



Brukertilpasset gips

Bacheloroppgave 2019

Produkt- og Systemdesign

IP305012

10006, 10010, 10019

Sider: 144 inkl. forside

Vedlegg: 73

Forord

Dette er en teknisk rapport som besvarer det avsluttende prosjektet i Produkt- og systemdesign, ved NTNU Campus Ålesund. Tidlig Januar 2019 ble oppgaven presentert, formulert og bestemt.

Prosjektet bygger videre på hovedoppgaven til Magnar Gya og Anders Dahle Thorsen fra 2017 og omhandler utvikling og bygging av en løsning som er ment å erstatte dagens gipsprosess ved hjelp av 3D-teknologi.

Vi ønsker å takke veiledere Paul Steffen Kleppe og Webjørn Rekdalsbakken ved NTNU Ålesund og faglig kontaktperson Andreas Fagerhaug Dalen ved Ålesund Sykehus. Vi vil også takke Marius Slagsvold fra Digithread for all hjelp med Siemens NX og Convergent Modeling. Vi vil selvsagt også takke Magnar Gya og Anders Dahle Thorsen for deres bidrag til denne oppgaven.

Takk til NTNU Ålesund for å ha stilt med lokaler, utstyr og materiell til disposisjon.

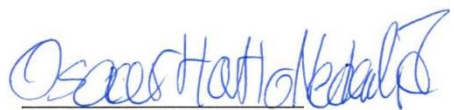
Prosjektet har pågått i perioden 09. Januar 2019 til mappelevering 20. mai 2019



Denis Sjøstad



Vegard André Justsen Alvestad



Oscar Hatlo Nedrelid

Sammendrag

Denne tekniske rapporten tar for seg utvikling og konstruksjon av en løsning som er designet for å erstatte dagens gipsprosess ved håndleddsbrudd. Løsningen innebærer å 3D-skanne en hånd og 3D-printe en brukertilpasset gipsskinne, og baserer seg på en tidligere hovedoppgave fra 2017. Denne prosessen skulle automatiseres ved å bruke dagens 3D-teknologi, i samarbeid med en gruppe automasjonsstudenter.

Det ble utviklet og bygget en 3D-skanner som i kombinasjon med modelleringsverktøy og 3D-printer skulle kunne generere en pasienttilpasset gips.

Rapporten inneholder en beskrivelse av arbeidsprosessen som har blitt gjort, med utførte tester, diskusjoner og resultater. Avgjørelsene i oppgaven er gjort for å skape en best mulig fungerende prototype med tanke på kvalitet, tid, økonomi, brukervennlighet, komfort og design. Prosjektet ble gitt uten spesielle begrensninger, men med forbehold at prosessen burde ta rundt 30 minutter.

Resultatet ble en fungerende 3D-skanner, men som ikke produserer gode nok modeller til at en gips kan genereres fra en skannet hånd.

Summary

This technical report includes the development and construction of a solution designed to replace today's plastering process for a wrist fracture. The solution involves 3D-scanning an arm and 3D-printing a user customized cast and is based on a previous bachelor thesis from 2017. This process was to be automated by implementing current 3D-technology in cooperation with a team of automation students.

A 3D-scanner was developed and built to generate a user customized cast with the use of modelling software and a 3D-printer.

The report contains a description of the work process, performed tests, discussions and results. The decisions made were done to create the best functional prototype possible with regards to quality, time, economy, user-friendliness, comfort and design. The project was presented without specific limitations but with the caveat that the plastering process should be completed in about 30 minutes.

The result was a functional 3D-scanner, though the models produced by the scanner lack the quality to generate a cast from a scanned arm.

Oppgaven

Behandlingen ved beinbrudd er en typisk tradisjonell behandling der pasienten får gips eller støtteskinner. Behandling med gips er et håndverk og en tidkrevende metode som ofte medfører et visst ubehag for pasienten. Med tilgang på ny teknologi som 3D-Scanning, 3D-Modellering og 3D-Printing bør det være mulig å forbedre behandlingen. En teknologistudie og bacheloroppgave utført i 2017 viste at dette er mulig.

Basert på tidligere bacheloroppgave, teknologistudie og konseptdesign skal det utvikles og bygges en maskin for kundetilpasset, 3D-Printbare gipsskinner. Oppgaven er tverrfaglig og av praktiske årsaker er studentene delt inn i to team. POD-studenter og automasjonsstudenter. POD-studenter vil i hovedsak stå for utforming, design, bygging av maskin og interaksjon med sluttbruker. Automasjon vil stå for elektronikk, software og brukerinterface(software). Studentene og de to prosjektteamene må i prosjektperioden ha en tett dialog og en klar arbeidsfordeling for gjennomføring av prosjektet.

Oppgaveformulering

1. Legge opp en prosjektplan for gjennomføring av prosjektet og koordinering av aktiviteter mellom prosjektteamene
2. Bygge en tidlig prototype av skannemodulen. Funksjonsmodellen skal brukes til testing av kamera og software-utvikling. Her er det viktig at testingen kan startes så tidlig så mulig.
3. Brukerinteraksjon: Snakke med brukere og fagpersoner for å identifisere behov, ønsker og muligheter for utforming maskin.
4. Designe en maskin
5. Bygge maskinen
6. Prototyper: Bygge prototyper og teste i samarbeid med bruker. Her er både Virtual Reality / Virtual Prototyping og bygging av fysisk maskin mulig.

Veiledere ved NTNU i Ålesund er Paul Steffen Kleppe og Webjørn Rekdalsbakken, og kontaktpersoner/ faglig veiledere ved Ålesund Sjukehus er Andreas Fagerhaug Dalen.

Innholdsliste

Forord.....	1
Sammendrag	2
Summary	3
Oppgaven	4
Innholdsliste	6
Innholdsliste – Bilder	8
Innholdsliste – Tabeller	10
Innholdsliste – Figurer	11
Terminologi	12
1 Innledning.....	13
1.1 Bakgrunn	13
1.2 Formål.....	13
1.3 Kravspesifikasjoner.....	13
1.4 Rapportinnhold.....	14
2 Dagens prosess og tidligere studie.....	15
2.1 Gipsprosessen	15
2.1.1 Framgangsmåten.....	15
2.1.2 Geometriutforming	20
2.2 Tidligere oppgave	21
2.2.1 Skann til print	21
2.2.2 Utforming av gips	23
2.2.3 Materialtesting	26
2.2.4 Konseptmaskin	27
3 Teknologistudier.....	28
3.1 Ideer til inspirasjon.....	29
3.2 Tilgjengelig teknologi.....	30
3.2.1 3D Skanning	30
3.2.2 3D-modellering/datamodellerings verktøy.....	35
3.2.3 3D-printer for produksjon	36
3.3 Endelige Konseptet.....	45
4 Arbeidsprosess	46
4.1 Konseptutvikling – Å SE.....	47
4.1.1 Problemstilling.....	47

4.1.2	Ide.....	52
4.1.3	Utviklingsfase	54
4.2	Å skape og forbedre – 3D-skanner	55
4.2.1	Utstyr	55
4.2.2	Valg av modell	56
4.2.3	Datakortdeksel	57
4.2.4	Kameravinkel og overlapp.....	58
4.2.5	Ring for kamera	60
4.2.6	Dekselfeste	62
4.2.7	Låseflenser.....	66
4.2.8	Fotstøtte	68
4.2.9	Deksel for ring	70
4.2.10	Håndstøtter	73
4.2.11	Implementere - Byggeprosessen.....	77
4.3	Å skape og å forbedre - Gips	89
4.3.1	Manipulering av importert 3D-modell	90
4.3.2	Utvikling av Gipsgenerering.....	97
4.3.3	Printing av gips	106
5	Resultat.....	110
5.1	3D-skanner	111
5.1.1	Skannemaskinen.....	111
5.1.2	Montering.....	113
5.1.3	Kvalitet.....	116
5.1.4	Tid og kostnader	117
5.1.5	Pris på maskinen.....	121
5.2	Gips.....	123
5.2.1	Prosess fra utført 3D-skann til ferdig gipsskinne.....	123
5.2.2	Gipsskinne	128
5.3	Printer.....	130
5.4	Virtual Reality	133
5.5	Funksjon for prosessen	135
5.6	Resultat av skann.....	136
6	Diskusjon	137
7	Konklusjon.....	140
8	Referanse.....	141

Innholdsliste – Bilder

Bilde 2.1: Komfortstrømpe.....	16	Bilde 4.6: Klipper bandasjen under gipsen med saks	49
Bilde 2.2: Underlagsbandasje	16	Bilde 4.7: Gips fjernet fra hand.....	49
Bilde 2.3: Påføring av kalkkluter	16	Bilde 4.8: Lager for alt utstyret som blir brukt til gipsing.....	51
Bilde 2.4: Overflatebandasje	16	Bilde 4.9: Oppsett for gipsing	51
Bilde 2.5: Forming i riktig positur	16	Bilde 4.10: Raspberry Pi, med kamera (Seed Studio, u.d.).....	55
Bilde 2.6: Fjerning av gips med saks.....	16	Bilde 4.11: Raspberry Pi kamera (Kjell and Company, u.d.).....	58
Bilde 2.7: Komfortstrømpe.....	18	Bilde 4.12: 50% størrrelse av scanner-ring.....	60
Bilde 2.8: Underlagsbandasje	18	Bilde 4.13: Oppsett for testing.....	60
Bilde 2.9: Påføring av plastbandasje	18	Bilde 4.14: To ringmoduler i Cura	61
Bilde 2.10: Forming for riktig positur	18	Bilde 4.15: 3D-printing av ringmoduler	61
Bilde 2.11: Fjerning av skarpe kanter	18	Bilde 4.16: Eksempel på deksselfeste.....	62
Bilde 2.12: Fjerning av gips med elektrisk sag	18	Bilde 4.17: Eksempel på deksselfeste 3.....	63
Bilde 2.13: Riktig vinkel på håndleddet (Gya & Thorsen, 2017).....	20	Bilde 4.18: Eksempel på deksselfeste 2.....	63
Bilde 2.14: Feil positur av håndleddet (Gya & Thorsen, 2017).....	20	Bilde 4.19: Eksempel på deksselfeste 4.....	64
Bilde 2.15: Metacarpophalangeal-leddet (Gya & Thorsen, 2017).....	20	Bilde 4.20: Endelige deksselfeste	64
Bilde 2.16: Fri bevegelse i tommelen (Gya & Thorsen, 2017).....	20	Bilde 4.21: Låsemekanisme.....	64
Bilde 2.17: Tidligere konseptmaskin (Gya & Thorsen, 2017).....	27	Bilde 4.22: Innfestning for deksselfeste	65
Bilde 3.1 3D-printet gips fra Activarmor (ActivArmor, 2017)	29	Bilde 4.23: Endelige sammensettingen	65
Bilde 3.2: The Curatio plakat (Smakman, Core77.com, 2016)	29	Bilde 4.24: Bakre flens i Cura	67
Bilde 3.3: Fotogrammetri illustrasjon (Thehaskinssociety, u.d.)	31	Bilde 4.25: Fremre flens i Cura.....	67
Bilde 3.4: Fly-fotogrammetri (s3-media1, u.d.)	32	Bilde 4.26: Delene for fotstøtte av tre.....	68
Bilde 3.5: Nærfotogrammetri (Solidvision, u.d.)	32	Bilde 4.27: Fotstøtte av tre, sammensatt	68
Bilde 3.6: Laseskanning illustrasjon (Laserdesign, 2014)	33	Bilde 4.28: Sammensettingen av endelige fotstøtten.....	69
Bilde 3.7: LIDAR laserskanning (Oceanservice, u.d.)	33	Bilde 4.29: Del av fotstøtten i Cura	69
Bilde 3.8: UDP begrensninger, bilder hentet fra Uniz slicer	40	Bilde 4.30: Dekselende, underbitt	71
Bilde 4.1: Gipsestue.....	48	Bilde 4.31: Dekselende, overbitt.....	71
Bilde 4.2: Utstyret klar for gipsing, vedsiden av kalkvasken	48	Bilde 4.32: Eksempel på håndstøtte	73
Bilde 4.3: Klar for test av gipsing	48	Bilde 4.33: Eksempel 2 på håndstøtte	73
Bilde 4.4: Kutting av plastgips med elektrisk sag.....	49	Bilde 4.34: Endelige maskinen med testdukke	76
Bilde 4.5: Bender bort gipsen med klype	49	Bilde 4.35: "Warping"	78
		Bilde 4.36: "Platting" rundt modellen.....	79
		Bilde 4.37: Liming av bunnplaten	79
		Bilde 4.38: Eksempel på stringing	79
		Bilde 4.39: Illustrasjon av mating på Ultimaker	80
		Bilde 4.40: Eksempel på uferdig print.....	81
		Bilde 4.41: Første versjon av LED-glass.....	82
		Bilde 4.42: Endelig versjon av LED-glass	82
		Bilde 4.43: U-skravert og skravert LED-glass	83
		Bilde 4.44: LED-glass installert.....	83
		Bilde 4.45: LED-glass installert 2	83
		Bilde 4.46: Komplette fot.....	84

Bilde 4.47: Skravur i plexiglass	84	Bilde 5.14: Montering av sidevegg	114
Bilde 4.48: Eksempel på fjerning av gummilakk	85	Bilde 5.15: Montering av plexiglass	114
Bilde 4.49: Fjerning av maskering	85	Bilde 5.16: Ferdig montert fotstøtte.....	114
Bilde 4.50: Pussing av del	86	Bilde 5.17: Raspberry Pi i dekselet.....	115
Bilde 4.51: Et lag med primer	86	Bilde 5.18: Raspberry Pi-dekse-feste montert	115
Bilde 4.52: To lag lakk.....	86	Bilde 5.19: Raspberry Pi i holderen.....	115
Bilde 4.53: Et lag klarlakk.....	86	Bilde 5.20: Monterer ringen på fotstøtten .	115
Bilde 4.54: Maskering av deler	87	Bilde 5.21: Skrudd fast håndstøttene	115
Bilde 4.55: Klargjøring før lakkering	87	Bilde 5.22: Kobler maskinen	115
Bilde 4.56: 5 lag med gummilakk	87	Bilde 5.23: STL-Import	123
Bilde 4.57: Tørring av lakken.....	87	Bilde 5.24: Move object.....	123
Bilde 4.58: Oppheng for lakkering.....	87	Bilde 5.25: Smooth facet body.....	124
Bilde 4.59: Fjerning av maskering	87	Bilde 5.26: Cleanup facet body	124
Bilde 4.60: STL importering i NX.....	90	Bilde 5.27: "Polygon Modeling"-fanen	124
Bilde 4.61: Fanen "polygon modeling" i NX ..	91	Bilde 5.28: Linked Body i Model history	124
Bilde 4.62: Skjerm bilde av NX ved bruk av "cleanup facet body" funksjonen	92	Bilde 5.29: WAVE Geometry Linker med valgt hånd	124
Bilde 4.63: Eksempel på feilmelding.....	98	Bilde 5.30: Assembly Navigator	125
Bilde 4.64: Modellhistorikken før revurdering	102	Bilde 5.31: Gips-skinne-meny for plassering	125
Bilde 4.65: Modellhistorien etter revurdering	102	Bilde 5.32: Forklaringsbilde, plassering	125
Bilde 4.66: Første printet gips, underdel.....	106	Bilde 5.33: Gips-meny for dimensjoner	126
Bilde 4.67: Første printet gips, hele delen ..	106	Bilde 5.34: Gips-meny for dimensjonering av hull	126
Bilde 4.68: Skjerm bilde av Cura, forsøk 2....	107	Bilde 5.35: Gips-meny med modell.....	126
Bilde 4.69: Skarpe hjørner	107	Bilde 5.36: Avanserte innstillinger for tommel, vinkel ovenfra	127
Bilde 4.70: Ujevnheter i tommel	107	Bilde 5.37: Avanserte innstillinger for tommel, vinkel forfra.....	127
Bilde 4.71: Test av gips	107	Bilde 5.38: Eksportering til STL-fil	127
Bilde 4.72: Resultat av forsøk 3	108	Bilde 5.39: Resultatet av gipsutformingen .	129
Bilde 4.73: Skjerm bilde av Cura, forsøk 3....	108	Bilde 5.40: VR-miljø nr.1	133
Bilde 4.74: Printing av forsøk 3.....	108	Bilde 5.41: VR-miljø nr.2	134
Bilde 4.75: Skjerm bilde av Cura, forsøk 4	109	Bilde 5.42: Siste skann utført på en hånd...	136
Bilde 4.76: Resultat av forsøk 4	109	Bilde 5.43: Samling av forskjellige skannede modeller.....	136
Bilde 4.77: Printing av forsøk 4.....	109		
Bilde 5.1: Scannemaskinen ferdig montert .	111		
Bilde 5.2: Bunn til maskinen	112		
Bilde 5.3: Ring for maskinen.....	112		
Bilde 5.4: Bunn og ring sammensatt	112		
Bilde 5.5: Sporfeste	113		
Bilde 5.6: Halve ringen montert	113		
Bilde 5.7: Hele ringen montert	113		
Bilde 5.8: Kobling.....	113		
Bilde 5.9: Bakflensen montert.....	113		
Bilde 5.10: Bakflensen montert på ring	113		
Bilde 5.11: Kobling.....	114		
Bilde 5.12: Halve flens montert.....	114		
Bilde 5.13: Framflensen montert på ring	114		

Innholdsliste – Tabeller

Tabell 3.1: Sammenligning av printere.....	39
Tabell 3.2: slicer sammenligning	41
Tabell 3.3: Sammenligning av mekaniske egenskaper	41
Tabell 4.1: Ulike løsninger	56
Tabell 4.2: Synsdiameter uten overlapp.....	59
Tabell 4.3: Synsdiameter med overlapp.....	59
Tabell 4.4: Innhold i låseflenser.....	66
Tabell 4.5: Laserkutting tid	69
Tabell 4.6: Vurderte metoder for deksel.....	70
Tabell 4.7: Lakktest.....	85
Tabell 4.8: Utvikling av konsept for mal.	99
Tabell 4.9: Utvikling av gipsgenerering	101
Tabell 4.10: Sammenligning av utjevning....	103
Tabell 4.11: Vurdering av forsøk 2, gips	107
Tabell 4.12: Vurdering av forsøk 3, gips	108
Tabell 4.13: Vurdering av forsøk 4, gips	109
Tabell 5.1: Printematerial og tidsforbruk på 3D-printing av deler.....	118
Tabell 5.2: Total sum på printing.....	118
Tabell 5.3: Forhold mellom printet og kjøpt deksel.....	119
Tabell 5.4: Svinn av material og tid ved 3D- printing av delene.....	120
Tabell 5.5: Pris plexiglass.....	121
Tabell 5.6: Pris treplate	121
Tabell 5.7: Pris bolter og skruer.....	121
Tabell 5.8: Pris elkomponenter	122
Tabell 5.9: Pris lakk.....	122
Tabell 5.10: Pris arbeid	122
Tabell 5.11: Pris for skannemaskin.....	122
Tabell 5.12: Sammenligning av de to printerene som vurderes som mest aktuell	130
Tabell 5.13: Kostnader for utførelse av gipsing	132
Tabell 5.14: Antall pasienter for nedbetaling av maskin	132
Tabell 5.15: Antall maskiner nedbetalt på et år	132

Innholdsliste – Figurer

Figur 2.1: Konsept 1 fra tidligere oppgave (Gya & Thorsen, 2017).....	24
Figur 2.2: Konsept 2 fra tidligere oppgave (Gya & Thorsen, 2017).....	24
Figur 2.3: Konsept 3 fra tidligere oppgave (Gya & Thorsen, 2017).....	25
Figur 2.4: Konsept 4 fra tidligere oppgave (Gya & Thorsen, 2017).....	25
Figur 3.1: Dyse-illustrasjon.....	38
Figur 4.1:Konseptmaskin fra tidligere hovedoppgave.....	52
Figur 4.2: Raspberry pi 3 model B cover.....	57
Figur 4.3: Eksempel på 0% overlapp.....	58
Figur 4.4: Synsdiameter mellom 6 og 8 kamera.....	59
Figur 4.5: Ringmodul.....	60
Figur 4.6: Endelige ringmodulen.....	61
Figur 4.7: Endelige ringen.....	61
Figur 4.8: Låseflens med bolter.....	66
Figur 4.9: Bakre låseflens.....	66
Figur 4.10: Fremre låseflens.....	66
Figur 4.11: Eksempel på fotstøtte.....	68
Figur 4.12: Hele modellen med fotstøtte av tre.....	68
Figur 4.13: Endelige fotstøtten.....	69
Figur 4.14: Hele endelige modellen.....	69
Figur 4.15: Endelige maskinen med deksel ...	72
Figur 4.16: Endelige håndstøtten forran.....	74
Figur 4.17: Endelige håndstøtten bakre.....	75
Figur 4.18: Illustrasjon av festeutforming.....	75
Figur 4.19: Eksempel på Litago-modell som må behandles.....	90
Figur 4.20: STL-fil av en hand.....	91
Figur 4.21: "Snip" og "fill hole" funksjonen i NX.....	93
Figur 4.22: Funksjonen "smooth facet body" i NX.....	94
Figur 4.23: Funksjonen "adjust minimum radius" i NX.....	95
Figur 4.24: Funksjonen "local offset" i NX.....	96
Figur 4.25: "Local offset" ble brukt på drillen	97
Figur 4.26: STL-fil av en drill.....	97
Figur 4.27: "Snip facet body" ble brukt på drillen.....	97
Figur 4.28: "Snip facet body" funksjonen.....	97
Figur 4.29: STL-fil av en hand, tidlig fase.....	98
Figur 4.30: Endelig konsept på mal.....	100
Figur 4.31: Endelig konsept av mal, med utkapp av gipsen.....	100
Figur 4.32: Integrerte handa.....	104
Figur 4.33: Funksjonen "offset surface".....	104
Figur 4.34: Malen i sin helhet i NX.....	104
Figur 4.35: Endelige gipsen, ut ifra handen	105
Figur 4.36: Endelige gipsen, ovenfra.....	105
Figur 4.37: Endelige gipsen, underfra.....	105
Figur 5.1: Scannemaskinen i NX.....	111
Figur 5.2: Diagram for fordelingen av printematerial.....	117
Figur 5.3: Diagram for forholdet mellom printetid til antall printere.....	118
Figur 5.4: Diagram for forhold mellom å printe selg og å kjøpe deksel.....	119
Figur 5.5: Diagram for materialforbruk.....	120
Figur 5.6: Diagram for tidsbruk.....	120
Figur 5.7: Diagram for kostnadsfordeling av maskinen.....	121
Figur 5.8: STL-fil importert.....	123
Figur 5.9: Riktig plassering av hånd i høyde	123
Figur 5.10: Riktig plassering av hånd i område.....	123
Figur 5.11: Mønsterillustrasjon.....	128
Figur 5.12: Detaljfigur av avrundede kanter	128
Figur 5.13: Arbeidsflyten.....	135

Terminologi

Terminologien tar for seg ord, akronymer og faguttrykk som blir brukt i deler av rapporten, og som kan være ukjent for leser.

ORD	FORKLARING
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
PLA	PolyLactic Acid
Assembly	Sammenstilling
Virtual Reality	Virtuell virklighet
FFM	Fused Fillament Fabrication
FDM	Fused Deposition Modeling
SLA	Stereolithography
DLP	Digital Light Projection
SLS	Selective Laser Sintering
VAT Polymerization	Fat med fotopolymer veske
UDP	Uni Directional Peel
AM	Additive Manufacturing
PTS	Product Templates Studio (produktkonfigurator)
NX	Siemens NX

1 Innledning

Her presenteres bakgrunn, formål, kravspesifikasjoner og innhold i rapporten. Den tekniske rapporten skal dokumentere arbeidsprosess i sin helhet inkludert bilder, tabeller og veien videre.

1.1 Bakgrunn

I Norge skjer det omtrent 15 000 håndleddsbrudd per år og er vanligst å behandle med den tradisjonelle kalkgipsen eller plastgips (Nilsen, 2014). Denne behandlingen er både tid- og ressurskrevende.

En tidligere hovedoppgave (Gya & Thorsen, 2017) har vist at det kan brukes 3D teknologi som skanning, modellering og printing for å lage en pasientspesifikk gips. I denne oppgaven bygges det videre på dette ved å effektivisere prosessen fra skann til ferdig gips.

1.2 Formål

Formålet med oppgaven var å forenkle dagens gipsprosess ved å ta i bruk 3D teknologier som skanning, modellering og printing. Dette skulle gjøres ved å lage en fungerende prototype av en 3D-skanner som skulle skanne hånd, og derfra fremstille en gipsskinne ved 3D-modellering og -printing.

1.3 Kravspesifikasjoner

En slik løsning må:

- Fristille personal
- Utføre prosessen på omtrent 30min
- Være lønnsom for sykehuset
- Kunne implementeres på et sykehus/legekontor
- Ha separat skannemodul og 3D-printer
- Kunne utføres uten kompetanse innen 3D-teknologi

1.4 Rapportinnhold

Denne rapporten er delt inn i 8 kapitler + vedlegg:

Kapittel 1 – Innledning: Beskriver oppgaven med innledning, bakgrunn, formål og krav.

Kapittel 2 – Dagens prosess og tidligere studie: Beskriver dagens behandling for håndleddsbrudd og det som har blitt gjort i tidligere oppgave.

Kapittel 3 – Teknologistudiet: Beskriver dagens 3D-teknologi som kan brukes videre i oppgaven.

Kapittel 4 – Arbeidsprosess: Forklarer arbeidet som har blitt utført, fra ide til produkt.

Kapittel 5 – Resultat: Beskriver resultatet for det endelige produktet.

Kapittel 6 – Diskusjon: Diskuterer resultat og forbedringspotensial.

Kapittel 7 – Konklusjon: Konklusjon av hele prosjektet.

Kapittel 8 – Bibliografi

2 Dagens prosess og tidligere studie

I dette kapitlet blir det tatt for seg dagens prosess på behandling av håndleddsbrudd. Resultatene fra den tidligere oppgaven blir også tatt for seg her.

2.1 Gipsprosessen

Basert på den tidligere bachelor-oppgaven og samtaler med lege og sykehusbesøk, så vet vi at når det skjer et håndleddsbrudd så ankommer du typisk akuttmottaket og du starter ventingen på din tur til å ta de nødvendige røntgenbildene. Du venter så litt til på svaret på bildene der legen vurderer og utfører en klinisk undersøkelse av bruddet. Basert på bruddet så vil det avgjøres behandlingsmetode. Ved påvist brudd blir det neste steget å få på en gips. Vanligvis så er det sykepleiere på ortopedisk poliklinikk som utfører gipsingen, men utenfor skadepoliklinikken sine åpningstider er de oftest turnuslegene som står ansvarlige for gipsingen på akuttmottaket, som gjør at det kan være stor variasjon av kvalitet på sluttproduktet.

2.1.1 Framgangsmåten

Kalkgips

For kalkgips vil det først legges en tynn strømpe over armen, deretter et lag med bandasje/bomullsforing for å øke komforten til pasienten og hindre direkte kontakt mellom hud og gips. Videre legges det fuktige kalkkluter på området som skal beskyttes, som er den mest krevende prosessen for legene. Dersom kalken blir presset for hard på et område vil de lages en kul inn mot huden som vil være ubehagelig for pasienten, som kan få trykksår på området, dette spesielt dersom det er en eldre pasient med tynnere hud. Det legges til slutt en bandasje rundt kalken og formes i riktig positur. Det kan ta opptil 24 timer før kalken stivner, så pasienten må være forsiktig med gipsen i denne perioden. Fjerning av gipsen gjøres ved å klippe gipsen med en saks der det ikke er påført kalk.



Bilde 2.1: Komfortstrømpe



Bilde 2.2: Underlagsbandasje



Bilde 2.4: Overflatebandasje



Bilde 2.3: Påføring av kalkkluter



Bilde 2.5: Forming i riktig positur



Bilde 2.6: Fjerning av gips med saks

Plastgips

Plastgipsen har relativ lik framgangsmåte som kalkgipsen. Denne typen brukes vanligvis etter en eventuell hevelse har gått ned. Dette er den mest moderne gipsmetoden i Norge, men blir ganske sjeldent brukt fordi det er få leger som kan å påføre denne. Samme med denne må en vente opp mot 24 timer før gipsen er ferdig herdet. Fjerning av denne gipsen må gjøres med en elektrisk sag som kan være svært traumatiserende for barn og unge, da det er ei skive som vibrerer voldsomt for å klare å kutte gjennom plasten. Deretter må bandasjen klippes med saks.



Bilde 2.7: Komfortstrømpe



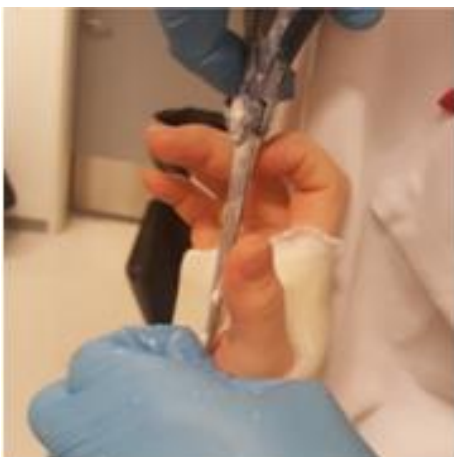
Bilde 2.8: Underlagsbandasje



Bilde 2.10: Forming for riktig positur



Bilde 2.9: Påføring av plastbandasje



Bilde 2.11: Fjerning av skarpe kanter



Bilde 2.12: Fjerning av gips med elektrisk sag

Gjennom gipsingen vil sykepleier/turnuslegen ikke ha mulighet til å gjøre noe annet arbeid. Og ofte kan det være to som utfører gipsingen, som vil være ressurskrevende når det tar cirka 20 min per gips.

Dersom en gips blir dårlig påført, eller at en eventuell hevelse har gått bort vil det være nødvendig å fjerne gipsen etter et par dager og sette på en ny gips. For å fjerne gipsen for eventuell kontroll eller når man har gått ut tida med den må den klippes eller sages som er en komplisert jobb.

Gipsen som brukes i dag er ubehagelig å ha på, og den er stor som gjør det vanskelig med tanke på klær. Kalkgipsen kan løsnes litt på bandasjen av pasienten selv dersom den blir for stram, mens plastgipsen må kappes på sykehuset. Plastgipsen kan også være svært ubehagelig med tanke på plasttråder og kanter kan stikke ut på de åpne områdene. Pasienten kan heller ikke dusje med gipsen på.

2.1.2 Geometriutforming

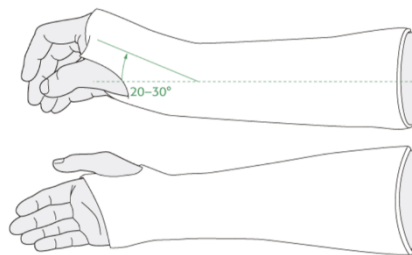
Basert på tidligere oppgave (Gya & Thorsen, 2017)

En viktig faktor som en må tenke på ved påføring av gips er geometriutforminga til hånden.

Grunnet fare for forskyvinger og nye brudd på bruddstedet setter en på en gips på håndleddet for å forhindre at dette skjer. Når en da påfører gipsen er det viktig at det er en liten bevegelighet i fingrene.

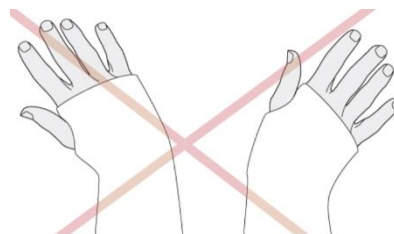
For å oppnå dette er de tre punkter som vi må tenke på når vi skanner hånden.

- ✓ Hånden skal ha en vinkel på cirka 30 grader, fordi bruddet leges best i denne vinkelen



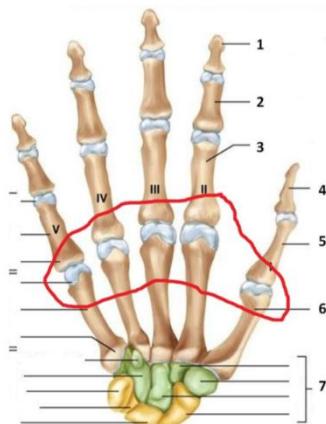
Bilde 2.13: Riktig vinkel på håndleddet (Gya & Thorsen, 2017)

- ✓ Det er viktig at håndleddene ikke er i feil positur under skanningen, de skal være rettest mulig.

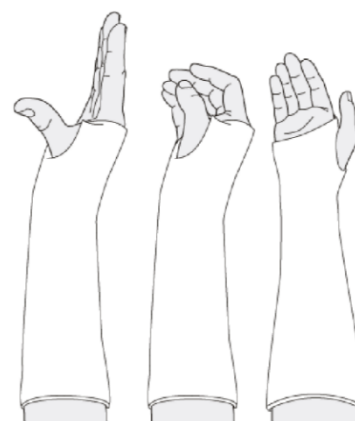


Bilde 2.14: Feil positur av håndleddet (Gya & Thorsen, 2017)

- ✓ Pasienten skal ha fri bevegelse i metacarpophalangeal-leddet, dette for å unngå tap av bøyning i leddet.



Bilde 2.15: Metacarpophalangeal-leddet (Gya & Thorsen, 2017)



Bilde 2.16: Fri bevegelse i tommelen (Gya & Thorsen, 2017)

2.2 Tidligere oppgave

Den tidligere hovedoppgaven undersøkte mulighetene for å 3D-skann en hånd, utforme og 3D-printe en gipsskinne basert på dette skannet. Hovedfokuset til oppgaven var å generere og optimalisere en gips som kunne 3D-printes. Kapittel 2.3 er et sammendrag av relevant informasjon fra deres oppgave. (Gya & Thorsen, 2017)

2.2.1 Skann til print

Prosess for å gå fra skann til 3D-print er beskrevet i detalj i tidligere bacheloroppgave f.o.m kapittel 4.2.1 (Gya & Thorsen, 2017). Her kommer en kort oppsummering med kommentarer på denne prosessen.

Skann til 3D-modell

I den tidligere bachelor-oppgaven brukte studentene blant annet laserskanner sammenkoblet med et nettbrett for å få 3D-skann.

De type skannere tilgjengelig ved NTNU på dette tidspunktet var en PrimeSense Depth RD 1.08, denne brukes helst til skanning av større objekter enn en hånd. Det finnes mer passende laserskannere til denne oppgaven. Der var en tilgjengelig, men den var av for lav kvalitet.

Proessen er for behandling av skannet var relativt tungvint med tredjeparts «reverse engineering» programmer før man får modellen inn i CAD-verktøy. Resultat-skannet var mangelfullt, men med etterbehandling ble det godt nok.

Det har blitt valgt å gå bort fra bruk av laserskanner og over på fotogrammetri for å produsere 3D-modeller i denne rapporten, dette kommer mer om senere i rapporten.

3D-modell til 3D-print

I tidligere oppgave ble det også vurdert å lage gips ut fra «strategiske mål» uten en skannet modell. De gikk raskt bort fra dette da det ble for komplekse geometrier i armen. Denne metoden var også vurdert for denne oppgaven, men ble fort valgt bort etter samtaler med lege.

Når skannet er kommet inn i NX forskyves overflaten ut noen millimeter for å gjøre plass til armen inni skallet. Skallet ekstruderes og man fjerner det man ikke trenger fra modellen som fingrer og bakre del av forarm.

Hele denne prosessen kan leses om f.o.m kapittel 4.2.1 i tidligere hovedoppgave (Gya & Thorsen, 2017).

2.2.2 Utforming av gips

Den endelige utformingen av gipsen er basert på resultatet de kom frem til i den tidligere oppgaven. I og med at det blir brukt skolens 3D-printere¹, ble det sett på det som hensiktsmessig å følge denne oppgavens fotspor med tanke på utforming av gipsen.

I denne delen blir det derfor gått igjennom resultatet fra den tidligere oppgaven.

TO DELER

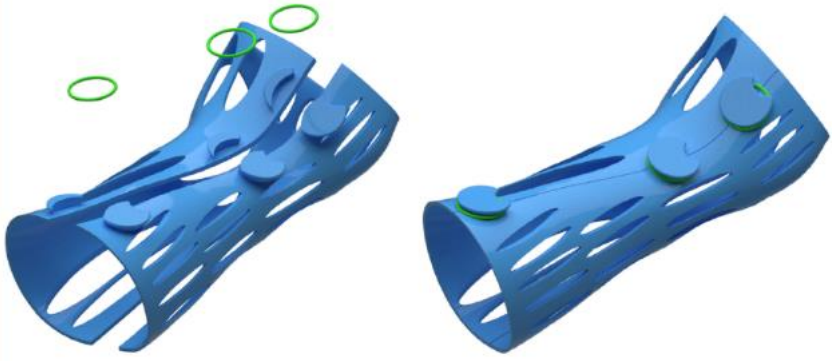
Det ble tidlig i utformingsprosessen sett på å mest mulig ligne på den konvensjonelle bandasjegipsen, som en heldekkende beskyttelse. For å få på printergipsen var tanken å dele den i to på langs, og de måtte dermed finne en god løsning for å feste disse to delene sammen igjen. (Figur 2.1-2.3)

Et vesentlig problem som går igjen ved de første 3 konseptene er at små tilleggsdeler utenfor utformingen av hånden står for sammenføyingen av de to delene. Det betyr det at dette må modelleres manuelt. I tillegg ville det, som også nevnes, føre til økt produksjonstid, det kan lett hektes i klær og ha en viss sårbarhet både under og etter produksjon.

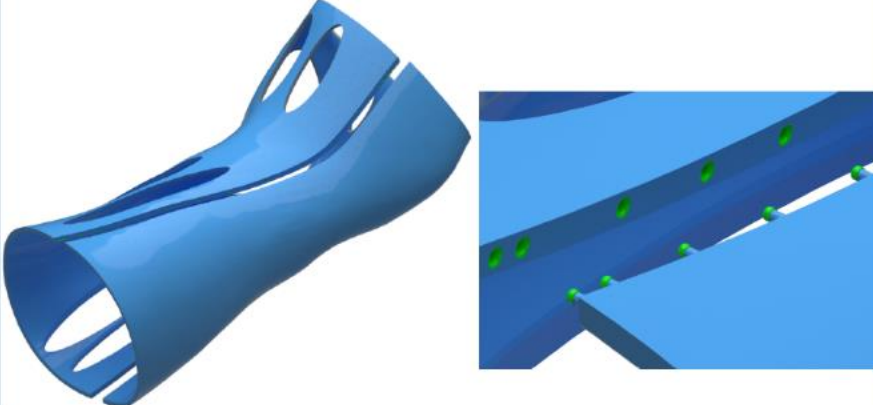
EN DEL

Senere i utviklingen ble det funnet ut at den beste løsningen var å unngå å ha to separate deler. Den beste løsningen var å beholde den halvparten som dekker tommelsiden av hånd og underarm. Som figur 2.4 av konseptutviklingen viser, var det løsningen også legen var mest fornøyd med, og som ga flere fordeler enn ulemper.

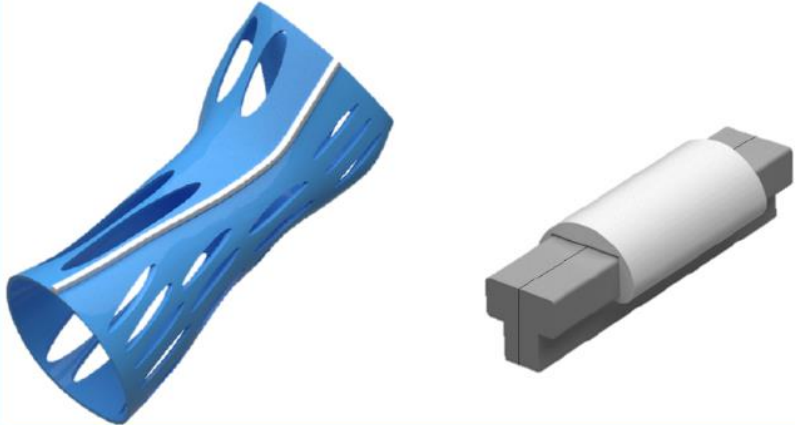
¹ Ultimaker 2+

Konsept 1: Strikk-løsning	
<p>Ved denne løsningen er tanken at det skal være lett å kunne ta av og på ved en enkel strikk som holder disse to delene av gipsen sammen. Her printes det i tillegg en ekstra del på hver sin side som passer sammen, og låses med gummistrikk. Denne ble ikke tatt i bruk av den grunn at den kan feste seg i klær og legger til ekstra unødvendig printetid.</p>	
<p>Fordeler:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lett å ta av og på - Lett å lage 	<p>Ulemper:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Strikkene kan ryke - Lett å miste de små strikkene - Knottene kan hekte seg i klær
	

Figur 2.1: Konsept 1 fra tidligere oppgave (Gya & Thorsen, 2017)

Konsept 2: Pegg-løsning	
<p>Ved denne løsningen var det tenkt at en skal kunne "klipse" sammen disse to delene på en enkel måte. Disse små peggene skal låse seg sammen i hullene. Akkurat dette konseptet ble for sårbart for videre bruk, grunnet det svake låsepunkter. I tillegg ville det økt produksjonstiden.</p>	
<p>Fordeler:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Får en helt glatt overflate - Vanskelig å ta av for unger 	<p>Ulemper:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kan knekke lett - Vanskelig å printe - Kan være vanskelig å ta på
	

Figur 2.2: Konsept 2 fra tidligere oppgave (Gya & Thorsen, 2017)

Konsept 3: Zip-løsning	
<p>Ved denne løsningen var tanken noe lignende en zipper-pose, bare her skal den låse sammen gipsen. Hver del skulle ha en profil på over-og undersiden, som sammen danner et T-profil. Dette T-profilet skulle låses sammen med hjelp av en lang myk gjenstand. Dette var en relativt god løsning, men ble også sett vekk ifra grunnet lang produksjonstid.</p>	
<p>Fordeler:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Holder bra på plass - Lett å ta av og på 	<p>Ulemper:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kan knekke hvis ikke elastisk nok - Kan hekte seg i klær
	

Figur 2.3: Konsept 3 fra tidligere oppgave (Gya & Thorsen, 2017)

Konsept 4: Borrelås-løsning	
<p>Ved denne løsningen var tanken å bruke stropper med borrelås for å feste gipsen sammen. Dette ble den endelige løsningen etter samtale med lege, som en kan lese mer om i møtoreferatet (08.03.17). Dette konseptet var mindre tidkrevende, brukte mindre material og hadde gode egenskaper.</p>	
<p>Fordeler:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mulighet for justering - Lett å lage - Puster bedre - Komfort 	<p>Ulemper:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kan ryke ved dårlig kvalitet - Friksjon mot hud (gnage) - Borrelåsen kan bli våt
	

Figur 2.4: Konsept 4 fra tidligere oppgave (Gya & Thorsen, 2017)

2.2.3 Materialtesting

I den tidligere bacheloroppgaven (Gya & Thorsen, 2017) har studentene gjennomført materialtester og sammenlignet tradisjonelt gipsmateriale med PLA. Fra disse testene ser en at PLA har egenskaper som gjør det egnet som gipsmateriale.

Man ser at PLA tåler større trykk og har bedre knekkeegenskaper (noe avhengig av fiberretningen) enn de tradisjonelle materialene kalk- og plast-gips. Kalkgipsen kommer klart dårligst ut fra disse testene. Den tradisjonelle plastgipsen gjør det betydelig bedre enn kalk, men er også klart svakere enn PLA.

Styrken i PLA vil gi muligheter for et gipsdesign med god lufting. Derav unngår man innesteng sur lukt fra inn under gipsen etter dusjing, bading og svetting.

Fra hulltestene i tidligere bacheloroppgave ser man at hull med lav stigning gir minimalt overheng og deformasjon.

PLA skal i utgangspunktet ikke tåle vann over lengre tid. Det viser seg allikevel å klare seg relativt godt i vann, dette ser man fra en test utført. Her blir gipsen lagt bløt i 1 måned uten å ta merkbar skade av det.

Dette kan leses mer om i kapittel 4.5 i forløpende bacheloroppgave (Gya & Thorsen, 2017).

Økonomi

Det ble også fremstilt en enkel økonomisk modell for å vise besparingspotensialet til den nye maskin som blir utviklet. Beregningene baserer seg på 15 000 produserte gipspriser pr. år, som er et anslag på antallet håndleddsbrudd i Norge hvert år (Christensen, 2015).

Det ble kommet frem til at ved å bruke den nye teknologien ville det spares 3 120 000 kr i året sammenlignet med kalkgips, eller 4 870 000kr sammenlignet med plastgips (Gya & Thorsen, 2017).

2.2.4 Konseptmaskin

I den tidligere oppgava ble det tenkt på en konseptmaskin som kan implementeres på sykehuset. Bilde 2.17 viser deres konsept på maskinen. Det ble bestemt at det skulle være en automatisk prosess som tok mellom 10-20 minutter. Om maskinen kunne implementeres på et sykehus måtte utførelsen av prosessen være slik at verken legen eller sykepleieren trengte å ha kunnskap om 3D-teknologi. Det ble tenkt å ha en maskin med integrert 3D-skanner, 3D-moddelering, og 3D-printer, der dette skulle fungere sammen. Det var tenkt at den skulle fungere med at hånden skulle inn i hullet, der hånden blir skannet. Et dataprogram i denne maskinen konstruerer da en 3D-modell av gipsen etter formen på hånden. Deretter sendes dette til videre til 3D-printeren som da printer ut gipsen.



Bilde 2.17: Tidligere konseptmaskin (Gya & Thorsen, 2017)

Ettersom studien ble utført med laserskanning av hånd ble det klart at om en skal skanne ei hånd bør ikke dette ta flere sekunder. Grunnen til dette er at for en pasient med et brudd i håndleddet kan det være smertefullt å holde hånden stille over lengre periode. Som da gjør at det å skanne ei hånd over lengre tid føre til vi får en dårligere modell av hånden på grunn av bevegelse av hånden. Så i konseptmaskinen var tanken at den skulle ha flere kamera som tar bilde samtidig, altså å få ut en 3D-modell av fotogrammetri.

Det har altså blitt tenkt at dette skal være en maskin med både 3D-skanner og 3D-printer. Dette har blitt tatt med videre og diskutert dette med legen, og kommer senere i rapporten for bedre flyt.

3 Teknologistudier

Her skal det sees på forskjellige teknologier som er 3D-relatert for å se hva som finnes og hvilke som kan brukes videre i denne oppgaven. Det blir sett på Ideer og inspirasjon som ligger ute for denne type arbeid innenfor tilgjengelig teknologi som 3D-scanning, 3D-modellering og 3D-scanning.

3.1 Ideer til inspirasjon

Det ble lett etter ideer på internett for å få et innblikk i hva som har blitt gjort og hva som blir gjort i dag innenfor temaet 3D-skanning og -printing. 3D-printing, spesielt, har i de siste årene blitt mer og mer privatisert ettersom kostnadene på printerne har gått ned. Det man ser mer av i dag er en trend som tyder på at det neste store er privatiseringen av 3D-skannerteknologi. Smarttelefoner kan f.eks i dag fungere som 3D-skannere, hvis man har den riktige appen. Det som ble funnet ble kun brukt til inspirasjon.

ActivArmor (ActivArmor, 2019) er et firma i USA som i dag produserer 3D-printede, pasientspesifikke gipsskinner, i samarbeid med private legekantor. Legene 3D-skanner pasientens arm på kontoret. Små, private legekantor kan dermed tilby en gips til pasienten, og slipper å ha masse utstyr tilgjengelig for å kunne gipse på «vanlig» måte.



Bilde 3.1 3D-printet gips fra Activarmor (ActivArmor, 2017)

The Curatio (Smakman, core77, 2016) er tittelen på en studentoppgave fra 2016 hvor det ble laget en 3D-skanner. Teknologien som ble brukt var fotogrammetri. Det ble brukt 32 kamera av typen Raspberry Pi, som tok bilder samtidig, med laserpekere for å definere objektområdet.

Bilde 3.2: The Curatio plakat (Smakman, Core77.com, 2016)

THE CURATIO

The medical branch needs and develops a lot of very personalized products. The laser made surgical instruments, orthoses and prosthetics. Right now, scanning a hand is very hard due to the vast motion of the hand and the inability of most 3D scanners to scan all 360 degrees of the same time.

Using 32 Raspberry Pi cameras, 5 Laser Pointers and Photogrammetry software, a 3D Model can be created which can be used to create a 3D Printed brace. A working prototype was built to prove the working principles of the product. With this prototype, detailed hand scans and a range of printed braces have been produced.

TECHNOLOGY THE HUMAN CHOICE

Most 3D Scanners are based on an optical technique. This enables flexibility, speed and precision. With 27 bones, the hand is one of the most flexible and precisely controlled parts of the human body. Scanning the hand 360° is very difficult due to the angle nature of the hand. Most scanners have a particular point of view. This means that the scanner has to turn around the hand, or the hand has to turn in front of the scanner. Both ways, the hand will move and there will be loss of accuracy.

WHY SCAN THE HAND?

- CARPIS:** The Carpal is a 3D Printed cast specifically designed for the distal Radius fracture. The cast is very common in the case of a Colles' fracture, a broken wrist, which comes most of the time with a wrist problem associated with the wrist. In contrast, the Carpal is light, could be taken into the shower and is much more comfortable for the skin.
- ANTHRONOMY:** Every designer understands the importance of reliable anthropometric data. This is essential for developing safety products and safe equipment. The acquisition of anthropometric hand data is now expensive and labour-intensive.
- MEDICAL INSTRUMENT:** Often, surgeons have to perform eight hours of straight surgery. It is obvious that the tools should fit the hand very well, or he will experience a lot of stress and pain in the arms and hands.
- PROFESSIONAL GEAR:** Golfing gear which perfectly fits your hand, cycling gear individually designed or a steering wheel fitted to a Formula 1 driver. The possibilities of professionalisation and gear seem endless, when considered that a scan could be sent to a production facility or provided online. The scanner could be very beneficial, because it can precisely capture the hand in the right position.

3.2 Tilgjengelig teknologi

Her blir det sett på mulighetene for 3D-scanning, 3D-modellering og 3D-printing i dag.

3.2.1 3D Skanning

Hva er 3D-skanning?

Det å skanne handler om å fange opp utformingen eller den visuelle informasjonen til et objekt. Et godt eksempel er det som skjer når man bruker en kopimaskin. Man har en original som man putter inn i maskinen, og ut igjen får man en kopi med det samme innholdet. Skannefunksjonen på kopimaskinen fungerer litt på samme måte, men kopien ender opp som en digital kopi.

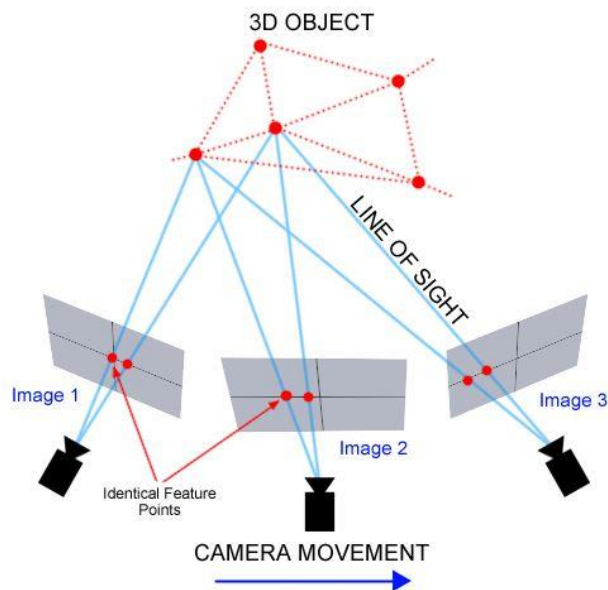
Denne typen form for skanning er velkjent for de aller fleste i dag, men begrenser seg til å operere innenfor to dimensjoner, kjent som 2D.

3D-skanning derimot tar steget videre ut i rommet og gir dermed muligheten for en digital kopi i tre dimensjoner, altså et objekt med volum. Så i stedet for å begrense seg til digitalisering av gamle bilder fra fotoalbumet eller en side fra en bok på biblioteket, gir 3D skanning oss en annen verden av muligheter. Man kan digitalisere overflaten av det meste, fra små objekt på bare noen millimeter til store landområder. Til og med en brukket arm.

Fotogrammetri

På engelsk: Photogrammetry. Photo (Light), Gram (Drawing), Metri (Measurement)

Tar utgangspunkt i fotografi, eller bilder. Man trenger minst to bilder som overlapper et objekt fra forskjellige posisjoner. Vanligvis tas først et bilde, før man flytter kameraets posisjon og tar et til. En annen måte å gjøre det på er å ha flere kameraer som tar bilde samtidig, såkalt *Stereofotogrammetri*.



Bilde 3.3: Fotogrammetri illustrasjon (Thehaskinnsociety, u.d.)

Med bildene kan man måle avstanden fra hver kameraposisjon til objektet, ved triangulering, og får dermed informasjon om hvor det punktet befinner seg i rommet. Med flere bilder øker kvaliteten og antall punkt, og det dannes en punktsky, som kan forklares som en sky av punkter eller koordinater i rommet.

Fotogrammetri kan sammenlignes med måten øynene dine klarer å fange opp dybde i det du ser. For å få frem dette dybdeperspektivet er øynene avhengig av en «computer», i vårt tilfelle hjernen, til å prosessere og konvertere denne informasjonen for å få frem et sammensatt bilde i tre dimensjoner. Det samme gjelder for fotogrammetri.

Teknologien har vært tilgjengelig i flere år, men på grunn av stadig utvikling av software har det i de siste årene blitt mer og mer allemannseie, og man kan i dag bruke smarttelefon til å skanne og fremstille en digital 3D-modell.

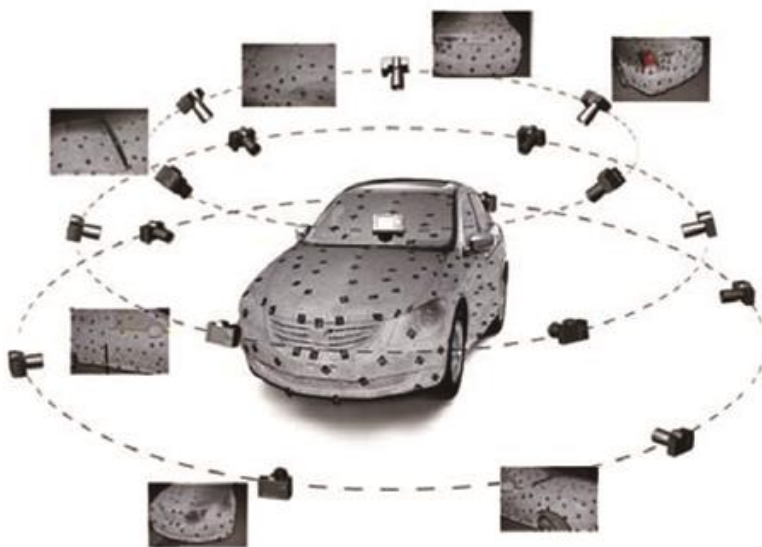
To hovedgrener

Ved **Flyfotogrammetri** blir bildene tatt fra et fugleperspektiv, som regel fra droner, fly eller satellitter. Det brukes til å kartlegge og digitalt fremstille geografiske områder, topografiske kart, landmåling, og bygninger.



Bilde 3.4: Fly-fotogrammetri (s3-media1, u.d.)

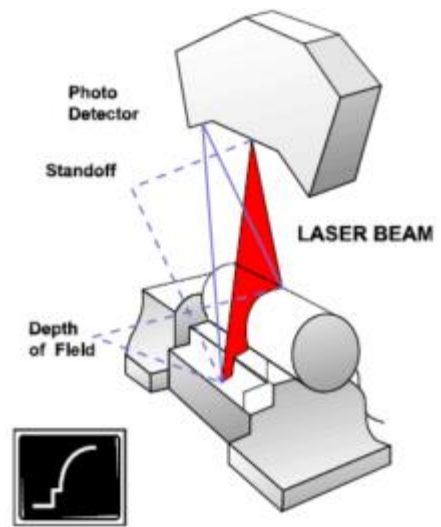
Den andre typen er **Nærfotogrammetri**, og den store forskjellen er at man tar bildene fra bakkeplan. Det brukes til ting som arkeologiske gjenstander, statuer, hele rom og dets interiør, bygninger og ellers det man kan tenke seg, som f.eks en arm.



Bilde 3.5: Nærfotogrammetri (Solidvision, u.d.)

Laserskanning

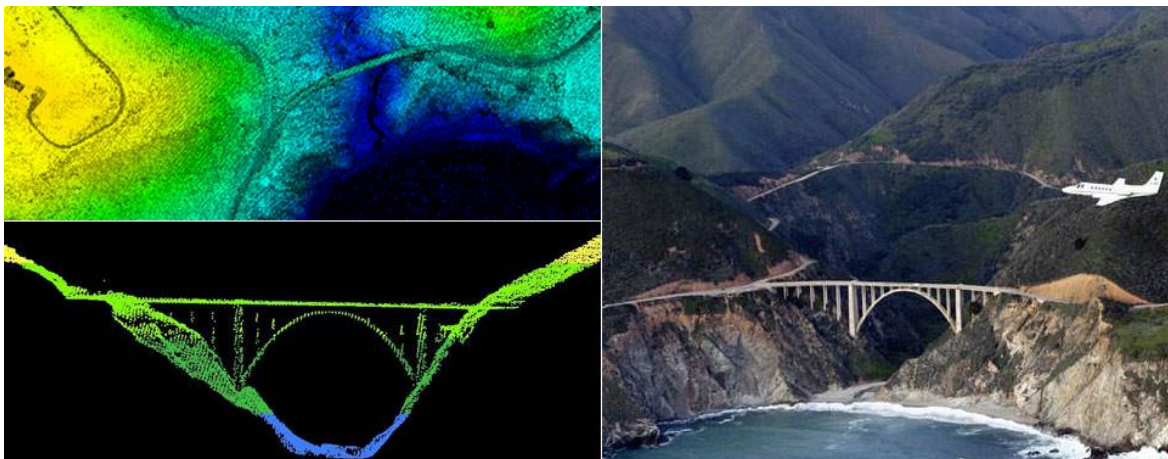
Laserskanning er ikke veldig ulikt fotogrammetri, og bruksområdet deles. Men det hele foregår på en litt annen måte. Imens fotogrammetri kartlegger posisjonen til objektet ved hjelp av flere bilder, bruker laserskanneren laser. Laserskanneren projiserer en laserstråle mot objektet og fanger så opp refleksjonen med en sensor. Laserstrålen kartlegger det som treffes som punkter, mens skanneren føres langs det aktuelle objektet. Resultatet er også her en punktsky som danner 3D-objektet.



Bilde 3.6: Laserskanning illustrasjon (Laserdesign, 2014)

Det finnes flere typer laserskannere, noe som ikke skal gå for dypt inn i fordi de baserer seg på den samme teknologien. Men det kan nevnes typer som:

- LIDAR (Light Detection and Ranging), som brukes ved større skala og kan sammenlignes med flyfotogrammetri.
- CT-skann (Computertomografi), kjent fra medisin, som tar bilde lagvis og danner et 3D-bilde, for eksempel av kropp.



Bilde 3.7: LIDAR laserskanning (Oceanservice, u.d.)

Sammenligning

Hvilken form for 3D-skanningsteknologi man skal gå for avhenger av hva man skal skanne, om nødvendig detaljnivå samt hva man har tilgjengelig av midler å bruke på det.

Der laserskanneren er det valget som gir høyest grad av detaljer, er det en pris å betale ved at det er det klart dyreste av de to. I tillegg er det mer tidkrevende. Spesielt ved større objekter fordi man må føre denne laserstrålen over hele overflaten. Videre gir detaljnivået mere data å bearbeide.

Fotogrammetri er lavkostalternativet, men nærmer seg også laserskanning med tanke på detaljnivå. I tillegg er fotogrammetrien det raskeste alternativet med tanke på hvor raskt et bilde tas. Derfor anbefalt på ting som kan bevege på seg under prosessen, som f.eks skanning av mennesker. Ulempen ved fotogrammetri er at det krever gode bildeforhold. Ting som dårlig lys og refleksjon i objektet må unngås.

3.2.2 3D-modellering/datamodellerings verktøy

3D-modellering (CAD) er prosedyren med å utvikle en digital 3D-modell ved hjelp av et spesielt programvare. En 3D-modell er laget ved hjelp av et sett av punkter i rommet, som er knyttet sammen av ulike geometriske data, som linjer og krumme flater. (Evisdom, 2015)

Gjennom Produkt- og Systemdesign studiet har man blitt introdusert for 2D- og 3D-modellering. Her har det blitt brukt programvare som Autocad(2D) og Siemens NX(3D).

Autocad – En applikasjonsprogramvare for både 2D- og 3D-CAD

Siemens NX – En applikasjonsprogramvare for CAD, CAE og CAM

Begge programvarene har blitt brukt i oppgaven. Autocad har blitt brukt til enkle modeller som er mulig å vise i 2D, også brukt ved utskjæring og gravering i laserkutte-maskinen i kombinasjon med Rihnoceros. Siemens NX har blitt brukt til å vise en visuell modell og utforming av produktet som har blitt konstruert. 3D-modellen har hatt mulighet til å bli ført med videre inn i byggeprosessen der en kan formatere filen over til STL-fil som kan brukes til å 3D-printe modellen i 3D-printere, ved hjelp av programmet Cura. 3D-modellen kunne også bli brukt til å ta tester i NX som styrkeberegning, og for monteringsanvisning ved å sette sammen flere 3D-modeller til en assembly. Muligheten til å overføre modellen til virtual reality var også der.



3.2.3 3D-printer for produksjon

Printerteknologi

Det finnes mange tilgjengelige printerteknologier å velge mellom. I forbrukermarkedet brukes i hovedsak to teknologier FDM og SLA/DLP. I tillegg til disse har vi også SLS og «Multi Jet Fusion» for å nevne noen. Det finnes mange teknologier og materialer å 3D-printe med. Her blir det en gjennomgang av noen eksisterende teknologier og hvilke som er aktuelle for gipsproduksjon i denne oppgaven.

SLA/DLP havner under «VAT polymerization» kategorien. Et fotosensitivt flytende resin kureres ved at lasere (eller prosjektorer/LCD-skjermer) bruker UV-stråling som eksponerer væsken for visse ultrafiolette lysbølger og kurerer resinnet. Dette gjøres så lag for lag for å utvinne en 3D-form. Kjemisksammenknytting mellom lagene sørger for at det produseres isotopiske modeller (Formlabs, 2016) SLA-modellers kvalitet vil påvirkes negativt over tid om de utsettes for sollys (Varotsis, 3dhubs.com, u.d.).

SLS er en pulverseng-teknologi og fungerer ved å bruke en laser som smelter sammen pulver lag for lag, på noen måter likt SLA teknologien. SLS har tidligere vært dyre og store maskiner. Det har de siste årene begynt å komme maskiner som kan være aktuelle for privatbrukere. Prisene for SLS skrivebordmaskiner ligger rundt 10 000 dollar, men finnes helt ned mot 5000 dollar. SLS produserer ikke isotopiske modeller, men har relativt like egenskaper i XYZ retning. (Varotsis, 3dhubs.com, u.d.)

Multi Jet Fusion er en teknologi nært beslektet SLS, og er utviklet av HP. De hører begge til i «powder bed» kategorien, hvor forskjellen ligger i sammensmeltingen av materiale. Der SLS bruker laser for å smelte sammen pulver, legger MJF blekk som absorberer infrarødelysbølger på pulveret. Området som skal sammensmeltes utsettes så for en infrarød lyskilde og materialet smeltes sammen der blekket er påført (Varotsis, 3dhubs.com, u.d.).

FDM er en av de mest brukte printertypen i det private markedet og hører til under «material extrusion» teknologien. FDM fungerer ved å legge lag på lag med smeltet materiale på hverandre. Det kan sammenlignes å bruke en tannkremtube hvor en legger lag på lag for å oppnå en 3D-form. FDM produserer ikke isotopiske gjenstander, FDM vil alltid ha en svakhet i den retningen lagene er lagt (Formlabs, 2016).

Tilgjengelig teknologi

For 3D-printere brukes flere begreper når det kommer til fart.

«Print speed»: farten på printerhodet når det printer (for FDM)

«Travel speed»: farten printerhodet har når det ikke printer, men er i bevegelse. (for FDM)

«Build speed»: volum printet per tidsenhet

Printerene NTNU Åleund har tilgjengelig på skolen er av merket Ultimaker. Vi har Ultimaker 2+, Ultimaker 3, og Ultimaker 3 Extended. Dette er printere som bruker FDM teknologi.

Materialet som brukes er i hovedsak PLA, men det finnes mange flere materialer tilgjengelig.

3D-print fra maskinene gir modeller som er detaljerte og robuste nok til gips, men de er dessverre altfor trege i forhold til tidskrav fra lege. Det trengs en printertype som kan gi tilnærmet lik eller bedre styrke og detaljnivå, men på langt kortere tid om det ønskes å komme nærmere printetid på 30 min.

Noen aktuelle printere

En Ultimaker har en «buildspeed» på mindre enn $16\text{mm}^3/\text{s}$ ved bruk av 0,4mm dyse. Det finnes alternativer som «Uniz SLASH» som oppgir hastighet på 600mm/t og «DeltaWasp 2040 Turbo 2» med oppgitt maks printerhastighet 500mm/s.

(se vedlegg 05-10 for printerspesifikasjoner).

Hp Multijet 4200 kan produsere ca. $4000\text{cm}^3/\text{t}$ med sin MJF-teknologi, men maskinen er meget kostbar. Printere fra «Carbon» ble også sett på, men ekskludert da de kun fås som abonnement og er svært kostbar.

For å holde prisen på skann-print løsningen nede ønskes 3D-printere som ikke overskrider en pris på ca. 100 000 NOK. Printerens må også kunne gjøre jobben raskere med tilnærmet lik, eller bedre kvalitet enn Ultimaker-printeren.

Med dagens utstyr: Ultimaker 2+, 0.4mm dyse - max build speed: $<16\text{mm}^3/\text{s}$ som vil si at vi teoretisk sett kan oppnå $57\text{cm}^3/\text{t}$.

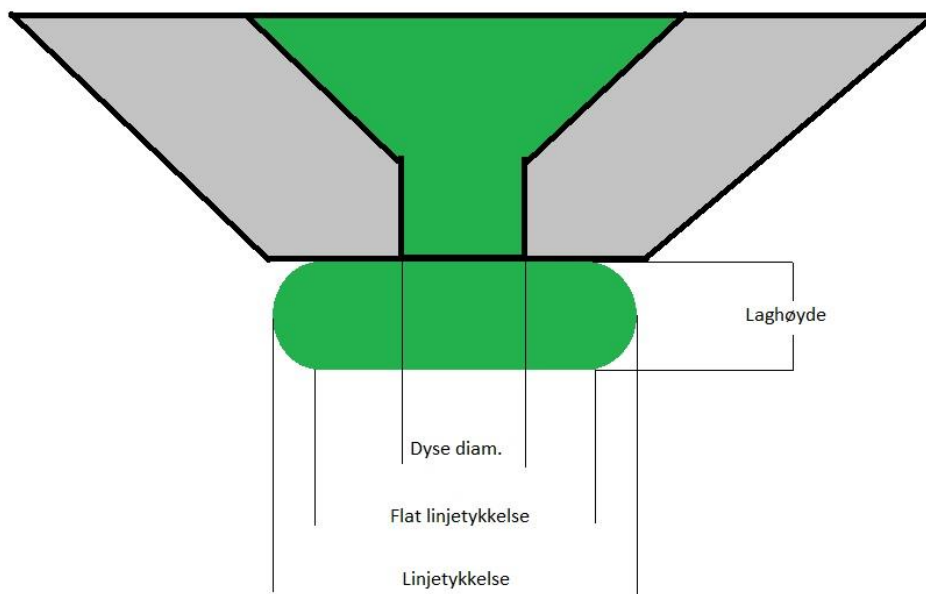
Det hevdes at Uniz Slash plus kan nå 600mm/s langs z-aksen. Stemmer dette kan printetiden reduseres kraftig ved å bytte type printer.

Diskusjon

Det kan være utfordrende å sammenligne hvor raskt en printer vil produsere en gips med bare data, da produsenter ikke nødvendigvis oppgir direkte sammenlignbare data.

For å få en grov sammenligning mellom FDM-printere kan man bruke anbefalt «print speed» som for eksempel finnes via slicer-profiler for gitt printer. Deretter kan det ganges med arealet av plasten som ekstruderes under dysen. For dette trengs linjetykkelse, laghøyde og informasjon om dysen.

Linjetykkelse er minst lik Laghøyde + dysediameter, den kan maks bli lik laghøyde + dysens bunnbredde. Linjetykkelsen x Laghøyde gir en god nok tilnærming av arealet av plasten. Når denne verdien er funnet ganges den sammen med «Print speed» og får derav en tilnærmet «Build speed». Dette er som nevnt tidligere ikke en nøyaktig verdi, men en grov tilnærming.



Figur 3.1: Dyse-illustrasjon

(Carrier, 2017)

For å sammenligne printere på relevante områder ble det laget en tabell. Printerne som er med i vurderingen har blitt valgt ut med vekt på hastighet og pris.

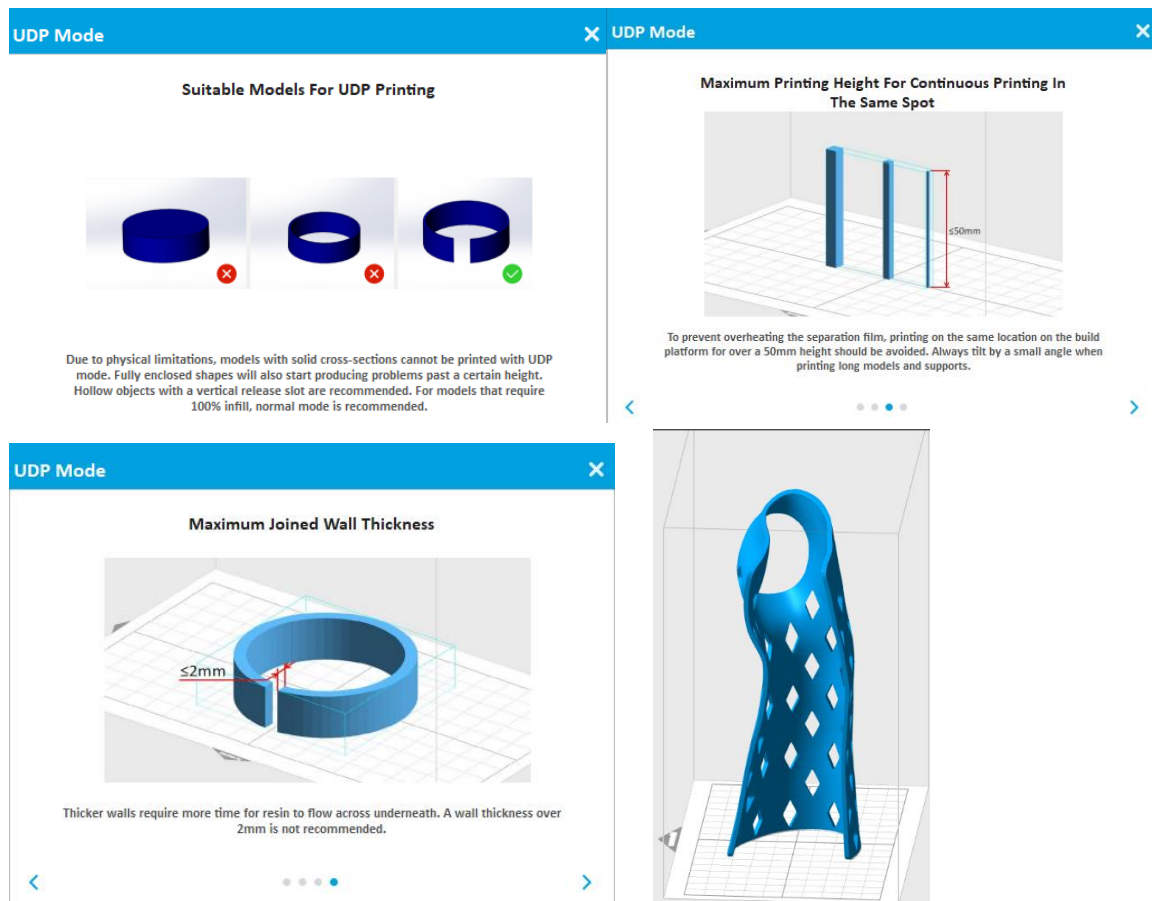
Printer	Oppgitt hastighet	Enhet	Teknologi	Byggevolum (XYZ)	Byggevolum (liter)	Pris printer (NOK)	NOK/Liter materiale
Ultimaker 2+	16	mm ³ /s	FDM	223x223x205mm	10,2	18211	171
Ultimaker 3	16	mm ³ /s	FDM	215x215x200mm	9,2	29950	171
Uniz Slash plus	600	mm/hr z-axis	SLA/UDP	192x120x200mm	4,6	29995	1616
DeltaWasp 2040 turbo 2	500	mm/s	FDM	Ø200x400mm	12,6	29599	171
HP Multijet 4200	4115	mm ³ /s	MJF	380x284x380mm	41,0	1714000	N/A
HP Multijet 580	2340	mm ³ /s	MJF	332x190x248mm	15,6	428500	N/A
Anycubic Photon	20	mm/hr z-axis	SLA/DLP	115*65*155	1,2	3934	600

Tabell 3.1: Sammenligning av printere

Røde ruter viser egenskaper som vurderes som for dårlig. Gule ruter viser egenskaper som kan vurderes, men som ikke er ideell. Grønne ruter oppfyller krav.

FDM er ønskelig som print-teknologi fordi den har lavt behov for vedlikehold, er enkel å operere og har som regel god driftssikkerhet. PLA er også resirkulerbart som gir en miljøgevinst og en mulig besparelse av materialkostnader. Det finnes dessverre ingen FDM-printere pr. dags dato som kan produsere gips i den hastigheten som er satt som krav fra lege, printetiden med en FDM-printer blir minst 4-5 timer.

SLA/DLP printere som Uniz Slash plus UDP krever som andre printere av denne teknologien noe mer arbeid og vedlikehold enn en FDM printer. Klargjøring av modellen innebærer rengjøring av modell og utstyr med alkohol og kurering av modellen i UV-kammer. I tillegg kommer avdamping av resin som i verstefall kan være helseskadelig. Med hjelp av UDP teknologien kan kravene om printe-tid nås og printere med denne teknologien kan fås rimelig. For å ta i bruk UDP-teknologien finnes det begrensinger til designet av modellen som skal printes utover typiske design-begrensinger ved bruk av SLA-printere.



Bilde 3.8: UDP begrensninger, bilder hentet fra Uniz slicer

Gipsen skal ikke være i konflikt med disse reglene og anbefalingene, men skal det brukes UDP burde det undersøkes nærmere hvorvidt modellen er printbar med slik teknologi.

MFJ oppfylder krav til hurtighet, men er svært dyr. Multijet 4200 blir vurdert som for dyrt (Nadel, 2019) et slikt produkt. Multijet 540 ligger også veldig høyt i pris (Jackson, 2018) sammenlignet med andre kandidater og vil presse prisen for et slikt produkt kraftig. Det ble ikke funnet noen relevant tradisjonelle SLS printere å ta med i vurderingen.

For å få sammenlignbare printetider ble det lastet ned programvare for noen av de aktuelle printerene. HP sin programvare ligger bak en betalingsmur og blir derfor ikke tatt med her. Printetidene er for 1 gips. Anycubic Photon printeren er for liten til gipsen og ble derfor ekskludert.

Software-test (printer)	Layer thickness (mm)	Infill	Printetid (minutter)	Programvare
UM2+	0,1	100 %	818	Cura 4.0
Delta Wasp 2040 T2	0,1	100 %	565	Cura 4.0
Uniz Slash Plus DLP	0,1	100 %	25	Uniz

Tabell 3.2: slicer sammenligning

Selv om FDM-teknologi har mange fordeler ser de ut til å være for treig til å være nærmest ønsket til tidsbruk. Derfor bør andre teknologier vurderes. SLA teknologien er hurtigere og finnes i samme prisklasse som FDM-printere. Ved hjelp av UDP/ LCD-shadowing teknologi kan printetiden komme innenfor legens krav på 30 minutter.

PLA og resin

For å få et innblikk av kurert SLA-resins egenskaper i forhold til PLA settes det opp en tabell som sammenligner noen mekaniske egenskaper oppgitt av produsentene.

Her brukes PLA fra Innofil3D (BV) og resin fra PrimaCreator Value (vedlegg: 12 og 17).

Verdiene er med 100% infill. Verdier med slingringsmoment blir avrundet til snittverdier.

Material-sammenligning	Strekfasthet (Mpa)	Forlengelse ved brudd(%)	Bøystyrke (Mpa)
PLA (Vertikal print)	28,8	1,1	66
PLA (Horisontal print)	38,1	2,8	86
SLA/DLP resin (UV kurert)	42	10	60

Tabell 3.3: Sammenligning av mekaniske egenskaper

Det er her mest relevant å sammenligne PLA vertikal-print med resin da gipsen er designet for å printes vertikalt i en FDM-maskin. En ser da at en vi får økt strekkfasthet med ca. 45%, men 10% reduksjon av bøystyrken ved bruk av SLA-resin sammenlignet med PLA.

Det har ikke vært tid og anledning til å printe en gips fra en SLA/DLP maskin for å sammenligne en kurert SLA-printet gips med en konvensjonell gips. SLA-resin kan som nevnt tidligere tape noe av sin kvalitet når det eksponeres for sollys over tid. Om denne nedbrytningen er kraftig nok til å gi konsekvenser i praksis er ikke blitt vurdert i denne oppgaven.

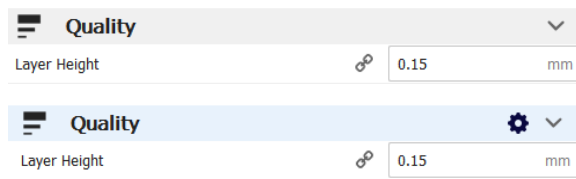
PLA ble sammenlignet med kalk- og plastgips materialer i tidligere hovedoppgaveoppgave (Gya & Thorsen, 2017).

Program og fil

For printe 3D-modellene brukes software som kalles «Slicer», slik software lages av printerselskapene eller av tredjeparts-selskaper. Funksjonaliteten i disse programmene varierer en del. I dette prosjektet har Cura vært slicer-softwaren brukt til produksjon. For å få modellene inn i slicer-softwaren konverteres prt-filer til STL-format.

Cura er software utviklet av Ultimaker og gir brukeren muligheter for å justere blant annet: Laghøyde, skalltykkelse, «print speed», «travel speed». Hvert felt som kan justeres har en egen sub-meny hvor enda flere funksjoner kan hentes.

1: Hver meny har en sub-meny



2: Klikk på tannhjulet for å åpne sub-meny

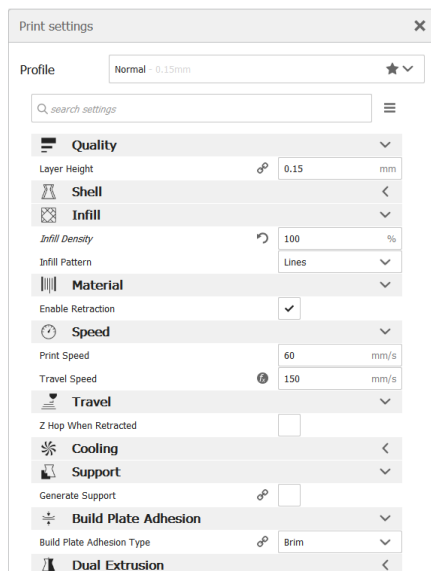


3: Her kan ønsket funksjonalitet hukes av.

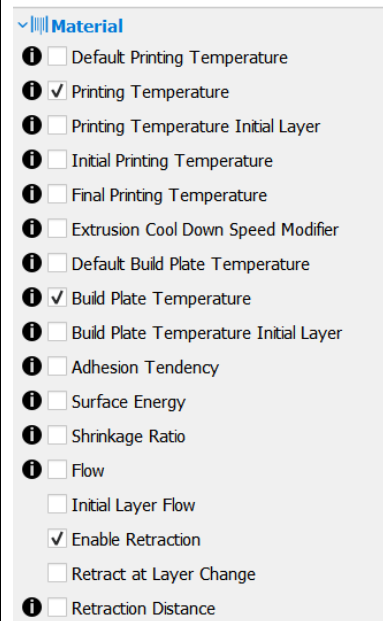
4: Menyen under «Quality» forandres til:



5: Hver av disse kategoriene kan ekspanderes på samme måte.

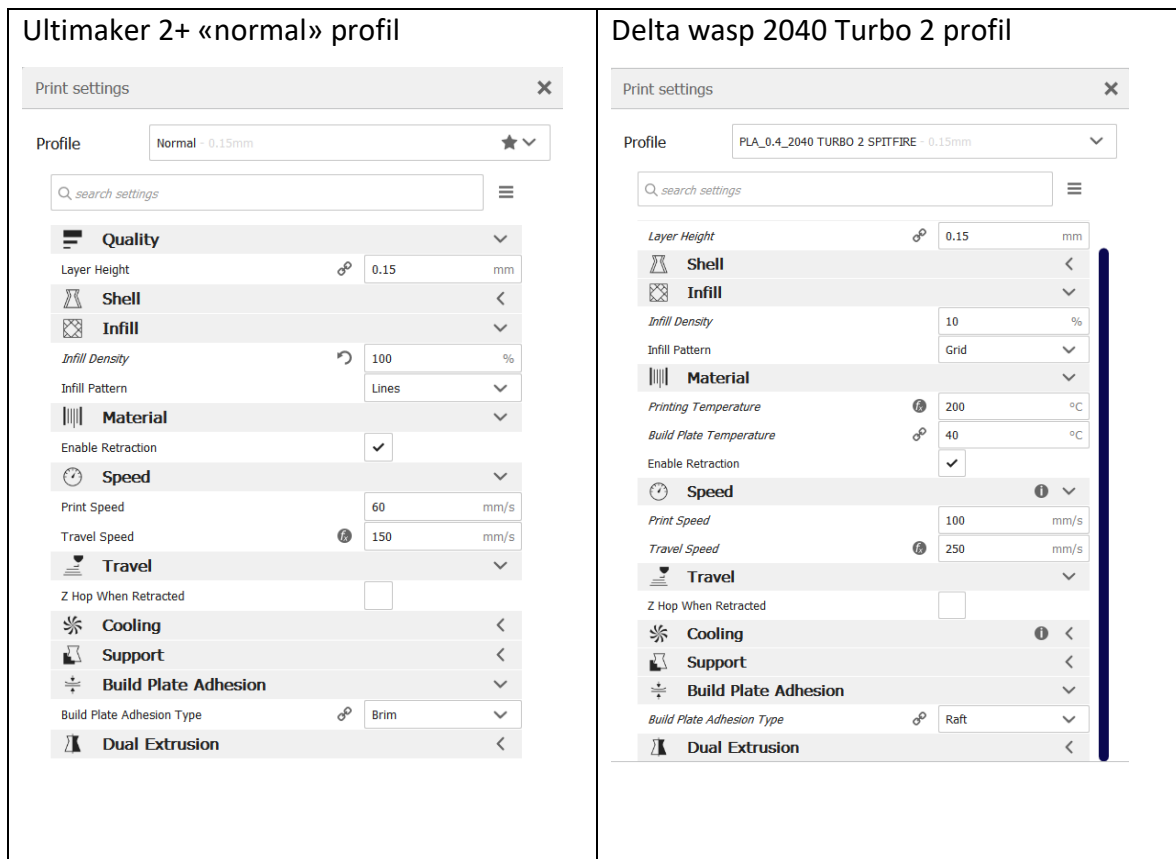


6: Eksempel.



I produksjonen av 3D-skanneren har det i hovedsak blitt justert på funksjoner som: supportstruktur overhengs vinkel (for hvor stort overheng det produseres overheng), supportmønster, «infill» mønster, «infill» prosent, og laghøyde.

Cura har også mulighet for å laste ned profiler med anbefalte innstillinger for en gitt printer. Dette ble for eksempel brukt for å sammenligne hvor fort en Ultimaker 2+, Ultimaker 3 og en Delta Wasp 2040 Turbo 2 kunne produsere en gips i forhold til hverandre. Ultimaker maskinene er lagret i Cura som standard, Delta Wasps profil ble lastet ned fra produsenten.



Når en er fornøyd med printerstillingene konverteres modellen til gcode-format før det går til printeren.

3.3 Endelige Konseptet

Etter å ha gjort research på skanneteknologi og utstyr tilgjengelig på markedet diskuterte vi mulighetene for å bruke dette i våres prosjekt. De elementene vi la vekt på var:

- Presisjon og kvalitet på skann
- Tidsbruk av prosessen
- Økonomi og miljø

Det som ble tatt med videre inn i arbeidsprosessen var løsningen med fotogrammetri, fordi det er en lavkostnadsløsning og vil ta kortest tid å ta bilde. Modelleringen vil foregå på Siemens NX, der prosessen må gjøres mest mulig automatisk, fordi legen trenger minimalt med kunnskap på modelleringsprogrammet. 3D-printerene på NTNU Ålesund, Ultimaker 2+ og Ultimaker 3, vil bli brukt til å 3D-printe de fleste delene på maskinen. 3D-printeren som har egenskapen til å konstruere gipsskinnen best mulig vil bli tatt opp igjen i resultat delen av rapporten.

4 Arbeidsprosess

I dette kapittelet blir det tatt for seg hele arbeidsprosessen fra starten, gjennom de ulike prosessene helt til en fungerende prototype. Prosessen startet etter første møte med veileder Paul Steffen Kleppe og Webjørn Rekdalsbakken, sammen med automasjonsstudentene. Det ble da klart hvordan denne prosessen skulle foregå. Det skulle brukes dagens tilgjengelige 3D-teknologi til å forbedre dagens behandling av håndleddsbrudd. Det skulle bygges en maskin som kunne 3D-skanne ei hånd, 3D-modellere en gipsskinne utpå hånden, og deretter 3D-printe denne ut. Arbeidsprosessen blir delt inn i fire deler:

- SE – Her ser vi etter inspirasjon og nye muligheter
- SKAPE – Her skaper vi nye løsninger og design
- FORBEDRE – Her revideres løsningene frem til en endelig løsning
- IMPLEMENTERE – Igangsetter verdikjede

4.1 Konseptutvikling – Å SE

I første fasen ble det sett på dagens behandlingsmetode for gipsing, hvordan det er for legen eller sykepleieren, hvordan det er for en pasient, og hvordan denne prosessen kunne forbedres. Det ble først et besøk på Ålesund sykehus for å se på problemstillingen. Deretter ble dette tatt videre inn i ideskapingen for å komme fram med et konsept.

4.1.1 Problemstilling

Sykehusbesøk

Tidlig i arbeidsprosessen ble det vist rundt på Ålesund sykehus, ledsaget av Andreas Fagerhaug Dalen, kirurg ved ortopedisk avdeling. Det ble gitt en omvisning ved poliklinikken. Der behandles brudd av ulike slag daglig, hvor den største andelen er brudd i håndleddet.

På nasjonalt nivå forekommer det i overkant av 15 000 håndleddsbrudd i året. Det betyr at hvert tredje brudd er et håndleddsbrudd. (Christensen, 2015) (Nilsen, 2014)

Hensikten med besøket var å få se hvordan gipsingen i dag utføres. Ved å observere arbeidsprosessen fra brudd til ferdig behandling, ville en få bedre innsikt i hvor det kunne komme forbedringer.

Observasjoner

De forskjellige rommene øremerket for gipsing ble vist fram. På det ene rommet var det en sykeseng midt på gulvet, omkranset av hyller med utstyr. Gipsruller, teip, engangshansker, og en utslagsvask med eget spesialavløp. En vanlig vask vil ikke klare å få unna kalken i gipsbandasjen.



Bilde 4.1: Gipsestue



Bilde 4.2: Utstyret klar for gipsing, vedsiden av kalkvasken

Gipsprosessen

Dalen viste hvordan arbeidsflyten ved gipsing av håndleddsbrudd foregår. Ved siden av vasken (Bilde 4.2) sto arbeidsbordet med alt utstyret. I og med at dette er et håndverk med mye utstyr involvert i tillegg til mye personell som benytter seg av det daglig, varierer graden av organiseringen.

De to vanlige metodene for gipsing ble illustrert på en pasient med håndleddsbrudd. Den første, kalkgipsen, som tar høyde for hevelse i bruddområdet. Den andre, plastgipsen, som påføres etter 1-2 uker og som blir på lengst, 4-6 uker. Disse to gipstypene ble utført på 30-40 minutter.

Til slutt viste legen hvordan prosessen for å ta av gipsen. De spesielle verktøyene for denne delen av prosessen ble introdusert, deriblant en elektrisk sag og forskjellige typer klyper.



Bilde 4.3: Klar for test av gipsing



Bilde 4.4: Kutting av plastgips med elektrisk sag



Bilde 4.5: Bender bort gipsen med klype



Bilde 4.7: Gips fjernet fra hand



Bilde 4.6: Klipper bandasjen under gipsen med saks

Utforming

Det ble diskutert utforming av skannemaskinen, samt plassering og brukervennlighet med Dalen. Det som kom frem på sykehusbesøket var at maskinen gjerne kunne være mobil. Et forslag var å ha skanneren på et stativ, med mulighet for å trekkes frem ved bruk og skyves unna og oppta mindre plass når skanneren ikke trengtes. Det andre forslaget var å ha en stasjonær skanner som vil stå på et bord. Den mer dynamiske tilnærmingen ville vært optimal ifølge Dalen, men ikke nødvendig.

Det som ble nevnt spesifikt var å ikke ha skanner og printer integrert i en og samme maskin, men opprette et eget rom for printere. Med en skanner og flere printere, vil man ha muligheten til å printe flere gipsar samtidig. I tillegg vil det ta opp mindre plass og kreve mindre ved eventuell flytting.

Miljøaspektet

Dagens gipsmetode krever store, lett tilgjengelig, lager med materialer. I hovedsak er det ruller med gipsbandasje og teip. Sakser som etter hvert blir slitt ut av kalkgipsen spesielt, byttes ut og kastes. For hver bandasjerull, teiprull og annet går den tilhørende emballasjen i søpla. For hver gips som blir laget går alltid litt overskuddsbandasje, både kalk og plast, i den samme søppeldunken. Også når pasienten kommer tilbake og skal ut av gipsen, ender det hele i den samme søppelsekken. I dette tilfellet, ved sykehuset i Ålesund, blir ikke dette sortert.



Bilde 4.9: Oppsett for gipsing



Bilde 4.8: Lager for alt utstyret som blir brukt til gipsing

Konklusjon

Sykehusbesøket ga god inspirasjon og retningslinjer for utvikling av skannemaskinen og gipsen. Problemstillingen og forbedringspotensialet ved gipsbehandling av håndleddsbrudd ble tydeliggjort.

I 2019 står fortsatt en av de mest vanlige behandlingene på sykehus fast i fortiden. Gipsingen er et håndverk som varierer i kvalitet ut ifra hvem som utfører gipsen, og tiden de har til rådighet. Det er sjeldent at en dårlig utført gips vil gi varige men, men det kan ofte gå utover pasientens komfort. Lite praktiske sider ved dagens gips er ting som kommer av at man lukker inne huden i flere uker. Kløe, lukt og sår er ubehageligheter som ofte oppstår. I tillegg til at dagligdagse ting som dusjing blir kompliserte, fordi gipsen ikke tåler vann.

Alt av materialer og redskaper brukt til gipsingen er lett tilgjengelig for helsepersonellet, men tar derfor også opp mye plass. I tillegg tar det opp verdifull tid fra personalet, enten det er leger eller sykepleiere, når de påfører en gips.

4.1.2 Ide

Bakgrunn

Tidlig i utviklingsprosessen fantes der allerede to eksisterende konsepter av gipsskanner fra NTNU Ålesund. Den ene kommer fra tidligere bacheloroppgave (Gya & Thorsen, 2017), den andre fra en modelleringsoppgave av en student ved NTNU. Disse konseptene var henholdsvis en kombinert skanner og printer, og en frittstående skanner montert på justerbart stativ.



Figur 4.1:Konseptmaskin fra tidligere hovedoppgave

Idemyldring

Selv om oppgaven var tilrettelagt for bruk av skanning som teknologi og tidligere konsepter eksisterte, ble det for å sikre at gode ideer ikke ble oversett ignorert i starten av idemyldringen. Det holdes også åpent for radikale og urealistiske løsninger på problemet tidlig i denne fasen av samme grunn.

Det ble diskutert muligheter som:

- Vakuum/varmekrymping av plast rundt hånden som ville dannet en gips direkte på hånden.
- Støpning av gips ved dypping i flytende materiale. Her var det vurdert dypping av en modellhånd i oppvarmet plast, eller dypping av hånd i plast som kunne herdes kjemisk.
- Isolert «elektrisk/magnetisk strømpe» som stivner ved påsatt strøm.
- Avstivede strømper med lommer som kan fylles med luft eller vann for å passe bruker.

Disse ideene ble så sammenlignet med skannerløsning.

Idevurdering

Krymp ble gått bort fra da det må gjøres direkte på pasientens hånd som er brukket, noe som sannsynligvis betyr mye ubehag. Det kan alternativt gjøres på en modell av en hånd, men da må man uansett skanne hånden først.

Ved støpning oppstår samme problemene som ved krymp-ideene det; vil påføre pasienten mye ubehag eller en må bruke en modell som medfører skanning.

Magnetsokk-konseptet ble vurdert som for komplisert og lite realistisk.

Avstivede strømper som fylles med luft som midlertidig avstivning av fot/arm ved brudd eller andre skader eksisterer allerede.

Valg av konsept

Skanner ble vurdert som det beste valget for denne oppgaven. Nærmere bestemt en fotogrammetri-skanner som gir et øyeblikksbilde av den knekte hånden. Skannet gjøres på under et sekund som gir en rask og behagelig brukeropplevelse for pasienten.

Forskjellige skannerkonsepter ble så vurdert, løsninger som kombinerte skanner og printere, frittstående skannere og mobile skannere som kan medbringes i ambulanse.

For å finne best mulig løsning ble det rådført med lege. Legen mente at det måtte være en frittstående skanner, ikke en printer og skanner kombinasjon. Da kan printere settes på et bakrom, dette åpner også for mulighet til å ha flere printere enn skannere. Flere printere vil øke effektiviteten ved stor pågang og ha positiv effekt på kødannelse, da printing tar langt mer tid enn skanning.

En mobil skanner som kan tas med i ambulanse ble valgt bort, det er ikke så essensielt utstyr at det nødvendigvis ønskes i en ambulanse hvor det allerede er dårlig plass.

Konseptmaskinen blir da en frittstående fotogrammetri-skanner med noe mobilitet som kan ta i bruk en eller flere 3D-printere. Skanneren i seg selv er ikke begrenset til bare å skanne hender, den blir i praksis en 3D-kopimaksin som ved hjelp av software kan generere en gips til en hånd.

4.1.3 Utviklingsfase

I utviklingsfasen ble det sett på hva som var nødvendig for maskinen ut ifra det valgte konseptet. Her ble det diskutert hvilket kamera som kunne bli brukt i maskinen, og hva slags utstyr som trengs for den. Mulige printere ble også diskutert for 3D-printing av gipsskinnen, her måtte det bli sett på tidsbruk og kvalitet. Automatiseringen av modelleringen ville være krevende og være et steg videre fra det som har blitt lært tidligere i studiet, så her ble det gjort søk etter ideer og løsninger på prosessen. Her var kunnskapen på Siemens NX til Marius Slagsvoll fra Digithread til god hjelp, som kommer senere i rapporten.

Automasjonsstudentene har i denne oppgaven ansvar for elektronikken og software-programmeringen rundt skannemaskinen. Det som har blitt gjort av denne delen vil være beskrevet i deres rapport. Det er deres informasjon om komponenter og krav det har blitt jobbet ut ifra ved konstruksjon av skannemaskinen.

4.2 Å skape og forbedre – 3D-skanner

I denne fasen har det blitt sett på mulighetene for design og nye løsninger på selve maskinen fra start til slutt. Her er alt som ble gjort og utfordringer som oppstod med.

Arbeidsprosessen i denne delen er delt inn i flere deler, dette er utstyr og modellering av hver enkelt del for maskinen.

4.2.1 Utstyr

Før planlegging av skisser og modellering måtte en ha kunnskap om hva som er nødvendig for maskinen. Her tenker en da på komponenter, ledninger, sammensetting og komfort.

Selve komponenter som ble nødvendige for maskinen var følgende:

- Raspberry Pi
- Raspberry kamera
- Powersupply
- Newlink switch
- Ledstriper
- En del ledninger for oppkobling av kamera



Bilde 4.10: Raspberry Pi, med kamera
(Seed Studio, u.d.)

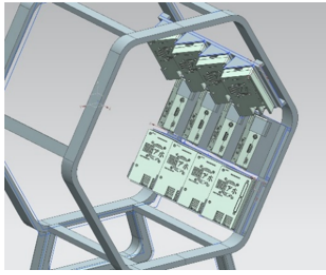
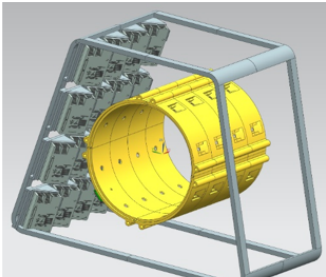
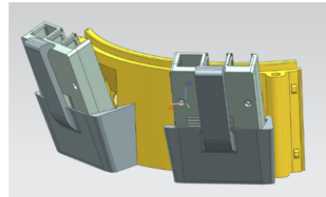
Antallet på disse vil komme senere i rapporten for en bedre flyt.

Delene det ble tenkt maskinen skulle inneholde var:

- Bein/fundament, som ringen skulle legges på. Inne i denne skulle all elektronikken lagres.
- Ringen med kamera, som skulle holde på kamera og nødvendige ledninger.
- Låseflenser, som skulle holde ringen stødig sammen.
- Deksel, som da skulle beskytte ledninger og komponenter.
- Håndstøtte, for at hånden skulle være stabil og innenfor bildeområdet.
- Deksel for Raspberry Pi
- Feste for Raspberry Pi

4.2.2 Valg av modell

I starten av utviklingen ble det tenkt mange ulike løsninger. Utfordringene her var hvordan maskinen skulle se ut, hvilken størrelse den skulle ha, og hvordan ha plass til alle delene på innsiden. Det som var klart ved start var at for hvert kamera så var det nødvendig med en Raspberry Pi. Det ble informert av automasjon at ledningen mellom kamera og Raspberry Pi var på 50mm, som førte til at delene trengte å stables nær ringen på en eller annen måte. Det her ble sett på tre ulike muligheter å løse dette (Tabell 4.1).

Ide	Beskrivelse	Positivt	Negativt
	<p>Her er datakortene festet til ei ramme som skal være rundt ringen. For at ledningene fra datakortene ikke skulle støte i hverandre måtte kortene stå i forskjellige retninger med en liten vinkel.</p>	<p>- Enkel modell</p>	<p>- Mye rot med ledninger</p>
	<p>Her er datakortene festet til ei ramme som skal være til siden for ringen. For at ledningene fra datakortene ikke skulle støte i hverandre måtte kortene stå med en liten avstand imellom og ha en liten vinkel.</p>	<p>- Godt system</p>	<p>- Lang avstand mellom datakort og kamera</p>
	<p>Her er datakortene festet til selve ringen. Kortene må stå med en liten vinkel ut fra ringen for å ha mulighet til å monete kamera og for å unngå å kolliderer med datakortet som skal være ovenfor</p>	<p>- Alt på samme plass</p>	<p>- Trangt å koble ledningene</p>

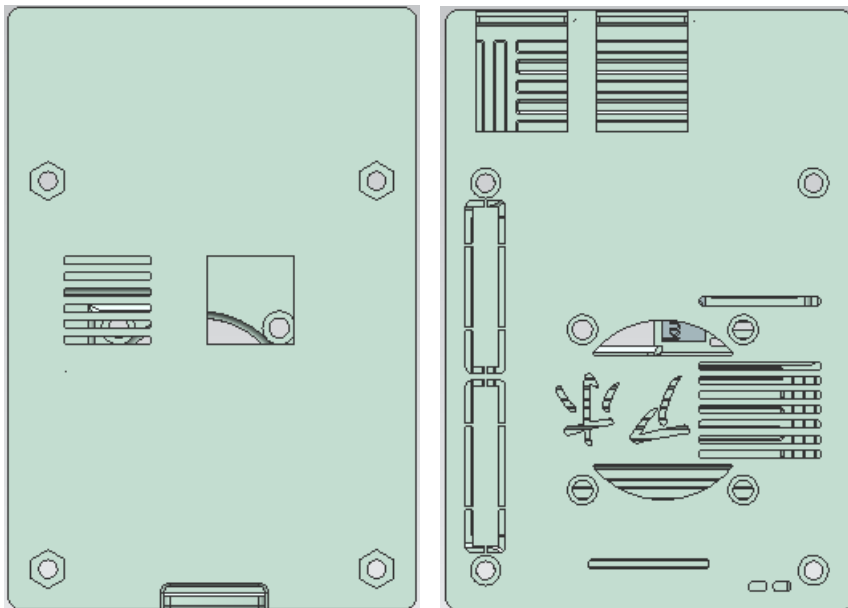
Tabell 4.1: Ulike løsninger

Løsningen som ble mest praktisk og vil være den beste løsningen er den med datakortene på selve ringen. Det vil være mer orden, kort avstand mellom kamera og datakort, og det vil være enklere å montere og teste ringen før montering til selve rammen. Her ble det også sett på muligheter for vedlikehold ved senere tidspunkt.

4.2.3 Datakortdeksel

Dekslene til Raspberry pi kortene ble hentet fra GrabCAD (Aho27, 2017). Det finnes hundrevis av versjoner til slike kortdeksel lett tilgjengelig på internett. Det vurderes som meningsløst å bruke tid på å modellere egne deksel da det finnes gode, lett tilgjengelige modeller på nett.

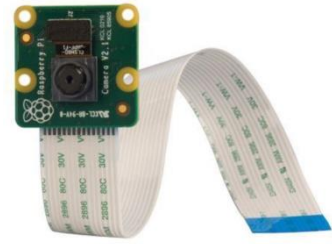
Dekselet som ble valgt er et enkelt deksel, det har nødvendig lufting og ingen utstikkende deler. Dekselet sklir lett inn og ut av tilpasset holder.



Figur 4.2: Raspberry pi 3 model B cover

4.2.4 Kameravinkel og overlapp

Kameraene som ble brukt i maskinen er valgt av automasjon. Dette er en Raspberry Pi kamera V2. Spesifikasjonene ligger som vedlegg 4. Det som må nevnes er at synsvinkelen til den er 62,2° horisontalt og 48,8° vertikalt.

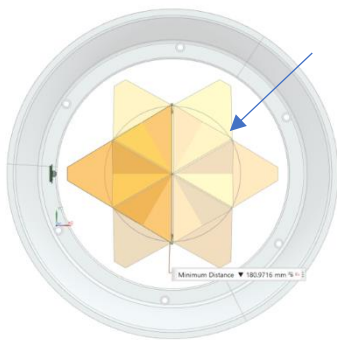


Bilde 4.11: Raspberry Pi kamera (Kjell and Company, u.d.)

Etter automasjonsstudentene hadde gjort forskning på

fotogrammetri, ble de klart at for å få et godt resultat må en tenke på overlapp.

Bildeoverlappingen mellom to bilder måtte være 30-60%. Dette for å unngå tomme områder og defekter i modellen. Det ble bestemt at det måtte være en effektiv diameter på 170mm for å få et godt resultat på alle hender.



Eksempel på diameter uten overlapp mellom bildene vises på figur 4.3. Figuren viser en ring med 6 kamera. Det er markert der bildene fra kameraene møtes, altså der det akkurat er 0% overlapp. Her er synsområdet uten overlapp en diameter på 180mm (pil).

Figur 4.3: Eksempel på 0% overlapp

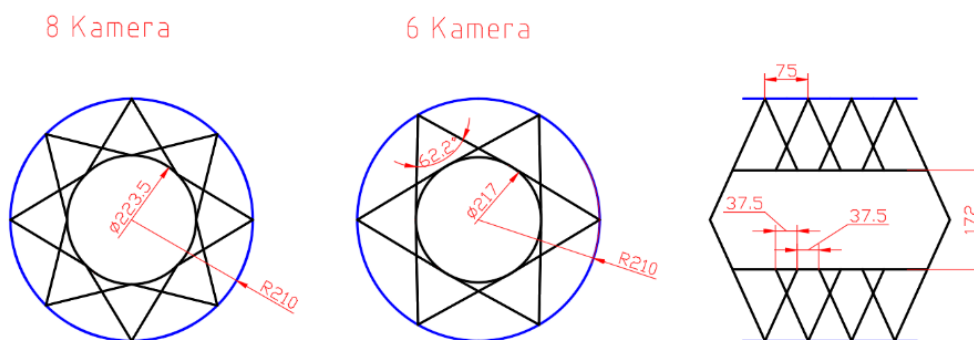
Autocad ble brukt til å regne ut nødvendig diameter på ringen, dybde på hver ring, og antall kamera per ring. På tabell 4.2 og 4.3 kan man se de ulike resultatene som de ble kommet fram til. De røde oppfyller ikke satt krav, oransje kan bli tatt opp til vurdering, mens de grønne er innenfor kriteriene som ble satt. Her kan en se at når ringen har en diameter på 420mm vil diameteren på synsvinkelen med 6 kamera være 217mm uten overlapp, mens med 8 kamera blir det 223,5mm. Men med overlapp på 33% og ringdybde på 75mm vil synsdiameteren være 172mm både med 6 og 8 kamera. Figur 4.4 viser eksempel på dette. En ser at for den effektive diameteren vil det ikke være noe forskjell mellom 6 og 8 kamera fordi det vil være dybden på ringen synsområdet vil være avhengig av. Det ble ut ifra dette valgt en ringdiameter på 420mm, med 6 kamera og en ringdybde på 75mm.

Diameter	Kamera	Dybde	Maks diam u/overlapp
300 mm	6 stk	80 mm	123,6 mm
300 mm	6 stk	75 mm	134,7 mm
300 mm	8 stk	80 mm	123,6 mm
300 mm	8 stk	75 mm	134,7 mm
350 mm	6 stk	80 mm	173,6 mm
350 mm	6 stk	75 mm	184,7 mm
350 mm	8 stk	80 mm	173,6 mm
350 mm	8 stk	75 mm	184,7 mm

Tabell 4.2: Synsdiameter uten overlapp

Diameter	Kamera	Dybde	Maks diam u/overlapp	33% overlapp	Maks diam.	Ant kamera	Dybde
400 mm	6 stk	75 mm	234,7 mm	152 mm	24	75 mm	
400 mm	8 stk	75 mm	234,7 mm	152 mm	32	75 mm	
420 mm	6 stk	75 mm	217 mm	172 mm	24	75 mm	
420 mm	8 stk	75 mm	223,5 mm	172 mm	32	75 mm	
450 mm	6 stk	75 mm	232,5 mm	202 mm	24	75 mm	
450 mm	8 stk	75 mm	235,5 mm	202 mm	32	75 mm	

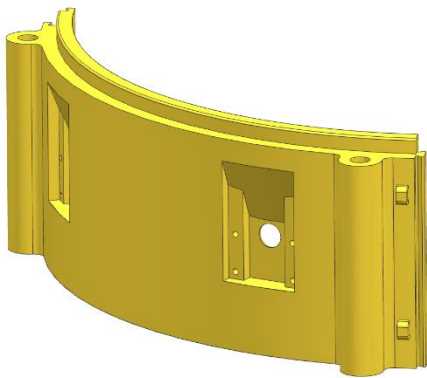
Tabell 4.3: Synsdiameter med overlapp



Figur 4.4: Synsdiameter mellom 6 og 8 kamera

4.2.5 Ring for kamera

Allerede tidlig i arbeidsprosessen ble det utdelt et eksempel på en ring som kunne brukes i maskinen av veileder, Paul Steffen Kleppe. Denne ringen var 300mm og i 4 deler, som vist på figur 4.5. Denne skulle ha plass i de 3D-printerene som var tilgjengelige på NTNU Ålesund, Ultimaker 2+ og Ultimaker 3. Denne har blitt tatt med videre og utviklet.



Figur 4.5: Ringmodul

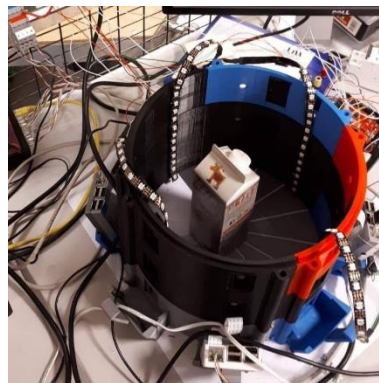
Spesifikasjoner på ringen som skal brukes:

- En ring i 6 deler
- En kameraåpning per ringmodul
- Hjelpespor over og under ringen for sammenkobling av ringer
- Låseskinne på endene for sammenkobling av ringmoduler
- Stripsfester
- Bolthull
- Klipsfeste for datakort

De ble tidlig printet ut en prototype i 50% for å se hvordan maskinen kunne bli designet og montert (bilde 4.12). Også eksempelringen på 300mm ble printet i full størrelse, dette for at automasjonsgruppen kunne begynne å teste kamera og starte programmeringen (bilde 4.13).

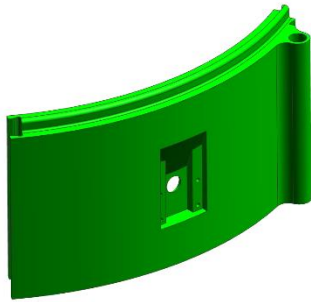


Bilde 4.12: 50% størrelse av scanner-ring

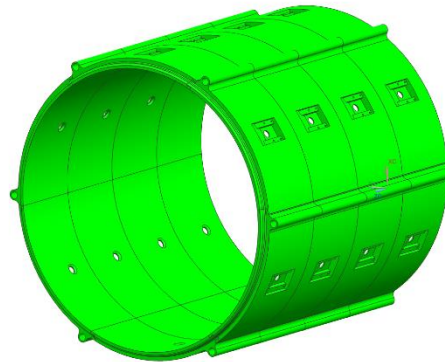


Bilde 4.13: Oppsett for testing

Den endelige ringmodul viser på figur 4.6, og hele ringen på $\text{Ø}420\text{mm}$ på figur 4.7. Denne delen er laget for at det skal være 24 kamera, og at hver ringmodul skal ha plass i en Ultimaker 2+.

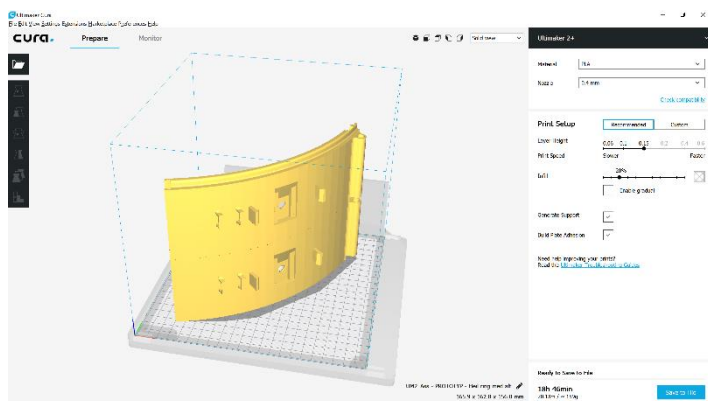


Figur 4.6: Endelige ringmodulen

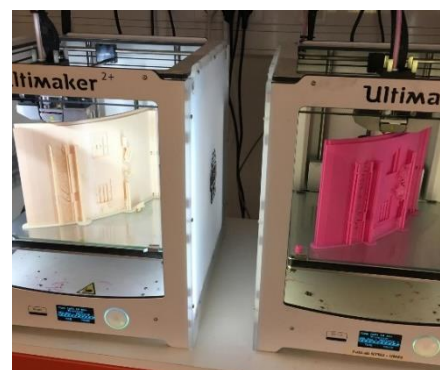


Figur 4.7: Endelige ringen

De ble valgt å 3D-printe to ringmoduler oppå hverandre, fordi det er mindre tidkrevende og maskinen blir med stabil av å ha 12 deler mot 24. Som vist på bilde 4.14 ser en at 2 ringmoduler tar 18 timer og 46 min å 3D-printe, totalt 225 timer.



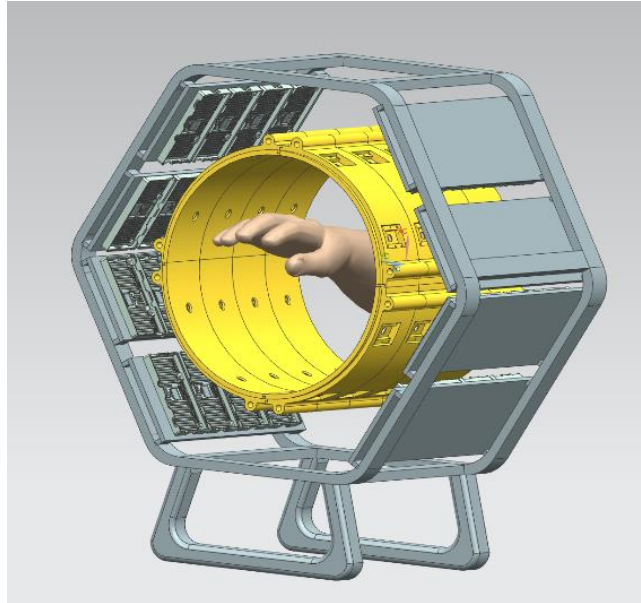
Bilde 4.14: To ringmoduler i Cura



Bilde 4.15: 3D-printing av ringmoduler

4.2.6 Dekselfeste

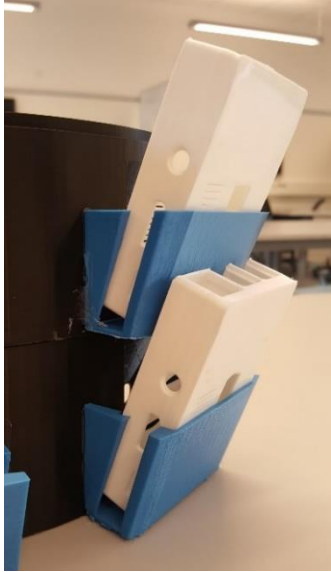
For å få plass til 24 Raspberry Pi 3 i maskinen ble det vurdert flere løsninger. Det ble vurdert å samle kortene i et stativ rundt under maskinen.



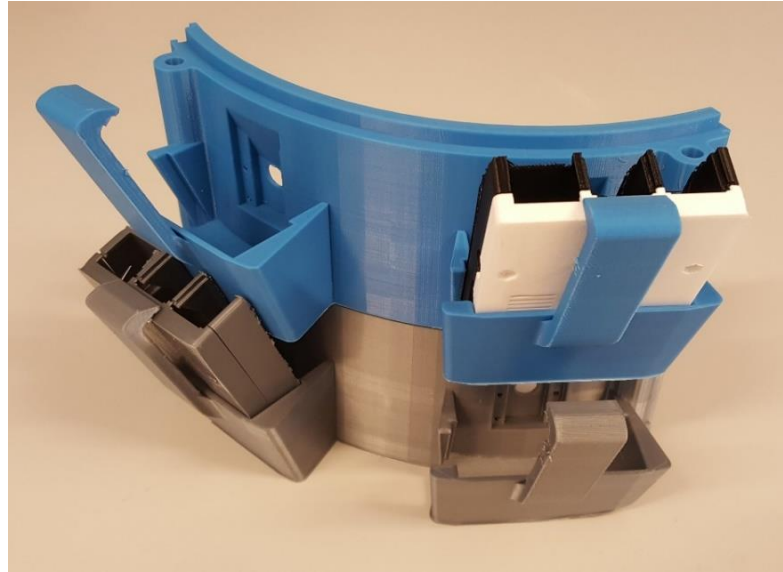
Bilde 4.16: Eksempel på deksselfeste

Dette ble valgt bort da det var ønske fra automasjonsstudentene om å bruke kabler som medfulgte kamera. For å kunne bruke kablene som fulgte med kameraene måtte kortene svært nærme kameraene. Løsningen var å lage deksel-fester som kunne monteres like over kameraene.

Disse ble først modellert rett inn i ringen. Festene måtte ha en vinkel for å gjøre plass til kortene langs maskinens lengde, dette gjør det også enklere å komme til med nødvendige kabler.



Bilde 4.18: Eksempel på deksselfeste 2

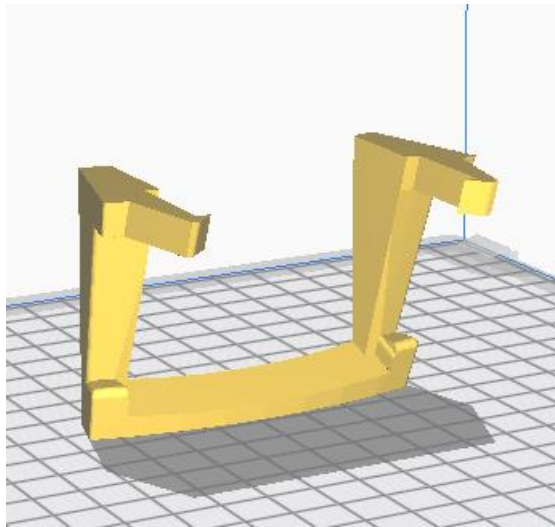


Bilde 4.17: Eksempel på deksselfeste 3

Her er to tidligere versjoner (bilde 4.17 og 4.18) modellert rett i ringen, siden er åpen for kabeltilgang. Det ble modellert på en lås for å holde kortene på plass. På dette stadiet i designprosessen var ikke antall kameraer på maskinen bestemt. For å være sikker på å ha plass til nok kameraer ble det gjort plass til to kameraer for hver kvart sirkel.

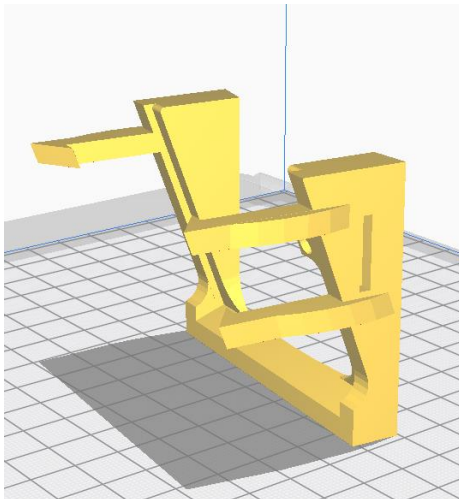
Denne holderen gjorde det vanskelig å komme seg til for kobling og justering av fokus på kameraet som er plassert like bak holderen. Dette ble ordnet på to måter.

1. Unødvendig materiale ble fjernet fra festet. (bilde 4.19)

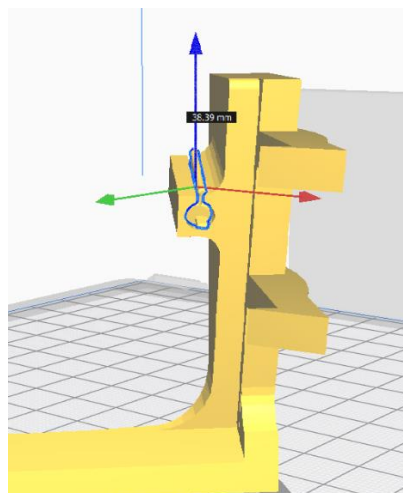


Bilde 4.19: Eksempel på deksselfeste 4

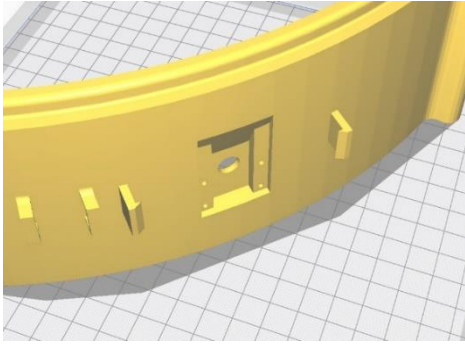
2. Festet ble gjort avtagbart ved å lage en «klikk»-mekanisme som vist under (Bilde 4.22 og 4.23). I tillegg ble det lagt på en ny arm for å hindre at kortet skulle kunne bevege seg i festet og en boltlås for å hindre at kortet sklir ut av festet.



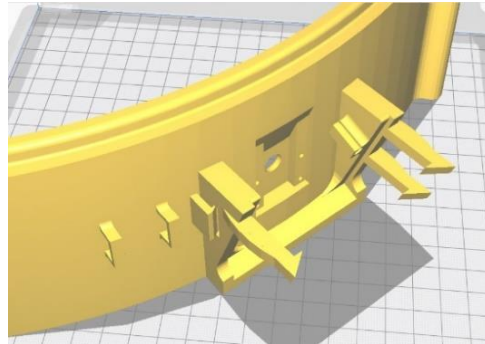
Bilde 4.20: Endelige deksselfeste



Bilde 4.21: Låsemekanisme



Bilde 4.22: Innfestning for deksselfeste



Bilde 4.23: Endelige sammensettingen

Holderen som vist på bildene 4.20 og 4.21 er siste versjon og ble produsert 24 stykker av, dette var antallet kameraer gruppene ble enige om for å kunne få ut en god 3D-modell. I tillegg til klikk-festet ble det modellert inn stripsfester til kabler (t.v. på bilde 4.22 og 4.23).

4.2.7 Låseflenser

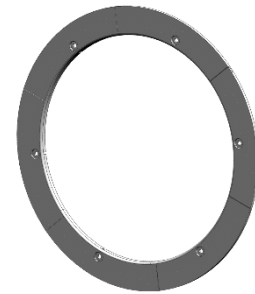
Etter størrelse på ringen var bestemt og vinkelen til datakortene ble klart fortsatte modelleringsprosessen med låseflensene. Disse flensene har som hovedoppgave å holde ringene på plass med bolter (Figur 4.8). Flensene skal ligge oppå benene og blir som et deksel på fremsiden og baksiden av maskinen. Figur 4.9 viser hvordan fremre låseflens ser ut, og figur 4.10 viser det bakerste. I tabell 4.4 ser en hva begge flensene inneholder. Ledningsåpning vil være kun på den ene, der led-stripen vil gå gjennom.



Figur 4.8: Låseflens med bolter



Figur 4.10: Fremre låseflens

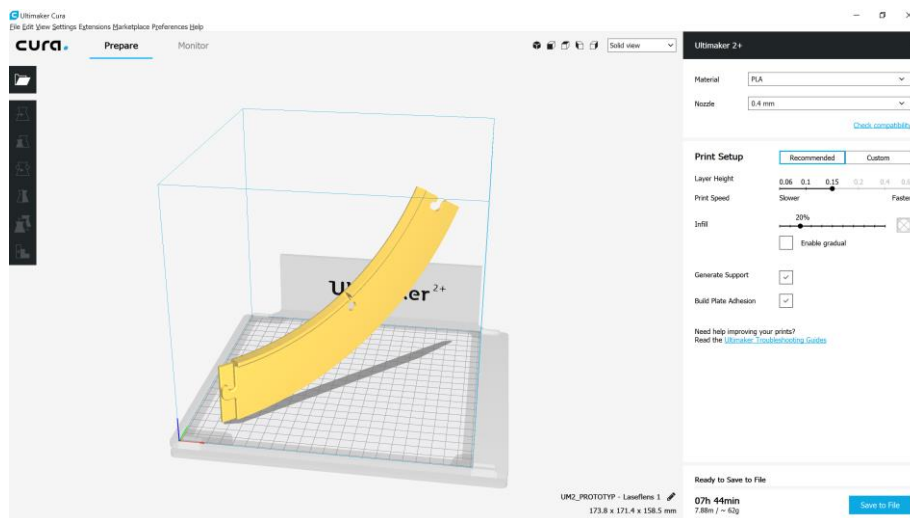


Figur 4.9: Bakre låseflens

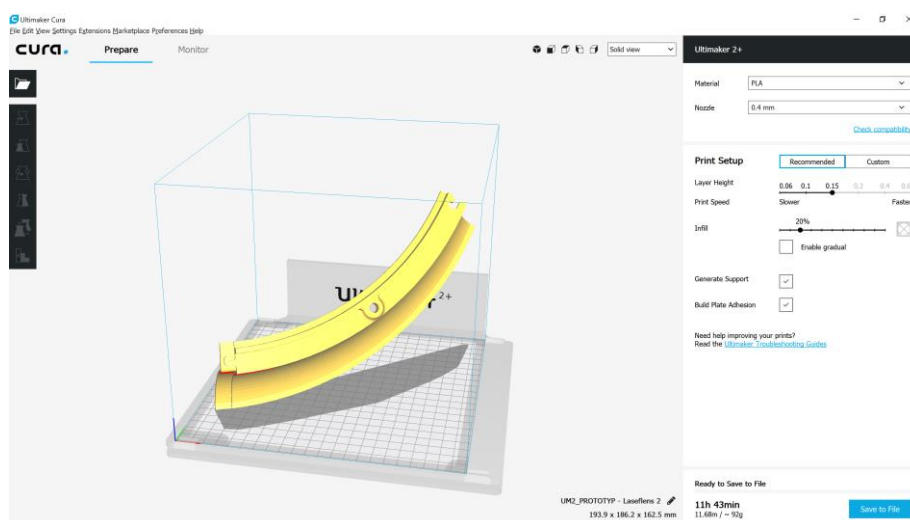
TYPE	En flens i 6 deler	Hull for bolt	Spor for å passe på ringen	Låsefeste i endene for å koble sammen flensmoduler	Ledningsåpning
FREMRE					
BAKRE					

Tabell 4.4: Innhold i låseflenser

Disse delene vil være bredere enn ringen på grunn av den skal dekke datakortene. Dette medfører utfordringer for 3D-printingen. For å få plass må den 3D-rites som vist på bilde 4.24-25. Det tar 7 og 11 timer å 3D-printe en del, og ved 12 deler totalt tar dette rundt 120 timer med en printer. Her er det også en del ekstra material som går til støtte.



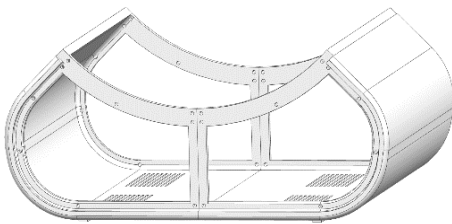
Bilde 4.24: Bakre flens i Cura



Bilde 4.25: Fremre flens i Cura

4.2.8 Fotstøtte

Det ble tenkt at bunnen av maskinen skulle inneholde komponentene som var nødvendig for maskinen. Så etter at ringen og flensene var designet, var det neste fotstøtten som flensene skulle ligge på. Denne delen skulle kom til å bli stor så her kunne ikke hele delen 3D-printes. Det ble sett på andre alternativer, som for eksempel metallkonstruksjon, treplater, mange 3D-printet deler, og en kombinasjon mellom disse.



Figur 4.11: Eksempel på fotstøtte

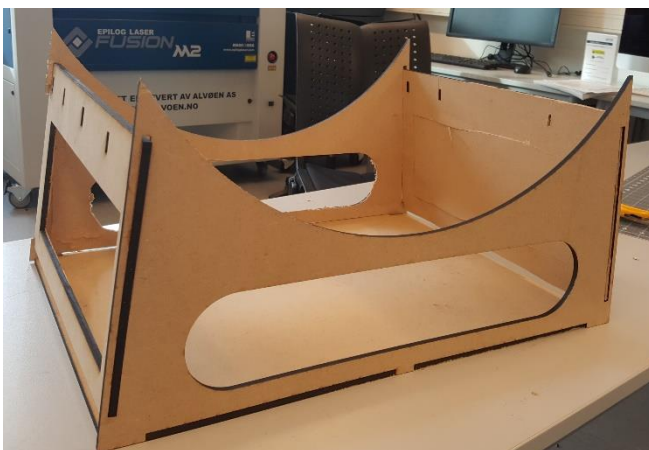
Fotstøtten skulle inneholde:

- Bunn
- Sidevegger
- Åpning for enkel kobling av ledninger

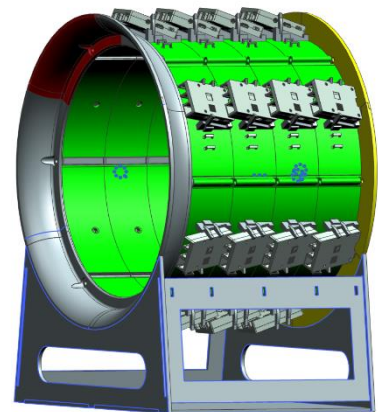
Metallkonstruksjon ble sett bort ifra, grunnet høy vekt. Så det å laserkutte treplater og sette disse sammen var neste løsning. Det ble modellert i Siemens NX, og deretter overført til Rhinoceros som .dxf-fil, for laserkutting. Her brukte vi 6mm plate. Bilde 4.26 viser delene som ble kuttet, og bilde 4.27 viser hvordan delene ble satt sammen. Åpningene er tenkt som deksel som en setter på etter maskinen er koblet sammen.



Bilde 4.26: Delene for fotstøtte av tre

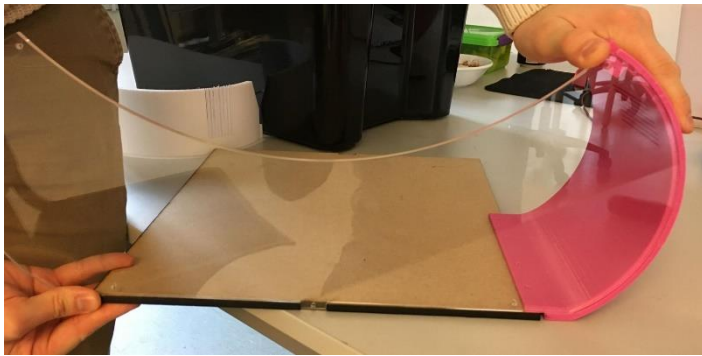


Bilde 4.27: Fotstøtte av tre, sammensatt

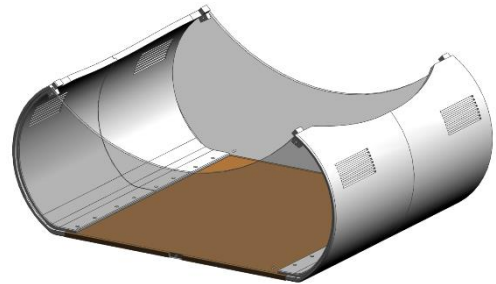


Figur 4.12: Hele modellen med fotstøtte av tre

En annen løsning som ble kommet frem til etter hvert var en kombinasjon mellom laserkutting og 3D-printing. Altså laserkuttet plate i bunnen, 3D-printet vegger, og laserkuttet plexiglass på fram- og baksiden (bilde 4.28). Med denne løsningen blir designen av maskinen mer moderne.



Bilde 4.28: Sammensettingen av endelige fotstøtten

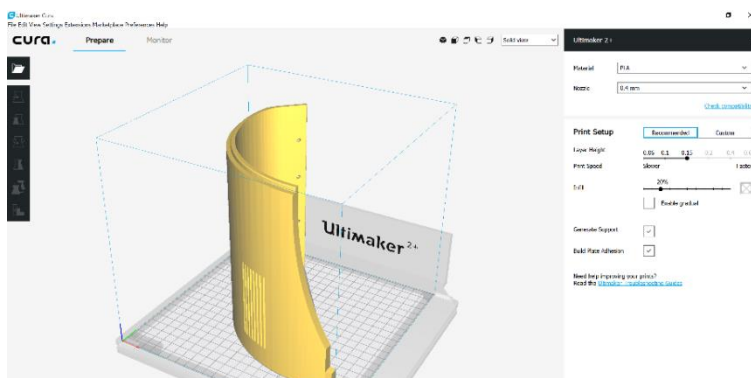


Figur 4.13: Endelige fotstøtten

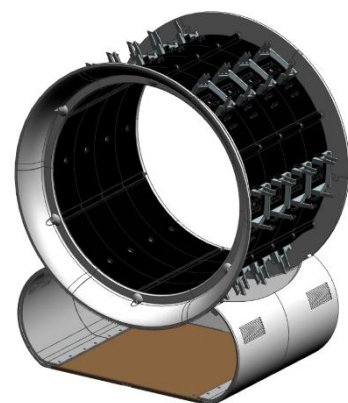
Bunnen inneholder to plater på 4mm, for at skruene i platen ikke skal gå gjennom. På tabell 4.5 ser en at det tar til sammen 21 minutter å laserkutte platene, og 10 minutter for kutting av plexiglass, dette inkluderer skravering i glasset. 3D-printingen av sidevegger skulle skje i 4 deler for å ha plass i en Ultimaker 2+. En del tok 19 timer og 34 minutter å 3D-printe, og bruker minimalt med støttestruktur (bilde 4.29).

Komponent	Tid	Antall totalt	Tid totalt
Treplate for bunn 1	0 t 10 min	1 stk	0 t 10 min
Treplate for bunn 2	0 t 11 min	1 stk	0 t 11 min
Plexiglass for bein	0 t 5 min	2 stk	0 t 10 min

Tabell 4.5: Laserkutting tid



Bilde 4.29: Del av fotstøtten i Cura

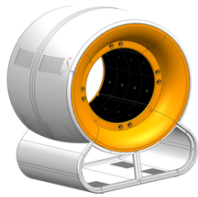


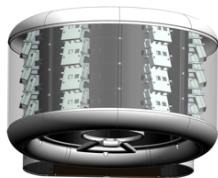


Figur 4.14: Hele endelige modellen

4.2.9 Deksel for ring

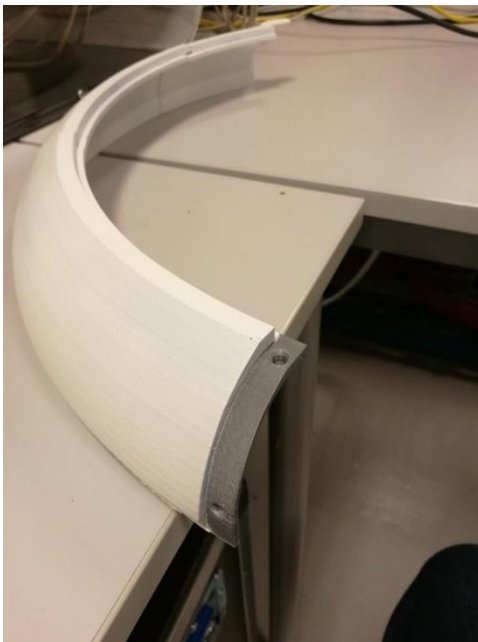
Dekselet på skannemaskinen vil være det som beskytter alle datakortene og alle ledningene inne i maskinen. Her har tankene vært at det skal være moderne, og mulig å demontere for vedlikehold.

Denne delen vil dekke så å si hele maskinen, og det å finne riktig design og byggemåte var krevende. Metodene som ble vurdert var 3D-printing, vakuumentrekking, bøyning av plexiglass, og en kombinasjon mellom disse. Tabell 4.6 viser resultat.

Metode	Bilde	Beskrivelse	Positivt	Negativt
3D-Printing		Lage en hel del i modelleringsprogram, deretter 3D-printe i Ultimaker 2+ i flere deler	Moderne og fin design	Mange deler, veldig tidkrevende
Vakumentrekking		Lage en passform i skum, og deretter vakumtrekke rundt denne i vacumtrekkeren på NTNU Ålesund	En hel del, lett	Ikke tilgjengelig maskin, må finpusses
Plexiglass		Laserkutte plexiglass, borre skru hull, deretter bøye hele platen etter formen på maskinen	Moderne, enkel montering	Vanskelig passform, krevende å bende plexiglass i riktig størrelse.
Kombinasjon mellom plexiglass og 3D-printing		3D- Printe endene på dekselen med feste til maskinne, og deretter laserkutte plexiglass og bende denne. Legge deretter plexiglasset i sporene til 3D-printen.	Moderne og fin design, enkel montering.	Tidkrevende å 3D-printe, og vanskeleg å bende plexiglass i riktig størrelse.

Tabell 4.6: Vurderte metoder for deksel

Deksel-endene ble modellert rundt og over endeflensene. De ble modellert som et byggesett som mye annet på maskinen. For at delen skulle henge godt sammen ble det modellert inn omvendte lepper på hver ende av delen. På den enden som har «underbitt» ble det modellert inn hull, som vist på bilde 4.30. Enden med «overbitt» ble modellert inn plugg på. Når disse delene er satt sammen henger de godt sammen. De har vist seg å være noe vanskelig å demontere i etterkant, dette kan ordnes med å lage romsligere pasninger for pluggene i en senere revisjon.



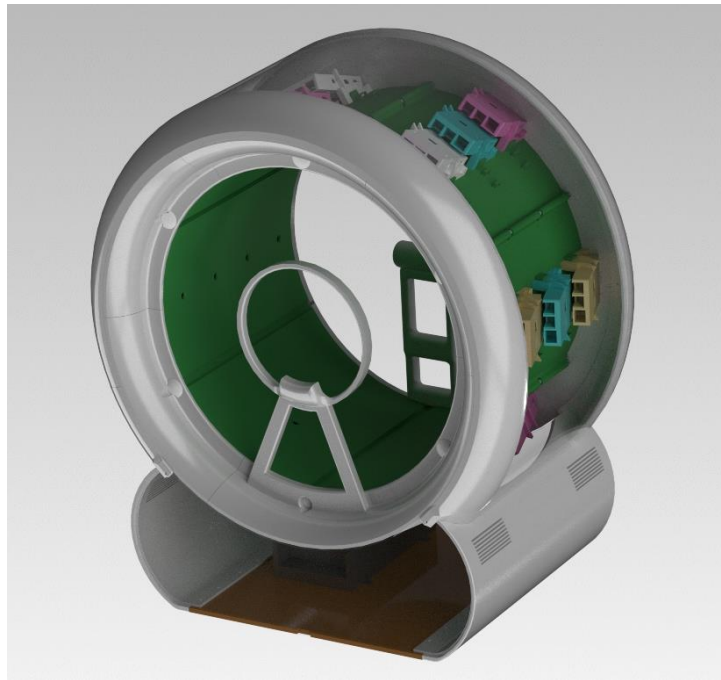
Bilde 4.30: Dekselende, underbitt



Bilde 4.31: Dekselende, overbitt

I bakkant (inn mot senter av maskinen) av deksel-endene ble det modellert inn en leppe. Denne leppen er der for å hvile og feste plexiglasset som skal bøyes rundt på.

Plexiglasset vil fungere som deksel rundt senter av maskinen. Samtidig som dekselet gir maskinen en moderne finish gir det også innsyn til maskinens indrekomponenter. Dette gir for utenforstående maskinen et «high tech»-preg, mens det gir interesserte et innsyn i hvordan maskinen fungerer og er satt sammen.



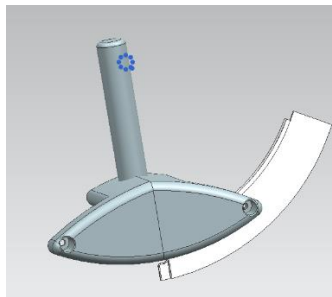
Figur 4.15: Endelige maskinen med deksel

4.2.10 Håndstøtter

En pasient med brukket håndledd vil gjerne ha problemer med å holde armen ut i løse luften. Det ble derfor bestemt at en håndstøtter fremst og bakerst i maskinen burde installeres. Håndstøttene vil også ha som funksjon å få pasientens hånd i riktig stilling, med 20-30 graders vinkel i håndleddet som nevnt tidligere.

Disse støttene vil bli utsatt for noe skubbing og mindre støt når pasientene skal ha inn og hvile hånden på dem. Det ble derfor vurdert å bruke to av flenseboltene til innfestning. Dette førte dessverre til at støttene ble for store til å printes i en del.

For å løse dette ble det påbegynt design an en modell med en modulær støtte som kunne printes i flere deler og festes i to av flenseboltene. Denne ble valgt bort da dimensjonene av ringen økte, dette førte til at delen ble veldig stor.



Bilde 4.32: Eksempel på håndstøtte

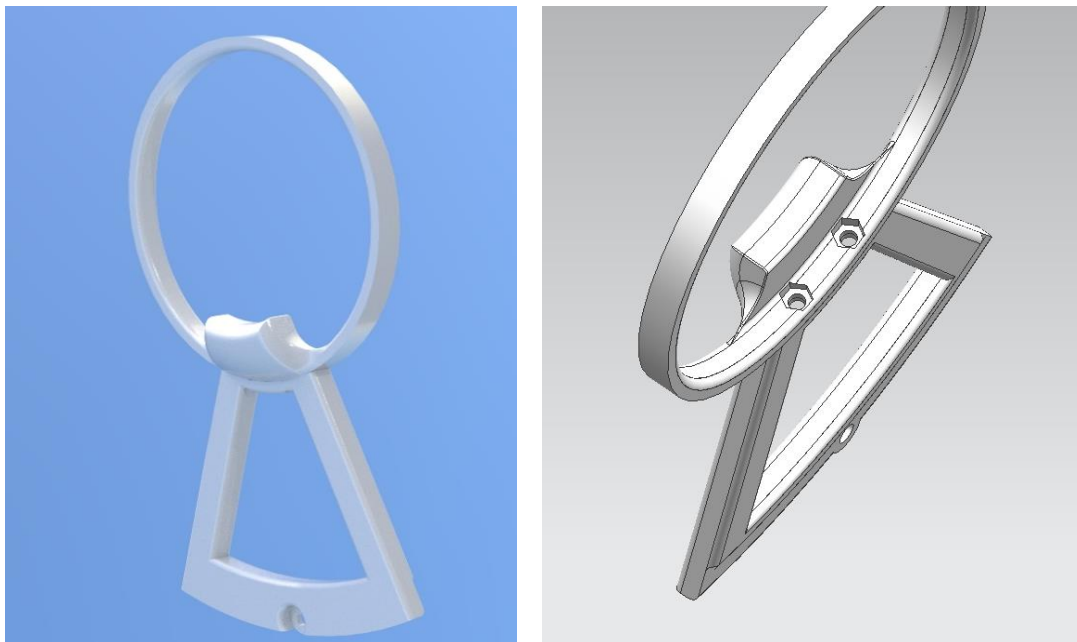
Det ble også designet en utgave som kunne printes som en del av flensen. Dette designet ble for veikt på grunn av flere bevegelige deler. For dette designet var det tenkt at pasienten fikk frihet til å dra støtten frem eller tilbake i maskinen. De var også tenkt at pasienten fikk bevege holdeklossen slik at hånden fikk riktig vinkel. (Bilde 4.33)



Bilde 4.33: Eksempel 2 på håndstøtte

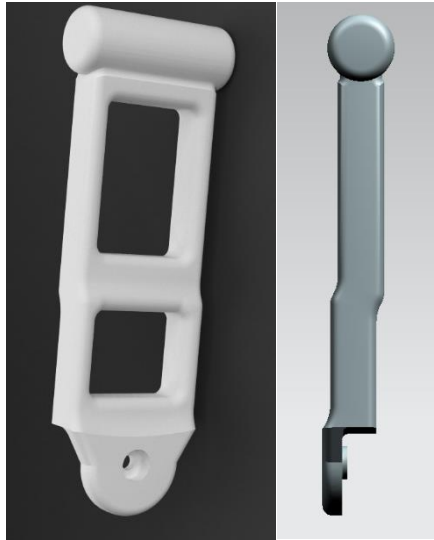
Endelig design av håndstøtter

Håndstøtten fremst i maskinen vil fungere ved at man lener overarmen på den. Etter effektiv diameter ble betraktet ble det bestemt at den fremste støtten skulle ha en sirkel rundt seg for å guide pasientens arm innen det ønskede området. Støtten foran ble modellert i to deler for å få plass i maskinen. En sirkel med et armlene og en fot som festes sammen med flens. Disse to delene sammenføres ved hjelp av to bolter og muttere. På figur 4.16 ser du det endelige designet av håndstøtten fremst i maskinen. Til høyre vises hull for bolter.



Figur 4.16: Endelige håndstøtten foran

På den bakerste håndstøtten skal fingrene hvile på toppen med løst håndledd, dette gir håndleddet en vinkel på mellom 20-30 grader. For at den fremste delen av hånden ikke skulle havne utenfor bilde ble støtten modellert et lite steg inn i maskinen.

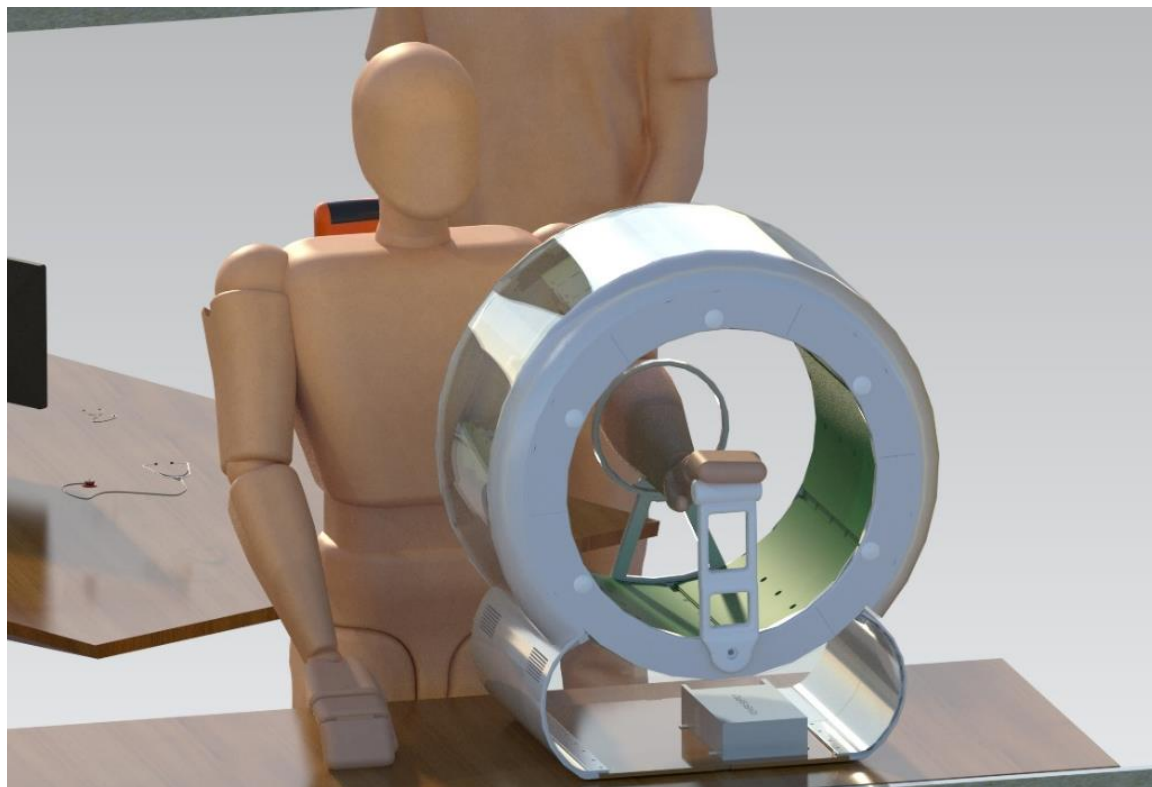


Figur 4.17: Endelige håndstøtten bakre

Disse håndstøttene ble designet for å boltes på sammen med flensene. For at disse skulle passe ble de designet i kopi-filer av flensene fremme og bakte. Her ble de designet over flensene for så å «subtract» flensenes volum fra håndstøttene. Hvor støtte og flenser møter hverandre har de altså en invers form av hverandre. (Figur 4.18)



Figur 4.18: Illustrasjon av festeutforming



Bilde 4.34: Endelige maskinen med testdukke

4.2.11 Implementere - Byggeprosessen

I denne delen blir det tatt opp der fysiske arbeidet som ble gjort. Dette er 3D-printing, laserkutting og lakkering. Det er også nevnt hvilke materialer som er brukt for byggeprosessen.

3D-printing

3D-printing med FDM printere har vært den mest brukte produksjonsformen i dette prosjektet. For prototypebygging er 3D-printing ideelt da terskelen for å re-designe eller justere deler og komponenter er lav. Det er ikke behov for støpeformer eller lignende for å produsere modellene. Verktøy (med unntak av 3D-printer) og arbeidskraft trengs heller nesten ikke i produksjonen. En annen fordel er at det kan printes svært komplekse geometrier uten store utfordringer.

For å produsere fotogrammetrimaskinen har det blitt brukt mye 3D-printing. Printerne tilgjengelig for studenter ved NTNU Ålesund er av merket Ultimaker, det har i dette prosjektet blitt tatt i bruk Ultimaker 2+ og Ultimaker 3. Produksjonen har i all hovedsak foregått på typen Ultimaker 2+, da disse har vist seg å være mer driftssikker. Printerne har montert dyser på 0,4mm som har vært brukt på all produksjon av maskinen.

Spesifikasjoner for Ultimaker finnes i vedlegg 5.

Utfordringer og erfaringer

3D-printing har sine utfordringer og fallgruver. Typiske utfordringer er: deformasjon, problemer med materialmatere, materiale som ikke fester seg i bunnplaten, plass i printeren, sensorproblemer, støttestruktur, krymping, toleranser, og dysefeil. Det er i tillegg viktig å ha kontroll på om det er tilstrekkelig med materiale på printeren, og at materialet er av riktig type.

Byggesettløsning

Prototypemaskinen er ganske stor og flere av delene ville ikke fått plass i en Ultimaker 2+ uten at de ble delt opp. Større deler ble derfor stykket opp og produsert som byggesett. Det har gjennom prosessen blitt testet mange løsninger for å feste disse komponentene i hverandre. Avhengig av geometri og plassering av komponenten ble det brukt ulike løsninger som vist tidligere.

Deformering ved produksjon

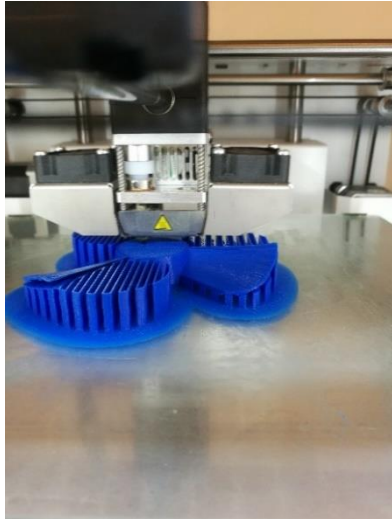
Printerne har varme i bunnplaten, dette er for å unngå at printen deformeres på grunn av varmforskjeller mens den produseres. Det har vist seg at printerne sliter med å holde varmen i platen høy nok ut mot kantene. Dette betyr at printer som dekker hele printerplatens areal, eller printer som på grunn av sin størrelse må strekke seg mot kantene har større risiko for deformasjon.

Deformasjonen er som regel en sammentrekning av materialet nede ved printerplaten. Det finnes metoder for å unngå slike sammentrekninger.

Printerens programvare gir mulighet for å printe en plating rundt modellen (bilde 4.36), dette gir større kontaktoverflate mellom print og plate og hindrer slik sammentrekninger. Det kan også brukes lim eller hårspray på platen før printen startes (Bilde 4.37), dette vil naturlig nok holde printen bedre fast mot platen og dermed motvirke sammentrekninger. Brukes lim eller hårspray er det en fordel å bruke vannløselige typer, det er også god praksis å rengjøre printerplaten etter slik bruk så den er klar til neste print. (Ultimaker, u.d.)



Bilde 4.35: "Warping"

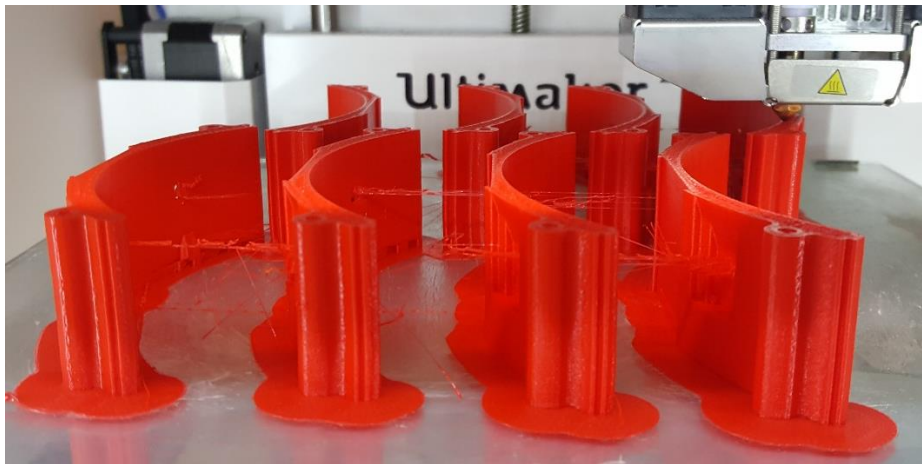


Bilde 4.36: "Platting" rundt modellen



Bilde 4.37: Liming av bunnplaten

«Stringing» er et annet problem som oppstår ved 3D-printing. Dette forekommer fordi materialet lekker ut av dysen når printerhodet skal bevege seg uten å printe. Denne deformasjonen er ikke like ødeleggende som sammentrekninger av materialet. «Stringing» (bilde 4.38) er i hovedsak en estetisk feil som ofte kan forbedres med en tapetkniv og fil etter modellen er ferdig.

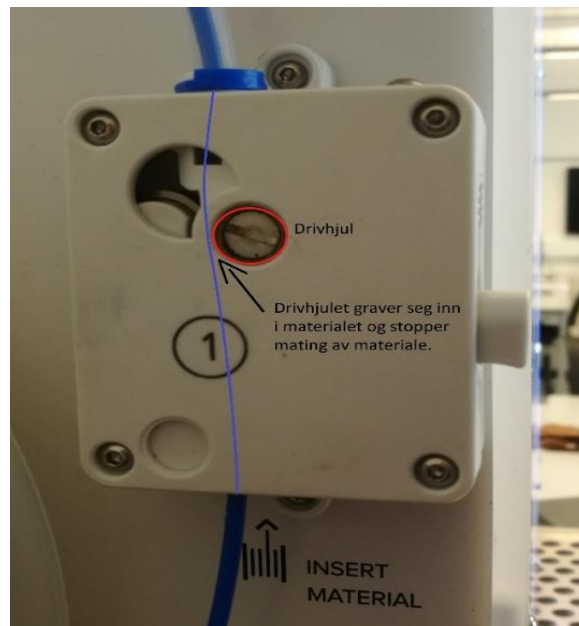


Bilde 4.38: Eksempel på stringing

I Cura er funksjonen «retraction» automatisk aktivert, denne funksjonen skal hindre «stringing» ved å dra inn materialet når den skal bevege seg mellom deler eller innad i delen. Denne funksjonen hjelper, men stopper ikke problemet helt. Problemet er nemlig materialbestemt og kan variere innen plasttyper avhengig av farge og produsent. Dysetemperaturen kan stilles ned for å gi materialet høyere viskositet som vil være med å motvirke «stringing» (Ultimaker, u.d.).

Ekstruderings problemer

Materialmateriaen på printerne kan også lede til feil i printen. Drivhjulet i materiaen har en tendens til å glippe eller grave seg inn i materialet, dette hindrer tilføringen av nytt materiale. Om hjulet får grave seg dypt inn i filamentet stoppes tilføringen helt. Dette kan føre til stopp i produksjonen, stoppes printen midt i produksjonen kan det føre til en svakhet i det laget hvor det stoppet da sammensmeltingen av materialet ikke vil være like god.

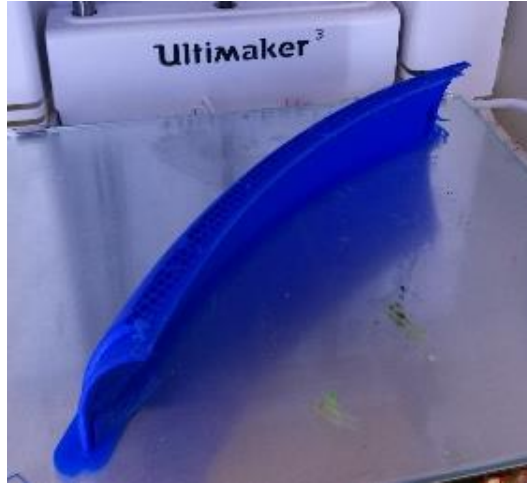


Bilde 4.39: Illustrasjon av mating på Ultimaker

Hvis materiaen graver seg inn i filamentet vil dette vanligvis bety at den har for stort trykk inn mot filamentet. Dette ordnes ved å løsne på skruen som befinner seg på toppen av materiaen. Hvis filamentet ikke beveger seg, eller beveger seg veldig sakte kan det være at den må strammes opp. For lite spenning i materiaen kan føre til underekstrudering av materiale som lett kan misforstås som en dysefeil.

En kan undersøke om spenningen er riktig ved å se på filamentet som har vært gjennom materiaen. Er det ingen spor eller slitasje på filamentet er spenningen for lav, er filamentet blitt flatet ut er spenningen for stor (Ultimaker, u.d.).

I noen tilfeller registrerer ikke printerne at den ikke tilfører nytt materiale. Det fører til en uferdig modell da printerne kjører gjennom sitt program uten å ekstrudere materiale. ved slike tilfeller må printen startes på nytt og den uferdige delen skrotes.



Bilde 4.40: Eksempel på uferdig print

Dysene på printerne kan i noen tilfeller tettes av material som har vært smeltet og størknet i dysen eller støv og skit som har forbrent i dysen. Det kan være tilstrekkelig å skrape bort materiale fra utsiden av dysen, men i mange tilfeller må dysen avmonteres av og renses.

Sensorproblem

Printerne er utstyrt med sensorer som har kontroll på maskinens bevegelse i XYZ retning. Disse har det vært utfordringer med, særlig på Ultimaker 3 maskinen. Problemer med disse kan i mange tilfeller ordnes med re-kalibrering av printerens, men ved gjentagende problemer bør kablingen gjennomgås, eventuelt bør sensoren byttes ut.

Støttestruktur

For å unngå bortkastet tid og materiale er det en fordel å plasere modellen i printerens på en slik måte at støttestruktur holdes til et minimum. Cura og mange andre slicere gir mulighet for å bestemme ved hvor stort overheng det skal produseres støttestruktur. Av erfaring trenger ikke overheng under 50° støttestruktur. Kortere overheng på noen millimeter opptil 90° vil ofte gå bra å printe uten støttestruktur, men ved lang produksjonstid av en unik komponent er det ofte ikke verdt å spare noen minutter og risikere feilproduksjon. Komponenter som skal pintes i større volum kan heller eksperimenteres med for reduksjon av støttestruktur på slike måter.

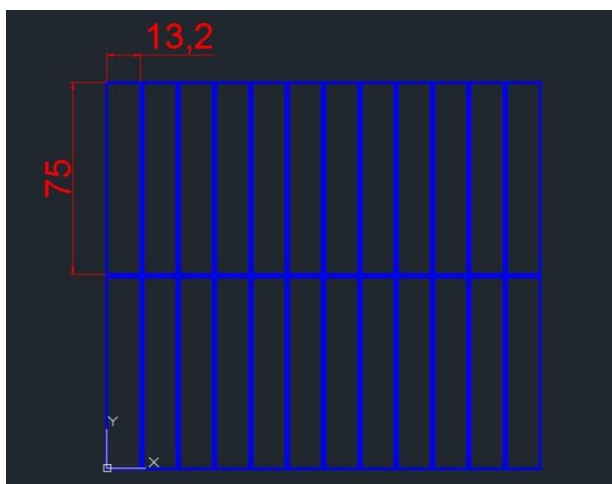
Laserkutting

For å produsere maskinens fot ble det brukt laserkutter både til å lage deksel i plexiglass og til å kappe ut fotens bunnplate i tre. Det ble også produsert beskyttelse til LED-striper i plexiglass.

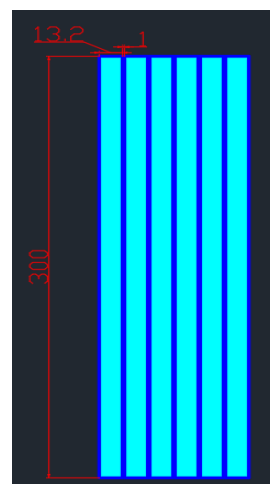
For å bruke laserkutteren ble det produsert sketsjer i AutoCAD. Disse sketsjene måtte inneholde kapplinjer, og eventuelt skravor ved inngraving. For å bruke laserkutteren overføres AutoCAD filen fra dwg-format til dxf-format og lastes inn i Rhinoceros. I dette programmet må laserkutterens innstillinger tilpasset materialet som skal kuttes, tykkelsen på dette materialet og eventuell skravor-stil bestemmes.

LED-glass

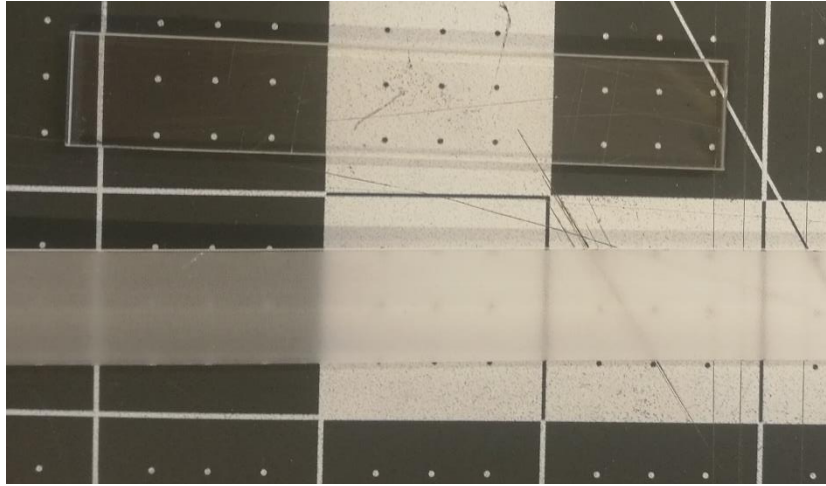
LED-glasset ble først produsert i biter like lange som hver ringmodul. Det ble da produsert 24 plexiglass-striper på 75x13,2mm dette ga en presspassing i forhold til modellerte skinner i maskinen. Det viste seg at led-stripene ga fra seg for skarpt lys, det måtte derfor finnes en måte å gjøre lyset mer diffust. Det ble vurdert pålimt frostfilm og andre løsninger, men det ble til slutt bestemt at det skulle produseres nye LED-glass hvor laserkutteren skravorerte hele arealet av disse. De nye LED-glassene ble produsert 6 stykker av på 300x13,2mm, disse lengre stripene sitter bedre fast i skinnene enn de mange små.



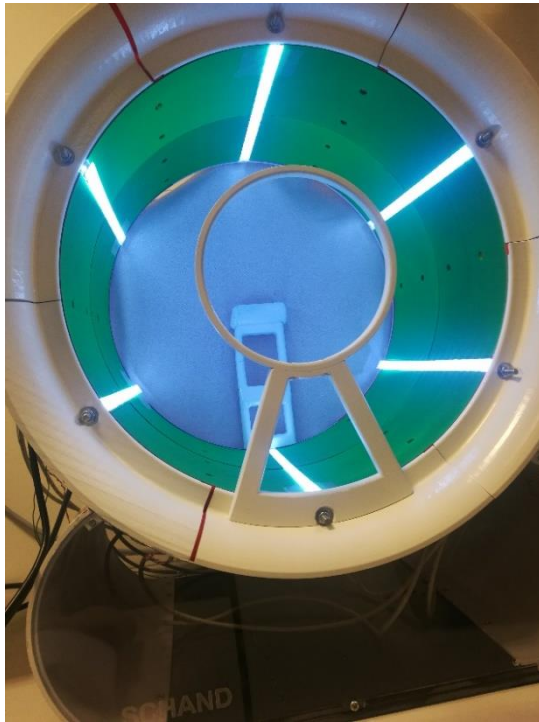
Bilde 4.41: Første versjon av LED-glass



Bilde 4.42: Endelig versjon av LED-glass



Bilde 4.43: U-skravert og skravert LED-glass



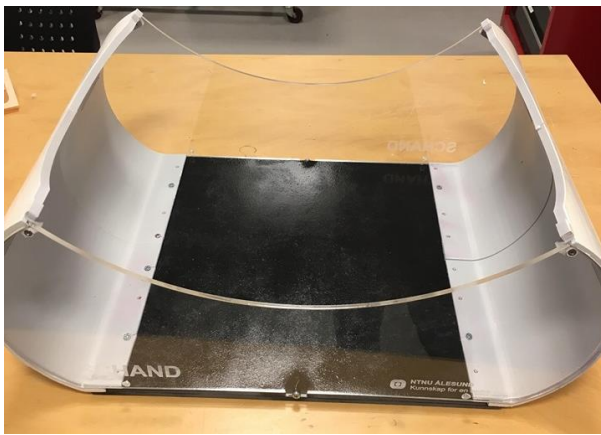
Bilde 4.44: LED-glass installert



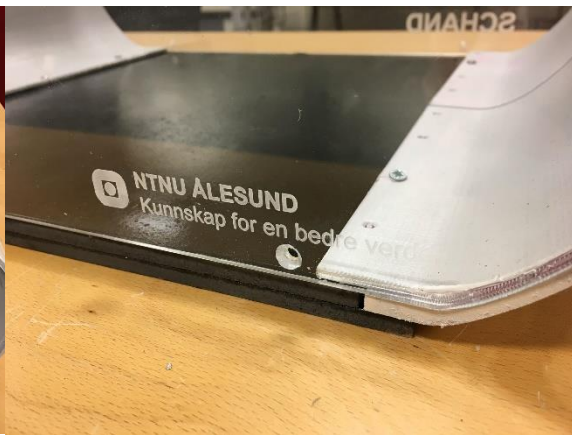
Bilde 4.45: LED-glass installert 2

Fot

Fotens plexiglassdeksel var først produsert i 3D i Siemens NX før det ble overført til AutoCAD, dette var for å sikre at geometrien skulle stemme med resten av modellen. I plexiglasset ble det inngravert et produktnavn «SCHAND» (en kombinasjon av ordene scan og hand) samt NTNU-logo og motto. Det ble skjært ut hull til skruer som festes i bunnplate og plast-fot. Bunnplaten er en ganske enkel firkant laget i tre med ut kapp hvor plexiglasset passer ned i.



Bilde 4.46: Komplette fot





Bilde 4.47: Skravur i plexiglass

Lakkering

For å ta bilde med maskinen er det noen faktorer å tenke på. Her tenker en da på kameravinkel, kamerafokus, overlapping av bilde, og ikke minst lys. For å få et godt bilde må det være et godt og jevnt lys inne i maskinen, og selve bakgrunnen må skille seg ut fra gjenstanden som skal bli tatt bilde av. Her er det tenkt at på innsida av ringen må det lakkres slik at det blir en jevn bakgrunn som jevner ut lyset. Utsida derimot trenger å se moderne ut med blanke overflater, der det har blitt valgt den sterile og nøytrale fargen hvit, som representerer så å si alle maskiner på et sykehus. Her er de selvsagt mulighet for å bruke andre farger eller kunst for å holde pasienter kanskje mer avslappet, spesielt barn.

Innsiden av ringen er den som krever grundig gjennomføring for å få et godt bilde. Her har det blitt sett på muligheten for svart, hvit, oransje eller grønn. Både hobbylakk og gummilakk. Tabell 4.7 viser resultatene fra testene som ble gjort.

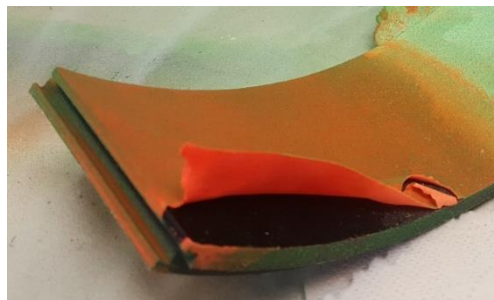
Type	Svart lakk	Hvit lakk	Orange lakk	Grønn lakk	Hvit gummilakk	Oransje gummilakk	Grønn gummilakk
Nøytral bakgrunn	JA	JA	NEI	NEI	JA	NEI	NEI
Bilde							
Refleksjon	Dårlig	Dårlig	Dårlig	Dårlig	Godt	Godt	Godt
Kontrast for bildegjenstand	Ok	Ok	Dårlig	Godt	Ok	Dårlig	Godt
Bildekvalitet	Dårlig	Dårlig	Dårlig	Dårlig	Ok	Ok	Godt

Tabell 4.7: Lakktest

Det skal sies at det kan være en utfordring å bruke gummilakk med deler som må maskeres. Grunnen er at dette er en lakk som er ment å ha muligheten å fjerne enkelt, så ved fjerning av maskeringen må maskeringen kuttes rundt der den skal fjernes (Bilde 4.50). Hvis det ikke blir kuttet godt nok vil lakken henge seg fast og løsne fra delen, som vist på bilde 4.49.

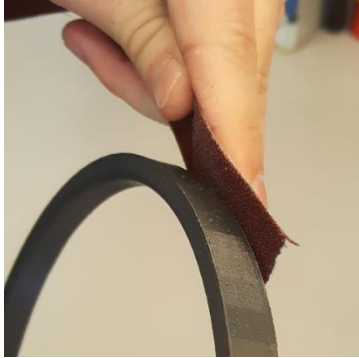


Bilde 4.49: Fjerning av maskering



Bilde 4.48: Eksempel på fjerning av gummilakk

Framgangsmåten som ble brukt for å lakkere dekselet var følgende:



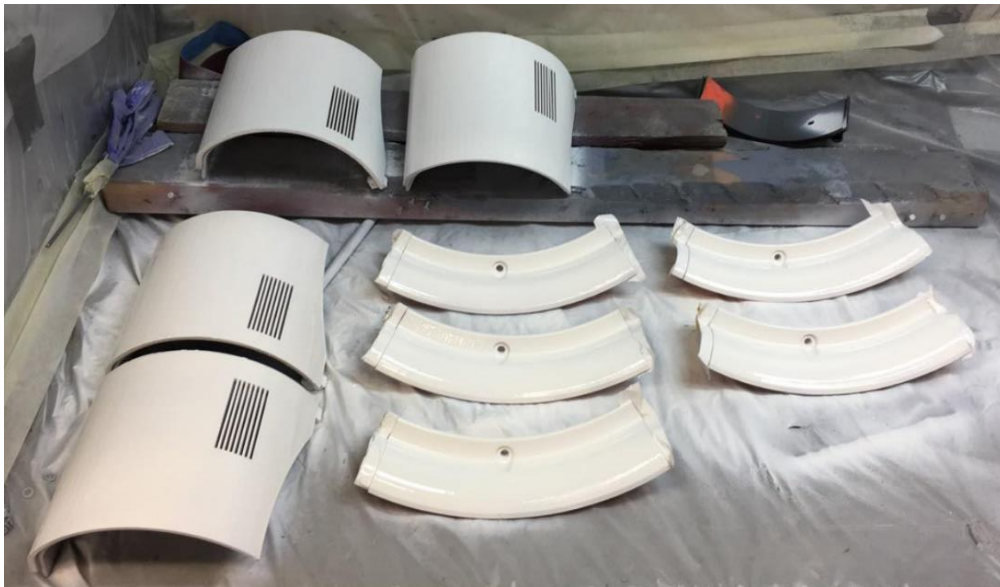
Bilde 4.50: Pussing av del



Bilde 4.51: Et lag med primer



Bilde 4.52: To lag lakk

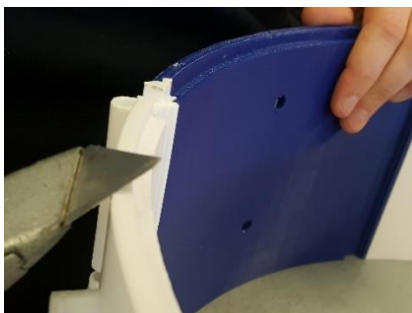
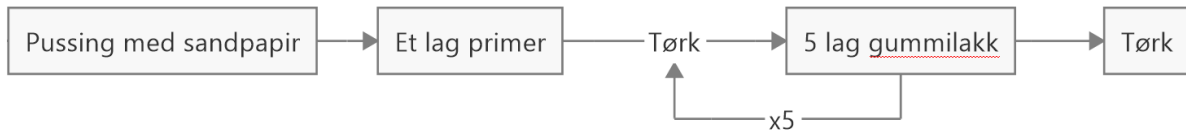


Bilde 4.53: Et lag klarlakk

Primer ble brukt som grunning for at fargen under lakken ikke skulle vises gjennom, siden alle delene har forskjellige farger og for å gi malingen god heft. Klarlakk ble brukt for å gi utseende en glattere og beskyttende overflate.

Innsiden av ringen er det blitt valgt å lakkere med grønn gummilakk, dette med veiledelse fra automasjonsgruppen. Grunnen til dette begrunner de med at det blir en større kontrast mellom bakgrunn og hånden som skal skannes, og at gummilakken ikke reflekterer like mye lys om vanlig universallakk. Denne lakken krever da flere strøk for at det skal bli god kvalitet.

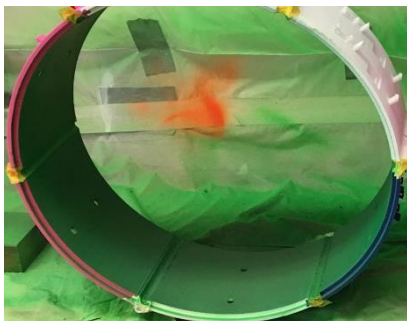
Fremgangsmåten her ble da:



Bilde 4.55: Klargjøring før lakkering



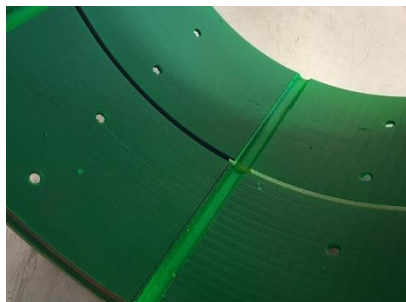
Bilde 4.54: Maskering av deler



Bilde 4.56: 5 lag med gummilakk



Bilde 4.58: Oppheng for lakkering



Bilde 4.57: Tørking av lakken



Bilde 4.59: Fjerning av maskering

Material

Her ser en de materialene som har blitt brukt og jobber med under byggeprosessen.

PLA

– Brukt som filament for å printe deler i Ultimakers 3D-printer. Dette materialet er en utbredt bioplast som har en styrke som nevnt tidligere. Mye brukt ettersom maskinen produseres ved bruk av AM. Materialet er i tillegg til dette billig.

Clear acrylic sheet

– Brukt som en del av rammen på maskinen. Dette materialet er plexiglass som er helt gjennomsiktig og har en god styrke kvalitet. Både 2mm og 4mm har blitt brukt. Materialet er billig, lett og robust sammenlignet med glass.

Treplate

– Brukt som bunn i maskinen. Enkelt å skru i platen uten at det sprekker eller knekker. Materialet er billig.

4.3 Å skape og å forbedre - Gips

Tidlig i utviklingsfasen kom man frem til en ide om hvordan genereringen av gipsen skulle foregå. Sett ut ifra at prosessen fra skanning til ferdig printet gips skulle kunne utføres med minst mulig tekniske ferdigheter og trening, var tanken å gjøre stegene så enkle som mulig, og helst uten direkte innblanding. Tanken var å få en automatikk i gipsgenereringen.

Det er verdt å merke seg at prosessen fra skann/punktsky til 3D-modell i denne oppgaven blir gjort av automasjonsstudenter. Etter dette kommer modellen tilbake og det genereres en gips-modell på modellen av hånden.

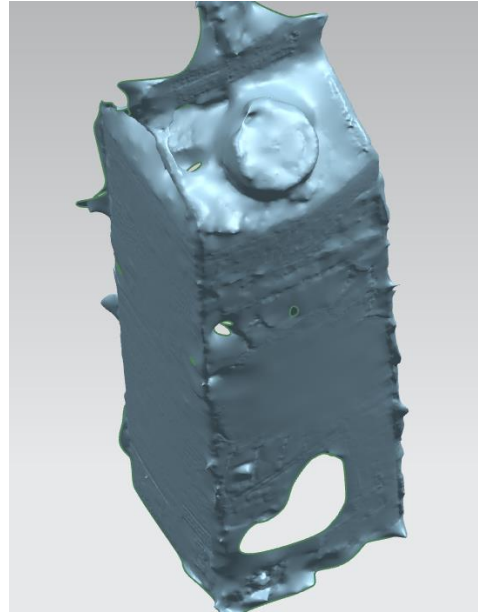
Fra 3D-skanneren skulle det komme en digital kopi av pasientens hånd. Hånden skulle derfra kobles inn i et 3D-modelleringsprogram som genererte en perfekt tilpasset gips, uansett håndens geometriske utforming. Denne modelleringsfilen skulle fungere som en mal. En mal hvor den eneste inputen skulle være den 3D-skannede hånden, og outputen en gips. Malen skulle også generere de nødvendige hullene/mønstrene i gipsen. Dette for å gi hånden luft for økt komfort, i tillegg til å minke produksjonstid, samtidig som styrken ble opprettholdt mest mulig.

Software

3D-modelleringsprogrammet som ble brukt var Siemens NX. Med NX har man muligheten til å gjøre det meste innenfor 3D-modellering og design, inkludert «Reverse Engineering». I tillegg hadde man mulighet til å opprette en meny for å bestemme de parameterne man selv ønsket, en PTS-meny.

4.3.1 Manipulering av importert 3D-modell

En skannet 3D-modell vil som regel inneholde deler eller detaljer som trengs å justeres eller fjernes. Det kan være ting som ikke er i sammenheng med den modellen som ble skannet, unøyaktigheter som trengs å forbedres, eller detaljer som må finslipes. Med tanke på at gipsen skulle frembringes direkte ut ifra den importerte hånden, var det avgjørende å gjøre seg bekjent med dette.



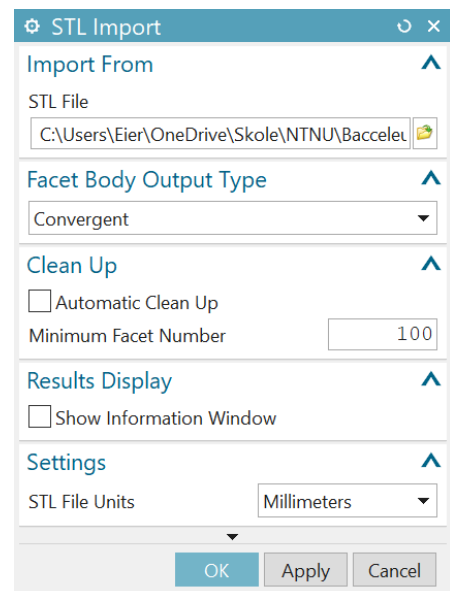
Figur 4.19: Eksempel på Litago-modell som må behandles

Convergent Modeling

Facet Topology er det formatet som importerte 3D-modeller består av. Formatet er bygget opp av triangulære flater, satt sammen til en tilnærmet overflate. STL-filer er et eksempel på dette.

B-Rep Topology er formatet som brukes i NX. Dette formatet består av matematisk definerte overflater, og representerer en mer nøyaktig tilnærming.

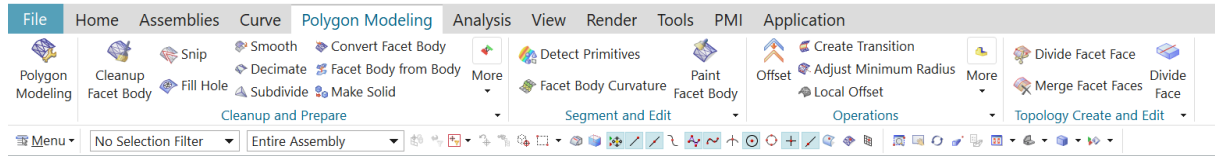
Disse to formatene er ikke veldig samarbeidsvillige, og har egne funksjoner i NX. NX har derfor en konverteringsteknologi, kalt «Convergent Modeling», som aktiveres ved importeringen (bilde 4.61). Convergent Modeling kombinerer disse to formatene. Det gjør det mulig å jobbe direkte på det importerte «Facet»-formatet med en kombinasjon av NXs funksjoner for Facet Topology og B-Rep Topology.



Bilde 4.60: STL importering i NX

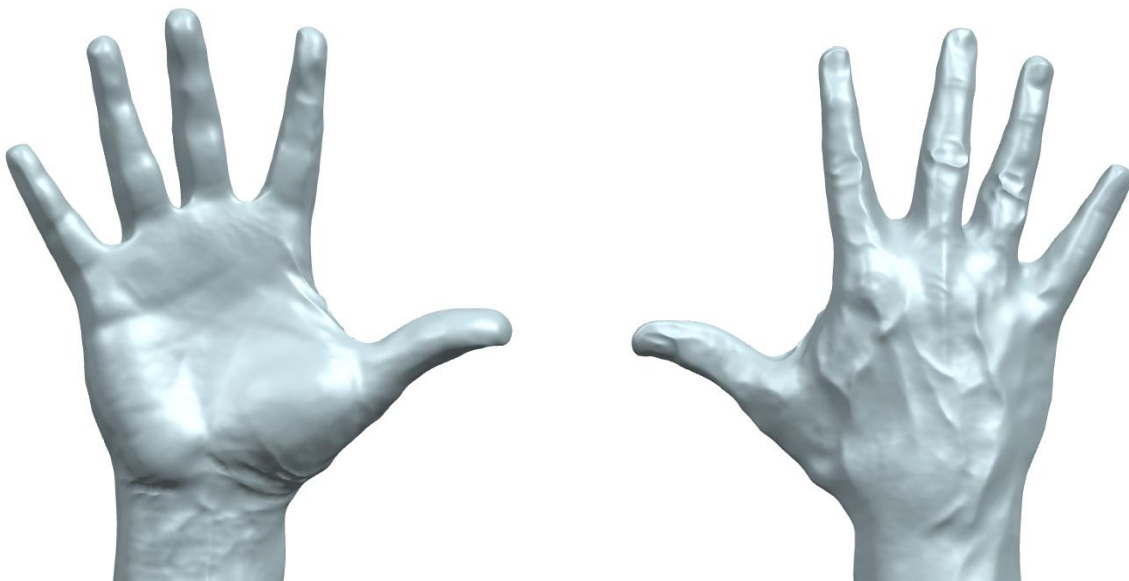
Polygon Modeling

Polygon Modeling er delen av NX som inneholder funksjonene som lar deg manipulere «Facet» formatet direkte. I fanen finner vi funksjonen også kalt Polygon Modeling.



Bilde 4.61: Fanen "polygon modeling" i NX

Med utgangspunkt i en 3D-skannet hånd (Figur 4.20), hentet fra internett (Stubbs, 2019), illustreres måtene å forbedre og endre modellen med funksjonene i Polygon Modeling.



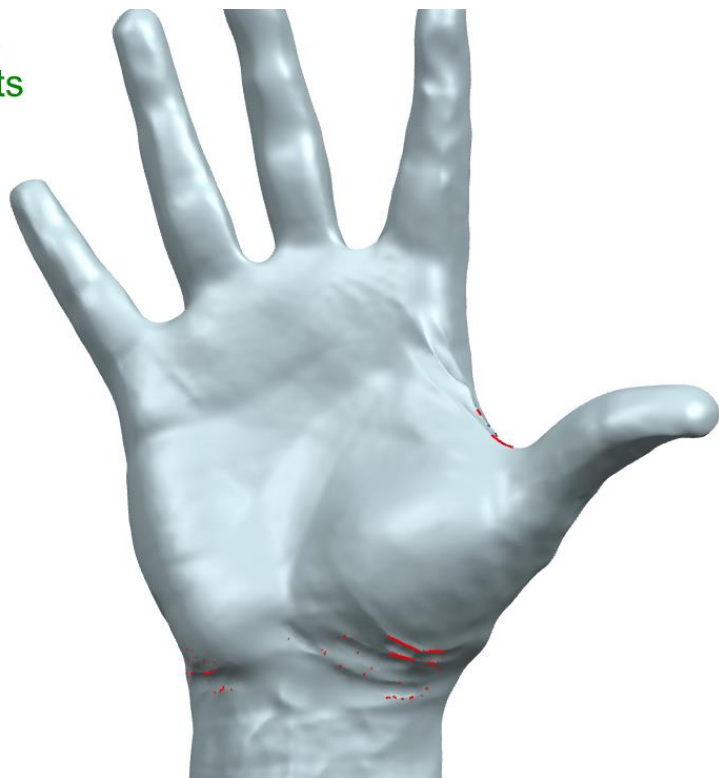
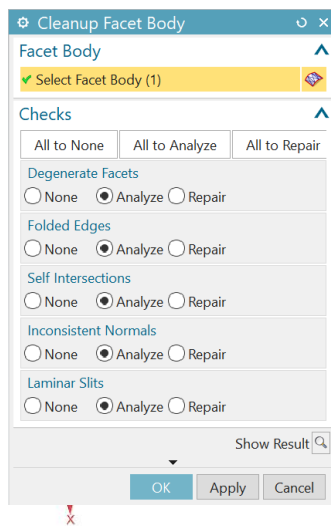
Figur 4.20: STL-fil av en hand

Cleanup Facet Body

Cleanup funksjonen brukes til hovedsakelig to formål:

- Analyse av modellen. Dette for å gi et inntrykk av hvilken stand modellen er i, og i så fall hvor disse feilene befinner seg. Det fungerer som en god funksjon for å se modellens tilstand etter hvert som man jevner ut modellens form. Som bildet 4.63 illustrerer, blir feilene fargelagt på modellen.
- Reparasjon. Den andre funksjonen her er reparasjon av de eventuelle feilene. Erfaringen viste at denne funksjonen ikke utgjorde alt for mye, og klarte aldri å fikse feilene fra analysen.

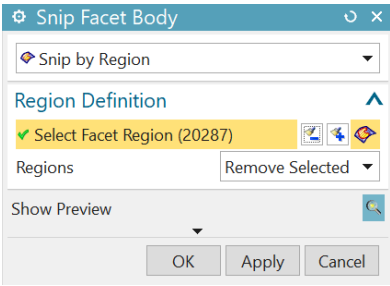

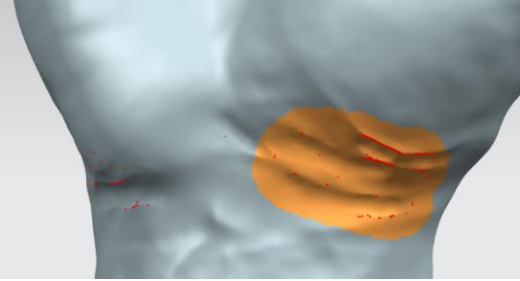
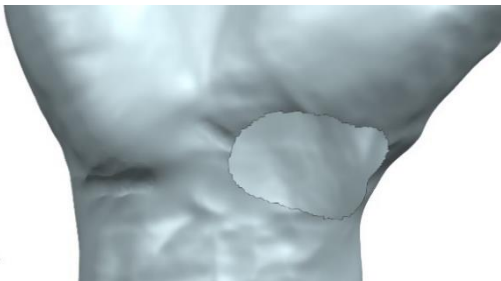
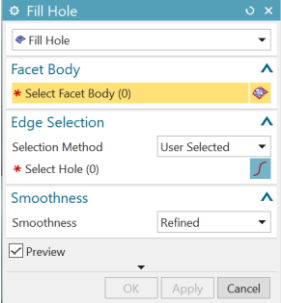
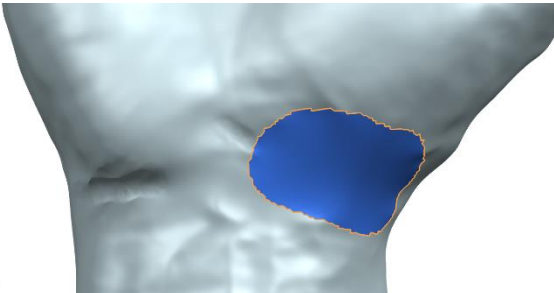

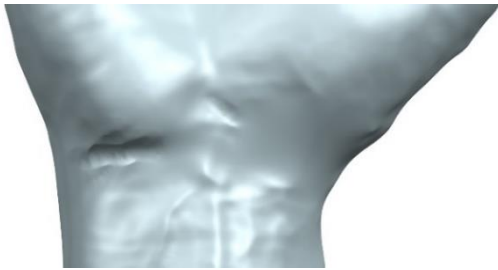
13695 Degenerate Facets
6 Edges with Folded Facets
13 Intersection Facets
0 Inconsistent Normals
3 Laminar Slits



Bilde 4.62: Skjermbilde av NX ved bruk av "cleanup facet body" funksjonen

Snip Facet Body og Fill Hole

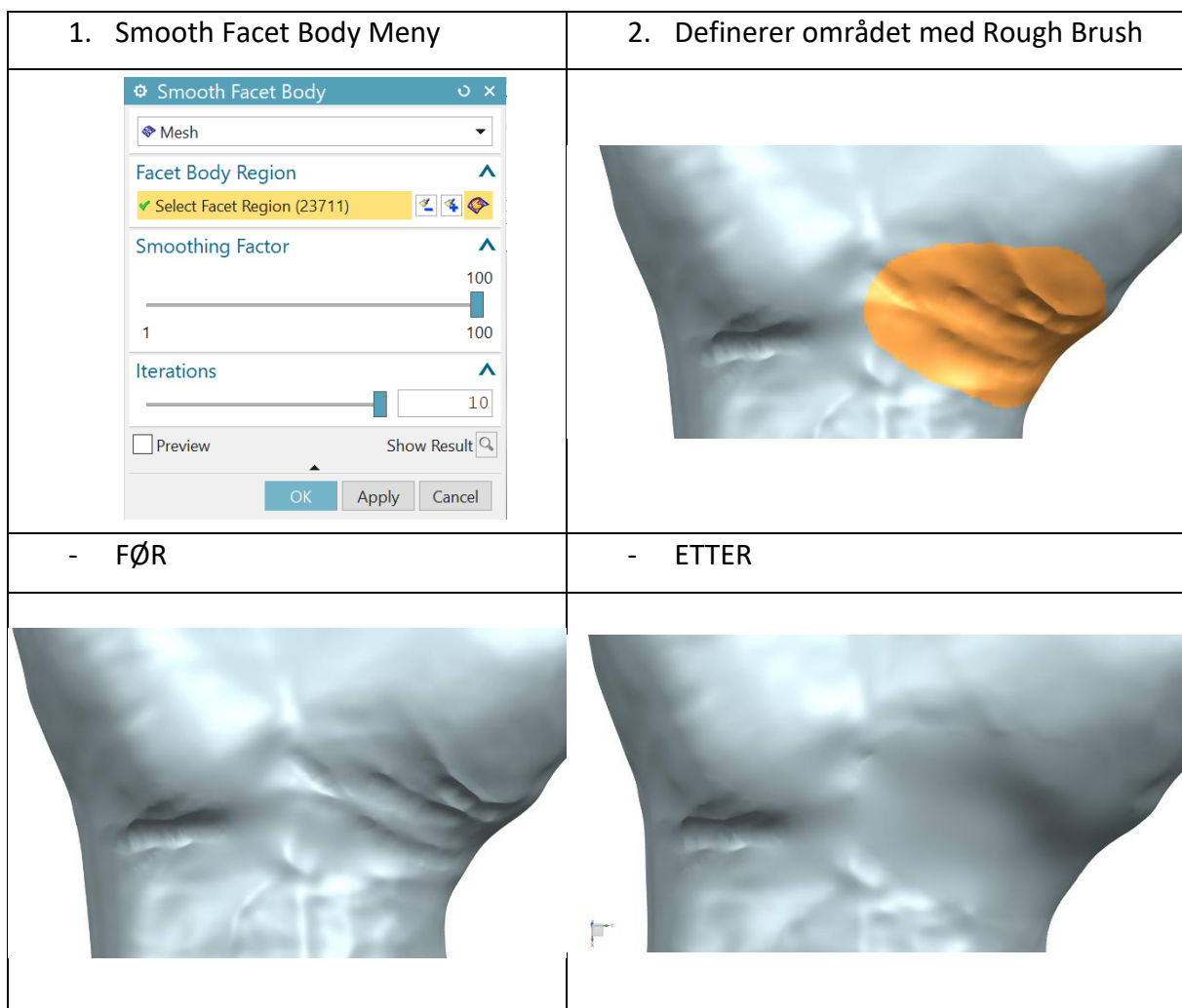
«Snip»- funksjonen gir muligheten til å klippe bort deler av modellen. Her defineres området manuelt med «Rough Brush». «Fill Hole» – funksjonen fyller hullet med en jevn overflate.

<p>1. Snip Facet Body meny</p>	<p>2. Bruker Rough Brush</p>
	
<p>3. Definerer området</p>	<p>4. Hull generert</p>
	
<p>5. Fill Hole meny</p>	<p>6. Hullet fylt igjen</p>
	
<p>- FØR</p>	<p>- ETTER</p>
	

Figur 4.21: "Snip" og "fill hole" funksjonen i NX

Smooth Facet Body

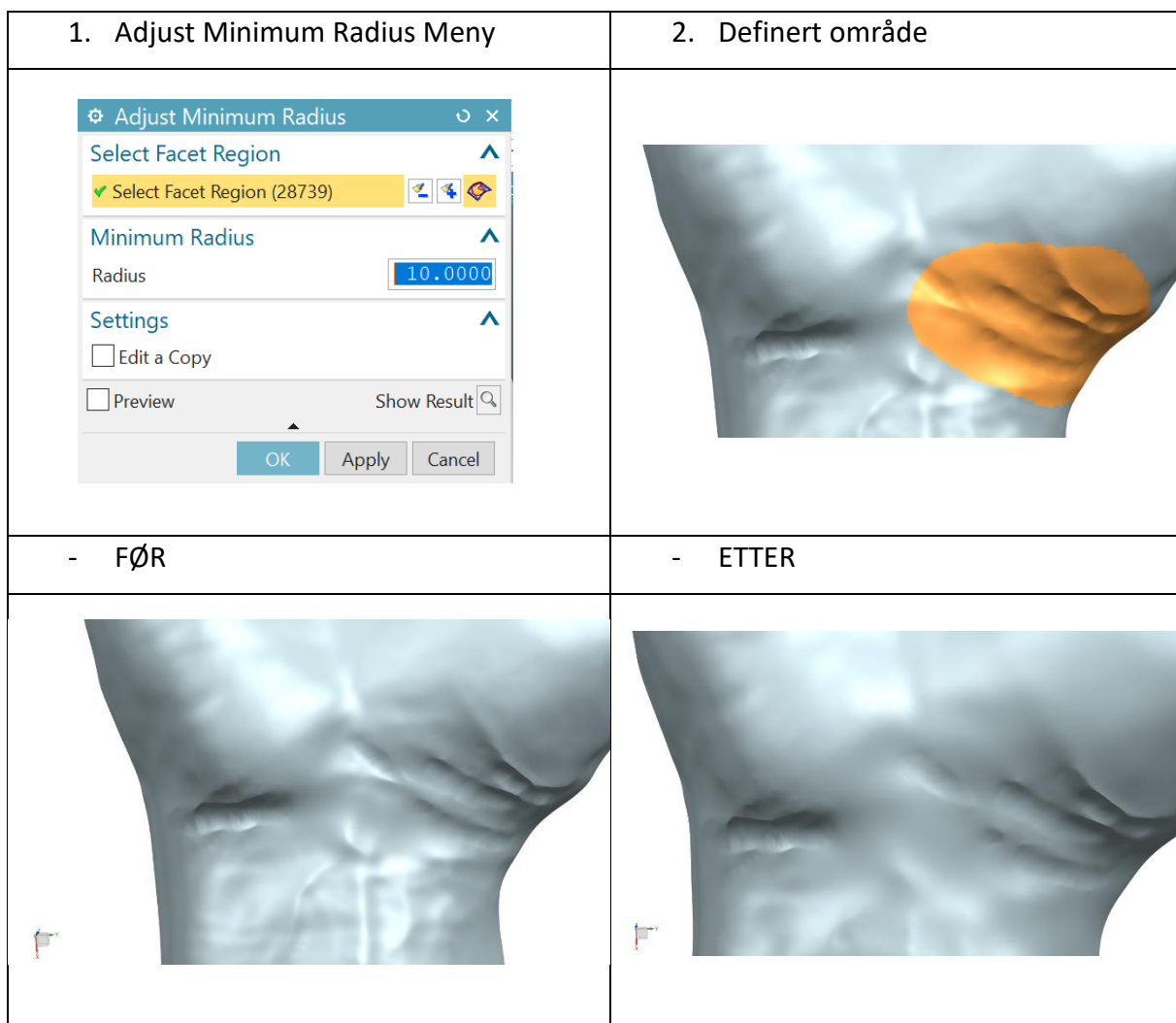
Dette er en funksjon for å glatte og jevne ut overflaten direkte. Her kan man også bestemme i hvilken grad utjevningen skjer (Smoothing Factor). Det fungerer på den måten at det markerte området blir jevnet som en sammenhengende flate, og fjerner de høyeste toppene og de dypeste dalene.



Figur 4.22: Funksjonen "smooth facet body" i NX

Adjust Minimum Radius

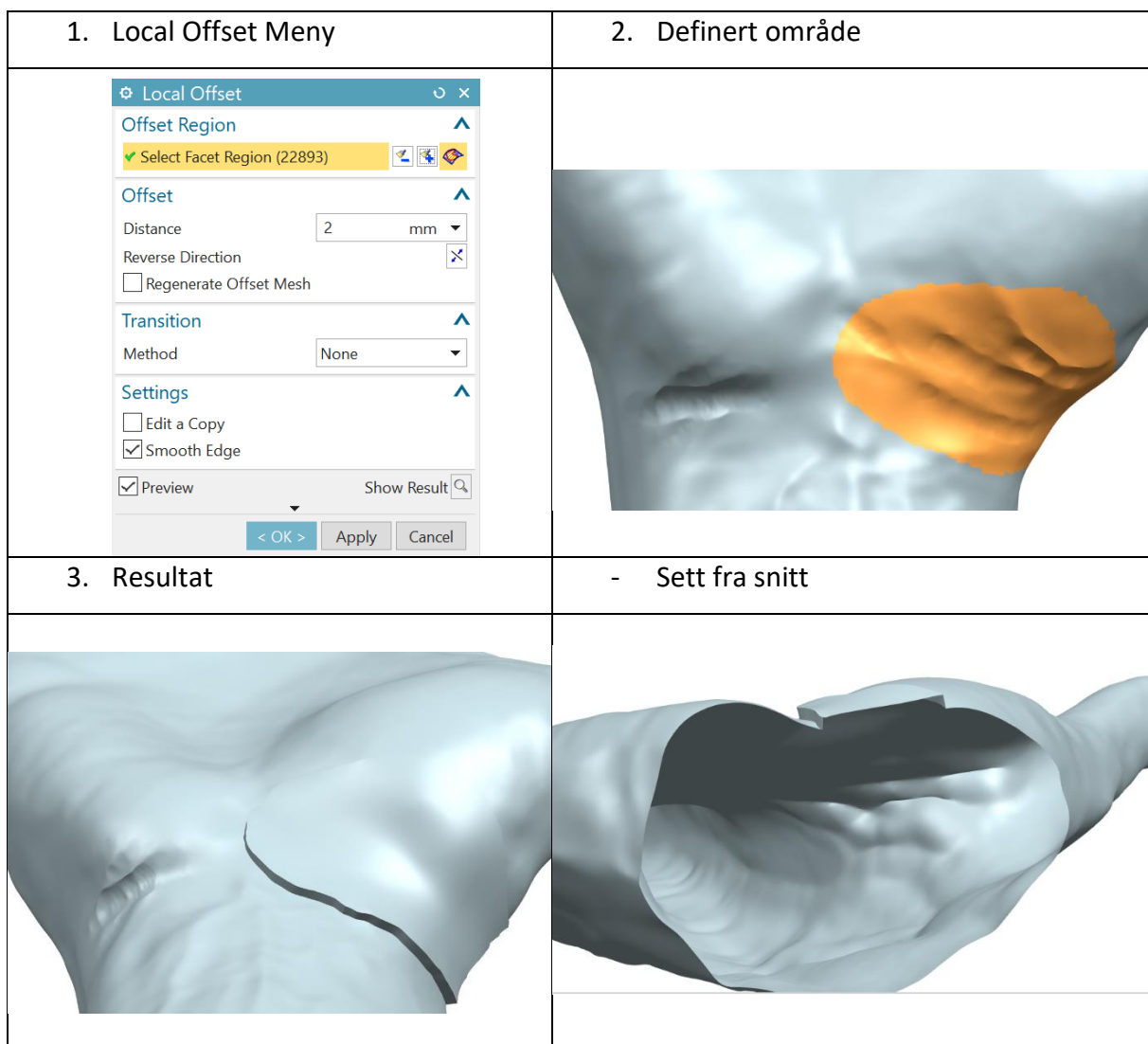
Denne funksjonen er relativt lik «Smooth Facet Body»-funksjonen, men de fungerer på litt forskjellige måter. «Adjust Minimum Radius» baserer seg på radiusen i alle kurvene på overflaten, og endrer slik at alle kurvene har en minimumsradius. Funksjonen jevner nødvendigvis ikke ut de store høydeforskjellene.



Figur 4.23: Funksjonen "adjust minimum radius" i NX

Local Offset

Denne funksjonen ble utforsket en liten periode i begynnelsen, som en måte å generere gipsen. Det denne funksjonen gjør er å flytte den aktuelle overflaten utover/innover fra den originale overflaten.



Figur 4.24: Funksjonen "local offset" i NX

4.3.2 Utvikling av Gipsgenerering

Utviklingen av malen for gipsgenerering har vært en iterativ prosess. Med minimal erfaring av modellering av importerte filer i NX har utviklingen dermed basert seg på prøv og feiling.

Tidlig fase

I den tidlige fasen av utviklingen ble det brukt 3D-modeller fra internett (Absolute 3D, 2016) til å teste ut de forskjellige funksjonene i NX, og ikke minst hvordan de oppførte seg i forhold til hverandre.

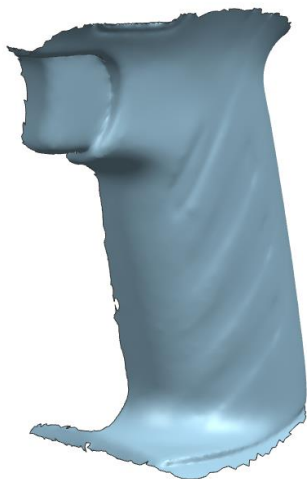
Som bildene under viser, ble det lastet ned en 3D-skannet drill. Den fungerte som en forsøksmodell, hvor de nevnte funksjonene i «Polygon Modeling» ble testet ut.



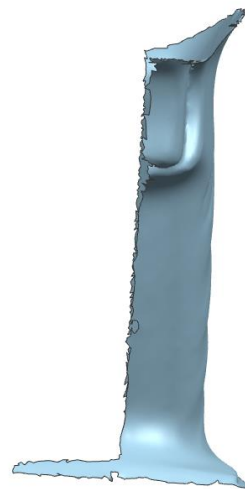
Figur 4.26: STL-fil av en drill



Figur 4.25: "Local offset" ble brukt på drillen



Figur 4.27: "Snip facet body" ble brukt på drillen

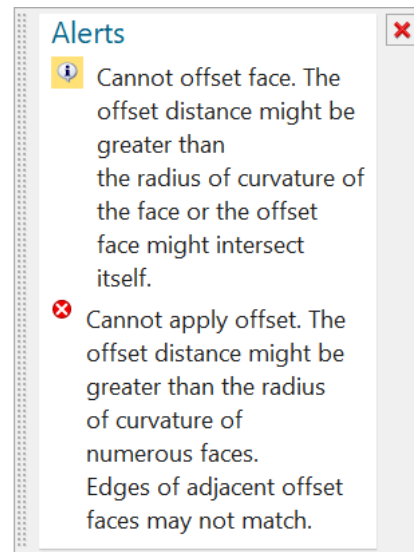


Figur 4.28: "Snip facet body" funksjonen

Etterhvert ble det lastet ned 3D-modeller av hender. Det var her man skjønnte at den importerte modellen måtte innom en behandling for å glatte ut overflater og fjerne de verste ujevnheter. Utfordringen lå ved genereringen av kopi-hånda utenpå originalen, som etter hvert skulle formes til en gips. Å utføre det direkte på en ubehandlet og ujevn modell lot seg ikke gjøre (Bilde 4.64).



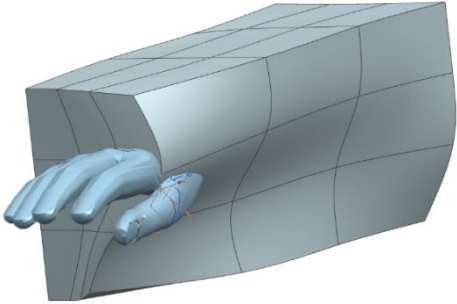
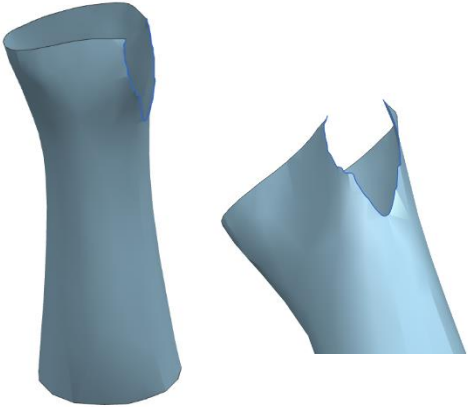
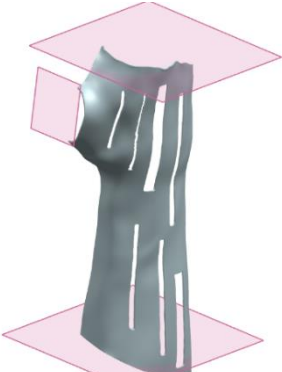
Figur 4.29: STL-fil av en hand, tidlig fase



Bilde 4.63: Eksempel på feilmelding

Definering av gipsområde

Definering av gipsområdet handlet om å utforske måter å fjerne unødvendig materiale fra hånda, deriblant tommel og fingre.

1. Konsept	Boks
<ul style="list-style-type: none"> - Ideen var å definere gipsområdet inne i boksen, og fjerne det som befant seg utenfor. - Konseptet ble raskt skrinlagt grunnet mye manuell tilpasning. 	
2. Konsept	Plan og sketch på modell
<ul style="list-style-type: none"> - Det ble brukt enkle plan til å definere der modellen skulle trimmes. I tillegg ble det utforsket på å definere tommelkuttet ved hjelp av direkte tegning på modellen. - Skrinlagt grunnet dårlig utforming av tommelpartiet. 	
3. Konsept	Plan
<ul style="list-style-type: none"> - Definert område kun ved bruk av plan. Her fikk vi frem den første digitale prototypen av en gips. 	

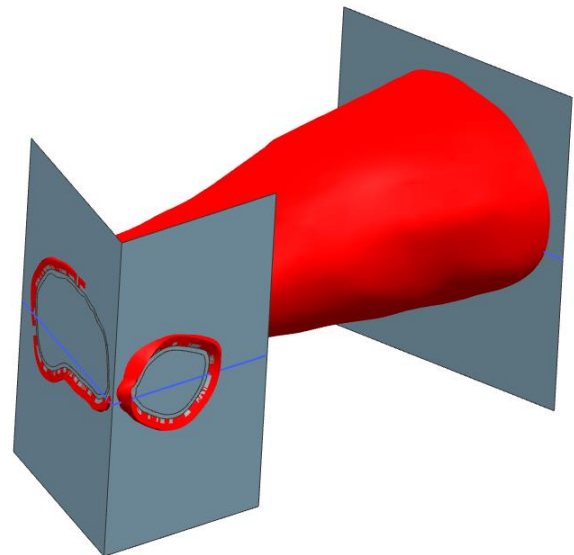
Tabell 4.8: Utvikling av konsept for mal.

4. Konsept

Under videomøtet med Digithread og Marius Slagsvold (Vedlegg 1.) ble det tipset om en måte å definere gipsområdet, som også ble konseptet som skulle brukes videre gjennom utviklingen til ferdig produkt. Konseptet var ikke veldig ulikt de øvrige, men baserte seg på plan tegnet generert ut av en sketch. Dette gjorde det mulig å bestemme dimensjoner som lengde og vinkler mellom planene, som igjen lot seg parametrisere/endres.



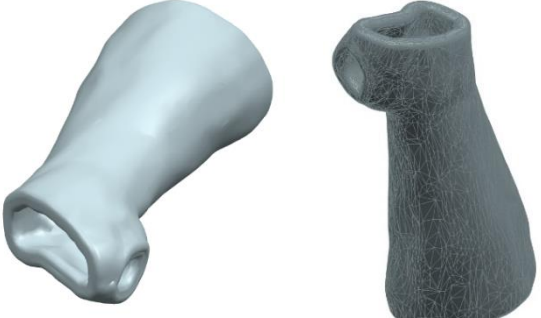
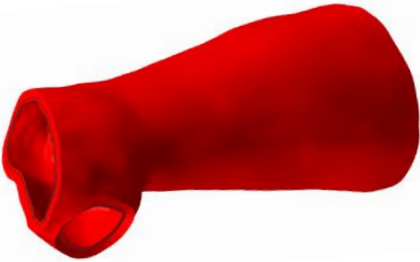
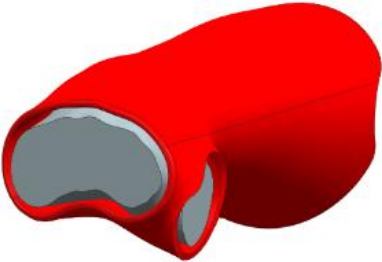
Figur 4.30: Endelig konsept på mal



Figur 4.31: Endelig konsept av mal, med utkapp av gipsen

Mellomfasen – Gipsgenerering

Med en metode for å definere gipsområdet klart, gikk neste fase ut på genereringen av gipsen og metoder for å splitte den. I denne fasen 3D-printes også den første prototypen av en gips i to deler. De første forsøkene på å frembringe gipsen foregikk inne i «Polygon Modeling».

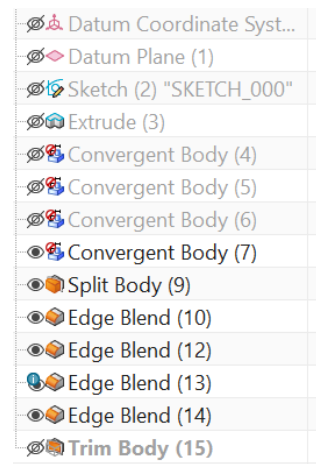
<p>I denne tidlige versjonen er funksjonen «Local offset» blitt brukt. Resultatet ble at overflaten flyttet seg både utover og innover mot hånden, noe som var lite gunstig.</p>	
<p>Her ble to kopier av originalhånden laget og forstørret ved bruk av «Local Offset». En kopi med de ytre- og en med de indre dimensjonene av gipsen. Den indre kopien ble subtrahert fra den store, hvor resultatet ble en mer vellykket gipsform.</p>	
<p>Det neste steget var å gjøre gipsen mer jevn og glatt i forhold til hånden. De to kopiene som definerte gipsen ble derfor jevnet ut med «Adjust Min. Radius» funksjonen. I tillegg ble gipsen delt på midten, for å gjøre det mulig å ta den av og på.</p>	
<p>Dette er modellen av den første prototypen som ble 3D-printet. Her er planet der gipsen deles også flyttet for å ikke krysse hullet til tommelen.</p>	

Tabell 4.9: Utvikling av gipsgenerering

Slutfase – Ferdigstille Gips

I slutfasen ble oppmerksomheten rettet mot hvordan et sluttprodukt skulle se ut. På dette tidspunktet så man seg tilbake for en vurdering av resultatet til nå. Man så at problemet med «Polygon Modeling» var måten funksjonene man brukte ble lagt inn modelleringshistorien i NX. Disse funksjonene ble ikke lagt inn som egne funksjonssteg i NX, slik at man kunne gå tilbake og endre parameterne. Dette ble et problem med tanke på automatikken vi ønsket å få til ved gipsgenereringen.

Modell-historien til gipsen man hadde på dette tidspunktet så ut som på bildet 4.65. Her ser man at den importerte hånda ligger under navnet «Convergent Body», og at det er ingen tegn til at man har brukt «Smooth Facet Body», «Adjust Minimum Radius» eller «Offset Local». Disse funksjonene opptrer som de tre andre «Convergent Body»-ene. Dette var et problem som måtte fikses, for måten gipsen var generert på til nå var lagt ifra automatisk, men bestående av manuell påvirkning.



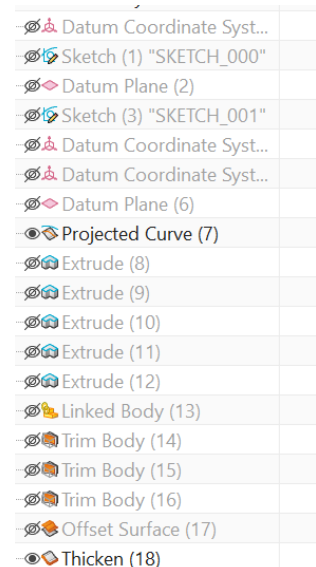
Bilde 4.64: Modellhistorikken før revurdering

Revurdering

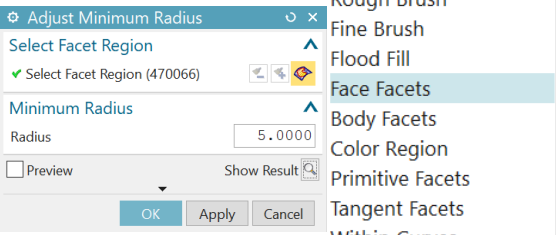
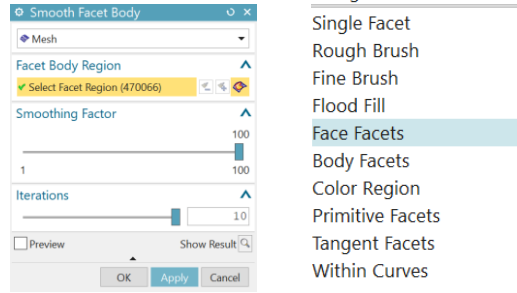




I slutfasen tok man et steg tilbake for å se på andre måter å fremstille gipsen. Det ble gjort for å få et resultat som krevde mindre påvirkning underveis.

En revurdering ble utført og det ble funnet en bedre måte å frembringe gipsen på. Ved å kombinere «Polygon Modelling» og NX-funksjonene for B-Rep-data, fikk man integrert den importerte modellen tilslutt til å bringe frem en gips.

Løsningen var å droppe mesteparten av den manuelle forbedringen av den importerte armen. «Polygon modeling» ble kun brukt til å jevne ut overflaten til armen, og resten fremstilt ved enkle NX-funksjoner som legges i modell-historien. I stedet for å gå inn og jevne ut de mest åpenbare krummingene i armen som var gjort tidligere, valgte man heller å jevne ut hele armen samtidig.



Bilde 4.65: Modellhistorien etter revurdering

Adjust Minimum Radius	Smooth Facet Body
<p>1.</p> 	<p>1.</p> 
<p>2.</p> 	<p>2.</p> 
<p>3.</p> 	<p>3.</p> 
<p>Forklaring</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ved å bruke «Face Facet» som markør-alternativ kunne man manipulere hele hånda med et tastetrykk. 2. Resultatet ble en jevn glatt overflate 3. Sammenligner man resultatet (oransje) med originalhånda (grått), ser man at «Smooth Facet Body» har en bedre tilnærming enn «Adjust Minimum Radius», og er dermed det beste alternativet. 	

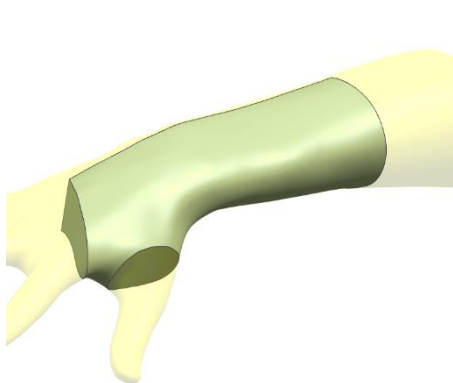
Tabell 4.10: Sammenligning av utjevning

Med direkte manipuleringen av den importerte modellen ferdig, ble den integrert inn i gipsmalen hvor de unødvendige delene ble fjernet.

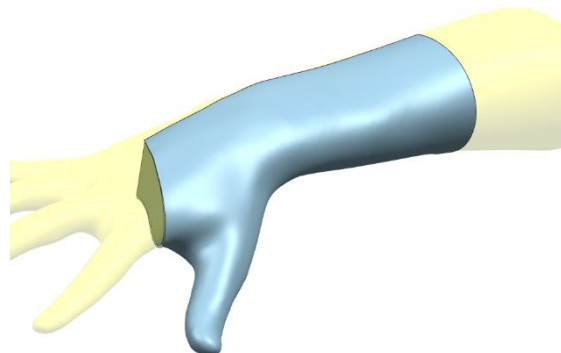
Legg merke til at man på dette stadiet hadde lagt fra seg ideen om å fremstille gipsen i to deler, og fulgt eksempelet fra tidligere bachelor, ved å dele hånda også langs midten for å få en sammenhengende del (Se Kap. 2.3.2). Dette ble bestemt fordi man så utfordringene ved å modellere opp ekstra komponenter til sammenføyingen, og få de til å samarbeide med resten av gipsen.

Videre ble gipsen fremstilt ut ifra den integrerte handa (figur 4.32) med funksjonene «Offset surface» (figur 4.33) og «Thicken». Man koblet disse funksjonene opp mot hånda slik at hvis man ville bytte ut hånde med en annen, ville fortsatt gipsen fremstilles.

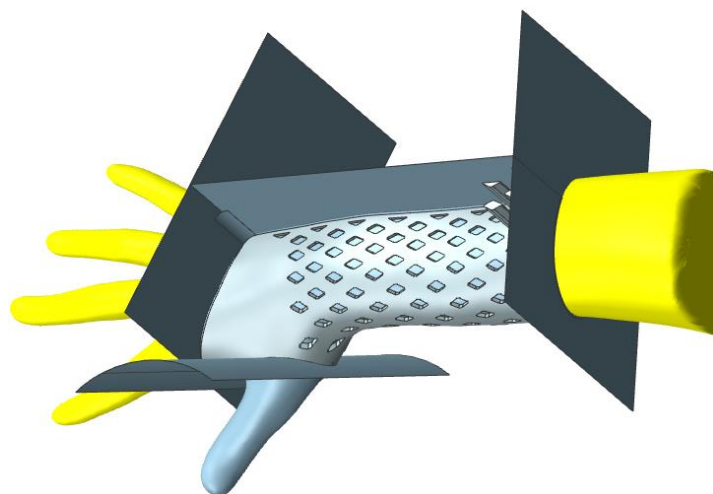
Man kom tilslutt frem til det som skulle bli det ferdige produktet. En NX-fil som kunne fremstille en gips ut ifra en vilkårlig hånd ved hjelp av få tastetrykk. Til slutt ble det også lagt til et mønster som følger gipsen og fjerner materiale for raskere print, samt gir økt lufting.



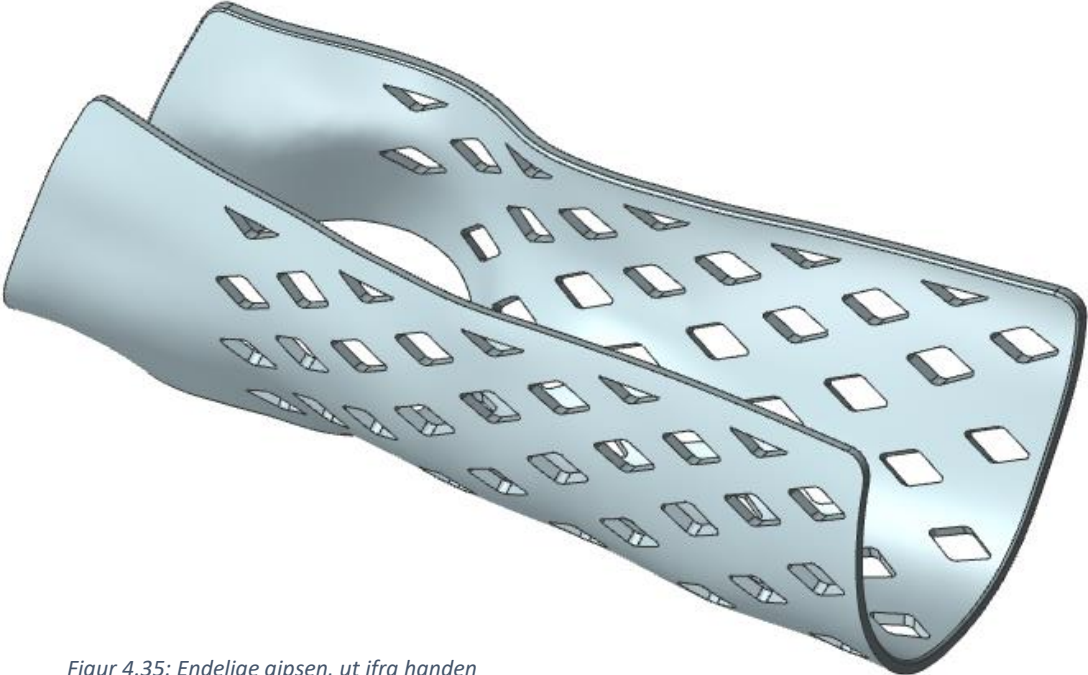
Figur 4.32: Integrerte handa



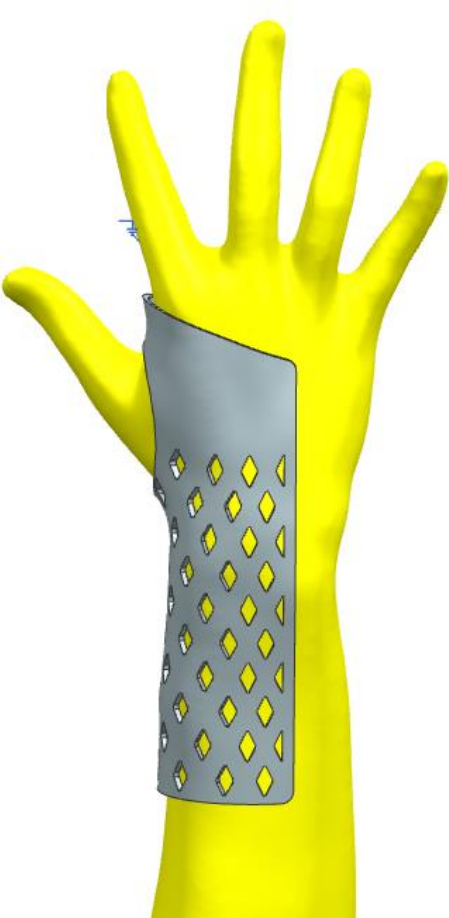
Figur 4.33: Funksjonen "offset surface"



Figur 4.34: Malen i sin helhet i NX



Figur 4.35: Endelige gipsen, ut ifra handen



Figur 4.36: Endelige gipsen, ovenfra



Figur 4.37: Endelige gipsen, underfra

4.3.3 Printing av gips

Ved å printe ut gipsskinner underveis i utviklingen fikk man sammenlignet teori med praksis. I tillegg fikk man testet ut ulike metoder for å printe gipsen, for å gi det beste resultatet.

Forsøk 1 – Tidlig Prototyp

- Den første printen ble laget for å få et overblikk på hvordan det man hadde på dette tidspunktet så ut.
- Gipsen og hånden ble printet ut i 50% av original størrelse for å spare tid og materiale, i og med at dette bare var en visuell prototype.



Bilde 4.66: Første printet gips, underdel



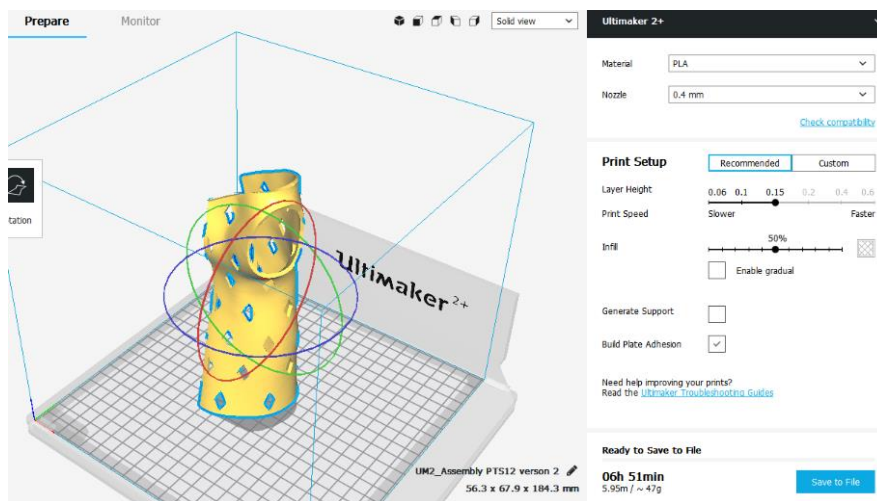
Bilde 4.67: Første printet gips, hele delen

Forsøk 2 - Stående

Den andre versjonen ble printet ut stående, med tommel og fingre øverst. Håndmodellen som gipsen bygget på var fortsatt lånt fra internett, men passet greit på hånda til de på gruppa. Her ønsket man å utforske i hovedsak utforming og komfort.

Vurdering	
Positivt	Negativt
<ul style="list-style-type: none"> - Klarte mønsteret umerket. - Ga tommelen godt med rom. - God styrke - Liten og lett 	<ul style="list-style-type: none"> - Skjæret i hjørnene - Ujevnheter i tommel - Printetid

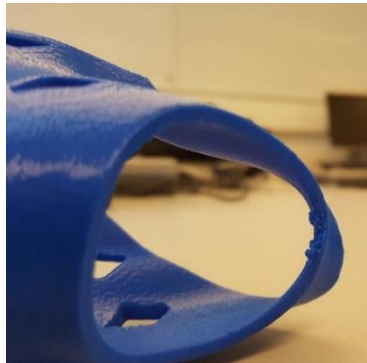
Tabell 4.11: Vurdering av forsøk 2, gips



Bilde 4.68: Skjerm bilde av Cura, forsøk 2



Bilde 4.69: Skarpe hjørner



Bilde 4.70: Ujevnheter i tommel



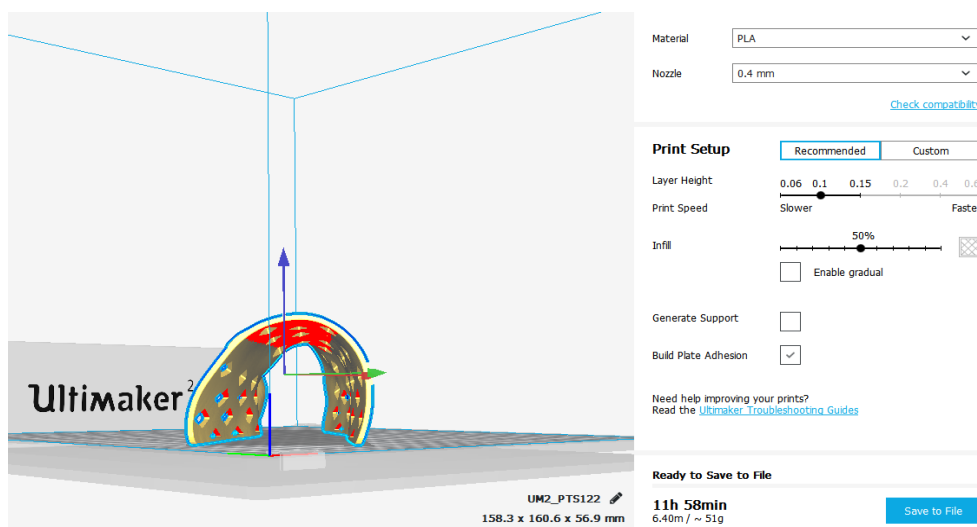
Bilde 4.71: Test av gips

Forsøk 3 - Liggende

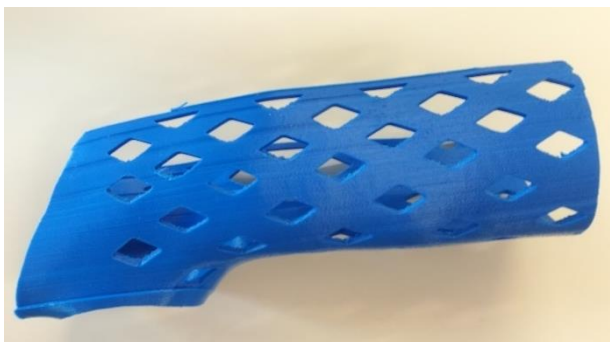
Til forsøk 3 ble de skarpe hjørnene i gipsen fjernet og antall mønster-hull økt. I tillegg prøvde man å printe gipsen fra en «liggende» posisjon, for å se om det ville utgjøre en forbedring med tanke på tommelpartiet. Kvaliteten ble også økt, for å teste ut dette.

Vurdering	
Positivt	Negativt
<ul style="list-style-type: none"> - Skjæring i hjørner løst. 	<ul style="list-style-type: none"> - Som forventet ble printen dårlig, grunnet mye overheng i både gipsbuen og mønstrene. - I tillegg anslåes det at printen flyttet på seg underveis, og ble dermed delvis ødelagt.

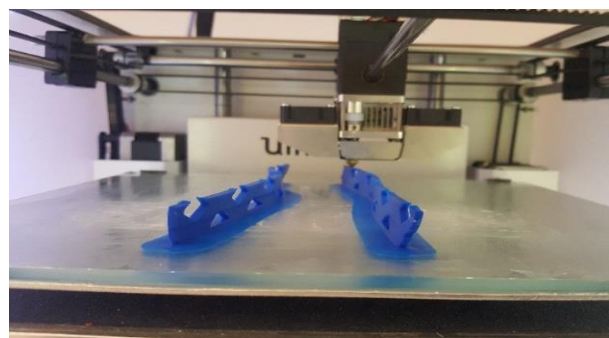
Tabell 4.12: Vurdering av forsøk 3, gips



Bilde 4.73: Skjerm bilde av Cura, forsøk 3



Bilde 4.72: Resultat av forsøk 3



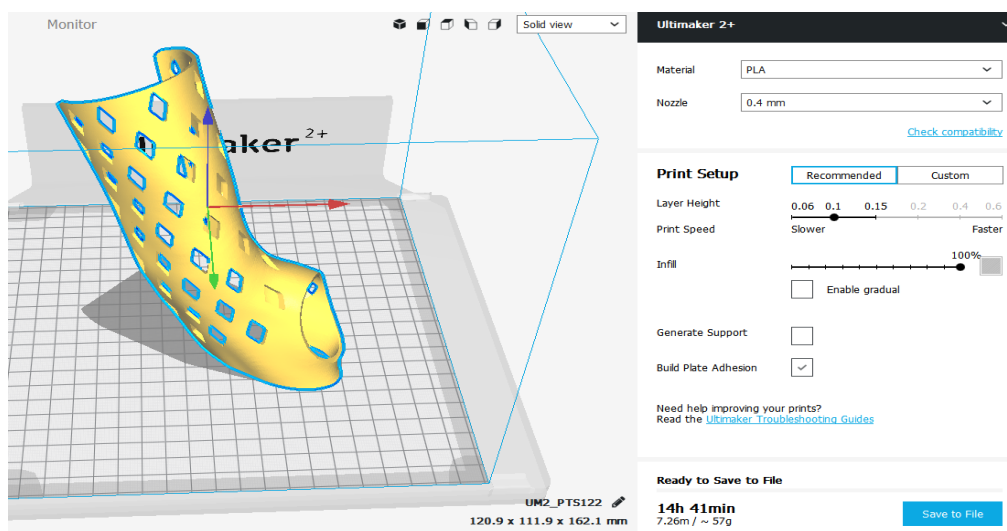
Bilde 4.74: Printing av forsøk 3

Forsøk 4 – Opp Ned

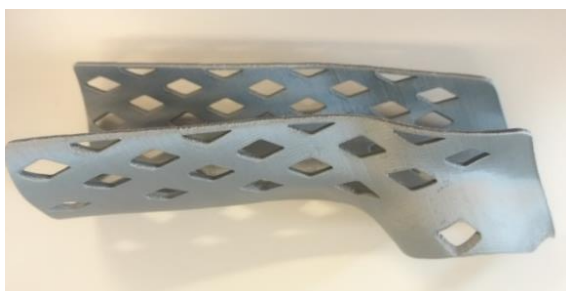
Siste forsøk var å se om det gikk å printe gipsen opp-ned. Altså fra knokepartiet og oppover. Tanken bak dette var å prøve å fjerne ujevnhetene i øvre del av tommelhullet, som skapte store irritasjoner på huden.

Vurdering	
Positivt	Negativt
<ul style="list-style-type: none"> - Skapte en jevn overflate i tommelhullet, som økte komforten drastisk. - Klarte mønsteret utmerket - Behagelig å ha på 	<ul style="list-style-type: none"> - Printertid

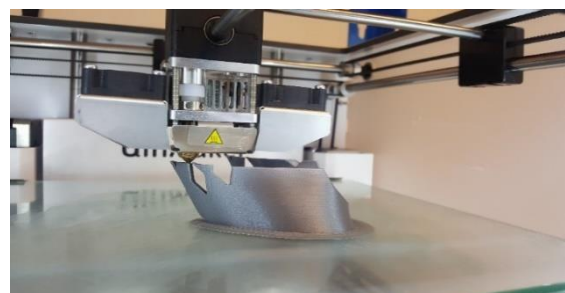
Tabell 4.13: Vurdering av forsøk 4, gips



Bilde 4.75: Skjembilde av Cura, forsøk 4



Bilde 4.76: Resultat av forsøk 4



Bilde 4.77: Printing av forsøk 4

5 Resultat

I denne delen blir resultatet av arbeidet som ble gjort presentert og diskutert. Kapitlet inneholder resultat for 3D-skanneren, 3D-modelleringen av gipsskinnen og 3D-printer. Her blir det forklart funksjon, sammensetning, tid og kostnader, arbeidsflyten og muligheten for virtuell framvisning av konseptet.

5.1 3D-skanner

Her vil det bli gått gjennom 3D-skanneren. Sammensetningen, kvaliteten, tid og kostnader for å bygge denne.

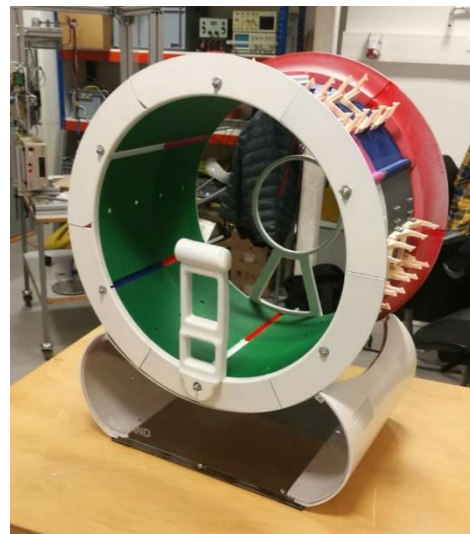
5.1.1 Skannemaskinen

Gjennom modelleringsprosessen ble delene som var klar printet på alle de tilgjengelige maskinene ved NTNU Ålesund kontinuerlig. 3D-printingen var veldig tidkrevende og krevde en del material som vil gå dypere inn på senere i kapitlet.

Etter 3D-Printingen og lakkeringen var det montering av maskinen og kobling som gjenstod. Hele maskinen illustrert i Siemens NX viser på figur 5.1, og ferdig 3D-printet og sammensatt på bilde 5.1.

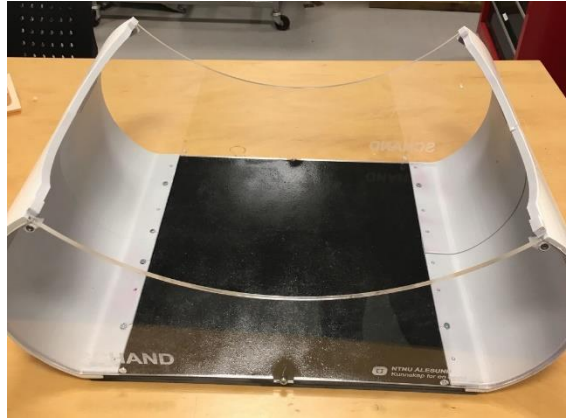


Figur 5.1: Scannemaskinen i NX



Bilde 5.1: Scannemaskinen ferdig montert

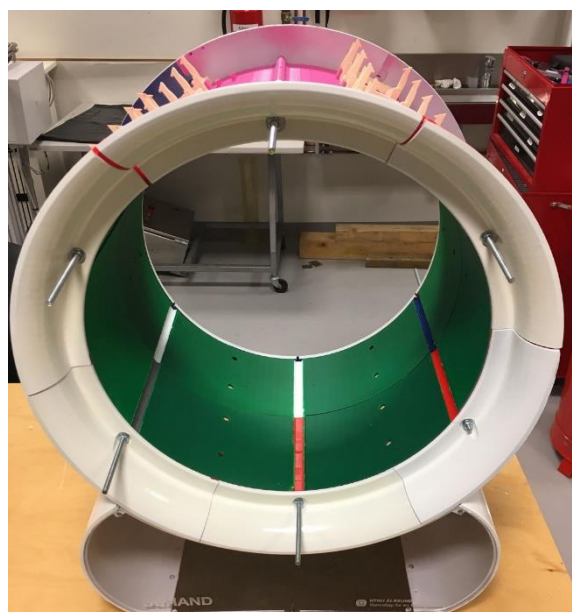
Det har blitt sett bort ifra å lage dekselet fysisk, da det har blitt fokusert å ha en fungerende prototype. Koblingen av maskinen, utført av automasjon, har måttet bli gjort i siste del av prosjektperioden da enkelte deler til maskinen ikke ble levert før sent i semesteret, som gjorde at det var minimalt med tid til å montere dekselet. Men konseptet er der, og det vil være nok å 3D-printe ut delene, laserkutte plexiglasset, og montere dette sammen ved senere tidspunkt. Fremre del av dekselet har blitt printet ut og testet, og er identisk den i bakkant.



Bilde 5.2: Bunn til maskinen



Bilde 5.3: Ring for maskinen



Bilde 5.4: Bunn og ring sammensatt

5.1.2 Montering

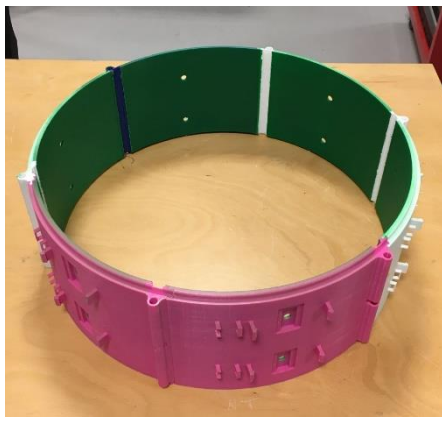
Etter lakkering skjer monteringen av maskinen på følgende måte.

Kameraring

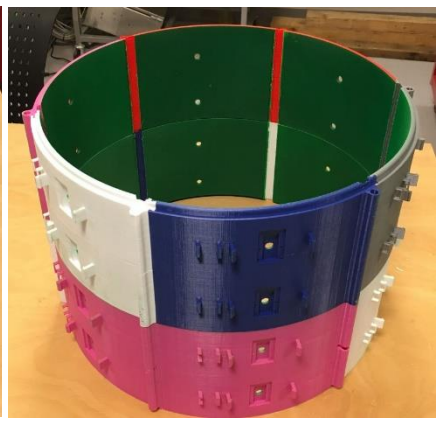
1. Tar først to ringmoduler og glider i sporet på hverandre.
2. Dette gjøres med alle 12 modulene, i to ringer.
3. Setter deretter de ringene opp på hverandre.



Bilde 5.5: Sporfeste



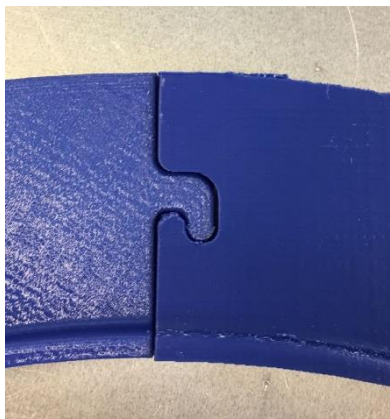
Bilde 5.6: Halve ringen montert



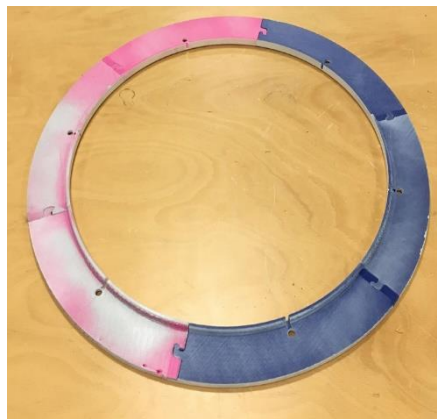
Bilde 5.7: Hele ringen montert

Bakre flens

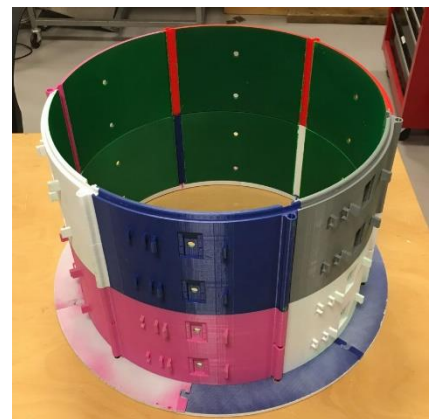
1. Kobler to flensmoduler sammen i koblingen.
2. Dette gjøres med alle 6 modulene.
3. Fester denne i bunnen av ringen.



Bilde 5.8: Kobling



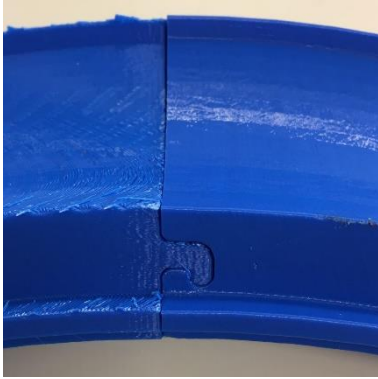
Bilde 5.9: Bakflensen montert



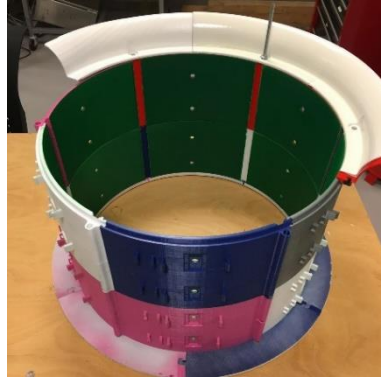
Bilde 5.10: Bakflensen montert på ring

Fremre flens

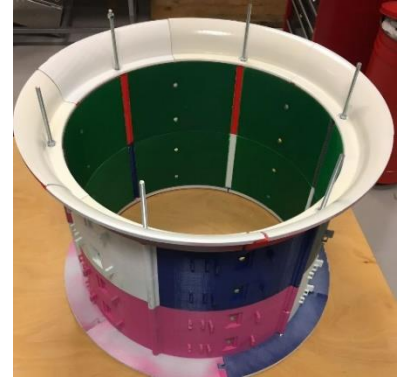
1. Kobler to flensmoduler sammen i koblingen.
2. Dette gjøres med 3 av modulene og bolter disse fast i ringen.
3. Fester så på de 3 siste og bolter fast de også.



Bilde 5.11: Kobling



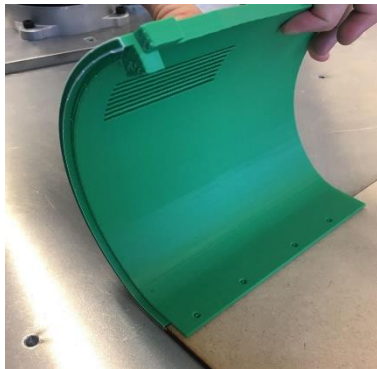
Bilde 5.12: Halve flens montert



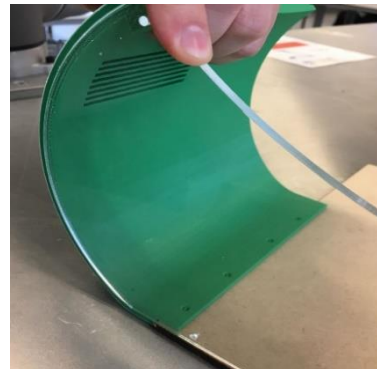
Bilde 5.13: Framflensen montert på ring

Fotstøtten

1. Fester en sidevegg i treplaten med treskruer ute ved kanten.
2. Gjør dette med de 3 siste også, disse skal ligge i samme spor.
3. Plexiglasset plasseres på fotstøtten og skrues i toppen av sideveggene og i bunnplaten.
4. Dette gjøres med baksiden også.



Bilde 5.14: Montering av sidevegg



Bilde 5.15: Montering av plexiglass



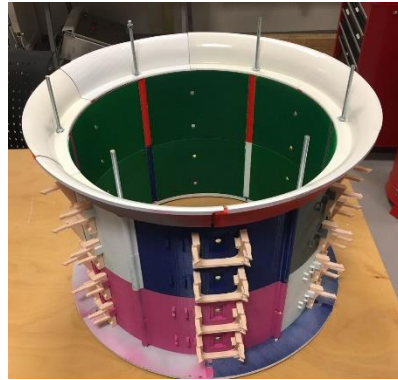
Bilde 5.16: Ferdig montert fotstøtte

Klipsfester, datakort og håndstøtte

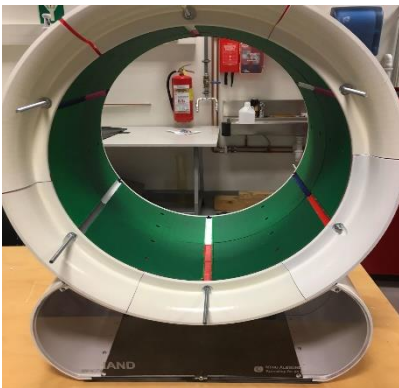
1. Legger Raspberry Pi i dekselet, 24stk.
2. Fester klipsfestene på ringen, 24stk.
3. Kobler på Raspberry på dekselholderene.
4. Setter ringen på fotstøtten.
5. Skru fast håndstøtte og ring på flensene.
6. Kobler opp maskinen og klar for skanning!



Bilde 5.17: Raspberry Pi i dekselet



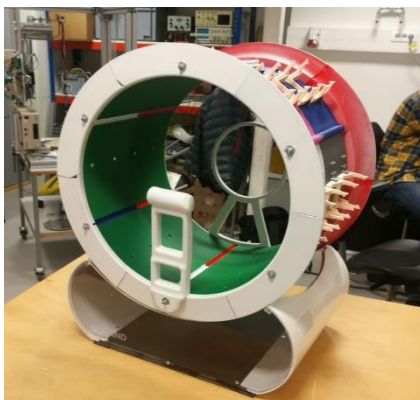
Bilde 5.18: Raspberry Pi-dekse-feste montert



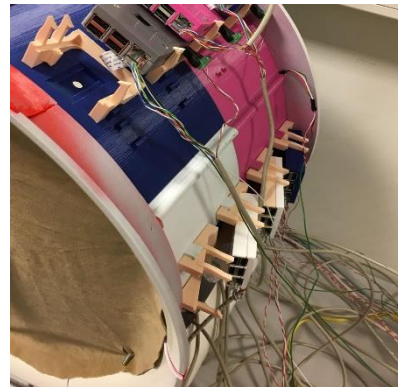
Bilde 5.20: Monterer ringen på fotstøtten



Bilde 5.19: Raspberry Pi i holderen



Bilde 5.21: Skrudd fast håndstøttene



Bilde 5.22: Kobler maskinen

5.1.3 Kvalitet

Når maskinen har blitt satt sammen og lakkert kan en se på kvaliteten på hele maskinen. En ting som en kan legge merke til er at maskinen inneholder mange deler, noe som kan gjøre den litt ustødig. Dette er en faktor som ble sett på og diskutert tidligere. Gjennom samtaler med Paul Steffen Kleppe har det blitt fremmet et ønske om å bruke en større 3D-printer som NTNU Ålesund har hatt tilgjengelig. Her ble det tenkt at større og færre deler kunne bli 3D-printet, noe som kunne ha økt kvaliteten på maskinen, men de ble klart at den 3D-printeren ikke hadde de egenskapene som var nødvendig.

Når flere deler som er 3D-printet med samme størrelse og mål kan det forekomme feil under 3D-printingen. Her tenker en på at delene både utvider og krymper sammen. Dette har ført til at på enkelte deler har en trangere pasning enn det som var modellert for, noe som en kan se på fremste flensen, der det har blitt en liten åpning grunna krymping av enkelte av flensmodulene.

Lakkeringen som ble gjort var vellykket og det gav en fin utseende på maskinen. Også på innsiden var gummilakken god kvalitet som også førte til at bildene som ble tatt på slutten var uten merkbar bakgrunnsstøy.

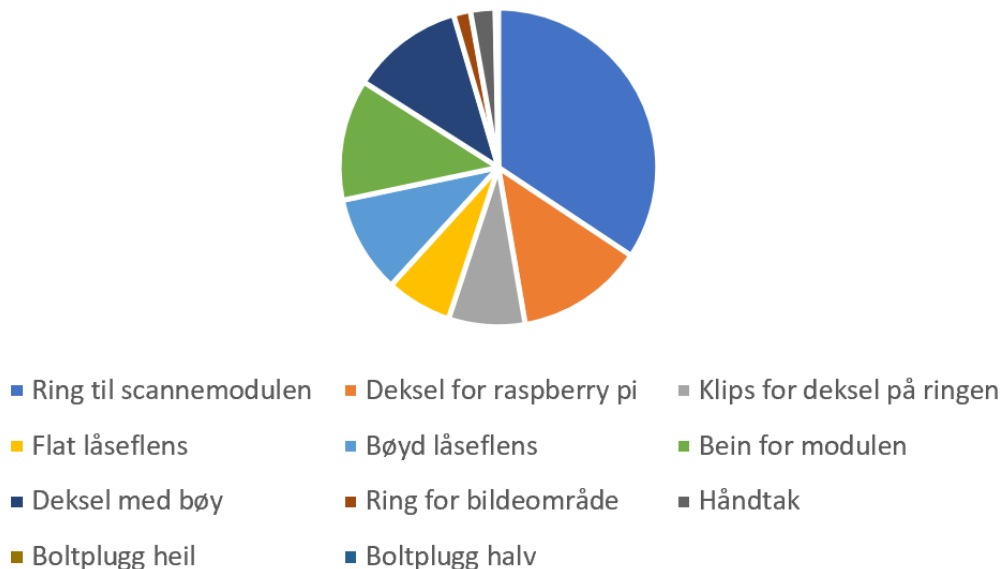
Om en ser på prisen for å bygge maskinen i forhold med kvaliteten er kvaliteten god. Hadde NTNU Ålesund hatt større og bedre printere kunne kvaliteten blitt bedre. Det kunne for eksempel blitt 3D-printet i et annet material. Men siden dette er i hovedsakelig ment som en fungerende prototype framfor et endelig produkt er kvaliteten god nok.

5.1.4 Tid og kostnader

Som nevnt tidligere i rapporten var 3D-printingen veldig tidkrevende. Ved å samle sammen data fra Cura har det blitt satt opp en tabell for å vise hvor mye tid som ble brukt på delene, og ikke minst mengde material, både til selve delen og til støttestrukturen. Tabeller og diagram går ut ifra at en Ultimaker 2+ med 0,4mm dyse og 20% fyll. Ved bruk av annen 3D-printer eller andre innstillinger kan tabellen få andre resultat.

Figur 5.2 viser fordelingen mellom printer-materialet på delene. Tabell 5.1 viser hvor stor mengde material hver del har, tiden det tar å 3D-printe en del, total mengde material og total tidsbruk. En ser her at ringen til skannemodulen trenger mest material og er den mest tidkrevende med totalt 1908 gram PLA, og over 225 printer-timer. Her må en forvente mer tid grunnet oppvarming og nedkjøling av bunnplaten i Ultimaker 2+, samt at dødtid kommer inn i bildet som for eksempel at 3D-printen er ferdig på natten som gjør at 3D-printeren står ubrukt noen timer. Dette gjelder alle deler.

Printematerial totalt



Figur 5.2: Diagram for fordelingen av printematerial

Komponent	Mengde material	Tid	Antall totalt	Material totalt	Tid totalt
Ring til scannemodulen	159 g	18 t 46 min	12 stk	1908 g	225 t 12 min
Deksel for raspberry pi	30 g	4 t 15 min	24 stk	720 g	102 t 0 min
Klips for deksel på ringen	18 g	2 t 32 min	24 stk	432 g	60 t 48 min
Flat låseflens	62 g	7 t 44 min	6 stk	372 g	46 t 24 min
Bøyd låseflens	92 g	11 t 43 min	6 stk	552 g	70 t 18 min
Bein for modulen	171 g	19 t 34 min	4 stk	684 g	78 t 17 min
Deksel med bøy	53 g	6 t 0 min	12 stk	636 g	72 t 0 min
Ring for bildeområde	96 g	10 t 48 min	1 stk	96 g	10 t 48 min
Håndtak	139 g	14 t 49 min	1 stk	139 g	14 t 49 min
Boltplugg heil	2 g	0 t 15 min	6 stk	12 g	1 t 30 min
Boltplugg halv	1 g	0 t 13 min	6 stk	6 g	1 t 18 min
TOTALT:				5557 g	683 t 25 min

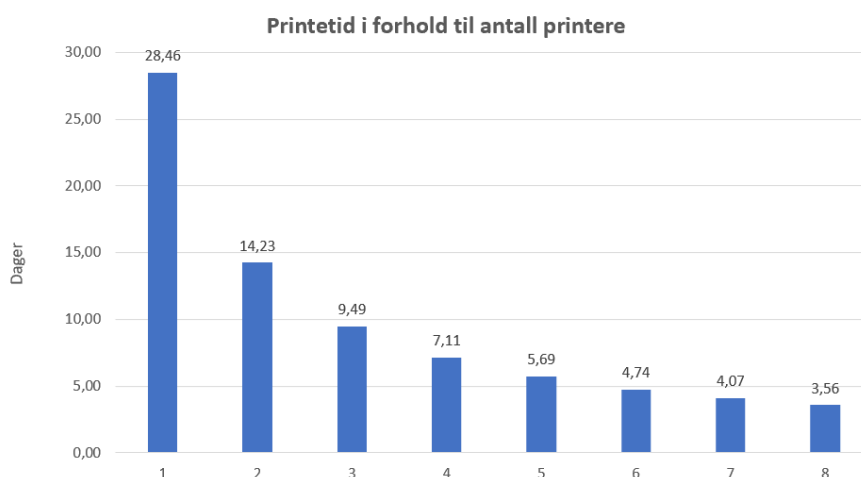
Tabell 5.1: Printematerial og tidsforbruk på 3D-printing av deler

En rull med PLA inneholder 750gram og koster 495kr (Dustin Norway AS, u.d.). Til sammen på 5557gram som maskinen trenger for å bygges krever det 8 ruller med PLA. Noe som vil si at å 3D-printe maskinen vil koste nesten 4000kr om en bruker Ultimaker 2+. (tabell 5.2)

Mengde	Pris
750 g	kr 495,00
Total mengde	Total pris
7,41 Ruller	kr 3 667,62
8 Ruller	kr 3 960,00

Tabell 5.2: Total sum på printing

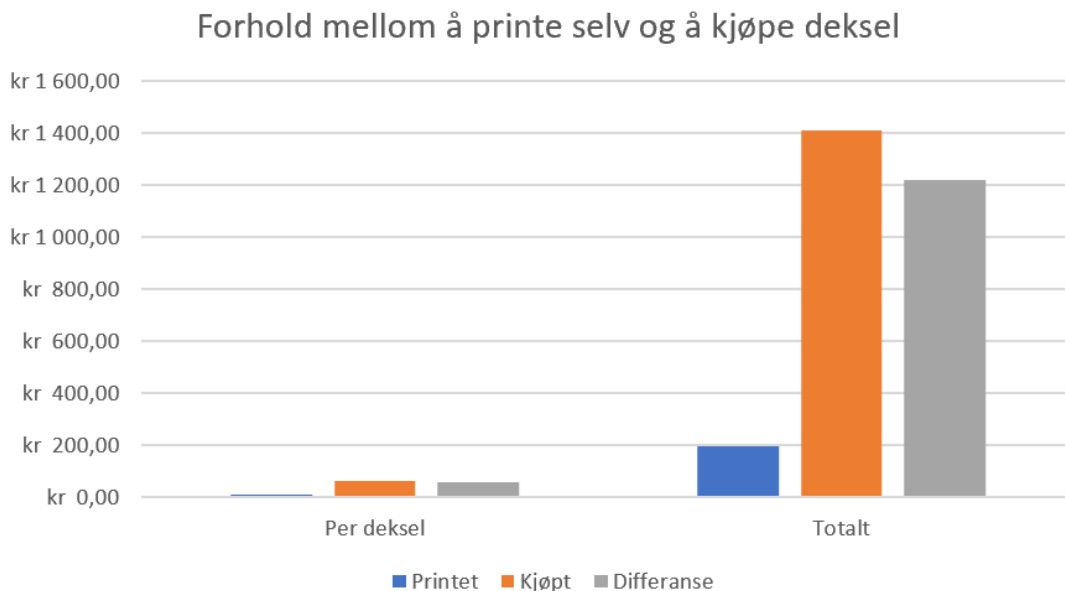
Det har sett på tiden det tar å 3D-printe maskinen i forhold til antall 3Dprintere som blir brukt. Figur 5.3 viser dette forholdet.



Figur 5.3: Diagram for forholdet mellom printetid til antall printere

Deksel for Raspberry Pi

Deksel for Raspberry Pi kan en kjøpe på nettet for underkant av 62kr (RS Components, 2019). Ved kjøp av 24 stykker vil summer være over 1400kr. Her har det blitt sett på fordelene å produsere disse selv med Ultimakerne NTNU Ålesund har tilgjengelig. Figur 5.4 viser differansen mellom å kjøpe og produsere selv. Her ser en at en sparer over 1200kr på å produsere selv. Men som det viser på tabell 5.3 vil det ta lenger tid å produsere enn å bestille. Her tenker en at det tar 3 dager for frakt etter bestilling, mens å 3D-printe dekslene vil ta 30 timer lenger, dette med bruk av bare en printer. Siden dette først og fremst er en prototype har vi valgt å spare disse summene ved å 3D-printe selv.



Figur 5.4: Diagram for forhold mellom å printe selv og å kjøpe deksel

	Printet	Kjøpt	Differanse
Per deksel	kr 8,00	kr 61,70	kr 53,70
Totalt	kr 192,00	kr 1 408,80	kr 1 216,80
Frakt	kr 0,00	kr 0,00	kr 0,00
Leveransetid (t)	102	72	30

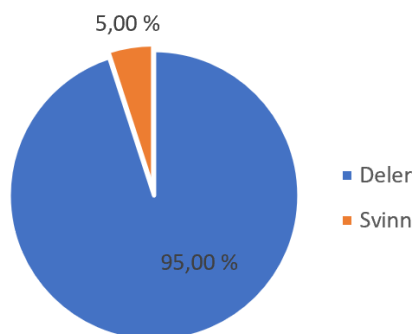
Tabell 5.3: Forhold mellom printet og kjøpt deksel

Svinn

Alt materialet som blir 3D-printet blir ikke nødvendigvis brukt. Noen av delene trenger mer støttestruktur enn andre. Her har der blir tenkt å bruke minimalt med støttestruktur, da med designprosessen som har blitt nevnt, og måten delene har blitt 3D-printet. Ved figur 5.5 kan en se hvor stor andel av alt materialet som blir brukt, enten til selve delene eller som støttestruktur, altså svinn. Figur 5.6 viser andelen av total tidsbruk, enten til 3D-printing av delen, eller 3D-printing av støttestruktur og som forflytting av 3D-printer-dysen. Tabell 5.4 viser mer detaljert svinn for hver del.

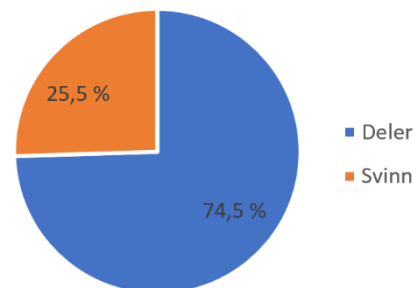
Som en ser har det vært minimalt med svinn på materialforbruk, som er noe en kan kontrollere og korrigere selv. Mens svinn ved forflytting 3D-printer-dysen er noe vi ikke kan kontrollere, ettersom Ultimaker blir programmert ut ifra Cura automatisk når en legger inn delen i programmet. En kan eksperimentere med travel speed, men for å sikre et godt resultat har det blitt brukt anbefalte innstillinger.

Materialbruk for printing av deler



Figur 5.5: Diagram for materialforbruk

Tidsbruk for printing av deler



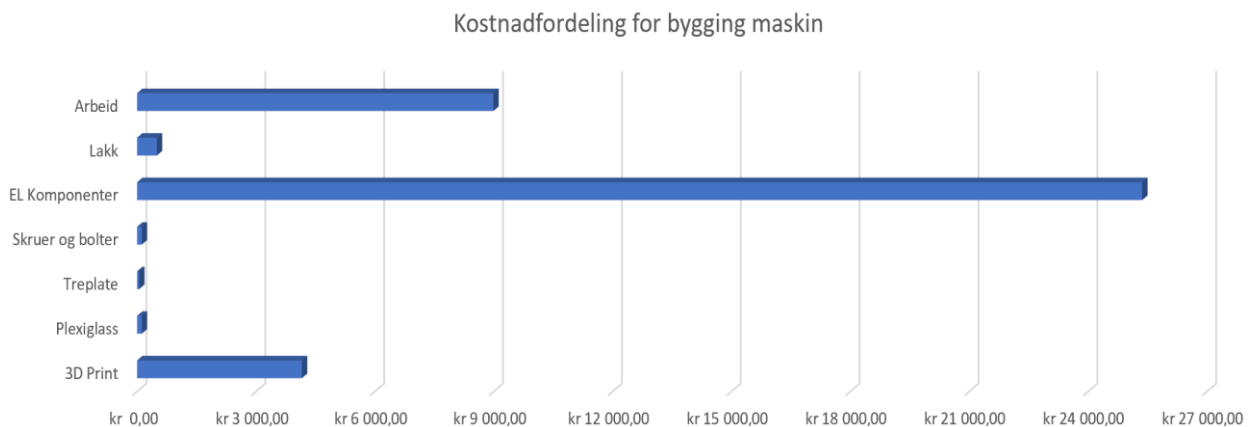
Figur 5.6: Diagram for tidsbruk

Komponent	Mengde material	Tid	Travel time	Antall totalt	Material totalt	Tid totalt
Ring til scannemodulen	5 %	0 t 59 min	3 t 26 min	12 stk	95,4 g	53 t 0 min
Deksel for raspberry pi	1 %	0 t 1 min	0 t 41 min	24 stk	36 g	16 t 36 min
Klips for deksel på ringen	28 %	0 t 48 min	0 t 14 min	24 stk	21,6 g	24 t 48 min
Flat låseflens	27 %	2 t 6 min	0 t 54 min	6 stk	18,6 g	18 t 0 min
Bøyd låseflens	31 %	3 t 36 min	1 t 21 min	6 stk	27,6 g	29 t 42 min
Bein for modulen	3 %	0 t 37 min	2 t 24 min	4 stk	34,2 g	12 t 4 min
Deksel med bøy	5 %	0 t 17 min	0 t 55 min	12 stk	31,8 g	14 t 24 min
Ring for scanneområde	19 %	2 t 43 min	0 t 52 min	1 stk	4,8 g	3 t 35 min
Håndtak	26 %	3 t 52 min	0 t 56 min	1 stk	6,95 g	1 t 48 min
Boltplugg heil	12 %	0 t 1 min	0 t 1 min	6 stk	0,6 g	0 t 12 min
Boltplugg halv	9 %	0 t 1 min	0 t 0 min	6 stk	0,3 g	0 t 6 min
TOTAL svinn:					277,85 g	174 t 15 min

Tabell 5.4: Svinn av material og tid ved 3D-printing av delene

5.1.5 Pris på maskinen

Pris er viktig for sykehuset og skal maskinen bli solgt må den ha en god pris. Det har blitt sett på hvor mye skannemaskinen ville ha kostet med alle delene og jobben som ble gjort. Figur 5.7 viser fordelingen av kostnadene på å bygge maskinen. Tabell 5.5 til 5.9 viser mer detaljert hvilke deler som ble brukt og hva prisen var. Tabell 5.10 viser arbeidet som ble gjort, tiden det tok, og hvor mye en arbeider som gjør denne jobben får betalt i timen (Arbeidstilsynet, 2018). Her er det tenkt at det tar til sammen litt over 10 timer å sette på og ta ut 3D-printen. Men det som øker prisen kraftig på maskinen er de elektriske komponentene, selv om dette er de billigste delene på markedet. Siden dette er en fungerende prototype og ser at prisen på den er nesten 40 000kr, kan en tenke seg at en endelig maskin vil koste en del mer.



Figur 5.7: Diagram for kostnadsfordeling av maskinen

Plexiglass			
Typen	Pris	Antall	Total pris
Clear Acrylic Sheet 2mm	kr 120,00	1 stk	kr 120,00
Clear Acrylic Sheet 4mm	kr 160,00	1 stk	kr 160,00

Tabell 5.5: Pris plexiglass

Treplate			
Typen	Pris	Antall	Total pris
4mm	kr 27,00	2 stk	kr 54,00

Tabell 5.6: Pris treplate

Skruer/Bolter			
Typen	Pris	Antall	Total pris
Treskruer 10pk 3,5x9,5mm	kr 15,00	3 stk	kr 45,00
Gjengestang M6x1m	kr 25,00	3 stk	kr 75,00

Tabell 5.7: Pris bolter og skruer

Elkomponenter			
Type	Pris stk	Antall	Total pris
Raspberry Pi 3B+	kr 356,00	24 stk	kr 8 544,00
Kamera	kr 297,00	24 stk	kr 7 128,00
Lexar 16GB MicroSD	kr 141,00	24 stk	kr 3 384,00
CAT5 Kabel, 304m	kr 3 569,00	0,2 stk	kr 713,80
RJ 45 Connector	kr 2,00	48 stk	kr 96,00
Micro usb kontakt	kr 73,00	24 stk	kr 1 752,00
Powersupply	kr 1 198,00	1 stk	kr 1 198,00
Newlink switch	kr 860,00	1 stk	kr 860,00
RGB LED strip	kr 282,00	6 stk	kr 1 692,00

Tabell 5.8: Pris elkomponenter

Lakk			
Type	Pris stk	Antall	Total pris
Hobbylakk 400ml Hvit	kr 60,00	2 stk	kr 120,00
Gummilakk 400ml Grønn	kr 150,00	2 stk	kr 300,00
Klarlakk	kr 80,00	1 stk	kr 80,00
Plastprimer	kr 90,00	1 stk	kr 90,00

Tabell 5.9: Pris lakk

Arbeid				
Type	Tid (t)	Erfaring	Timelønn	Totalt
Printing av deler	10,2	Nei	kr 175,00	kr 1 785,00
Lakkering	5	Nei	kr 175,00	kr 875,00
Montering av deler	2	Nei	kr 175,00	kr 350,00
Oppkobling av elektronikk	5	Ja	kr 184,00	kr 920,00
Programering	24	Ja	kr 211,00	kr 5 064,00

Tabell 5.10: Pris arbeid

Skannemaskin	
TYPE	PRIS
3D Print	kr 3 960,00
Plexiglass	kr 120,00
Treplate	kr 54,00
Skruer og bolter	kr 120,00
EL Komponenter	kr 25 367,80
Lakk	kr 500,00
Arbeid	kr 8 994,00
Total kostnad	kr 39 115,80

Tabell 5.11: Pris for skannemaskin

5.2 Gips

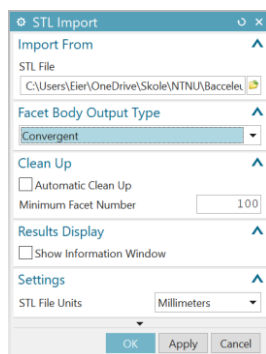
Resultatet for gipsen ble en «Assembly»-fil i NX som kan frembringe en gipsskinne ut fra en vilkårlig 3D-modell av en hånd. Med en tilhørende PTS-meny, kan man bestemme gipsens dimensjoner.

5.2.1 Prosess fra utført 3D-skann til ferdig gipsskinne

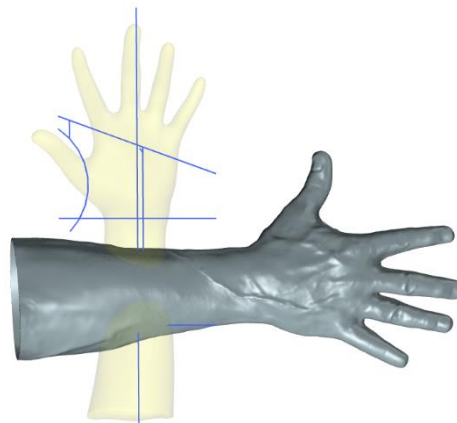
Proessen blir vist med en eksempel-modell av en hånd, lastet ned fra internett (Stubbs, 2019).

Plassering og klargjøring

1. **Åpne** «Gipsgenerator Assembly» i NX12, eller nyere.
2. **Importer** STL-filen av den 3D-skannede hånden med «Facet Body Output Type» satt til «Convergent».

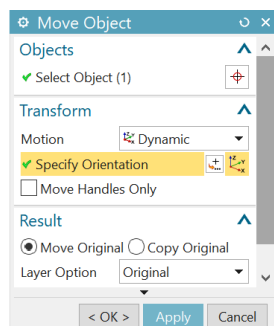


Bilde 5.23: STL-Import

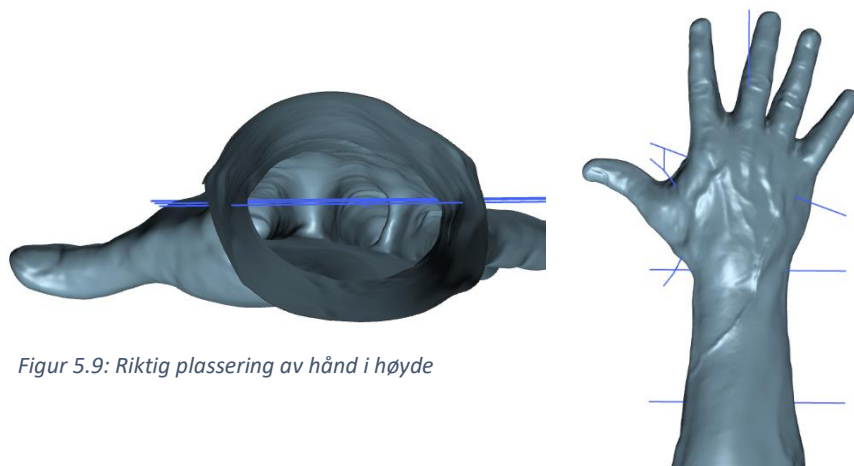


Figur 5.8: STL-fil importert

3. **Posisjoner** hånden med «Move Object» langs med den blå senterlinjen, og med ønsket avstand fra starten på gipsen (skrå-linjen) til knokene, slik den gule hånden viser.



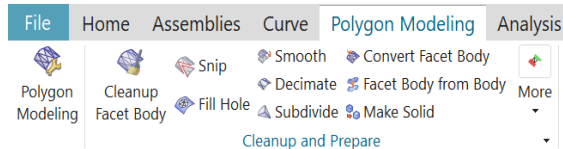
Bilde 5.24: Move object



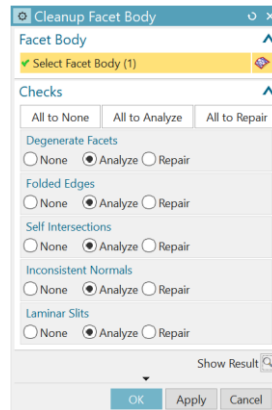
Figur 5.9: Riktig plassering av hånd i høyde

Figur 5.10: Riktig plassering av hånd i område

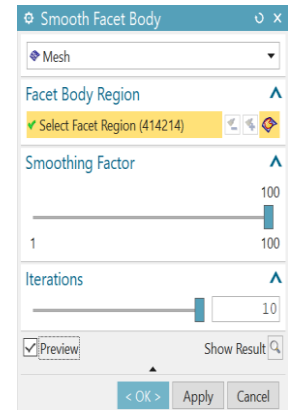
4. **Utbedre** hånda med funksjoner som «Snip» og «Fill Hole» inne i «Polygon Modeling». Sjekk håndens tilstand med «Cleanup Facet Body». Glatt ut hele hånden til slutt med «Smooth Facet Body».



Bilde 5.27: "Polygon Modeling"-fanen

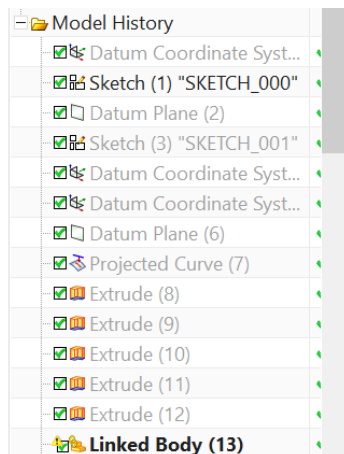


Bilde 5.26: Cleanup facet body

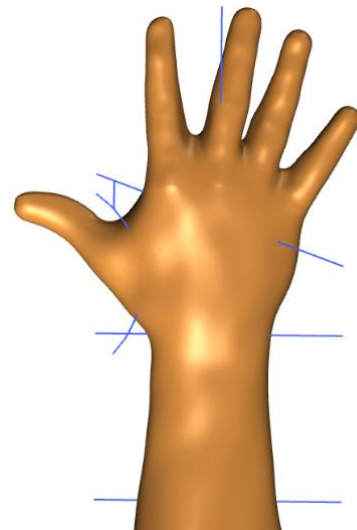
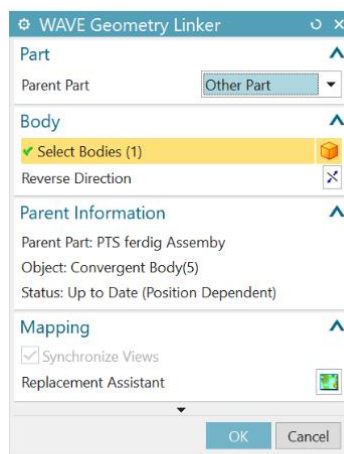


Bilde 5.25: Smooth facet body

5. **Koble sammen** hånden til gipsgenereringen. Gå inn på «Linked Body», som er den «kroppen» gipsgenereringen bygger på, i «Model History», og marker hånda.



Bilde 5.28: Linked Body i Model history

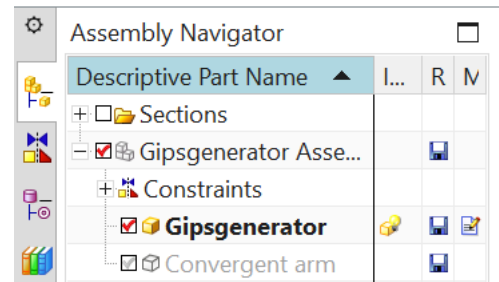


Bilde 5.29: WAVE Geometry Linker med valgt hånd

Gipsskinne-generator

I NX åpnes menyen for gipsgeneratoren ved å gå inn på den gule boksen, inne på «Assembly Navigator».

(Bilde 5.30)



Bilde 5.30: Assembly Navigator

1. Plassering

Med hånden plassert i malen er første steg i menyen og bestemme dimensjonene på gipsen i forhold til hånden.

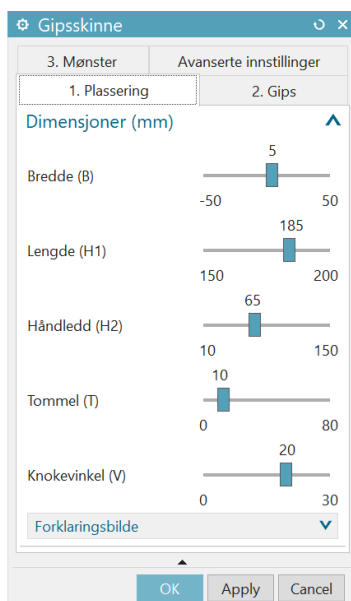
Bredde: Bestemmer gipsens bredde ut fra senterlinjen.

Lengde: Bestemmer gipsens lengde nedover armen.

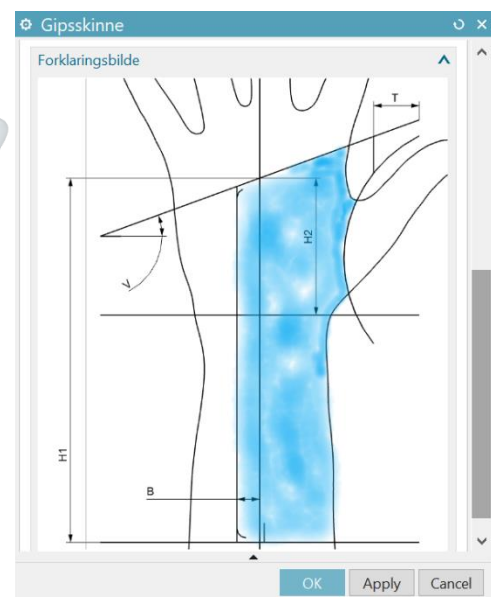
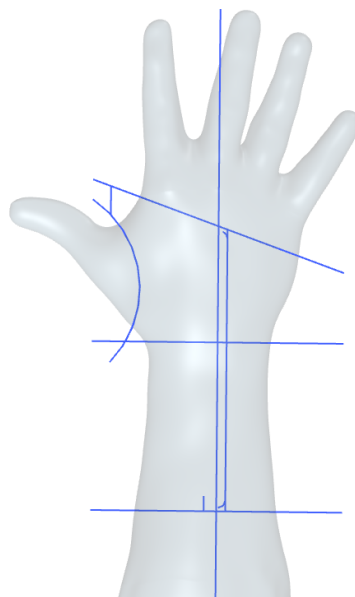
Håndledd: Flytter den midterste horisontale linjen, og skal krysse håndleddet.

Tommel: Bestemmer hvor på hånden tommelhullet er.

Knokevinkel: Bestemmer vinkel på gipsen ved knokene.



Bilde 5.31: Gipsskinne-meny for plassering



Bilde 5.32: Forklaringsbilde, plassering

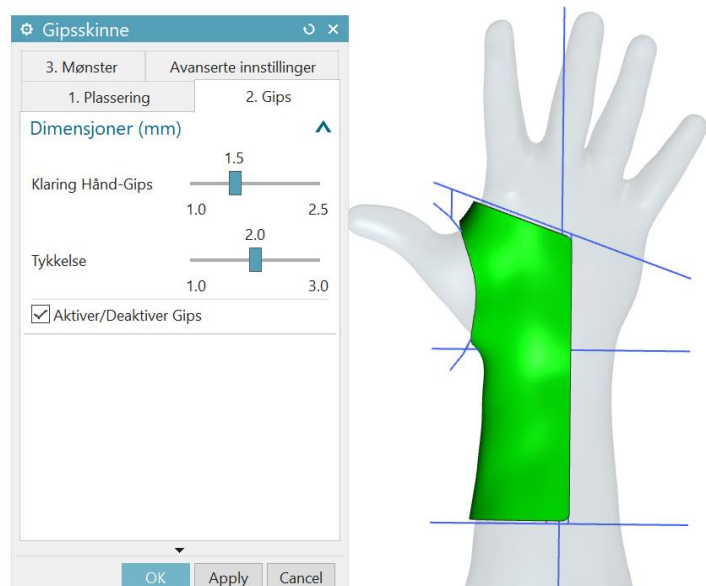
2. Gips

Andre steg i menyen er å bestemme dimensjonene på selve gipsen, og aktivere den.

Klaring Hånd-Gips: Bestemmer klaringen fra hånda til gipsen.

Tykkelse: Bestemmer gipsens tykkelse.

Aktiver/Deaktiver: Aktiverer eller deaktiverer generering av gipsen.



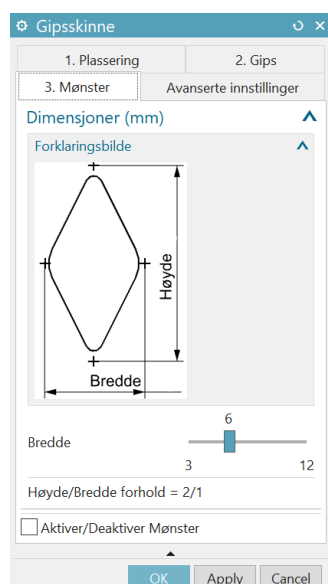
Bilde 5.33: Gips-meny for dimensjoner

3. Mønster

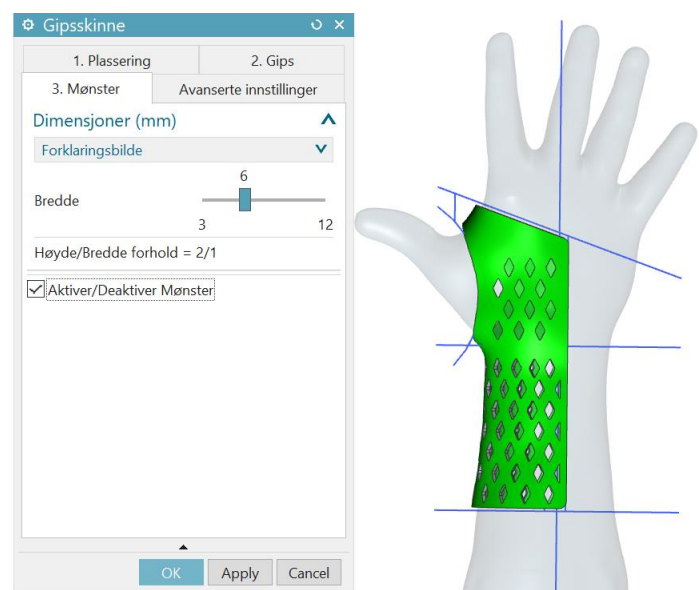
Tredje og siste steg er å dimensjonere hullmønstrene og aktivere de på gipsen.

Bredde: Bestemmer bredden på mønsteret. Høyde/Bredde-forholdet er 2/1

Aktiver/Deaktiver Mønster: Aktiverer eller deaktiverer mønsteret på gipsen.



Bilde 5.34: Gips-meny for dimensjonering av hull



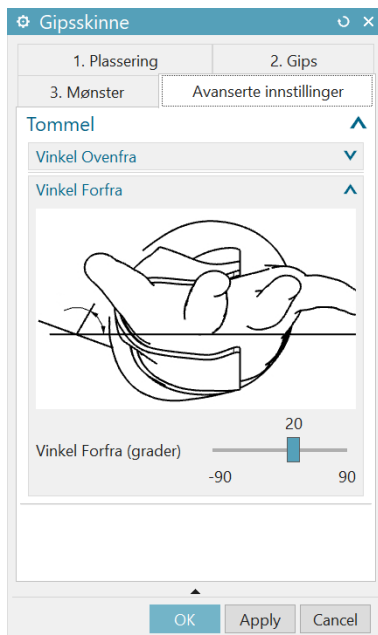
Bilde 5.35: Gips-meny med modell

Avanserte Innstillinger (Tommel)

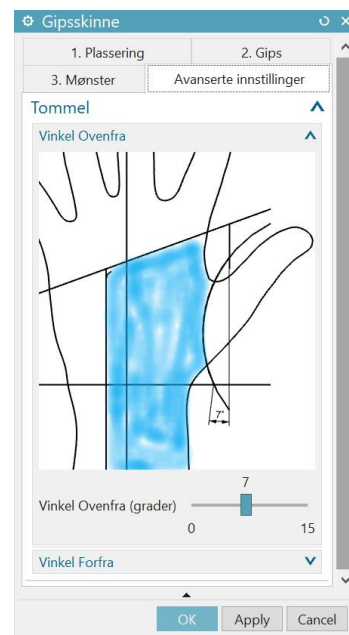
Under avanserte innstillinger finner man to innstillinger for tommelhullet. Disse skal ikke være nødvendig å stille på, men ligger der sånn at man har muligheten.

Vinkel Ovenfra: Bestemmer vinkelen på tommelhullets bue i forhold til senterlinjen.

Vinkel Forfra: Bestemmer vinkelen på tommelhullet inn på hånda.



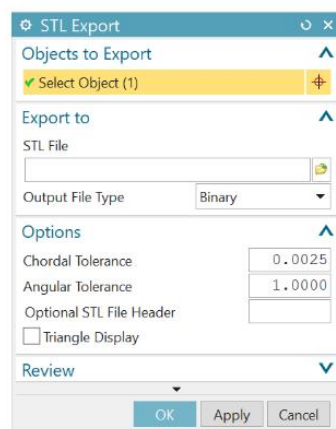
Bilde 5.37: Avanserte innstillinger for tommel, vinkel forfra



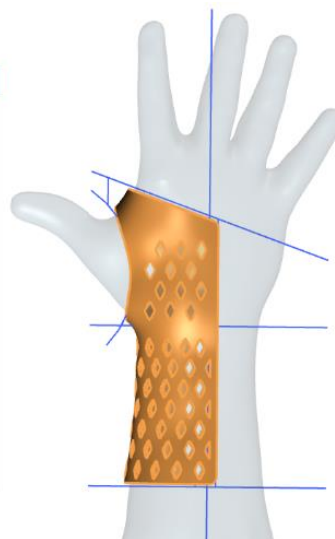
Bilde 5.36: Avanserte innstillinger for tommel, vinkel ovenfra

Eksportering

Gipsen har nå de ønskede dimensjonene, og eksporteres videre til print.



Bilde 5.38: Eksportering til STL-fil



5.2.2 Gipsskinne

Gipsen består av en sammenhengende skinne som følger håndens utforming. Fra knokene, rundt tommel og nedover armen. Den dekker halve hånda på tommelsiden, hvis man deler hånda på langs. Med ankerpunkt rundt tommelen stiver gipsen av håndleddet. Gipsen er tenkt at skal holdes fast på pasientens arm ved hjelp av reimer med borrelås eller lignende.

Mønster

Hullene i gipsen er diamantformet og har den hensikt å redusere gipsens vekt og gi økt komfort. De gir en mindre klaustrofobisk følelse, og gir hånden tilgang på luft som holder fukten unna. Fra håndleddet og nedover reduserer hullene gipsens volum med 25%. Selve håndleddspartiet er heldekkende, fordi det er her de største påkjennelsene finner sted. I tillegg finner man et lite område oppå hånda.



Figur 5.11: Mønsterillustrasjon

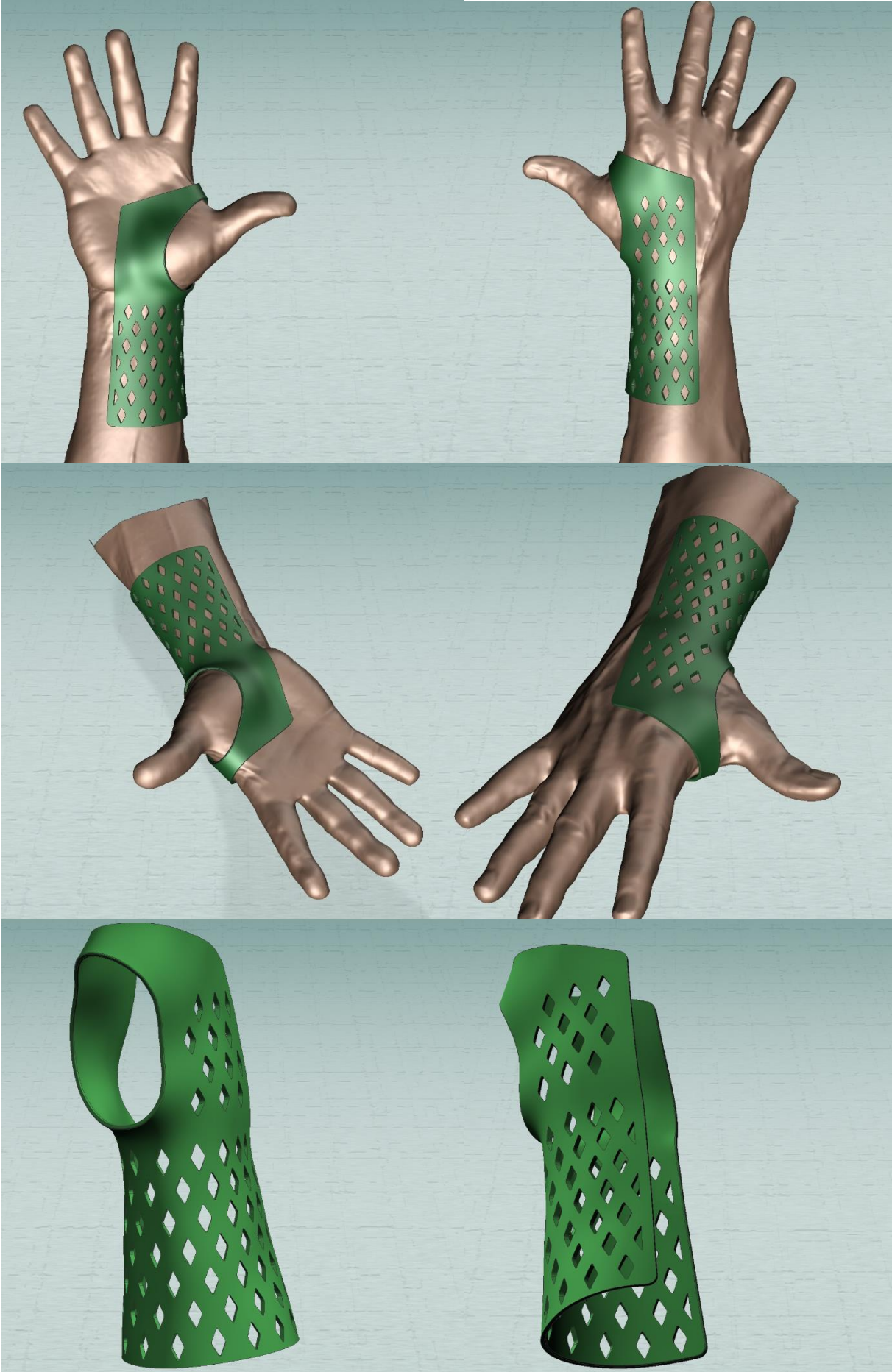
Diamantformen ble valgt fordi de gir minimalt med overheng ved produksjon (3D-printing).

Detaljer

Alle hjørner og kanter av gipsen er rundet av slik at gipsen ikke skal skjære i pasientens hånd. Dette inkluderer hullet til tommelen, åpningen til fingrene, langs med gipsen og nederst på armen.



Figur 5.12: Detaljfigur av avrundede kanter



Bilde 5.39: Resultatet av gipsutformingen

5.3 Printer

Etter å ha undersøkt og sammenlignet printere fra forskjellige produsenter og teknologier er det kommet frem til to mulige alternativer med sine egne fordeler og ulemper.

<p>Uniz Slash Plus UDP</p>  <p>(Uniz, u.d.)</p>	<p>Delta Wasp 2040 Turbo 2</p>  <p>(Wasp, u.d.)</p>
Teknologi: SLA UDP (LCD stereolitografi)	Teknologi: FDM (Fused deposit modelling)
Byggevolum XYZ: 192x120x200	Byggevolum ØZ: Ø200x400
Pris: 29995 NOK	Pris: 29599 NOK
Byggemateriale: Resin / Flytende polymer	Byggemateriale: PLA, ABS +++
Printetid for 1 gips: 25 minutter (horisontal print) 77 minutter (vertikal print)	Printetid for 1 gips: 565 minutter (horisontal print)
+Billig +Svært rask	+Billig +Enkel i bruk +Stort byggevolum +Resirkulerbart materiale +Blant de raskeste FDM-printerne på markedet
-tungvint prosess -Avdamping fra resin -Design begrensinger	-Langt fra krav om printetid

Tabell 5.12: Sammenligning av de to printerene som vurderes som mest aktuell

Se vedlegg: 7 og 10

Sammenligning av dagens prosess og skanner med FDM-printer

Tabell 5.13 viser en antatt kostnad av gipsprosessen utført av lege, sykepleier eller en maskin. Materialkostnadene er hentet fra (Gya & Thorsen, 2017).

Vedlikehold blir antatt en mindre post. En 3D-printer har relativt lave vedlikeholdskostnader. Ved NTNU Ålesund er det ifølge André Tranvåg en vedlikeholdskostnad på en 3D-printer på ca. 1800kr/år. Antar man at en printer produserer ca. 500 gips/år gir det en vedlikeholdskostnad på 3,6 kr/gips.

Operatør-tid er ikke fast bestemt, men en ønsker å holde den under noen minutter. I beregningene som ble gjort er den satt til 6 minutter. I våre beregninger har vi også tatt utgangspunkt i at en lege er maskinoperatør, og ikke en sykesøster for å få en konservativ verdi med tanke på lønningene.

Innsparing

Minimum innsparing skjer hvis gipsing utføres av sykepleier, sykepleieren er effektiv og gipsen er av kalk. Innsparingen blir da ca. 121kr pr gips, eller 3,642,000kr i året. Maksimum innsparing skjer om turnuslege gipser med plastgips og er ineffektiv (bruker 45min på gipseprosess) Innsparing pr. gips blir ca. 360kr, eller 10,767,000kr i året.

Om en maskin koster omtrent 250 000kr vil det ta mellom 697 og 2059 pasienter å betale ned en maskin. 15 000 pasienter vil betale mellom 15 og 43 maskiner på et år i et nasjonalt perspektiv, gitt at de kommer inn for ny gips etter hevelse.

Utføres av:	Tid (timer)	Lønn (NOK)	Materialkost (NOK)	vedlikehold pr. gips (NOK)	Sum kost (NOK)	Differanse (NOK)	Årlig differanse (NOK)
Sykepleier	0,5	250	50	0	175	121,4	3642000
Turnuslege	0,75	350	150	0	412,5	358,9	10767000
Maskin	0,1	350	15	3,6	53,6	0	0

Tabell 5.13: Kostnader for utførelse av gipsing

når blir maskin tilbakebetalt?		
Maskin pris:	250000	kr
Best case	697	Pasienter
Worst case	2059	Pasienter

Tabell 5.14: Antall pasienter for nedbetaling av maskin

Hvor mange maskiner tilbakebetalt på 1 år	
Ant. Håndleddsbrudd/år	15000
Ant. gips/år	30000
Ant. Maskiner	43 (Best case)
Ant. Maskiner	15 (worst case)

Tabell 5.15: Antall maskiner nedbetalt på et år

Svinn som forekommer av for eksempel feilgipsing og kasting av overflødig gips er ikke tatt med i disse tabellene.

Det vil også med printer være nødvendig å komme tilbake for ny gips når hevelsen i hånden har gått ned. Med en gips i PLA slipper man å kaste materialet den er laget i. Den gamle gipsen kan enkelt smeltes om til nytt filament. Innføres en slik praksis kan materialutgiftene over tid bli svært lave og dermed vil innsparingen bli enda bedre.

Lønningene i tabellen er gjort anslag av og baserer seg på (KS, Den Norske Legeforening, 2018) og (Norsk Sykepleierforbund, KS, 2018).

5.4 Virtual Reality

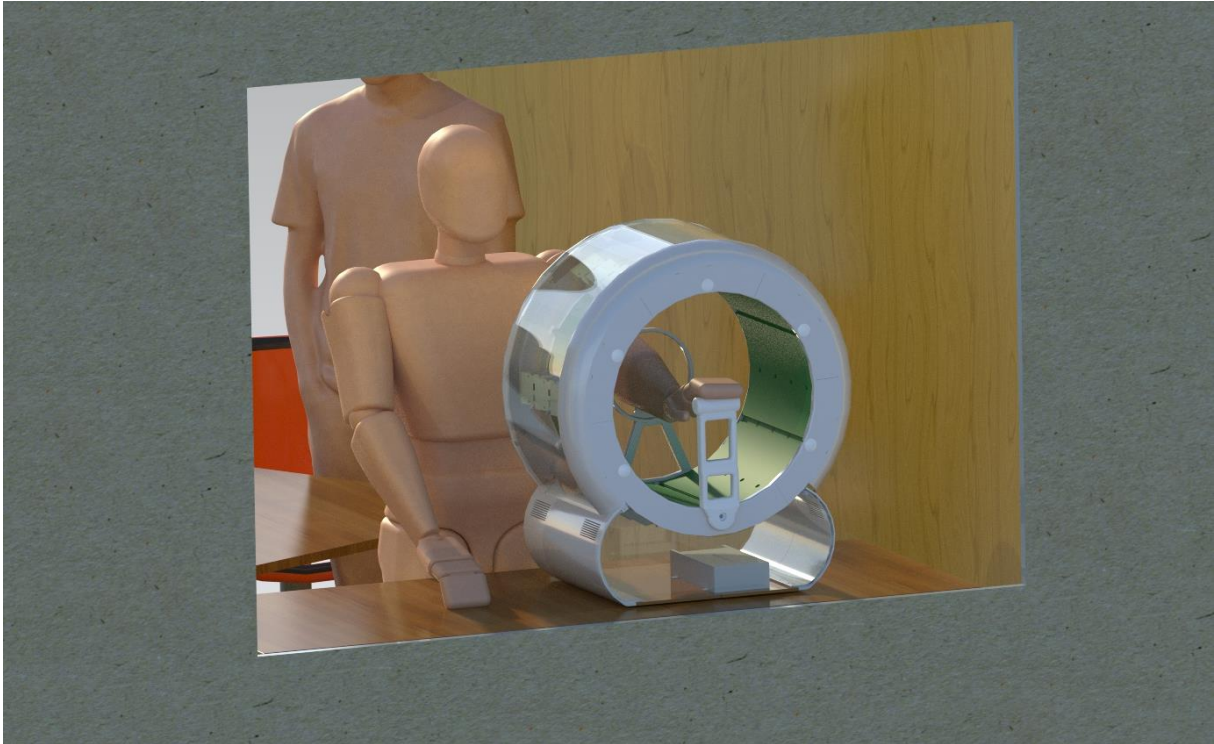
Virtual reality blir stadig mer vanlig å bruke for å illustrere hvordan et produkt vil oppleves. VR gir digitale prototyper en langt mer virkelighetsnær opplevelse enn det å se modellen på en skjerm gjør. Med denne teknologien får man romfølelse og kan enklere se et konsepts potensiale og problemer enn ved klassiske 3D-modeller.

Virtuelt legekontor

For å illustrere den automatiserte gipsprosessen til lege og andre interessenter ble det designet et legekontor med skanner og eget printerrom. Miljøet illustrer et forslag til hvordan løsningen kan gjennomføres, men er ikke en fasit for hvordan dette skal implementeres på et sykehus eller andre steder.



Bilde 5.40: VR-miljø nr.1



Bilde 5.41: VR-miljø nr.2

Status

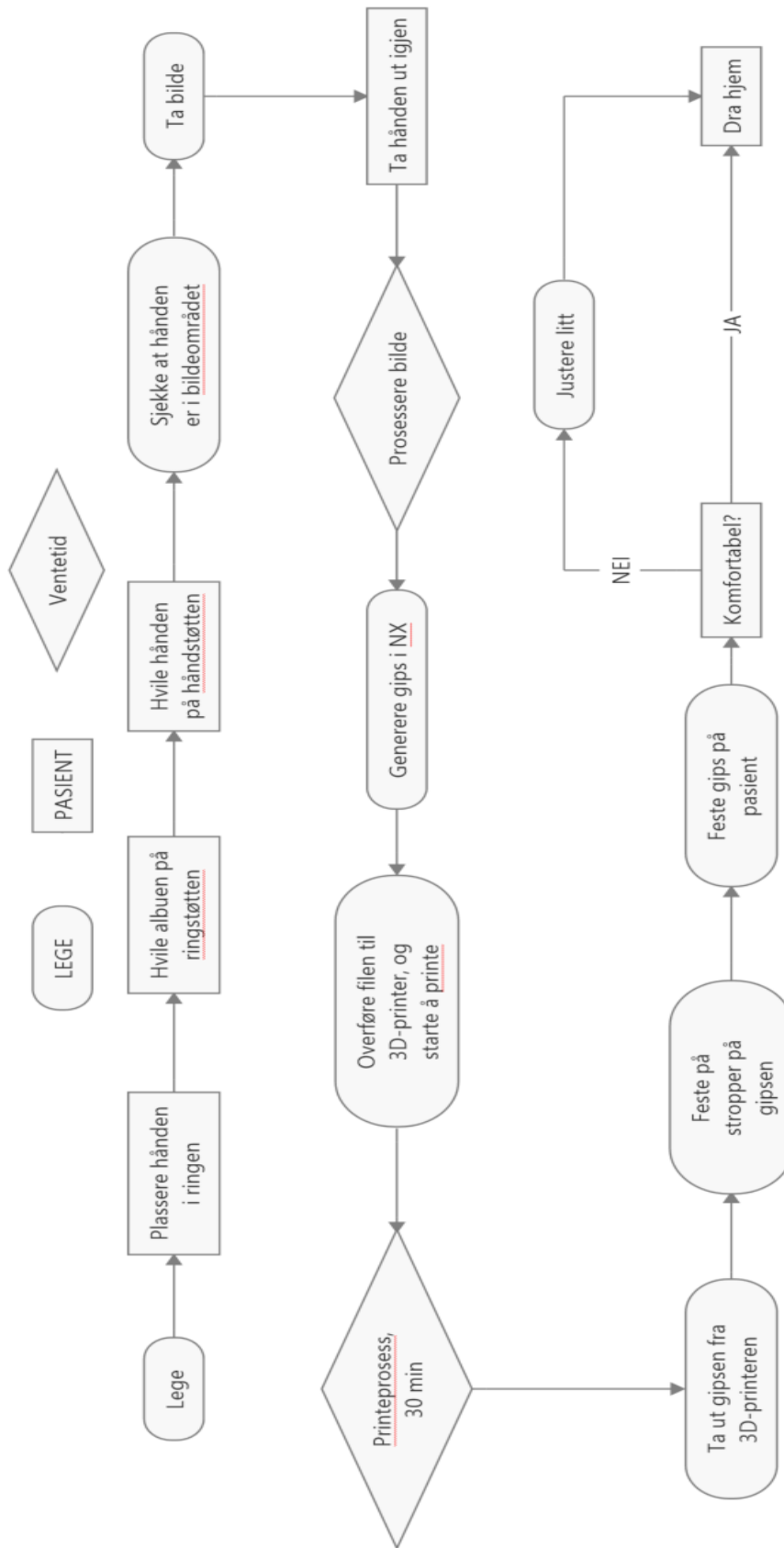
VR-miljøet er så å si ferdig, filene må bare konverteres til STEP eller JT format for å kjøres via Unreal engine 4 inn i VR. Siemens NX har også fått egen VR-funksjon som miljøet kan oppleves i.

Det ble enighet om å prioritere ned VR til fordel for den virkelige modellen, da den uansett vil være en bedre representasjon av maskinen ved fullføring.

Miljøet ble brukt til å ta bilder av maskinen i et virkelighetsnært miljø.

For å spare tid ble det hentet modeller fra Grabcad: skrivebord (Sabic, 2019) (KJN Aluminium Profiles, 2018), dataskjerm (Karajko, 2018), hyller (Hai, 2018), rullestol (Baugher, 2013), sprøyte (Hiremath, 2012), mennesker (mcramblet, 2019) (Doingdd, 2018), stetoskop (Lokeshc, 2011) (Spreafico, 2018) og en undersøkelsesstol (Taranets, 2017).

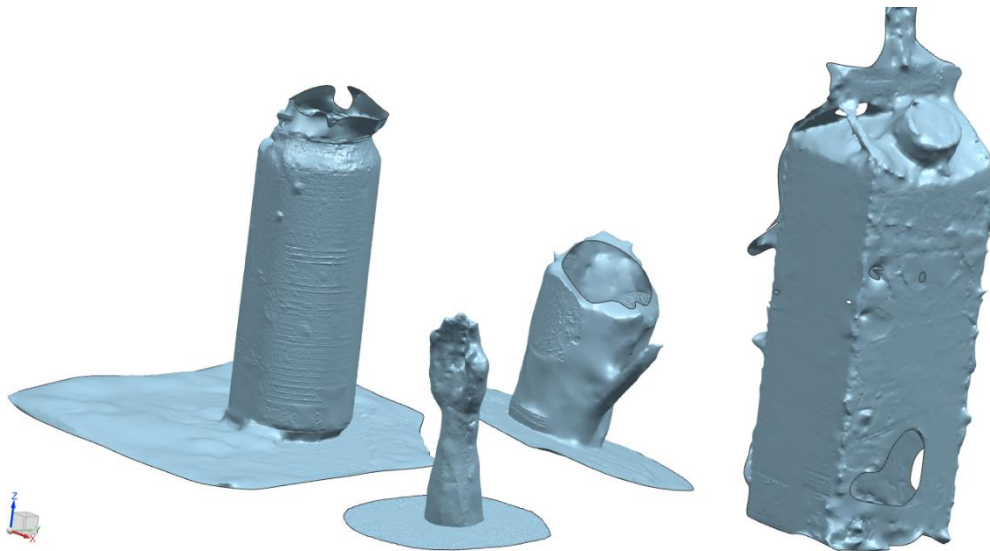
5.5 Funksjon for prosessen



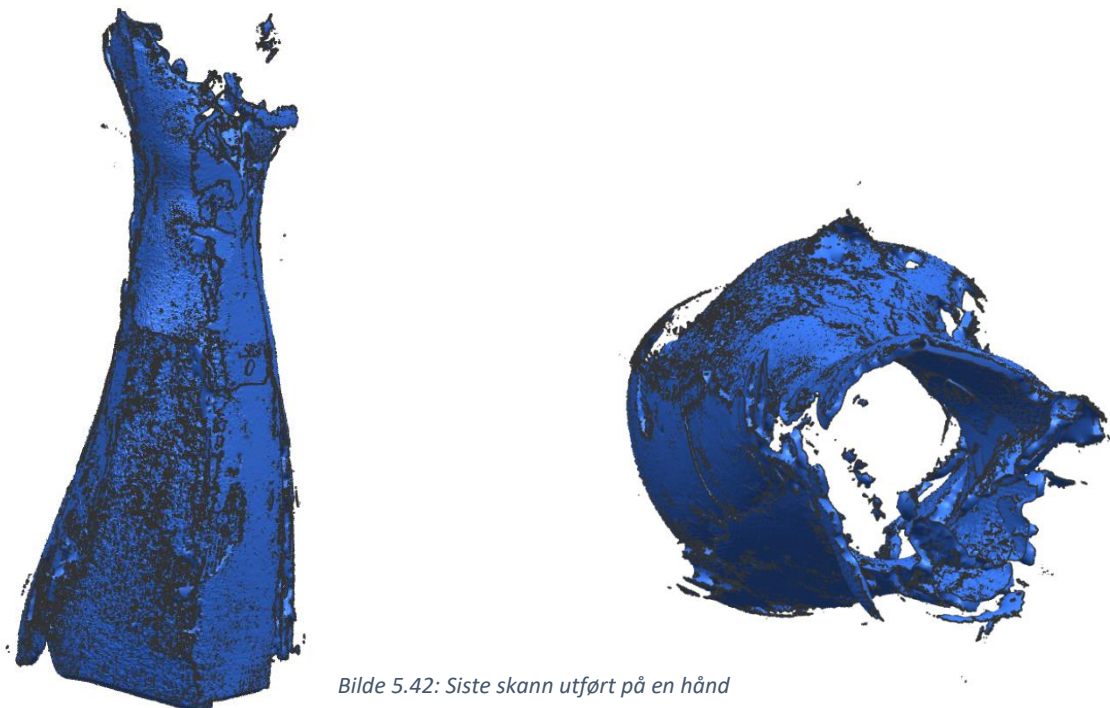
Figur 5.13: Arbeidsflyten

5.6 Resultat av skann

Dette er modellene av skanningen utført med den produserte maskinen.



Bilde 5.43: Samling av forskjellig skannede modeller



Bilde 5.42: Siste skann utført på en hånd

6 Diskusjon

3D-skanner

Legen fremmet et ønske om å ha 3D-skanner og 3D-printer separat. Med bakgrunn i dette ble det bestemt at det skulle bygges en skannemodul og at aktuelle 3D-printere for en slik løsning skulle undersøkes.

Proessen for å konstruere 3D-skanneren var en tidkrevende iterativ prosess. Gjennom prøving og feiling har skanneren med dens tilhørende komponenter vært i kontinuerlig utvikling.

3D-skanneren er designet for å printes på skolens Ultimaker-maskiner. Den er derfor designet og produsert som et byggesett. Designet av byggesettet var godt og fungerte som i modelleringsprogrammet.

3D-skanneren ble betydelig større enn først antatt, dette med hensyn til effektiv diameter. Etter diameteren på skannemodulen økte diskutert vi å øke antallet kameraer i siste ringen hvor den mest detaljerte delen av hånden (håndflate og håndledd) vil være. Her ble det også vurdert å forme siste ringen som en halvkule for å få bedre kameravinkler. Det ble dessverre ikke tid til å teste dette.

Testing av skanneren mot slutten av prosjektet viste at fotogrammetri-softwaren ikke klarte å skille ut hud fra omgivelsene. Dette ble løst ved å ta på en sokk, hvor resultatet sees på bilde 5.42. I disse testene kom det også frem at overlappingen mellom kameraene var for dårlig, spesielt oppe ved hånden. Her stemte teorien dårlig med praksis og det ble ikke tid til å utbedre dette da modellene ble fremstilt så sent i semesteret. Hadde modellene kommet tidligere ville løsninger diskutert tidligere blitt testet.

Andre måter å løse problemet med overlapp på er å ta en serie bilder hvor sylindren roterer noen grader mellom hver gang det tas bilde, alternativt kan antall kamera i hele skanneren økes. En ide som også ble diskutert var å bygge skanneren sfærisk for å oppnå bedre kameravinkler og overlapp.

Gipsen

Proessen for å generere gipsen ut ifra en skannet modell ble litt mer tungvint enn man håpet på. For i det hele tatt å kunne åpnes i NX må modellen fra skannen være av en viss kvalitet. Den siste hånd-skanningen utført med den produserte maskinen, lot seg ikke konverteres som en Convergent modell, noe som betydde i at den ikke kunne integreres i gipsgeneratoren i NX.

Med en skannet modell av god kvalitet, slik som hånden som er blitt brukt gjennom utviklingen, er det fortsatt en del steg på veien fra modell av skann til ferdig generert gips som man gjerne skulle fått til på en bedre måte. Det gjelder spesielt stegene under «Plassering og Klargjøring» i kap. 5.2.1. Disse stegene er i overkant kompliserte for at hvem som helst skal utføre de, og krever erfaring med modelleringsprogrammet NX. En løsning for fremtiden ville vært å se på en måte å forenkle og få mer automatikk ved disse stegene. En ide som har vært diskutert rundt dette har vært å klistre eller tegne opp punkter av et slag på hånden som skannes, som kan oppdages i NX slik at posisjoneringen skjer automatisk.

Med en godt plassert og klargjort modell fungerte gipsgenereringen og PTS-menyen som man hadde håpet på. En godt forklart meny og færrest mulig innstillinger som utgjorde mest mulig.

Det er viktig å nevne at selv om resultatet av gipsen vises på en arm uten vinkel i håndleddet, ser man ikke noe problem ved at malen skal kunne fungere på en hånd med 20-30 graders vinkling, som er kravet. I tillegg er styrkeberegninger av gipsen er ikke blitt undersøkt nærmere. Det ble utført tester på PLA i den tidligere bacheloroppgaven, som denne oppgaven bygger videre på.

Kostnad

Kostnadsanalysene ble utført for å sikre at sykehusene ikke fikk økte utgifter i sammenheng med modernisering av prosessen. Analysene antyder at moderniseringen vil lønne seg, kreve mindre arbeidskraft og kan ved valg av FDM-printer være mer miljøvennlig. Det er altså ikke nødvendigvis bare i kostnadsperspektiv, men og i et miljøaspekt denne prosessen kan lønne seg.

Printer

Innsparingen blir langt dårligere ved bruk av Uniz-printeren på grunn av dyrere materiale, men den ble valgt som et alternativ da den innfrir krav til printetid og er rimelig. Før en tar i bruk en printer av denne typen bør leverandør kontaktes, for å sikre at designbegrensningene som kommer med UDP-teknologien ikke vil være til hinder. Materialtester burde også utføres på resin.

Problemet med å bruke en FDM-printer er at de per dags dato ikke er raske nok til å innfri legens ønske om en produksjonstid på ca. 30 minutter. Det kan tenkes at et system med FDM-printer muligens kan tas i bruk for å erstatte gipsprosessen ved etterkontroll når hevelsen er gått ned. I kombinasjon med at en bruker den raskere, men mindre miljø- og brukervennlige SLA-UDP printeren til første gips. Gipsen fra denne maskinen kunne vært brukt frem til den nye gipsen fra FDM-printeren ble ettersendt til pasient.

HP sine MJF printere ble i denne oppgaven vurdert som for dyr. Det kan tenkes at disse kunne vært brukt på lignende måte som foreslått over, men hvor en MJF-printer erstatter FDM-printer. Prisen kan da kanskje rettferdiggjøres ved å ha en slik printer sentralisert hvor gipsmodeller sendes fra sykehus til en sentralisert printeravdeling som igjen ettersender gips til pasienter.

Arbeidsprosessen

Arbeidet har vært fordelt på en god måte mellom studentene innad i gruppen. Vi har hatt klare arbeidsoppgaver og fordypet oss i forskjellige emner, men konsultert oss imellom når viktige beslutninger skulle tas. Prosessen har vært lærerik og vi har jobbet godt som et team på samme produkt. Det har vært interessant og givende å angripe oppgaven. En oppgave som innebar teknologi som var ukjent for oss, med et konkret mål om å forbedre en velkjent, men utdatert prosess.

Samarbeidet med automasjonsgruppen har vært godt. Vi har hatt en kontinuerlig dialog underveis og har kunnet lære av hverandre. Så det var uheldig på vegne av begge gruppene at modellene ble forsinket, slik at en fullverdig prototype ikke ble klar.

Vi mener likevel oppgaven viser at et slikt konsept har potensialet til å erstatte den tradisjonelle gipsprosessen.

7 Konklusjon

Målet for hovedoppgaven var å utvikle og bygge en maskin for å forbedre dagen gipsprosess.

Det ble produsert en fungerende prototype av en 3D-skanner. Funksjonaliteten av 3D-skanner ble begrenset da modellene den produserte var av lav kvalitet. Maskinen fungerer i ordets rette forstand som en 3D-skanner, men produserer ikke modeller av høy nok kvalitet til å kunne generere en gips på.

Denne oppgaven har vist at en 3D-skannermodul sammen med et modelleringsprogram og en 3D-printer har potensialet til å erstatte og forbedre dagens gipsprosess. Fortsetter universitetet og sykehuset dette samarbeidet er det ikke langt igjen før et slikt system kan prøves ut som et pilotprosjekt.

8 Referanse

(u.d.).

Absolute 3D. (2016). *GrabCad*. Hentet 02 2019 fra <https://sketchfab.com/3d-models/dewalt-drill-driver-4942898d2c0840b9a70169618e06b9d4>

ActivArmor. (2017, 09). *ActivArmor*. Hentet 03 04, 2019 fra Activarmor.com: <https://activarmor.com/wp-content/uploads/2017/09/ActivArmor-Full-Long-Dark.png>

ActivArmor. (2017, 05). *Activarmor.com*. Hentet 03 05, 2019 fra <https://activarmor.com/wp-content/uploads/2017/05/ActivArmor-Golfing-SM.jpg>

ActivArmor. (2019). *Activarmor.com*. Hentet fra <https://activarmor.com/>

Aho27. (2017, 12 20). *Grabcad*. Hentet fra Grabcad: <https://grabcad.com/library/raspberry-pi-3-model-b-case-1>

Arbeidstilsynet. (2018, Desember 1). *arbeidstilsynet*. Hentet Mai 15, 2019 fra arbeidstilsynet.no: <https://www.arbeidstilsynet.no/arbeidsforhold/lonn/minstelonn/>

Baugher, C. (2013, 3 27). *Grabcad*. Hentet fra Grabcad: <https://grabcad.com/library/wheelchair-standard-model>

Carrier, P. (2017, 07 10). *Dyzedesign.com*. Hentet 03 09, 2019 fra Dyzedesign: <https://dyzedesign.com/2018/07/3d-print-speed-calculation-find-optimal-speed/>

Christensen, A. (2015, 08 25). *Forskning.no*. Hentet fra Tar grep om håndleddsbrudd: <https://forskning.no/helsepolitikk-medisinske-metoder-menneskekroppen/tar-grep-om-handleddsbrudd/469982>

Doingdd. (2018, 05 30). *Grabcad*. Hentet fra Grabcad: <https://grabcad.com/library/human-body-model-1>

Dustin Norway AS. (u.d.). *Dustin home*. Hentet Mai 15, 2019 fra dustinhome.no: https://www.dustinhome.no/product/5011035907/pla-white-285-mm-nfc-tag---spool---750g?ssel=false&_ga=2.4113139.2100341548.1557925296-27415565.1557144592

Evisdom. (2015, 02). *Evisdom.com*. Hentet 05 10, 2019 fra Hva er 3D-modellering: <http://www.evisdom.com/internett/2015/02/Hva-er-3D-modellering.html>

Formlabs. (2016, 10 12). *formlabs.com*. Hentet 04 13, 2019 fra Formlabs: <https://formlabs.com/blog/isotropy-in-SLA-3D-printing/>

Gya, M., & Thorsen, A. D. (2017). *Spesialtilpasset gips for håndleddsbrudd ved bruk av dagens 3D-teknologi*. NTNU Ålesund, Ålesund. Hentet 2019

Hai, D. (2018, 12 15). *Grabcad*. Hentet fra Grabcad: <https://grabcad.com/library/shelves-plastic-1>

Hiremath, M. (2012, 9 15). *Grabcad*. Hentet fra Grabcad: <https://grabcad.com/library/syringe-injection>

Kandidatnummer: 10006, 10010, 10019

Jackson, B. (2018, 02 05). *3dprintingindustry.com*. Hentet 03 22, 2019 fra 3Dprintingindustry: <https://3dprintingindustry.com/news/hp-full-color-jet-fusion-300500-3d-printers-price-technical-specifications-128443/>

Karajko. (2018, 9 3). *Grabcad*. Hentet fra Grabcad: <https://grabcad.com/library/monitor-12-1>

Kjell and Company. (u.d.). *Kjell.com*. Hentet 04 21, 2019 fra https://www.kjell.com/no/produkter/data-og-nettverk/raspberry-pi/raspberry-pi-kameramodul-v2-p88053?gclid=CjwKCAjwIPTmBRBoEiwAHqpvhb-dp3ajAjwY72_awNufnDTfdX7SvpoB6i0Dlnb6THH3tk9i_zar8BoCYvMQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds&fbclid=IwAR0WGOhWYGSBZAgmX9OZ_ooREe6OTb3btOY

KJN Aluminium Profiles. (2018, 02 01). <http://www.aluminium-profile.co.uk/acatalog/Bench-Frame-Assembly-1.html>. Hentet fra Grabcad: <https://grabcad.com/library/aluminium-profile-extrusion-bench-1>

KS, Den Norske Legeforening. (2018, 08 31). *Sentral forbundsvis særavtale mellom KS og Den norske legeforening om vilkår for leger og turnusleger/LIS1 i kommunehelsetjenesten med arbeidsavtale, herunder leger i fastlegeordningen*. Hentet 02 10, 2019 fra legeforeningen.no: <https://legeforeningen.no/Emner/Andre-emner/Avtaler/Avtalearkiv/KS/SFS-2305/>

Laserdesign. (2014, 11). *Laserdesign.com*. Hentet 02 05, 2019 fra <https://www.laserdesign.com/wp-content/uploads/2014/11/laser-tri-220x300.png>

Lokeshc. (2011, 07 25). *Grabcad*. Hentet fra Grabcad: <https://grabcad.com/library/stethoscope>

mcramblet. (2019, 01 27). *Grabcad*. Hentet fra Grabcad: <https://grabcad.com/library/alexey-1>

Nadel, B. (2019, 02 14). *Business.com*. Hentet 03 10, 2019 fra Business: <https://www.business.com/reviews/hp-jet-fusion-3d-4200-printer/>

Nilsen, L. (2014, 09 05). *Dagens Medisin*. Hentet 04 20, 2019 fra <https://www.dagensmedisin.no/artikler/2014/12/08/vil-bedre-behandlingen-av-handledsbrudd/>

Norsk Sykepleierforbund, KS. (2018). *NSF.no*. Hentet 05 15, 2019 fra Norsk Sykepleierforbund: <https://www.nsf.no/Content/4017734/seefile>

Oceanservice. (u.d.). *National oceanic and atmospheric administration*. Hentet 02 07, 2019 fra <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.jpg>

RS Components. (2019, April 11). *RS Online*. Hentet April 11, 2019 fra no.rs-online.com: <https://no.rs-online.com/web/>

s3-media1. (u.d.). *s3-media1.fl.yelpcdn.com*. Hentet 03 02, 2019 fra https://s3-media1.fl.yelpcdn.com/bphoto/-fRafMDpEcRw7_EOckbxA/o.jpg

Sabic, A. (2019, 01 10). *Grabcad*. Hentet fra Grabcad: <https://grabcad.com/library/parametric-desk-furtif-from-roche-bobois-by-daniel-rode-1>

Seed Studio. (u.d.). *seedstudio.com*. Hentet 04 20, 2019 fra https://www.seedstudio.com/Raspberry-Pi-Wide-Angle-Camera-Module-p-2774.html?fbclid=IwAR3kR73eLcmHkPZFF_WAQHqynUQgqKV3Ck8Q9DUeEqNJBgryZ3rgiTB6bSeY

Kandidatnummer: 10006, 10010, 10019

- Smakman, P. (2016). *core77*. Hentet 02 05, 2019 fra Curatio: World's First Dedicated 3D Hand Scanner: <https://www.core77.com/projects/45809/Curatio-Worlds-First-Dedicated-3D-Hand-Scanner>
- Smakman, P. (2016). *Core77.com*. Hentet 02 05, 2019 fra Curatio: The World's first dedicated 3D Hand Scanner: https://s3files.core77.com/blog/images/Industrial-Design-Portfolio-Pieter-Smakman-2016_395797.jpg
- Solidvision. (u.d.). *Solidvision.in*. Hentet 02 03, 2019 fra <http://www.solidvision.in/images/shining-3d/digimetric-photogrammetry-1.png>
- Spreafico, C. (2018, 10 25). *Grabcad*. Hentet fra Grabcad: <https://grabcad.com/library/stethoscope-6>
- Stubbs, J. (2019, 01 28). *GrabCad.com*. Hentet 02 2019 fra <https://grabcad.com/library/anatomy-model-hand-1>
- Taranets, S. (2017, 05 7). *Grabcad*. Hentet fra Grabcad: <https://grabcad.com/library/orthopedic-chair-option-2-1>
- Thehaskinssociety. (u.d.). *Thehaskinssociety.wildapricot.org*. Hentet 02 06, 2019 fra <https://thehaskinssociety.wildapricot.org/resources/Pictures/Tutorials/Photogrammetry/photogrammetry.jpg>
- Ultimaker. (u.d.). *Ultimaker.com*. Hentet 02 20, 2019 fra Ultimaker: <https://ultimaker.com/en/resources/19537-how-to-fix-warping>
- Ultimaker. (u.d.). *Ultimaker.com*. Hentet 02 20, 2019 fra Ultimaker: <https://ultimaker.com/en/resources/19504-how-to-fix-stringing>
- Ultimaker. (u.d.). *Ultimaker.no*. Hentet 02 20, 2019 fra Ultimaker: <https://ultimaker.com/en/resources/21477-how-to-fix-under-extrusion>
- Uniz. (u.d.). *uniz.com*. Hentet 04 10, 2019 fra https://www.uniz.com/eu_en/slash-plus.html
- Varotsis, A. B. (u.d.). *3dhubs.com*. Hentet 02 15, 2019 fra 3Dhubs: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing#author>
- Varotsis, A. B. (u.d.). *3dhubs.com*. Hentet 04 15, 2019 fra 3Dhubs: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/hp-mjf-vs-sls-3d-printing-technology-comparison#what>
- Wasp. (u.d.). *3Dwasp.com*. Hentet 04 11, 2019 fra <https://www.3dwasp.com/en/delta-3d-printer-delta-wasp-2040-turbo2/>