UPPSALA UNIVERSITET

ISRN UTH-INGUTB-EX-M-2025/024-SE

Examensarbete 15 hp

Maj 2025

Konstruktion av en elektromekanisk uppställning för 3D-skanning

Ett arbete i samarbete med Prevas AB

Benjamin Grönvik & Joel Törnqvist

Högskoleingenjörsprogrammet i maskinteknik

UPPSALA UNIVERSITET

Design of an electromechanical setup for 3D-scanning

Benjamin Grönvik & Joel Törnqvist

Abstract

This thesis was carried out in collaboration with Prevas AB and aims to develop a prototype of an electromechanical setup to replace handheld 3D scanning of objects ranging in size from 30 to 400 mm. The background of the project lies in the ergonomic and quality-related challenges associated with manual 3D scanning. The goal was to improve the scanning process by reducing manual handling.

The work began with a literature review. This was followed by experiments to identify the necessary degrees of freedom to generate complete 3D models. Four experiments were conducted with up to four degrees of freedom, which showed that more axes of motion improve coverage and accuracy.

Based on the results, motion requirements were defined and used as the basis for concept generation. Several solutions for linear and rotational movements were systematically evaluated using a Pugh matrix. The selected concepts were designed in CAD, manufactured, and tested practically. The final setup demonstrated good functionality, improved ergonomics, and increased repeatability compared to fully manual scanning.

The conclusion is that an electromechanical setup can improve the 3D scanning process without requiring full automation. By enabling movement with four degrees of freedom between the scanner and the object, it provides high flexibility and reduces the need for manual repositioning. The solution strikes a good balance between the accuracy and ergonomics of automation and the flexibility of manual handling. This work represents a step towards a fully automated 3D scanning process in the future, which could further improve the working environment.

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala

Handledare: Anton Nymark Ämnesgranskare: Dana Salar

Examinator: Lars Degerman

UPPSALA UNIVERSITET

ISRN UTH-INGUTB-EX-M-2025/024-SE

Examensarbete 15 hp

Månad 2025

Konstruktion av en elektromekanisk uppställning för 3D-skanning

Ett arbete i samarbete med Prevas AB

Benjamin Grönvik, Joel Törnqvist

Högskoleingenjörsprogrammet i maskinteknik

UPPSALA UNIVERSITET

Engelsk titel

Benjamin Grönvik, Joel Törnqvist

Abstract

This thesis was carried out in collaboration with Prevas AB and aims to develop a prototype of an electromechanical setup to replace handheld 3D scanning of objects ranging in size from 30 to 400 mm. The background of the project lies in the ergonomic and quality-related challenges associated with manual 3D scanning. The goal was to improve the scanning process by reducing manual handling.

The work began with a literature review. This was followed by experiments to identify the necessary degrees of freedom to generate complete 3D models. Four experiments were conducted with up to four degrees of freedom, which showed that more axes of motion improve coverage and accuracy.

Based on the results, motion requirements were defined and used as the basis for concept generation. Several solutions for linear and rotational movements were systematically evaluated using a Pugh matrix. The selected concepts were designed in CAD, manufactured, and tested practically. The final setup demonstrated good functionality, improved ergonomics, and increased repeatability compared to fully manual scanning.

The conclusion is that an electromechanical setup can improve the 3D scanning process without requiring full automation. By enabling movement with four degrees of freedom between the scanner and the object, it provides high flexibility and reduces the need for manual repositioning. The solution strikes a good balance between the accuracy and ergonomics of automation and the flexibility of manual handling. This work represents a step towards a fully automated 3D scanning process in the future, which could further improve the working environment.

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala

Handledare: Anton Nymark Ämnesgranskare: Dana Salar

Examinator: Lars Degerman

Detta examensarbete är sekretessbelagt t o m Klicka och välj datum eller skriv i fältet. (Tas bort om ej sekretessbelagt)

Sammanfattning

Detta examensarbete har genomförts i samarbete med Prevas AB och syftar till att utveckla en prototyp på en elektromekanisk uppställning för att ersätta handhållen 3D-skanning av objekt i storleken 30–400 mm. Bakgrunden till arbetet är de ergonomiska och kvalitetsmässiga utmaningar som uppstår vid manuell 3D-skanning. Målet var att förbättra skanningsprocessen genom minskad manuell hantering.

Arbetet inleddes med en litteraturstudie. Därefter genomfördes experiment för att identifiera nödvändiga rörelsefrihetsgrader för att generera kompletta 3D-modeller. Fyra experiment utfördes med upp till fyra rörelsefrihetsgrader, vilket visade att fler rörelseleder ger förbättrad täckningsgrad och noggrannhet.

Utifrån resultaten togs rörelsekrav fram som låg till grund för konceptgenerering. Flera lösningar för linjära och roterande rörelser utvärderades systematiskt med Pugh-matris. De utvalda koncepten konstruerades i CAD, tillverkades och testades praktiskt. Den färdiga uppställningen visade på god funktion, förbättrad ergonomi och ökad repeterbarhet jämfört med helt manuell skanning.

Slutsatsen är att en elektromekanisk uppställning kan förbättra 3D-skanningsprocessen utan att kräva full automation. Genom att möjliggöra rörelse i fyra frihetsgrader mellan skanner och objekt uppnås god flexibilitet och minskat behov av manuell ompositionering. Lösningen balanserar väl mellan automatiseringens noggrannhet och ergonomi samt manuella hanteringens flexibilitet. Arbetet är ett steg mot en framtida fullt automatiserad 3D-skanningsprocess, vilket kan förbättra arbetsmiljön ytterligare.

Nyckelord: 3d-skanner, 3d-skanning, ergonomi, elektromekanisk styrning, rörelsefrihetsgrader, konceptgenerering, objektgeometri, produktutveckling.

Förord

Denna undersökning genomfördes som examensarbete för högskoleingenjörsprogrammet i maskinteknik vid Uppsala universitet, under vårterminen 2025, på uppdrag av Prevas AB i Uppsala.

Vi vill börja med att tacka vår handledare Anton Nymark för sin nedlagda tid med kontinuerlig rådgivning och stöttning till oss under hela arbetet. Vi vill också tacka Jan Westermark för att varit behjälplig under arbetet. Slutligen vill vi tacka vår ämnesgranskare Dana Salar för sin feedback under arbetsgången.

Uppsala, Maj 2025

Benjamin Grönvik & Joel Törnqvist

Innehållsförteckning

1 Introduktion 1
1.1 Bakgrund 1
1.2 Problembeskrivning 2
1.3 Syfte 2
1.4 Frågeställningar 2
1.5 Avgränsningar 2
2 3D-skanning 4
2.1 3D-skanningsteknik 4
2.2 Centrala begrepp inom 3D-skanning 5
2.3 Tidigare arbeten inom 3D-skanning 5
3 Metod 7
3.1 Design av studien 7
3.1.1 Produktutvecklingsprocessen 8
3.1.2 USA - principen 9
3.2 Datainsamlingsmetod 9
3.2.1 Litteraturstudie 9
3.2.2 Experiment 10
3.2.3 Uppföljningsmöten 10
3.3 Dataanalys 10
3.3.1 Kvalitativ och kvantitativ utvärdering 10
3.3.2 Artec Studio 11
3.3.3 Pugh's konceptvalsmatris 11
3.4 Validitet och reliabilitet 12
3.5 Etiska ställningstaganden 13
4 Experiment 14
4.1 Experimentuppställning 14
4.2 Experimentresultat 16
4.2.1 En rörelsefrihetsgrad 16
4.2.2 Två rörelsefrihetsgrader 17
4.2.3 Tre rörelsefrihetsgrader 18
4.2.4 Fyra rörelsefrihetsgrader 19
4.3 Utvärdering av experimentresultat 19
5 Distans- och rotationskrav 21
6 Produktkrav 24

6.1 Elektromekanisk styrning 24
7 Konceptgenerering 26
7.1 Koncept för linjär rörelse i X- och Z-led 26
7.1.1 Kulskruv med glidstänger 26
7.1.2 Kulskruv med hjulplatta 27
7.1.3 Kulskruv med styrskena 27
7.1.4 Banddrift med glidstänger 27
7.1.5 Kuggstångsdrift 28
7.2 Koncept för roterande platta 29
7.2.1 Planetväxel 29
7.2.2 Remdrift 29
7.2.3 Kugghjulsdrift 30
7.2.4 Direktdrift med stegmotor 31
7.3 Koncept för rotation av 3D-skanner 31
7.3.1 Rotation med stegmotor/servomotor 31
7.3.2 Rotation med skruv 32
7.4 Konceptval 33
7.4.1 Linjär rörelse i X-led och Z-led 33
7.4.2 Cirkulär rörelse kring Z-led 34
7.4.3 Cirkulär rörelse kring Y-led 35
8 Slutgiltig uppställning 36
8.1 Detaljkonstruktion 36
8.1.1 Konstruktion av linjär rörelse i X-led 36
8.1.2 Konstruktion av rotation i Z-led 37
8.1.3 Konstruktion av linjär rörelse i Z-led 38
8.1.4 Konstruktion av rotation kring Y-led 40
8.1.5 Huvudsammanställning 42
8.2 Tillverkning av uppställning 43
8.3 Testning av uppställning 47
8.3.1 Uppställningens skanningsresultat 47
9 Analys 50
9.1 Frågeställning 1 - Rörelsekrav 50
9.2 Frågeställning 2 - Konstruktion av uppställning 50
9.3 Utvärdering av uppställningen med avseende på rörelsekraven 50
9.4 Utvärdering av uppställningen med avseende på produktkraven 51

10 Diskussion 54
10.1 Reflektion av resultat 54
10.2 Tekniska insikter och förbättringsförslag 55
10.3 Användarbarhet och framtida tillämpning 55
10.4 Metoddiskussion 55
11 Slutsatser 57
11.1 Slutsatser frågeställningar 57
11.2 Förslag på fortsatt arbete 58
12 Referenser 59
Bilaga 1: Användarkravspecifikation 1
Bilaga 2: Inköpta komponenter till uppställningen 1

Tabellförteckning

Tabell 1: Centrala begrepp inom 3D-skanning och deras definitioner 4
Tabell 2: Tidsåtgång och antal bilder från experiment 1 4
Tabell 3: Tidsåtgång och antal bilder från experiment 2 8
Tabell 4: Tidsåtgång och antal bilder från experiment 3 8
Tabell 5: Tidsåtgång och antal bilder från experiment 4 12
Tabell 6: Produktspecifikation för Artec Space Spider (Artec 3D, 2016) 14
Tabell 7: Rörelsekraven av rörelse för 3D-skanner för att generera en komplett 3D-modell för objekt i storleksklassen 30 - 400 mm 15
Tabell 8: Tabell över de krav på funktionalitet och prestanda som önskas uppfyllas av uppställningen 15
Tabell 9: Pugh-matris för koncept av rörelse i X-led 16
Tabell 10: Pugh-matris för koncept av rörelse i Z-led 16
Tabell 11: Pugh-matris för cirkulär rörelse kring Z-led 17
Tabell 12: Pugh-matris för cirkulär rörelse i Y-led 17
Tabell 13: Tidsåtgång och antal bilder från första testskanningen med uppställningen 18
Tabell 14: Tidsåtgång och antal bilder från fullständiga testskanningen med uppställningen 18
Tabell 15: Tabell över rörelsekraven som sammanställdes i avsnitt 5 19
Tabell 16: Tabell över de krav på funktionalitet och prestanda som önskas uppfyllas av uppställningen 19

Figurförteckning

Figur 1: Illustrering av 3D-skanning med strukturerat ljus (Manufacturing Guide, 2025) 4
Figur 2: Illustration av triangulering (Manufacturing Guide, 2025) 4
Figur 3: Enkelt flödesschema över studiens arbetsgång 8
Figur 4: Illustrering av den generella produktutvecklingsprocessen (Ulrich & Eppinger, 2014) 8
Figur 5: Typexempel för utformning av Pughs konceptvalsmatris (Ulrich & Eppinger, 2012) 12
Figur 6: Foto på experimentuppställning med objektorientering 1 14
Figur 7: Objektorientering 2 15
Figur 8: Objektorientering 3 15
Figur 9: Framsida av resulterande 3D-modell från experiment 1 16
Figur 10: Framsida av resulterande 3D-modell från experiment 1 16
Figur 11: Framsida av resulterande 3D-modell från experiment 2 17
Figur 12: Baksida av resulterande 3D-modell från experiment 2 17
Figur 13: Framsida av resulterande 3D-modell från experiment 3 18
Figur 14: Baksida av resulterande 3D-modell från experiment 3 18
Figur 15: Framsida av resulterande 3D-modell från experiment 4 19
Figur 16: Baksida av resulterande 3D-modell från experiment 4 19
Figur 17: Beräkning av distanskrav 22
Figur 18: Konceptskiss av linjär rörelse med kulskruv och glidstänger 26
Figur 19: Konceptskiss kulskruv med hjulplatta 27
Figur 20: Konceptskiss kulskruv med styrskena 27
Figur 21: Konceptskiss banddrift med glidstänger 28
Figur 22: Konceptskiss kuggstångsdrift 28
Figur 23: Konceptskiss planetväxel 29
Figur 24: Konceptskiss planetväxel snittad vy 29
Figur 25: Konceptskiss remdrift i tre vyer 30
Figur 26: Konceptskiss kugghjulsdrift i två vyer 30
Figur 27: Konceptskiss direktdrift med stegmotor 31
Figur 28: Snittad vy av konceptskiss för direktdrift med stegmotor 31
Figur 29: Konceptskiss rotation av skanner med stegmotor 32
Figur 30: Konceptskiss manuell rotation av skanner med skruv 32
Figur 31: Slutliga X-ledskonstruktionen 36
Figur 32: Konstruktion av rotation kring Z-led 37
Figur 33: Exploderad vy av konstruktionen av rotation kring Z-led 37
Figur 34: Konstruktion av fastmontering av X-led och rotation kring Z-led 38
Figur 35: Konstruktion för linjär rörelse i Z-led 39
Figur 36: Inzoomning på botten av konstruktionen av linjära rörelsen i Z-led 40
Figur 37: Konstruktion av glidblock och dess integrerade funktionalitet 41
Figur 38: Konstruktion av skannerrotation med markering för hålplaceringar på rotationsaxel 42
Figur 39: Sammansatta huvudsammanställning 42
Figur 40: Inslagsmutter och handborrat hål 43
Figur 41: Del av undersida av basplattan med inslagna inslagsmuttrar 43
Figur 42: Färdig uppställning vy 1 44
Figur 43: Färdig uppställning vy 2 45

Figur 44: Rotationsaxel fäst med buntband 45
Figur 45: Skruv för rotation av skanner med tillagt handtag 46
Figur 46: Lagerhus X-led utan lager 46
Figur 47: Lagerhus Z-led utan lager fäst med T-spårsskruvar 46
Figur 48: Grafiskt kopplingsschema för en knapp 47
Figur 49: Framsida av 3D-modell vid 3D-skanning med resulterande uppställning efter tre objektorienteringar 48
Figur 50: Baksida av 3D-modell vid 3D-skanning med resulterande uppställning efter tre objektorienteringar 48
Figur 51: Framsida av 3D-modell vid 3D-skanning med resulterande uppställning 49
Figur 52: Baksida av 3D-modell vid 3D-skanning med resulterande uppställning 49

1 Introduktion

I detta kapitel presenteras en introduktion till arbetet i form av en bakgrund och en problembeskrivning samt en definition av arbetets syfte med tillhörande frågeställningar.

1.1 Bakgrund

3D-skanning har blivit en teknik med breda användningsområden. Tekniken används bland annat i flera steg inom produktutvecklingsprocessen. På grund av teknikens möjlighet att samla exakt data snabbt och precist är den brett använd inom industriell design men även inom design av skräddarsydda produkter (Haleem et al, 2022; Shaikh, 2024). Tidigare hade vissa mätningar varit tidskrävande och kostnadsineffektiva men 3D-skanning har märkbart effektiviserat mätningsprocesser och arbetsflöden inom produktutveckling. Sjukvårdssektorn har gynnats speciellt mycket med hjälp av 3D-skanning under framtagning av skräddarsydda medicinska produkter som proteser. 3D-skanning sparar tid, energi och kostnader genom färre skapade prototyper och enklare modifiering av befintliga produkter. Effektiviseringen har bidragit till ökad kvaliteten på produkter på marknaden (Haleem et al, 2022).

Trots effektivisering av mätningar med 3D-skanningstekniker, anses manuell 3D-skanning som en tidskrävande process som innefattar en del utmaningar. En av svårigheterna är att ha rätt hastighet under skanning då för snabba rörelser kan leda till förlust av spårning och försämrad datainsamling. En annan utmaning är risken att skanna i fel vinkel vilket kan orsaka bildskuggor och dubbla konturer (3DMakerPro, 2024).

Automation möjliggör för mer effektiva och intelligenta processer (Bong, 2022). 3D-skanning i kombination med automation är en lösning på många av de utmaningar som finns inom kvalitetskontroll och produktionsoptimering (Softserve, 2025). Likt automatisering av andra processer ger automation av 3D-skanning en lösning till utmaningar som säkerställande av precision, den mänskliga faktorn samt ekonomiska fördelar med mindre arbetskostnader för manuella inspektioner och mätningar. Genom att ersätta manuella metoder med automatiserade processer kan företag minska produktionsfel, spara tid och förbättra arbetsflöden (Groover, 2015).

En central aspekt till styrkan med automation är att de generellt drivs av elektriska drivdon. Den elektromekaniska styrningen är en förutsättning för att automatiska processer utförs och kan repeteras med hög precision (A3, 2024). Genom att utföra uppgifter med elektromekanik istället för manuell styrning bidrar det till minskade kostnader kopplat till den processen. Den elektromekaniska styrningens repeterbarhet ökar möjligheter till konsekvent kvalitet av processens resultat och konsekvent processtakt vilket därmed leder till färre kostsamma stillestånd (Bong, 2022).

1.2 Problembeskrivning

Vid användning av en manuell, handhållen 3D-skanner på Prevas AB i Uppsala har flera problem identifierats, särskilt vid skanning av större objekt och objekt med komplex geometri. Dessa problem påverkar både arbetsmiljön på företaget och kvaliteten på den slutliga 3D-modellen och kan delas in i utmaningar relaterade till ergonomi, hantering av stora datamängder och svårigheter med bildsammanfogning.

Handhållen 3D-skanning innebär att en operatör måste hålla och röra skannern i olika positioner och vinklar för att täcka hela objektet. När objekten är stora eller har komplexa former blir detta en utmaning eftersom operatören kan behöva arbeta i obekväma positioner under längre perioder. Att hålla skannern stabil under en längre tid är ansträngande och kan leda till muskeltrötthet, vilket ökar risken för skakningar och minskad precision under insamling av skanningsdata. Särskilt problematiskt blir det vid objekt med inre håligheter eller svårtillgängliga ytor där operatören tvingas vinkla skannern på ett sätt som gör det svårt att bibehålla insamlingen av skanningsdata utan avbrott (3DMakerPro, 2024).

Vid 3D-skanning samlas stora mängder datapunkter som skapar en detaljerad digital representation av objektet. När det gäller stora eller komplexa objekt krävs omfattande datamängder, vilket innebär tidskrävande skanningsprocesser. Vidare är en betydande utmaning i 3D-skanning att optimera antalet bilder och mätpunkter för att skapa en så detaljerad modell som möjligt utan att få orimligt långa bearbetningstider. Om för många bilder tas blir mängden data svårhanterlig, medan för få bilder kan resultera i luckor i modellen (3DMakerPro, 2024).

1.3 Syfte

Syftet med examensarbetet är att konstruera och tillverka en prototyp av en uppställning med elektromekanisk styrning för att minska handhållen, manuell hantering av en 3D-skanningsprocess av unika objekt i storleksklassen 30 – 400 mm.

1.4 Frågeställningar

Följande frågeställningar kommer att användas:

1. Vilka krav ställs på rörelse av 3D-skanner i förhållande till objekt i storlek 30 – 400 mm för att generera en komplett 3D modell?

2. Hur kan en elektromekanisk uppställning konstrueras för att uppfylla de definierade kraven?

1.5 Avgränsningar

Arbetet avgränsas från att skapa ett helautomatiserat system. Istället fokuserar arbetet på att utveckla en operatörstyrd elektromekanisk uppställning som förbättrar användarens möjlighet

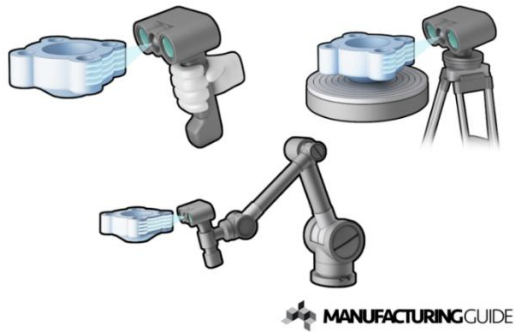
till kontrollerade rörelser under skanning som även ger förutsättningar för ett automatiserat system i framtiden.

2 3D-skanning

I detta kapitel presenteras teori och tidigare forskning som ligger till grund för arbetets problembeskrivning, syfte och frågeställningar.

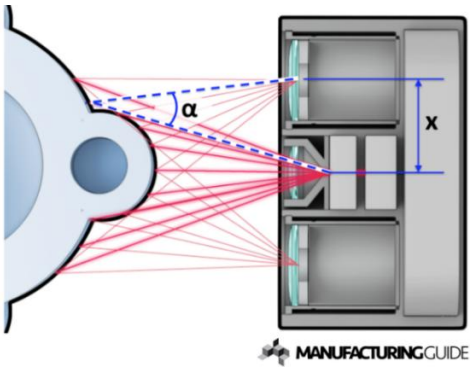
2.1 3D-skanningsteknik

3D-skanning är en process där objekt analyseras och skannas för att skapa en digital version av objektet. 3D-skanning fungerar på det sättet att en skanner, automatiskt eller manuellt styrd, registrerar en mängd geometriska mätpunkter, vilket resulterar i ett punktmoln. Mätpunkter är punkter på objektet som 3D-skannern mäter ifrån och utifrån dessa punkter kan formen på objektet beräknas. En 3D-skanners uppbyggnad består bland annat av sändare, mottagare och belysningslampor. För att skapa en komplett replika av objektet krävs oftast flera skanningar från olika vinklar (Kristiansson, 2016). Se figur 1 för en illustrering av 3D-skanning.



Figur 1: Illustrering av 3D-skanning med strukturerat ljus (Manufacturing Guide, 2025)

Det finns olika 3D-skanningsmetoder men enligt organisationen Manufacturingguide är *Strukturerat ljus-skanning* en av de vanligaste metoderna och är dessutom den metod som används i detta arbete. *Strukturerat ljus-skanning* är en metod som projicerar ett mönster på ett objekt som skall skannas. Mönstret analyseras och omvandlas till geometriska mätpunkter och beräknas med hjälp av en metod som kallas triangulering. Triangulering beräknar läget hos en punkt på ytan utifrån ett avstånd x och vinkel α på reflektion. Sträckan x motsvarar avståndet mellan sändaren och mottagaren i en 3D-skanner. Se figur 2 för en illustrering av triangulering.



Figur 2: Illustration av triangulering (Manufacturing Guide, 2025)

2.2 Centrala begrepp inom 3D-skanning

Inom 3D-skanning finns det väsentliga begrepp som används i arbetet. Dessa är objektgeometri skanningsprecision, skannerupplösning, ljusförhållande, objektmaterial och täckningsgrad. Begreppen och definitioner visas i tabell 1.

Tabell 1: Centrala begrepp inom 3D-skanning och deras definitioner

Begrepp	Definition
Objektgeometri	Med objektgeometri menas formen på objektet. Högre nivåer av komplexitet på formen innebär fler vinklar, håligheter och rundade ytor vilket försvårar skanningsprocessen (3DMakerPro, 2024).
Skanningsprecision	Skanningsprecision innebär hur noggrant en 3D-skanner kan mäta de verkliga måtten på arbetsstycket. Precisionen handlar alltså om hur lik den inskannade modellen är till den verkliga objektgeometrin (Hanaphy, 2024).
Skannerupplösning	Skannerupplösning beskriver det minsta avståndet mellan punkter på ett objekts yta. Mindre avstånd mellan punkter resulterar i mer detaljerade ytor och är mindre kopplat till objektgeometri (Hanaphy, 2024).
Ljusförhållande	Ljusförhållande är det omgivande ljuset i skanningsmiljön som påverkar skannerns förmåga att ta högkvalitativa bilder. För starkt ljus kan orsaka blänk eller reflektion på ytan som skannas och kan leda till ljusa fläckar som skapar inkorrekta bilder. Ojämnt ljus kan leda till skuggor som gör att vissa detaljer döljs och inte skannas korrekt (Hanaphy, 2024).
Objektmaterial	Objektmaterial motsvarar det material som finns på arbetsstycket. Transparenta material påverkar skanningen negativt eftersom en del av ljuset passerar genom ytan (Kristiansson, 2016).
Täckningsgrad	Täckningsgrad är ett mått på hur stor andel av objektets yta som fångats in i skanningen. 100 % täckningsgrad innebär alltså att punktmolnet fångat alla ytor av objektet och att detta finns representerat i den genererade modellen (Grochalski, et al, 2024).

2.3 Tidigare arbeten inom 3D-skanning

Under litteraturstudien undersöktes tidigare automatiserade lösningar för 3D-skanning. Dessa lösningar användes som inspiration vid utvecklingen av en elektromekaniskt styrd uppställning, där fokus låg på att minska manuell hantering snarare än att helautomatisera processen. Även

om arbetet inte omfattar fullständig automation, har koncept från automatiserade system varit värdefulla för att förstå vilka rörelser som är kritiska för ett komplett skanningsresultat och hur dessa kan styras med elektronik och programmering.

Abdullah et al. (2022) kom fram till en lösning för en automatiserad 3D-skanningsprocess. Den slutliga uppställningen använde stegmotorer, och servomotor för att höja och sänka skannern vertikalt, vinkling av skanner samt förflyttning av skanner runt det skannade objektet. Innan startad automatiserad skanning ställs höjd på objekt in och hastigheten för skannerns rörelser. Motorernas rörelser styrdes av en Arduino mega och gav en hög noggrannhet i skanningsprocessen samt eliminerade fel som orsakades av handhållen 3D-skanning (Abdullah et al, 2022).

En ytterligare studie av Alaa Abd-Raheem et al. (2018) undersökte automatisering av en 3D-skanningsprocess baserat på fotogrammetri. Studien kom fram med en lösning där objektet placerades på en disk där en ytterligare ring placerades runt och roterar. En kamera placeras på yttre ringen med ett elektriskt ställdon för att flytta kameran till olika höjder. Bildtagningsprocessen utfördes genom att ta 12 bilder från en första höjd runt objektet för att sedan göra det igen från en annan höjd. För att undvika problem gällande oregelbundna ljusförhållanden byggde de ett yttre hölje med lampor för att få jämnare resultat. Studien upptäckte problem med transparanta och glansiga ytor då mjukvaran hade svårt att processera dessa bilder.

3 Metod

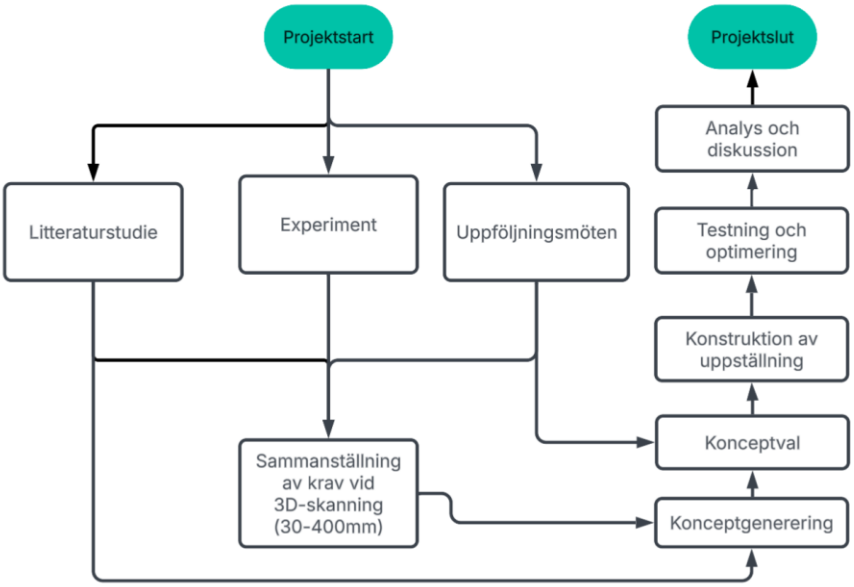
I detta kapitel presenteras tillvägagångsättet för att uppfylla studiens syfte och besvara frågeställningarna.

3.1 Design av studien

Under detta examensarbete har en studie utförts för att förstå och förbättra 3D-skanningsprocessen av objekt i storleken 30–400 mm. Studien kombinerar insamling av både kvalitativa och kvantitativa data genom litteraturstudie, experiment och diskussioner från uppföljningsmöten. Testbara påståenden undersöktes för att dra logiska slutsatser från en given problembeskrivning. Det har dessutom utförts experiment för att bidra med ytterligare grund för att stödja slutsatserna.

För att besvara första frågeställningen, ”*Vilka krav finns på rörelse av 3D-skanner i förhållande till objekt i storlek 30 – 400 mm för att generera en komplett 3D modell?”,* utfördes en litteraturstudie och experiment. Litteraturstudien fokuserade på att identifiera faktorer som påverkar skanningsresultat, såsom objektets geometri, materialegenskaper och skannerns upplösning. De identifierade faktorerna kan därmed tas i hänsyn till under utvärdering av skanningsresultat gällande studiens experiment och testning av slutlig uppställning. Experimenten gick ut på att skanna objekt inom nämnd storleksklass för att förstå rörelsefrihetsgradernas påverkan i genereringen av 3D-modeller genom 3D-skanning. Under experimenten testades en till fyra rörelsefrihetsgrader manuellt genom en testuppställning för att ta reda på hur många som behövdes för att generera en så godtyckligt komplett modell som möjligt ansett från flertalet personer. Vidare beräknades distanskrav på de identifierade rörelsefrihetsgrader utifrån 3D-skannerns produktegenskaper och storleksklassen av objekt som studien behandlar.

Efter att experimenten utförts kunde andra frågeställningen undersökas, *Hur kan en uppsättning konstrueras för att uppfylla de definierade kraven*. För att besvara frågeställningen utfördes ytterligare litteraturundersökning kring tekniska lösningar inom automatisering av 3D-skanning för att få en grund i möjlig elektromekanisk styrning. Tack vare denna litteratursökning samt första frågeställningens resultat genererades och utvärderades koncept på konstruktionen för uppställningen. Det gjordes sedan en konceptsållning med stöd från handledare under uppföljningsmöten och det valda konceptet vidareutvecklades som därefter konstruerades i ett CAD-program. Efter att uppställningen var färdigkonstruerad tillverkades och testkördes uppställningen för att utvärdera skanningsresultaten. Figur 3 visar arbetsprocessen för studien.



Figur 3: Enkelt flödesschema över studiens arbetsgång

3.1.1 Produktutvecklingsprocessen

Då arbetets andra frågeställning gick ut på konstruktion av en elektromekanisk uppställning för 3D-skanning följdes delar av den generella produktutvecklingsprocessen vid detta skede i arbetet (Ulrich & Eppinger, 2014). Ulrich och Eppingers produktutvecklingsprocess innehåller 6 faser. Detta arbete inkluderade aspekter ur de fem första faserna, 0 till och med 4: Planering, konceptutveckling, utveckling på systemnivå, detaljutveckling och testning och förfining, se figur 4 för en illustration av den generella produktutvecklingsprocessen. På grund av att målsättningen inte är att ta fram en produkt för försäljning och att arbetet är menat enbart att bygga en uppställning åt Prevas inkluderades inte sista steget, uppskalning av produktion.

Planeringsfasen innehöll framför allt tillverkningsförutsättningar för att avgränsa konceptgenereringen. Sedan undersöktes möjliga koncept. Rörelsekraven, i detta fall resultaten från frågeställning 1, användes för att generera koncept för design. Under uppföljningsmötena utvärderades tillverkningsbarheten av komponenter och vilka delar av konstruktionen som skulle köpas in. Därmed utvecklades produktarkitekturen, användargränssnitt och elektromekaniska gränssnitt för att sedan definiera detaljgeometrier och material av icke inköpta komponenter. Till sist testades den generella prestandan och möjliga optimeringar utfördes.

Figur 4: Illustrering av den generella produktutvecklingsprocessen (Ulrich & Eppinger, 2014)

3.1.2 USA - principen

USA-principen är en generell metod som används i projekt där något ska automatiseras. USA står för *understand*, *simplify* och *automate*. Metoden går ut på att förstå den befintliga processen, förenkla processen för att slutligen automatisera processen (Groover, 2015). Denna metod har valts eftersom automation och elektromekanisk styrning är nära sammankopplade.

Först studerades den befintliga manuella 3D-skanningsprocessen. Processen analyserades genom observationer av manuella testkörningar. Under denna analysprocess låg fokus på att konfirmera problembeskrivningen och identifiera de största problemen kopplat till moment som ofta går fel eller är utmanande. För att förstå den befintliga processen klarare intervjuades handledare och anställda på Prevas AB med erfarenhet av deras 3D-skanningsprocess. Efter identifiering av problematik kopplat till den befintliga processen undersöktes rörelsekraven för 3D-skanningsprocessen för att förstå hur processen kan optimeras.

När den befintliga processen studerats var nästa steg en simplifiering. En central del av simplifiering av skanningsprocessen var identifiering av rörelsekraven. Genom etablering av de viktigaste rörelserna av skanner i förhållande till objekt kunde rörelsen av skanner simplifieras i jämförelse med den befintliga manuella processen samtidigt som resulterande 3D-modell förblir av hög kvalitet.

Utifrån identifierade rörelsekraven kunde de manuella rörelserna ersättas med elektromekanisk styrning. Först togs konceptuell design fram genom samling av idéer, framtagning av koncept och utvärdering av de genererade koncepten. Idégenereringen gick ut på att komma fram med olika idéer för den elektromekaniska styrningen. Flera grundläggande koncept togs fram. Därefter utvärderades de utifrån bestämda urvalskriterier. Det högst rankade konceptet byggdes därefter upp som sedan testades valideras.

3.2 Datainsamlingsmetod

I detta avsnitt presenteras hur datainsamlingen genomfördes. Datainsamlingen bestod av litteraturstudie, experiment och diskussioner under uppföljningsmöten.

3.2.1 Litteraturstudie

En litteraturstudie genomfördes där tidigare arbeten om 3D-skanning undersöktes för att ge teoretisk bakgrund för projektet. Då automation av 3D-skanning ansågs vara relevant för potentiella lösningar till den elektromekaniska rörelsen av skannern var detta inkluderat i litteratursökningen. De källor som användes var facklitteratur och vetenskapliga artiklar. Tidigare examensarbeten inom området har även använts som medel för att hitta ytterligare relevanta källor. Under litteraturstudien har databaser som scopus, google scholar och Nationalencyklopedin använts. Vid sökning på scopus samt google scholar användes relevanta sökord utifrån problembeskrivningen och syftet. Ledande sökord som togs fram var: 3D-scanning, Automation, optimizing, CAD, Process Analysis, Photogrammetry, Small objects. Utöver böcker och vetenskapliga artiklar användes produktegenskaperna från 3D-skannern som gav väsentlig information som påverkade kraven som ställdes på uppställningen.

3.2.2 Experiment

Experimentens roll i detta arbete var att undersöka frågeställning 1 gällande rörelsekraven under 3D-skanning. Fokus låg på att ta reda på vilka rörelsefrihetsgrader som krävs för att skapa en komplett 3D-modell. En testuppställning konstruerades där skannern kunde röra sig i upp till fyra frihetsgrader, linjärt i X- och Z-led, rotation kring Y-led samt objektets rotation kring Z-led. Experimenten utfördes på ett 3D-printat objekt med medelkomplex objektgeometri där den genererade 3D-modellen kvalitativt kunde jämföras med originalmodellen. Under varje test skannades objektet i olika konfigurationer. För varje test registrerades skanningstid och antal insamlade bilder. De genererade modellerna granskades kvalitativt och kvantitativt för att bedöma täckningsgrad och skanningsprecision. Resultaten låg till grund för att definiera rörelsekraven som redovisas i tabell 7.

3.2.3 Uppföljningsmöten

Regelbundna uppföljningsmöten med diskussioner kring arbetet har genomförts mellan examensarbetare, handledare och medarbetare på företaget. Under uppföljningsmötena diskuterades problem, potentiella lösningar och önskemål från företaget gällande arbetet. Mötenas syfte var att se till att arbetets delmoment hålls inom rimliga tidsramar, att den framtagna lösningen uppfyllde önskade krav och för att examensarbetarna skulle få råd och vägledning till ett lyckat projekt. Uppföljningsmötena liknade ostrukturerade intervjuer och användes som en form av datainsamlingsmetod. Mötena bidrog till en början med att få en enkel grund för det fortsatta arbetet. De gav djupare förståelse för problembeskrivningen och vilken väg som initialt skulle tas för att lösa problemen. Längre fram i projektet gav uppföljningsmötena kvalitativa data gällande vilka designlösningar som ansågs lämpliga samt vad för komponenter som skulle köpas in och vilka som skulle tillverkas på plats baserat på tid, budget och tillgänglig utrustning. Under uppföljningsmötena i början av arbetet sammanställdes en användarkravspecifikation som redovisas i bilaga 1.

3.3 Dataanalys

3.3.1 Kvalitativ och kvantitativ utvärdering

För att avgöra hur komplett en 3D-modell är efter utförd 3D-skanning jämförs den med den fysiska modellen och kvaliteten av 3D-skanningen diskuterades mellan examensarbetarna, handledare och andra på företaget för att få en bredare bild av vad som anses vara en komplett 3D-modell eller ett godkänt 3D-skanningsresultat. Resultaten analyserades utifrån kriterier såsom skanningsprecision, täckningsgrad och hur väl svåråtkomliga ytor kunde hanteras.

För att välja antalet rörelsefrihetsgrader som den slutliga uppställningen behövde, togs kvantitativa data i beaktning. Den kvantitativa data som samlades in under experimenten var antalet bilder och skanningstiden för varje experiment. Genom att analysera dessa parametrar, kombinerat med bedömning av täckningsgraden för varje experiment, kunde lämpligt antal rörelsefrihetsgrader bestämmas.

För att fastställa nödvändiga rörelsesträckor för varje frihetsgrad analyserades produktspecifikationen för den använda 3D-skannern. Dessa specifikationer låg till grund för

beräkning av distanskrav, vilket i sin tur användes för att rörelsekrav för uppställningen skulle bli fullt definierade.

CAD-program användes för att sätta samman olika delar av uppställningen och undersöka rörelser och möjliga kollisioner mellan komponenter. Den digitala modellen låg till grund för tillverkningsbarhet och den fysiska uppställningen låg till grund för utvärdering av användarvänlighet och hur väl uppställningen mötte de definierade produktkraven. För att vidare utvärdera uppställningen gjordes det även en jämförelse mellan experimentens skanningsresultat och uppställningen skanningsresultat.

3.3.2 Artec Studio

Artec Studio är en programvara som har använts för att efterbearbeta och analysera data från Artecs 3D-skannrar. Programmet använder sig av realtidsbehandling av punktmoln och bilder, vilket möjliggör följning av skanningsprocessen direkt på datorskärmen. Användaren tillåts även att korrigera fel såsom hål i modellen, överskottsdata och felaktiga sammanfogningar. Efterbearbetningen kan antingen göras manuellt i programmet eller göras automatiskt med en funktion som heter ”autopilot”. En viktig funktion i Artec Studio som utnyttjats under examensarbetet är möjligheten att automatiskt sammanfoga flera skanningar med hjälp av algoritmer som bygger på så kallad ”global registration”, som betyder att programmet justerar flera skanningar till varandra i ett gemensamt koordinatsystem. Denna metod förbättrar noggrannheten och kvaliteten på 3D-modellen (Artec 3D, 2024). I detta examensarbete har Artec Studio använts för att samla in, justera och efterbearbeta skanningsdata som erhållits från både manuell skanning och skanning med den elektromekaniska uppställningen.

3.3.3 Pugh’s konceptvalsmatris

Pughs konceptvalsmatris är en metod för att jämföra och utvärdera designkoncept på ett systematiskt sätt (Ulrich & Eppinger, 2014). Metoden går ut på att identifiera breda och betydelsefulla urvalskriterier att utgå från för att jämföra koncept mot varandra. Dessa kan vara kostnad, funktionalitet, genomförbarhet användarvänlighet etc. För varje etablerat urvalskriterium betygsätts koncepten på en 5-gradig skala: --, -, 0, +, ++, utifrån ett valt referenskoncept. Betygen summeras för att få en bild av vilket koncept som är lämpligast för vidareutveckling. Genom denna metod blir beslut gällande konceptval mer strukturerat och objektivt då fördelar och nackdelar presenteras tydligt för varje koncept. Ett exempel på en generell matris visas i figur 5.

	Concepts						
Selection Criteria	**A Master Cylinder**	**B Rubber Brake**	**C Ratchet**	**D (Reference) Plunge Stop**	**E Swash Ring**	**F Lever Set**	**G Dial Screw**
Ease of handling	0	0	–	0	0	–	–
Ease of use	0	–	–	0	0	+	0
Readability of settings	0	0	+	0	+	0	+
Dose metering accuracy	0	0	0	0	–	0	0
Durability	0	0	0	0	0	+	0
Ease of manufacture	+	–	–	0	0	–	0
Portability	+	+	0	0	+	0	0
Sum +'s	2	1	1	0	2	2	1
Sum 0's	5	4	3	7	4	3	5
Sum –'s	0	2	3	0	1	2	1
Net Score	2	–1	–2	0	1	0	0
Rank	1	6	7	3	2	3	3
Continue?	Yes	No	No	Combine	Yes	Combine	Revise

Figur 5: Typexempel för utformning av Pughs konceptvalsmatris (Ulrich & Eppinger, 2012)

Genom inspiration från tidigare arbete inom 3D-skanning, uppföljningsmöten och generering av egna idéer skapades koncept för uppställningen. Koncepten användes sedan i Pugh's konceptvalsmatris för att enklare kunna jämföras mot varandra genom ett visst antal urvalskriterier som identifierades av examensarbetare och handledare.

3.4 Validitet och reliabilitet

Studiens validitet bedöms som god eftersom de metoder som använts har valts utifrån syftet och frågeställningarna. Den inre validiteten stärks av att det finns en tydlig koppling mellan teori, metod och analys. Den yttre validiteten bedöms som god eftersom arbetets tillvägagångssätt och resultat även kan användas för liknande objekt i andra storlekar eller i andra industrisammanhang.

För att säkerställa att experimenten var konsekventa utfördes alla tester i samma fysiska miljö med samma belysning. Skannern kalibrerades innan experimenten och utfördes enligt tillverkarens instruktioner för att undvika avvikelser påverkade av skannern. Samma testuppställning användes vid varje experiment samt samma objekt och typ av rörelser där endast antalet rörelsefrihetsgrader ändrades. Efterbearbetningen på Artec Studio hölls lika för varje experiment för att endast antalet rörelsefrihetsgrader skulle bidra till skillnad i skanningsresultat.

Subjektiva bedömningar kontrollerades genom triangulering. Utvärdering av skanningskvaliteten utfördes dels genom visuell bedömning av modellens täckningsgrad och detaljnivå. Detta skedde genom diskussion mellan examensarbetare, handledare och andra medarbetare på företaget. Genom att bredda perspektiven och väga samman olika bedömningar minskar risken för partiskhet i bedömningar. Denna kvalitativa data jämfördes med den kvantitativa data från experimenten vilket, efter analys, stärker reliabiliteten i

slutsatserna. Detta tillvägagångssätt möjliggör för en mer nyanserad och objektiv bedömning av vad som betraktas som godkänt skanningsresultat.

3.5 Etiska ställningstaganden

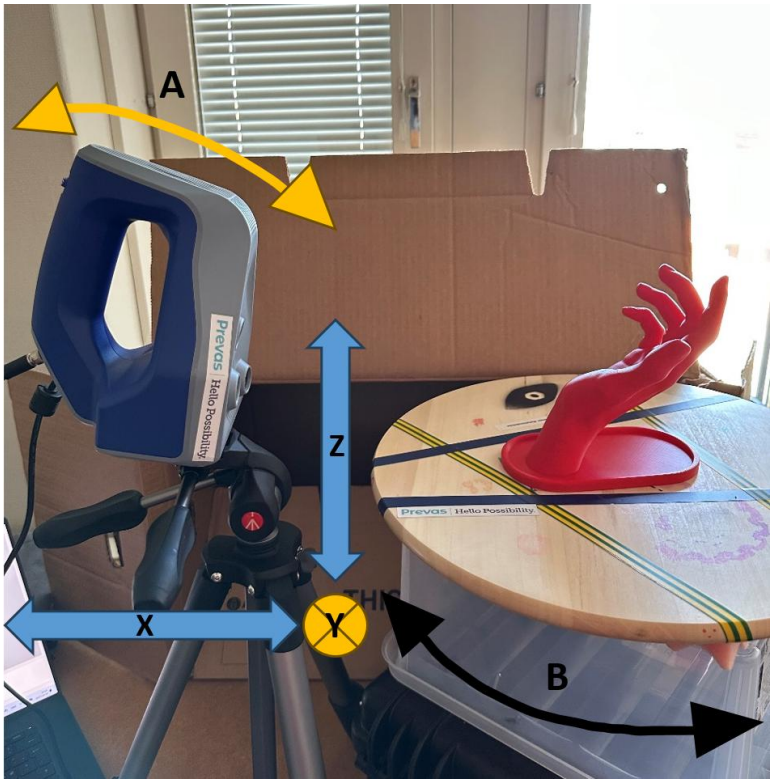
Eftersom den manuella 3D-skanningsprocessen inte används frekvent hos Prevas AB, och med hänsyn till den tidigare beskrivna problembeskrivningen, bedömer författarna att arbetet är etiskt och moraliskt försvarbart. Den föreslagna lösningen innebär inte en fullständig automatisering, utan en mekaniserad styrning av skannern som avlastar användaren och förbättrar ergonomi samt arbetsmiljö. Projektet utgör även ett förberedande steg inför eventuell framtida automation, vilket möjliggör en successiv omställning utan att direkt påverka arbetstillfällen. Författarna anser vidare att lösningen möjligen kommer att frigöra tid för medarbetare att fokusera på mer kvalificerade och värdeskapande arbetsuppgifter. Detta förväntas bidra till både ökad effektivitet och arbetsglädje inom organisationen. Under projektets gång har informella samtal och möten med personal på Prevas AB genomförts, vilket gett värdefulla insikter. Alla deltagare har fått möjlighet att anonymiseras för att säkerställa öppenhet i svaren, och eventuell konfidentiell information har hanterats med sekretess.

4 Experiment

I följande avsnitt presenteras experimenten under arbetet som har legat till grund för sammanställningen av rörelsekrav för att generera en komplett 3D-modell vid 3D-skanning.

4.1 Experimentuppställning

Inför experimenten gällande rörelsefrihetsgraderna ställdes en experimentuppställning upp. Uppställningen bestod av en roterande platta varpå objektet placerades. För att rörelserna endast skulle ske i testad rörelsefrihetsgrad monterades 3D-skannern på ett kamerastativ eftersom den ansågs lämplig då den möjliggjorde enskild och simultan förflyttning av skannern i de testade rörelsefrihetsgraderna. I figur 6 visas denna uppställning och koordinatsystemet.

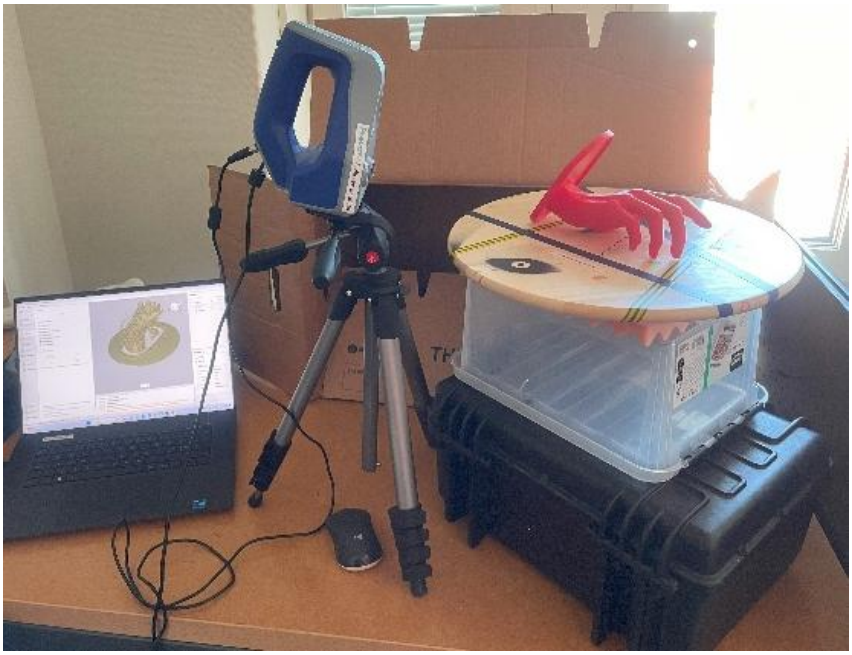


Figur 6: Foto på experimentuppställning med objektorientering 1

Rörelserna i de olika leden utfördes manuellt under de olika testerna. Rörelsen i Z-led gjordes genom att höja och sänka med hjälp av tripodens inbyggda funktion för detta. Rörelse i X-led gjordes genom att linjärt flytta tripoden närmre och längre från objektet längs bordet. Rotationen av skannern runt Y-axeln (A i figur 6) genomfördes med tripodens inbyggda funktioner samt vinkling av hela tripoden. Rotering av rotationsplattan runt Z-axeln (B i figur 6) gjordes manuellt. Monteringen av skannern gjordes enkelt med tripodens inbyggda fästningsskruv som passade till skannerns fästningsgänga. Under varje experiment utfördes 3 skanningar med olika orienteringar av objektet. Därmed behandlar dessa experiment hur rörelsefrihetsgrader under *aktiv* skanning påverkar resultaten men att objektet kan orienteras

annorlunda mellan skanningar, figur 6, 7 och 8 visar de olika objektorienteringarna. Med *aktiv* skanning menas tiden då skannern samlar bilder. Tidtagning togs för varje utförd skanning med tidtagarur samt data gällande tagna bilder av skannern togs från Artec Studio. Efter att 3 skanningar utförts efterbearbetas datan på samma sätt under alla experimenten för att resultaten enbart ska spegla påverkan av rörelsefriheten och inte bero på efterarbetet. Under experimenten utfördes de olika rörelserna simultant. Exempelvis kunde rotationen av plattan (B i figur 6) utföras samtidigt som höjning och sänkning av skanner i Z-led. Varje skanning avslutades när operatören ansåg att alla möjliga datapunkter hämtats för den objektorienteringen.

Figur 7: Objektorientering 2



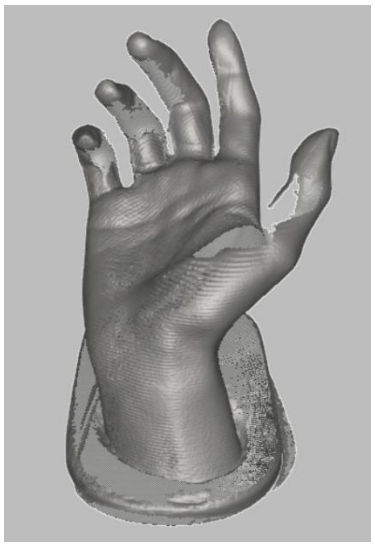
Figur 8: Objektorientering 3

4.2 Experimentresultat

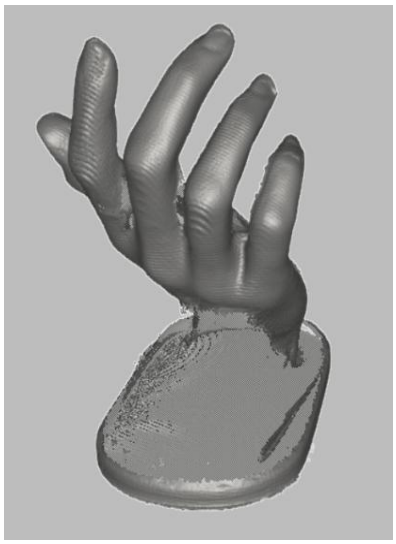
Fyra olika experiment utfördes, där antalet rörelsefrihetsgrader successivt ökade från en till fyra. Det genomfördes totalt tre skanningar i varje experiment, en skanning per objektorientering, som sammanfogades till en resulterande 3D-modell under efterbearbetningen.

4.2.1 En rörelsefrihetsgrad

Under första experimentet testades endast rotation runt Z-led, det vill säga rotering av rotationsplattan. Resultaten från experiment 1 visas i figur 9, 10 och tabell 2.



Figur 9: Framsida av resulterande 3D-modell från experiment 1



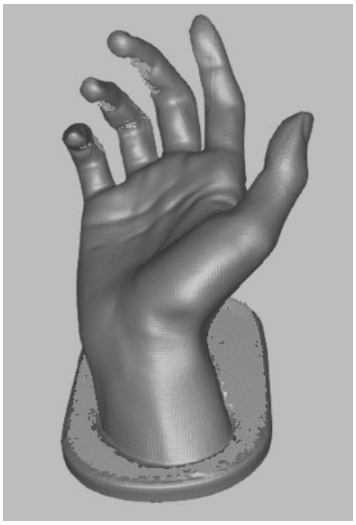
Figur 10: Framsida av resulterande 3D-modell från experiment 1

Tabell 2: Tidsåtgång och antal bilder från experiment 1

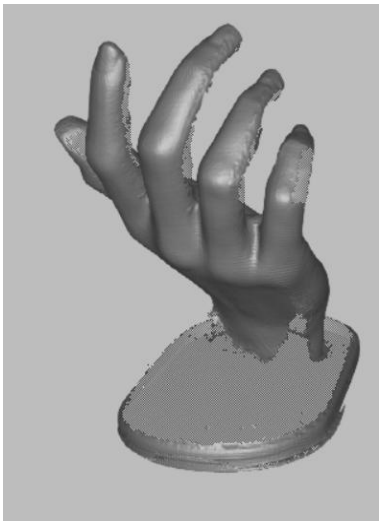
Objektorientering	Tid	Antal bilder
1	1 min	432
2	1 min 24 sek	499
3	1 min 21 sek	462
Totalt	3 min 45 sek	1393

4.2.2 Två rörelsefrihetsgrader

Under experiment två testades rotation av rotationsplattan samt linjär rörelse i Z-led. Resultaten av skanning med två rörelsefrihetsgrader visas i figur 11, 12 och tabell 3.



Figur 11: Framsida av resulterande 3D-modell från experiment 2



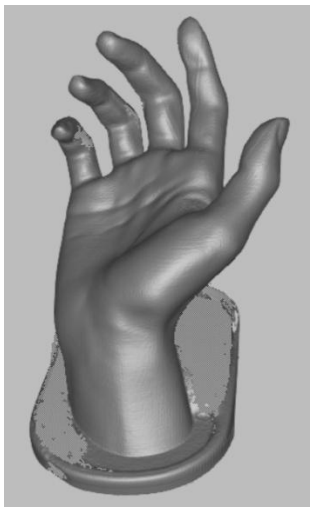
Figur 12: Baksida av resulterande 3D-modell från experiment 2

Tabell 3: Tidsåtgång och antal bilder från experiment 2

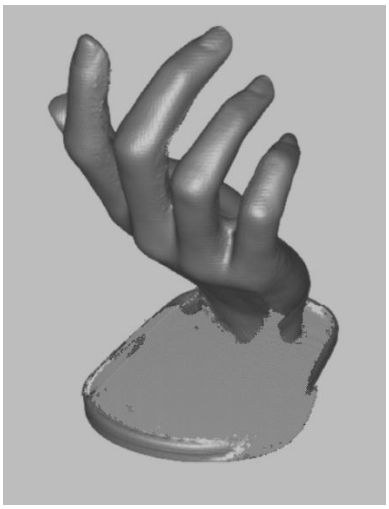
Objektorientering	Tid	Antal bilder
1	1 min	336
2	2 min 15 sek	777
3	1 min 50 sek	517
Totalt	5 min 5 sek	1630

4.2.3 Tre rörelsefrihetsgrader

Det tredje experimentet utfördes med 3 rörelsefrihetsgrader, rotation av plattan, förflyttning av skannern i både Z- och X-led. Resultaten av experiment tre visas i figur 13, 14 och tabell 4.



Figur 13: Framsida av resulterande 3D-modell från experiment 3



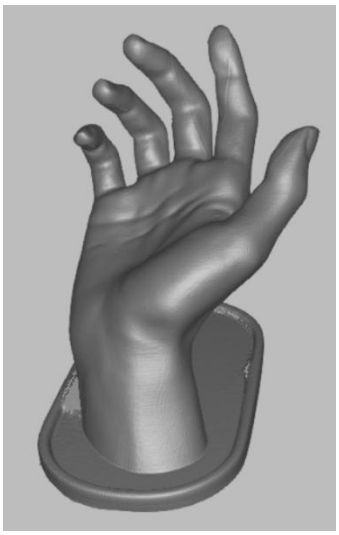
Figur 14: Baksida av resulterande 3D-modell från experiment 3

Tabell 4: Tidsåtgång och antal bilder från experiment 3

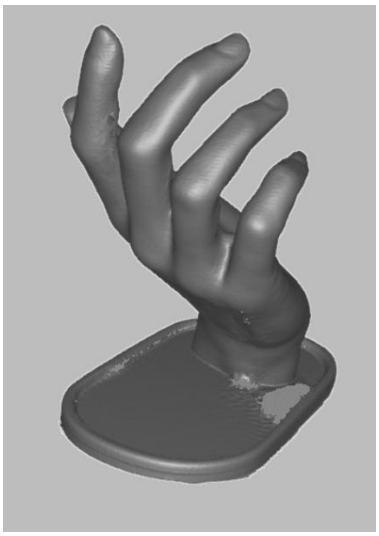
Objektorientering	Tid	Antal bilder
1	2 min 36 sek	711
2	1 min 46 sek	464
3	2 min 15 sek	555
Totalt	6 min 37 sek	1730

4.2.4 Fyra rörelsefrihetsgrader

Under experiment 4 användes ytterligare en rörelsefrihetsgrad, rotation av skannern kring Y-led. Resultaten av experiment 4 visas i figur 15, 16 och tabell 5.



Figur 15: Framsida av resulterande 3D-modell från experiment 4



Figur 16: Baksida av resulterande 3D-modell från experiment 4

Tabell 5: Tidsåtgång och antal bilder från experiment 4

Objektorientering	Tid	Antal bilder
1	3 min	751
2	3 min 36 sek	789
3	2 min 43 sek	560
Totalt	9 min 19 sek	2100

4.3 Utvärdering av experimentresultat

Skanningsresultaten från *experiment 1* ansågs vara otillräckliga. Stora mängder av tummens och fingrarnas geometrier saknades. Skannern lyckades inte samla datapunkter från handens basplatta och stora delar av handryggen saknades. Stora delar av handens yta fick även grövre ränder jämfört med den faktiska modellen.

Experiment 2 visade stora förbättringar i skanningsupplösningen på ytan av handen. Dessa två frihetsgrader resulterade även i upptagning av stora delar av handryggens geometrier. Däremot saknades fortfarande datapunkter från tummen och fingrar samt helt saknad geometri av handens basplatta.

Under *experiment 3* ökade kvaliteten av skanningen ytterligare. Handen blev nästintill komplett förutom ett fåtal datapunkter på lillfingret. Tredje experimentet resulterade dock inte i

förbättring av skanning av handens basplatta utan snarare att den blev sämre och att färre delar av handledens baksida saknades. Även om skanningsresultaten av basplattans blev sämre i tredje experimentet jämfört med det andra experimentet anses detta inte vara på grund av ökat antal rörelsefrihetsgrader utan orsaken anses bero på mänskliga faktorer.

Resultaten förbättrades i *experimentet 4* i jämförelse med *experiment 3*, främst i handens basplatta. Den genererade 3D-modellen anses vara tillräckligt komplett för detta examensarbete trots att den saknade en del i handens basplatta.

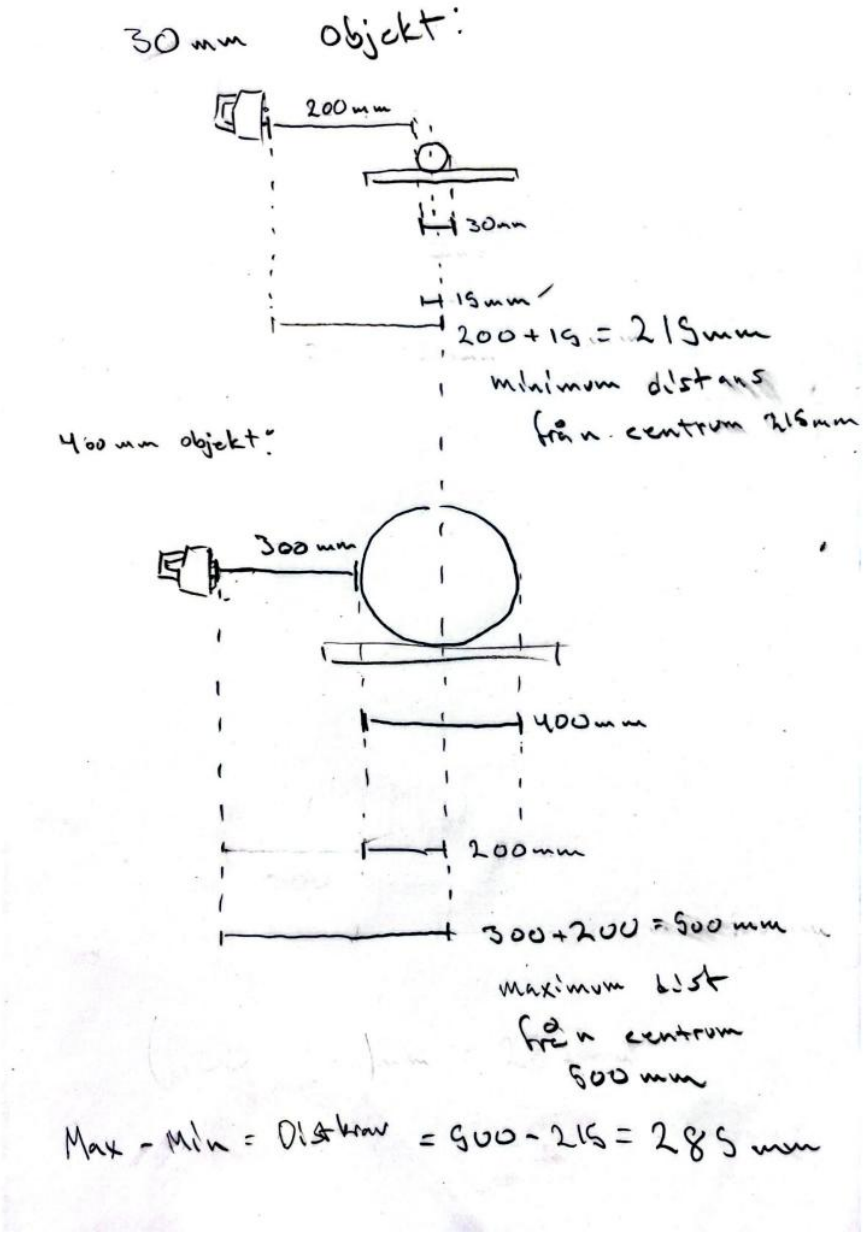
5 Distans- och rotationskrav

En viktig aspekt av rörelsekraven är skannerns arbetsområde. Rörelsefrihetsgradernas distanser och vinklar behöver bestämmas för att få fram arbetsområdet. Den tidigare nämnda 30 – 400 mm storleksklassen samt skannerns specifikationer behövdes för att ta reda på uppställningens arbetsområde. Produktspecifikationen för skannern visas i tabell 6.

Tabell 6: Produktspecifikation för Artec Space Spider (Artec 3D, 2016)

Attribut:	Artec Space Spider:
Arbetsavstånd	0.2 - 0.3 m
3D-ljuskälla	Blue LED
3D-rekonstruktionshastighet	7.5 fps
Datahastighet	1 miljoner punkter per sekund
Vikt	0.8 kg
Storlek (H x L x B)	190 × 140 × 130 mm

Då Artec Space Spider har ett arbetsavstånd på 0.2 – 0.3 m, och studien behandlar objekt i storlek 30–400 mm, beräknades distanskraven till ett avstånd på 285 mm. Vid skanning av minsta objekt och kortast distans mellan objekt och skanner blir avståndet 215 mm. Vid skanning av största objekt och längsta distans mellan skanner och objekt blir avståndet 500 mm. Beräkningarna visas i figur 17. Artec Space Spider använder sig av Blue LED som ljuskälla vilket gör att den inte påverkas av vardagliga ljusförhållanden.



Figur 17: Beräkning av distanskrav

För att säkerställa att hela objektet skannades korrekt, behövde skannern ha möjlighet att täcka hela höjden på objektet och eftersom arbetet behandlar objekt i storleksklassen 30 – 400 mm önskas den linjära rörelsen i Z-led ha en slaglängd på 400 mm. Om skannern inte kunde röra sig vertikalt över hela höjden i förhållande till objektet, finns risken att delar av objektet inte registrerades, vilket leder till ofullständig data. Detta ökar behovet av fler objektorienteringar vilket bidrar till mer efterbearbetning. Mer efterbearbetning innebär fler skanningar som ska passas ihop för att skapa den slutliga 3D-modellen och leder till högre risk för kvalitetsbrister i det slutliga resultatet.

Skannern behövde kunna nå runt objektets samtliga sidor och därmed, relativt objektet, förflytta sig i en cirkulär bana runt objektet, motsvarande 360 grader. Det innebar att rotationen av rotationsplattan måste kunna rotera fullt ut, alltså 360 grader.

Kraven på rotation av skanner kring Y-led är svårare att definiera då det är starkt beroende av objektgeometri och objektets möjliga objektorienteringar. På grund av det sätts ett värde på 45 grader i båda riktningar för att uppnå hög flexibilitet i avseende på objektgeometrier.

6 Produktkrav

Utifrån experimenten med testuppställningen och de beräknade distanskraven gjordes det en uppskattning på rörelsekraven som användes för att gå vidare i arbetet som visas i tabell 7.

Tabell 7: Rörelsekraven av rörelse för 3D-skanner för att generera en komplett 3D-modell för objekt i storleksklassen 30 - 400 mm

3.1	Skannern skall kunna förflyttas minst 285 mm linjärt i X-led i förhållande till objektet
3.2	Skannern skall kunna förflyttas minst 400 mm linjärt i Z-led i förhållande till objektet
3.3	Skannern skall kunna roteras 45 grader kring Y-led i båda riktningar
3.4	Objektet skall, i förhållande till skanner, kunna roteras 360 grader kring Z-led i båda riktningar

Ytterligare krav på uppställningen togs fram i samarbete med uppdragsgivare under uppföljningsmöten och visas i tabell 8.

Tabell 8: Tabell över de krav på funktionalitet och prestanda som önskas uppfyllas av uppställningen

2.1	Skanningsprocessen skall inte överstiga 4 timmar
2.2	Styrningen skall ske elektromekaniskt för att minska manuell finmotorik
2.3	Uppställningen skall kunna justera avståndet mellan skanner och objekt för att kompensera för storleksskillnader för olika objekt
2.4	Uppställningen skall tillåta att det finns minst 4 frihetsgrader för skannern i förhållande till objektet
2.5	Antalet oåterställda spårningsavbrott per skanning ska vara 0 under normal användning
2.6	Användaren skall inte behöva inta mer än 0 statiska eller obekväma ställningar under skanning längre än 5 minuter
2.7	Utrustningen skall kunna demonteras/fällas ihop till en totalvolym som ryms i en låda med mått 320 x 555 x 355 mm (H x B x L)
2.8	Uppställningen skall vara försedd med limitswitchar för att kunna stoppa oönskade rörelser

6.1 Elektromekanisk styrning

För att uppfylla de fastställa produktkraven användes elektromekanisk styrning för att hantera rörelser av en 3D-skanner i flera frihetsgrader. Genom användning av stegmotorer, som rör sig i definierade steg, kan systemet noggrant styra positioner och rotationsvinklar (Stigab, 2025). Styrningen skedde med en mikrokontroller, i detta fall en Arduino UNO, som skickar styrsignaler till motorerna via motorstyrdon (Arduino, 2018). Det användes en CNC-sköld v3 som monterades på Arduinon för att möjliggöra enklare inkoppling och styrning av flera motorer.

CNC-skölden erbjuder även anslutningar för upp till fyra stegmotordrivare. I detta arbete användes tre stegmotorer med respektive stegmotordrivare. Det installerades även en jumper på CNC-skölden vilket möjliggör att motordrivarna får en specifik spänning för att driva motorerna. Gränslägesbrytare (limit switches) installerades även för de två linjära rörelserna för att förbättra säkerheten och tillförlitligheten i uppställningen. Dessa brytare fungerar som en återkopplingsmekanism som förhindrar att användaren oavsiktligt orsakar skador på uppställningen på grund av felaktig manövrering.

I detta arbete har denna typ av styrning valts som en kompromiss mellan manuell kontroll och helautomatisk skanning, vilket också skapar potential för framtida vidareutveckling mot automation.

7 Konceptgenerering

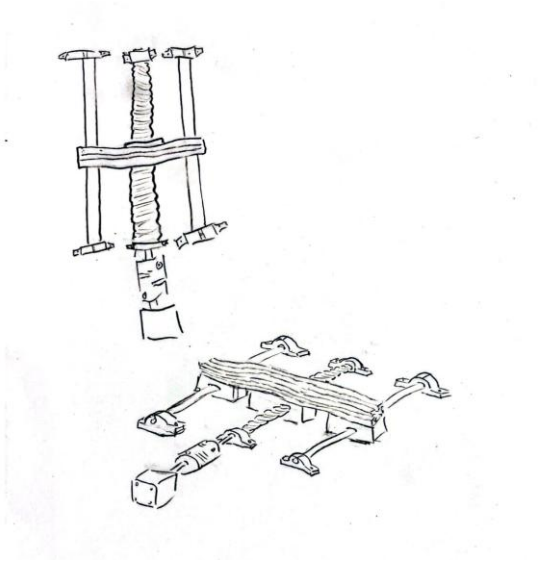
I följande avsnitt redovisas arbetets konceptgenereringsmoment. Konceptgenereringen börjar med att skissa upp koncept för potentiella styrningar för de etablerade rörelsekraven. Konceptgenereringen fokuserar främst på själva mekanismen för rörelserna och har mindre fokus på detaljerad komponentdesign. Dessa utvärderas därefter i en Pugh matris för vardera rörelser för att välja vilka koncept som kommer användas till en funktionell prototyp på den elektromekaniska uppställningen.

7.1 Koncept för linjär rörelse i X- och Z-led

Då rörelserna i X- och Z-led var linjära gjordes koncept för båda rörelserna simultant. Koncepten utvärderas därefter separat med olika förutsättningar då de är vinkelräta mot varandra och att det möjligtvis påverkar implementationsmöjligheterna.

7.1.1 Kulskruv med glidstänger

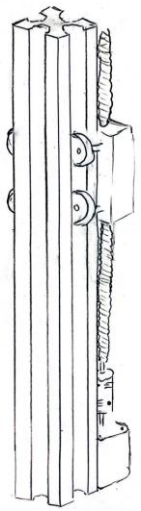
Första konceptet för linjär rörelse bestod av kulskruv med glidstänger, se figur 18. Kulskruven drivs av en motor och de är sammankopplade med en axelkoppling. Parallellt med kulskruven finns två linjärskenor med glidblock. Kuggstången driver en trapetsmutter som är fäst på ett block. Blocket och de två glidblocken vardera sida är fästa med varandra i denna skiss, med en aluminiumprofil. En kulskruv använder en gängad stång tillsammans med en mutter för att omvandla roterande rörelse till linjär rörelse. Beroende på applikationens behov kan olika stigningar och diametrar väljas på gängningen av kulskruven. Högre stigning ger högre hastighet, lägre stigning ger högre precision och större diametrar på ledstången ger högre styvhet i systemet. Fördelarna med kulskruvsställdon är lägre kostnad jämfört med exempelvis remdrift (PBC Linear, 2020).



Figur 18: Konceptskiss av linjär rörelse med kulskruv och glidstänger

7.1.2 Kulskruv med hjulplatta

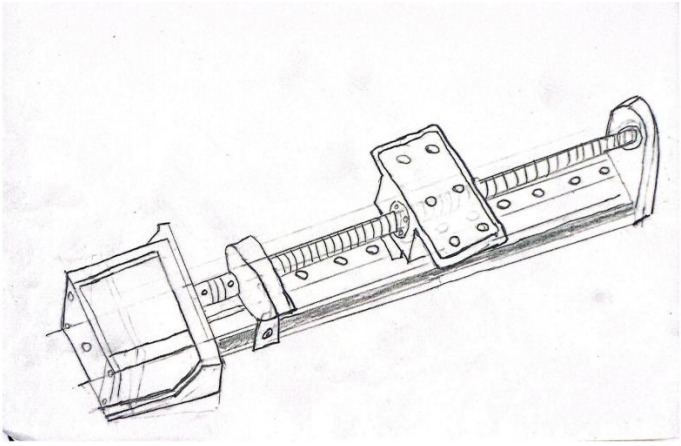
Ett alternativ till första konceptet för linjära rörelsen var kuggstång med hjulplatta till aluminiumprofil, se figur 19. Med detta koncept var det tänkt att hjulen kan sitta i olika spår i aluminiumprofilen och inte specifikt som de gör i skissen. Tanken med konceptet var att minska kostnaden genom att inte använda glidstänger och glidblock.



Figur 19: Konceptskiss kulskruv med hjulplatta

7.1.3 Kulskruv med styrskena

Att utföra linjär rörelse med hjälp av kulskruv och styrskena medför en kompakt design med hög noggrannhet och lång livslängd. Nackdelen med denna lösning är dock att kulskruv tillsammans med styrskena leder till höga kostnader jämfört med andra lösningar (THK, 2025). I figur 20 redovisas en skiss på konceptet.

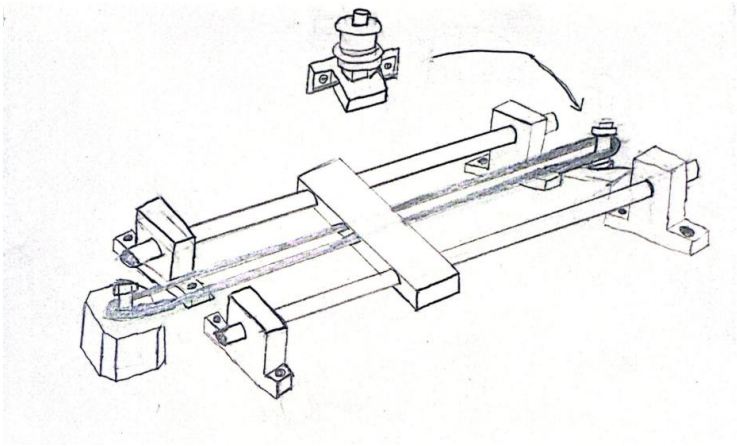


Figur 20: Konceptskiss kulskruv med styrskena

7.1.4 Banddrift med glidstänger

Ett remdrivet ställdon omvandlar roterande rörelse till linjär rörelse med hjälp av en tandrem. Tandremmen hakar fast i kuggremskivor som överför vridmoment. Tandremmen är ansluten till en vagn som följer med remmen när den drivande kuggremskivan roterar (PBC Linear, 2020). Fördelarna med denna typ av linjär styrning är huvudsakligen vid applikationer med långa slaglängder där högre linjära hastigheter önskas, vanligtvis upp till 6 meter. Remdrivets ställdon

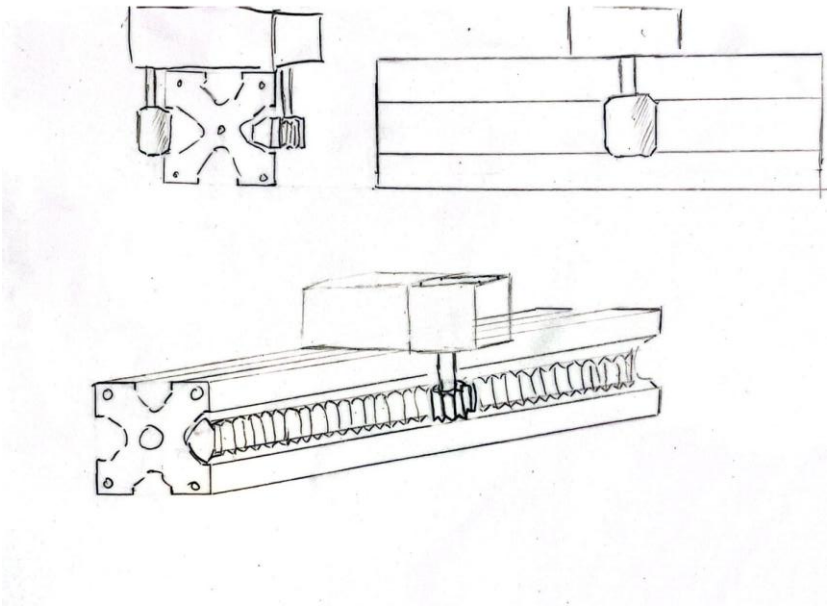
erbjuder hög effektivitet, lägre krav på hög inmatningshastighet i inmatningsaxeln och längre kontinuerligt arbete (PBC Linear, 2020). Generella nackdelar är en högre investeringskostnad till skillnad från andra linjära ställdon på grund av krav på till exempel högre vridmoment vid inmatningsaxeln. Remdrivna ställdon har lägre noggrannhet och repeterbarhet i positionering jämfört med till exempel ställdon drivna med kulskruv eller ledskruv (PBC Linear, 2020). En konceptskiss på banddrift med glidstänger redovisas i figur 21.



Figur 21: Konceptskiss banddrift med glidstänger

7.1.5 Kuggstångsdrift

En kuggstångsdrift (se figur 22) omvandlar roterande rörelse till linjär rörelse eller tvärtom och består generellt sett av kuggstång och kugghjul försedda med tänder (Oemmotor, 2015). Eftersom kugghjulets och kuggstångens tänder passar ihop, leder det till exakt kontroll av rörelse vilket ökar kuggstångsdriftens precision. Nackdelen med kuggstångsdrift är att tänderna på kuggstången och kugghjulet slits ned med tiden, vilket kräver regelbundet underhåll eller byten av delar (Richconn, 2024).

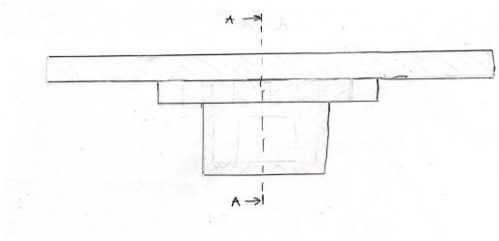


Figur 22: Konceptskiss kuggstångsdrift

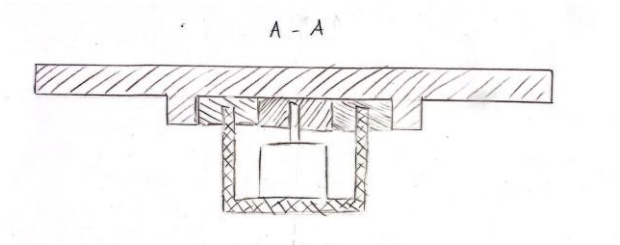
7.2 Koncept för roterande platta

7.2.1 Planetväxel

Planetväxel är ett effektivt sätt att överföra vridmoment och rotationshastighet (Gd-admin, 2019). Planetväxeln består av tre huvudkomponenter, solhjulet, planethjulen och ringhjulet. Solhjulet sitter centralt i planetväxeln och är den ingående drivkraften till systemet. Vridmomentet från solhjulet förs över till planethjulen och i sin tur till ringhjulet som i konceptet är integrerat med rotationsplattan. I figur 23 och 24 visas en enkel konceptskiss på en möjlig planetväxellösning för rotationsplattan.



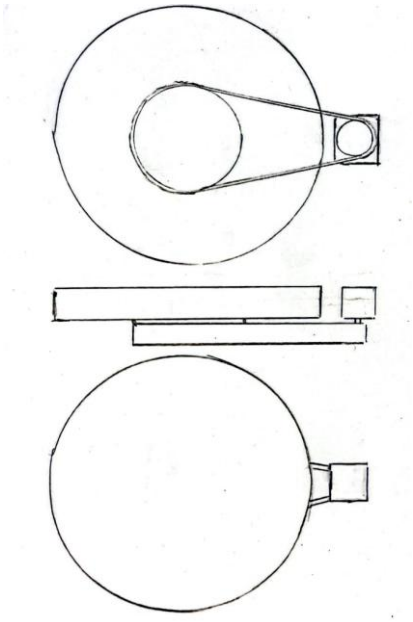
Figur 23: Konceptskiss planetväxel



Figur 24: Konceptskiss planetväxel snittad vy

7.2.2 Remdrift

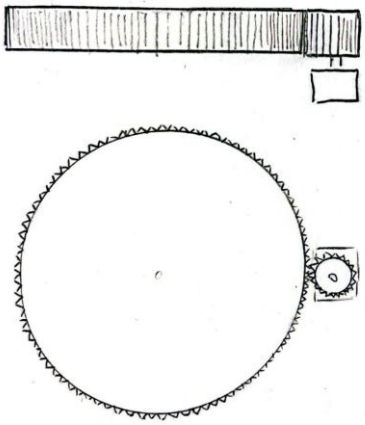
Figur 25 visar konceptskiss för remdrift. Remdrift drivs i de flesta fallen med friktion och överför kraft mellan två eller fler axlar med att hjälpa utav remskivor och en elastisk rem (Sild, 2022). Remdrift har hög effektivitet och kan jobba i ett brett span av hastighets- och effektkrav. Jämfört med kugg- och kedjedrift har remdrift högre toleranser för feljusteringar och är märkbart mindre kostsamt att installera eller underhålla jämfört med kedjedrift. Problem som uppstår under remdrift med släta band är att det kan uppstå slip vilket innebär att bandet tappar greppet på remskivan.



Figur 25: Konceptskiss remdrift i tre vyer

7.2.3 Kugghjulsdrift

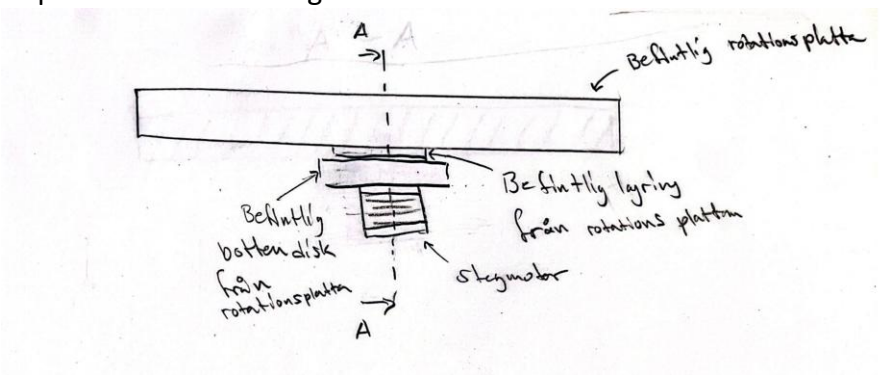
Figur 26 visar konceptskiss för kugghjulsdrift av plattan. Tanken med konceptet är att rotationsplattan är ett stort kugghjul som drivs av ett mindre kugghjul kopplad till en stegmotor. Likt konceptet med kuggstång för de linjära rörelserna ger kuggdrift hög precision men att kuggtänderna slits ner under drift.



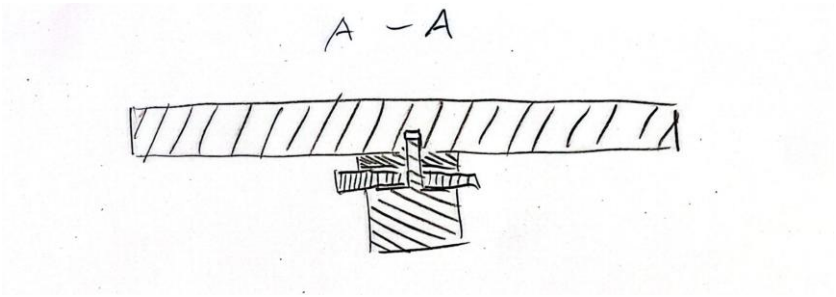
Figur 26: Konceptskiss kugghjulsdrift i två vyer

7.2.4 Direktdrift med stegmotor

Det sista koncept för rotation av plattan visas i figur 27 och 28. Vid diskussion med handledare uppkom idén om att rotera plattan med direktdrift samt att använda den befintliga manuella rotationsplattan. Utifrån den befintliga rotationsplattan skissades ett koncept upp för direkt drift av rotationsplattan utan utväxling.



Figur 27: Konceptskiss direktdrift med stegmotor

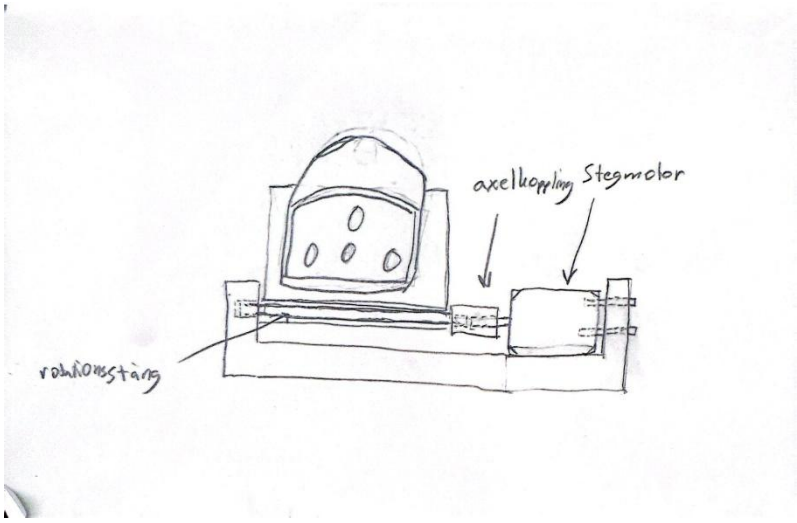


Figur 28: Snittad vy av konceptskiss för direktdrift med stegmotor

7.3 Koncept för rotation av 3D-skanner

7.3.1 Rotation med stegmotor/servomotor

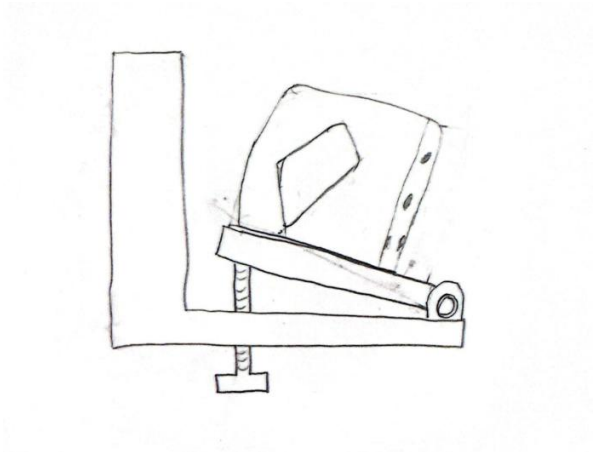
Första konceptet för rotation av skanner är att rörelsen drivs av antingen stegmotor eller servomotor (se figur 29). Detta koncept fungerar genom att en stegmotor eller servomotor driver en rotationsstång. Rotationsstången är en del av ett rotationsfäste, vilket leder till att fästet vinklar sig. Skannern sitter i sin tur fastskruvad i fästet vilket leder till rotation av skannern i hög noggrannhet. Figur 30 visar konceptet uppskissad med stegmotor.



Figur 29: Konceptskiss rotation av skanner med stegmotor

7.3.2 Rotation med skruv

Det sista konceptet för rotation av skanner visas i figur 30 och var en mekanisk lösning istället för en elektromekanisk lösning. Vid eventuell brist på tid ansågs detta vara lämpligt att överväga eftersom det innebär en enklare konstruktion. Detta koncept fungerar genom att användaren skruvar på en skruv som sitter i ett gängat hål. Skruven kommer i sin tur att trycka på rotationsfästet som skannern är monterad på och lyfta ena änden vilket leder till att skannern vinklar sig.



Figur 30: Konceptskiss manuell rotation av skanner med skruv

7.4 Konceptval

Under uppföljningsmöten med handledare utvärderades de olika koncepten. Utifrån diskussion valdes urvalskriterierna som var lätt att konstruera, kostnad, stadighet, lätt att underhålla och noggrannhet. Dessa användes som urvalskriterier i Pughs konceptvalsmatris.

De identifierade urvalskriterierna för val av koncept var:

- **Enkel att konstruera.** Uppskattning av hur enkel konstruktionen är att tillverka för att uppnå de definierade rörelsekraven. Innebär konceptet många tillverkade komponenter med komplex konstruktion? Är komponenter kopplat till konceptet möjligt att tillverka med 3D-printning?
- **Kostnad.** Avser vad konceptet kommer kräva i kostnader avseende material och inköpta komponenter.
- **Stadighet.** Hur stabil och robust rörelse ger konceptet?
- **Underhållsvänlig.** Bedömning av hur enkelt det är att underhålla och byta ut komponenter.
- **Noggrannhet.** Hur noggrann rörelsen är, alltså hur exakta positioneringar ger konceptet möjlighet till?

Under diskussionerna betygsattes koncepten från dessa urvalskriterier enligt en femgradig skala: --, -, 0, +, ++. Koncepten kan få ”++” eller ”- -” vid väldigt bra prestanda eller väldigt dålig prestanda i urvalskriteriet. Varje koncept får därefter ett sammanslaget betyg och koncepten rangordnas därefter.

7.4.1 Linjär rörelse i X-led och Z-led

Tabell 9: Pugh-matris för koncept av rörelse i X-led

	Koncept: Linjär rörelse i X-led				
Urvalskriterier	**Referenskoncept:** Kulskruv med glidstänger	Kulskruv med hjulplatta	Kulskruv med styrskena	Banddrift med glidstänger	Kuggstångsdrift
Enkel att konstruera	0	-	0	0	0
Kostnad	0	+	-	0	-
Stadighet	0	--	0	0	--
Underhållsvänlig	0	--	-	0	-
Noggrannhet	0	--	--	--	-
Summa	0	-6	-4	-2	-5

Tabell 10: Pugh-matris för koncept av rörelse i Z-led

	Koncept: Linjär rörelse i Z-led				
Urvalskriterier	**Referenskoncept:** Kulskruv med glidstänger	Kulskruv med hjulplatta	Kulskruv med styrskena	Banddrift med glidstänger	Kuggstångsdrift
Enkel att konstruera	0	-	0	0	0
Kostnad	0	+	-	0	-
Stadighet	0	--	0	0	--
Underhållsvänlig	0	--	-	0	0
Noggrannhet	0	--	--	--	-
Summa	0	-6	-4	-2	-3

För den linjära rörelsen i X-led och Z-led valdes första konceptet, där rörelsen ska göras genom en kulskruv med stöd av glidstänger. Utifrån diskussioner under uppföljningsmötena valdes kulskruv att bytas ut med ledskruv. En kulskruv erbjuder högre verkningsgrad till skillnad från ledskruven men är dyrare och riskerar att, utan tillagd broms, röra sig nedåt i Z-led då den är riktad vinkelrätt mot marken och påverkas av gravitationen. Eftersom de positiva egenskaperna för kulskruv inte ansågs nödvändiga för denna applikation valdes ledskruven.

7.4.2 Cirkulär rörelse kring Z-led

Tabell 11: Pugh-matris för cirkulär rörelse kring Z-led

	Koncept: Cirkulär rörelse kring Z-led			
Urvalskriterier	**Referenskoncept:** Planetväxel	Remdrift	Kugghjul drift	Direktdrift med stegmotor
Enkel att konstruera	0	+	0	++
Kostnad	0	+	0	++
Stadighet	0	0	-	-
Underhållsvänlig	0	+	0	+
Noggrannhet	0	-	-	-
Summa	0	+2	-2	+3

Efter utvärdering av den cirkulära rörelsen kring Z-led bedömdes direktdrift som det lämpliga alternativet främst på grund av dess enkla konstruktion i förhållande till de andra, se tabell 11. Behov av transmissioner ansågs inte nödvändiga efter utvärderingen av koncepten och att direktdrift med stegmotor ansågs tillräcklig. Stegmotorers förmåga till noggrann positionering uppfyller noggrannhetskraven medan kostnad och underhåll hålls på en lägre nivå.

7.4.3 Cirkulär rörelse kring Y-led

Tabell 12: Pugh-matris för cirkulär rörelse i Y-led

	Koncept: Cirkulär rörelse i Y-led		
Urvalskriterier	**Referenskoncept:** Servomotor	Stegmotor	Skruvlösning
Enkel att konstruera	0	0	++
Kostnad	0	-	+
Stadighet	0	+	0
Underhållsvänlig	0	+	0
Noggrannhet	0	+	--
Summa	0	+2	+1

För elektromekanisk styrning av rotation kring Y-led ansågs stegmotorlösningen som det mest optimala alternativet på grund av dess stadighet, underhållsvänlighet och noggranna rörelsekontroll, se tabell 12. Men efter vidare diskussion med handledare ansågs en manuell, mekanisk styrning lämpligast främst med tanke på projektets tidsram. Denna lösning ansågs som tillräcklig för att uppfylla projektets syfte att minska den handhållna operationen av 3D-skannern samtidigt som den är mer praktisk och genomförbar inom projektets tidsram.

8 Slutgiltig uppställning

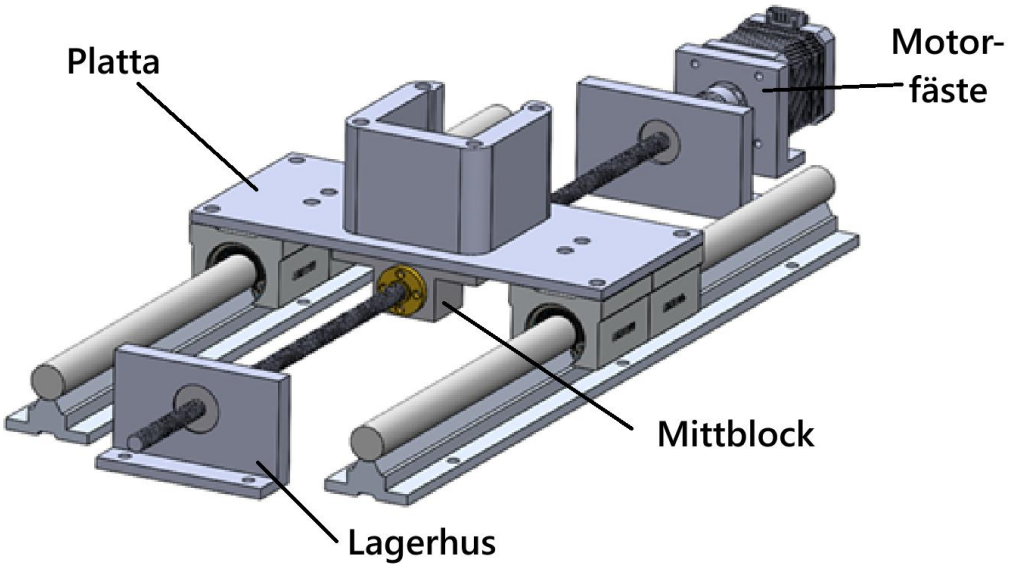
I följande avsnitt redovisas detaljkonstruktionen, tillverkning, testning och skanningsresultat av den slutliga uppställningen.

8.1 Detaljkonstruktion

Efter att konceptvalet hade slutförts påbörjades detaljkonstruktion av hela uppställningen i Solidworks. Under CAD-modelleringen anpassades designen för att möta de tidigare satta kravspecifikationerna så mycket som möjligt. Dessutom togs montagevänlighet och 3D-printbarhet i beaktning där handledare delade med sig av sina kunskaper och erfarenheter. Flertalet delar, såsom lagerhus, fästen till glidstänger, motorfästen, glidblock och skannerhållare, designades för additiv tillverkning och producerades i företagets 3D-printer och designades med enkelhet i åtanke för att spara tid och material vid 3D-printning. Konstruktionen designades även utifrån fästelement som fanns tillgängliga på företaget.

8.1.1 Konstruktion av linjär rörelse i X-led

Figur 31 visar den slutliga X-ledskonstruktionen. Av de mekaniska komponenterna för rörelsen i X-led köptes stegmotor, motoraxelkoppling, ledskruv, ledskruvsmutter och glidblock med tillhörande linjärskenor. Utifrån komponenternas dimensioner designades övriga delar. Dessa var lagerhus, motorfäste, mittblock där ledskruvsmuttern fästs, plattan som fästs med mittblocket och glidblocken. Plattan fungerar även som ett motorhus för motorn till den roterande plattan.

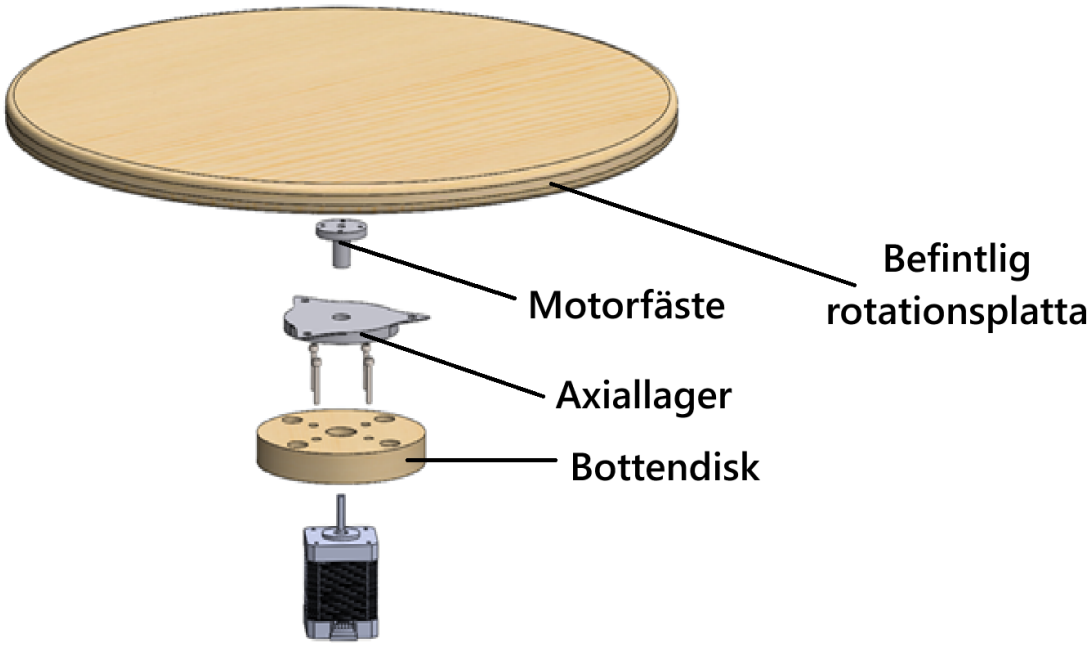


Figur 31: Slutliga X-ledskonstruktionen

8.1.2 Konstruktion av rotation i Z-led

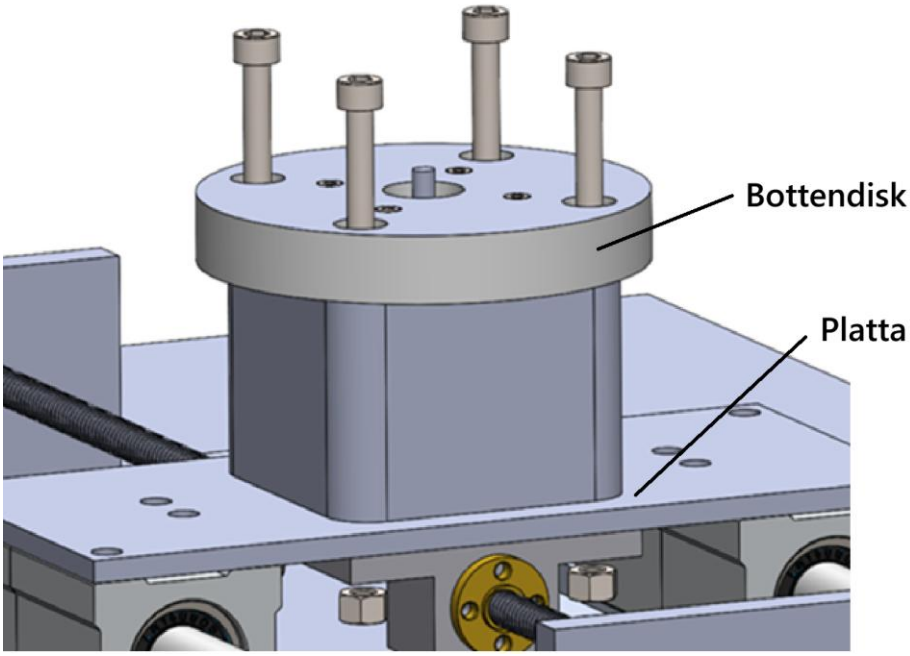
Rotationen kring Z-led konstruerades baserat på objektplattformen och lagringen av rotationsplattan som användes under experimenten. Därmed var de egenkonstruerade motorfäste och bottendisk, se figur 33. För att driva rotationsplattan konstruerades ett motorfäste som skruvas direkt in i en försänkning på rotationsplattans undersida och kopplas med motorn via ett hål format efter motorns axel. Motorkopplingen skruvas in i rotationsplattan i en försänkning. Därefter skruvas lagringen fast i rotationsplattan och kan placeras på bottendisken med hål för motorkoppling och skruvar för både motorfästning och fästning i X-ledsplattans motorhus. Se figur 32 och 33 för konstruktionen av direktdrift med stegmotor för rotation kring Z-led.

Figur 32: Konstruktion av rotation kring Z-led



Figur 33: Exploderad vy av konstruktionen av rotation kring Z-led

I figur 34 visas fästningen mellan X-led och rotationsplattan. För att montera X-led med den roterande plattan användes skruvar och muttrar. De fäste både X-led och dess mittblock med den roterande plattan vilket även möjliggöra den linjära rörelsen i X-led.

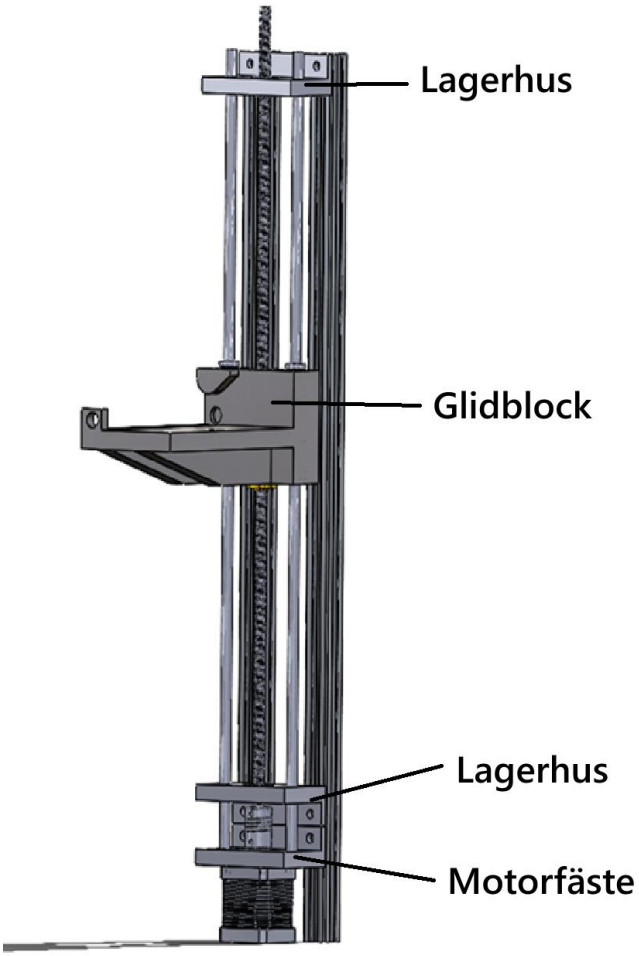


Figur 34: Konstruktion av fastmontering av X-led och rotation kring Z-led

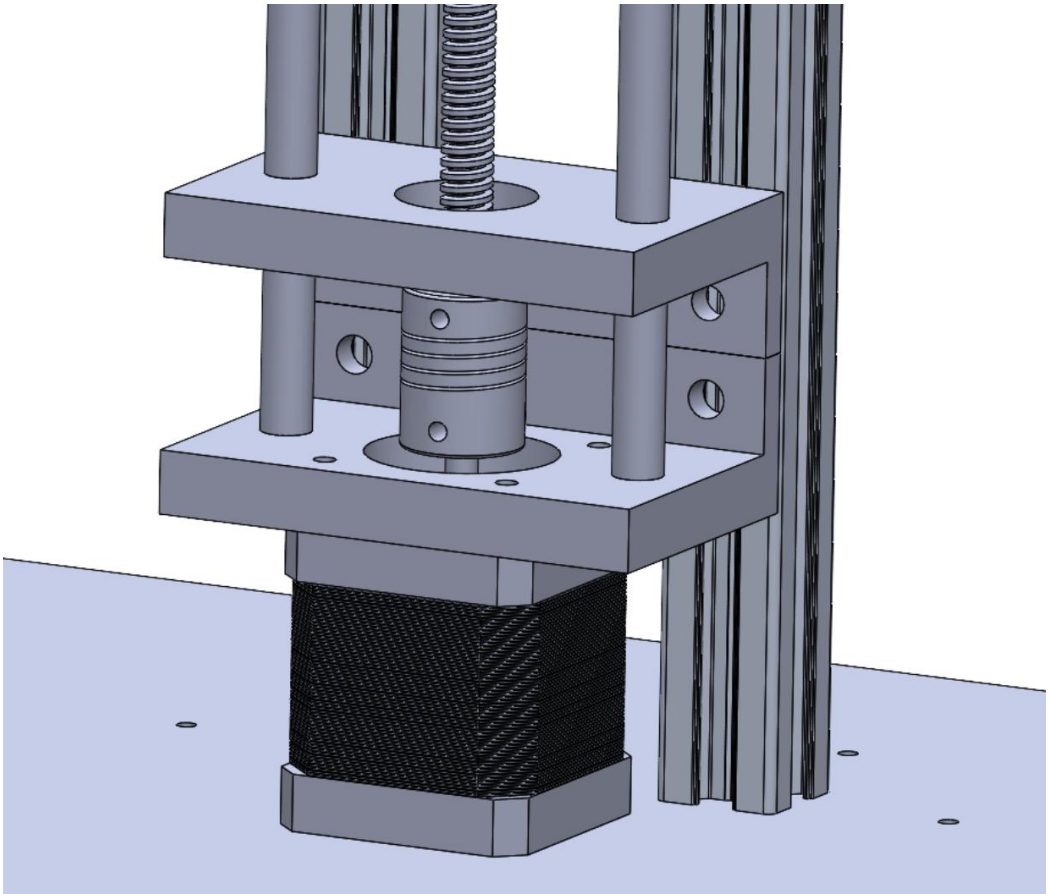
8.1.3 Konstruktion av linjär rörelse i Z-led

Figur 35 visar konstruktionen för linjära rörelsen i Z-led och rotation kring Y-led (rotation av skanner). För den linjära rörelsen i Z-led användes inköpta aluminiumprofiler, glidstänger, linjärglidlager, ledskruv, ledskruvsmutter, motoraxelkoppling och stegmotor. Utifrån dessa konstruerades resterande komponenter.

Det L-formade lagerhusen i figur 35 utformades med samma geometrier som för X-led men med hål för glidstängerna med spelpassning. Motorfästet utformades med samma princip men med försänkningar där glidstängerna fästs med presspassning och skruvhål till motorn, detta visas även i figur 36. För att fästa konstruktionen i basplattan skulle vinkelfästen som fästs i aluminiumprofilerna användas. De två vinkelfästena konstruerades inte i CAD då de redan fanns tillgängliga hos uppdragsgivare, utan deras hålplaceringar bestämdes genom fysisk mätning med skjutmått, och hålen på basplattan placerades därefter, se figur 36. Dessa hål gjordes i två orienteringar för att få mer monteringsflexibilitet och valmöjligheter av var det anses lämpligast att förankra Z-ledskonstruktionen.



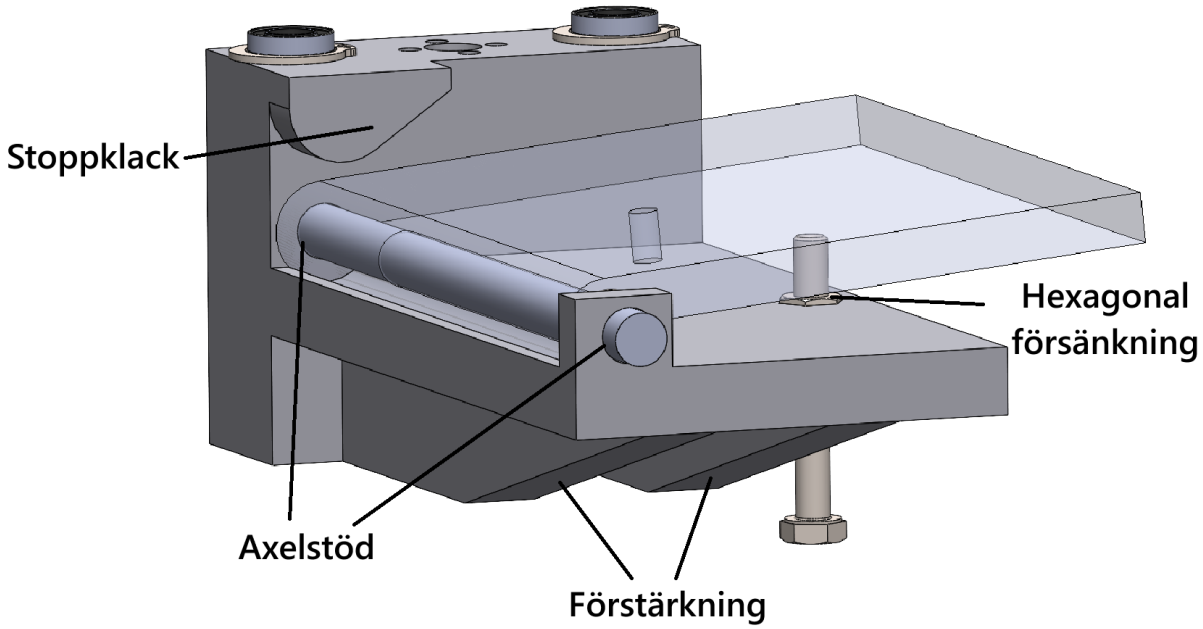
Figur 35: Konstruktion för linjär rörelse i Z-led



Figur 36: Inzoomning på botten av konstruktionen av linjära rörelsen i Z-led

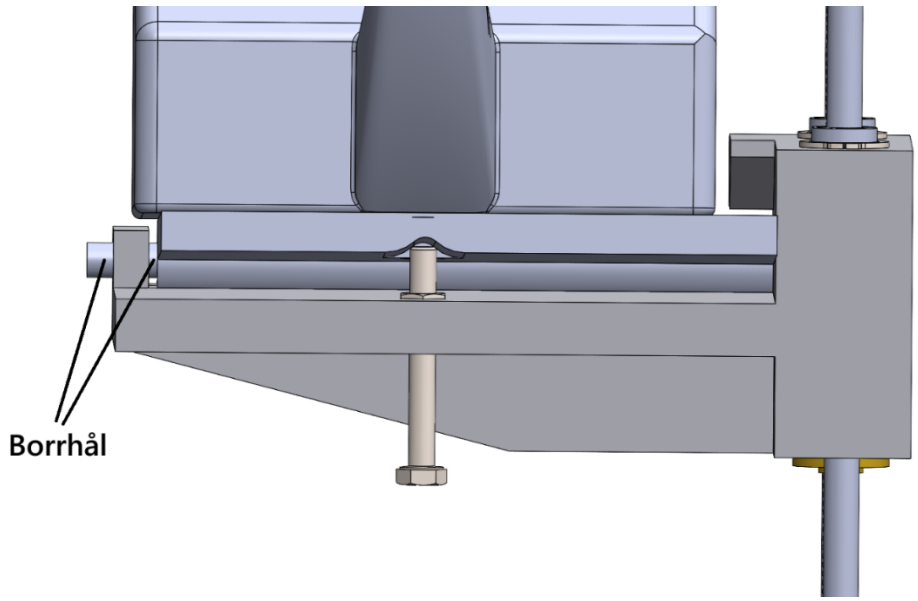
8.1.4 Konstruktion av rotation kring Y-led

Glidblocket och funktionen för rotation av skannern visas i figur 37. Vid utformningen av glidblocket togs det hänsyn till att linjärlagren skulle monteras med presspassning. Eftersom glidblocket skulle 3D-printas fanns en större frihet att skapa en integrerad konstruktion med flera funktioner i en komponent jämfört med exempelvis fräsning. Konstruktionen inkluderade därför en integrerad stoppklack som förhindrar att skannern faller framåt när den vinklas. Axelstöd och en försänkning för inställning av skannerns lutning integrerades också i konstruktionen, tillsammans med en förstärkning som ökar styvheten i den utkragande strukturen. Detta säkerställer att konstruktionen förblir intakt vid belastning från skannerns vikt. Justeringen av skannerns lutning hölls mekaniskt enkel. En nackdel med 3D-printade delar är att det inte går att få gängade hål därför lades ett genomgående hål med hexagonal försänkning till i glidblocket för att möjliggöra infästning av en mutter och skruv till vinkeljustering av skannern.



Figur 37: Konstruktion av glidblock och dess integrerade funktionalitet

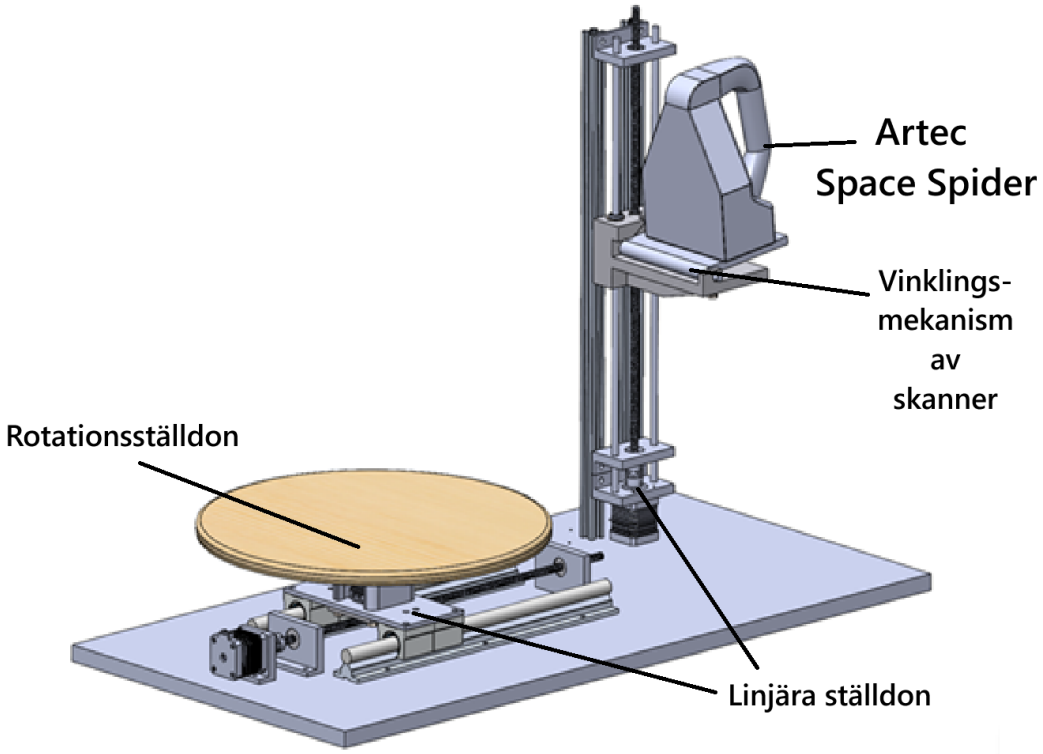
Figur 37 visar även rotationsaxeln och rotationsfäste för skannern. Rotationsaxeln förs genom axelstöd samt rotationsfästet som är försett med hål för ¼” skruv för att fästa skannern. För att hålla rotationsaxeln på plats utan att falla ur var idén att efter 3D-printning av axeln borra hål i axeln vid båda sidorna av det yttre axelstödet, detta pekas ut i figur 38. Efter att hålen borrats upp fästs ett buntband för att axelstödet även skulle fungera som ett stopp för axeln. Slutliga lösningen visas i figur 44.



Figur 38: Konstruktion av skannerrotation med markering för hålplaceringar på rotationsaxel

8.1.5 Huvudsammanställning

Den sammansatta huvudsammanställningen visas i figur 39. När delsammanställningarna placerats på lämplig plats på basplattan kunde hålbilder i basplattan för montering av leden skapas.



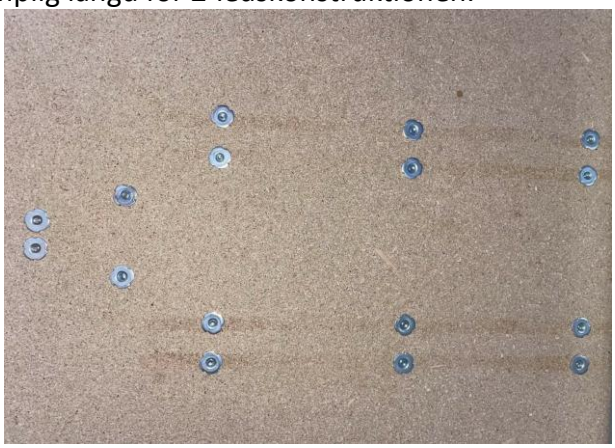
Figur 39: Sammansatta huvudsammanställning

8.2 Tillverkning av uppställning

Efter detaljkonstruktionens genomförande kunde konstruktionen realiseras. Med kombination av 3D-printade delar, material som fanns på företaget och beställda komponenter påbörjades tillverkningen av uppställningen. En lista på de beställda delarna finns i bilaga 2.

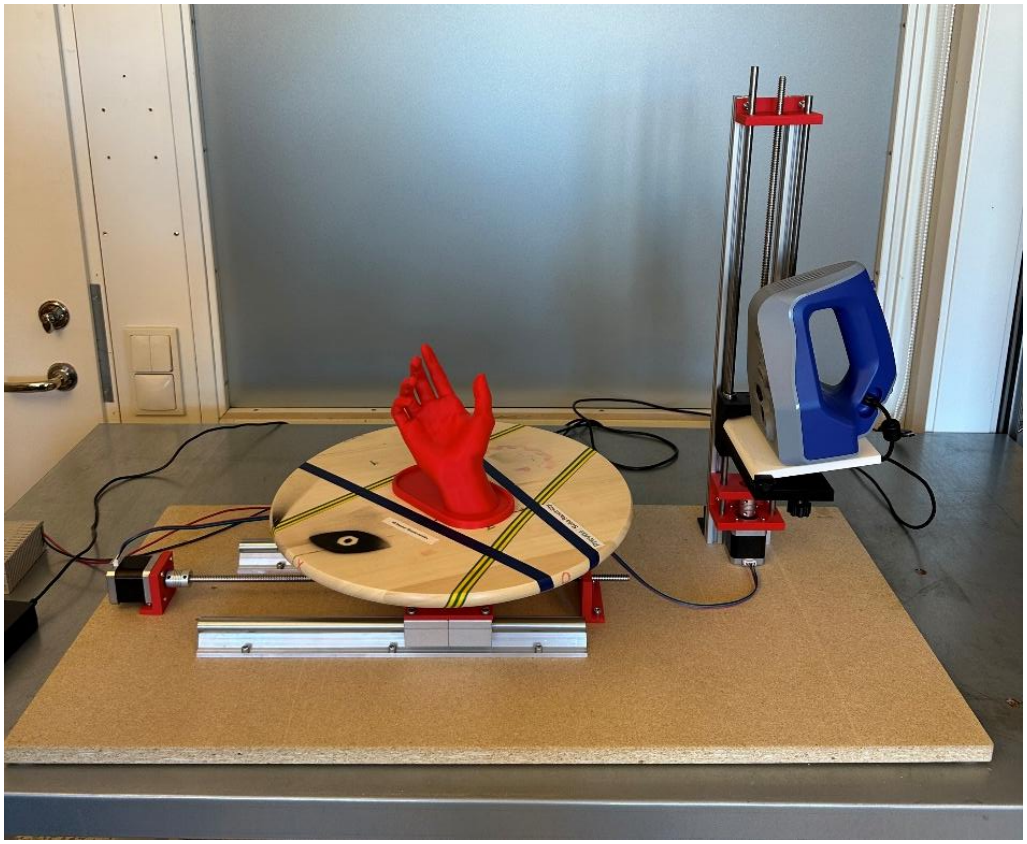
Tillverkningen började med att 3D-printa ut de delar som behövdes. Parallellt med 3D-printning tillverkades resterande delar. Basplattan är en spånskiva och hål i basplattan borrades med en CNC-fräs för att få exakt hålplacering. Därefter handborrades hålen upp till lämplig storlek för att möjliggöra montering av linjärskenor, motorfästen, lagerhus och vinkelfästen med hjälp av skruv och inslagsmutter för att få en stark och hållbar förankring, se figur 40 och 41. Aluminiumprofiler och glidstänger kapades till lämplig längd för Z-ledskonstruktionen.

Figur 40: Inslagsmutter och handborrat hål

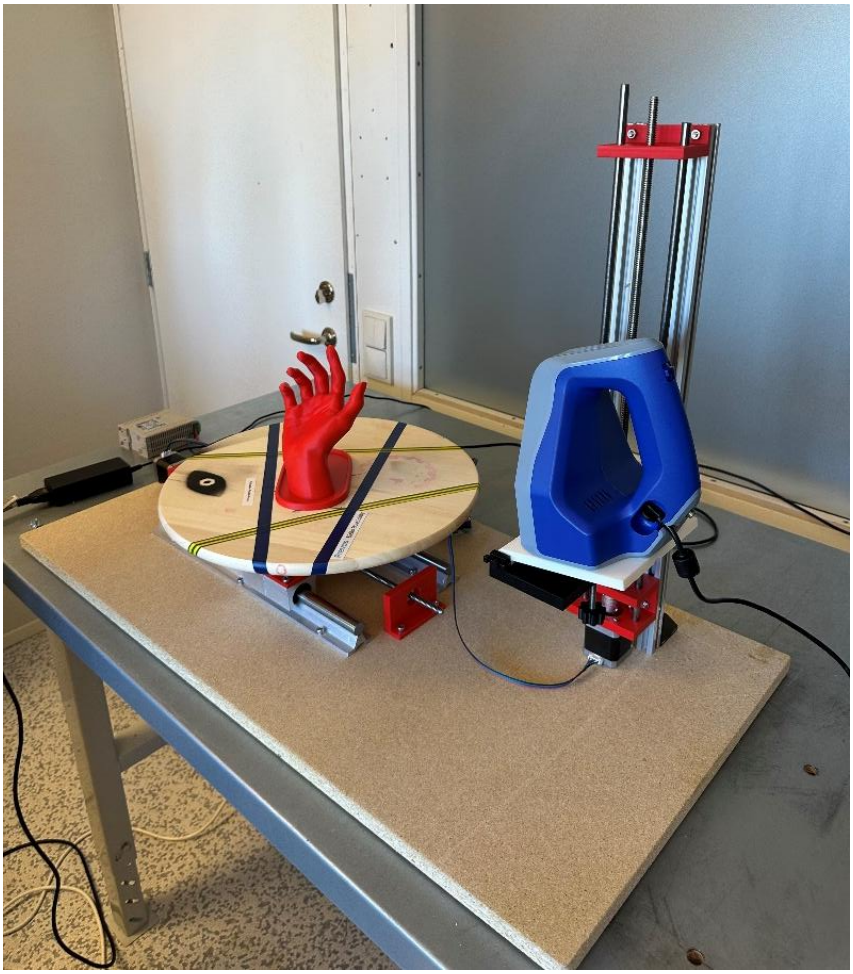


Figur 41: Del av undersida av basplattan med inslagna inslagsmuttrar

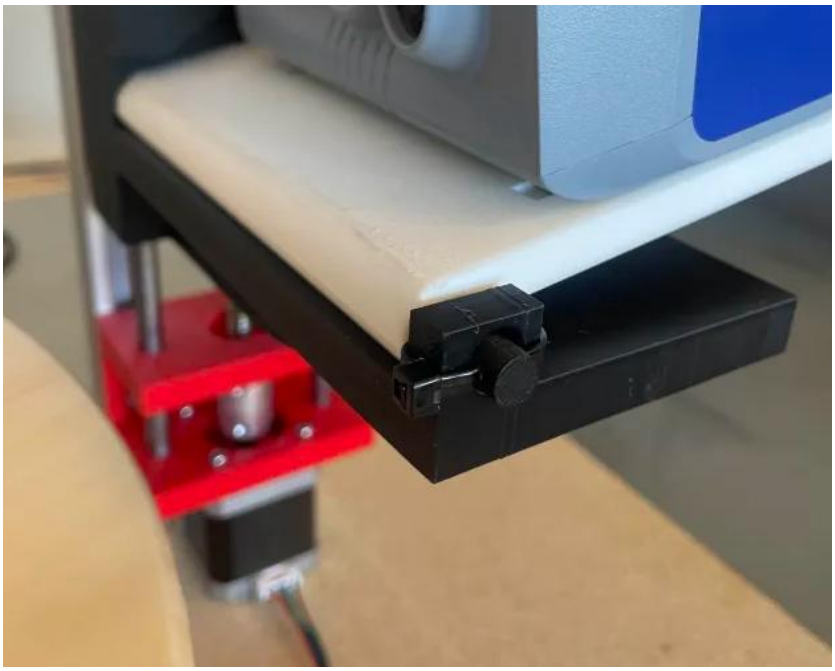
När alla delar var färdigtillverkade monterades uppsättningen ihop. I figur 42 och 43 visas den slutliga uppställningen efter tillverkning och montering i två olika vyer. Motorfäste, linjärskenor, lagerhus för linjära rörelsen i X-led och vinkelfästen för linjära rörelsen i Z-led skruvades ned i inslagsmuttrarna. Figur 44 visar hur axeln till rotationen av skannern fästes med buntband och figur 45 visar tillagt handtag på skruv till rotationen av skannern för en ökad användarvänlighet.



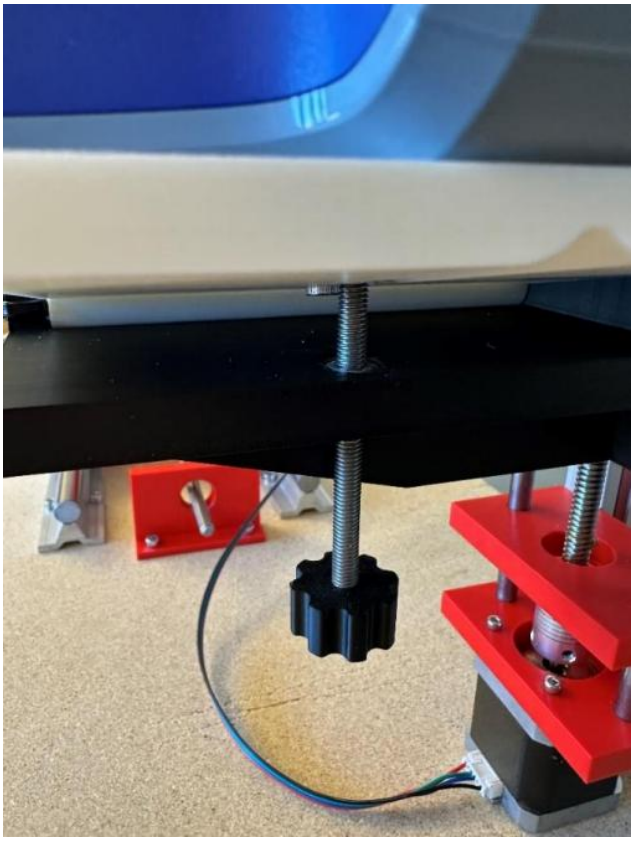
Figur 42: Färdig uppställning vy 1



Figur 43: Färdig uppställning vy 2

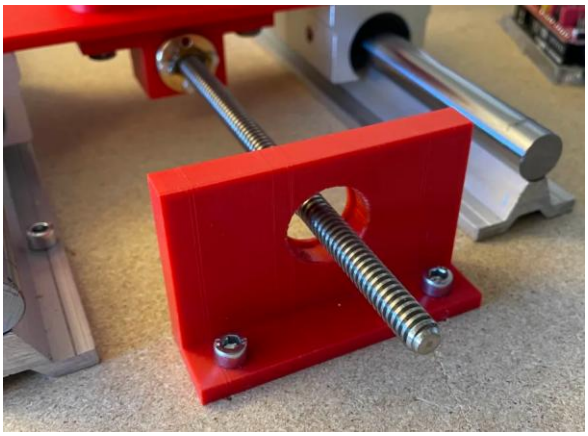


Figur 44: Rotationsaxel fäst med buntband

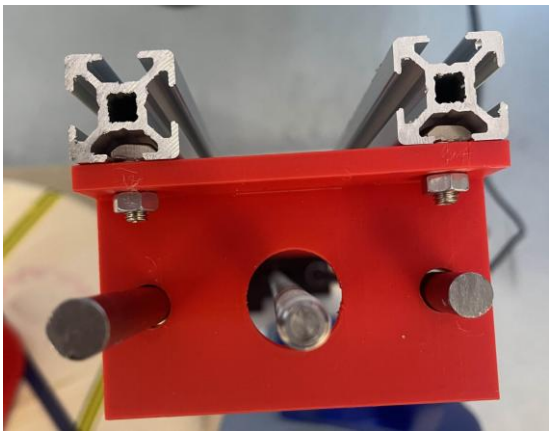


Figur 45: Skruv för rotation av skanner med tillagt handtag

Värt att notera är att tidigt i tillverkningsprocessen ansågs lagren för ledskruvarna försämra funktionen av de linjära rörelserna. Detta berodde på att de inköpta ledskruvarna inte var raka och att flera förankringar av ledskruven då ledde till att motorerna inte var starka nog för att driva rörelsen. I och med detta blev lagerhuset i X-led mer betraktat som ett ledskruvsskydd. För Z-led blev lagerhusen enbart glidstångshållare efter att lagren tagits bort, se figur 46 samt figur 47.



Figur 46: Lagerhus X-led utan lager



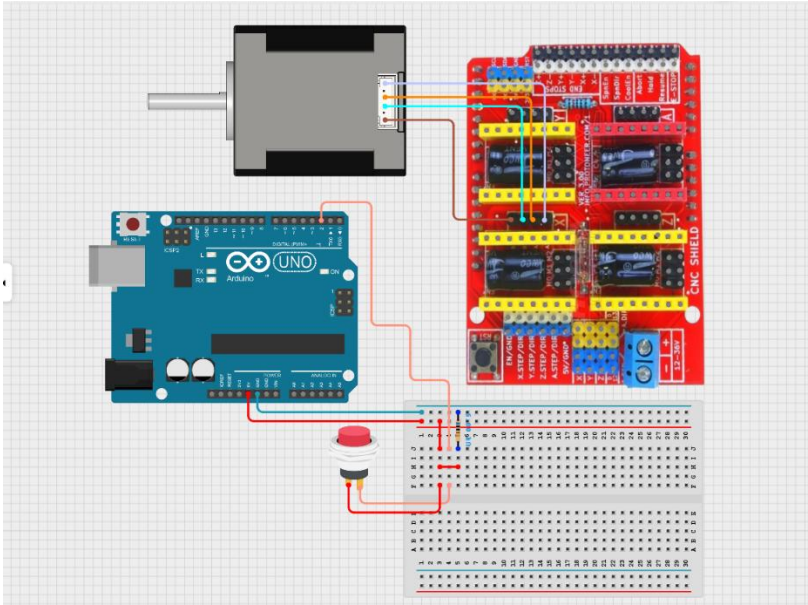
Figur 47: Lagerhus Z-led utan lager fäst med T-spårsskruvar

CNC skölden monterades på Arduino Uno. De tre stegmotorerna kopplades in i skölden med respektive motordrivare. Ett externt nätaggregat kopplades in för att försörja Arduino med

ström och dessutom monterades jumpers på CNC skölden för att få mjukare steg på stegmotorerna.

8.3 Testning av uppställning

När tillverkningen och monteringen var slutförd genomfördes testkörningar för att verifiera att konstruktionen fungerade enligt förväntningarna. Innan testningen påbörjades, programmerades kod för styrning i programvaran Arduino IDE. För att säkerhetsställa att koden fungerade testkördes en led i taget. En knapp kopplades in (se figur 48) i Arduinon och flyttades mellan olika ingångar för att testköra samtliga leder individuellt.

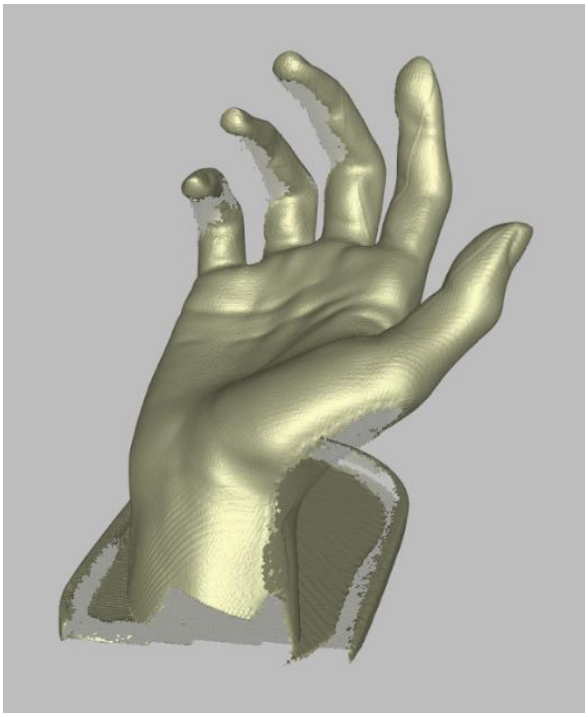


Figur 48: Grafiskt kopplingsschema för en knapp

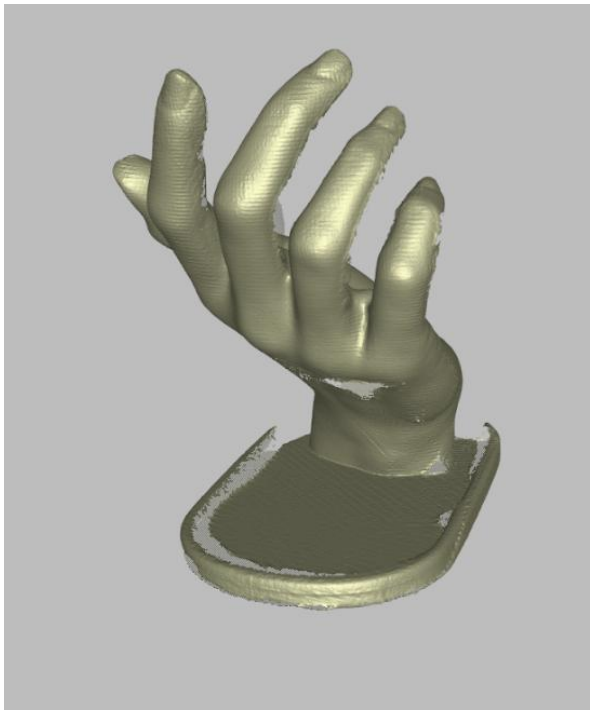
Efter att initiala testkörningen genomförts installerades fler knappar för att kunna styra fler led samtidigt. Denna utökade koppling överbelastade dock Arduinon, vilket ledde till att den slutade fungera. För att uppställningen fortsatt skulle kunna användas och med en kort tidsram kvar av arbetet ersattes den defekta Arduinon, och knappstyrningen med en datorbaserad lösning. Ett öppen källkod-bibliotek vid namn GRBL installerades i Arduino IDE och laddades upp på den nya Arduinon. För att kunna skicka G-kod-kommandon behöves dock även ett användargränssnitt. Ett program vid namn Universal G-Code installerades på datorn för att kunna styra rörelserna. Denna lösning tillät både full styrning av alla rörelser och förmågan att kunna höja och sänka frekvensen vilket möjliggjorde hastighetskontroll på stegmotorerna. Universal G-Code begränsade testuppställningen genom att endast tillåta att driva en motor i taget.

8.3.1 Uppställningens skanningsresultat

När styrningen fungerade genomfördes testskanningar på den 3D-printade handen som använts under experimenten. Testskanningen började med att skanna i samma objektorienteringar som under experimenten. Resultaten för testskanningen i de tre första objektorienteringar visas i figur 49 och 50 respektive tabell 13.



Figur 49: Framsida av 3D-modell vid 3D-skanning med resulterande uppställning efter tre objektorienteringar

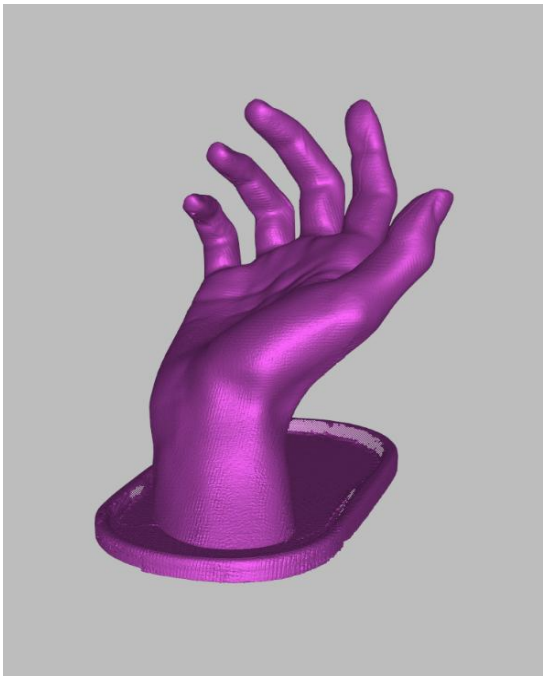


Figur 50: Baksida av 3D-modell vid 3D-skanning med resulterande uppställning efter tre objektorienteringar

Tabell 13: Tidsåtgång och antal bilder från första testskanningen med uppställningen

Nr	Tid	Antal bilder
1	2 min 40 sek	680
2	1 min 57 sek	301
3	2 min 30 sek	462
Totalt	7 min 7 sek	1443

Den första testskanningen resulterade i en ofullständig 3D-modell när tre objektorienteringar skannades med låg täckningsgrad. Därefter testades det att taktiskt orientera objektet för att möjliggöra tillgång till saknade geometrier för skannern. Figur 51 och 52 respektive tabell 14 visar slutliga 3D-modellen av handen efter skanning av totalt åtta objektorienteringar.



Figur 51: Framsida av 3D-modell vid 3D-skanning med resulterande uppställning

Figur 52: Baksida av 3D-modell vid 3D-skanning med resulterande uppställning

Tabell 14: Tidsåtgång och antal bilder från fullständiga testskanningen med uppställningen

Nr	Tid	Antal bilder
1	2 min 40 sek	680
2	1 min 57 sek	301
3	2 min 30 sek	462
4	1 min 15 sek	148
5	1 min 20 sek	180
6	2 min 4 sek	279
7	1 min 18 sek	185
8	1 min 2 sek	101
Totalt	14 min 6 sek	2336

9 Analys

I kommande kapitel analyseras examensarbetets resultat utifrån hur de besvarar frågeställningarna. Vidare utvärderas uppställningen i relation till de definierade rörelsekraven och produktkraven.

9.1 Frågeställning 1 - Rörelsekrav

Syftet med den första frågeställningen var att identifiera vilka rörelser som krävs av skannern i förhållande till objekt i storleksklassen 30 – 400 mm för att möjliggöra en komplett 3D-modell. Både datainsamling, beräkningar och experiment användes för att besvara denna fråga. Fyra experiment med olika antal frihetsgrader visade tydligt att minst fyra frihetsgrader krävs för att uppnå hög täckningsgrad där skannern även kan komma åt svåråtkomliga ytor.

Resultaten från experimenten visade att varje tillagd frihetsgrad förbättrade datakvalitet. Den fjärde frihetsgraden, rotation av skannern i Y-led, var avgörande för att täcka underliggande ytor och minska skuggzoner som till exempel handens basplatta och delar av fingrarna. Med hjälp av dessa resultat och beräknade distanskrav kunde rörelsekraven fastställas som redovisas i Tabell 7.

9.2 Frågeställning 2 - Konstruktion av uppställning

Med utgångspunkt från rörelsekraven och produktkraven utvecklades en elektromekaniskt styrd uppställning i flera steg. I konceptfasen analyserades olika lösningar för varje rörelse. Valet av ledskruv med glidstänger för linjära rörelser gjordes med avseende på både precision och låg kostnad. Rotation av plattan löstes genom direktdrift med stegmotor, en lösning som visade sig vara tillräcklig för detta arbete. Rotation av skannern löstes med en enkel manuell skruvlösning på grund av tidsbrist.

Konstruktionen kunde tillverkas, monteras och testas inom projektets ramar. Uppställningen visade sig uppfylla grundläggande krav på funktionalitet under testningar och kan därför betraktas som en funktionsprototyp med potential för förbättringsmöjligheter och för vidareutveckling mot ett helautomatiserat system.

9.3 Utvärdering av uppställningen med avseende på rörelsekraven

För att undersöka hur skannerns rörelsekrav påverkas av uppställningen gjordes det en utvärdering av varje rörelsekrav och hur väl kravet uppfylls av uppställningen.

Tabell 15: Tabell över rörelsekraven som sammanställdes i avsnitt 5

3.1	Skannern skall kunna förflyttas minst 285 mm linjärt i X-led i förhållande till objektet

3.2	Skannern skall kunna förflyttas minst 400 mm linjärt i Z-led i förhållande till objektet
3.3	Skannern skall kunna roteras 45 grader kring Y-led i båda riktningar
3.4	Objektet skall, i förhållande till skanner, kunna roteras 360 grader kring Z-led i båda riktningar

Krav 3.1 uppfylldes genom att uppställningen tillät skannern att förflyttas linjärt minst 285 mm i X-led relativt objektet. Detta möjliggjordes med hjälp av att rotationsplattan förflyttades med en vidareutvecklad lösning baserad på konceptet *Kulskruv med glidstänger* där kulskruven byttes ut med en ledskruv. Denna lösning gav stabil och tillräcklig rörelsefrihet inom det angivna området.

Krav 3.2 uppfylldes delvis. Uppställningen tillät en linjär förflyttning i Z-led på cirka 354 mm, vilket ligger något under det definierade kravet på minst 400 mm. Den uppmätta slaglängden var dock tillräcklig för de objektstorlekar som testades i detta arbete (30–400 mm), och inga begränsningar i praktisk användning uppstod under testskanningarna. För framtida versioner bör Z-ledens slaglängder utökas för att formellt uppfylla kravet och öka marginalen.

Krav 3.3 uppfylldes delvis. Den valda skruvlösning ledde till att skannern kunde roteras kring Y-led, men endast i en riktning och med ett maxutslag på cirka 40 grader, vilket är mindre än det definierade kravet på ±45 grader rotation. Begränsningen berodde dels på konstruktionens mekaniska gränser och tidsbrist. Tillsammans med att byta objektorienteringar möjliggjorde rörelsen tillräcklig åtkomst till svårskannade ytor.

Krav 3.4 uppfylles helt då rotationen av objektet kring Z-led var fullt möjlig i båda riktningar, vilket gjorde det enkelt att skanna runt hela objektet utan att behöva flytta skannern i sidled. Den direkta drivningen av rotationsplattan fungerade tillräckligt väl för manuell styrning, även om det förekom viss instabilitet vid långsam rörelse. En förbättring med utväxling eller kraftigare motor kunde potentiellt höja precisionen i denna rörelse, men i sin nuvarande form anses kravet uppfyllt för prototypstadiet.

9.4 Utvärdering av uppställningen med avseende på produktkraven

Det har gjorts en jämförelse med de kriterier som har sammanställts tillsammans uppdragsgivare för att utvärdera hur väl uppställningen uppfyller produktkraven.

Tabell 16: Tabell över de krav på funktionalitet och prestanda som önskas uppfyllas av uppställningen

2.1	Skanningsprocessen skall inte överstiga 4 timmar
2.2	Styrningen skall ske elektromekaniskt för att minska manuell finmotorik
2.3	Uppställningen skall kunna justera avståndet mellan skanner och objekt för att kompensera för storleksskillnader för olika objekt

2.4	Uppställningen skall tillåta att det finns minst 4 frihetsgrader för skannern i förhållande till objektet
2.5	Antalet oåterställda spårningsavbrott per skanning ska vara 0 under normal användning
2.6	Användaren skall inte behöva inta mer än 0 statiska eller obekväma ställningar under skanning längre än 5 minuter
2.7	Utrustningen skall kunna demonteras/fällas ihop till en totalvolym som ryms i en låda med mått 320 x 555 x 355 mm (H x B x L)
2.8	Uppställningen skall vara försedd med limitswitchar för att kunna stoppa oönskade rörelser

Krav 2.2 uppfylldes i högre utsträckning. Det gjordes genom införandet av en elektromekanisk styrning baserad på en Arduino-plattform med tillhörande stegmotorer och datortangenter som knappar för manuell kontroll. Denna lösning eliminerar i stor utsträckning behovet av finmotorisk hantering från användare, då tre av fyra rörelser styrs via knapptryck utan direkt manövrering.

Krav 2.3 uppfylldes genom att skannerns avstånd till objektet kunde justeras tack vare en uppbyggnad med profiler, vagnar och fästen som möjliggör variation i positionering. Detta tillåter anpassning till olika objektstorlekar inom det definierade storleksområdet för systemet (30–400 mm).

Krav 2.4 uppfylldes genom konstruktionens utformning, som tillät förflyttning av skannern i minst fyra frihetsgrader: två linjära axlar X och Z, en rotationsaxel kring Z, samt rotation runt Y-axeln. Detta möjliggör hög flexibilitet i positioneringen av skannern i förhållande till objektet.

Krav 2.6 uppfylldes då hela uppställningen är konstruerad för att skötas stående vid bordshöjd, med alla reglage tillgängliga utan behov av att användaren böjer sig, sträcker sig eller intar statiska ställningar. Skanningar kan genomföras utan att användaren behöver befinna sig i obekväma positioner under längre tid.

Krav 2.1 och 2.5 bedöms vara uppfyllda baserat på de testförhållanden som genomförts. Samtliga skanningar som genomfördes under projektet hölls inom en tidsram på fyra timmar, vilket indikerar att tidskravet är realistiskt för normal användning. Vidare förekom inga oåterställda spårningsavbrott under tester, det vill säga när skannern tappar bort objektet som kräver återställning av skanning. Detta påvisar en god driftsäkerhet i den aktuella miljön. Det bör dock påpekas att antalet tester var begränsat och att vidare validering rekommenderas i framtida iterationer.

Krav 2.7 kunde inte uppfyllas då uppställningen, i dess nuvarande form, inte är konstruerad för att fällas ihop eller demonteras. Samtliga komponenter är monterade med avsikt att säkerställa stabilitet under drift, till bekostnad av portabilitet. För att uppfylla detta krav i en framtida version krävs ett systematiskt modulärt byggsätt eller fällbar mekanik.

Krav 2.8 uppfylldes ej då limitswitchar inte implementerades i funktionsprototypen. Detta innebär att systemet saknar ett automatiskt skydd mot överrörelser, vilket ökar risken för skador på komponenter vid felaktig manövrering. Införande av gränslägesbrytare rekommenderas som en framtida förbättring för att öka driftsäkerheten.

10 Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultat, arbetets genomförande, valda metoder och eventuella förbättringsmöjligheter. Dessutom diskuteras de begränsningar som uppkom under arbetets gång samt hur arbetet kan vidareutvecklas i framtida projekt.

10.1 Reflektion av resultat

Resultaten visar att vid 3D-skanning av objekt mellan 30 – 400 mm krävs minst fyra rörelsefrihetsgrader för medelkomplexa objekt. Genom elektromekanisk styrning av dessa rörelser undviks manuell hantering av skannern förbättrad ergonomi. Likt studien av Abdullah et al. (2022), som presenterades i avsnitt 2.3, har arbetet lyckats minska den manuella hanteringen men resultatet av detta arbete blev inte förbättrade skanningsresultat eller skanningstid med förbättringsmöjligheter i flera avseenden. Anledningen till att resultaten inte ger dessa förbättringar anser författarna är på grund av att de tidigare studierna behandlat helautomation av 3D-skanningsprocessen medan detta arbete behandlat elektromekanisk styrning av skanningsprocessen. Detta innebär både styrkor och svagheter i olika avseenden. Tidigare arbeten har använt förprogrammerade banor som skannern tar. Den resulterande uppställningen i detta arbete har möjliggjort bra ergonomiska förutsättningar och högre flexibilitet i avseende på objektgeometrier eftersom varje rörelse styrs aktivt av operatören och därför har bättre förutsättningar att hitta svåråtkomliga ytor.

Under experimenten rörde sig testuppställningen i alla rörelsefrihetsgrader simultant, något som inte är möjligt med uppställningens begränsande mjukvara. Detta försvårade möjligheten att utföra en ordentlig jämförelse mellan den manuella skanningen under experimenten och den elektromekaniskt styrda skanningen med uppställningen. Det fjärde experimentet med komplett resulterande 3D-modell genomfördes under kortare tid och färre objektorienteringar i jämförelse med skanningarna med den elektromekaniska uppställningen. Även om den elektromekaniska uppställningen behövde fler objektorienteringar och mer skanningstid för att få en komplett modell kan det tyda på att simultana rörelser har stor betydelse vid 3D-skanning. Vid testning av den färdiga uppställningen skannades fler objektgeometrier med samma antal rörelsefrihetsgrader och resulterade i högre täckningsgrad. Därmed finns det en balans mellan antalet objektorienteringar och antalet rörelsefrihetsgrader.

Värt att notera gällande distanskraven är att 3D-skannern har ett arbetsavstånd på 0.2 – 0.3 m. Detta kan betraktas som att skannern har arbetsavstånd 25 cm med en tolerans på ± 5 cm. Beräkningarna för distanskraven har utgått från de absolut närmsta skannern kan vara för att fånga upp det minsta objektets yttre geometri till det absolut längsta avståndet skannern kan ha från det största objektet för att fånga upp objektets yttre geometri. Det vill säga att distanskravet i X-led i princip aldrig kommer arbeta i dessa extremlägen och därmed också får en tolerans.

10.2 Tekniska insikter och förbättringsförslag

Lösningen för rotationsplattan fungerade inte som förväntat, nackdelen med direktdrift är att det inte är en särskilt stadig och noggrann lösning men i denna studie var den tillräcklig för att kunna styra rörelsen i rotationsplattan. Det kan argumenteras för att någon typ av utväxling eller en starkare stegmotor hade fungerat bättre. När det gäller rotation av skannern var den manuella fixeringen av rotationsaxeln med ett buntband en praktisk lösning givet tidsramen, men en mer robust lösning med exempelvis låsringar hade ökat tillförlitlighet. Genom att designa om konstruktionen i Z-led för att kunna integrera flera olika typer av 3D-skannrar skulle användningsflexibiliteten för uppställningen öka. Dessutom hade stadigheten för Z-led också kunnat förbättrats genom att implementera styvare förankring i basplattan.

10.3 Användarbarhet och framtida tillämpning

Resultaten av studien öppnar för vidareutveckling med avseende på skanningsresultat, tid för skanningsprocess och ytterligare förbättringar av användarvänlighet. Diskussioner har förts kring hur komponenter i den slutliga uppställningen kan justeras eller bytas ut för att förbättra rörelserna så att skanningsresultaten förbättras och förenkla skanningsprocessen för att minska skannertid och samtidigt förbättra användarupplevelse. Ytterligare kan arbetet ligga till grund för en enkel automatiserad lösning som möjligtvis är mer prisvänlig till skillnad från etablerade lösningar inom industrin.

Med den elektromekaniska styrningen med stegmotorer finns bra repeterbarhet vilket gör att uppställningen ger stora möjligheter till kvalitetskontroll i exempelvis en produktionslina. En programmerad bana för skannern kan skapas för en viss produkt och vid avvikelser i skanningsresultaten kan det konstateras att delen producerats fel. Problematiken till detta kan vara att skannern inte skannar i en konstant bildhastighet och på grund av detta skulle kunna ge olika resultat utan fysisk avvikelse i skannat objekt. Den automatiserade kvalitetskontrollen skulle däremot kunna ha en rörlig hastighet som baseras på skannerns aktuella bildhastighet för att möjligen eliminera det problemet.

Denna undersökning har förstärkt tidigare forskning av Abdulla et al. (2022) och Alaa Abd-Raheem et al. (2018) nämnda i avsnitt 2.3 gällande hur elektromekanisk styrning av tidigare helt manuella processer leder till högre noggrannhet och bättre arbetsmiljö med avseende på ergonomi. Undersökningen påvisar att en skanningsprocess kan uppnå hög noggrannhet och precision utan att behöva vara helautomatiserad. Arbetet kan därmed anses ha hittat en balans mellan en helt manuell process med hög flexibilitet och ett helautomatiserat system med hög noggrannhet och bekväm hantering.

10.4 Metoddiskussion

En central metod som användes i detta examensarbete var experiment för att ta reda på rörelsekraven för den slutliga uppställningen. Detta utfördes enbart på ett objekt och resultaten av experimenten var avgörande för den resulterande uppställningen. På grund av att endast ett objekt ingick i experimenten begränsas tillförlitligheten. Genom att utföra experiment på flera

objekt hade det varit möjligt att få en bredare och mer grundad representation för rörelsebehoven av skanner relaterat till olika objekt vilket kunde leda till en slutlig uppställning som är bättre anpassad för objekt med olika geometrier. Trots detta anses metodvalet vara lämpligt utifrån projektets omfattning och begränsade tidsram. Den resulterande uppställningen ligger även i linje med resultat från tidigare arbeten inom området, som beskrevs i avsnitt 2.3, vilket tyder på att den experimentella metoden och de framtagna rörelsekraven är relevanta. Avgörandet av färdig skanning av en viss objektorientering avgjordes av operatören vilket också påverka beslut gällande rörelsekraven på den slutliga uppställningen.

En av arbetets styrkor har varit möjligheten att tillverka flertalet delar under konstruktionsarbetet med additiv tillverkning. Denna tillverkningsmetod ledde till att det kunde genomföras snabbare iterationer och enkla integrationer av funktioner i enskilda komponenter. 3D-printning är dessutom en mer kostnadseffektiv och flexibel tillverkningsmetod jämfört med fräsning i metall med tanke på tillgängligheten hos uppdragsgivaren och att det möjliggör snabba och billiga designiterationer. Exempelvis kunde stoppklack, axelstöd, och fästanordningar integreras direkt i glidblocket i Z-led, vilket inte hade varit lika praktiskt med konventionella tillverkningsmetoder.

En svaghet med denna tillverkningsmetod är det att kan förekomma vissa kompromisser i form av mekanisk hållfasthet, särskilt vid höga belastningar eller upprepade användningar. Detta kan i vissa fall påverka stabilitet på lång sikt. Förstärkningar lades till men olika typer av hållfasthetstester i form av simuleringar hade kunnat gett bättre underlag för dimensionering.

11 Slutsatser

I detta kapitel presenteras de slutsatser som dragits utifrån arbetets resultat, analys och diskussion.

11.1 Slutsatser frågeställningar

Syftet med arbetet var att etablera rörelsekrav som krävs vid 3D-skanning av objekt i storleksklassen 30 – 400 mm för att därefter ta fram en uppställning som uppfyller dessa rörelsekrav. Det går att konstatera att syftet med rapporten uppfyllts till största del och att arbetet besvarat de två frågeställningarna.

Den första frågeställningen, *vilka krav ställs på rörelse av 3D-skanner i förhållande till objekt i storlek 30 – 400 mm för att generera en komplett 3D modell*, besvarades genom litteratursökning, praktiska experiment och beräkningar. Dessa metoder gav underlag för att etablera träffsäkra rörelsekrav som därmed skapade en grundad bas för vidare arbete med frågeställning två.

Frågeställning två, *hur kan en elektromekanisk uppställning konstrueras för att uppfylla de definierade kraven*, besvarades genom konceptgenerering rörande de etablerade rörelsekraven från frågeställning ett. Detta följdes med en konceptvalsprocess där koncepten värderades utifrån urvalskriterier som diskuterades under uppföljningsmöten. De valda koncepten konstruerades och tillverkades för att sedan valideras.

De fyra rörelsefrihetsgraderna ger flexibilitet och gör det möjligt att anpassa uppställningen till olika objekt och minskar behovet av manuell hantering. Användningen av datortangenter för att styra rörelserna har gett en enkel och pålitlig lösning, även om möjligheten till simultan styrning hade kunnat öka effektiviteten ytterligare. Rörelsekrav och produktkraven uppfylls till stor del och uppställningen fungerar i praktiken. Samtidigt finns det tydliga förbättringsområden, som till exempel användarvänligare styrning och stabilare konstruktion i vissa delar, bland annat för rotationsplattan, Z-led och rotation av skannern. Brister på uppställningen visar sig lösas vid fler objektorienteringar och att rörelsefriheten av skanner och objekt minskar behovet av ompositioneringar av objektet. Därmed finns en tydlig balans mellan antalet rörelsefrihetsgrader och objektorienteringar.

Den aktuella lösningen har funnit en balans mellan hur fördelar ur manuella och automatiserade system kan uppfyllas till skillnad från tidigare studier av Abdulla et al. (2022) och Alaa Abd-Raheem et al. (2018) nämnda i avsnitt 2.3 där full automation legat i fokus. Fördelarna med automation såsom noggrannhet och ergonomi har uppfyllts medan flexibilitet av manuell hantering kunnat bibehållas.

11.2 Förslag på fortsatt arbete

Flera förbättringsområden har identifierats under arbetet som kan bidra till ökad funktionalitet, precision och användarvänlighet hos den slutliga uppställningen.

En central teknisk brist rörde rotationsplattan. Direktdrift visade sig vara instabil och begränsa noggrannhet. En möjlig förbättring vore att införa någon form av utväxling likt de andra koncepten eller att använda en starkare stegmotor för att uppnå bättre rörelsekontroll. Även skannerns rotationsaxel, som i nuläget låsts med buntband, skulle kunna förbättras genom att ersättas med mer robusta komponenter såsom låsringar eller lagerbockar. Skannerns rotation skulle även kunna drivas med elektromekanisk styrning vilket skulle ge en mer tillförlitlig och exakt rotation.

Vidare föreslås att konstruktionen i Z-led ses över. För att öka uppställningens flexibilitet och möjliggöra användning av olika typer av 3D-skannrar bör konstruktionen designas om med en mer modulär lösning. Samtidigt kan Z-ledens stabilitet förbättras genom att implementera styvare förankring för den vertikala axeln.

Även om skanningsresultaten förbättrades genom ökat antal objektorienteringar, visar resultaten att förbättrad rörelsekapacitet hos skanner och objekt skulle minska detta behov. För att effektivisera skanningsförloppet och förenkla användningen rekommenderas det att vissa komponenter i uppställningen justeras eller byts ut. En annan fortsättning på arbetet är att tillåta simultan rörelse för fler leder genom att exempelvis byta ut datorbaserade styrningen med knappar som kopplas in i Arduino. Det kan leda till förbättrad rörelseprecision, kortare skanningstid och en mer intuitiv arbetsgång för användaren.

Arbetet har också potential för vidareutveckling mot en enklare form av automatisering. En sådan lösning skulle kunna utformas som ett mer kostnadseffektivt alternativ till de etablerade automatiserade systemen inom industrin. I detta sammanhang bör det även övervägas att anpassa rörelsens hastighet i förhållande till skannerns aktuella bildhastighet. Detta skulle kunna minska risken för felaktiga resultat som inte beror på fysiska avvikelser i objektet, vilket i sin tur ökar tillförlitligheten vid exempelvis kvalitetskontroll i en produktionslinje.

12 Referenser

3DMakerpro (2024). “Top 10 3D Scanning Mistakes.” *3DMakerPro Official Store*, 28 Nov. 2024, https://store.3dmakerpro.com/blogs/school/top-10-3d-scanning-mistakes [2025-05-25]

A3 (2024). “The Role of Motors in Industrial Automation.” *Automate*, A3 Association for Advancing Automation, 28 Feb. 2024, www.automate.org/motion-control/industry-insights/role-of-motors-industrial-automation. [2025-06-16]

Abdullah, Abdul Halim, et al. (2022) “*Design & Development of Adjustable Handheld 3D Scanner Jig*.” *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 12, no. 11, 1 nov. 2022, pp. 159–167, https://doi.org/10.46338/ijetae1122_17, [2025-02-20]

Arduino (2018). *Arduino*. [online] Arduino.cc. https://www.arduino.cc/ [2025-02-28]

Artec 3D (2024). *Artec Studio: Professional 3D scanning and data processing software*. Hämtad från https://www.artec3d.com/3d-software/artec-studio [2025-05-10]

Artec Space Spider (2016). *Professional 3D Scanning Solutions | Artec 3D*, 2016, https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/old/spider [2025-04-08]

Bong, Nathan (2022). “The Evolution of Automation.” *Progressive Automations*, 26 Apr. 2022, www.progressiveautomations.com/blogs/news/the-evolution-of-automation

Gd-admin (2019). “Planetary Gearbox Basics and How They Work.” *Https://Www.ini-Hydraulic.com/*, 2019, www.ini-hydraulic.com/sv/news/planetary-gearbox-basics-and-how-they-work/. [2025-04-11]

Groover, Mikell P, and G Jayaprakash (2015). Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. Boston, Pearson, 2015. [2025-02-15]

Haleem, Abid, et al. (2022) “Exploring the Potential of 3D Scanning in Industry 4.0: An Overview.” *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, vol. 3, June 2022, pp. 161_171,www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666307422000171, https://doi.org/10.1016/j.ijcce.2022.08.003. [2025-02-19]

Hanaphy, Paul (2024). “Things to Know before Buying a 3D Scanner: Accuracy, Speed, Resolution.” *Professional 3D Scanning Solutions | Artec3D*, 16 July 2024, https://www.artec3d.com/learning-center/how-choose-3d-scanner [2025-03-24]

Kristiansson, Mattias (2016). “Så Fungerar 3d-Scanning.” *3DP*, 24 Aug. 2016, https://3dp.se/2016/08/24/sa-fungerar-3d-scanning [2025-02-28]

Manufacturingguide (2025) “Strukturerat Ljus.” *Manufacturingguide.com*, 2025, https://www.manufacturingguide.com/sv/ordlista/strukturerat-ljus [2025-05-24]

Manufacturingguide (2025) “Triangulering.” *Manufacturingguide.com*, 2025, www.manufacturingguide.com/sv/ordlista/triangulering. [2025-05-24]

Oemmotor (2015). “Kuggstänger & Kugghjul.” *Oemmotor.se*, 2015, www.oemmotor.se/produkter/transmission/kuggstanger-kugghjul [2025-04-28]

Pbclinear (2020). “Belt Drive or Lead Screw? The Answer Is in the Application.” *Pbclinear.com*, pbclinear.com/blog/2020/february/lead-screw-or-belt-drives [2025-04-23]

Richconn (2024) “Vad Är Kuggstång? - Richconn.” *Richconn*, 19 Nov. 2024, www.richconn-cnc.com/sv/what-is-rack-and-pinion.html#Advantages_and_Disadvantages [2025-04-28]

Shaikh, Salman (2024). “3D Scanning and Design Methods for Personalised and Customised Solutions.” *Biomedical Materials for Multi-Functional Applications*, 2024, pp. 35–47, https://doi.org/10.1007/978-981-97-4913-3_3 . [2025-05-24]

Sild, Siim (2022). “Belt Drives & Types of Belts.” *Fractory*, 8 Feb. 2022, https://fractory.com/belt-drives/. [2025-04-25]

Softserve. “Automated 3D Scanning.” *Softserveinc.com*, 2025, https:///3dscanning.softserveinc.com/. [2025-06-16]

Solidworks (2023). *Design-engineering.* Tillgänglig: https://www.solidworks.com/domain/design-engineering [2025-04-15]

Stigab.se. (2025). *Stegmotor | STIGAB*. [online] Tillgänglig: https://stigab.se/typ/stegmotor/ [2025-02-28]

THK (2025). “LM-Styrning | THK:s Officiella Webbplats.” *Thk.com*, 2025, www.thk.com/?q=se/node/3943 [2025-05-19]

Bilagor

Bilaga 1: Användarkravspecifikation

1.1	Skanningsprocessen ska inte pågå med än en halv arbetsdag
1.2	Manuell finmotorisk styrning ska vara minimalt under aktiv skanning
1.3	Man skall kunna skanna objekt i storleksklassen 30-400 mm
1.4	Man skall kunna skanna objekt i olika former
1.5	Skannern ska inte tappa spårning under skanning
1.6	Utrustningen skall förbättra ergonomi
1.7	Utrustningen skall minska risken för insamling av dålig data
1.8	Utrustningen skall kunna förvaras i en låda
1.9	Utrustningen skall vara säker att använda

Bilaga 2: Inköpta komponenter till uppställningen

Komponent	Antal	Länk
Aluminiumprofil 20x20, 1m	2	https://www.123-3d.se/123-3D-Aluminiumprofil-20x20-extrusion-1m-i1373-t14575.html
CNC Shield V3	1	https://www.123-3d.se/123-3D-Arduino-CNC-shield-v3-grbl-kompatibel-i1991-t12882.html
Arduino Uno Rev 3	1	https://www.123-3d.se/Arduino-Uno-Rev-3-ARDUINO-UNO-R3-i2052-t13072.html
Z Axis Limit Kit	2	https://www.123-3d.se/Creality3D-Creality-3D-Sermoon-D1-Z-Axis-Limit-Kit-4004180025-i7333-t324.html
Flexibel motorkoppling 5–8 mm	2	https://www.123-3d.se/123-3D-Flexibel-motorkoppling-5mm-8mm-i342-t9712.html
Linjär skena SBR16, 40 cm	2	https://www.123-3d.se/123-3D-123-3D-SBR16-linjar-skena-16mm-x-40cm-i334-t14803.html
SBR16UU styr/slid	4	https://www.123-3d.se/123-3D-SBR16UU-styr-slid-16mm-i336-t344.html
Leadscrew TR8x2, 50 cm	2	https://www.123-3d.se/123-3D-Leadscrew-TR8x2-8mm-50cm-i2133-t9712.html
Leadscrew mutter TR8x2	2	https://www.123-3d.se/123-3D-Leadscrew-mutter-TR8x2-i2134-t9712.html
Stegmotor NEMA17	3	https://www.123-3d.se/123-3D-NEMA17-stegmotor-1-8-grader-per-steg-47mm-lang-5-0kg-cm-SL42S247A-i2210-t12882.html
Stegmotordriver DRV8825	3	https://www.123-3d.se/123-3D-Stepstick-DRV8825-Stegmotordriver-i96-t332.html
Stegmotorkabel 4-ledare, 30 cm	1	https://www.123-3d.se/123-3D-Stegmotorkabel-4-ledare-30cm-i2207-t0.html
Stegmotorkabel 4-ledare, 50 cm	2	https://www.123-3d.se/123-3D-Stegmotorkabel-4-ledare-50cm-i2208-t13138.html
LM8UU linjärt kullager (2 st/förp)	2	https://www.123-3d.se/123-3D-LM8UU-linjart-kullager-2st-i22-t13133.html
Slät stång, 8mm x 100cm	1	https://www.123-3d.se/123-3D-Stang-slat-for-X-eller-Y-axel-8mm-x-100cm-i56-t344.html