stein, den er også tilknyttet en database med informasjon om hver stein. Denne modellen er ikke statisk og skal kunne utvikles over tid. Alt dette er ønskelige aspekter for modelleringen av Nidarosdomen. De kaller systemet for SIM, System of Information (Arriaga & Lozano 2009). Vi har ikke funnet



noe mer informasjon om denne SIM-en som hvordan den ble opprettet eller om den er en BIM eller et egenlaget system. Med så lite informasjon er det vanskelig å si om dette systemet kan brukes ved Nidarosdomen. Et problem ved fotogrammetrisk datafangst er at det er mer unøyaktig enn laserscanning (Nuttens et al. 2009).

Fotogrammetri kan også kombineres med laserscanning. Dette gir bedre nøyaktighet enn ved fotogrammetri alene (Visintini et al. 2009), (Zehetner & Studnicka 2007).

### **Flybåren laserscanning**

Flyscanning av utsiden av katedraler har også tidligere blitt forsøkt, f.eks i en laserscanning av Dresden Frauenkirche (Langø & Tylden 2006, s. 7-8), men vi antar at det ville gi for dårlig nøyaktighet for dette prosjektet. Ettersom det skal skapes en modell med detaljert geometri i behold er bakkebasert scanning mer egnet, samt at modellen krever at innsiden og utsiden passer sammen og samme nøyaktighet derfor kreves både ute og inne, med så stor forskjell i kvalitet er det vanskelig å bruke som supplement til mer nøyaktig bakkebasert scanning. Fordelen med å eventuelt komplettere med luftbåren scanning er at man da kan dekke tak og andre områder som er vanskelig tilgjengelig fra bakken.

### **Fra plantegninger**

Det er også mulig å lage en modell fra eksisterende plantegninger. Eksisterende plantegninger og diagrammer over Nidarosdomen eksisterer, men er av ukjent eller dårlig kvalitet. Det er også laget noen tematiske kart over steiner i deler av katedralen (Storemyr 2001). Det er tidligere laget 3D-modeller fra plantegninger. For eksempel ble en BIM av Bergen tinghus ble produsert ut av arbeidstegninger fra 1933 (Frafjord og Smiseth 2011). Tinghuset ble senere laserscannet og sammenlignet med BIM-en, det var et betydelig avvik mellom de to. En BIM fra plantegninger vil ikke nødvendigvis stemme overens med virkeligheten.

## Finscanning

Med Geoplan 3Ds metode vil mange små detaljer gå tapt. For å få med intrikate utskjæringer og statuer kan det brukes en håndholdt laserscanner. Dette er en teknikk som er mye brukt i museer, arkeologi og paleontologi (ArcTron 2011). Geoplan 3D har forsøkt dette tidligere på kongeportalen med dårlige resultater. Dette mener de selv skyldes mangel på erfaring med utstyret. Med høy oppløsning og nøyaktighet vil dette kunne meshes og gi en svært nøyaktig modell.

## Bilder

Scanneren Leica C10 har innebygget kamera som gir mulighet for å ta bilder i sammenheng med scanningen og tilføre fargeverdier til punktene. Dette gjør at man får en punktsky som visuelt fremstår som mer naturlig og dermed blir mye lettere å tyde. Et godt eksempel hvor dette er nyttig er Leica TruView hvor man kan bevege seg i punktskyen og gjøre visuelt baserte vurderinger og målinger. At man visuelt kan tyde punktskyen med disse bildedataene kan også gjøre arbeidet med å modellere utfra den mye lettere. Problemet med å bruke det innebygde kameraet i Leica C10 er at selve bildekvaliteten er dårlig med tanke på lysforhold, samt at både tidsforbruket på scanningen og datamengden økes i så stor grad at Geoplan 3D heller vil bruke et eksternt kamera montert på samme stativ som scanneren til dette formålet.

## Modellering

### Mesh

Etablering av polylinjer med påfølgende lofting som i dette prosjektet ble valgt for å modellere kompleks geometri er en ganske arbeidsintensiv metode som kanskje kunne vært lettere løst ved å benytte meshing av punktskyen. Meshing danner automatisk flater med punktskyens former som er lett å manipulere hvis detaljer mangler eller artefakter må fjernes. Å lage en mesh er langt mindre arbeidskrevende og glatter ikke i like stor grad ut

ujevnheter og detaljer. Ulempen er at en mesh ikke er en solid som kan tilknyttes egenskaper i modellen, men dette kan løses med programvare som konverterer mesh til solids. Geoplan 3D mener det er mange problemer med meshing: punktskyen er for tykk og unøyaktig, det vil gi en mesh som har en altfor ujevn form. I tillegg vil det vil kreve for mye datakraft å lage meshen.

Mesh er ofte brukt for å modellere kirkebygg fra punktsky uten at vi kan finne at disse utfordringene er uoverkommelige. Det er blant annet brukt tidligere ved modellering av Stavanger Domkirke (Apply Capnor 2011), St Stephens katedral i Wien (Zehetner & Studnicka 2007) og i kirken Sant'Antonio Abate i San Daniele del Friuli (Visintini et al. 2009) samt mange andre.

### **Automatisk steingjenkjennelse**

En forskningsrapport fra universitetet i Cape Town, Sør-Afrika viser lovende resultater ved bruk av en algoritme som automatisk skiller murstein i en vegg fra hverandre i en laserscannet punktsky (Sithole 2008). Denne metoden baserer seg på refleksjonsverdien til hvert punkt, 3D-triangulering og en RGB-kode. Algoritmen kombinerer dette, skiller murstein fra hverandre og tegner grensene mellom dem. Forsøk viser at denne metoden også kan brukes der murstein er ujevne, irregulært plassert og med smale og grunne fuger mellom dem, som i Nidarosdomen.

Denne rapporten foreslår å skille steiner fra hverandre basert på overflatetekstur hvis stein og fuger har forskjellig tekstur. Hvis stein og fugemasse er laget av forskjellig materiale foreslås det at RGB-verdier kan brukes til å skille mellom dem.

### **Alternativer til BIM**

Det har gjennom årene blitt gjort undersøkelser hvor informasjon har blitt innsamlet og lagret for hver enkelt stein, men det har blitt gjort ved å tegne inn informasjon på 2D-tegninger av veggene. I senere år har arbeidsprosessen blitt digitalisert ved å ta i bruk CAD-

programmer og tidlige forsøk på å samle og organisere dette i dynamiske GIS-løsninger. Allerede under den store kartleggingen påbegynt på 1990-tallet så man behovet for å samle informasjon om murverket i Nidarosdomen i et GIS (Storemyr 2001, s. 11), ettersom den innsamlede informasjonen samlet i CAD-tegninger er vanskelig å benytte til videre undersøkelser og analyser.

*“Det er foreløpig ikke laget noe BIM modell av Nidarosdomen, men det er laget steinhuggerkart, som ville vært veldig interessant å få inn i en eventuell bygningsinformasjonsmodell.”*

*(Odd Erik Mjørlund, Geoplan 3D januar 2011)*

Det dynamiske GIS-systemet Storemyr m.fl. så for seg på den tiden dreide seg om å benytte et 3D-koordinatsystem for hele katedralen og sette inn objekter bestående av fotogrammetrisk registrerte eller innskannede og vektoriserte tegninger av hver enkelt stein.

Flere løsninger ble vurdert, felles for dem var at de måtte ta steget fra pikselbaserte tematiske kart til å være objektorienterte GIS/CAD-systemer hvor informasjon kunne lagres til objekter og tematiske kart hentes ut fra dette (Storemyr 2001, s. 12). Med andre ord en tidlig versjon av det vi i dag forbinder med konseptet BIM.

---

# Vurdering og konklusjon

---

Dette prosjektet setter en del krav til innsamling av data og modellering som ikke nødvendigvis er aktuelle ved scanning av vanlige bygg. Ønsket om inndeling stein for stein og de komplekse formene på bygget gjør at tradisjonell scanning og modellering med standard verktøy ikke strekker til. I tillegg er dette et langtidsprosjekt hvor nøyaktighet og detaljrikdom er viktigere enn rask og effektiv produksjon av en modell.

Nidarosdomens lange historie med mange ombygginger og manglende byggetegninger utelukker modellering basert på tegninger og planer. Man er her nødt til å innhente informasjon "as-built" fremfor "as-planned", noe som gir flere mulige fremgangsmåter.

Tidligere forsøk basert på avstøping, bilder og enkeltvis innmåling av detaljer kan gi nøyaktige resultater, men vi mener tidsforbruket gjør denne metoden helt uegnet. I tilfeller hvor det er viktigere å bare produsere en modell som er visuelt tiltalende på minst mulig tid kan raske løsninger som fotogrammetri være like gode. I et prosjekt som dette, hvor detaljer derimot er viktigere enn arbeidstempo anser vi bakkebasert laserscanning som det klart beste alternativet.

Det viser seg at det er problemer med manglende dekning av områder som utvendig tak og andre flater som er vanskelig å nå fra bakkeplan. Vi mener at dette kan kompletteres med flybåren scanning fra helikopter. Flybåren scanning alene er dog ikke tilstrekkelig til komplett scanning av utsiden ettersom denne er komplisert og detaljrik og dekkes best med mange bakkeoppstillinger. Det er likevel en del detaljer der bakkebasert laserscanner blir for unøyaktig. I denne omgang har Geoplan 3D valgt å utelate eller forenkle noen av disse formene ettersom de ikke er vesentlige for inndelingen av steiner. Vi anbefaler at håndholdt laserscanner brukes til å scanne viktige detaljer som siden kan tilføyes modellen etter behov og ettersom innsanningen utføres.

Når det gjelder forberedelser mener vi at Nidarosdomen burde vært rengjort før det ble satt i gang med laserscanning, ettersom spindellev var et stort problem i datarensingen. Området ble heller ikke avsperrert for scanningen, så forbipasserende ble med i punktskyen og måtte fjernes i etterkant. Dette skapte problemer ved finscanning av targets og bildene som ble tatt måtte tas når ingen var i veien. Så sant det er praktisk mulig, uten for store

ulempen for området besøkende og forbipasserende, mener vi at det burde vært avsperrert område der det ble scannet og fotografert.

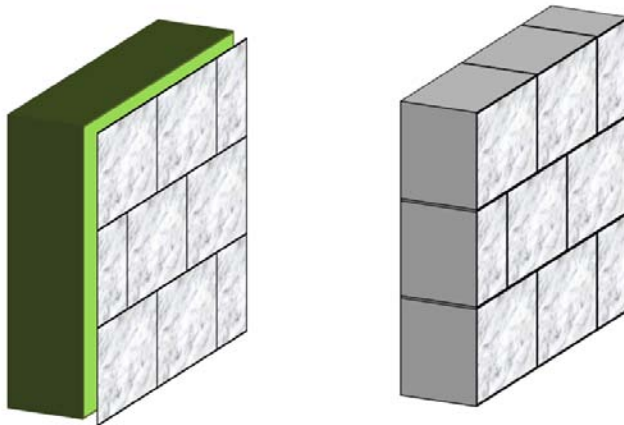
Med tanke på å skille mellom steinene burde Geoplan 3D ha sett på tilsvarende arbeid som er gjort tidligere, jfr Langø & Tylden 2006, som mislyktes med dette og kom med anbefalinger til senere forsøk. Det burde tidligere i planleggingsprosessen vært tatt hensyn til å kunne skille stein for stein. Høyere oppløsning på laserscanningen kunne vært revurdert, og etterbehandling, som den automatiske steingjenkjennelsen fra universitetet i Cape Town, vært forsøkt.

Vi mener også at mer utstrakt bruk av meshing burde vært vurdert. Geoplan 3D vurderer å bruke meshing til enkeltobjekter med svært komplisert geometri, ellers vil de benytte seg av å etablere polylinjer og lofting. Meshing er enkelt og effektivt og derfor svært mye brukt til modellering av bygninger. Vi har derimot ikke funnet andre eksempler på Geoplan 3Ds bruk av lofting for å modellere. Fordelen med meshing er at det er svært fleksibelt, der geometrien er enkel blir også meshen enkel og ukomplisert, mens den kan bli svært detaljrik der det er behov. Ulempen er at mesh med mye detaljer krever mye datakraft å bearbeide, særlig hvis det er snakk om store objekter. For å unngå for stort krav til dataprosessering er punktskyen allerede delt opp i seksjoner under arbeidet med modellering, det samme vil være nødvendig med behandling av en mesh av et stort område. Dette mener vi vil kunne overkomme problemet med krav til datakraft som Geoplan 3D omtalte som den største hindringen for bruk av mesh. Mesh er i utgangspunktet bare en overflate og må derfor gjøres om til et solid objekt i modelleringen for å kunne brukes i en BIM. Modellen blir da ikke mer krevende enn en som er modellert ved hjelp av lofting. Derfor vurderer vi meshingens fordeler med rask og detaljert gjengivelse av detaljer som et bedre alternativ enn lofting av polylinjer.

Vi kan ikke vurdere sluttproduktet ettersom Geoplan 3D ikke er ferdig, men vi kan vurdere produktet slik det er foreløpig tenkt.

Det planlagte sluttproduktet er tenkt å være en BIM hvor inndelingen av steiner er vesentlig. Geoplan 3D har som nevnt sett for seg to alternativer, en hvor bygningselementer består av

individuell modellerte steiner, og en hvor bygningselementene er objekter dekket med en 2D-overflate som inneholder inndelingen av steiner. Geoplan 3D har ikke endelig bestemt seg for hvilken løsning de vil bruke, men har gitt uttrykk for at det mest sannsynlig blir å forsøke å modellere hver enkelt stein. Vi mener at mens denne løsningen er optimal med tanke på problemstillingen, er den vanskelig i praksis. Det er i de fleste tilfeller umulig å vite hvor dypt steinene går inn i vegg og en modellering vil måtte basere seg på synsing. Vi konkluderer med at overflateinndeling av stein med kulturhistorisk informasjon oppå en tradisjonell BIM med byggeteknisk informasjon er lettere og man unngår å synse om steinenes dybde. Det er også mulig å kombinere de to alternativene der man vet mer om steindybder, for eksempel der det har vært utført restaurering av murverket. Om denne kombinasjonen er ønskelig må være opp til Nidarosdomens administrasjon.



Figur 15: Illustrasjon av de to alternativene for modellering av steiner



---

# Bibliografi

---

Apply Capnor (2011)

Stavanger Domkirke (Medieval chatedral) [Internett].

Fra: <http://www.applycapnor.com/references/civil-and-heritage/stavanger-domkirke-medieval-chatedral/> [Nedlastet 25. mai 2011]

ArcTron (2011).

3D Laser Scanning - Examples: Arts, Monuments & Object Scanning [Internett].

Fra:

[http://www.arctron.com/3D\\_Surveying/3D\\_Laser\\_Scanning/Examples/Arts\\_Monuments\\_\\_\\_Obect\\_Scanning.php](http://www.arctron.com/3D_Surveying/3D_Laser_Scanning/Examples/Arts_Monuments___Obect_Scanning.php) [Nedlastet 24. mai 2011]

Arriaga, I. K. & Lozano, O. M. (2009)

Space Throughout Time, Application of 3D Virtual Reconstruction and Light Projection Techniques in the Analysis and Reconstruction of Cultural Heritage [Internett].

Fra: [http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/5-W1/pdf/arriaga\\_lozano.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/5-W1/pdf/arriaga_lozano.pdf) [Nedlastet 24. mai 2011]

Autodesk (2011)

AutoCAD [Internett].

Fra: <http://usa.autodesk.com/autocad/> [Nedlastet 20. mai 2011]

Autodesk (2011)

Autodesk Revit Architecture [Internett].

Fra: <http://usa.autodesk.com/revit-architecture/> [Nedlastet 20. mai 2011]

Eastman, C. (2008)

BIM handbook.

Hoboken, NY, USA: John Wiley & Sons

Fischer, D. (1965)

Stenhuggermerker, fra Kulturhistorisk leksikon for nordisk middelalder: fra vikingtid til reformasjonstid, bind 17.

København: Rosenkilde og Bugge

Frafjord, S. & Smiseth, S (2011)

BIM i rehabilitering. Erfaringer fra forprosjektet på Bergen tinghus [Internett].

Fra: [http://www.buildingsmart.no/filedepot\\_download/3120/152](http://www.buildingsmart.no/filedepot_download/3120/152) [Nedlastet 25. mai 2011]

Guhnfeldt, C. (2011)

Nidarosdomen smuldrer opp.

Aftenposten, 11. mai 2011, hoveddelen s. 7

Haakonsen, T. (2009)

UTM-koordinater, høyder og bruk av kartdata [Internett].

Fra:

<http://www.google.no/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.troondheim.kommune.no%2Fcontent%2F1117698068%2FMer-om-plan-og-hoydereferanse&ei=1yHNTfUTi506p6aJlw0&usg=AFQjCNHgfXUffdacqUsHlpQvwD9Cpnkbmw> [Nedlastet 20. mai 2011]

Jacobs, G. (2005)

High Definition Surveying & 3D Laser Scanning: Understanding Laser Scanning Terminology. Professional Surveyor Magazine [Internett].

Fra: <http://www.profsurv.com/magazine/article.aspx?i=1377> [Nedlastet 20. mai 2011]

Langø, H. M. & Tylden, M. (2006)

3D-scanning of the Nidaros Cathedral.

Studentoppgave, NTNU

Leica Geosystems (2007)

Leica C10 [Internett].

Fra: [http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-C10\\_79411.htm](http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-C10_79411.htm) [Nedlastet 20. mai 2011]

Leica Geosystems (2007)

Leica HDS6100 [Internett].

Fra: [http://www.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/HDS6000/brochures/Leica\\_HDS6100\\_brochure\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/HDS6000/brochures/Leica_HDS6100_brochure_en.pdf) [Nedlastet 20. mai 2011]

Leica Geosystems (2011)

Leica Cyclone [Internett].

Fra: [http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-Cyclone\\_6515.htm](http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-Cyclone_6515.htm) [Nedlastet 20. mai 2011]

Leica Geosystems (2011)

Måleskiver [Internett].

Fra: [http://www.leica-geosystems.no/no/Maringskiver\\_19143.htm](http://www.leica-geosystems.no/no/Maringskiver_19143.htm) [Nedlastet 20. mai 2011]

Nidarosdomen (2011)

Nidarosdomens historie [Internett].

Fra: <http://www.nidarosdomen.no/nb-NO/kunnskap+historie/historie/nidarosdomen/nidarosdomens+historie.html> [Nedlastet 20. mai 2011]

Nidarosdomen (2011)

Steinhuggermerker [Internett].

Fra: <http://www.nidarosdomen.no/nb-no/ndr+restaurering/prosjekter/steinhuggermerker/steinhuggermerker.html> [Nedlastet 20. mai 2011]

Nuttens et al. (2009)

Comparison of Terrestrial Laser Scanning and Digital Photogrammetry for Cultural Heritage: an Accuracy Assessment [Internett].

Fra: [http://77.243.131.160/pub/fig2011/papers/ts06e/ts06e\\_nuttens\\_demaeyer\\_et\\_al\\_5267.pdf](http://77.243.131.160/pub/fig2011/papers/ts06e/ts06e_nuttens_demaeyer_et_al_5267.pdf) [Nedlastet 24. mai 2011]

Nasjonalt Pilegrimssenter (2011)

Nidarosdomen [Internett]

Fra: <http://www.pilgrim.info/artikkel.aspx?id=353811> [Nedlastet 27. mai 2011]

Satyaprakash (2007)

Laser Scanners in Terrestrial Surveying [Internett].

Fra:

[http://www.geospatialworld.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=20244&Itemid=1259](http://www.geospatialworld.net/index.php?option=com_content&view=article&id=20244&Itemid=1259) [Nedlastet 20. mai 2011]

Shashi, M. Jain, K. (2007)

Use of Photogrammetry in 3D Modelling and Visualization of Buildings. ARPN Journal of Engineering and Applied Science [Internett].

Fra: [http://www.arpnjournals.com/jeas/research\\_papers/rp\\_2007/jeas\\_0407\\_40.pdf](http://www.arpnjournals.com/jeas/research_papers/rp_2007/jeas_0407_40.pdf) [Nedlastet 24. mai 2011]

Sithole, G. (2008)

Detection of Bricks in a Masonry Wall [Internett].

Fra: [http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/5\\_pdf/99.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/5_pdf/99.pdf) [Nedlastet 26. mai 2011]

Statsbygg (2011)

BIM – En kortfattet innføring [Internett].

Fra: <http://www.statsbygg.no/FoUprosjekter/BIM-Bygningsinformasjonsmodell/BIM-En-kortfattet-innforing/> [Nedlastet 20. mai 2011]

Storemyr, P. (1997)

The Stones of Nidaros.

Ph.D thesis, NTNU

Storemyr, P & Franz, A. (2000)

Experiences from the Use of Adobe Photoshop® and DiVisuAL® for Digital Graphic Documentation of Mural Paintings and Exterior Stone Facades.

Trondheim: Nidaros Domkirkes Restaureringsarbeiders forlag.

Storemyr, P. (2001)

Thematic Mapping of Stonework at the South Facade of the Nidaros Cathedral Choir: Present Methodology and Options for the Future.

Trondheim: Nidaros Domkirkes Restaureringsarbeiders forlag.

Storemyr et al. (2010)

Nidarosdomen – ny forskning på gammel kirke.

Trondheim: Nidaros Domkirkes Restaureringsarbeiders forlag.

Technodigit (2011)

3D Reshaper [Internett].

Fra: <http://www.3dreshaper.com/> [Nedlastet 20. mai 2011]

Visintini, D., Siotto, E. & Menean, E. (2009)

3D Modeling of the St. Anthony Abbot Church in S. Daniele del Friuli (I): From Laser Scanning and Photogrammetry to VRML/X3D Model [Internett].

Fra: <http://infobc.uniud.it/ricerca/modelli-3d/nuovi-ambienti-3d/Visintini-Siotto-Menean%203D-Arch%20Trento%202009.pdf> [Nedlastet 25. mai 2011]

Wikipedia (2011)

3D scanner [Internett].

Fra: [http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner) [Nedlastet 20. mai 2011]

Zehetner, F. & Studnicka, N. (2007)

Cultural heritage documentation by combining near-range photogrammetry and terrestrial laser scanning - St. Stephens Cathedral, Vienna [Internett].

Fra:

[http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxpriegldownloads/2005\\_09\\_Lacona\\_Paper\\_Stephansdom.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/2005_09_Lacona_Paper_Stephansdom.pdf) [Nedlastet 25. mai 2011]

# Vedlegg

---

## Vedlegg A – Logg

Uke	Oss	GeoPlan 3D
<b>2010</b>	Møte med Geoplan 3D.	
Uke 45	Innledende møte, muntlig avtale om samarbeid inngått og utarbeidelse av oppgaveforslag begynt. To av gruppens tre medlemmer er på utveksling i utlandet og deltar derfor ikke.	
Uke 47	Gruppen fremdeles ikke fulltallig	Laserscanning av innsiden av Nidarosdomen
Uke 48	Gruppen fremdeles ikke fulltallig	Laserscanning av innsiden av Nidarosdomen
<b>2011</b>	Møte med Geoplan 3D.	
Uke 2	Hele gruppen samlet på besøk hos Geoplan 3D.	
Uke 3	Møte med Geoplan 3D. Underskrift av prosjektavtale.	
Uke 4	Innlevering av prosjektplan til HiG.	
Uke 5	Arbeid med og publisering av nettside.	
Uke 6	Litteraturstudier	
Uke 7	Litteraturstudier	
Uke 8	Litteraturstudier	
Uke 9	Kort møte med Geoplan 3D. Bestemt at arbeid utsettes til uke 12 grunnet travle tider hos Geoplan 3D.	
Uke 10	Litteraturstudier	
Uke 11	Litteraturstudier	
Uke 12	Litteraturstudier	
Uke 13	Møte med Geoplan 3D. Innføring i modellering.	
Uke 14	Litteraturstudier/arbeid med rapport.	
Uke 15	Møte med Geoplan 3D. Forsøkt avklart hvordan modellering og BIM skal utføres.	
Uke 16	Påskeferie	
Uke 17	Fikk for første gang tilgang på punktsky.	Startet modellering fra punktskyen
Uke 18	Opplæring i laserscanning av Lars Gulbrandsen fra Leica Geosystems.	
Uke 19	Dro til Trondheim for å være med på laserscanning av utsiden av Nidarosdomen.	Laserscanning av utsiden av Nidarosdomen.
Uke 20	Arbeid med rapport	
Uke 21	Møte med Geoplan 3D, fant ut at ingenting mer er modellert etter uke 17. Skrev ferdig rapport.	