



BACHELOROPPGAVE:

Fysisk 3D-modell av campus

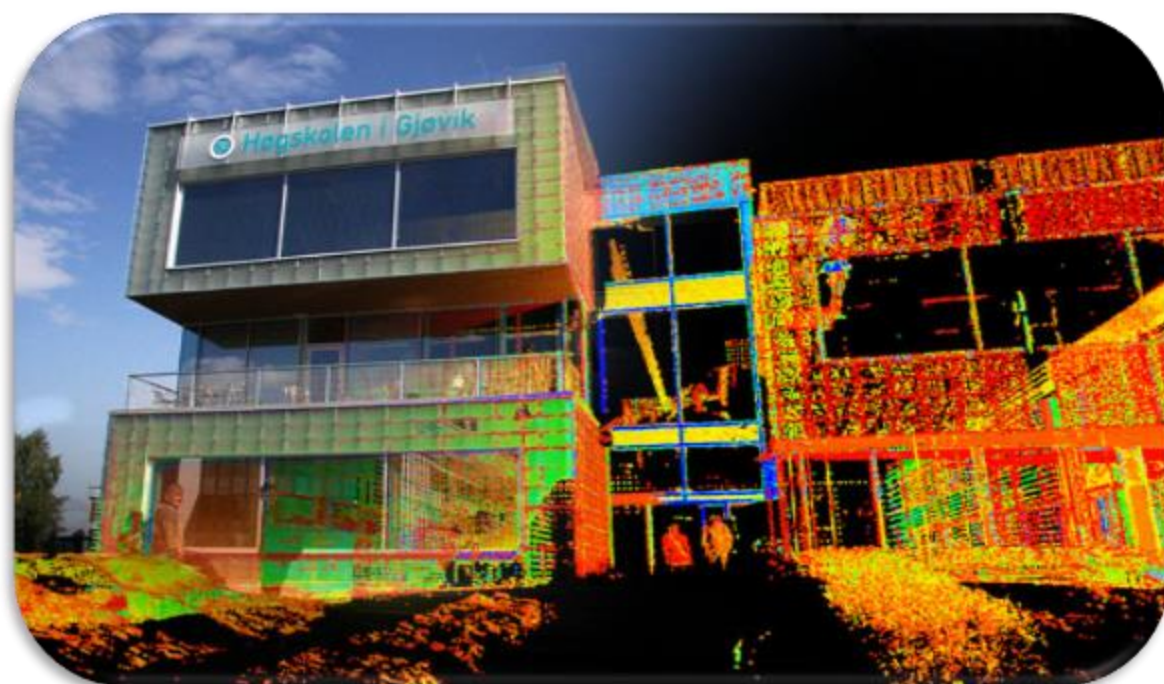
FORFATTERE: STIAN ROSTAD, MATS KARL PETTER
JOHANSSON OG MARIUS MYRSETH

Dato: 18.05.2014



Fysisk 3D-modell av campus

Bacheloroppgave Geomatikk våren 2014



Forord

Denne oppgaven er utarbeidet av Stian Rostad, Mats Karl Petter Johansson og Marius Myrseth, våren 2014. Oppgaven er skrevet under avdeling for teknologi, økonomi og ledelse ved Høgskolen i Gjøvik (HiG).

Høsten 2013 bestemte vi oss for å samarbeide om en bacheloroppgave basert på laserskanning, 3D-modellering og 3D-printing. HiG ved høgskolelektor, Bjørn Godager hadde ideer og ønsker om å teste skolens nye 3D-printer på digitale bygningsmodeller. Dette ble sett på som et potensiale for bruk av 3D-printing generelt, men også som et mulig marked for HiGs avanserte 3D-printer. Sammen med veileder, Bjørn Godager kom vi fram til at deler av HiGs bygningsmasse var egnet som felteksempel. Planen ble således å utvikle en 3D-modell som printes til fysisk modell.

Dette passet godt inn i våre målsetninger til bacheloroppgaven, og en slik type oppgave er relativt nytt innen fagfeltet. I vår problemstilling har vi som mål å finne ut hvor godt laserskanning egner seg som datafangstmetode for et geografisk område som til slutt skal 3D-printes.

Vi vil rette en stor takk til Lars Gulbrandsen v/ Leica Geosystems for lån av laserskanningsutstyr og lisenser til Leica Cyclone. Vi vil også takke Pål Erik Endrerud og Svein A. Hjelmtveit på Additive Manufacturing Lab ved Høgskolen i Gjøvik, som hjalp oss med gjennomføring av 3D-printingen, samt veileder Bjørn Godager som har vært til stor hjelp underveis i oppgaven.

Sammendrag

Tittel:	Fysisk 3D-modell av campus på Høgskolen i Gjøvik		Dato:	18.05.14
Deltaker(e)/	Stian Rostad			
	Karl Petter Johansson			
	Marius Myrseth			
Veileder(e):	Bjørn Godager og Torbjørn Kravdal			
Evt. oppdragsgiver:	Høgskolen i Gjøvik			
Stikkord/nøkkelord (3-5 stk)	Laserskanning, 3D-print, 3D-modellering,			
Antall sider/ord:	Antall vedlegg:	Publiseringsavtale inngått:		
69/15911	5	JA		
Kort beskrivelse av master/bacheloroppgaven:				
<p>Høgskolen i Gjøvik åpnet nylig et laboratorium for 3D-produksjon. Dette kalles Additive Manufacturing og er en revolusjonerende teknologi hvor fysiske modeller kan produseres fra digitale 3D-modeller. I geomatikk-sammenheng vil kart og landskapsmodeller kunne produseres, presenteres og brukes på helt nye måter ved hjelp Additive Manufacturing. Da denne teknologien er relativ ny i kombinasjon med geomatikkens datafangstmetoder, vil det bli en rekke spørsmål knyttet til hva slags fremgangsmetoder som egner seg best for 3D-printing, og hvordan disse skal kombineres for et best mulig resultat.</p> <p>I denne bacheloroppgaven blir det sett på hvor godt bakkeboren laserskanning egner seg som datafangstmetode til å skape en virtuell 3D-modell som er egnet for 3D-printing, og hvilke faktorer som må tas i hensyn til når en fysisk 3D-modell skapes. Samtidig vil det undersøkes hvilke andre metoder for datafangst som kunne vært passende i denne oppgaven.</p> <p>Sluttproduktet i denne oppgaven er en fysisk 3D-modell av campus på Høgskolen i Gjøvik.</p>				

Abstract

Title:	Physical 3D-model of Gjøvik University College	Date:	18.05.14
Participants/	Stian Rostad Karl Petter Johansson Marius Myrseth		
Supervisor(s)	Bjørn Godager og Torbjørn Kravdal		
Employer:	Gjøvik University College		
Keywords (3-5)	Laser scanning, 3D-printing, 3D-modelling		
Number of pages/words: 69/15911	Number of appendix: 5	Availability (open/confidential): Open	
Short description of the bachelor thesis:			
<p>Gjøvik University College newly opened a laboratory for 3D-production, named Additive Manufacturing and is a revolutionary technology where digital models are “converted” into real life physical models. In geomatics, maps and landscape models may be produced, presented and used in new ways, based on Additive Manufacturing. This technology is relatively new combined with the data collection methods in geomatics, questions about which methods are best fitted for 3D modelling and printing, and how they are combined into getting the best result will be handled.</p> <p>This bachelor thesis will show how well the terrestrial laser scanning is suitable as a data collection method to create a virtual 3D model that is suitable for 3D printing, and the factors to take into account when a physical 3D-model is developed. At the same time considering which other methods of data collection that could be appropriate in this task.</p> <p>The product of this task is a physical 3D model of the campus at Gjøvik University College.</p>			

1. Innholdsfortegnelse

Forord	4
Samme ndrag	5
Abstract	6
1. Innholdsfortegnelse	7
Figurliste	9
Vedlegg	10
2. Innledning	11
2.1. Bak grunn.....	11
2.2. Problemstilling	12
2.2.1. Vår problemstilling	12
2.2.2. Mål med oppgaven.....	12
2.3. Gruppemedlemmer	12
2.4. Arbeidsmetode	13
2.5. Avgrensninger.....	13
3. Teori og bakgrunnsstoff	14
3.1. Forklaring av sentrale begrep	14
3.2. Bruksområde for 3D-modeller.....	15
3.2.1. BIM	15
3.2.2. Fysiske modeller	16
3.2.3. Modellering og omvendt konstruksjon	17
3.3. Alternative metoder for innhenting av datagrunnlag.....	18
3.3.1. Eksisterende modeller	18
3.3.2. Fotogrammetri.....	19
3.4. Laser	21
3.5. Laserskanning	22
3.5.1. Hva er laserskanning?.....	22
3.5.2. Teknologi.....	22
3.5.3. Historie	24
3.5.4. Målemetoder	24
3.6. 3D-printing	26
3.6.1. Additive Manufacturing	26
3.6.2. Rapid Prototyping	26
3.6.3. Stereolitografi (SLA).....	26
3.6.4. Laser-sintring (SLS).....	27

3.6.5. Fused Deposition Modeling (FDM)	28
3.6.6. Dataflyt	29
3.6.7. Modelltilpassing	30
3.7. Filformater	32
3.8. Verktøy	34
3.8.1. Skannere	34
3.8.2. 3D-printere	34
3.8.3. Programvare	35
4. Gjennomføring	36
4.1. Forberedende arbeid	36
4.1.1. Måleplan.....	36
4.1.2. Målestokk	36
4.2. Datafangst	37
4.2.1 Laserskanning.....	37
4.3. Databehandling	39
4.3.1. Behandling av punktsky	39
4.3.2. Modellering	41
4.3.3. Printing	47
5. Resultat.....	48
5.1 Punktsky	48
5.2 Digital modell	50
5.3 Fysisk modell.....	51
6. Drøfting	52
6.1. Datafangst	52
6.2. Modellering.....	55
6.2.1. Valg av programvare	55
6.2.2. Metode for modellering.....	56
6.2.3. Sammensetting av bygninger og terreng	58
6.2.4. Datamengder	59
6.3. 3D-printing og fysisk modell	60
6.4. Videre bruk av modellen	61
6.5. Teknologiske utfordringer	63
7. Konklusjon.....	64
8. Kilder.....	66
9. Vedlegg.....	70

Figurliste

Figur 1 – Punktsky og bilde av HiG	s. 3
Figur 2 - Oversikt over campus på Høgskolen i Gjøvik	s.11
Figur 3 – Bruksområde for punktsky	s.17
Figur 4 – HiG i Trimble Sketchup	s.18
Figur 5 – 3D-printet modell av HiG fra Mustad Næringspark	s.18
Figur 6 – Plassering av kamera ved fotogrammetri	s.20
Figur 7 – 3D-modell av Eidsiva	s.20
Figur 8 – Triangelmodell av Eidsiva	s.20
Figur 9 – Aibotix X6 drone fra Asker Oppmåling	s.20
Figur 10 – Pulsskanningsprinsipp	s.23
Figur 11 – Faseskanningsprinsipp	s.23
Figur 12 - Illustrasjon av stereolitografi	s.26
Figur 13 - Illustrasjon av lasersintring-teknologien.	s.28
Figur 14 - Illustrasjon av Fused Deposition Modeling	s.28
Figur 15 – Måleplan	s.36
Figur 16 – Leica HDS P20	s.37
Figur 17 – Leica Nova MS50	s.38
Figur 18 – Dødsener fra skanning med P20, og modell med skann fra MS50	s.39
Figur 19 – Registrering av punktskyer i Leica Cyclone	s.40
Figur 20 – Dataflyt til 3D-printing	s.41
Figur 21 – Modelleringsflyt	s.41
Figur 22 - Resultat av generering av triangelmodell med forskjellige parametere	s.42
Figur 23 - Generering av triangelmodell for komplekse detaljer	s.43
Figur 24 - Reparering av modell	s.43
Figur 25 - Utjevning av geometri	s.44
Figur 26 – Detalj fra modell med respektive 16 og 8 tusen triangler	s.44
Figur 27 - Underflate av modellen	s.45
Figur 28 - EOS P 395	s.47
Figur 29 - Bilde av samlet punktsky	s.48
Figur 30 - Bilde av samlet punktsky	s.49

Fysisk 3D-modell av campus

Figur 31 - Ferdig triangelmodell	s.50
Figur 32 - Ferdig triangelmodell	s.50
Figur 33 - Bilde av utskreven modell	s.51
Figur 34 - Illustrasjon av blindsoner grunnet skråvinkel	s.53
Figur 35 – Detaljnivå av skann fra skråvinkel og rett vinkel med lik oppløsning	s.53
Figur 36 - Mulige arbeidsganger fra laserskanning til 3D-print	s.61

Vedlegg

Vedlegg A - Arbeidslogg

Vedlegg B - Prosjektavtale

Vedlegg C - Måleplan

Vedlegg D - Rapportregistrering

Vedlegg E – Datablader: MS50, P20 og EOSINT P 395

2. Innledning

2.1. Bakgrunn

Høgskolen i Gjøvik åpnet nylig et laboratorium for 3D-produksjon. Dette kalles Additive Manufacturing og er en revolusjonerende teknologi hvor fysiske modeller kan produseres fra digitale 3D-modeller. Dette åpner for nye muligheter og nye måter å tenke på innen flere fagretninger. I geomatikk-sammenheng vil 3D-kart og landskapsmodeller kunne produseres, presenteres og brukes på helt nye måter ved hjelp Additive Manufacturing. I kombinasjon med geomatikkens datafangstmetoder, vil det bli en rekke spørsmål knyttet til hva slags metoder som egner seg best for 3D-printing, og hvordan disse skal kombineres for et best mulig resultat. Både omvendt konstruksjon innen byggenæringen ved hjelp av laserskanning og 3D-printing av bygninger er eksisterende teknologier, men blir innovativt da vi kombinerer flere bygg og med terreng i en modell.

Høgskolen i Gjøvik er en skole for høyere utdanning lokalisert på Gjøvik i Oppland fylke.

Skolen har omtrent 3000 studenter fordelt på tre avdelinger; Avdeling for «Teknologi,

økonomi og ledelse», «Helse, omsorg

og sykepleie», og «Informatikk og

medieteknologi». Skolen ble etablert

i 1994 etter sammenslåingen av

Gjøvik Ingeniørhøgskole og

Sjukepleierhøgskolen i Oppland.

Skoleområde ligger rundt 1 kilometer

sørvest for bykjernen i Gjøvik, på en

høyde med flott utsikt mot Hedmark

og Mjøsa.

Campus består av 5 bygninger, hvor

det har foregått renovering på 3 av

byggene de siste årene. A-bygget er det eldste av dagens bygningsmasse, dette bygget ble

bygd i 1964, da under navnet Gjøvik Tekniske Skole. I 1984 kom B-bygget, som ble og er

«hjemmet» for ingeniørutdanningene på høgskolen. H-bygget er eid av Industribygg, mens de

andre byggene B, G, A og K er eid av Statsbygg. (Høgskolen i Gjøvik, 2013)



Figur 2 - Oversikt over campus på Høgskolen i Gjøvik

2.2. Problemstilling

2.2.1. Vår problemstilling

” Hvordan egner bakkebasert laserskanning seg som datafangstmetode for et geografisk område og hvilke andre metoder eksisterer, der hensikten er å skape en detaljert virtuell modell som kan presenteres fysisk i 3D?”

2.2.2. Mål med oppgaven

Målet med oppgaven er å undersøke hvordan bakkebåren laserskanning egner seg som datafangst metode for et geografisk område. Grunlagsdataene vil bestå av punktskyer, og vi ønsker å finne en metode for å skape en 3D-modell som er kompatibel med Additive Manufacturing og kan presenteres ut i 3D. Som felteksempel ønsker vi å lage en 3D-printet modell av Høgskolen i Gjøvik, dette område er ca. 200 x 94 m. Denne metoden vil inneholde datafangst, valg av programvare for punktskybehandling, 3D-modellering og dataflyt. Alternative metoder skal undersøkes og diskuteres. Oppgaven skal resultere i en rapport og en presentasjon med konkrete svar på vår problemstilling. En virtuell og fysisk 3D-modell av campus vil være en del av resultatet.

2.3. Gruppemedlemmer

Mats Karl Petter Johansson

E-post: mats.johansson@hig.no

Telefon: 94479951

Marius Myrseth

E-post: marius.myrseth@hig.no

Telefon: 47371232

Stian Rostad

E-post: stian.rostad@hig.no

Telefon: 98021967

2.4. Arbeidsmetode

For å besvare problemstillingen har vi ved litteraturstudier satt oss inn i fagfeltet, kontaktet bedrifter og fagfolk innen ulike fagområder, samt benyttet oss av internettforum og seminarer for å finne en fungerende metode. Videre har vi brukt laserskanner for å skaffe datagrunnlag til en 3D-modell av høgskolen. Vi har modellert modellen i 3D, og til slutt printet den ut som en fysisk 3-dimensjonal modell.

Arbeidet med bacheloroppgaven deles inn i fire faser:

Fase 1

Litteraturstudier og oversikt over liknende prosjekter, kontakte personer innen fagområdet. Se på forskjellige metoder for datafangst, vurdere hvordan problemer med terreng skal løses.

Fase 2

Valg av metode, programvare, skala, detaljnivå og omfang av modellen. Lage en måleplan, lære programvarene, manualer til laserskanner og 3D-printer.

Fase 3

Utførelse

- Datafangst - Skanne det aktuelle området.
- Modellering - Skape en 3D-modell over bygningene og terrenget, få denne modell vanntett og kompatibel med 3D-printeren.
- Utskrift - Skrive ut og sette sammen modellen.

Fase 4

Konklusjon og drøfting av resultatet og arbeidsprosessen.

2.5. Avgrensninger

Vi har valgt å avgrense datafangstmetoder til laserskanning, grunnet tidsrammen for oppgaven. Dersom vi ville utviklet oppgaven ville vi tatt for oss fotogrammetriske modeller, modellering av 2D-tegninger, eksisterende CAD-modeller og flere metoder for modellering av punktskyer.

Vi har valgt å kun skannet bygningene utvendig. Antallet bygninger på høgskolen er også begrenset til A, B, G og K (se Figur 2).

3. Teori og bakgrunnsstoff

3.1. Forklaring av sentrale begrep

3D-modellering- Utvikling av tredimensjonal modell i dataprogrammer.

AS-built tegning - Tegning av en bygnings virkelige forhold etter ferdigstilt konstruksjon.

BIM - Bygningsinformasjonsmodell, 3D-modell av en bygning med tilknyttet informasjon om dens geometri, topologi og materiale m.m.

CAD-modell – (Computer-Aided Design) Teknisk tegning eller 3D-modell lagd med digitale verktøy.

Cloud to cloud - En metode for å sette sammen punktskyer gjennom felles punkter, uten bruk av signaler/targets.

Datafangst - Innhenting av geografiske data.

Dataflyt – Overføring og konvertering av data mellom ulike filformater og programvarer.

Georeferering - Plassere objekter og punkter i et globalt koordinatsystem.

Nøyaktighet – Hvor godt innhentet data stemmer overens med virkeligheten.

Oppøsning - Antall punkter som registreres per f.eks. centimeter.

Punktsky (pointcloud) - En samling av punkter bestemt i et tredimensjonalt koordinatsystem. Representerer ofte overflategeometri. Disse punkter er registrert med f.eks. laserskanning.

Registrering - Sammensetning av punktskyer til et felles koordinatsystem.

Rådata - Ubehandlet data som videre kan behandles i programvare.

Signaler/Targets - Identifiserbare (ofte koordinatbestemte) referansepunkter som brukes for å knyte sammen punktskyer.

Triangelmodell - En TIN-modell (Triangulated Irregular Network) er en vektorbasert representasjon av en flate basert på triangler fra punkter. Det brukes forskjellige metoder for å skape triangelnettverk. Trekantene skapes med så korte og like sider som mulig. Bruddlinjer skapes for å få gjenskapt faktiske geometrier. Metoden forutsetter at triangler ikke overlapper hverandre, at bruddlinjer ikke krysses og at trianglene er vendt i riktig retning. (Bernhardsen 2006)

Vanntett - En 3D-modell uten hull eller ufullstendig geometri egnet til 3d-printing.

3.2. Bruksområde for 3D-modeller

Virtuelle 3D-modeller av terreng og bygninger har flere bruksområder. De anvendes gjerne til samfunnsplanlegging, da de skaper et bilde om hvordan eventuelle inngrep i terrenget, bygg eller veier vil se ut. For bygninger er 3D-modeller per dags dato standard, med innføring av BIM i bygg og anleggsbransjen vil alle nye bygninger bli bygd på grunnlag av tegninger fra 3D-modeller lagd i CAD-programvarer. Den virtuelle 3D-modellen kan også brukes til forskjellige analyser f.eks. skygger og optimalisering av radionettverk. Å presentere en virtuell 3D-modell, med animasjoner eller «fly-through», vil være den enkleste og billigste måten å presentere et prosjekt på. (Jobst M, Döllner J 2008)

3.2.1. BIM

BIM står for BygningsInformasjonsModell(-ering), og er digitale 3-dimensjonale, intelligente modeller av bygninger. Det som skiller en ordinær 3D-modell fra en BIM-modell er at en BIM-modell består av en 3D-modell hvor ulike objekter og elementer i bygget har egenskaper og relasjoner til hverandre. Dette kan f.eks. være ei dør med informasjon om bredde, høyde, tykkelse, farge, materialer, brannsikkerhet osv. som er koblet mot en yttervegg bestående av flere vinduer. (Statsbygg 2009)

I en BIM-modell kan man kombinere mange ulike fagfelt og informasjonstyper; VVS, elektro, rør osv. Mye av problemene med byggeprosjekt har vært og er at kommunikasjon mellom ulike faggrupper er for dårlig. Misforståelser og dårlig planlegging oppstår, og dette gjør at man får økte kostnader og svakere utnyttelse av arbeidere og tid. Ved at alle disse dataene ligger inne i samme modell og at de er tilgjengelige for alle parter i et byggeprosjekt gjør at man kan unngå disse problemene.

Når en BIM-modell skal bygges opp kan man legge inn informasjon og fysisk form for bygningen før eller etter ferdig byggeprosjekt. Det vanligste er å legge det inn i det prosjekterte bygget på forhånd og bruke dataene under arbeidet. Men man kan også lage BIM-modeller av slik dagens situasjon er, as-built. Her kreves det at man samler inn data for å kunne modellere bygningene akkurat slik de er. Her er laserskanneren et godt verktøy å benytte.

3.2.2. Fysiske modeller

Ved å skape fysiske modeller økes forståelsen for størrelsesforhold og geometri. Disse fysiske modellene skapes i dag med fordel i en 3D-printer og kan deretter anvendes for å illustrere fremtidig bebyggelse for et større publikum. En 3D-printet modell vil kunne øke forståelsen for en bredere målgruppe som ikke er vant til å forholde seg til kart og digitale modeller. Innen f.eks. arkitektur vil den 3D-printede modellen gjerne brukes som et salgsfortrinn ved anbud, da den fortsatt ses på som noe nytt og imponerende. Fysiske modeller har alltid vært brukt innen arkitekturen for å skape prototyper av nye bygninger. 3D-printing har de seneste årene åpnet for muligheten til å skape mer detaljerte og realistiske modeller, samtidig som teknologien effektiviserer prosessen. 3D-printede modeller har fordelen at de gir rom for flere modeller i forskjellige skalaer, med ulikt detaljnivå, hvilket kan gi en mer omfangsrik forståelse av bygningen. En slik modell vil også kunne ha en ren visuell verdi, som utstillingsmodell i det offentlige rom. På denne måten vil den ha flere goder. Først og fremst vil en gjennomført modell med et rikt detaljnivå imponere tilskuere, samtidig som den har en informativ orienteringsverdi.

(Ghawana, T S. Zlatanova. 2013)

3.2.3. Modellering og omvendt konstruksjon

Omvendt konstruksjon, eller Reversed Engineering er teknologien for å skape digitale modeller fra reelle objekter. Denne teknologien har blitt relevant for byggenæringen siden impliseringen av BIM-prosesser, og BIM-modeller i byggebransjen. Dette fordi det nå skapes 3D-modeller av bygninger for ombygging og renovasjon, og ikke bare nybygg. Her brukes laserskanning som et verktøy for å kunne dokumentere hvordan ting egentlig ser ut. Det er også relevant for å dokumentere endringer fra eksisterende tegninger i modellene. Eller som bevaring av bygninger ved brann eller naturkatastrofer.

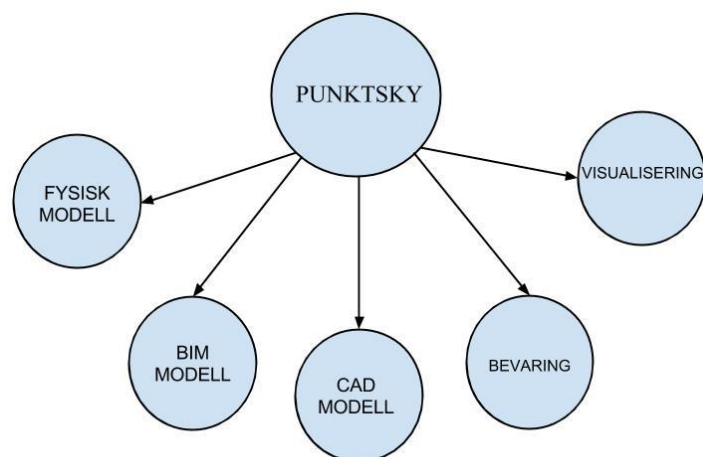
(Huber D m.fl. 2010)

Historiske bygninger og vernede hus skannes ofte for å bli bevart i fremtiden og for å finne deformasjoner. Her er laserskanning meget fordelaktig da det er mye komplekse geometrier og lite eksisterende grunnlag. (Grussenmeyer 2008)

Dette er en vanlig prosess, men kombineres vanligvis ikke med 3D-printing.

Laserskanning for å gjenskape objekter er ofte brukt innen design og verkstedindustri, derfor er programvarene mer tilpasset disse fagfelt. Men det meste er mulig å applisere til vårt formål, det vil si modellering fra punktsky av bygninger. Det eksisterer mange eksempel på bygninger som

har blitt gjenskapt ved hjelp av punktskyer fra bakkebasert laserskanning. (Arayici Y 2007). Både omvendt konstruksjon innen byggenæring ved hjelp av laserskanning, og 3D-printing av bygninger er eksisterende teknologier. Disse teknologiene vil i fremtiden trolig bindes mer sammen. I dag ser vi en kraftig ekspansjon av bruksområder innenfor 3D-printing, og med utviklingen innen behandling av store datamengder, vil store punktskyer bli et godt utgangspunkt for triangelmodeller egnet til 3D-printing.



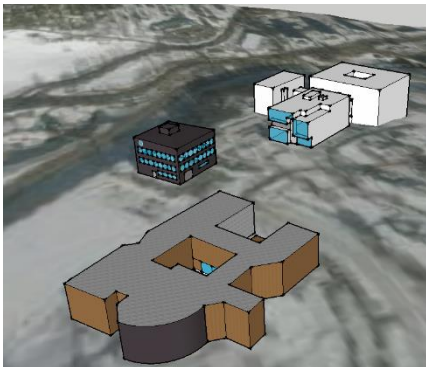
Figur 3 - Bruksområder for punktsky

3.3. Alternative metoder for innhenting av datagrunnlag

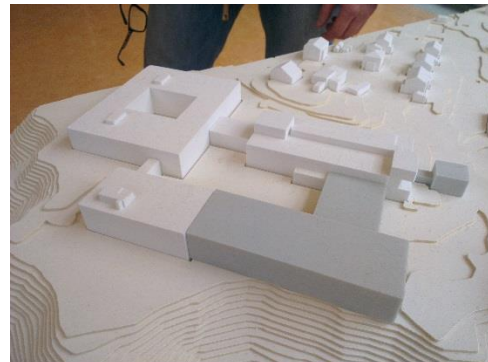
I denne oppgaven har vi fokusert på bruk av laserskanner som datafangstmetode, grunnet at dette er teknologi som enkelt registrerer store mengder punkter på et stort område, er relativ ny og fortsatt i utvikling. Dette er ikke den eneste datafangstmetoden som egner seg for å skape 3D-modeller, og en tilsvarende oppgave kan gjøres på flere måter, med forskjellig detaljnivå og tidsbruk.

3.3.1. Eksisterende modeller

Den enkleste måten å gjøre en slik oppgave på vil være å bruke en programvare som f.eks. *Trimble SketchUp* med flyfoto som underlag. Her kan man da tegne omrisset av bygninger fra flyfoto og dra i bygget i høyderetning for å skape en 3-dimensjonal modell. Ut i fra dette «skallet» kan man tegne inn vinduer og dører osv. på en relativ enkel måte. Modellen kan så hentes inn i *SketchUp STL*, som er Trimbles programvare for å gjøre modeller egnet for 3D-printing. I noen tilfeller er en slik enkel modell god nok. Et alternativ til dette er å bruke bygningsinformasjon fra FKB data, og tegne enkle bygningsklosser i *AutoCAD*.



Figur 4 – Enkel modell av HiG i Trimble Sketchup



Figur 5 - 3D-printet modell av HiG fra utstilling i Mustad Næringspark

3.3.2. Fotogrammetri

Fotogrammetri betyr læren om målinger i bilder, og er en relativt gammel og omfattende målemetode. Tidligere hvor man kun hadde analoge kameraer hadde man mer arbeid i etterkant, men i dag er alt digitalisert samt delvis automatisert og arbeidet går mer effektivt. Målinger man kan gjøre i bilder kan være mål på størrelse, beliggenhet og form. For at man skal kunne gjøre målinger i bilder må man se et punkt fra flere vinkler slik at man kan få dannet X-, Y- og Z-koordinater. Bildene må derfor ha en overlapp med felles punkter slik at man får satt bildene sammen. Generelle prinsipper som gjelder innenfor fotogrammetri er at jo bedre oppløsning det er i bildene desto nøyaktigere blir sammensetningen, da man har flere punkter å koble sammen bildene med. Fotogrammetri kan deles inn i to hovedtyper, fjern- og nærfotogrammetri:

I fjernfotogrammetri tas det bilder fra fly eller satellitter, typisk bruk av slike bilder er til kart og terrengmodeller. I flyfotograferingen er det anbefalt en overlapp på 60% mellom bildene i lengderetningen, man kan da se overlappen i 3D. Det krever minimum 5 kjente georefererte punkter innenfor kartleggingsområdet. For å koble bildene sammen velger man minimum 6 sammenbindingspunkter mellom to bilder. For at man skal finne kjentpunktene i bildene blir det lagt signaler på dem, ofte rektangulære plater med høy kontrast mot bakken.

(NTNU 2008), (Kartverket 2009)

I nærfotogrammetrien blir bildene tatt fra bakken, dette kan gjøres med for eksempel bruk av kameraet i en totalstasjon eller vanlige kameraer på stativ. I teorien er teknologien den samme som ved flyfotografering, bare at man bruker nærfotogrammetri på mindre objekter.

Nærfotogrammetrien har i dag blitt kommersielt til privat bruk. Med programvarer som f.eks. *123DCatch* fra *Autodesk* kan man med mobiltelefonen lage enkle 3D-modeller basert på fotogrammetri. For å få bedre nøyaktighet på modellen kan man benytte den nye multistasjonen *Leica Nova MS50*, dette ifølge *Leica Geosystems (MultiStation Scanning vs. Photogrammetry webinar)*, her kan man lage enda nøyaktigere modeller enn ved laserskanning. Denne metoden forutsetter flere oppstillinger en skanning, da det må minst 3 bilder til for å skape en 3D-modell. Fotogrammetri forutsetter gode lysforhold, noe som ikke er nødvendig ved laserskanning. Å fotografere er likevel raskere enn skanning i felt. En stor forskjell i forhold til skanning er at man ikke ser hva som er registrert før bildene er satt sammen i programvare.

Dersom vi ikke hadde fått tilgang på laserskanner fra Leica Geosystems hadde denne metoden vært å foretrekke. Bruk av kameraene i totalstasjonen ville gjort det mulig å georeferere bildene på lik måte som scannene og kunne med fordel bli brukt som komplement til skanning.

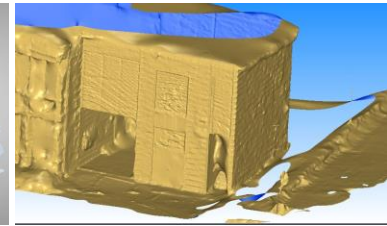
Følgende bilder illustrerer arbeidsgangen fra fotografering til triangelmodell. Bildene er tatt med en Nikon D300 og satt sammen i *Autodesk Recap* og triangulert i *3DReshaper*.



Figur 6 – Plassering av kamera ved fotogrammetri



Figur 7 – 3D-modell av Eidsiva



Figur 8 – Triangelmodell av Eidsiva

I mange private hjem har man gått til anskaffelse av droner. Dette er ubemannede fjernstyrte fartøy som man enkelt kan montere kamera på. Dette er en mellomting av fjernfotogrammetri og nærfotogrammetri, da man kan fly veldig lavt og nært objekter som skal fotograferes, og man står selv på bakken og styrer dronene. Man kan bruke et slikt kamera for å lage 3D-modeller av terreng eller bygninger med bruk av fotogrammetri. Dronen flyr rundt objektet i forskjellige høyder og tar bilder automatisk. Bildene settes så sammen i programvare og bildene blir til en 3-dimensjonal modell eller punktsky. Blant annet er det nystartede svenske *Spotscale* en bedrift som bruker denne teknologi for å skape digitale og 3D-printede modeller av bygninger.



Figur 9 – Aibotix X6 drone fra Asker Oppmåling

3.4. Laser

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, bedre kjent som laser er lyskilder som er forsterket ved stimulert emisjon, basert på elektromagnetisk stråling. En laserstråle er veldig avgrenset i retning, noe som også gjør den intens. Laser passer dermed godt til nøyaktige bruksområder som kirurgi, kutting av industriellelementer, militære formål, fingeravtrykksleser, landmåling osv. En laser kan opptre i både det synlige-, det infrarøde- og ultrafiolette lysspekteret.

For at en laserstråle skal kunne bli sendt ut er den avhengig av å «bygge opp» en stråle, dette gjøres når bestemte atomer blir utsatt for kortbølget lys og de går over i en metastabil tilstand. I denne tilstanden frigjøres det et kvant, og kvantet stimulerer andre atomer og laserstrålen bygges opp. For at strålen skal kunne bli sterk nok er den avhengig av å bevege seg lenge i stoffene, dette blir vanligvis løst ved å plassere to parallelle speil hvor strålen reflekteres fram og tilbake. Det ene speilet har en refleksjonsgrad på 99% noe som gjør at litt stråling slippes ut, mens mesteparten fortsetter å bygges opp. Man kan eventuelt bruke en lukkemekanisme som slipper ut laserstrålen i faste intervaller, dette kalles da en pulset laser. (Store norske leksikon 2014)

En laser kan drives av lys fra flere hundre forskjellige typer stoffer, forskjellen mellom disse er at noen gir synlig lys, mens andre infrarødt- og ultrafiolett lys. I vår oppgave har vi benyttet en Leica P20 laserskanner til å hente inn data, denne bruker en laser som har en bølgelengde på 658nm noe som betyr at den ligger innenfor det synlige lyset. Laseren er også gruppert i klasse 2 som innebærer at den er synlig og ikke er farlig så lenge man ikke stirrer rett inn i laseren.

3D-printeren vi også benytter i oppgaven er en laser-sintringsprinter (SLS). Denne bruker en CO₂-laser som leverer energi på 50 watt. En CO₂-laser var en av de første gass-laserne som ble utviklet, og er fortsatt den dag i dag en av de mest brukte. I en slik laser er det en gassblanding hvor mesteparten er CO₂, men inneholder også helium, nitrogen, hydrogen og xenon. En CO₂-laser er den typen laser som leverer høyest mulig utgangsenergi av alle typer lasere som finnes i dag. Laseren produserer en stråle av infrarødt lys og smelter polymerpulveret i 3D-printeren med høy nøyaktighet om til fast plastikk. (RP PhotonicsEncyclopedia 2014)

3.5. Laserskanning

3.5.1. Hva er laserskanning?

Laserskanning er en rask og effektiv målemetode for innhenting av geografiske data til bruk i mange ulike typer oppmålingsarbeid; dimensjonskontroll, terrengmodeller, sikring av historiske bygninger, As-built og mye mer. Fordelen med å bruke laserskanner er at det registreres store mengder punkter med høy tetthet og nøyaktighet på relativt kort tid. Bruken av laserskanning har økt betraktelig den siste tiden, og det virker som om fagfolk og kunder har fått øynene opp for de varierte oppgavene en laserskanner kan brukes til. En av de største fordelene med å bruke laserskanner i forhold til tradisjonelt landmålingsutstyr er at man får komplette overflatemodeller med svært høy punkttetthet, dette innebærer at når man har skannet et område og man senere vil gjøre målinger, behøver man ikke dra ut i felten for å måle på nytt. Alle dataene er samlet i punkttskyen, og man kan gjøre nøyaktige målinger mellom punkter og deres posisjon.

En grunnleggende forklaring på teknologien er at lasersignalet blir sendt fra laserskanneren og reflektert tilbake til skanneren. Tid/avstand eller differanse av bølgelengde, samt utgangsvinkel fra laserskanner bestemmer punktets posisjon. Dette kan være i forhold til laserskanner eller georeferert ved bruk av kjent oppstilling eller georefererte targets. Punktene kan reflekteres opptil 4 ganger, dette betyr at ved laserskanning fra fly er det mulig å få punkter på toppen av trær og bakken under fra ett og samme utgangssignal. (Barber, D 2012)

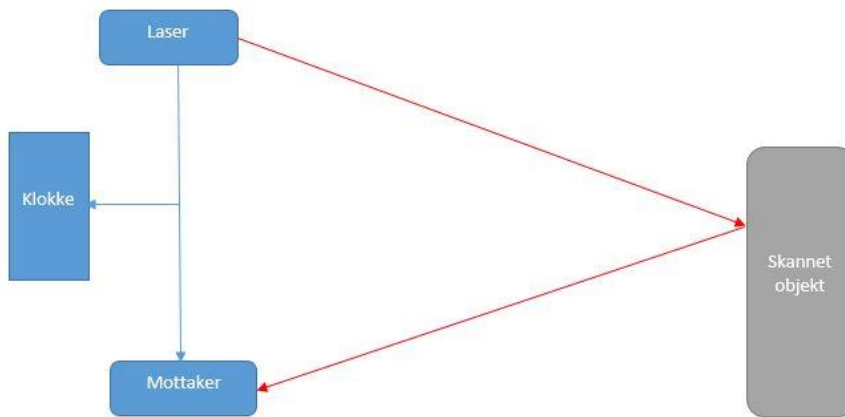
3.5.2. Teknologi

Det er to ulike teknologier som brukes for å registrere punkter fra laserskanner; Puls- og fasemålinger. En pulsskanner, eller "Time-of-flight"-skanner, brukes til lengre avstander, her brukes pulssignaler som reflekteres tilbake til skanneren. Laserskanneren måler en avstand ved at den med en veldig nøyaktig klokke registrerer tiden lasersignalet bruker for å bli sendt ut og reflektert tilbake (t). Da man vet at laserpulsene reiser i lysets hastighet (c) kan man beregne avstand (D) slik:

$$D = \frac{t \cdot c}{2}$$

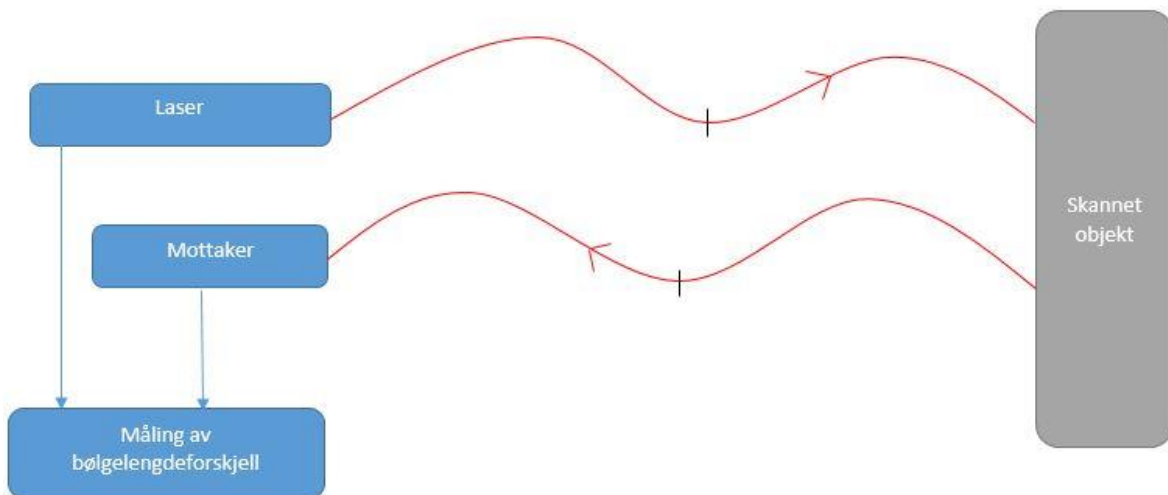
Men for å kunne plassere punkter i 3D må man kunne plassere punkter i X-, Y- og Z-retning. Dette gjør man ved at det registreres vertikal- og horisontalvinkel på utgangssignalet og på mottatt signal. Laserskanneren roterer rolig horisontalt i 360°, samtidig som det er et speil som roterer i høyt tempo i vertikalretning, her får man ikke med seg det som ligger rett under

skanneren. (Van Genechten, B 2008)



Figur 10 - Pulsskannerprinsipp

Den andre typen laserskanner er en faseskanner, her brukes laserstråler hvor det registreres bølgelengder som kommer tilbake til skanneren. Det sendes ut en laserstråle med en fast bølgelengde fra skanneren. Når dette signalet treffer det skannede objektet reflekteres det tilbake til en mottaker og forskjellen i bølgelengde registreres. Ut i fra denne forskjellen kan man beregne avstanden til objektet. En faseskanner bruker tilsvarende teknologi med speil og rotasjon som en pulsskanner.



Figur 11 - Faseskannerprinsipp

Ved bruk av en faseskanner oppstår det mindre støy. Den er nøyaktigere og er en raskere metode for innhenting av data sammenlignet med pulsskanneren. Man kan ikke benytte faseskannere på lengre avstander enn rundt 80 meter, dette kan skape utfordringer i mange prosjekter. (Barber, D 2012)

3.5.3. Historie

Vi har siden slutten av 1990-tallet brukt 3D-laserscannere tilnærmet slik vi kjenner den i dag. Det startet med en laserskanner fra det østerrikske firmaet Riegl, kalt LMS-Z210. Den første laserskannerne som var til salgs kommersielt og tilfredsstilte høynøyaktighetsmålinger samt hadde punktskybehandlingsprogramvare, kom i 2001 og var en skanner fra Cyra Technologies, med modellnavn Cyrax 2400. (RIEGL 2012)

Slikt utstyr var tungt å ha med seg og det krevde en god del arbeid for å flytte skanneren rundt. En slik skanner veide rundt 30 kg, og da kom batterier tilsvarende to 12v bilbatterier, stativ og monitor i tillegg, i alt kunne man komme opp i en samlet vekt på rundt 50 kg. I dag får man samlet alt inne i ett og samme instrument, og vekten er kraftig redusert. (CYRAX 1999)

En laserskanner tilsvarende den vi brukte i vår oppgave, en Leica ScanStation P20 veier rundt 12 kg inkludert batterier og monitor. Da sier det seg at man i dag lettere har mulighet til å gjøre skanningsarbeid på plasser hvor det er mer krevende å ta seg fram.

Når det kommer til skanningshastighet kan man i dag skanne opptil 1 million punkter i sekundet med det beste utstyret. I starten kunne man skanne rundt 1000 punkter i sekundet med en del dårligere nøyaktighet enn hva som er i dagens utstyr.

3.5.4. Målemetoder

Etter at teknologien utviklet seg, både med kraftigere datamaskiner og mer effektive og nøyaktigere laserskannere, kunne man benytte seg av en laserskanner i mange flere typer oppmålingsarbeid enn hva som var realiteten tidligere. En laserskanners bruksområde kan hovedsakelig deles inn i to kategorier; statisk i en oppstilling eller dynamisk i fly, bil og tog.

Den bakkebaserte statiske laserskanningen er den mest benyttede metoden og er den som krever minst utstyr og forberedelse. Vanlige bruksområder er as-builtmodeller, skanning for modellering og masseberegning. Som regel må man ha flere oppstillinger for å få en fullstendig punktsky, og for å få satt sammen de ulike punktskyene må det være felles punkter mellom de to settene. For å koble disse sammen kan man enten bruke en Cloud-to-Cloud-metode, denne går ut på å velge 3 felles punkter i de to punktskyene og sette sammen. Den andre metoden er å bruke targets som man registrerer under skanningen, og man får en mer

automatisk sammensetting inne i programvaren. Targetene kan være georefererte, da har man mulighet til å plassere andre georefererte objekter rett inn i punktskyen, samt plassere punktskyen i et større globalt system.

Den dynamiske skanningen er skanning i bevegelse. Her kreves det at man til enhver tid har en posisjon underveis i skanningen, dette blir som regel gjort med GNSS-utstyr, men en totalstasjon kan også benyttes.

En vanlig dynamisk laserskanning er fra fly, bruksområder for slike data er terrengmodeller, skogkartlegging osv. For at man skal ha en kjent posisjon under skanningen i fly bruker man en kombinasjon av GNSS og INS. INS registrerer helning og rotasjon i flyet for å få en mest mulig nøyaktig posisjon. Det sendes ut laserpulser som sveiper over et område under flyet ved hjelp av et speil som sprer laserpulsene. Man kan kartlegge store områder med data på relativ kort tid ved å bruke en slik metode, det er kostbart å bestille slike oppdrag, men man får gode og nøyaktige data.

Bilbåren laserskanning bruker det samme prinsippet som ved flybåren laserskanning, bare at de bruker GNSS sammen med IMU (Inertial Measurement Unit), som registrerer bilens bevegelse og dermed øker presisjonen på posisjonen. Laserskanneren er plassert bak på bilen og skanner samtidig som man kjører, her får man gode data på vei og grøfteområder.

(Kartverket 2009)

3.6. 3D-printing

3.6.1. Additive Manufacturing

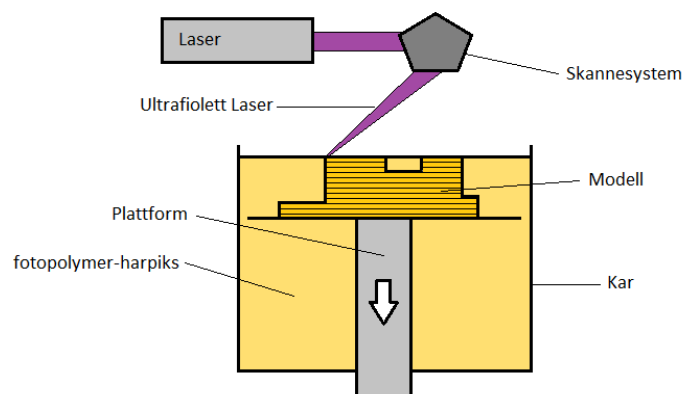
Additive Manufacturing beskriver teknologiene som går ut på å bygge 3D-modeller ved å legge lag med materiale over hverandre med bestemt geometrisk utforming for hvert lag, slik at det til slutt danner en modell eller et objekt. Additive Manufacturing er med andre ord måten 3D-printere jobber på. Teknologien har eksistert siden 1986, og tidligere har Additive Manufacturing blitt mest brukt til modeller og visualisering av konseptuelle produkter, men i nyere tid har Additive Manufacturing også blitt brukt for produksjon av direkte sluttprodukter. 3D-printere brukes i dag til å utføre Rapid Prototyping. De forskjellige teknologiene som tar for seg denne formen for konstruksjon, kan i dag prosessere et stort spekter av materialer. Plastikk og metaller er de mest vanlige, men også mat, treverk og celler blir brukt i former for Additive Manufacturing. (Amazing AM 2014)

3.6.2. Rapid Prototyping

Rapid Prototyping er paraplybetegnelsen for en rekke teknikker som raskt skaper fysiske 3D-modeller ved bruk av CAD-verktøy. Teknikkene er basert på Additive Manufacturing, og er dermed godt egnet for utførelse gjennom en 3D-printer. Prinsippet går ut på å modulere en overflate/solid-modell digitalt, for så å lagvis dele denne modellen opp i tverrsnitt, som med forskjellige teknikker bygges lagvis over hverandre. Resultatet er fullstendige 3D-modeller. Materialet som brukes kan blant annet være pulverbasert, flytende eller trådbasert. Dette avhenger av hva slags type 3D-printer og teknikk som anvendes. Rapid Prototyping brukes i dag innenfor design, ingeniøranalyse og planlegging, samt verktøy og produksjon. (Chua C K, Leong K F, Lim C S 2010)

3.6.3. Stereolitografi (SLA)

Denne formen for Rapid Prototyping var den første som ble kommersielt introdusert, og patentert allerede i 1986 av Charles Hull, en av grunnleggerne av 3D-Systems. Et kompani som i dag er ledende innenfor teknologi relatert til 3D-printing. Prosessen går under flere navn som Stereo-fotolitografi, Laser-litografi mm.



Figur 12 - Illustrasjon av stereolitografi

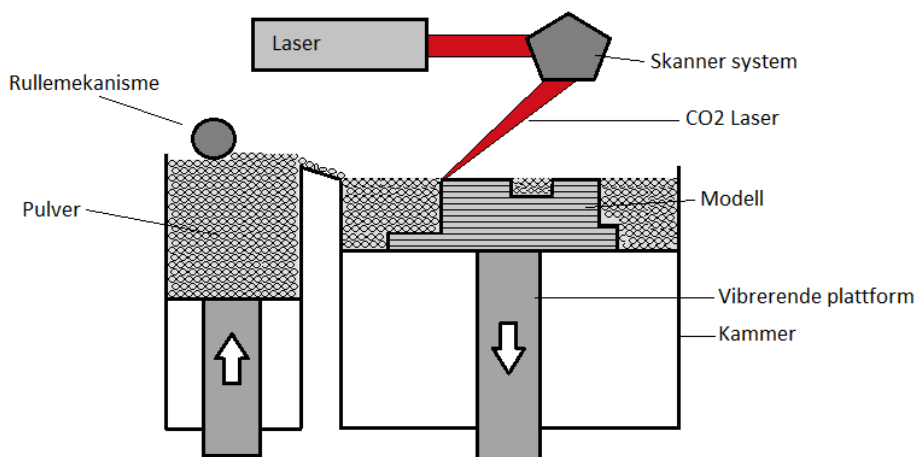
Metoden brukes fortsatt i dag, og er en meget høyoppløst form for 3D-printing. Prosessen tar i bruk syntetisk, flytende fotopolymer-harpiks, som blir eksponert for en ultrafiolett laserstråle. Den geometriske oppbygningen av modellen som skal printes, blir delt opp i lagdata, med en gitt lagtykkelse. Ett og ett lag består da av to dimensjoner X og Y som kan leses av printeren, der vi kan se et tverrsnitt av modellen. Inne i printeren befinner det seg et kar fylt med fotopolymer-harpiks og en plattform som ligger rett under overflaten av harpiksen. Tverrsnittet fra lagdataen blir skannet på harpiksen av en fokusert laserstråle, og gjennom en kjemisk reaksjon danner dette fast materiale. Når laget er dannet, senker det seg sammen med plattformen i Z-retning ned i karet, tilsvarende lagtykkelsens verdi. Denne verdien kan på de mest høyoppløste printerne være 0,016 mm. Ny harpiks kommer til, slik at neste lag kan skannes over det første. Denne prosessen gjentas til hele modellen er formet og satt sammen i tanken. Til slutt heves plattformen for å eksponere modellen. Et flytende løsemiddel renser modellen for gjenværende harpiks og modellen bakes i en ultrafiolett ovn for ytterligere å herde platen. Kvaliteten på resultatet varierer basert på printeren, og tiden det tar å printe er avhengig av størrelsen på modellen. Små modeller tar mellom 6 og 11 timer, mens større modeller kan ta flere dager å ferdigstille. (Behrendt U, Shellabear M 1995)

3.6.4. Laser-sintring (SLS)

Lasersintring-teknologien ble patentert av Dr. Carl Deckard og Dr. Joe Beaman på midten av 80-tallet, og kjøpt opp av 3DSystems i 2001. Prosessen ligner mye på stereolitografi, ved at modellen blir bygget opp på en plattform der en laserstråle skanner det gitte tverrsnittet lag for lag. De fundamentale forskjellene er at materialet er i pulverform og ikke flytende harpiks, samt at prosessen som gjør at materialet størknes sammen, ikke er en kjemisk reaksjon, men en termisk induisert faseendring. Plattformen blir fylt opp med materiale for hvert lag. Pulveret spres utover plattformen ved hjelp av en rullemekanisme som beveger seg over plattformen for hvert lag. En CO₂-laser, som avgir stråling fra det infrarøde spekteret, varmer opp pulveret på det området som blir eksponert, og danner dermed en lokal fusjon der pulveret smeltes sammen. Materialet smeltes altså kun på de områder som skal fusjoneres. Et nytt lag bygges ved at modellplattformen beveger seg ned, og pulverplattformen opp.

Rullemekanismen fordeler nytt pulver over det forrige laget. Dette foregår til modellen er ferdig bygget. Arbeidstiden varierer etter størrelse på modellen. Et vanlig tidsforbruk er rundt 20 timer. I teorien kan nesten alle materialer med evnen til å fusjonere bli brukt i en laser-sintring 3D-printer, så lenge temperaturen er høy nok. Kammeret der materialet blir fusjonert, forhåndsvarmes til en temperatur rett under materialets smeltepunkt, for at pulveret skal kunne

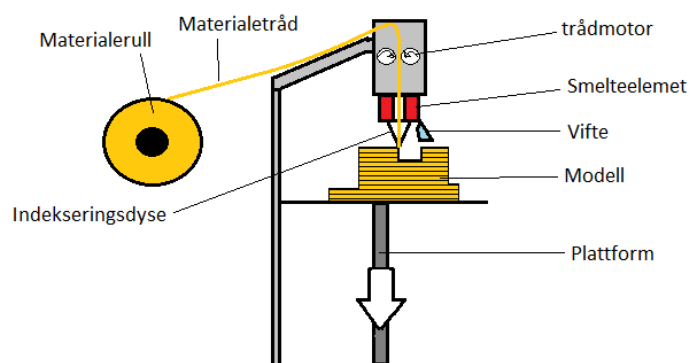
smelte og størkne uten store temperaturrendringer. Slik unngår en deformasjoner i resultatet. Ved bruk av metall som materiale, trenger en derfor meget høye temperaturer. Ved aluminium er smeltepunktet 663 celsius, og for å unngå antenner fyller maskinen kammeret med nitrogen. Denne prosessen er derfor farlig og lite egnet for små printere, i motsetning til stereolitografien, som kan gjøres i liten skala og ta plass på et skrivebord. SLS-printere krever store arealer og kontrollerte forhold, ettersom prosessene som gjennomføres kan være skadelig uten nok isolasjon. Lasersintring-metoden er også unik fra andre 3D-print-metoder ettersom det ikke kreves støttegeometri ved oppbygging av modeller. Dette på grunn av at modellen er omringet av ikke-sintret pulver igjennom hele prosessen, som støtter opp modellen helt naturlig. Dette gjør at SLS-printere kan bygge tidligere umulige geometrier. (Behrendt U, Shellabear M 1995)



Figur 13 - Illustrasjon av lasersintring-teknologien.

3.6.5. Fused Deposition Modeling (FDM)

Metoden skiller seg fra SLA og SLS ved at materialet blir direkte plassert på det bestemte området, og ikke indirekte plassert ved hjelp av laser. Materialet tilføres maskinen i trådform fra en rull/snelle. Dette er ofte plastikk ettersom det er lett og smelte. En trådmotor fører tråden igjennom et smelteelement. Plastikken smeltes og plasseres på en plattform i flytende tilstand, der det raskt stivner igjen ved hjelp av en vifte. Prinsippet kan



Figur 14 - Illustrasjon av Fused Deposition Modeling

forklares som en kulepenn som jobber i 3 dimensjoner. Lag for lag blir et tverrsnitt tegnet, ved at materialet injiseres gjennom indekseringsdyser på en plattform. Når ett lag er tegnet, beveger plattformen seg ned, og indekseringsdysen kan tegne neste tverrsnitt. Prosessen gjentas til alle tverrsnittene er tegnet over hverandre. Denne metoden kan utføres i åpent rom, uten bruk av kammer, flytende væske eller varme. Kun plattform, indekseringsdyser og materiale er nødvendig.

(Amazing AM 2014)

3.6.6. Dataflyt

Dataflyten fra digital modell til 3D-print er forholdsvis simpel. Fra å være en visuell modell på en skjerm, må modellen ende opp som 2D-lagdata. En digital modell kan være bygget opp på mange måter. Den vanligste typen er CAD-modeller, og disse inneholder ofte overflødig informasjon, eller umulig fysisk utforming. Dette kan f.eks. være overflater uten tykkelse, eller svevende objekter. Det skal som regel heller ikke være noe informasjon utenom det vi kan se, ettersom 3D-printing ikke inneholder ytterligere informasjon enn det vi ser på overflaten. Det er derfor nødvendig at en digital modell som ønskes printet, blir simplificert ned til et format som kun tar for seg overflater. Dette vil da inneholde de overflater som vil vises i modellen. Det mest brukte formatet for å få til dette, er STL-formatet (Standard Tessellation Language). Andre brukte formater er PLY (Polygon File Format) og VRML (Virtual Reality Modeling Language). STL består enkelt av triangeldata, der hvert triangel er beskrevet med koordinater. Når modellen da består av kun én fullstendig overflate i STL-format, vil programvare for 3D-printing som leser lagdata, enkelt kunne dele modellen opp i tverrsnitt, med et intervall tilsvarende detaljnivået til maskinvaren. Ettersom STL-flater ikke har noen tykkelse, blir heller mellomrommet mellom innsiden av flatene fylt med materiale fra printerens. Dette innebærer at flatene har riktig informasjon om hva som er innside og utside for flatearealet. Strukturer på innsiden av modellen kan også formes om det er ønsket å bruke mindre materiale, eller for å støtte opp områder i modellen. Konvertering til STL kan gjøres i de fleste modelleringsprogramvarer. Formatet har blitt mer vanlig etter det kommersielle gjennombruddet til 3D-printeren. Det betyr likevel ikke at modellene i seg selv er egnet for 3D-printing. Dermed vil en ren konvertering til STL ikke garantere en feilfri modell klar for printing. Vanlige problemer er triangler uten egnet topologi, triangler som ligger vridd i modellen, der innsiden har blitt forvekslet med utsiden, og triangler som ligger inn i hverandre. Hull i modellen er også ofte et faktum, noe som vil skape et uønsket ferdig resultat. Dermed burde mer komplekse STL-filer alltid ryddes og optimaliseres i egnede

programvarer før de deles opp i tverrsnitt. Programmer som *Revit* og *3D-studio Max* kan eksportere CAD-modeller til STL, men de må da optimaliseres og repareres i programmer som *Geomagic Design X (3DStudios)*, *3DReshaper (Hexagon)* og *Project Memento (Autodesk)* før de kan få et forutsigbart og riktig resultat gjennom printerens. Det er også en rekke modelltilpasninger som burde tas hensyn til på modelleringsstadiet, som kan ha innvirkning på det endelige resultatet.

3.6.7. Modelltilpassing

En modell som skal 3d-printes krever visse geometriske utforminger som gjør den fysisk egnet for virkelige forhold. Som regel vil ikke en modell laget i design- og arkitektprogrammer ta hensyn til tykkelse, vekt, løse deler og økonomiske valg. Dette er derfor viktig å tenke på ved utforming av en modell. Slike tilpassing av modellen gjøres både i ekstern programvare som nevnt ovenfor og programmer direkte knyttet opp mot printerne (f.eks. *Magics RP*).

Veggykkelse

- Veggykkelse er ikke vanlig å ta hensyn til i 3D-modeller, ettersom det ikke er nødvendig for den virtuelle modellen. En slik modell er ikke bygget opp av et materiale, og blir heller ikke påvirket av eksterne krefter. Fysiske objekter derimot, krever konstruksjon og materiale som gjør den stabil og fungerende. Veggykkelsen kan enten være tykk og solid, eller lett og bøyelig.

Uthuling

- Det er anbefalt å hule ut modellen der det er mulig. Ett bygg kan f.eks. være formet som en kloss. Denne klossen kan gjøres hul på innsiden. Dette vil spare mye unødvendig arbeid for printerne. Slik kan materiale spares, og deformasjoner hindres, men det burde også utformes en måte å tømme den hule innsiden for ubundet materiale, ved å lage ett eller to hull inn til det hule området. Eventuelt kan det hule områdene være åpent fra undersiden, hvis dette er aktuelt.

Unngå flat geometri

- Flat geometri fungerer optimalt så lenge størrelsen holdes under A4-ark størrelse. På dette nivået kan modellen igjennom printeprosessen begynne å deformere seg.

Bevegelige deler

- Det er fullt mulig å printe bevegelige deler. Dette krever at det er en viss avstand mellom delene. Jo større mellomrom, jo mindre friksjon. Det er anbefalt å ha en minimumavstand på 0,4 mm mellom overflatene.

Overflater

- Helt blanke overflater vil kunne gi synlige merker av produksjonslagene etter print. Dette kan i ettertid slipes vekk, men en annen løsning er å konstruere en ujevn overflate på modellen. Slik vil ikke produksjonslagene bli synlige i sluttresultatet.

Sammensetting

- Ved sammensetting av deler etter print, vil ikke delene passe perfekt sammen slik de gjorde digitalt. For at delene skal passe kan de slipes, eller det kan legges inn en avstand mellom delene på minst 0,6 mm.

Detaljer

- Detaljer som f.eks. bokstaver, burde ha en tykkelse på minst 0,8 mm. Dette for å gjøre dem godt synlig i modellen. Bokstavene burde ha en høyde på 3 mm slik at alle bokstavers egenskaper skal kunne konstrueres.

3.7. Filformater

ASCII (American Standard Code for Information Interchange)

En standard for utveksling av tekst mellom datamaskiner. ASCII-standarden består av små og store bokstaver samt tall og flere tegn. 7 bit brukes til koder, dermed tillates koding av 128 mulige verdier. For utveksling av data knyttet opp mot tradisjonell landmåling, er denne standarden gunstig, ettersom det i hovedsak dreier seg om punkter, vinkler, koordinater, kvalitetsverdier og ID-nummer. Dermed kan denne brukes til punktskyer og mesh-filer. PTS-formatet, STL-formatet og KOF-formatet er geomatikkrelaterte formater som bruker ASCII-standarden. Til større datamengder kan formatet bli tungt å jobbe med, og binær lagring vil være mer gunstig ettersom det lagrer data mer kompakt. (Webopedia 2014)

Binært format

En binær fil er i motsetning til en ASCII-fil ikke en tekstfil. I det binære filformatet lagres data mer direkte enn i ASCII, ettersom det kun består av en strøm med bits (0 og 1) og kan derfor behandle store mengder data mer effektivt, samtidig som det tar mindre plass enn ASCII-data. En binær fil er bygget opp av koder, der ingen restriksjoner finnes, og dermed kan alle de 256 verdiene brukes i hver byte. Disse filene kan ikke leses direkte av mennesker, men må prosesseres igjennom programvare. Flere geometriske filformater har muligheten til å lagre data både i ASCII- og binærformat. Store filer, som f.eks. punktskyer og triangeldata bør lagres binært for å oppnå en bedre dataflyt. Mindre filer, som f.eks. måledata fra totalstasjon eller GPS, kan enkelt lagres i ASCII-format uten at det påvirker dataflyten.

(Hunter D m.fl. 2007)

PTS

Formatet presenterer punktskyer på en simpel, forståelig måte. Hvert punkt lagres på hver sin linje i en tekstfil. Linjene består av minst 3 verdier, som er koordinater i X, Y og Z. De resterende verdiene på linja kan være kvalitets- og signifikansnivå, samt fargeinformasjon. Om PTS-filen inneholder kun koordinatinformasjon, kan den skrives med forlengelsen “.3d”. En PTS-fil er med andre ord en 3d-fil med tilleggsinformasjon. Formatet beholder dermed ikke noe original skann-informasjon. (Kiesow L 2014)

STL (STereoLithography)

Formatet er også kjent som Standard Tessellation Language. Det er stort sett brukt for Rapid Prototyping, ettersom formatet kun inneholder overflater. Bestående av 3D-flater bygget opp av triangler i forskjellige størrelser, orientert til å skape geometriske figurer, kan dette filformatet gjenskape 3D-modeller prosessert i CAD, CAE og CAM systemer. Etter en konvertering til STL vil kun overflatedata bli beskrevet, uten noen form for farge, tekstur eller andre vanlige CAD-egenskaper. STL-filer vil kunne være tilpasset med egenskapene nødvendig for å gjenskape digitale 3D-modeller i fysisk form. En rekke programvare støtter i dag STL-formatet. Inkludert *3DReshaper*, *Geomagic Design X*, *Revit* og *3DStudio Max*. Preprosesseringsprogram for 3D-printing (f.eks. *Materialise Magics*) kan enkelt håndtere STL-formatet for videre tilpasning før printing. Formatet kan representeres både binært og i Ascii-format, der den binære utgaven er mer brukt ettersom den er mer kompakt. (3Dsystems 2014)

XML (Extensible Markup Language)

XML er et verktøy for utveksling av strukturert data mellom informasjonssystemer. Formatet er et universelt og utvidbart markeringsspråk som organiserer data i en hierarkisk struktur. XML er et veldig fleksibelt tekstformat i forhold til f.eks. ASCII.

(Hunter D m.fl. 2007)

3.8. Verktøy

3.8.1. Skannere

Leica P20 er en pulsbasert laserskanner som skanner opptil 1 million punkter per sekund. Skanneren kan brukes opptil 120 m, og har en posisjonsnøyaktighet i 3D på 3 mm ved 50 m avstand; 6 mm ved 100 m avstand.

Leica Nova MS50 er en multistasjon, det vil si totalstasjon med skanner og mulig kobling til GNSS. Denne skanner opptil 1000 punkter/sek opptil 300 m, men kan skanne opp til 1000 m. Den måler med 1 mm nøyaktighet ved 50m.

(Leica Geosystems 2013)

3.8.2. 3D-printere

EOS P395

Denne printeren har vi fått mulighet til å bruke i oppgaven, og er basert på et plastikk/metall laser-sintring system. Dette vil si at laser brukes til å binde sammen korn av et materiale i pulverform. Og er den raskeste metoden å bruke for å skape ferdigfungerende produkter ved hjelp av 3D-printer. Printeren brukes i hovedsak til printing av produktdele. Delene den produserer består av høy kvalitet, med pålitelig funksjonalitet, noe som gjør den godt egnet for industribransjen men har et vidt spekter av bruksområder.

EOS P395 har et arbeidsvolum på 34x34x62 cm og kan bygge 3,1 cm med materiale i timen. Materialet kan legges i meget tynne lag, helt ned til 0,06 mm, noe som gir mulighet for godt detaljerte modeller selv i liten skala. Selv om arbeidsvolumet er avgrenset, hindrer ikke dette størrelsen på modell, ettersom man i programvare kan dele opp modeller slik at de etter printing kan kobles sammen. Programvare som brukes er *Magics RP*. (EOS)

3.8.3. Programvare

Leica Cyclone

Dette er Leica's programvare for registrering, modellering, og presentasjon av punktskyer fra laserskanning. Punktskyene kan registreres i globale koordinatsystem og bygger på en databasemodell som tillater rask behandling og visualisering av store datamengder.

(Leica Geosystems 2014)

Geomagic Design X (tidligere Rapid Form)

Denne programvaren brukes innen omvendt konstruksjon og 3D-printing, basert på punktskyer fra laserskanning. Programmet behandler både punktskyer, triangelmodeller og solide CAD-modeller, programmet har mange verktøy for å skape intelligente triangelmodeller ut ifra punktskyer, samtidig kan den behandle store mengder data.

(3Dsystems 2013)

Hexagon 3Dreshaper

Program for behandling av punktskyer og triangelmodeller og konstruksjon av overflater, programmet er kompatibelt med mange filformater b. la. Leica's meshformat, MSH.

(Technodigit 2013)

Magics RP

Programvare for behandling, feilsøking og visualisering av STL-filer til rapid prototyping. Det er mulighet for å dele opp modeller og tilpasse størrelsen til den aktuelle 3D-printerns mål.

(Cadblu 2014)

Se avsnitt 6.2.1. *Valg av programvare* for begrunnelse for bruk av valgte programvarer.

4. Gjennomføring

4.1. Forberedende arbeid

4.1.1. Måleplan

For å få et godt resultat av laserskanning er det viktig å sette opp en god måleplan, hvor man tar hensyn til blindsoner, avstand til skannet objekt, targets, overlapp mellom punktskyer, og forstyrrelser som kan påvirke målingene. Vi endte opp med ti oppstillinger som dekker hele B-, G-, A- og K-bygget. Noen blindsoner så vi på forhånd at vi ville få, men disse mente vi da ikke hadde stor betydning for den endelige modellen. En slik måleplan gjorde skanningen mye mer effektiv enn hva den ville vært om vi skulle finne beste oppstillingsposisjon underveis i målingene.



Figur 15 – Måleplan. Px er oppstillingene våre. Vi har gitt hver oppstilling fargekode, samt at det er mulig å se hvilke skann som vil dekke hvilke overflater.

4.1.2. Målestokk

Målestokken er tilpasset 3D printerens kapasitet gjeldende størrelse og kostnader for utskrift. Da printeren kan skrive ut 340 mm x 340 mm x 620 mm, og området vi vil printe ut er ca. 205 m x 95 m, vil 1:325 gi mulighet til å skrive ut området på to plater. Med denne målestokken vil 1 meter i virkeligheten være 3,25 mm i modellen. 3D-printeren kan skrive ut lag ned til 0,06 mm. Dette vil dekke vårt behov av detaljer, å være et utgangspunkt ved modelleringen.

4.2. Datafangst

4.2.1 Laserskanning

Dette arbeidet ble utført i midten av februar, med lånt Leica P20 skanner og annet skanningsutstyr fra Leica Geosystems v/ Lars Gulbrandsen, samt en Leica Nova MS50 fra Geomatikkavdelingen v/ Høgskolen i Gjøvik for å måle inn eventuelle blindsoner i etterkant.

Vi stilte opp laserskanner i planlagt posisjon jf. vedlegg C, *Måleplan*, og plasserte targets for noen oppstillinger. Targetene må kunne sees av de to oppstillingene som skal settes sammen, targetene kan registreres under skanningen, eller kun brukes som hjelpепункter for lettere sammensetting i etterkant. Ved oppstillingene måtte vi ta hensyn til ulike faktorer; hvilket underlag stativet står på, trafikk rundt laserskanner, andre støykilder som personer, nedbør osv. Ved noen oppstillinger fjernet vi snø og is for å unngå smelting og dermed sig i stativet, dette hadde vi noe problemer med underveis.

Før selve målingene kunne starte måtte vi bestemme hvilken kvalitet og oppløsning vi ville ha på skanningen, dette avhenger av avstand til objekter vi skal ha med i modellen, og krav til hvor detaljert punktskyen skal være. Oppløsningen sier noe om hvor tett punktene blir på en bestemt avstand, vi valgte å bruke 3,1mm/ 10meter på de fleste oppstillingene våre. Det vil si på en avstand på 50 meter vil det være ca. 1,5cm mellom hvert registrerte punkt. Til vårt formål er dette godt innenfor hva vi trenger for å lage en 3D-modell av bygninger og terreng. For å begrense datamengden og få en jevn punktsky valgte vi å redusere oppløsningen på de oppstillinger der avstanden til bygningen var mindre enn 30 meter, til 6,3mm/10m, det vil si ca. ett punkt per 19 mm på 30 meter. Kvaliteten valgte vi å sette på nivå 2, dette betyr at det måles 2 punkter innenfor "ruten" på 1,5 eller 1,9 cm for å kvalitetssikre punktet.



Figur 16 – Leica HDS P20

På den første oppstillingen, P1, plasserte vi tre targets i forskjellige posisjoner og høyder som var felles med tredje oppstilling, P3. Når man skanner med targets kan man registrere targetene inne i laserskanneren under målingene, og gjøre en mer nøyaktig skanning på kun targeten for å kunne velge midten av targeten mer nøyaktig. Inne i programvaren vil da targetene komme opp automatisk, og selve punktskyregistreringen vil gå raskere enn med en

cloud-to-cloud-registrering.

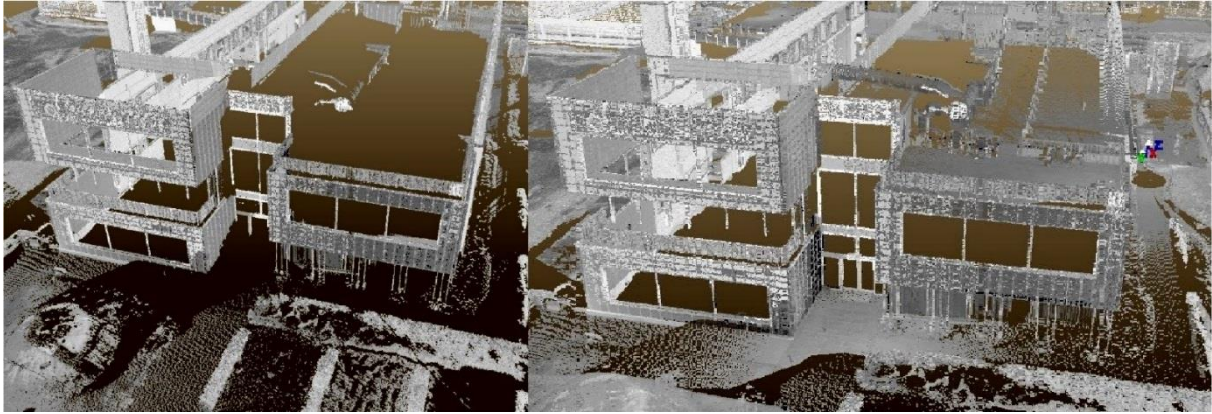
På alle 10 oppstillinger med P20-skanneren valgte vi å skanne 360 grader horisontalt og 270 grader vertikalt, dette gjorde at vi fikk med en del mer unødvendige data i punktskyen, men for å lage en visning i TruView vil dette gi et mer helhetlig bilde på hvordan området ser ut. I tillegg til punkter ville vi også ha bilder av skannet område for å få registrert farge på alle punktene for en mest mulig virkelighetsnær punktskyvisning. Med bilder i full oppløsning og skanning i 360 grader tok hver skanning ca. 15 minutter.

Etter at punktskyene fra P20-skanneren var satt sammen, la vi merke til at vi hadde en del blindsoner hvor vi ikke fikk laserdata. For å gjøre modelleringsarbeidet mer effektivt valgte vi å benytte den nye multistasjonen til Leica; Leica Nova MS50, for å skanne områder hvor vi manglet data. Dette utstyret har en skanningsfunksjon som kan skanne opptil 1000 punkt/sek på inntil 300 meters avstand, til vårt modelleringsformål er dette godt nok. Under skanningen valgte vi en punkttetthet på 5- og 7 cm på de områdene som ligger lengst unna skanneren, punkter nærmere dette vil få en større punkttetthet. Se vedlegg E, *Datablader* for mer informasjon om MS50 og P20.

Framgangsmåten og tankemåten ved bruk av multistasjonen er veldig lik som med P20, den største forskjellen er at MS50 er tregere under skanning enn hva P20 er, samt at MS50 er lettere å frakte med seg med tanke på størrelse og vekt. MS50 har også en funksjon som kan avgrense skannområdet etter eget ønske. Ved å markere et polygon på skjermen der siktebildet vises, vil vi få et skann konsentrert rundt det området vi trengte. Her var det viktig å også skanne noe geometri vi allerede hadde i punktskyen, for å kunne bruke en cloud-to-cloud løsning ved senere sammensetting av punktskyene. Vi endte til slutt opp med 17 ekstra oppstillinger, til sammen utgjør dette 27 oppstillinger rundt skolebyggene. Ved å gjøre dette klarte vi å få ekstra terrengdata rundt bygningene, samt en komplett punktsky av byggene, bortsett fra enkelte takkonstruksjoner.



Figur 17 - Leica Nova MS50



Figur 18 - Dødsjoner fra skanning med P20, og modell komplettert med skann fra MS50

I den nyeste versjonen av *Leica Cyclone*, er det implementert en løsning for å importere skannedata i XML-format fra Nova MS50. De nye punktdataene ble importert og satt sammen med de eksisterende dataene. For at disse skal oppføre seg som én punktsky må det kjøres en *unify*-prosess, denne fjerner doble punkter og man får derfor en modell som lettere lar seg triangulere riktig.

4.3. Databehandling

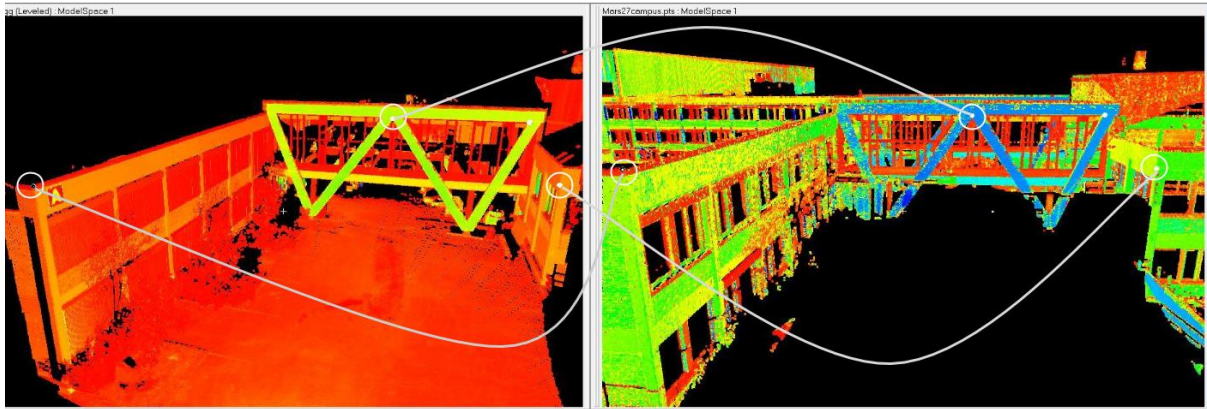
4.3.1. Behandling av punktsky

1. Punktskyene ble importert sammen med bilder i *Leica Cyclones* programvare for rådataimport. Hvert punkt i punktskyene fikk tildelt en RGB kode fra bildene som ble lagt til X-, Y- og Z-koordinatene for hvert punkt.

2. Registrering brukes for å sette sammen punktskyene fra hver oppstilling, i et felles koordinatsystem. Vi valgte å bruke to forskjellige metoder for registrering, cloud-to-cloud og registrering med targets.

Når en registrering skapes med cloud-to-cloud metoden, velges tre felles punkt fra to punktskyer med overlapp som skal settes sammen. Punktskyene kan flyttes og roteres rundt 3 akser, derfor er det nødvendig med 3 felles punkter, disse punkter bør være spredde både vertikalt og horisontalt, for å låse punktskyene i alle seks frihetsgrader. Det er også nødvendig

med tilstrekkelig overlapp mellom punktskyene, her er 20 % er anbefalt.



Figur 19 – Registrering av punktskyer i Leica Cyclone

Ved å bruke targets velges de som *constraints*, dvs. at punktskyene tvinges sammen basert på de felles targetene.

Da alle oppstillingene var satt sammen til én komplett punktsky, kontrollerte vi flater og detaljer visuelt. Dette kan gjøres ved å visualisere de forskjellige punktskyene i ulike farger slik at man kan lokalisere enkeltoppstillinger som ikke er satt sammen godt nok.

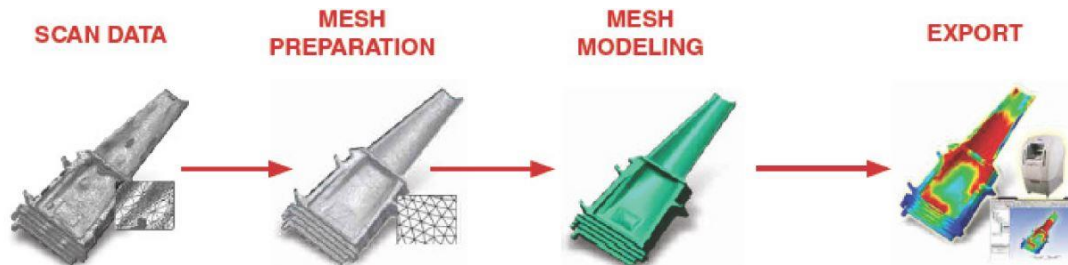
3. All data utenfor området som skulle modelleres ble fjernet. I tillegg fjernet vi unødvendig data, fra f.eks. biler, mennesker og nedbør. Vi fjernet også objekter som ikke ville være mulig å skrive ut med 3D-printeren, i vår målestokk. Branntrapper og trær ble fjernet fordi det ville vært umulig å innhente tilstrekkelig datamateriell. Gjerder og flaggstenger ble fjernet da de ville bli for tynne i den printede modellen.

4. Kommandoen *Unify* brukes for å sette punktskyene sammen til én punktsky med et felles koordinatsystem. Punktskyen siles og effektiviseres også i denne prosessen. Dette skaper en punktsky som er enklere å behandle. Med denne kommandoen kan også punkttettheten reduseres for å begrense datamengden til punktskyen. Vi valgte her å redusere antall punkt med 75 % for å få en håndterlig datamengde med tilstrekkelig detaljnivå. Dette fant vi ut ved at vi prøvde ulike grader av forenkling frem til at resultatet ble godt nok, og modellen var overkommelig å arbeide med i forhold til datakapasitet.

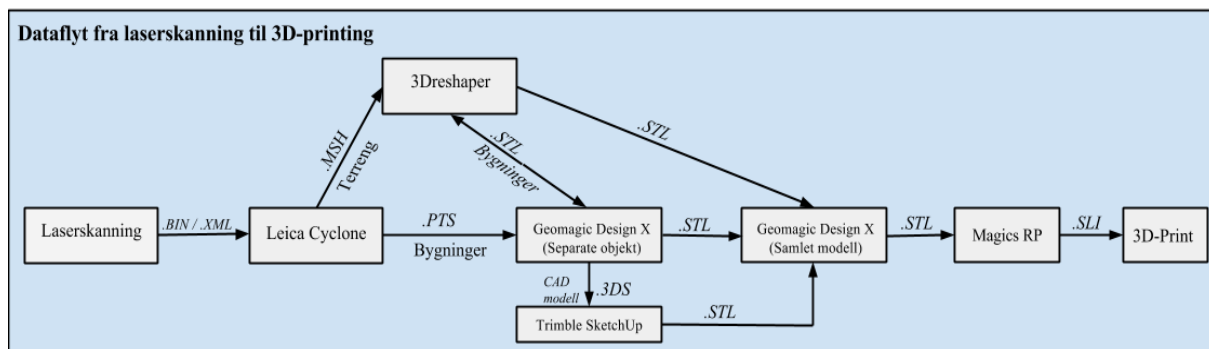
(Green, Vance. 2012)

4.3.2. Modellering

Modelleringen foregikk i perioden 5. mars til 9. mai. I modelleringsfasen ble punktskyen prosessert og omgjort til en vanntett overflatemodell bygget opp av triangler. Dette kalles en triangelmodell, og denne skal være én fullstendig overflate, samt oppfylle de krav som stilles for 3D-printing.



Figur 20 – Modelleringsgang 3Dsystems©

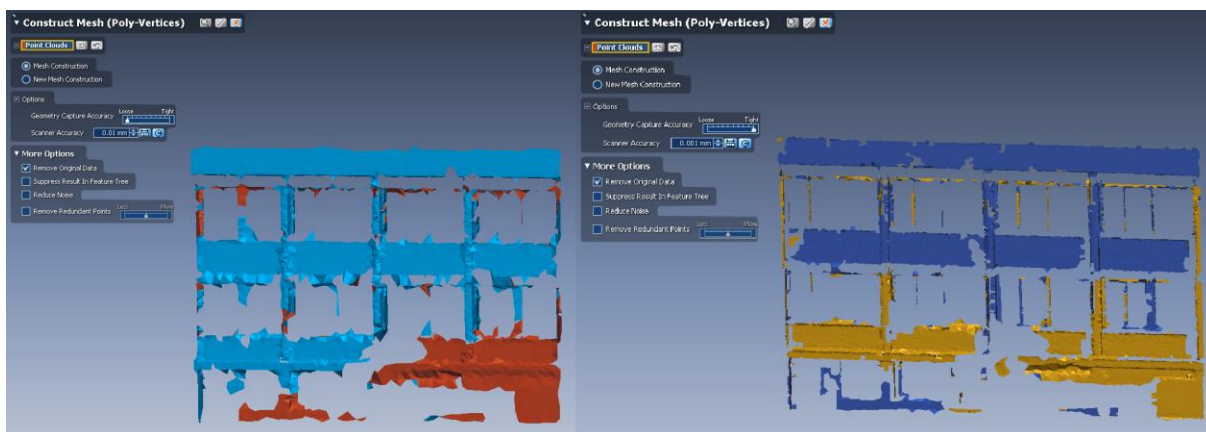


Figur 21 – Dataflyt til 3D-printing

Vi valgte å dele modelleringsprosessen opp i to hoveddeler, der byggene og terrenget ble behandlet hver for seg. Terrenget ble behandlet med mindre detaljnivå, mens byggene er mer detaljerte. Slik kunne vi bygge en modell med færre triangler, og dermed mindre datamengde, samtidig som de viktigste overflatene ble spart.

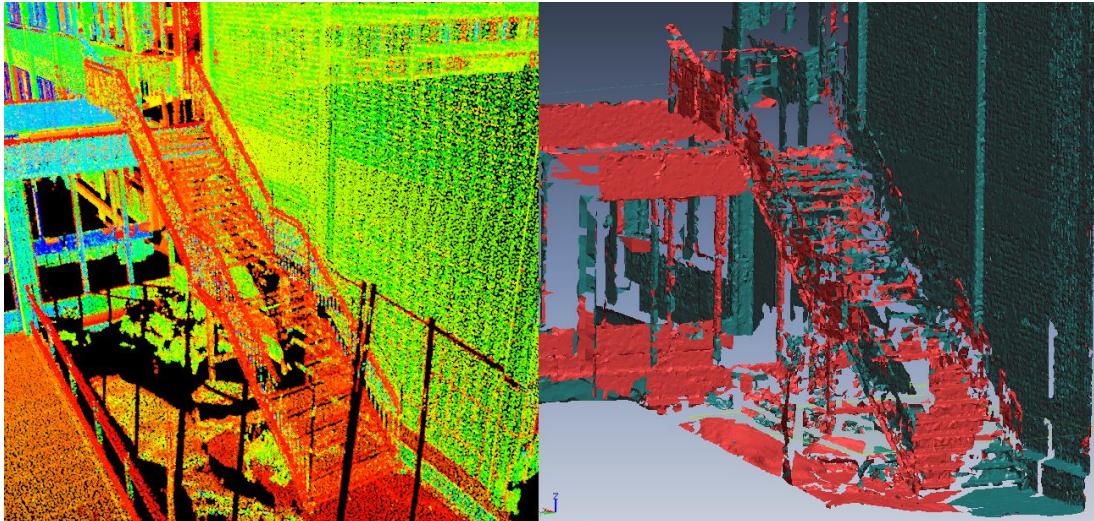
Bygninger

Bygningene ble eksportert fra *Leica Cyclone* i 5 separate punktskyer. Importert i *Geomagic Design X* genererte vi triangelmodeller av bygningene sammen med litt omkringliggende terreng. I trianguleringsprosessen delte vi hvert bygg opp i flere deler, der de ble triangulert basert på best egnede innstillinger for det bestemte området. F.eks. vil vi på områder med få punkter og dårlig detaljnivå, la programmet lage store triangler, slik at overflater blir dannet selv med mangel på punkter. Der det er lite data er det i hovedsak viktigst å i det hele tatt få generert overflater, selv om de ikke er helt nøyaktige. Her bruker vi da upresise og tolerante parametere for generering av triangelmodell. I områder med mye punktdata, vil vi ha «stivere» og strengere parametere ettersom dette ikke tillater dannelse av store polygoner og flytting av punkter for å oppnå polygondannelse. På disse områdene er det tett nok data til å gjenskape overflater slik de er i utgangspunktet. Ulikheter i byggets tetthet og geometri gjør altså at tilpassede innstillinger for triangelmodellgenerering på forskjellige områder gir et optimalt resultat.



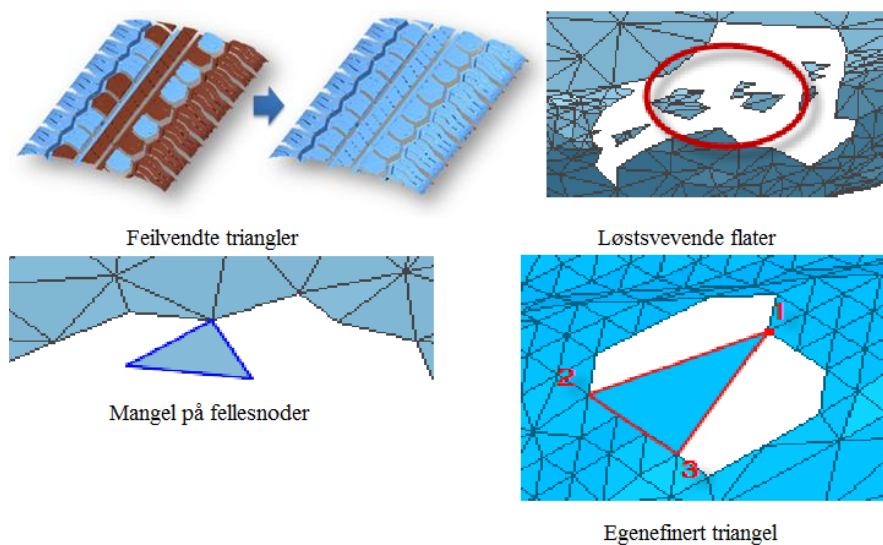
Figur 22 - Resultat av generering av triangelmodell med forskjellige parametere. Detaljer blir skarpere og mer markerte ved stivere og strengere parametere. (Bilde til høyre)

Noen detaljer fra punktskyen er for komplekse til å trianguleres i *Design X*. Metalltrapper, gjerder, benker, busker og rør får flere steder ikke gjenskapt riktig geometri selv med forskjellige innstillinger. Disse objektene blir utelatt, ettersom de blir triangulert med ulogisk oppbygning, og er meget krevende å utnytte.



Figur 23 - Generering av triangelform for komplekse detaljer. Selv om punktskyen viser en lett synlig og godt detaljert trapp, har Design X vanskeligheter med å gjenskape denne geometrien.

Der vi manglet data fra laserskanningen lagde vi egendefinerte triangler og strukturer, spesielt takkonstruksjoner. Dette ved hjelp av verktøy internt i programmet, samt CAD-programmet *Trimble Sketchup*. Dette kombinerte vi til å bli en del av den samme modellen. For å skape en vanntett og feilfri modell brukes forskjellige verktøy i *Design X*, blant dem *healing tool* og *find defects*. Disse verktøyene finner og reparerer triangler i nettverket som ikke stemmer med reglene for triangelformen. Dette være triangler uten fellesnoder med andre triangler, løstsvevende flater, feilvendte triangler og strukturer som er for tynne til å kunne bli med i en 3D-print.



Figur 24 - Reparering av modell

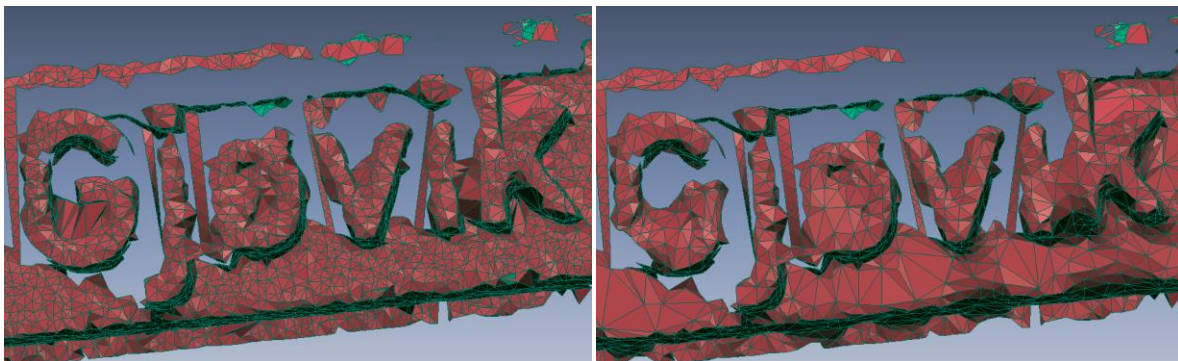
For fylling av hull i triangelmodellene brukes både automatiserte og manuelle fyllemekanismer internt i programmet, samt *3Dreshaper* da den har enkle og raske funksjoner for å skape vanntette modeller. Små dødsoner fra punktskyen, som f.eks. skygge fra en bjelke over et vindu, ble til hull i triangelmodellen, som ble fylt og jevne overflater ble trukket over de tomme områdene. Disse var såpass små, at de ville være vanskelig å spotte i den fysiske modellen. Flere steder i modellen befant det seg også ujevn geometri. Dette ble jevnet ut ved å bruke utjevningsverktøy i programvare. (Opitz, Rachel. 2012)



Figur 25 - Utjevning av geometri

Da de separate triangelmodellene var renest, fylt og finpusset, satte vi de sammen til en og samme modell. Strukturen til enkeltvegger sattes sammen og dannet et lukket bygg. Hull og deformasjoner i denne prosessen bearbeides og en ny gjennomgang med *healing tool* ble gjort på modellene.

Antallet triangler i modellene måtte reduseres til en grad hvor en senere eksport til .stl resulterer i en modell som er liten nok til å importeres og prosesseres i Magics RP. Dette gjøres med *decimate*-verktøyet i Geomagic. Verktøyet tynner ut antallet triangler, og gjør modellen grovere detaljert, derfor er det viktig å ikke tynne modellen for mye ut. «Når en stl-fil lages, er målet å oppnå en balanse mellom uhåndterlig filstørrelse og veldefinert modell med jevn geometri» (Bastech, Inc 2014) Verktøyet ble brukt både på de sammensatte byggene, og til slutt hele modellen.



Figur 26 - Detalj fra modell med respektive 16 og 8 tusen triangler.

Punktsky til CAD-modell

For å kunne utnytte enda en metode i dataflyt valgte vi å modellere nybygget mellom A- og G-bygget i *SketchUp*. Her brukte vi en triangelmodell av bygningsdelen som vi tegnet en Sketchup-3D-modell ut i fra og eksporterte som STL-fil via *3DStudio Max* til *Geomagic Design X*. Her reparerte vi modellen ved å gjøre den til én enkel overflate, fylte hull og snudde på triangler slik at det ble samspill mellom innside og utside.

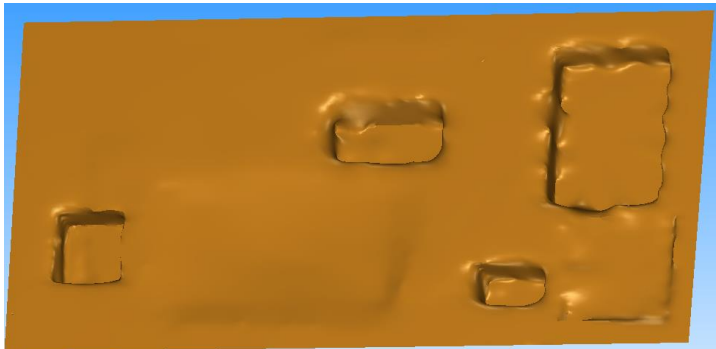
Terreng

Bygninger og terreng må trianguleres med forskjellig detaljnivå. For å skape en helhetlig terrengmodell brukte vi trianguleringsverktøyet i *Leica Cyclone*. *Cyclone* er ikke særlig egnet til å triangulere punktskyer, men fungerer godt når vi vil skape en mindre detaljert modell der alle områder uten data dekkes. Videre ble terrenget eksportert til MSH hvor den i *3Dreshaper* ble åpnet for eksport til STL-format, som er kompatibelt med *Geomagic Design X*. Vi justerte terrenget med forskjellige verktøy for å skape realistiske overflater der det mangler data grunnet støy. Der hvor bygningene skulle plasseres, ble overflaten fjernet for videre å kunne sette alt sammen til en samlet modell.

Samlet modell

Alle byggene og terrenget er så langt separate prosjekter. Hvert prosjekt ble eksportert til STL-formatet. *Design X* har muligheten til å importere disse STL-filene til ett og samme prosjekt, og koble dem sammen.

For å så skape en modell som er kompatibel med 3D-printing skapte vi en solid underflate med hulrom i bygningene. Avstanden mellom overflaten og hulrommet ble modellens tykkelse. Tykkelsen varierer over hele modellen, da vi ikke fikk brukt parametere til å danne en underflate som har en jevn avstand til overflaten. For å unngå store jevne flater lages det ujevnheter på underflaten.



Figur 27 - Underflate av modellen

Fysisk 3D-modell av campus

Modellen er nå en fullstendig overflatemodell. En ny rensing av deformasjoner ble gjort, og modellen ble kontrollert for tynne områder, som stolper og gjerder der tykkelsen er mindre enn det printereren kunne forme.

Til slutt ble modellen eksportert i STL-format, til videre prosessering for 3D-printing i *Magics RP*.

4.3.3. Printing

Den første printingen ble startet fredag 9.mai, den andre på tirsdag 13. mai. Årsaken til tre printinger er at printeren ble avbrutt midt i prosessen av uvisse grunn. Dette gjorde at modellen ikke ble ferdig og feil måtte lokaliseres. Kun takkonstruksjonene av A- og G-bygget kom med ved første runde. Den andre runden fikk vi en komplett modell av den ene halvdel, som besto av B- og G-bygget med tilhørende terreng. Denne modellen gir oss nok grunnlag til å vurdere modelleringsmetoden og fullstendig fysisk modell. Årsaken til denne feilen skyldes ikke vår modell, men en feil i printeren eller systemet rundt. I denne fasen av oppgaven fikk vi ikke gjort noe annet enn å være med å se på hvordan man importerer og redigerer modellen i programvaren til printeren.

3D-printeren stiller enkelte krav til hvordan modellen skal være før printing. Modellen blir tatt inn i programvaren Magics som STL-format der den fikk justert skalaen, lagde en SLI-fil og plasserte denne i et avgrenset område tilsvarende printerrommet.



Figur 28 – EOS P 395

Vi hadde i *Geomagic Design X* justert målestokken ned til et nivå hvor modellen måtte deles i to deler for å få plass i printeren. Noen finjusteringer av størrelse måtte til for at den passet perfekt i det prosjekterte kammeret. Modellen ble delt på midten for at begge delene skulle bli med. Denne skøyten vil ikke bli veldig synlig da modellen har en tykkelse som gjør at man får et større overlappområde til å lime delene sammen, samt at tykkelsen gjør modellen mer stabil og det vil da være lettere og plassere delene perfekt. De to «platene» ble så plassert over hverandre i printerområdet sammen med flere deler som skolen skulle printe i andre prosjekter.

3D-printeren leser SLI-filer når den printer. En SLI-fil er en fil som inneholder tverrsnitt av en modell, tverrsnittene i printeren tilsvarer minste mulig størrelse printeren kan bygge. I denne 3D-printeren kan man printe lag ned til 0.06 mm, det blir da dannet lag hver 0.06 mm i SLI-filen. Man får sett en animasjon i hurtig tempo hvor den går gjennom alle lagene nedefra og opp, her kan man se om modellen er tett og har en tykkelse nok til at den blir printet ut og er sterk nok til sitt bruk. SLI-filen ble så sendt til printeren og den startet en prosess med en oppvarming før selve printingen.

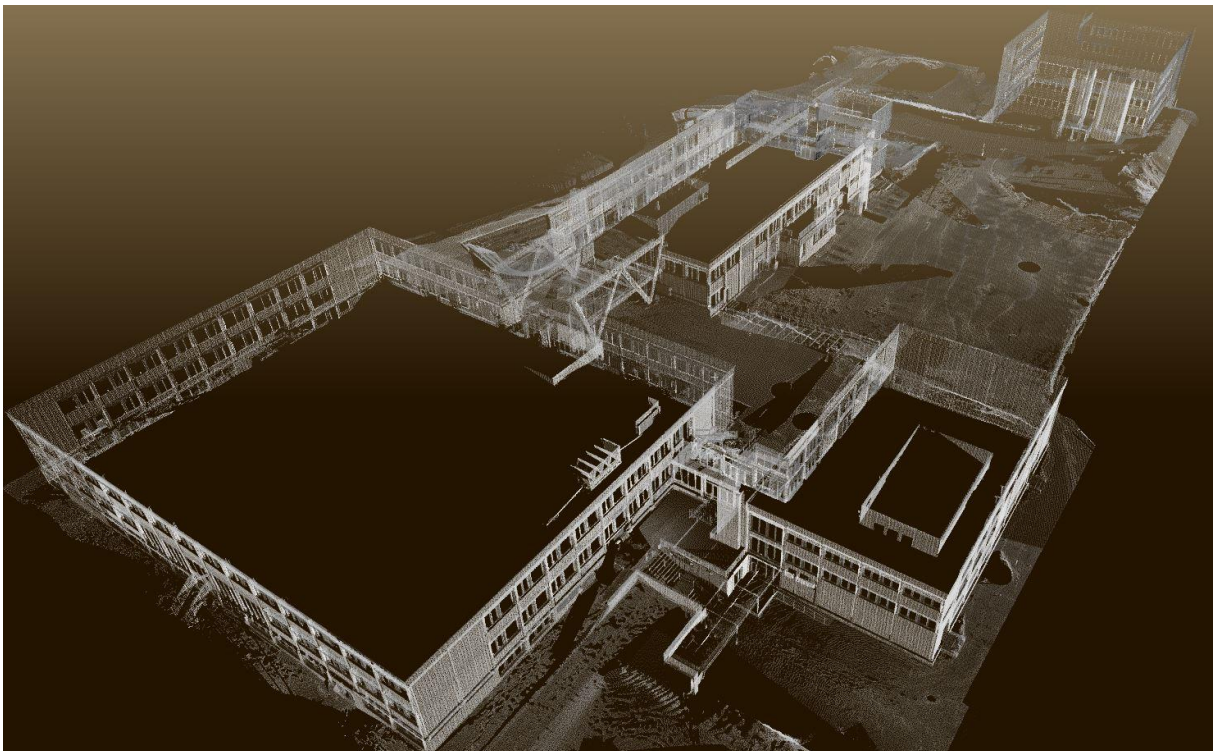
Rundt de printede elementene ligger det et finkornet polymerpulver som brukes for å bygge modellen, pulver som ligger der hvor ikke laseren smelter pulver vil ligge igjen som støtte til modellen. For å få tak i modellen må man grave den fram og etterpå rengjøre den for dette pulveret. Polymerpulveret er veldig finkornet og samler seg i alle små hull og detaljer i modellen. Modellen blir derfor glassblåst og kan senere bli skylt i vann for å fjerne det meste av pulveret.

5. Resultat

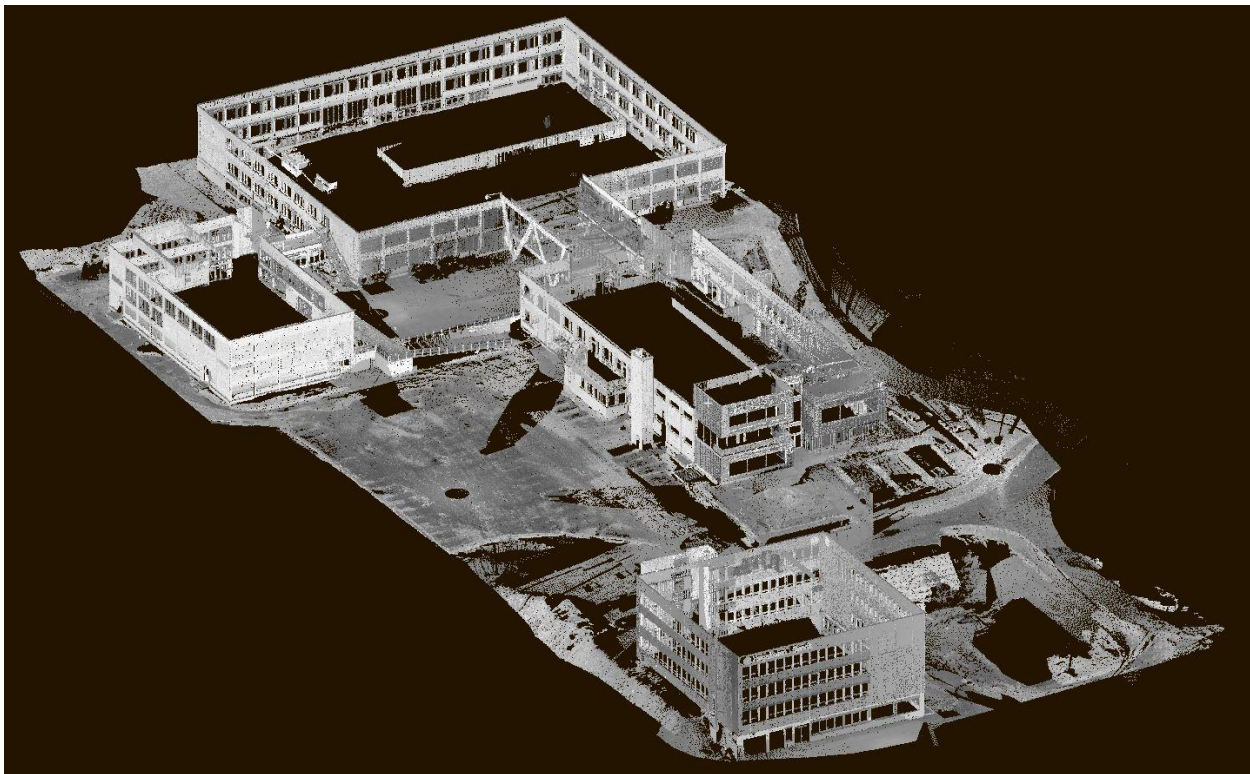
Det fysiske resultatet består av en fysisk 3D-printet modell basert på en digital triangelmodell av et område på Høgskolen i Gjøviks campus. Dataene er basert på punktskyer fra bakkebasert laserskanning.

5.1 Punktsky

Den endelige punktskyen er sammensatt av 27 oppstillinger, og inneholder 13,7 millioner punkter etter at støy og irrelevant data er blitt fjernet.



Figur 29 - Bilde av samlet punktsky



Figur 30 - Bilde av samlet punktsky

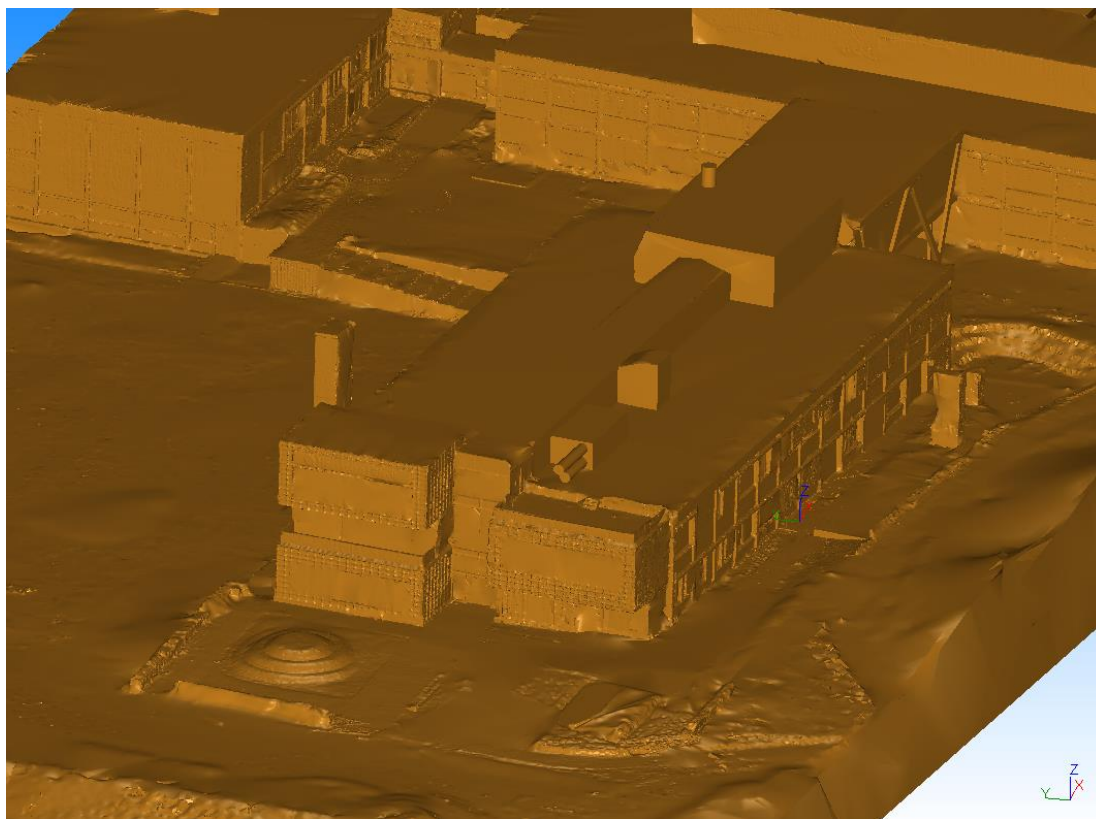
For å bedømme hvor godt punktskyene er satt sammen ser man i registreringsrapporten fra *Cyclone*. De viktigste verdiene er *RMS*, som tilsvarer standardavvik og sier hvor langt unna de valgte registreringspunktene ligger unna hverandre mellom de to punktskysettene. Den andre verdien er *Average error* som er en gjennomsnittsfeil i punktene i overlappen. Siden vi har brukt to ulike instrumenter er det i tillegg interessant å se på forskjeller i nøyaktighet de to imellom.

Se Vedlegg D for registreringsrapporter fra Leica Cyclone.

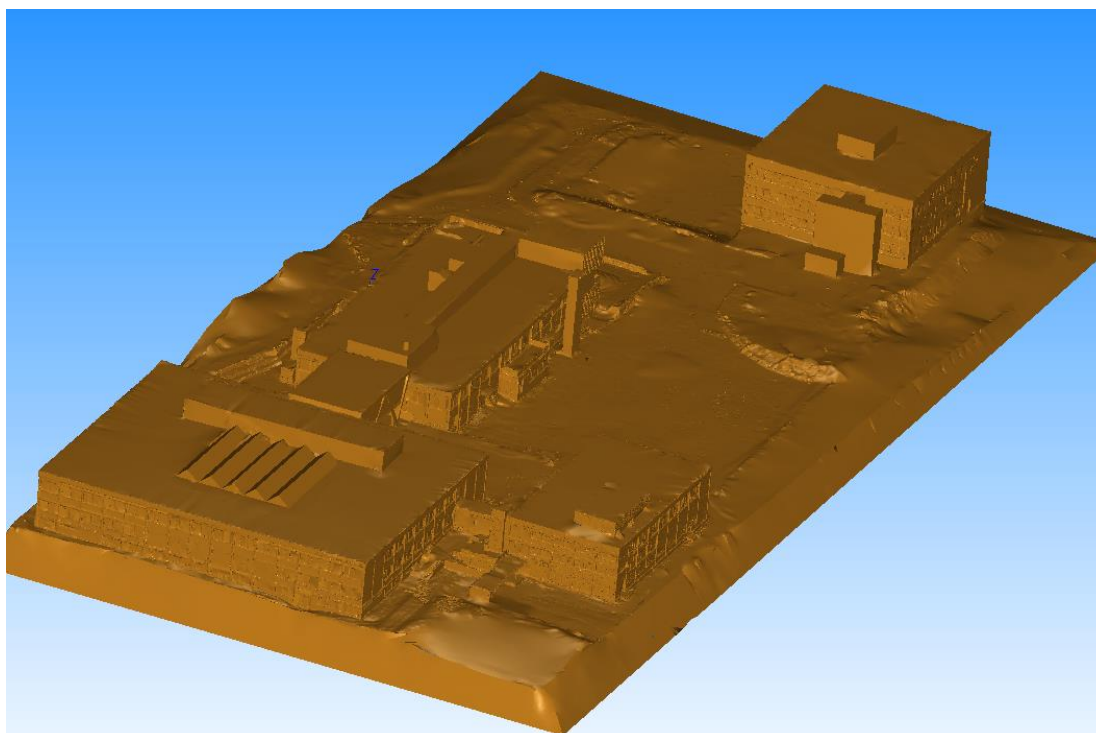
Av rapporten til MS50-punktskyen kan vi se at den har en gjennomsnittlig punktfeil på rundt 1cm mot P20s rundt 2cm. Den lengste avstanden programvaren måtte lete for å finne felles punkter var med begge instrumenter like i underkant av 10 cm. En slik verdi er til vårt formål god nok. RMS-verdien, er i MS50 på 0.019 m kontra P20s rundt 0.03 m i snitt. En grei regel her er at dette tallet bør være 10 % mer eller mindre enn punktavstanden. Våre målinger har en punkttetthet på 3.1mm på 10 meter på de fleste oppstillinger, punktskyene er da godt nok satt sammen basert på denne regelen. (Green, Vance. 2012)

5.2 Digital modell

Triangelmodellen består av ca. 4,7 millioner triangler og er tilpasset 3D-printing.



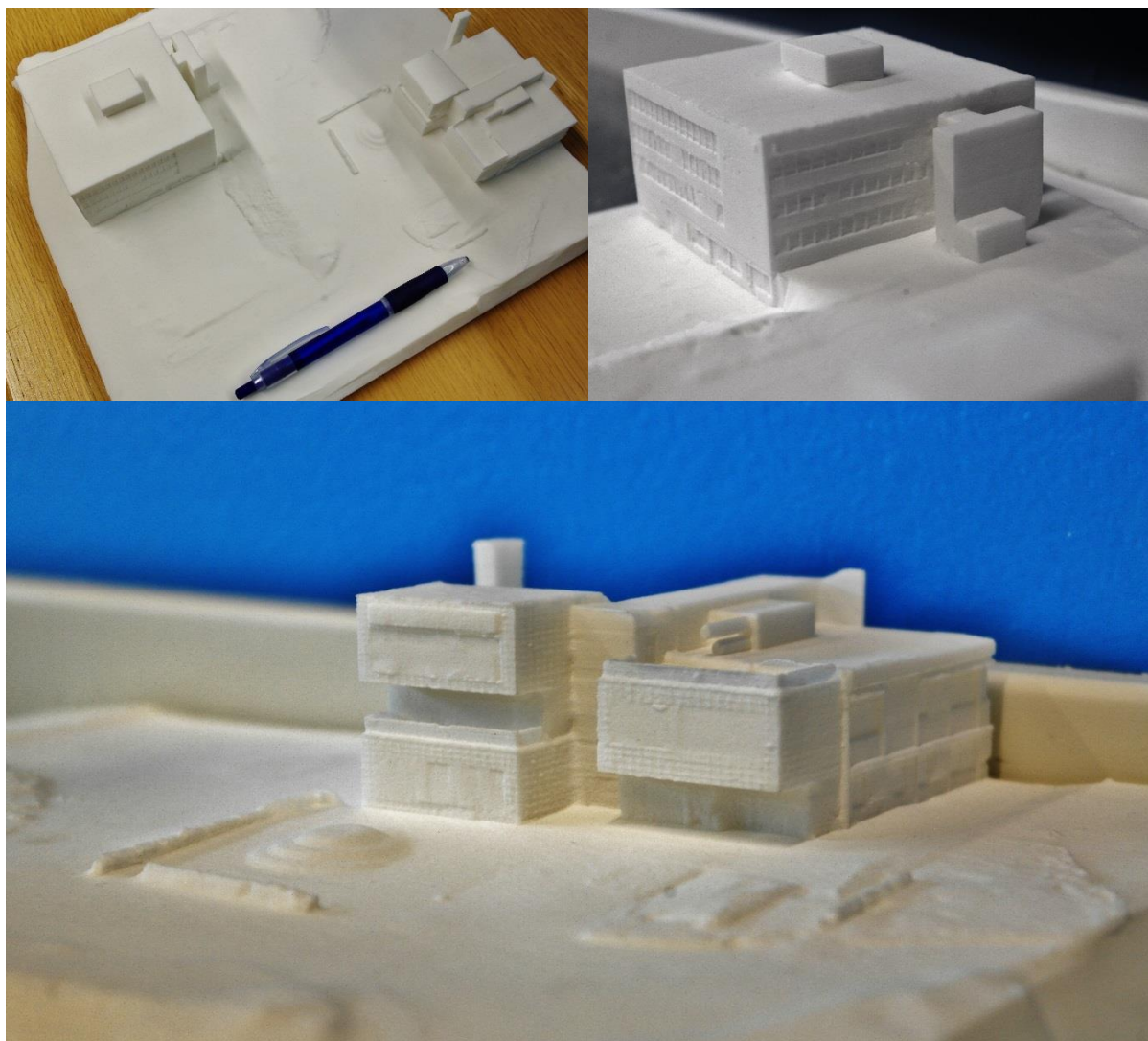
Figur 31 - Ferdig triangelmodell



Figur 32 - Ferdig triangelmodell

5.3 Fysisk modell

Den fysiske 3D-modellen skal være sammensatt av to plater og blir da 30x60 cm, det vil si skala 1:325. På bildet vises kun én plate, á 30x30cm, da den andre halvparten ikke kunne ferdigstilles i printeren før etter rapportinnlevering.



Figur 33 - Bilde av utskreven modell.

6. Drøfting

Underveis i arbeidet har vi hatt en del utfordringer og problemer. Disse utfordringer, andre forbedringspotensialer og metodevalg drøftes i dette kapitlet.

6.1. Datafangst

Laserskanning fungerte godt som datafangstmetode. Vi samlet mye data på en rask og enkel måte, med høy nøyaktighet og presisjon. Noen av utfordringene og problemene i vårt feltarbeid diskuteres her videre.

Ved å ha flere oppstillinger med P20-skanneren ville vi forenklet arbeidet med modellering, da den tiden som vi bruker i felt, er vesentlig mye mindre enn tiden det tar å konstruere detaljer i modellen i ettertid. For å fylle inn all vesentlig geometri i modellen var vi nødt til å gjøre 17 ekstra oppstillinger, med MS50. Flere oppstillinger ville i sin tur lede til enda større datamengder å behandle, som måtte vurderes i forhold til formål og datakapasitet. Formålet var fullstendigheten av modellen.

Størrelsen på den endelige punktskyen ble imidlertid lik, da vi bruker *unify*-verktøy i Leica *Cyclone*, hvor punkttettheten bestemmes og utjevnes. Punkttettheten bestemmes i forhold til krav og formål i det aktuelle prosjektet.

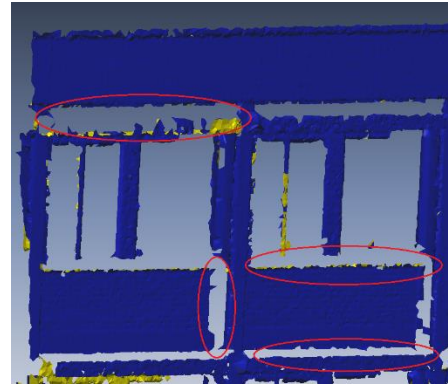
Vi testet flere grader av forenkling for å finne laveste punktetthet hvor modellen fortsatt oppfylte våre kriterier for detaljnivå. Dette for å skape en så lett håndterlig modell som mulig, da store datamengder er svært krevende å arbeide med.

Ved å kombinere punktskyer fra forskjellige instrumenter vil vi ha ulik nøyaktighet i modellen, da dette ikke spiller noen rolle for vår modell, er det ikke noe problem, men det kan være nødvendig å vekte forskjellig ved f.eks. deformasjonskontroller.

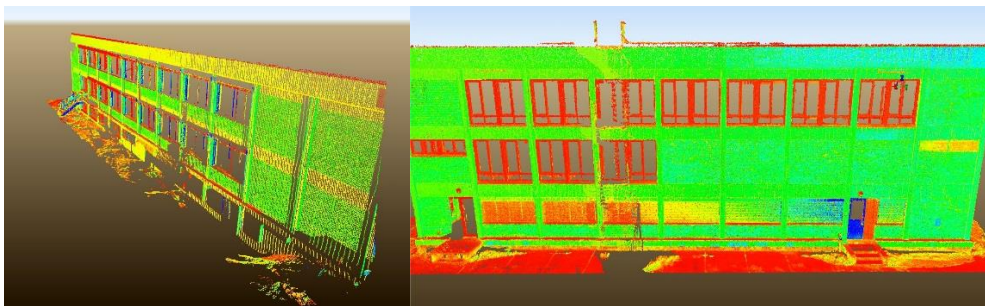
Ettersom modellen er basert på bakkebåren laserskanning, er takene på byggene ikke registrert, og danner dermed ikke en fullstendig dokumentasjon av området. Det ville være nyttig å måle inn takene for å få en fullstendig modell.

Dersom vi georefererte punktskyene ville dette gitt oss muligheten til å skape en forenklet terrengmodell ved å kun måle inn terrenglinjer med RTK, og plassere de på riktig plass i modellen. Georeferering ville også gjort det lettere å sette forskjellige skann sammen til én punktsky, men selve nøyaktigheten av sammenkoblingene ville avhenge av oppstillingens georefereringsnøyaktighet, og ikke av indre pålitelighet mellom skannene.

Ved å bruke skråsikt dekker vi et større areal enn å stille opp rett framfor hvert bygg. Fordelen med skråsikt er da at færre oppstillinger kreves. Dette kan spare tid og penger. Skråsikt forenkler også muligheten til å overlappe skann i registreringen. Det leder imidlertid til noe mye av detaljer da færre laserpulser vil treffe objektet fra en skråvinkel. Små skyggeområder dukker også opp der geometrien stikker litt ut fra fasaden. Vi trodde det ville bli kompensert for ved bruk av Leica's P20 skanner som er meget pulsintensiv, og ved overlapp av skann. Likevel blir modellen tydelig bedre der hvor vi skanner rett mot fasadene.



Figur 34 - Illustrasjon av blindsoner grunnet skråvinkel.



Figur 35 - Illustrasjon av detaljnivå av skann fra skråvinkel og rett vinkel med lik oppløsning.

Under den første runden med laserskanning hadde vi et problem med at laserskanneren bevegde seg ut av kompensatorens område. Det som da skjedde var at skanningen ble avbrutt og den måtte kjøres på nytt. Vi fant ut at dette skyldes enten at føttene på stativet ikke var godt nok skrudd sammen, eller trafikk som kunne skape vibrasjoner i bakken og videre i stativet. Vi hadde det samme problemet ved en oppstilling da vi brukte multistasjonen, men da den var altfor skjev stoppet skanningen, slik at vi kunne vatre opp på nytt og gjenoppta skanningen der den stoppet. En god funksjon som det er rart ikke P20-skanneren har.

En ulempe med laserskanning av fasader er at laseren ikke reflekteres mot vinduer. Uten dette blir det tomrom, alternativt støy innefra bygningen. Dette er imidlertid ikke noe direkte problem, men medfører merarbeid ved modellering. Speil og vinduer er et kjent problem innenfor laserskanning, ettersom det misleder laseren. (Pu S, Vosselman G 2007)

Vi har skannet ved flere tilfeller og dette medfører en viss unøyaktighet ved sammensetting. I tillegg er mesteparten av datafangsten utført da det var en del snø på bakken og fasadene. Dette medfører en del komplikasjoner når punktskyen skal trianguleres. Programmene tolker de forskjellige bakkepunktene (med og uten snø) som to under- og overflater. Dette skaper redundant data i modellen, som må tolkes og filtreres for å danne en sammenhengende overflate. Det burde derfor vurderes om et område skal skannes to ganger ved manglende data. Ved å skanne på forskjellige tider av året, vil terrenget se annerledes ut og ha en annen geometri. Om den manglende dataen kan erstattes på andre måter, kan støy i modellen unngås. Det optimale vil være å gjøre all datafangst på samme tid.

6.2. Modellering

6.2.1. Valg av programvare

Vi har prøvd forskjellige programvarer for modellering av punktskyer. Det finnes mange forskjellige programvarer for behandling av punktskyer og modellering av 3D-modeller, samt for klargjøring til 3D-printing. Det var her viktig å planlegge en dataflyt som tar prosjektet fra punktsky til printet 3D-modell.

For å finne riktig programvare stilte vi følgende krav:

- Mulighet for å skape en vanntett modell, som kan eksporteres til STL-formatet.
- Kunne behandle store datamengder og store punktskyer effektivt.
- Mulighet for å modellere jevne overflater og kunne skape realistisk terreng.
- Mulighet for å kombinere bygninger med terreng, det vil si, sette sammen alt i en samlet modell.

Forskjellige programvarer har ulike fordeler og ulemper. Å sette seg inn i all programvare har ikke vært hovedformålet med denne oppgaven. For å kunne gjennomføre en rettfærdig vurdering av forskjellige programvarer ville vi vært nødt til å gjenskape en ferdig modell i hvert av programmene og printe dem. For å så sammenligne dem.

For å finne ut hvilke programmer som var egnet til vårt formål har vi lest og stilt spørsmål på "Laser scanning forum" via LinkedIn og laserscanningforum.com. Der har vi fått mange givende råd og svar. I tillegg har vi også vært i kontakt med aktuelle bedrifter i bransjen via personlige møter og mail. Vi har også funnet god hjelp i en bacheloroppgave fra Uppsala universitet med et lignende tema. (Kvist J, Persson R 2010)

For å summere undersøkningen finnes det mange forskjellige fremgangsmåter, og vi har skapt oss et oversiktsbilde av alternativene. Videre har vi valgt å teste den programvaren vi har blitt anbefalt mest, og den programvaren som for oss er tilgjengelig. Vi har bestilt prøveversjoner og studentlisenser fra flere leverandører med blandet resultat. Disse er tidsbegrenset, men noen leverandører har gitt oss mulighet til å bruke programvaren over lengre tid. Manglende tilgang på lisenser begrenset oss fra å teste den programvaren vi ønsket.

En del programvarer som f.eks. *Clearedge3D*, *Geomagic Design X & Direct* og *Scan to BIM* har funksjoner som renser opp og utfører mye av modelleringsarbeidet for brukeren, f.eks. skape jevne overflater og rette linjer. Programmene lover enkle og raske konverteringer av punktsky til triangelmodell, med riktig geometri og lite manuelt arbeid. Disse funksjonene forenkler arbeidet mye, men er ikke fullt utviklet ennå, ettersom punktskyene i seg selv må være veldig enkle, logiske og fullstendige for at modeller automatisk skal genereres. Vi har prøvd å behandle punktskyene både manuelt og med automatiske funksjoner, og en kombinasjon av begge deler har vært nødvendig. Et ønske for utviklingen av disse programmene er smartere automatiske funksjoner, og flere verktøy for å tegne ny geometri der det mangler.

De seneste versjonene av *Autodesk Revit* og *AutoCAD* kan importere punktskyer. Med hjelp av plugin programmer som *IMAGINit's Scan to BIM* og *Leica Geosystems cloudworx*, kan punktskyer bearbeides i f.eks. *Autodesk Revit* eller *Bentley MicroStation*. Dette er en stor fordel for brukere som er vant til å modellere i, og har lisens til en spesifikk programvare.

De programvarer vi har valgt å teste er: *3Dreshaper*, *Leica Cyclone* og *Cloudworx*, *Geomagic Design X* og *XOS*, *Trimble SketchUp* *Autodesk Revit*, *AutoCAD*, *Project Momento*, *Recap* og *3D Studio Max*.

6.2.2. Metode for modellering

Vi fant tre ulike måter for å skape en 3D-modell, kompatibel med 3D-printing, ut ifra en punktsky på. Grunnet manglende kunnskaper i CAD og 3D-modellering har denne fasen ført til stor arbeidsmengde, og bratt læringskurve for å kunne håndtere programmene.

Vår modell vil ikke være avhengig av særlig høy absolutt nøyaktighet, da det ikke er formålet med modellen. Dette medfører at vi kan kombinere flere forskjellige metoder, og ikke trenger å tenke på globale koordinater.

Alternative løsninger:

1. Overflater og geometrier skapes manuelt fra punktskyen, og eksporteres til CAD-program, for denne metoden bruktes *Leica Cyclone*.
2. Punktskyen brukes som en mal for å skape modellen manuelt. Ved å ta ut horisontale snitt fra bygningen kan vegger tegnes for hver etasje, så kan punktskyen brukes som mal for å tegne vinduer og detaljer i fasadene. Videre skapes en triangelmodell som

tilpasses 3D-printing. For denne metode brukes *Trimble SketchUp* og *Geomagic Design X*.

3. Alternativt skapes en triangelmodell av punktskyen, hvor triangelmodellen formes og skrives ut. For denne metode bruktes *Geomagic Design X* og *3DReshaper*.

Alternativ 1 vil i vårt tilfelle innebære alt for mye manuelt arbeid, *Leica Cyclone* har mulighet til å behandle større datamengder, da det bygger på en velfungerende databasestruktur. *Cyclone* kan ikke skape intelligente triangelmodeller, uten at alt trianguleres mot et vertikalt plan. Programmet har ikke noen gode automatiske funksjoner for å skape flater, dette leder til mye manuelt arbeid. Videre må de flater som skapes tas ut til CAD-programvare separat fra terrenget, eksporteres til STL, og tilpasses 3D-printing. Dette forutsetter mange programvarer.

Med **alternativ 2** vil vi være nødt å bygge opp en helt ny modell basert på punktskyen i f.eks. *Autodesk Revit* eller *Autocad*. Dette ville vært en mulighet med hjelp av plugin-programmet *Cloudworx* fra Leica, *Autodesk* programmene har også mulighet til å eksportere til STL. Problemet ville være å få koblet bygningene sammen med terrenget samt at det ville være tidskrevende og vi mister den nøyaktighet vi har i punktskyene. CAD-programvaren er ikke laget for å behandle punktskyer av vår størrelse, og klarte ikke å laste inn all data i samme prosjekt.

For å likevel få skapt en CAD-tegning ut ifra punktskyen valgte vi å ta ut en del av punktskyen for nybygget mellom A og G, hvor vi kombinerte å tegne ut ifra punktskyen i *SketchUp* og tilpasset modellen i *Design X*.

Alternativ 3 er det vi har valgt å jobbe med fordi den oppfylte våre kriterier, i kombinasjon med alternativ 2. Vi har her valgt å bruke *Geomagic Design X*. I en rapport fra Oklahoma University er dette program mest egnet for automatisk modellering av overflater fra punktskyer. (Chang K, C Chienchih 2011) Programmet har et flertall funksjoner som automatisk behandler triangelmodellen.

I *Geomagic Design X* er det flere fremgangsmåter som er effektive, enkle og beholder et høyt detaljnivå. En punktsky importeres, og en triangelmodell genereres. Triangelmodellen vil ha en del hull, ufullstendige områder og ujevne overflater, men dette kan *Design X* bearbeide

både med manuelle inngrep og automatiske prosesser. Videre kan det skapes en vanntett modell på forskjellige måter.

Programvaren lover mye og det finnes flere automatiske verktøy, f.eks. *auto-surfacing* denne skal automatisk finne geometrier og skape overflater, og *rewrap*, skal automatisk lage en vanntett modell egnet til 3D-printing. Disse automatiske verktøy fungerte dessverre svært dårlig til vårt formål, dette beror trolig på komplekse geometrier, mengden detaljer og manglende data. Programvaren vi bruker er mer tilpasset omvendt konstruksjon innen design og verkstedindustri, og ikke arkitektur og terrengmodellering.

Forskjellige programvarer vi har brukt har ulike algoritmer for triangulering. Vi fant ut at vi var nødt å bruke forskjellige til vårt formål. For å triangulere terrenget brukte vi *Cyclone*, som lager en uintelligent modell og forenkler mye. Dette var nødvendig for å dekke terrengområdet. For å fylle hull i partier med manglende data grunnlag ble *3Dreshaper* brukt, som har romsligere algoritmer for fylling av hull. Så for å skape en helhetlig modell av et delvis mangelfullt datamateriale var det fordelaktig å bruke forskjellige programvarer for triangulering.

6.2.3. Sammensetting av bygninger og terreng

For å skape en fysisk modell av et geografisk område kan bygningene og terrenget presenteres og fremstilles på forskjellige måter. Da flere bygninger er bygd i skrått terreng er det nødvendig å ha med deler av terrenget. Vi setter av estetiske grunner mindre krav på detaljnivå gjeldende terrenget. Etter å ha sett på lignende modeller, og sett over datagrunnlaget, fant vi følgende alternative løsninger:

1. Skape en triangelmodell av den terrengdata vi samlet med laserskanning, samt komplementere med ytterligere skann. Dette vil være den mest detaljerte løsningen, og ivaretar nøyaktigheten med 3D-printer teknologien. Det er også en ressurskrevende metode, da det forutsetter mye datafangst av terrengdata.
2. Bruke terrengdata samlet med flybåren laserskanning fra kommunen. Denne dataen er for oss fritt tilgjengelig over hele området, men er så udetaljert at det ikke er hensiktsmessig å 3D-printe den.
3. Skape et forenklet høydekurvekart, tilpasset bygningene. Dette er den metoden som vi har funnet mest forekommende. Det gir et oversiktlig bilde av terrenget men oppfyller ikke den detaljgrad vi kan oppnå ved bruk av 3D-printing.
4. Kun ta med terrenget rundt bygningene og plassere modellen på et kart. Dette vil være den enkleste metoden, men forenkler oppgaven på en måte som ikke er forenelig med

problemstillingen.

Vi har valgt å bruke den første metoden, da den vil være den mest detaljerte løsningen. Ettersom vi bruker de dataene vi selve har registrert, vil det gi et tilnærmet likt detaljnivå i forhold til alternative metoder. Samt at det gir god indre nøyaktighet for plassering og størrelsesforhold i modellen.

Denne metoden viste seg å lede til meget store datamengder som likevel tvang oss til å redusere detaljnivået i terrenget.

En mulighet her ville også være å ta utgangspunkt i et mye mindre område. Dette ville på en side ikke lede til noe fullstendig produkt, men metodene ville kunne dokumenteres og testes. For en bacheloroppgave kan dette være nok, men på en annen side vil en fullstendig modell kunne ta for seg flere utfordringer og problemer (eks. datamengde) samt at modellen vil kunne bli brukt videre i andre sammenhenger.

6.2.4. Datamengder

3D-printing bruker ofte punktskyer fra laserskanning som utgangspunkt for modeller, og større bygg blir ofte 3D-printet, men størrelsen på vår modell, der flere bygninger er kombinert med terreng, gir en punktskystørrelse og en modell som til dags dato er mye mer omfattende enn hva programvare er utviklet for.

En utfordring som har vært gjennomgående i hele arbeidet er etterbehandling av store datamengder fra skanningen, og store mengder triangler. Arbeid med punktskyen i *Leica Cyclone* gikk relativt raskt, men det var da vi skulle behandle dataen videre i 3D-modelleringsprogrammer at prosessorkraften og minnet ikke var tilstrekkelig. Det er svært store datamengder som behandles, og den første punktskymodellen vi eksporterte ble totalt ca. 8 GB. Så vi fant tidlig ut at vi måtte redusere datamengden til et nivå som programmene lettere kunne håndtere. Punktskyen ble redusert med ca. 75 % av samlet datamengde. Ulike programvarer har vist seg å takle de samme datamengdene på meget forskjellige måter.

Etter modelleringsarbeidet var den fullstendige modellen på ca. 8 millioner triangler, noe som fungerte fint å arbeide med i *Design X*. For å få modellen kompatibel med programvaren og kapasiteten til 3D-printerens datamaskin, var vi tvunget til å redusere vår ferdige modell med ca. 60%. Dette ledet til noe tap av geometri og detaljer, men primært terrenget. Som samlet modell blir dette en stor mengde triangler, som utgjør en unormalt stor STL-fil. Slike filer har

vanligvis en størrelse på 1-10 MB. Vår modell har en størrelse på 230 MB og vil etter dagens omstendigheter bli sett på som en uhåndterlig modell. Vanlige CAD-programmer vil ha vanskeligheter med å prosessere en slik modell. I *Design X* gjorde også den store datamengden utslag, ved å deformere seg selv ved mer komplekse automatiske prosesser. Dette gjorde at mye korrigering av triangler måtte foregå manuelt. (Bastech, Inc 2014) Når det gjelder datamengder har vi opplevd at det befinner seg en flaskehals mellom kvantiteten i datafangsten og videre prosessering av dette mot 3D-printing.

Ved en endelig vurdering av valget av moduleringsmetode ville vi avveid å tegne mer solide elementer av bygningene hvilket diskuteres i alternativ 2. Dette grunnet stort tidsforbruk og krevende datamengder. Dette ville vært enklere dersom vi hadde tilgang på programvare, f.eks. *ClearEdge EdgeWise*. Alternativt skulle vi lært oss å modellere alt fra bunn i f.eks. *AutoCad*. Dersom vi hadde mer tid, ville vi prøvd denne metode, for sammenligning.

6.3. 3D-printing og fysisk modell

Selv om 3D-printeren lager meget tynne lag mister vi noe av det detaljnivået vi ønsker i fasadene i skala 1:325. Vår modell skulle passe bedre å skrives ut i en litt mindre skala, fordi noen detaljer i fasadene fremstår mindre enn vi beregnet.

Modellen går fra å være en overflatemodell til en solidmodell, noe som leder til at feil i modellen flates ut, og mange deformerte triangler i den virtuelle modellen ikke gjenskapes i den fysiske modellen. Vi kan konstatere at detaljrikdommen fra laserskanneren er litt overdreven for 3D-printing i skala 1:325. Et alternativ ville også være å overdrive visse detaljer i modellen, som logoer og vinduer, for at dette kunne bli mer synlig. Dette ville da gjøre modellen finere å se på, men vi mister reelle størrelsesforhold.

Den ferdigstilte modellen i STL-format, vil kunne prosesseres av de fleste 3D-printere. Dette omfatter også 3D-printere som bruker andre Additive Manufacturing-teknologier som Stereolitografi (SLA) og Fused Deposition Modeling (FDM). Dermed vil modellen kunne printes ut i forskjellige materiale, og med farger om det er ønskelig. Størrelsen på den fysiske modellen er begrenset av størrelsen på kammeret den printes i, og kan dermed printes i både større og mindre skala om den blir prosessert av andre printere.

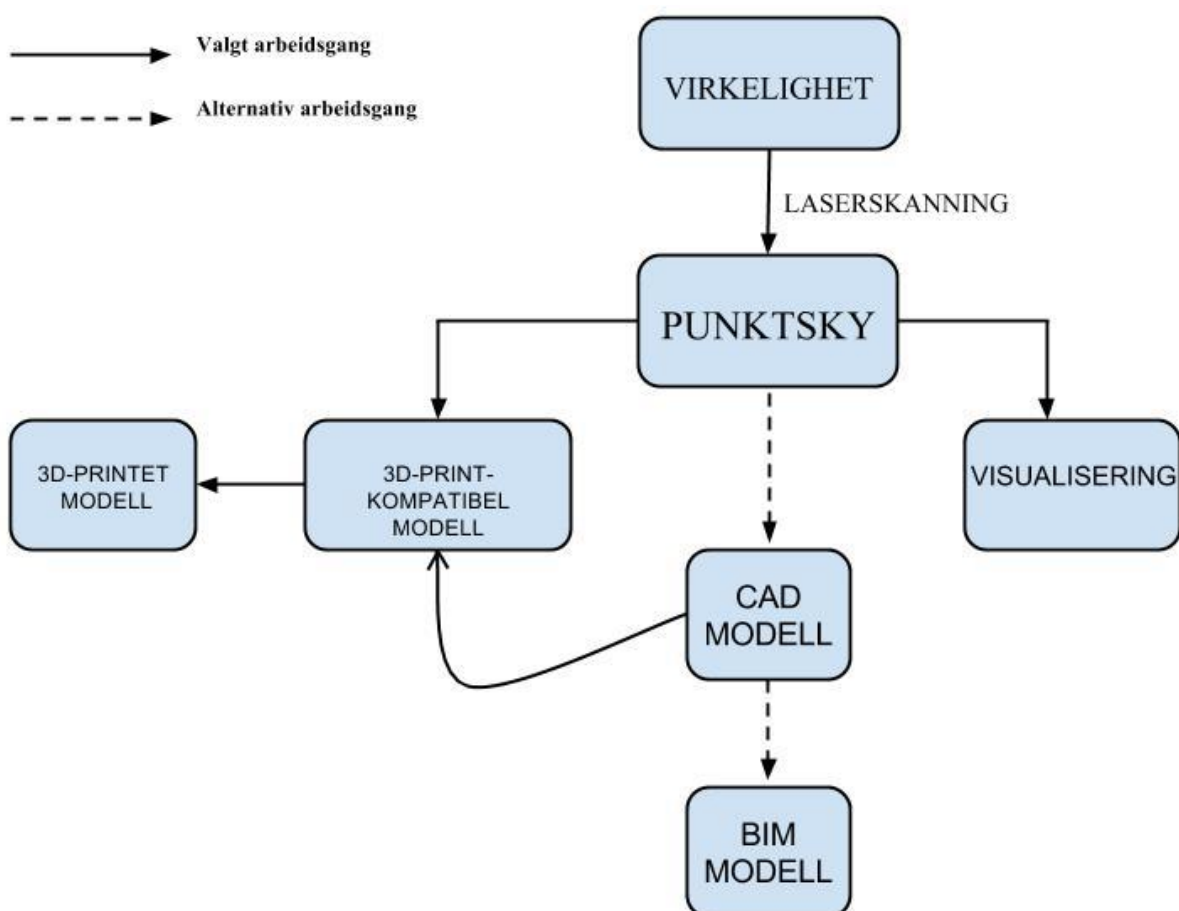
Den fysiske modellen er et resultat av høyteknologiske innretninger fra flere fagfelt. Innenfor laserskanning er det vanlig å skanne større områder slik vi har gjort. Det er også vanlig å bruke laserskanning som verktøy for å skape modeller til 3D-printing, men dette på et mye mindre størrelsesomfang. Fysiske modeller printet i 3D er ofte mindre modeller basert på

mindre datamengde. Større 3D-printede modeller er som regel satt sammen av flere print, og datamengdene er da lettere å behandle, men dette krever også at alt passer sammen, og skaper nye utfordringer på denne måten. Med vår modell, er laserskannerens mulighet til å skanne større områder, satt sammen med 3D-printerens mulighet til å forme geometri på et meget detaljert nivå. Ut ifra vår litteraturstudie, er potensielt i disse forskjellige teknologiene utnyttet i kombinasjon, i større grad enn hva som er gjort tidligere.

Dermed har den fysiske modellen verdi, ved at den er bygget opp på en nyskapende måte. Den realistiske geometrien er beholdt, og modellen kan dermed presenteres til visuell fremstilling, og brukes til nyttige beregninger for planlegging av videre utbygging av det geografiske området.

6.4. Videre bruk av modellen

Vi har i denne oppgave fokusert på å skape en 3D-printet modell på grunnlag av punktskyer fra bakkebåren laserskanning. Våre grunnlagsdata kan med fordel brukes til andre formål.



Figur 36 - Mulige arbeidsganger fra laserskanning til 3D-print

I og med at store aktører i byggenæringen som f. eks at Statsbygg og Forsvarsbygg vil lage BIM modeller av store bygningsmasser (Norskteknologi 2014), vil mye grunnlagsdata bli tilgjengelig. Med mer tilgjengelig bygningsgrunnlag, sammen med at teknologiene for Additive Manufacturing trolig blir enklere og billigere, vil fysiske modeller lettere dannes som bi-produkter av BIM-prosessen.

Andre bruksområder for vår data kan være:

- Geometrisk kontroll for de nybygde delene av A- og G-bygget. En slik kontroll sammenligner de opprinnelige tegningene mot laserdataene, som da viser hvordan bygningene er i virkeligheten. Laserdataene kan benyttes til deformasjonskontroll ved større skader eller forandringer i bygningsmassen.
- En kan ut i fra punktskyen danne en as-built-modell, denne kan brukes som grunnlag ved nybygg og renovasjon.
- Om det er i skolens interesse kunne man også få lagd en BIM-modell hvor man bruker laserdataene som et «skall» til modellen. Man må da samle datagrunnlag innvendig i alle rom. For å danne en slik modell vil man ha behov for gå via et CAD-verktøy for å skape objekter som kan gis egenskaper.
- Når det kommer til bruk av den fysiske modellen, vil det kunne presenteres som et utstillingsobjekt for Høgskolen i Gjøvik, både for å promotere den avanserte 3D-printerlaben og som en veiviser for nye og eksisterende studenter, og besøkende på skolen. For at modellen skulle fungert optimalt som en veiviser burde hele campus vært modellert med navn på de ulike byggene, samt veier og viktige områder.
- Selv om vi reduserte punkttettheten fra den opprinnelige punktskyen, grunnet programvare- og datakapasitet, har vi fortsatt igjen den originale dataene. De skulle senere kunne brukes til en mer detaljert modell i annen skala.
- Vår modell kunne vært brukt sammen med nye modeller for å illustrere fremtidig bebyggelse.

6.5. Teknologiske utfordringer

Mange av de utfordringer vi har møtt skyldes begrensninger i programvare og datakapasitet.

- Dårlige automatiske prosesser i programvarene bidrar til stor manuell arbeidsmengde. Det virker som om mye har utviklet seg raskt de seneste årene, og dette kommer trolig til å fortsette å utvikles. Vi har observert at flere programvareleverandører har fokus på behandling av punktskyer til 3D-printing, f.eks. *Autodesk Project Momento*, men det er i en tidlig utviklingsfase.
- Programmer med algoritmer for gjenkjenning av geometrier til f.eks. vinduer og vegger, ville forenklet arbeidet meget. Arbeidet med å skape algoritmer for gjenkjenning og modellering av f. eks vegger i anslutning til tak er ifølge *Pingbo Tang* m. fl (2010) problematisk fordi reglene aldri er konsekvente: Noen vegger skal ikke være vertikale og noen skal ikke gå helt opp til taket.
- Flere bedrifter har startet å bruke teknologien for Additive Manufacturing innen arkitektur og landskap på innovative måter, f.eks. *Bengler* og *Spotscale*. Men det virker fortsatt som et begrenset marked, da dette er ny teknologi.
- Problem med dårlig kapasitet i datamaskiner i forhold til datamengde fra moderne laserskannere, kan være et problem selv med en meget rask datamaskin.
- Dataflyt mellom forskjellige programmer var en gjennomgående utfordring, som noen ganger krevde kreative løsninger via programvarer som ellers ikke ville vært nødvendige. Det er en fordel å kjenne formatenes begrensninger og fordeler.

7. Konklusjon

Etter å ha utført en sammenhengende prosess fra datafangst til 3D-printing, er det mulig å konstatere at bakkebasert laserskanning egner seg godt som datafangstmetode.

Laserskanneren samler raskt inn store mengder data, med god geometri. Dataene den samler inn, er godt egnet for konstruering av triangelmodell, som er grunnlag for 3D-printing.

Å samle inn riktig mengde geografisk data, både i antall punkter og fullstendig geometri, er avgjørende for effektiviteten i databehandlingen, da spesielt modellering. Riktig mengde data, er da i forhold til 3D-printerens optimale detaljnivå, avhengig av modellens skala.

Modellering fra punktsky, kan i dag ikke utnytte detaljmengden som ligger i laserskannerens potensiale. Vi opplever en flaskehals i overgangen mellom punktsky og 3D-print, via triangelmodellkonstruksjon. Flaskehalsen ligger i dagens maskin- og programvare. Der en reduksjon av datamengde er nødvendig for at modellen skal bli 3D-printkompatibel. Vi opplever at teknologien og muligheten til nøyaktighet hos laserskannere og 3D-printere er bedre utviklet enn datamaskinene og programvarene vi brukte.

Fotogrammetri kan benyttes som metode for å skape en mindre detaljert virtuell modell med mindre tidsforbruk. En slik modell kan være god nok til en 3D-printet modell i større skala. Metoden er raskere og gir mindre datamengde, men krever at flere forhold ligger til rette for optimal datafangst.

I modelleringsarbeidet fra punktsky til triangelmodell kan vi konkludere med at programvare ikke er utviklet for størrelsesomfanget til vår detaljerte virtuelle modell. Automatiske prosesser lover enkle og raske konverteringer av punktsky til triangelmodell, med riktig geometri og lite manuelt arbeid. Disse prosessene ga dårlige resultater i form av uønsket geometri. Mye manuelt arbeid var derfor nødvendig for å bygge opp en fungerende triangelmodell. Funksjoner for prosessering av modeller i vår størrelse har derfor fortsatt et forbedringspotensial.

Vi har i vårt felteksempel konstatert at kombinasjonen av bakkebasert laserskanning og 3D-printing av et geografisk område kan gjennomføres, og gir et godt resultat som kan presenteres som utstillingsobjekt og har en nytteverdi.

Selv om vi har oppnådd det produktet vi ønsker, kan vi konkludere med at metoden der bakkebasert laserskanning brukes for å skape denne 3D-printede modellen, i dag er såpass omfattende at resultatet av arbeidsmengden ikke gjenspeiles i det ferdige produktet. I et større

Fysisk 3D-modell av campus

byggeprosjekt hvor det først er utviklet CAD- eller BIM-modeller vil en 3D-printet modell som et tilleggsprodukt være mer gunstig enn å bygge modellen kun for printeformål.

8. Kilder

3Dsystems. (2013) Geomagic Design X URL:<http://www.geomagic.com/en/products-landing-pages/designx> (1 April 2014)

3Dsystems. (2014) What Is An STL File? URL:
<http://www.3dsystems.com/quickparts/learning-center/what-is-stl-file> (13.05.2014)

Amazing AM. (2014) What is Additive Manufacturing? URL:
<http://additivemanufacturing.com/basics/> (28 feb. 2014)

Arayici Y. (2007) An approach for real world data modelling with the 3D terrestrial laser scanner for built environment. Automation in Construction.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580507000350>

Barber, D. (2012) Laser scanning and photogrammetry: 21st century ... - CIPA. Kapittel 2, 3, 4. URL: <http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/potsdam/2001-08-db01.pdf> (4.mars. 2014)

Bastech, Inc. (2014) What is a STL File? URL: <http://bastech.com/sla/techtips/stlfiles.asp> (16 mai 2014)

Behrendt U, Shellabear M. (1995) The EOS rapid prototyping concept, s. 58-59, 60-61. URL:
http://ac.els-cdn.com/0166361595000303/1-s2.0-0166361595000303-main.pdf?_tid=b836a350-d8ff-11e3-afe7-00000aab0f26&acdnat=1399808037_89de61c4e9fa06520105e122ae2049ea (13 mai. 2014)

Bernhardsen, B. (2006) Geografiske informasjonssystemer. Nesbru: Vett & viten.

Cadblu. (2014) Magics RP. URL: <http://www.cadblu.com/products/software/magics-rp.html> (12 mai. 2014)

Chang K, C Chienchih. (2011) 3D Shape Engineering and Design Parameterization URL:
http://rapidform.s3.amazonaws.com/3D_Shape_Engineering_and_Design_Parameterization.pdf

Chua C K, Leong K F, Lim C S. (2010) RAPID PROTOTYPING Principles and Applications, s. 10-13.

URL:<http://www.google.no/books?hl=no&lr=&id=4OYcyiDUpsQC&oi=fnd&pg=PR7&dq=r>

apid+prototyping&ots=yOLAJtyKzG&sig=Tv_oN88SIYikR97zLLs2Daf-q7Q&redir_esc=y#v=onepage&q=rapid%20prototyping&f=true (13 mai. 2014)

CYRAX. (1999) Long range 3D Laser scanner - CYRA.

URL: <http://web.archive.org/web/19991004011951/http://cyra.com/hardware.html> (10.mars. 2014)

Ghawana T, S. Zlatanova. (2013) 3D printing for urban planning: A physical enhancement of spatial perspective. s.212-214 URL:

<http://www.isacsolutions.in/PDF/Modified3DPrintingandGISApplications.pdf> (12 Mai 2014)

Green, Vance. (2012) Leica Cyclone 7.1.1: Registering Scans in Cyclone.CAST Technical Publications Series. Number 7412. URL: <http://gmvc.cast.uark.edu/scanning/software/leica-software/leica-cyclone/leica-cyclone-7-1-1-registering-scans-in-cyclone-2/> (12 Mai. 2014)

Grussenmeyer, P. (2008) Comparison methods of terrestrial laser scanning, photogrammetry and tacheometry data for recording of cultural heritage buildings. URL:

http://isrresserv.ifp.uni-stuttgart.de/proceedings/XXXVII/congress/5_pdf/38.pdf (12 mai 2014)

Huber D m.fl. (2010) Using laser scanners for modeling and analysis in architecture, engineering, and construction. URL:

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5464818&isnumber=5464703>

Hunter D m.fl. (2007) Beginning XML, 4th Editon. Wiley Publishing Inc

Høgskolen i Gjøvik. (2013) Nyåpning av B-bygget ... 2013. URL:

<http://www.regjeringen.no/nb/dokumentarkiv/stoltenberg-ii/fad/taler-og-artikler/2013/nyapning-av-b-bygget-ved-hoyskolen-pa-gj.html?id=720593>

(12 Mai. 2014)

Jobst M, Döllner J. (2008) 3d city model visualization with cartography-oriented design.

URL:https://www.hpi.unipotsdam.de/fileadmin/hpi/FG_Doellner/publications/2008/JD08b/2008-03-15_corp08_jobst_preprint.pdf (12 Mai. 2014)

Kartverket. (2009) kart og geodata, s. 41-73, 77-79. URL:

<http://www.statkart.no/Documents/Standard/Bransjestandarder%20utover%20SOSI/KartOgGeodata-v2.pdf> (24. April 2014)

Kiesow L. (2014) Understanding file formats: Pts and 3d files. URL: <http://www.las-vegas.uni-osnabrueck.de/index.php/tutorials2/8-understanding-file-formats-pts-and-3d-files> (14 mai. 2014)

Kvist , Persson R Bacheloroppgave. (2010) Digitala 3D-modeller av byggnader Användning av punktmoln från laserskanning. URL: http://www.bjerkning.se/Global/GIS/Digitala_3D-modeller_av_byggnader_-_Joel_Kvist_-_Robert_Persson_20101017.pdf (3 mars. 2014)

Norskteknologi. Bygnings Informasjons Modelling URL: <http://norskteknologi.no/Naringspolitikk/BIM/> (16 mai. 2014)

NTNU. (2008) Fotogrammetri - Geomatikk anvendelser URL: <http://www.ntnu.no/bat/gm/fotogrammetri> (24 April. 2014)

Opitz, Rachel. (2012) Rapidform: Mesh Cleaning.CAST Technical Publications Series. URL: <http://gm.v.cast.uark.edu/modeling/software-visualization/rapidform-xor/workflow-rapidform-xor/optional-mesh-cleaning-in-rapidform-3/> (12 Mai. 2014)

Pingbo Tang m.fl. (2010) Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. Kapittel 7. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580510000907> (12 mai. 2014)

Pu S, Vosselman G. (2007) EXTRACTING WINDOWS FROM TERRESTRIAL LASER SCANNING. URL: http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/3-W52/final_papers/Pu_2007.pdf (16 mai.2014)

RIEGL. (2012) RIEGL Timeline - RIEGL Laser Measurement Systems. 2012. URL: http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegl/downloads/RIEGL-Timeline_since-1968_asper03-2012_view.pdf (10.Mars. 2014)

RP PhotonicsEncyclopedia. (2014) CO2 Lasers. URL: http://www.rp-photonics.com/co2_lasers.html (13 mai. 2014)

Statsbygg. (2009) BIM-manual 1.1 - Statsbygg. s. 4-8. URL: <http://www.statsbygg.no/FiSystem/files/prosjekter/BIM/SB-BIMmanuall-1mVedl.pdf> (20 Mai. 2014)

Store norske leksikon. (2014) laser – intens lyskilde URL: http://snl.no/laser/intens_lyskilde (13 mai. 2014)

Technodigit. (2013) 3DReshaper URL: http://www.3dreshaper.com/en1/En_software.htm (1 April 2014)

Van Genechten, B. (2008) Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning - Página ... s.12-13, 22-23, 24-25. URL: http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_ENGLISH.pdf (4.mars. 2014)

webopedia. (2014) ASCII. URL: <http://www.webopedia.com/TERM/A/ASCII.html> (14.05.14)

Wikipedia. (2014) Carbon dioxide laser URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide_laser (13 mai. 2014)

Datablader:

Leica Geosystems. (2013) P20 & MS50 Product specification (Se vedlegg E)

EOS. EOSINT P 395 Datablad (Se vedlegg E)

Leica Geosystems 2014. Leica Cyclone BASIC 8.1 URL:http://www.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/cyclone/brochures-datasheet/Leica_Cyclone_BASIC_DS_en.pdf (1 April. 2014)

9. Vedlegg

Vedlegg A

Tidsforbruk - Uke for uke
Rapportskriving har foregått underveis gjennom hele prosessen, dermed unnlater vi å skrive dette for hver uke.
Uke 2
Planlegging av arbeidsflyt, metoder og litteraturstudier.
Kontaktet ansvarlig person for 3D-printer og Lars Guldbrandsen, v/Leica ang. lån av laserskanner.
Uke 3
Godkjent lån av laserskanner og programvare fra Leica. Litteraturstudier.
Planlegging av dato for laserskanning og målestokk på bygningene.
Uke 4
Opprettet nettside med eget domene: geostud3d.com
Søkte etter riktig programvare til etterbehandling og modellering av dataene.
Lagde måleplan for laserskanning. Møte med veileder, Bjørn Godager 20.januar.
Uke 5
Kontaktet fagfolk via forum for å finne riktig programvare. Diskuterte metode for laserskanning. Litteraturstudier.
Uke 6
Var på Stikningskonferansen på Gardemoen, 4.februar. Lagde ny måleplan uten targets, benytter "cloud-to-cloud"-registrering.
Uke 7

13. februar: Besøk av Lars Guldbrandsen fra Leica Geosystems, demonstrasjon av P20-skanneren, og opplæring i registrering og modellering av skann.
14. februar: Laserskannet campus med 10 oppstillinger.
Vurderte bruk av droner i tillegg til laserskanning.
Uke 8
Registrering av punktskyer og rensing av støy.
Uke 9
Videre behandling av punktskyen.
Uke 10
Testing av egnet programvare til 3D-modellering; Geomagic Design X, Revit, 3Dreshaper.
Uke 11
Hadde en presentasjon for ledergruppa for avd. TØL. Spørsmål om vi hadde muligheter for komplementering av et planlagt nybygg i vår modell. Gjorde en ekstra laserskanningsrunde med Leica Nova MS50(7 oppstillinger). Punktskysammensetting. Prøvde å finne en løsning på terrengproblematikken.
Uke 12
Rensing av "ny" punktsky. Tilegnet oss kunnskap om bruk av programvaren, Geomagic Design X.
Uke 13
Fredag 28. mars: Ny runde med ekstra laserskanning med MS50(10 oppstillinger).
Uke 14

Etterbehandling av punktsky. Starter med modellering i Geomagic Design X.
Uke 15
Modellering av bygninger. Møte med veileder 10.april, angående rapportinnhold.
Uke 16
Modellering av bygninger. Rapportskrivning og sammensetting av stoff til rapporten.
Uke 17
Modellering av bygninger. Rapportskrivning.
Uke 18
Modellering av bygninger. I SketchUp og Geomagic Design X. Startet med å sette sammen bygninger og terreng i en endelig modell.
Uke 19
Ferdigstilling av endelig modell. Rapportskrivning.
9. mai: Første 3D-print.
Uke 20
13. mai: 3D printing.
18. mai: Ferdigstilling og innlevering av rapport.

Vedlegg B



HØGSKOLEN I GJØVIK

PROSJEKTAVTALE

mellom Høgskolen i Gjøvik (HiG) (utdanningsinstitusjon),

Høgskolen i Gjøvik

(oppdragsgiver), og

Marius Myrseth

Stian Rostad

Mats Karl-Petter Johansson

(student(er))

Avtalen angir avtalepartenes plikter vedrørende gjennomføring av prosjektet og rettigheter til anvendelse av de resultater som prosjektet frembringer:

1. Studenten(e) skal gjennomføre prosjektet i perioden fra 10.01.2014 til 06.06.2014.

Studentene skal i denne perioden følge en oppsatt fremdriftsplan der HiG yter veiledning. Oppdragsgiver yter avtalt prosjektbistand til fastsatte tider. Oppdragsgiver stiller til rådighet kunnskap og materiale som er nødvendig for å få gjennomført prosjektet. Det forutsettes at de gitte problemstillinger det arbeides med er aktuelle og på et nivå tilpasset studentenes faglige kunnskaper. Oppdragsgiver plikter på forespørsel fra HiG å gi en vurdering av prosjektet vederlagsfritt.

2. Kostnadene ved gjennomføringen av prosjektet dekkes på følgende måte:
 - Oppdragsgiver dekker selv gjennomføring av prosjektet når det gjelder f.eks. materiell, telefon/fax, reiser og nødvendig overnatting på steder langt fra HiG. Studentene dekker utgifter for trykking og ferdigstillelse av den skriftlige besvarelsen vedrørende prosjektet.
 - Eiendomsretten til eventuell prototyp tilfaller den som har betalt komponenter og materiell mv. som er brukt til prototypen. Dersom det er nødvendig med større og/eller spesielle investeringer for å få gjennomført prosjektet, må det gjøres en egen avtale mellom partene om eventuell kostnadsfordeling og eiendomsrett.
3. HiG står ikke som garantist for at det oppdragsgiver har bestilt fungerer etter hensikten, ei heller at prosjektet blir fullført. Prosjektet må anses som en eksamensrelatert oppgave som blir bedømt av faglærer/veileder og sensor. Likevel er det en forpliktelse for utøverne av prosjektet å fullføre dette til avtalte spesifikasjoner, funksjonsnivå og tider.
4. Den totale besvarelsen med tegninger, modeller og apparatur så vel som programlisting, kildekode, disketter, taper mv. som inngår som del av eller vedlegg til besvarelsen, gis det en kopi av til HiG, som vederlagsfritt kan benyttes til undervisnings- og forskningsformål. Besvarelsen, eller vedlegg til den, må ikke nyttes av HiG til andre formål, og ikke overlates til utenforstående uten etter avtale med de øvrige parter i denne avtalen. Dette gjelder også firmaer hvor ansatte ved HiG og/eller studenter har interesser.

Besvarelser med karakter C eller bedre registreres og plasseres i skolens bibliotek. Det legges også ut en elektronisk prosjektbesvarelse uten vedlegg på bibliotekets del av skolens Internett-sider. Dette avhenger av at studentene skriver under på en egen avtale hvor de gir biblioteket tillatelse til at deres hovedprosjekt blir gjort tilgjengelig i papir og netttutgave (jfr. Lov om opphavsrett). Oppdragsgiver og veileder godtar slik

offentliggjøring når de signerer denne prosjektavtalen, og må evt. gi skriftlig melding til studenter og dekan om de i løpet av prosjektet endrer syn på slik offentliggjøring.

5. Besvarelsens spesifikasjoner og resultat kan anvendes i oppdragsgivers egen virksomhet. Gjør studenten(e) i sin besvarelse, eller under arbeidet med den, en patentbar oppfinnelse, gjelder i forholdet mellom oppdragsgiver og student(er) bestemmelsene i Lov om retten til oppfinnelser av 17. april 1970, §§ 4-10.
 6. Ut over den offentliggjøring som er nevnt i punkt 4 har studenten(e) ikke rett til å publisere sin besvarelse, det være seg helt eller delvis eller som del i annet arbeide, uten samtykke fra oppdragsgiver. Tilsvarende samtykke må foreligge i forholdet mellom student(er) og faglærer/veileder for det materialet som faglærer/veileder stiller til disposisjon.
 7. Studenten(e) leverer 3 - tre - eksemplarer av oppgavebesvarelsen med vedlegg til Studenttorget. I tillegg leveres et eksemplar til oppdragsgiver. HiG kan stille til disposisjon ytterligere eksemplar(er) for oppdragsgiver mot at denne godtgjør produksjonskostnadene.
 8. Denne avtalen utferdiges med et eksemplar til hver av partene. På vegne av HiG er det dekan som godkjenner avtalen.
 9. I det enkelte tilfelle kan det inngås egen avtale mellom oppdragsgiver, student(er) og HiG som nærmere regulerer forhold vedrørende bl.a. eiendomsrett, videre bruk, konfidensialitet, kostnadsdekning og økonomisk utnyttelse av resultatene.
- Dersom oppdragsgiver og student(er) ønsker en videre eller ny avtale, skjer dette uten HiG som partner.
10. Når HiG også opptrer som oppdragsgiver trer HiG inn i kontrakten både som utdanningsinstitusjon og som oppdragsgiver.
 11. Eventuell uenighet vedrørende forståelse av denne avtale løses ved forhandlinger avtalepartene i mellom. Dersom det ikke oppnås enighet, er partene enige om at tvisten løses av voldgift, etter bestemmelsene i tvistemålsloven av 13.8.1915 nr. 6, kapittel 32.

12. Deltakende personer ved prosjektgjennomføringen:

HiGs veileder (navn): Bjørn Godager

Oppdragsgivers kontaktperson (navn): HØBSKOLEN I GJØVIK

Student(er) (signatur): Marius Hgra dato 21.01.14

Kari P. Johnsen dato 21.01.14

Sören K. K. K. dato 21.01.14

dato _____

Oppdragsgiver (signatur): Bjørn Arild Godager dato 06.03.04

Dekan (signatur): [Signature] dato 6/3-14

Vedlegg C

Oppstilling 1:

- Kvalitet: 2
- Oppløsning: 3,1 mm@10m
- Brukte targets: 1,2,3



Oppstilling 2:

- Kvalitet: 2
- Oppløsning: 3,1 mm@10m
- Brukte targets: 0



Oppstilling 3:

- Kvalitet: 2
- Oppløsning: 6,3 mm@10m
- Brukte targets: 1,2,3,(4)



Fysisk 3D-modell av campus

Oppstilling 4:

- Kvalitet: 2
- Oppløsning:6,3 mm@10m
- Brukte targets:(4),(5)



Oppstilling 5:

- Kvalitet: 2
- Oppløsning:6,3 mm@10m
- Brukte targets:(5),(6)



Oppstilling 6:

- Kvalitet: 2
- Oppløsning:3,1 mm@10m
- Brukte targets:(6)



Oppstilling 7:

- Kvalitet: 2
- Oppløsning:6,3 mm@10m
- Brukte targets:1,2,3

Fysisk 3D-modell av campus

Oppstilling 8:

- Kvalitet: 2
- Oppløsning: 3,1 mm@10m
- Brukte targets: (1,7)



Oppstilling 9:

- Kvalitet: 2
- Oppløsning: 3,1 mm@10m
- Brukte targets: (1,3,7)



Oppstilling 10:

- Kvalitet: 2
- Oppløsning: 3,1 mm@10m
- Brukte targets: (7)



Vedlegg D

MS50 registreringsrapport:

Status: Unregistered

To register, select menu item:
"Registration | Register"
Database name : Campus

ScanWorlds
nybygg (Leveled)
Mars27campus.pts

Constraints

Name	ScanWorld	ScanWorld	Type	On/Off	Weight	Error	Error
Vector	HorzVert						
Cloud/Mesh 1 aligned [0.019 m]	nybygg (Leveled)	Mars27campus.pts	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	n/a	

Cloud/Mesh 1 [nybygg (Leveled) : Mars27campus.pts]
Objective Function Value: 0.000122115 sq m
Iterations: 27
Overlap Point Count: 29833
Overlap Error Statistics
RMS: 0.0186487 m
AVG: 0.01153 m
MIN: 3.144e-006 m
MAX: 0.093769 m
Overlap Center: (-7.428, -12.296, 4.287) m
Error after global registration: 2979.95 sq m
Translation: (-65.773, 81.076, -2.715) m
Rotation: (0.0012, 0.0012, 1.0000):122.656 deg

ScanWorld Transformations
Status: Unregistered

To register, select menu item:
"Registration | Register"

nybygg (Leveled)
translation: (0.000, 0.000, 0.000) m
rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg

Mars27campus.pts
translation: (0.000, 0.000, 0.000) m
rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg

Unused ControlSpace Objects : none

Fysisk 3D-modell av campus

P20 registreringsrapport:

Status: VALID Registration

Mean Absolute Error:

for Enabled Constraints = 0.005 m

for Disabled Constraints = 0.000 m

Date: 2014.02.18 13:43:50

Database name : CampusScan2

ScanWorlds
P1 (Leveled)
P2 (Leveled)
P3 (Leveled)
P4 (Leveled)
P5 (Leveled)
P6 (Leveled)
P7 (Leveled)
P8 (Leveled)
P9 (Leveled)
P10 (Leveled)

Constraints

Name	ScanWorld	ScanWorld	Type	On/Off	Weight	Error	Error Vector	Horz	Vert	
T3	P1 (Leveled)	P3 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.002 ,	0.001, -0.003) m	0.003 m	-0.003 m
T2	P1 (Leveled)	P3 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(-0.002 ,	-0.001, 0.002) m	0.003 m	0.002 m
T1	P1 (Leveled)	P3 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(-0.003 ,	0.000, 0.000) m	0.003 m	0.000 m
Cloud/Mesh 1	P1 (Leveled)	P3 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	0.009 m	aligned [0.033 m]			
Cloud/Mesh 2	P2 (Leveled)	P3 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	0.001 m	aligned [0.027 m]			
Cloud/Mesh 3	P4 (Leveled)	P5 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	0.003 m	aligned [0.023 m]			
Cloud/Mesh 4	P5 (Leveled)	P6 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	0.013 m	aligned [0.024 m]			
Cloud/Mesh 5	P6 (Leveled)	P7 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	0.001 m	aligned [0.028 m]			
Cloud/Mesh 6	P3 (Leveled)	P4 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	0.001 m	aligned [0.026 m]			
Cloud/Mesh 7	P7 (Leveled)	P8 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	0.002 m	aligned [0.027 m]			
Cloud/Mesh 8	P8 (Leveled)	P9 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	0.002 m	aligned [0.029 m]			
Cloud/Mesh 9	P9 (Leveled)	P10 (Leveled)	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh	On	1.0000	0.012 m	aligned [0.032 m]			

Cloud/Mesh 1 [P1 (Leveled) : P3 (Leveled)]
Objective Function Value: 0.000743344 sq m
Iterations: 34
Overlap Point Count: 17800
Overlap Error Statistics
RMS: 0.032839 m
AVG: 0.0252644 m
MIN: 0.000193121 m
MAX: 0.0979221 m
Overlap Center: (45.246, 0.963, 7.847) m
Error after global registration: 4.61913e-005 sq m
Translation: (83.122, -1.721, 1.819) m
Rotation: (0.0003, 0.0000, 1.0000):38.041 deg

Cloud/Mesh 2 [P2 (Leveled) : P3 (Leveled)]
Objective Function Value: 0.000432559 sq m
Iterations: 33
Overlap Point Count: 73466
Overlap Error Statistics
RMS: 0.0274036 m
AVG: 0.0195337 m
MIN: 9.19321e-006 m
MAX: 0.0995008 m
Overlap Center: (-2.186, 43.933, 8.082) m
Error after global registration: 4.63594e-007 sq m
Translation: (-4.528, 77.849, 3.995) m
Rotation: (0.0000, 0.0000, -1.0000):-70.055 deg

Cloud/Mesh 3 [P4 (Leveled) : P5 (Leveled)]
Objective Function Value: 0.000187307 sq m
Iterations: 32
Overlap Point Count: 82233
Overlap Error Statistics
RMS: 0.0230319 m
AVG: 0.0144346 m
MIN: 9.78657e-007 m
MAX: 0.0953495 m
Overlap Center: (-14.016, -20.749, 1.307) m
Error after global registration: 7.45201e-006 sq m
Translation: (-48.349, -56.005, -3.292) m

Fysisk 3D-modell av campus

```
Rotation: (-0.0001, 0.0000, 1.0000):-138.393 deg
Cloud/Mesh 4 [P5 (Leveled) : P6 (Leveled)]
Objective Function Value: 0.000316481 sq m
Iterations: 83
Overlap Point Count: 21600
Overlap Error Statistics
  RMS: 0.0243776 m
  AVG: 0.0161129 m
  MIN: 3.51857e-005 m
  MAX: 0.0918641 m
Overlap Center: (-4.329, 31.809, 3.730) m
Error after global registration: 0.000101595 sq m
Translation: (-14.125, 72.788, 0.436) m
Rotation: (0.0007, 0.0004, 1.0000):138.038 deg
Cloud/Mesh 5 [P6 (Leveled) : P7 (Leveled)]
Objective Function Value: 0.000559534 sq m
Iterations: 38
Overlap Point Count: 172233
Overlap Error Statistics
  RMS: 0.0281857 m
  AVG: 0.0207649 m
  MIN: 1.42871e-005 m
  MAX: 0.0958883 m
Overlap Center: (54.739, -10.266, -1.980) m
Error after global registration: 5.14475e-007 sq m
Translation: (44.352, -0.944, -2.396) m
Rotation: (0.0000, 0.0000, 1.0000):-141.392 deg
Cloud/Mesh 6 [P3 (Leveled) : P4 (Leveled)]
Objective Function Value: 0.000273623 sq m
Iterations: 23
Overlap Point Count: 103966
Overlap Error Statistics
  RMS: 0.0258706 m
  AVG: 0.0169586 m
  MIN: 5.64569e-006 m
  MAX: 0.0992842 m
Overlap Center: (29.528, 37.918, 6.795) m
Error after global registration: 6.58391e-007 sq m
Translation: (57.263, 41.941, 4.524) m
Rotation: (-0.0001, 0.0000, 1.0000):172.927 deg
Cloud/Mesh 7 [P7 (Leveled) : P8 (Leveled)]
Objective Function Value: 0.000462598 sq m
Iterations: 44
Overlap Point Count: 243366
Overlap Error Statistics
  RMS: 0.0272193 m
  AVG: 0.0198767 m
  MIN: 1.24835e-006 m
  MAX: 0.0995748 m
Overlap Center: (-23.211, 4.356, 2.548) m
Error after global registration: 2.80041e-006 sq m
Translation: (-39.350, -0.880, 1.096) m
Rotation: (-0.0001, -0.0001, -1.0000):69.197 deg
Cloud/Mesh 8 [P8 (Leveled) : P9 (Leveled)]
Objective Function Value: 0.000430176 sq m
Iterations: 26
Overlap Point Count: 190933
Overlap Error Statistics
  RMS: 0.0287986 m
  AVG: 0.0207843 m
  MIN: 3.10936e-007 m
  MAX: 0.0978363 m
Overlap Center: (13.350, -38.553, 2.094) m
Error after global registration: 4.312e-006 sq m
Translation: (29.540, -52.148, -0.987) m
Rotation: (0.0000, -0.0001, 1.0000):-82.278 deg
Cloud/Mesh 9 [P9 (Leveled) : P10 (Leveled)]
Objective Function Value: 0.000676515 sq m
Iterations: 55
Overlap Point Count: 64266
Overlap Error Statistics
  RMS: 0.0321684 m
  AVG: 0.0242612 m
  MIN: 1.244e-005 m
  MAX: 0.0990176 m

Overlap Center: (-26.398, 28.538, 6.816) m
Error after global registration: 8.33e-005 sq m
Translation: (-49.785, 23.132, 3.215) m
Rotation: (0.0003, -0.0001, 1.0000):87.497 deg

ScanWorld Transformations
P1 (Leveled)
translation: (0.000, 0.000, 0.000) m
rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg
P2 (Leveled)
translation: (45.691, -70.134, -2.171) m
rotation: (-0.0000, -0.0000, -1.0000):32.021 deg
P3 (Leveled)
translation: (83.131, -1.729, 1.826) m
rotation: (0.0000, 0.0000, 1.0000):38.033 deg
P4 (Leveled)
translation: (102.394, 66.586, 6.347) m
rotation: (-0.0000, -0.0000, -1.0000):149.040 deg
P5 (Leveled)
translation: (115.043, 139.486, 3.061) m
rotation: (0.0000, 0.0000, 1.0000):72.567 deg
P6 (Leveled)
translation: (41.366, 147.822, 3.481) m
rotation: (0.0000, 0.0000, 1.0000):-149.397 deg
P7 (Leveled)
translation: (2.711, 126.056, 1.086) m
rotation: (0.0000, 0.0000, 1.0000):69.211 deg
P8 (Leveled)
translation: (-10.433, 88.955, 2.182) m
rotation: (0.0000, 0.0000, 1.0000):0.013 deg
P9 (Leveled)
translation: (19.120, 36.814, 1.198) m
rotation: (-0.0000, -0.0000, -1.0000):82.265 deg
P10 (Leveled)
translation: (35.340, 89.257, 4.405) m
rotation: (0.0000, 0.0000, 1.0000):5.233 deg
```


Vedlegg E

Leica ScanStation P20

Leica ScanStation P20

Industry's Best Performing Ultra-High Speed Scanner



Unprecedented performance in ultra-high speed laser scanning

Productivity & Accuracy

An innovative combination of advanced time-of-flight range measurement plus modern Waveform Digitising (WFD) technology enables the compact Leica ScanStation P20 to achieve ultra-high scan speeds and low-noise performance at extended range (to 120 m). Together with high-accuracy angular measurements and survey-grade tilt compensation, Leica ScanStation P20 delivers unprecedented ultra-high speed scan data quality for as-built and scene surveys.

Scan up to 1 million points per second

Leica ScanStation P20 is the ideal instrument when very short time windows are available for capturing High-Definition Survey™ data or when ultra-high density, full dome scan data is needed for client deliverables.

Unmatched environmental capabilities

Developed and manufactured by Leica Geosystems, Leica ScanStation P20 lets users apply ultra-high speed scanning in operating temperatures ranging from -20° C to +50° C. Moreover, with an Ingress Protection rating of IP54 and an eye-safe laser rating, users can reap the benefits of ultra-high speed scanning for even more sites and projects.

"Check & Adjust" for added confidence

Leica ScanStation P20 is the first laser scanner to feature a valuable "Check & Adjust" capability. Instead of sending the instrument to a service centre, users can electronically check the accuracy of their ScanStation P20 themselves and automatically adjust instrument parameters to ensure the highest level of performance.

- when it has to be right

Leica
Geosystems

Leica ScanStation P20 Product Specifications

General	
Instrument type	Compact, ultra-high speed pulsed laser scanner with survey grade accuracy, range and field-of-view; integrated camera and laser plummet
User interface	Onboard control, notebook or tablet PC, PDA
Data storage	Integrated solid-state drive (SSD) or external USB flash drive
Camera	Auto-adjusting, integrated high-resolution digital camera with zoom video

System Performance	
Accuracy of single measurement	
3D Position Accuracy	3 mm at 50 m; 6 mm at 100 m
Linearity error	≤ 1 mm
Angular accuracy	8° horizontal; 8° vertical
Target acquisition*	2 mm standard deviation up to 50 m
Dual-axis compensator	Selectable on/off, resolution 1", dynamic range +/- 5', accuracy 1.5"

Laser Scanning and Imaging System																																													
Type	Ultra-high speed time-of-flight enhanced by Waveform Digitising (WFD) technology																																												
Wavelength	808 nm (invisible) / 658 (visible)																																												
Laser class	2 (in accordance with IEC 60825-1)																																												
Beam divergence	0.2mrad																																												
Beam diameter at front window	≤ 2.8 mm																																												
Range	Up to 120 m; 18% reflectivity (minimum range 0.4 m)																																												
Scan rate	Up to 1'000'000 points/s																																												
Range noise**	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Range</th> <th>Black (10%)</th> <th>Gray (28%)</th> <th>White (100%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 m</td> <td>0.8 mm rms</td> <td>0.5 mm rms</td> <td>0.4 mm rms</td> </tr> <tr> <td>25 m</td> <td>1.0 mm rms</td> <td>0.6 mm rms</td> <td>0.5 mm rms</td> </tr> <tr> <td>50 m</td> <td>2.8 mm rms</td> <td>1.1 mm rms</td> <td>0.7 mm rms</td> </tr> <tr> <td>100 m</td> <td>9.0 mm rms</td> <td>4.3 mm rms</td> <td>1.5 mm rms</td> </tr> </tbody> </table>	Range	Black (10%)	Gray (28%)	White (100%)	10 m	0.8 mm rms	0.5 mm rms	0.4 mm rms	25 m	1.0 mm rms	0.6 mm rms	0.5 mm rms	50 m	2.8 mm rms	1.1 mm rms	0.7 mm rms	100 m	9.0 mm rms	4.3 mm rms	1.5 mm rms																								
Range	Black (10%)	Gray (28%)	White (100%)																																										
10 m	0.8 mm rms	0.5 mm rms	0.4 mm rms																																										
25 m	1.0 mm rms	0.6 mm rms	0.5 mm rms																																										
50 m	2.8 mm rms	1.1 mm rms	0.7 mm rms																																										
100 m	9.0 mm rms	4.3 mm rms	1.5 mm rms																																										
Scan time and resolution (hh:mm:ss)	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Spacing</th> <th colspan="4">Quality level</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50</td> <td>00:20</td> <td>00:20</td> <td>00:28</td> <td>----</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>00:33</td> <td>00:33</td> <td>00:53</td> <td>01:43</td> </tr> <tr> <td>12.5</td> <td>00:58</td> <td>01:44</td> <td>03:24</td> <td>06:46</td> </tr> <tr> <td>6.3</td> <td>01:49</td> <td>03:25</td> <td>06:46</td> <td>13:30</td> </tr> <tr> <td>3.1</td> <td>03:30</td> <td>06:47</td> <td>13:30</td> <td>26:59</td> </tr> <tr> <td>1.6</td> <td>13:33</td> <td>27:04</td> <td>54:07</td> <td>----</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>54:07</td> <td>1:48:13</td> <td>----</td> <td>----</td> </tr> </tbody> </table>	Spacing	Quality level				1	2	3	4	50	00:20	00:20	00:28	----	25	00:33	00:33	00:53	01:43	12.5	00:58	01:44	03:24	06:46	6.3	01:49	03:25	06:46	13:30	3.1	03:30	06:47	13:30	26:59	1.6	13:33	27:04	54:07	----	0.8	54:07	1:48:13	----	----
Spacing	Quality level																																												
	1	2	3	4																																									
50	00:20	00:20	00:28	----																																									
25	00:33	00:33	00:53	01:43																																									
12.5	00:58	01:44	03:24	06:46																																									
6.3	01:49	03:25	06:46	13:30																																									
3.1	03:30	06:47	13:30	26:59																																									
1.6	13:33	27:04	54:07	----																																									
0.8	54:07	1:48:13	----	----																																									
Field-of-View																																													
Horizontal	360°																																												
Vertical	270°																																												
Aiming/Sighting	Parallax-free, integrated zoom video																																												
Scanning optics	Vertically rotating mirror on horizontally rotating base Up to 50 Hz with internal battery Up to 100 Hz with external power supply																																												
Data storage capacity	256 GB onboard solid-state drive (SSD) or external USB device																																												
Communications	Gigabit Ethernet or integrated Wireless LAN																																												
Imaging	5 megapixels per each 17° x 17° colour image; streaming video with zoom; auto-adjusts to ambient lighting																																												
Onboard display	Touchscreen control with stylus, full colour VGA graphic display (640 x 480 pixels)																																												
Level indicator	External bubble, electronic bubble in onboard software																																												
Data transfer	Ethernet, WLAN or USB 2.0 device																																												
Laser plummet	Laser class 1 (IEC 60825-1) Centering accuracy: 1.5 mm at 1.5 m Laser dot diameter: 2.5 mm at 1.5 m Selectable ON/OFF																																												

Electrical	
Power supply	24 V DC, 100 - 240 V AC
Power consumption	40 W typical
Battery type	Internal: Li-Ion; External: Li-Ion
Power ports	Internal: 2, External: 1 (simultaneous use, hot swappable)
Duration	Internal > 7 h (2 batteries), External > 8.5 h (room temp.)

Environmental	
Operating temperature	+20° C to +50° C / +4° F to 122° F
Storage temperature	+40° C to +70° C / +40° F to 158° F
Lighting	Fully operational between bright sunlight and complete darkness
Humidity	Non-condensing
Dust/Humidity	IP54 (IEC 60529)

Physical	
Scanner	
Dimensions (D x W x H)	238 mm x 358 mm x 395 mm / 9.4" x 14.1" x 15.6"
Weight	11.9 kg / 26.2 lbs, nominal (w/o batteries)
Battery (internal)	
Dimensions (D x W x H)	40 mm x 72 mm x 77 mm / 1.6" x 2.8" x 3.0"
Weight	0.4 kg / 0.9 lbs
Battery (external)	
Dimensions (D x W x H)	95 mm x 248 mm x 60 mm / 3.7" x 9.8" x 2.4"
Weight	1.9 kg / 4.2 lbs
AC Power Supply	
Dimensions (D x W x H)	170 mm x 85 mm x 42.5 mm / 6.6" x 3.3" x 1.6"
Weight	0.86 kg / 1.9 lbs
Mounting	Upright or upside down

Standard Accessories Included	
Scanner transport case	
Tribrach (Leica Geosystems Professional Series)	
4 x Internal batteries	
Battery charger / AC power cable, car adapter, daisy chain cable	
Data cable	
Height metre and distance holder for height metre	
1 year CCP Basic support contract	

Additional Accessories & Services	
BG/W scan targets and target accessories	
Range of Customer Care Products (CCPs) that include Support, Hardware & Software maintenance and Extended warranty.	
External battery with charging station, AC power supply and power cable	
Professional charger for internal batteries	
AC power supply for scanner	
Tripod and tripod star	
Upside down mounting adapter	

Control Options	
Full colour touchscreen for onboard scan control.	
Remote control: Leica CS10/CS15 controller or any other remote desktop capable device, including iPad, iPhone and other Smartphones.	

Ordering Information	
Contact your local Leica Geosystems representative or an authorised Leica Geosystems dealer.	

All specifications are subject to change without notice.
All accuracy specifications are one sigma unless otherwise noted.
* Algorithmic fit to planar BG/W targets.
** Detailed explanation on request

Scanner: Laser class 2 in accordance with IEC 60825-1 resp. EN 60825-1
Laser plummet: Laser class 1 in accordance with IEC 60825-1 resp. EN 60825-1

Phone and iPad are trademarks of Apple Inc.

Illustrations, descriptions and technical data are not binding. All rights reserved. Printed in Switzerland - Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, 2013.
795781en - 8.13 - gallede



Leica Nova MS50

Leica Nova MS50

Datablad



INTEGRERT SCANNING AV DE MINSTE DETALJER

Leica Nova MS50 integrerer 3D punktsky-målinger sammen med vanlige måledata. Dette gjør det mulig å samle inn og visualisere topografiske måledata sammen med detaljerte scan med høy nøyaktighet. Spar tid ved å sjekke integriteten og relevansen på dine data og unngå på den måten kostbart etterarbeid eller returer til felten. Dra fordel av bedre beslutninger på grunnlag av rikere og mer detaljerte data.



UTPRØVD TEKNOLOGI GIR UOVERTRUFFEN ALLSIDIGHET

Leica Nova MS50 gir utprøvd totalstasjons-funksjonalitet med overlegen integrering av sensorer som gir høyeste nøyaktighet, høy ytelse og helautomatiske måleprosedyrer. Sammen med fordelene som GNSS-tilkobling gir, tilbyr Leica Nova MS50 en komplett allsidighet ved å levere pålitelige resultater når som helst og hvor som helst du trenger det



BILDEASSISTANSE FOR ALLE SITUASJONER

Leica Nova MS50 har både et oversiktskamera og et teleskopkamera med 30x forstørrelse og autofokus. Førsteklasses bilde-teknologi gir levende video-streaming av høyeste kvalitet. Bildefunksjonene i Leica Nova MS50 åpner opp for nye muligheter for betjening av multisitasjonen med et nesten uendelig utvalg av applikasjoner.

Leica Nova MS50 MultiStation

VINKELMÅLING		
Nøyaktighet ¹ Hv og W	Absolutt, kontinuerlig, firdoblet	1" (0.3 mgon)
AVSTANDSMÅLING		
Rekkevidde ²	Reflektor (GPR1, GPH1P) ³ Uten reflektor / Alle flater ⁴	1.5 m til >10000 m 1.5 m til 2000 m
Nøyaktighet / måletid	Singel (med reflektor) ^{2,5} Singel (uten reflektor) ^{2,4,5a}	1 mm + 1.5 ppm typ. 1.5 s 2 mm + 2 ppm / typ. 1.5 s
Laserstrålenes størrelse	på 50 m	8 mm x 20 mm
Måleteknologi	Wave Form Digitising	koaksial, synlig rød laser
SCANNING		
Maks. rekkevidde ⁷ / Avstandssøy (1 sigma) ⁸	1000 Hz-modus 250 Hz-modus 62 Hz-modus 1 Hz-modus	300 m / 1.0 mm på 50 m 400 m / 0.8 mm på 50 m 500 m / 0.6 mm på 50 m 1000 m / 0.6 mm på 50 m
Visualisering av punktsky	3D-punktskyvisning ombord, inkludert punktskyer i sanntid	
BILDEFUNKSJONER		
Oversikts- og teleskopkamera	Sensor Synsfelt (oversikt / teleskop) Bildeintervall	5 Mpixel CMOS-sensor 19.4° / 1.5° Opp til 20 bilder pr. sekund
MOTORISERT		
Direkte motorer basert på Piezo-teknologi	Rotasjonshastighet / Tid for å bytte kikkertstilling	maks. 200 gon (180°) pr. s / typ. 2.9 s
AUTOMATISK PRISMESØK (ATR)		
Rekkevidde autosøk ² / Lås ²	Rundprisme (GPR1, GPH1P) 400g-prisme (GRZ4, GRZ122)	1000 m / 800 m 800 m / 600 m
Nøyaktighet ^{1,2} / måletid	ATR vinkeløyaktighet Hv, Vv	1" (0.3 mgon) / typ. 2.5 s
POWERSEARCH		
Rekkevidde / søketid ⁹	400g-prisme (GRZ4, GRZ122)	300 m / typ. 5 s
LEDELYS (EGL)		
Arbeidsområde / nøyaktighet		5-150 m / typ. 5 cm @ 100 m
GENERELT		
Autofokus teleskop	Forstørrelse / fokuseringsområde	30 x / 1.7 m til uendelig
Skjerm og tastatur	VGA, farge, peke, begge kikkertstillinger	36 taster, underbelyst
Drift	3x firsruer, 1x servofokusering, 2x autofokustaster, brukerdefinert SmartTast	
Strømforsyning	Umulighet for intern lading/byttbart Lithium-Ion-batteri med	Driftstid 7-9 t
Datalagring	Interminne / minnekort	1 GB / SD-kort 1 GB eller 8 GB
Interfaces	RS232, USB, Bluetooth®, WLAN	
Vekt	MultiStation inkl. batteri	7.6 kg
Miljøspesifikasjoner	Driftstemperaturer Støv- og vannetthet (IEC 60529) / vind og regn Luftfuktighet	-20°C til +50°C IP65 / MIL-STD-810G, meode 506.5-I 95%, ikke-kondenserende

¹ Standardavvik ISO 17123-3

² 1.5 m til 3000 m for 400g-prisme (GRZ4, GRZ122)

³ Objekt i sløyge, overskyet, Kodak Grey Card (90% refleks)

⁴ Standardavvik ISO 17123-4

⁵ Avstand > 500 m Nøyaktighet 4 mm + 2 ppm, måletid typ. 4 s

⁶ Objekt i sløyge, usvart synlighet, statisk måleobjekt, Kodak Grey Card (90% refleks)

⁷ Måleobjekt vinkelrett på instrumentet

Varemerket Bluetooth® eies av Bluetooth SIG, Inc

Illustrasjoner, beskrivelser og tekniske data er ikke bindende. Alle rettigheter er reservert.

Trykket i Sveits - Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Sveits, 2013.

808915no - VL13 - Morfotop Werbung - galkedia

EOSINT P 395 Datablad



EOSINT P 395

Plastic laser-sintering system
for the direct manufacture of series,
spare parts, functional prototypes
and patterns for investment
or vacuum casting

» The technology: Laser-sintering, the key to e-Manufacturing

Laser-sintering is well known as the technology of choice for ensuring the quickest route from product idea to market launch. Innovative companies from a broad range of industries are using this technology for e-Manufacturing – the fast, flexible and cost-effective production directly from electronic data for every phase of the product life cycle.

» The system: e-Manufacturing for the industrial environment

The EOSINT P 395 is a highly productive thermoplastics laser-sintering system. With this system fully functional plastic parts can be manufactured which are used for product development, in serial production or for spare part production. The system can create parts without the need for support structures. The maximum building height of 620 mm enables the construction of larger plastic components without the need for subsequent joining processes. The modular nature of the EOSINT P 395 offers great flexibility with regard to functionality and budget.

The completely re-engineered laser optics module (surface module) improves the quality of vertical surfaces into regions which until now had been exclusive to the FORMIGA. The recoating unit in the EOSINT P 395 has also been further improved. The introduction of Part Property Profiles (PPPs) has led to the integration into the EOSINT P 395 of EOS's highly successful blade cartridge concept, which was introduced in 2007 and makes it simple to carry out adjustments and also to change the layer thickness.

Special parameter sets can be applied according to material, layer thickness and usage type in order to achieve standardized PPPs. By doing this it is possible to achieve for example either great cost benefits, or the reproduction of the finest of details. If the special parameter sets are not required, then the initial necessary investment decreases accordingly. Parameter sets and other modules can be added at any time.

In order to optimize process flows, the technology also provides Integrated Process Chain Management (IPCM). This includes automatic powder conveying, an unpacking station and a powder recycling facility, all of which maintain dust-free as well as ergonomic working conditions. In addition to the exchangeable frame docking system, these features guarantee maximum use of the machine's capacity.



e-Manufacturing Solutions

The distinctive features of the EOSINT P 395 system are the quality of the parts it produces, its productivity, high degree of automation, professional materials management, and the ergonomically designed peripherals. These features are what make the system the ideal production tool for the economical batch-size optimized manufacture of parts at all stages of the product life cycle. The system is therefore perfectly suited to an industrial environment.

» Software: Achieve maximum productivity automatically

EOS offers various software packages for processing CAD data and tracking production flows. EOSTATE was developed to provide users with an overview of all production-related data at any desired point in time. The software processes production data for freely definable timeframes and displays it clearly. The user's requirements are accommodated within the integrated Basic, Quality Assurance, Controlling, Department Supervision and ERP Interface modules. They ensure that production flows are easy to track and to manage.



Technical Data

Effective building volume	340 mm x 340 mm x 620 mm
Building speed (material-dependent)	up to 31 mm/h
Layer thickness (material-dependent)	0.06 - 0.10 - 0.12 - 0.15 - 0.18 mm
Support structure	not necessary
Laser type	CO ₂ , 50W
Precision optics	F-theta lens
Scan speed	up to 8 m/s
Power supply	32 A
Power consumption (nominal)	2 kW
Nitrogen generator	integrated (optional)
Compressed air supply	minimum 5,000 hPa; 6 m ³ /h
Dimensions (B x D x H)	
Machine incl. switchgear cabinet	1,840 mm x 1,175 mm x 2,100 mm
Control terminal	950 mm x 700 mm x 1,550 mm
Powder conveying system	1,480 mm x 1,170 mm x 1,470 mm
Unpacking station	1,190 mm x 620 mm x 1,500 mm
Recommended installation space	4.3 m x 3.9 m x 3.0 m
Weight	approx. 1,060 kg
Data preparation	
PC	current Windows operating system
Software	EOS RP Tools; EOSTATE 1.2; Magics RP (Materialise)
CAD interface	STL. Optional: converter to all common formats.
Network	Ethernet
Certification	CE

EOS GmbH
Electro Optical Systems
Corporate Headquarters
Robert-Sauring-Ring 1
D-82152 Krailling/Munich
Phone +49 89 893 36-0
Fax +49 89 893 36-285
EOS of North America, Inc.
28970 Cabot Drive
Novi, MI 48377-2978
Phone +1 248 306 0143
Fax +1 248 306 0298

Further EOS subsidiaries
EOS France, Lyon
Phone +33 (0) 437 49 76 76
EOS India, Chennai
Phone +91 44 2815 8794
EOS Italy, Milan
Phone +39 02 33 40 16 59
EOS Singapore
Phone +65 65 62 78 50
EOS UK, Warwick
Phone +44 19 26 62 31 07
EOS Taiwan
Phone +886 3 431 7359
www.eos.info - info@eos.info