MITC
MÄLARDALEN INDUSTRIAL TECHNOLOGY CENTER

Mälardalens universitet

Automatisering av 3D-skrivare genom magnetisk leviterande plattor och applikationer till smarta fabriker

Examensarbete: Avancerad nivå 30 hp

Produkt- och processutveckling

Rapport nr:
Handledare företag: Nils Erlands
Handledare Mälardalens universitet: Christopher Gustafsson
Examinator: Catarina Bojeson

Abstract

Date: 2026-08-20

Level: Master thesis in product and process development, 30 HP

Author: Jonatan Olsson (2001-12-18)

Purpose: The purpose of this study is to design and develop a 3D printing system integrated with a magnetically levitated planar motor, and to investigate the potential benefits such system could offer smart factories.

Research question: How can a station that combines magnetic levitation planar motor and 3D printing look like?

What benefits could such a station provide to smart factories?

Method: This study adopts a case study methodology with a qualitative research approach. The theoretical framework is primarily based on scientific articles and academic literature however selected websites where also utilized, due to the limited availability of prior research within the field. Empirical data were collected through the design and construction of the system, iterative testing of the 3D printer, and collaboration with the company. The findings are derived from the integration of experimental results, system design, 3D modeling, and theoretical analysis.

Result: The results of this study include a fully constructed 3D printer module integrated with a magnetically levitated planar motor, a complete 3D model of the station, and a simulation demonstrating its operation within a production line. The system serves as a prototype, providing a foundation for future research on the automation and integration of additive manufacturing in industrial production systems. The study shows that magnetically levitated planar motor and 3D printing can work together and theoretically automate additive manufacturing more.

Conclusion: The study concludes that the proposed system offers several benefits for smart factories including increased flexibility, modularity, precision, uniqueness and automation potential. However further research is required to enable broader industrial adoption, particularly in relation to the automation of post processing operation in additive manufacturing.

Sammanfattning

Datum: 2026-08-20

Nivå: Masteruppsats inom produkt- och processutveckling, 30 hp

Författare: Jonatan Olsson (2001-12-18)

Syfte: Syftet med detta projekt är att undersöka hur en FDM 3D-skrivare kan integreras med en magnetiskt svävande planmotor, samt analysera vilka fördelar stationen kan medföra till smarta fabriker.

Forskningsfrågor: Hur skulle en station som använder magnetiskt svävande planmotor i kombination med 3D-skrivning kunna se ut?

Vilka fördelar skulle en sådan station kunna medföra till smarta fabriker?

Metod: I denna studie har fallstudie använts som metod med ett kvalitativ fokus. Den teoretiska ramen baseras huvudsakligen på forskningsartiklar och böcker, men även vissa webbsidor har använts. Dessa webbsidor har använts för att området inte har många forsknings artiklar, eller kunde inte hittas. Den empiriska datan i projektet består av utvecklingen av 3D-skrivaren, möten med företaget samt tester av 3D-skrivaren. Genom att kombinera den fysiska 3D-skrivaren, CAD-modellen, testerna och teorin har studiens slutsatser kunnat dras.

Resultat: Resultatet av studien omfattar en konstruerad 3D-skrivaren som samverkar med de magnetiska leviterande plattorna. Därutöver presenteras också CAD-modellen samt en simulering av hur stationen skulle kunna användas i en produktionslina. Konstruktionen kan användas som stöd för framtida forskning inom fullt automatiserad 3D-skrivare för produktionslinor. Arbetet visar att samarbetet mellan magnetiskt svävande planmotorer och 3D-skrivare fungerar och kan teoretiskt automatisera additiv tillverkningen mera.

Slutsats: Sammanfattningen av studien är att stationen har potential att bidra med fördelar till smarta fabriker. Dessa förmåner inkluderar flexibilitet, modularitet, precision, unikhet och automation. För att detta system ska kunna implementeras i industriella miljöer och automation behövs mer forskning kring automatisering av efterprocesser av 3D-skrivare, samt ytterligare tester av konstruktionen i en automatiserade linje.

Förord

Detta examensarbete har varit inom produkt- och processutveckling på mastersnivå, vilket innehar 30 HP. Denna utbildning har varit en bra utforskning för mitt intresse inom teknik och ingenjörsarbete. Samt det har hjälpt mig att växa som person men också min information inom ämnet. Detta examensarbete har varit det perfekta arbetet för att sträcka ut benen och jobba fysiskt tillsammans med ett företag.

Jag vill tacka min handledare från MITC Nils Erlands som gav mig detta intressanta exjobb. Men också försedde mig med nödvändiga material samt kunskap för att kunna genomföra detta projekt. Vidare vill tacksamhet föras till Leif Santala som tillverkade två metall adapters till projektet. Tacksamhet vill även riktas till min handledare från Mälardalens universitet Christopher Gustafsson som gav vägledning samt rekommendationer till studien.

Ett sista tack till min familj och mina vänner som har hjälpt mig genom denna utbildning och arbete.

Innehållsförteckning

1. Inledning 1
1.1 Bakgrund 1
1.2 Problemformulering 1
1.3 Syfte 2
1.4 Frågeställning 2
1.5 Avgränsningar 2
2. Teori 3
2.1 Additiv tillverkning 3
2.1.1 Materialextrudering 3
2.1.2 Efterhantering 4
2.1.3 Fused deposition modeling 3D-skrivare 4
2.1.4 Design för additiv tillverkning 4
2.2 Industri 4.0 5
2.2.1 Sakernas internet 5
2.2.2 Smarta fabriker 5
2.3 Automatisering av 3D-skrivare 6
2.4 Magnetiskt svävande planmotor 7
3. Metod 8
3.1 Forskningsmetod 8
3.2 Litteratur 9
3.2.1 Literaturinsamling 9
3.2.2 Dataanalys 9
3.2.3 Källkritik 9
3.3 Produktdesign 10
3.3.1 Konceptgenerering 10
3.3.2 Konceptval 10
3.3.3 Systemutveckling 10
3.3.4 Datorstödd design 11
3.3.5 Montering 11
3.4 Datainsamling 11
3.4.1 Informella möten 11
3.4.2 Montering 11
3.4.3 Simulering och tester 11
3.5 Analys 12
3.6 Kvalitetssäkring 12

4. Genomförande 13
4.1 Produktdesign 13
4.1.1 Konceptgenerering 13
4.1.2 Koncept val 14
4.2 3D-modell 15
4.2.1 Linjära skenhållare 17
4.2.2 Huvudhållare 17
4.2.3 Bäddsensorhållare 18
4.2.4 Z-motorfäste 19
4.2.5 Övre hållare 19
4.2.6 Drivremsspännare 20
4.3 Ram 21
4.4 Utskrivna delar 22
4.5 Mekaniska Komponenter 22
4.6 Kopplingsschema 25
4.6.1 Beckhoff 26
4.6.2 Duet 3 6XD moderkort 26
5. Resultat 27
5.1 Fysisk modell 27
5.2 Simulering 28
6. Analys 30
6.1 3D-skrivare 30
6.2 Automatisering 30
6.3 Applikationer till Smarta fabriker 31
7. Diskussion & Slutsatser 33
7.1 Slutsats 33
7.2 Framtida arbete 34
7.3 Framtida forskning 34
8. Referenser 36
Bilagor 40
Bilagor av koncepten 40
Bilagor av CAD modellerna 45
BOM 49
Bilagor resultat 50

Förkortningar

AM - Additiv tillverkning (Additive manufacturing)

CAD – Datorstödd design (Computer aided design)

CPS – Cyberfysiska system (Cyber-physical systems)

DFAM – Design för additiv tillverkning (Design for additive manufacturing)

DFX - Design för X (Design for X)

FDM - Sammansmält deponeringsformning (Fused deposition modeling)

IIoT -Industriella sakernas internet (Industrial internet of things)

IoT – Sakernas internet (Internet of things)

MITC - Mälardalens industriella teknologicenter

MLPM - Magnetiskt svävande planmotor (Magnetically-levitated planar motor)

STL – Standard triangle språk (Standard triangle language)

1. Inledning

Inledningen avser att introducera ämnet av additiv tillverkning genom bakgrunden. Sedan förklaras arbetet med problemformuleringen, syftet, frågeställning och sist avgränsningarna av arbetet.

1.1 Bakgrund

Additiv tillverkning (eng. *Additive manufacturing*, AM) även kallat 3D-skrivande har existerat under en lång tid. De första patenten inom området var runt 1970. Dessa 3D-skrivare använde sig av smält metall (Autodesk, 2021). Under 1980-talet vidareutvecklade Hideo Kodama tekniken och introducerade en metod som använde fotopolymer och UV ljus för att härda materialet, vilket idag motsvarar en resin 3D-skrivare. Senare runt 1989 utvecklades yttligare en metod däribland fused deposition modeling (FDM). FDM metoden utgår på att smälta plast och stapla det lager efter lager för att skapa en 3D-form. År 2008 blev den första 3D-skrivaren kommersialiserades (Carlos, 2020).
När en traditionell FDM-skrivare är klar med sin utskrift är delen kvar på plattan och behöver manuellt arbete för att avlägsnas från byggplattformen. Detta försvårar integrationen av 3D-skrivare i automatiserade produktionssystem och samarbete andra maskiner. För att hantera detta har Creality skapat en 3D-skrivare som heter CR 30 som använder sig av ett rullande band i stället för en statisk skrivplatta. Detta möjliggör att 3D-skrivaren kan producera långa föremål eller flera små föremål som sedan kan avlägsnas i slutet av bandet.

På dagens marknad efterfrågar kunder mer individanpassade produkter. Detta innebär att företag behöver kunna hantera små produktionsvolymer på ett kostnadseffektivt sätt. Företag kan inte producera dessa små partistorlekar på ett ekonomiskt sätt med de traditionella tillverkningsmetoderna. Till exempel formprocesser behöver högkostnadsintensiva verktyg som inte är överkomligt för små produktionsvolymer. En tillverkningsmetod som kan uppfylla dessa krav är AM som är mycket flexibel och har en hög grad av geometrisk frihet (Merklein et al., 2016). Olika sektorer som kan dra fördelar av detta är flygindustrin, bilindustrin, biomedicin, civil, marinindustrin med mera (Rahman et al., 2023).

Industry 4.0 använder sig av flera nya moderna tillverkningsteknologier för att försöka förbättra dagens industrier. Samtidigt användes smarta fabriker för att optimera arbete, material samt producera hög kvalitet produkter. Både smarta fabriker och Industri 4.0 använder sig av cyberfysiska system (cyber-physical systems)(CPS), stor data, sakernas internet (internet of things)(IoT), molntjänst, automatiska robotsystem och AM. AM kan vara en viktig del av industri 4.0 samt smarta fabriker bland annat på grund av dess massanpassning, hög resurseffektivitet, produktionslivcykel och förändrar värdekedjan (Mehrpouya et al., 2019).

Magnetiska svävande planmotorer används inom moderna precisions- eller ultraprecisionsindustrier. Denna precision kommer bland annat från att de magnetiskt svävande planmotorerna använder magnetism för att sväva vilket möjliggör kontaktlös rörelse mellan mekaniska komponenter. Samt att de kan kontrolleras med elektrisk ström i magneterna, vilket leder också till att planmotorerna kan ha sex frihetsgrader x, y och z-led samt rotation roll, pitch och yaw (Hu et al., 2016).

1.2 Problemformulering

Trots att 3D-skrivare är automatiska under utskrivningen, kräver efterhantering manuella insatser. Den färdiga delen behöver förflyttas från skrivplattan, sedan behövs skrivare förberedas för nästa utskrift. Sedan ska den utskrivna delen förflyttas till nästa station för

efterhantering vilket oftast kräver manuellt arbete. Detta leder till att 3D-skrivning som tillverkningsmetod inte integreras till automatiserade produktionslinor.
Denna bakgrund skapar frågan om en integration av magnetiska svävandeplanmotorer och 3D-skrivare kan minska det manuella arbetet och möjliggöra en mer automatiserad och effektiv produktionsprocess.

1.3 Syfte

Syftet med detta projekt är att undersöka hur en FDM 3D-skrivare kan integreras med en magnetiskt svävande planmotor, samt analysera vilka fördelar stationen kan medföra till smarta fabriker.

1.4 Frågeställning

Hur skulle en station som använder magnetiskt svävande planmotor i kombination med 3D-skrivning kunna se ut?

Vilka fördelar skulle en sådan station kunna medföra till smarta fabriker?

1.5 Avgränsningar

Projektet ska utföras under en tidsperiod av 20 veckor med möjlighet till förlängning vid behov. Projektet fokuserar på konstruktionen och utveckling av en station som integrerar magnetiskt svävande planmotor med en FDM 3D-skrivare samt optimering av olika delar. Olika rörelsemetoder kommer inte att testas under arbetet för att själv testa vilken metod som är bäst. 3D-skrivaren kommer vara av en kartesisk design, och försöka använda delar från tidigare arbeta av projektet. En enkel simulering av projektet kommer också att göras för att säkerställa att detta system kan fungera teoretiskt.
Slutligen kommer programmeringen av stationen överföras till handledaren från det samarbetande företaget.

2. Teori

I detta kapitel presenteras den teoretiska referensramen för arbetet vilket inkluderar beskrivning utav additiv tillverkning och dess olika konfigurationer som kan förekomma, industri 4.0, automatisering av 3D-skrivare samt magnetiskt svävande planmotorer.

2.1 Additiv tillverkning

AM har ett flertal olika processer för 3D-skrivning och de kan kategoriseras i sju grupper som är *binding jetting*, *directed energy deposition*, *material extrusion*, *material jetting*, *powder bed fusion*, *sheet lamination* och *vat photopolymerization* (Shahrubudin et al., 2019; Jandyal et al., 2022) För denna studie kommer endast materialextrudering att undersökas djupare eftersom den metoden inom AM kommer att användas i projektet.

2.1.1 Materialextrudering

Materialextruderings är en av de vanligaste metoderna inom 3D-skrivning, bland annat på grund av dess relativt låga kostnad. Metoden möjliggör tillverkningen av fungerande komponenter, vilket är på grund av hur skrivarna fungerar. Ett av de första exemplen av materialextrudering inom 3D-skrivning är FDM (Shahrubudin et al., 2019).
FDM använder ett uppvärmt extruderingsmunstycke i vilket termoplastisk filament matas igenom. Termoplasten värms upp i munstycket till dess smältpunkt, varefter pressas den smälta termoplasten ut lager på lager på 3D-skrivarens bädd för att skapa en 3D modell. Anledningen till att termoplasten värms till dess smältpunkt är för att plasten ska snabbt kunna stelna och fästa till tidigare lager (Arunkumar et al., 2023).
En FDM 3D-skrivare kan röra sig inom flera grader av frihet, en av de är vertikalt för att möjliggöra uppbyggnaden av lagerna ovanpå varandra. Sedan användes olika metoder för att förflytta munstycket till rätt position, men det sker inom de tre koordinataxlarna (x, y, z) (Jandyal et al., 2022).

FDM 3D-skrivare kan använda ett flertal olika termoplastpolymer med olika egenskaper. Dessa material är *polylactic acid* (PLA), *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *poly ethylene terephthalate glycol* (PETG), *polyamide* (PA), *polypropylene* (PP), *polycarbonate* (PC) och nylon (Teixeira et al., 2021).

Olika AM processer har annorlunda fördelar och nackdelar.
En fördel med FDM 3D-skrivning är att processen är relativt säker och kräver inte användningen av kemikalier. Dessutom är FDM 3D-skrivare också enkla att använda och underhålla jämfört med andra AM metoder. Materialet till skrivarna är också relativt lättillgängliga och kostnadseffektiva. FDM skrivare finns i flera olika storlekar från små som får plats på ett skrivbord till lika stora som en garderob (Dave & Patel, 2021).
Samtidigt lyfter Attan (2017) fram yttligare fördelar med AM jämfört med traditionella tillverkningsmetoder. Dessa fördelar inkluderar snabb prototypframställning, tillverkning av reservdelar, tillverkning av små volymer, snabb tillverkning, reducera arbetskostnader, möjlighet till massanpassning till låg kostnad, förbättring av försörjningskedjan, snabbt svar på kundernas efterfrågan och möjligheten att tillverka komplexa former.
En nackdel med FDM skrivare är deras lägre ytakvalitet jämfört med andra AM metoder. Utskrivna delar är ofta svagare jämfört med andra AM metoder, FDM 3D-skrivare är också huvudsakligen begränsade till att använda termoplaster (Dave & Patel, 2021). Parvanda & Kala (2023) förklarar att fullständig automatisering av 3D-Skrvning ännu inte finns utan är endast teoretiskt. Dilberoglu et al. (2017) Beskriver yttligare nackdelar för användningen av 3D-skrivare inom masstillverkning, dessa är låg hastighet, begränsad noggranhet, repeterbarhet och kostnad jämfört med traditionella tillverknigns metoder.

Dağ & Avar (2023) beskriver hur materialextrudering 3D-skrivning kan användas inom biomedicinska områden. De kan exempelvis skriva ut nya ben till en persons öron, men behöver efterprocesser. Med mer avancerat material kan 3D-skrivare potentiellt kunna skriva ut vävnader till patienter.

2.1.2 Efterhantering

Efterhantering är en viktig del av AM-processer för att den utskrivna delen ska uppnå dess avsedda form, utseende och funktion. Efterhanteringsfasen omfattar ett flertal olika processer som kan varieras beroende på partens avsedda mål. Dessa processer inkluderar förbättring av ytkvaliteten, borttagning av stödmaterial, förbättring av ytstruktur, estetisk förbättring, minskning av dimensionsavvikelser, ökad noggrannhet, förbättring av mekaniska egenskaper, samt förberedelse för användning som mönster (Gibson et al., 2020). Flera av dessa processer kräver manuellt och tidskrävande arbete vilket även kan leda till försämrad partkvalitet. Detta innebär att AM kan vara mer krävande än traditionella produktionstekniker. Dessutom förblir AM:s potentiell för kostnadseffektiv mas eller serieproduktion förblir outnyttjat. En metod som kan minska tiden för borttagning av stödmaterial är flermaterial skrivning. Där stödmaterialet kan skrivas ut med polyvinyl alkohol vilket löses upp i vatten (Krischke et al., 2024). Vanliga efterhantering för FDM 3D-skrivning inkluderar borttagning av stödmaterial, slipning eller ytpolering, fyllning av glipor, beläggning och polymerbeläggning (Dizon et al., 2021)

2.1.3 Fused deposition modeling 3D-skrivare

Dave & Patel (2021) beskriver fyra olika typer av FDM 3D-skrivare: kartesiska, delta, polära och robotbaserade. Kartesiska typen är den vanligaste FDM 3D-skrivaren. I denna rapport kommer två typer av FDM-skrivare att studeras närmare dessa är kartesiska och polär eftersom de övriga är irrelevanta för detta projekt.

2.1.3.1 Kartesisk

Kartesiska 3D-skrivare använder tre axlar X, Y och Z vilket skapar ett tre dimensionellt koordinatsystem. Detta system möjliggör att 3D-Skrivaren vet vart printhuvudet befinner sig och var det behöver positioneras för att skriva ut delen (Kelly, 2014). Vad som rör sig längs dessa tre axlar varierar mellan olika 3D-skrivs modeller. En utav dessa designs är *gantry* inom denna design rör sig printhuvudet i X och Y medan printbädden rör sig i Z riktningen alltså upp och ner.

Den andra designen som kallas *bäddslunga*, i denna design rör sig bädden i Y axeln medan printhuvudet rör sig i X och Z. En nackdel med denna design är att den tynga printbädden rör sig vilket kan orsaka vibrationer och i värsta fall leda till att den utskrivna delen lossnar. Jämfört med *gantry* designen är *bäddslungan* långsammare men enklare att underhålla och billigare (France, 2013).

2.1.3.2 Polär

Polära 3D-skrivare skiljer sig från den traditionella kartesiska modellen eftersom polära 3D-skrivare använder sig av en roterande skrivplatta. En polär 3D-skrivare har tre axlar theta-axeln vilket är det roterande momentet, R-axeln som är utsträckandningen av armen vilket har skrivarenshuvud monterat på samt Z-axeln vilket flyttar armen upp och ner (Deshpande et al., 2019).

2.1.4 Design för additiv tillverkning

Design för X (eng. *design for x*, DFX) är en designmetod där ”X” representerar en specifik aspekt som ska fokuseras på under designstadiet. Design för additiv tillverkning (eng. *Design*

for addative manufacturing, DFAM) fokuserar på AM och dess möjligheter samt utmaningar. Inom DFAM finns det tre huvudsakliga tillvägagångsätt dessa är det opportunistiska förhållningssättet, det restriktiva tillvägagångssätt och det dubbla tillvägagångssättet. Det opportunistiska förhållningsättet syftar till att utnyttja AM:s komplexa formbildnings metoder utan att sätta några gränser. Det restriktiva tillvägagångsättet fokuserar i stället på AM:s begräsningar som material, prestanda och AM maskiners egenskaper samt tillverkningsbarheten. Det dubbla tillvägagångssättet kombinerar de två tillvägagångssätten (Briard et al., 2020). Exempelvis inom det opportunistiska förhållningsättet kan en design utnyttja flera färger eller material, använda sig av generativ design och topologioptimering, samt drar nytta av AM:s möjligheter till anpassning och delkonsolidering. Det restriktiva tillvägagångssättet innebär i stället att designen ändras för att undvika stödstrukturer, minimera kostnader, begränsa användningen av flera färger eller material och bestäm hur begräsningar ska uppfyllas (Gibson et al., 2020).

2.2 Industri 4.0

Industri 4.0 handlar primärt om automatisering av tillverkningssystem och digitalisering men också integrationen mellan den fysiska och den digitala världen. För att uppnå detta behöver företag integrera nya teknologier till sina verksamheter (Machado & Davim, 2020).

2.2.1 Sakernas internet

Sakernas internet (eng. *Internet of things*, IoT) har en väsentlig roll inom industri 4.0 på grund av dess förmåga att sammankoppla olika maskiner och enheter. Denna sammankoppling möjliggör kommunikation och informationsbyte mellan maskiner, allt inom ett nätverk. IoT använder olika enheter exempelvis ställdon, armberäkningschips och sensorer. Genom denna sammankoppling av enheter medför IoT en högre grad av automatisering (Khan & Javaid, 2021). En viktig del av IoT är sammankopplingen mellan fysiska objekt och digitala system via internet och informationssystem exempelvis sensorer. IoT kan tillämpas inom flera sektorer exempelvis fordonsindustrin, sjukvård, annan tillverkningsindustri, smarta hem och högteknologisk elektronik (Manavalan & Jayakrishna, 2019).

Industriella sakernas internet (eng. industrial internet of things, IIoT) är en annan del av IoT som fokuserar på industriella tillämpningar. IIoT möjliggör förbättrad insikt, övervakning och företagets kontroll över processer samt tillgångar. Det även bidra till effektivare schemaläggning, planering och kontroll av tillverkningsoperationer. IIoT kommer leda till att företag blir mer decentralisera organisationer som snabbare kan reagera samt agera, vilket ökar effektiviteten och minskar tiden till marknaden (Lampropoulos et al., 2019)

2.2.2 Smarta fabriker

Smarta fabriker kan beskrivas av fyra huvudkategorier, självmedvetna, modularitet, heterogenitet och interoperabilitet. För att en fabrik ska vara självmedveten krävs det att den kan identifiera och spåra produkter samt veta status och tid av produkter inom produktionslinan. Fabrikerna ska vara modulera vilket innebär att produktionslinan är uppdelad i olika funktionella komponenter som kan kombineras på olika sätt för att skapa nya system beroende på efterfrågan eller nya produkter. Heterogenitet innebär att fabrikerna ska kunna tillverka flera olika produkter, vilket behövs eftersom efterfrågan på kundanpassade produkter ökar. Interoperabilitet innebär att olika systemen kan kommunicera med varandra, samt att den informationen som skickas kan förstås. En skillnad mellan smarta fabriker och vanliga fabriker är att smarta fabriker tillverkar flera olika produkter på samma produktionslina. Dessa produktionslinor kan dessutom anpassas automatiskt till nya produkter (Resman et al., 2021).

För att smarta fabriker ska kunna fungera krävs CPS som samverkar med multiagentsystem (MAS). MAS är ett system som delar upp tillverknings resurser till intelligenta agenter som kommunicerar med varandra för att implementera dynamiska omkonfigureringar för att uppnå flexibilitet. CPS kan användas för att stödja MAS genom IoT, trådlösa sensorsystem (eng. *wireless sensor networks*, WSN), stordata, molntjänster och mobilt bredband (Wang et al., 2016).
Basu (2023) beskriver fördelar och utmaningar med implementering av smarta fabriker. De främsta fördelarna inkluderar ökad tillgångseffektivitet, lägre kostnader, förbättrad kvalité, ökad säkerhet, hållbarhet och digitalisering. Digitalisering möjliggör visualisering genom simulationer med hjälp av AR och VR vilket reducerar produktionsrisker. Andra fördelar med digitaliseringen inkluderar förbättrad informationshantering, smart automation och förutsägande underhåll. Det finns också utmaningar med smarta fabriker exempelvis dataintegration, eftersom stora mängder data genereras från olika systemen och kan vara svårt att hantera. En annan utmaning är de höga kostnaderna för att implementera de olika teknikerna som behövs för smarta fabriker.

2.3 Automatisering av 3D-skrivare

AM har flera användningsområden inom massanpassning, från producering av produkter i låg volym till hög volym. Vid högre volymer kan AM exempelvis användas för att tillverka anpassade hörapparater. Siemens använder AM som sin huvudsakliga produktionsmetod för denna typ av hörapparat med en produktionstakt på cirka 2000 enheter per vecka. På grund av hur AM använder 3D modeller kan 3D-skrivare tillverka tillämpade produkter vid begäran. Detta kan förändra en hela leveranskedjan genom att göra den mer lean, agil och minska lagerhållning (Reeves et al., 2011).
Dekock (2022) beskriver hur tidskrävande det kan vara för företag att hantera flera 3D-skrivare i produktion. En av de mest tidskrävande faktorerna är hanteringen av 3D-skrivarna. För att lösa detta problem delas det in i två delar först att kunna kontrollera 3D-skrivarna digitalt på avstånd samt automatisering av borttagning av färdiga delar från 3D-skrivarna. Det finns några lösningar på detta problem. Ett alternativ att automatisera denna del är igenom robotarmar som plockar upp färdigutskrivna komponenter och transporterar den vidare via transportband för efterhantering eller förpackning (Villi et al., 2024). Ett annat tillvägagångssätt är en 3D-skrivare som skriver ut delar på en 45 grader lutning direkt på ett transportband. Denna metod möjliggör kontinuerlig produktion samt tillverkning av längre delar. De färdiga delarna kan sedan transporteras vidare genom andra transportband (Dam et al., 2019).
Özsoy et al. (2020) Beskriver en liknande 3D-skrivare men utan att skrivplattan är på en 45 graders lutning. Prusa Resarch (2020) har utvecklat ett system där en rörlig plattform transporterar skrivplattan från 3D-skrivaren med den färdiga delen till ett lagringsystem därefter placeras en ny skrivplatta i 3D-skrivaren.
Papp (2024) & Horsey (2024) presenterar ett annat system som använder ett magasin av 10 skrivplattor som automatiskt byter ut den använda skrivplattan till en ny. Denna lösning demonstreras med en modifierad Bambulab a1 mini. En alternativ metdon beskriven av Kacherski et al., (2020) som involverar att skrapa av den färdiga delen från skrivplattan. Delen kan sedan lagras i exempelvis en behållare.

Fördelarna med att automatisera 3D-skrivare inkluderar snabbare hantering av färdiga delar, ökad produktionstakt genom kontinuerlig drift (Dekock, 2022), minskad tid mellan utskrifter, mer konsist produktkvalitet och minskad mänskliga faktorer (Horsey 2024). Industrier som kan utnyttja dessa fördelar är flygindustrin, bilindustrin, medicinteknik, arkitektur och kommersiella tillverkning (Attaran 2017).

2.4 Magnetiskt svävande planmotor

Magnetisk leviterande system har det primära syftet att levitera ett föremål utan mekanisk kontakt, genom användning av magnetism. På grund av att systemet inte har någon kontakt mellan ytor vilket eliminerar friktion vilket leder till högre energieffektiv drift, lägre ljudnivå, minskade vibrationer och inget damm som kan fastna mellan komponenter. Reducering av vibrationer gör detta system passande för högprecisions operationer. Magnetisk leviterande planmotorer (eng. *Magnetically-levitated planar motor*, MLPM) använder denna princip genom att ha en statisk station som manipuleras och leviterar en rörlig plattform inom en planar yta. Eftersom plattformen svävar kan den styras i sex frihetsgrader vilka är x, y och z samt rotation kring roll, pitch och yaw. Systemet kan också kopplas samman med andra stationer för att möjliggöra transportering över längre distanser (Stewart, 2023).
Dessa system kan hantera flera plattformar samtidigt. Plattformarna kan också individuellt programmeras för att följa olika commandon exempelvis specifika banor. Detta möjliggör ett mycket flexibelt produktionsflöde (Arora et al., 2019).

Ett exempel på ett MLPM-system är XPlanar från Beckhoff. XPlanar kan röra sig i sex frihetsgrader och motorstationerna kan konfigureras vilket möjliggör dynamiska produktionslayouter. På grund av detta kan XPlanar hantera transportbanor samt parkeringsplatser för plattorna. XPlanar inkluderar inbyggt kollisionundvikaning, vägplanering och ett läge för att förhindra spill av vätskor eller hantera andra sensitiva produkter. Dessa egenskaper gör att XPlanar särskilt passande inom läkemedel, vetenskaplig forskning, livsmedel, labbautomation, montering, förpackning samt andra krävande industrier. Vid korrekt användning kan XPlanar bidra till överträffande flexibilitet, minskad golvyta, stöd för modulära produktionssystem samt kombinering av flera maskiner till en. (Johnson, 2021).
XPlanar är dessutom skalbart för små eller stora produktionssystem. På grund av XPlanar’s höga flexibilitet och höga rörelsedynamik kan produktflöden enkelt omkonfigureras vilket möjliggör ersättning av tidigare robotar och mindre flexibla transportsystem (Beckhoff automation 2025).

3. Metod

Detta kapitel presenterar de metoder som användes för att genomföra studien, inklusive forskningsmetod, litteraturinsamling, datainsamling, produktdesign, analys samt kvalitetssäkring.

3.1 Forskningsmetod

Den forskningsmetod som användes i denna studie är en fallstudie. En fallstudie kan fokusera på ett eller flera fall beroende på studiens syfte. Fallstudier är lämpliga när mer djupgående kunskap inom ett ämne eftertraktas. En fördel med fallstudier är att samla in data från ämnen som är mindre utforskade, detta kan generera mer meningsfull data och relevant teori. Fallstudier är också lämpliga för att utveckla teori, testa eller förfina teorier. Metoden användes ofta vid forskningsfrågor som inleds med hur, vad och varför (Säfsten and Gustavsson, 2019).
Fallföretaget för denna studie var Mälardalens industriella teknologicenter (MITC) som är placerad i Eskilstuna. MITC bygger på samverkan mellan industri, akademi och samhället. Med denna samverkan skapar MITC behovsstyrda samarbeten för små företag, medelstora företag, utbildning och forskning (MITC, 2023).

MITC har ett pågående projekt som kallas för den smarta fabriken, med målet att utveckla en automatiserad produktionslina som använder teknologier från industri 4.0. Inom projektet finns planer att integrera en 3D-skrivare och XPlanar-plattformar.
XPlanar-plattorna svävar en kort distans från deras golvplattor på stationen ungefär 1–5 mm med hjälp av magnetism. Detta möjliggör att plattorna kan röra sig i alla riktningar, rotation samt höja och sänka plattan i viss utsträckning (Beckhoff, u.å.). Ambitionen är att plattorna ska kunna transportera den utskrivna delen vidare till nästa station produktionslinan exempelvis borrning eller slipande.
MITC har tidigare genomfört ett projekt där en grupp studenter påbörjade konstruktionen av en 3D-skrivare som skulle integreras med XPlanar. Projektet slutfördes inte men flera komponenter hade beställts, två Beckoff motorer, en Biqu H2 V2S extruder, aluminiumprofiler och ett Duet 3 6XD moderkort. Resultatet av projektet var en ram till en 3D-skrivare gjort av aluminiumprofiler. Eftersom komponenter redan fanns tillgängliga var det fördelaktigt att använda de komponenterna i stället för att beställa in nya.
Ytterligare avgränsningar från MITC för detta arbete inkluderar:

- Automatisering av 3D-skrivning med XPlanar-plattor
- Igen utveckling av en värmebädd (eng. heatbed)
- 3D-skrivaren ska inte röra sig i y-led
- Inte utveckla andra efterhanterings processer efter 3D-skrivningen
- Inga tester av processer efter 3D-skrivandet
- Inte programmera plattorna

Denna forskningsmetod valdes eftersom studien har en explorativ studie, vilket är lämpligt när syftet är att undersöka nya eller mindre utforskade tekniker. Fallstudien innefattade design av en prototyp, montering samt testande. Prototypens syfte var att undersöka om de två olika teknologierna kan fungera tillsammans och vilka fördelar detta kan medföra. Arbetet delades därför in i fem delar teoriinsamling, konceptskapande, konceptval, 3D utveckling, montering och testande.

3.2 Litteratur

Nedan förklaras hur litteraturen för arbetet samlades, analyserades och hur källornas trovärdighet säkerställdes.

3.2.1 Literaturinsamling

Litteraturinsamlingen i denna studie har införskaffat information från böcker, vetenskapliga artiklar och webbsidor. För att identifiera relevanta källor användes sökmotorer som Google scholar och Scopus. Utöver dessa användes även databasen Mälardalens universitets (MDU) bibliotek. De valda sökmotorerna användes dels på grund av tillgång via universitet, dels på grund av tidigare erfarenhet av de. MDU:s bibliotek och Socpus erbjuder ett större urval av peer-reviewd artiklar samt mer källkritisk granskad information jämfört med Google scholar. Följande sökord användes vid litteratursökning: *additiv manufacturing, FDM 3D printing, Automatic 3D printing, Industry 4.0, smart factories, IoT, DFAM, XPlanar och 3D printing inom produktion*. Dessa söktermer användes eftersom de bedömdes vara relevanta för både teori och den praktiska delen. Söktermerna kombinerades även in till exmpelvis: *3D printing within smart factories, advantages and disadvantages with 3D printing, advantages and disadvantages with magnetic levitating platforms och smart factory's role in industry 4.0*. Google och Youtube användes även som komplementärande källor för sekundärdata. Google användes främst för att hitta information om automatisering av 3D-skrivning, eftersom det finns begränsat antal vetenskapliga artiklar inom ämnet. Dessa källor användes inte som teoretisk grund utan använts som stöd vid förståelse av automatisering av 3D-skrivning och vid konceptvalet. För att bedöma källornas relevans granskades artiklarnas abstract samt rubriker innan vidare läsning genomfördes.

Den Information som samlades in under litteraturinsamlingen utgjordes huvudsakligen av kvalitativa data. Detta innebär fokus på textbaserad information, rika data och kontextuell förståelse tillskillnad från en kvantitativ metod som fokuserar på numerisk data, generalisering och tillförlitliga data (Blomkvist & Hallin, 2015).

3.2.2 Dataanalys

För att analysera den insamlade data användes en tematisk analysmetod. Denna metod är lämplig för att analysera kvalitativa data och bygger på att identifiera och strukturera informationen i olika teman. Teman används för att identifiera mönster i informationen som är relevanta för studiens forsknings forskningsfråga. Dessa mönster kan bestå av återkommande begrepp (Säfsten and Gustavsson, 2019).
I detta projekt laddades relevant litteraturer ner och organiserades i olika mappar baserat på tillförande kategori. Detta gjordes för att underlätta sökning och strukturering av information. De teman som användes var 3D-skrivare, smarta fabriker, industri 4.0, magnetiska svävande planmotorer samt automatiserad 3-skrivning.
Efter att kategorierna hade etablerats sorterades informationen in i korresponderande tema. Därefter analyserades innehållet i de olika kategorierna, exempelvis genom att bedöma i vilket utsträckning informationen bidrog till att besvarar studiens frågeställning. Detta steg kan också leda till att frågeställningen behövs omformuleras (Blomkvist & Hallin, 2015).

3.2.3 Källkritik

Källkritik är en viktig del vid insamling och användning av information. I denna studie användes Blomkvist & Hallins (2015) checklista för källvärdering för att säkerställa källornas trovärdighet. Checklistan innefattar bland annat följande punkter: har källan en författare, om författaren hänvisar till andra källor, är informationen aktuell samt om materialet har genomgått någon form av granskning före publicering. Dessa punkter användes vid

bedömning av källorna i studien. Vissa punkter användes inte på grund av att de ansågs vara mindre relevanta för studien eller tidskrävande och svårt åtkomligt att hitta till varje källa.

3.3 Produktdesign

I detta avsnitt beskrivs de olika stegen av produktdesignen för detta arbeta.

3.3.1 Konceptgenerering

Under studiens koncept/ide generering användes brainstorming. Brainstorming syftar till att generera en stor mängd idéer och aktivera den kreativa potentialen, exempelvis genom att inspireras av andras idéer. Metoden inleds med att definiera ett tema som idéerna ska baseras på. Därefter presenteras reglerna och idéer dokumenteras genom skisser eller anteckningar. Idéer som inte är genomförbara kan sparas inom en idébank, medan utvalda idéer vidareutvecklas (Wikberg et al., 2015).
De regler som tillämpas inom brainstorming inkluderar bland annat kvantitet förre kvalitet, använda visuella representationer samt att bygga vidare befintliga idéer (Lewrick et al., 2020). Eftersom arbetet genomfördes individuellt kunde inte alla dessa regler tillämpas, särskilt vad gäller att kombinera idéer med varandra. Därför kompletterades denna process genom att hitta inspiration externt. Ulrich et al. (2015) beskriver detta som att analysera relaterade produkter för att identifiera befintliga lösningar samt deras svagheter och styrkor.

Brainstormingen genomfördes genom att generera enkla skisser av olika koncept. Syftet med skisserna var att visualisera idéerna, bedöma deras genomförbarhet samt identifiera om de kan förbättras. Skisserna användes även för att kunna presentera koncepten för handledaren på MITC, vilket senare användes för att selektera det slutgiltiga konceptet.

3.3.2 Konceptval

Efter att flera koncept genererats genomfördes ett urval för att identifiera slutgiltiga koncept att vidareutveckla. Inledningsvis presenteras koncepten till den ansvariga handledaren på MITC. Därefter sållades koncepten från nio till fyra. Dem fyra utvalda koncepten valdes ut eftersom de representerade olika rörelsesystem samt ramkonstruktioner vilket möjliggjorde jämförelse mellan alternativa lösningar. Den ansvariga på MITC sållade ut koncepten utefter om koncepten var relevanta samt om de kunde skapas och potentiellt hade rätt egenskaper för projektet.

För vidare sållning användes en konceptundersökningsmetod. Metoden bygger på att skapa en matris där koncepten rankas inom relevanta kriterier. Efter som kriterierna har samma vikt är det viktigt att inte endast inkludera relevanta kriterier. Koncepten placeras horisontellt och kriterierna vertikalt i matrisen. Varje koncept bedöms utifrån kriterierna med betyg i form av +, 0 eller –, vilket indikerar om konceptet presterar bättre, likvärdigt eller sämre än en referensprodukt. Därefter rankas koncepten baserat på deras totala poäng. Senare kan koncepten förbättras eller kombineras innan ett slutet slutgiltigt koncept väljs (Ulrich et al., 2015).

3.3.3 Systemutveckling

En produkts arkitektur innebär att dela upp produkten i olika delsystem för att skapa en tydligare förståelse för hur dess delar fungerar och samverkar. En produkt kan delas in i två huvudsakliga element: funktionella och fysiska delar. De funktionella elementen omfattar de individuella operationerna och transformationerna som bidrar till produktens prestanda. De fysiska element utgörs av komponenter och delsystem som ska implementera produktens funktioner (Ulrich et al., 2015).

3.3.4 Datorstödd design

Efter att koncept valts modellerades konceptet i ett datorstött program (eng. computer aided design, CAD). Syftet med 3D-modulleringen var att visuellt analysera produkten, säkerställa att komponenter får plats utan kollisioner samt undersöka hur komponenterna integrerar med varandra, eller om andra komponenter behövs. Yttligare en anledning var att flera komponenter skulle tillverkas genom 3D-skrivning vilket kräver digitala 3D-modeller. För modelleringen användes Solidworks, dels på grund av tidigare erfarenhet med programmet, dels har studenter vid MDU tillgång till programmet.

3.3.5 Montering

Under monteringsfasen tillverkades flera iterationer av komponenter. Detta berodde exempelvis på bristfällig information, konstruktionsfel eller nya insikter som uppstod under arbetets gång. Iterationer kunde även krävas när komponenter inte uppfyllde sin avsedda funktion, eller när nya krav infördes som behov av ökad stabilitet. Monteringsprocessen bidrog därmed till kontinuerlig förbättring av konstruktionen.

3.4 Datainsamling

Detta kapitel förklarar hur empirisk data för arbetet samlades in genom möten, montering, simulering och tester.

3.4.1 Informella möten

Under studiens genomfördes veckovisa möten med handledare från MITC. Vid dessa möten diskuterades projektets framgång samt planeringen för kommande arbete. Även designval och tekniska lösningar diskuterade under mötena.

Under montering förekom dessutom informella diskussioner med handledaren, där nya idéer och förbättringar identifierades och diskuterades.

3.4.2 Montering

En stor mängd data samlades in under monteringen av 3D-skrivaren. Exempelvis identifierades felaktiga mått på tillverkade komponenter, vilket krävde justeringar. Dessa felaktiga mått kunde bero på felaktiga mätningar, brister i CAD-modellen eller fel uppfattningar.
Vidare identifierades ett behov av toleranser mellan komponenter vilket kan leda till att de inte kan uppfylla deras funktioner. I de fallen utvecklades och tillverkades ny modifierade komponenter.

Även nya idéer kring förbättringar uppstod under monteringen. Baserat på den insamlade informationen utvecklades reviderade komponenter som bättre uppfyllde funktionella krav, detta ledde också till utvecklingen av nya komponenter som tidigare inte identifierats.

3.4.3 Simulering och tester

En del av datainsamlingen baserades på tester av stationen, med syfte om det kan uppfylla sina funktioner och krav.
I CAD-modellen genomfördes enklare simuleringar för att undersöka om komponenterna rörde sig enligt avsikt samt om de olika systemen teoretiskt kunde samverka. Dessa simuleringar genomfördes utan fullständig implementation av styrsystem och programmering.

Eftersom programmering av systemet inte färdigställdes inom projektens tidsperiod kunde inte hela stationens funktion testas i praktiken. På grund av detta kunde ingen dels skrivas ut

av 3D-skrivaren på XPlanar-plattformen.
De tester som genomfördes var de enskilda mekaniska funktionerna av stationen exempelvis aktivering av motorerna för rörelser i X- och Z-led. Detta gjordes för att verifiera funktionaliteten av de tillverkade komponenterna samt identifiera eventuella kommunikationsproblem mellan motorer och moderkort.

Slutligen skapades en enklare simulering av en potential produktionslina där 3D-skrivar stationen ingår. Syftet var att illustrera hur systemet teoretiskt skulle kunna implementeras i en produktionslina.

3.5 Analys

Analysen av arbetet genomfördes huvudsakligen genom att jämföra teoretiska resultat mot det praktiska. Eftersom studien hade en omfattande praktisk del var det i vissa fall utmanande att jämföra med befintlig teori. Därför baserades analysen delvis på hypotetiska jämförelser mellan den praktiska tillämpningen och teoretiska resonemang.

Syftet med dessa jämförelser var att identifiera likheter mellan teori och praktik för att kunna dra slutsatser om systemets funktion och potential. Analysen baserades inte enbart på direkta likheter, utan även på hur olika teoretiska perspektiv kunde kombineras för att förklara resultaten.

Den empiriska datan analyserades genom att jämföra prototypens faktiska funktion med de teoretiska förväntningarna från litteraturen. Observationer från montering och tester användes för att identifiera styrkor, begränsningar och förbättringspotential.

3.6 Kvalitetssäkring

För att säkerställa kvaliteten av en rapport behövs giltighet samt reliabilitet. Giltighet kan delas in i inre och extern giltighet. Giltighet i helhet innebär att det som avses mätas är det som faktiskt undersöks. Den inte giltighet avser i vilken utsträckning rapporten besvarare sin egna frågeställning samt i vilken grad alternativa förklaringar kan uteslutas. Den externa giltigheten handlar om en rapports generaliserbarhet, det vill säga i vilken utsträckning resultaten kan tillämpas i andra sammanhang. Reliabilitet avser i vilken grad en rapport kan reproduceras om samma metod skulle ge liknande resultat vid upprepning (Säfsten Gustavsson, 2019).

Den inre giltigheten i studien stärktes genom att prototypen testades iterativt och modifierades när den inte uppfyllde kraven. Dessa tester genomfördes i samarbete med handledaren från MITC för att säkerställa att relevanta aspekter testas och att resultaten överstämmer med studiens mål.
För att stärka den externa giltigheten beaktades potentiella användningsområdet för 3D-skrivaren utöver det specifika området. Detta möjliggör en bredare tillämpning av resultat.
Reliabilitet stärktes genom att dokumentera arbetsprocessen, exempelvis genom att spara tidigare versioner av CAD-filer samt genom att genomföra tester vid flera tillfällen. CAD-modellerna utvecklades även med fokus på funktionalitet och praktisk användning, där onödiga komponenter och material minimerades.

4. Genomförande

I detta kapitel presenteras genomförande av arbetet samt viktigt komponenter för hur 3D-skrivaren fungerar och dem elektroniska komponenterna.

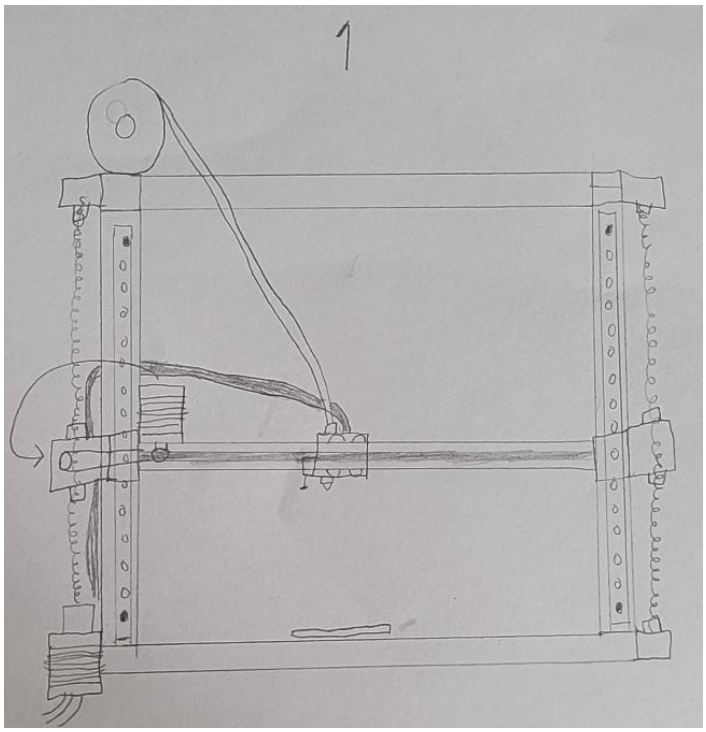
4.1 Produktdesign

För att skapa den slutgiltiga designen utav produkten användes ett flertal olika steg. I detta kapitel beskrivs konceptgenereringen samt konceptsållningen.

4.1.1 Konceptgenerering

Konceptgenereringen inledes med att analysera det tidigare arbetet av projektet för att förstå vad som hade gjorts och varför visa beslut gjordes. Därefter utformades egna idéer genom brainstorming. Under denna process genomfördes observationer av andra 3D-skrivare. Fokuset i observationerna låg bland annat på vilket skrivarna rörelsesystem dem använder, vilka delar rör sig, varför de rör sig, vilka mekaniska komponenter används samt hur olika delar är sammankopplade. De 3D-skrivare som analyserades genom nätet inkluderar Bambulab A1 mini, Bambulab X1 carbon, Creality Ender 5 s1, Creality Ender 3 v2, Creality CR 30, Prusa i3, Prusa mk4s, Prusa mini, Ultimaker 2 och Prusa XL.
För att skapa en djupare förståelse för hur 3D-skrivare fungerar och är uppbyggda studerades även ett antal Youtube-videor. Dessa Youtube-videor inkluderade Dr. D-Flo (2020), 3DJake (2022), Rolohaun (2022) och Ivan Miranda (2019). Videorna bidrog till en ökad förståelse för vad en funktionell 3D-skrivare har för krav samt olika rörelsesystem och hur de fungerar.

Skisser av de olika koncepten kan återfinnas i bilagor 1–9, där koncept ett motsvarar bilaga ett. Som en referens visas koncept ett även i figur 1.



Figur 1: Skiss av koncept ett

Koncept 1: Koncept ett använder samma ramkonstruktion som koncept 2,3,6,7,8,9 vilket består av en kubformad ram av aluminiumprofiler med två extra pelare placerade centralt på varsin sida av ramen. Dessa pelare möjliggör rörelse för skrivarens arm i z-riktning samt att armen blir centrerad. Förflyttningen i z-led realiseras med hjälp av linjära skenor i

kombination med två trapetskruvar, monterade på vardera sida. I x-led sker rörelsen genom att skrivarhuvudet löper längs en horisontell axel med hjul drivna av en drivrem.
Koncept 2: Koncept två använder samma ramstruktur som koncept ett. Rörelsen för z-led åstadkoms med trapetskruvar och linjära skenor. För x-led användes linjära rör som styrning och drivs av en drivrem.
Koncept 3: Koncept tre har samma ramkonstruktion som koncept ett. Rörelse i z-led åstadkoms med trapetskruvar och linjära rör, båda saknar övre infästning. I x-led används linjära rör medan förflyttningen sker via en drivrem.
Koncept 4: Koncept fyra avviker från tidigare konceptens ramkonstruktion genom en rektangulär ramgeometri. Konstruktionen inkluderar endast en vertikal pelare placerad central på vardera sida. Koncept fyra använder linjära skenor och trapetskruv för rörelse i z-led. I x-led används en drivrem och hjul för förflyttning.
Koncept 5: Koncept fem har en liknande ram till koncept fyra men består av endast en pelare. Sedan använder koncept fem linjära skenor och en trapetskruv för rörelse i z-riktning. I x-led används hjul och en drivrem för rörelse.
koncept 6: Koncept sex använder samma ramkonstruktion som koncept ett. Rörelse z-led möjliggörs genom en kombination av linjära rör och trapetskruvar. Tillskillnad från koncept tre är dem linjära rören fixerade i både toppen och botten av ramen. Förflyttning i x-led sker med hjul och en drivrem.
Koncept 7: Koncept sju har samma ramkonstruktion som koncept ett och använder linjära skenor samt en trapetskruv för förflyttning i z-led. I x-led använder koncept sju en drivrem och hjul, drivremmen är inte placerade längs skrivarens arm utan i ramens övre del. Rörelsen överförs till skrivarens huvud genom linjära rör.
Koncept 8: Koncept åtta har samma ramkonstruktion som koncept ett. Linjära skenor används som styrsystem i både för x-led och z-led. Tillskillnad från övriga koncept realiseras rörelsen i z-led med drivremmar istället för trapetskruvar
koncept 9: Koncept nio baseras på samma ramkonstruktion som koncept ett men använder hjul som styrsystem i både x-led och z-led. Förflyttningen i z-led sker via trapetskruv medan x-led drivs med en drivrem.

4.1.2 Koncept val

I tabell 1 visas resultaten av konceptutvärderingen. Vid detta konceptval användes Creality Ender 5 S1 som referensprodukt, eftersom dess ramkonstruktion liknar de flesta koncepten samt tidigare erfarenhet med den modellen. Dessutom antas dess kvalitet vara jämförbar med den planerade prototypen.
Inför koncept genomfördes en primär sållning tillsammans med handledaren från MITC vilket reducerade koncepten till koncept 1, 2, 4 och 8. Utifrån denna utvärdering fick koncept åtta högst poäng och rankades därmed högst.

	Creality Ender S5	Koncept 2	Koncept 4	Koncept 8	Koncept 1
Stabilitet	0	+	-	+	0
Precision	0	+	+	+	0
Livslängd	0	0	0	+	0
Enkelhet Underhåll	0	-	-	+	0
Underhåll Frekvens	0	+	-	+	0
Enkelhet Användning	0	-	-	0	0
Pris	0	+	+	-	0
Vikt	0	-	-	-	0
+	0	4	2	5	0
0	9	1	2	1	9
-	0	4	6	3	0
Summan	0	0	-4	2	0
Rank	2	2	3	1	2

Tabell 1: Poängsättningen av konceptval

Efter utvärdering kombinerades koncept ett, två och åtta. Detta gjordes främst på grund av koncept åttas lösning för rörelse i z-led, där drivremmar användes istället för trapetskruvar. Resultatet blev ett nytt koncept vilket blev koncept tio, som använder linjära skenor och en drivrem i x-led samt två trapetskruvar i z-led, kompletterat med linjära skenor som styrsystem.

Dem kriterierna som användes undersökningen valdes utifrån deras relevans för 3D-skrivares funktion och prestanda. Ytterligare en anledning var att dessa kriterier motsvarade de egenskaper som efterfrågades i konstruktionen.

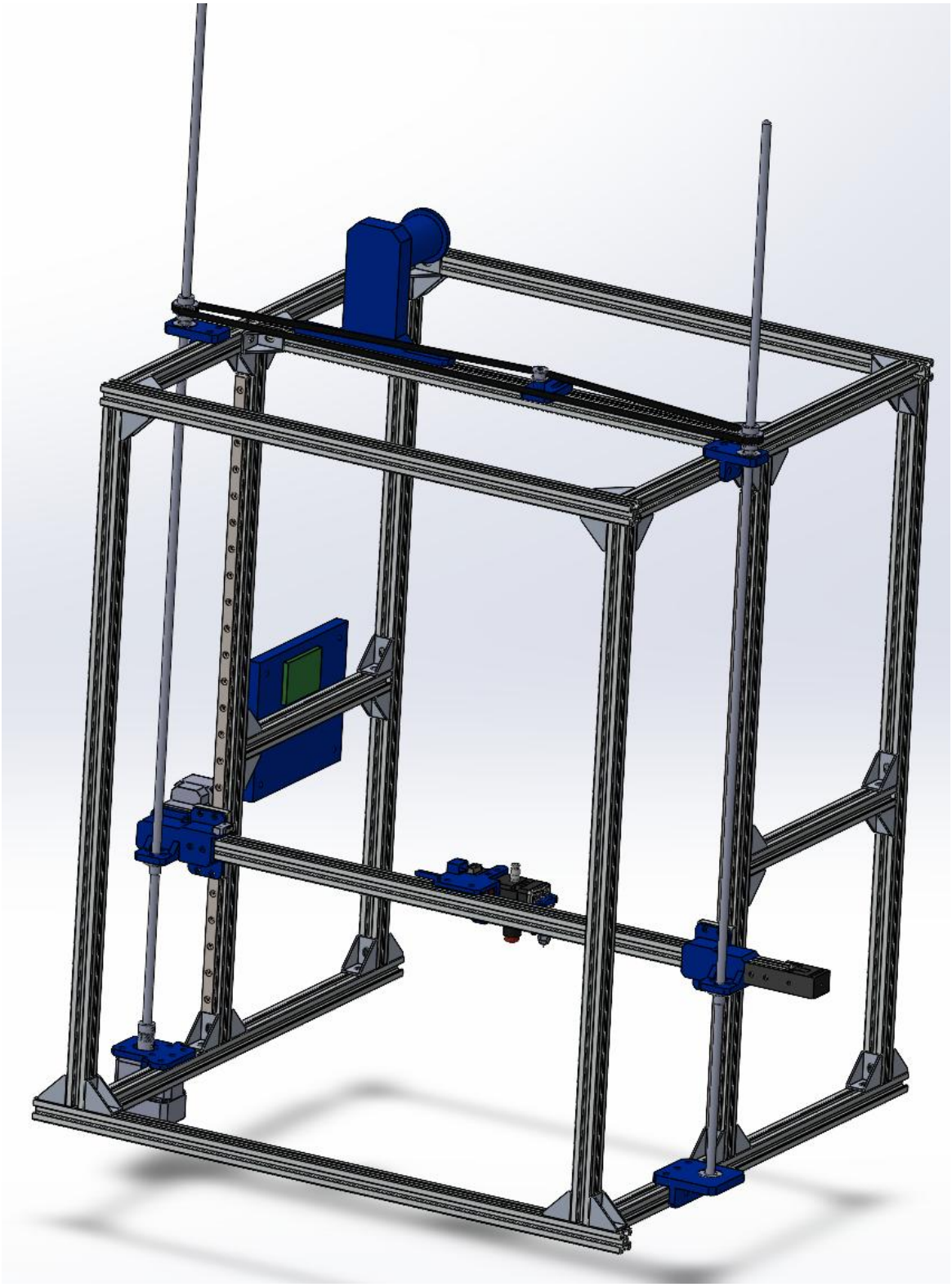
För att jämföra de olika system inom respektive kriterium genomfördes en informationssökning online. De tre källorna som användes Madison (2024), Kondo & Connell (2022) och Snapmaker (2023), vilka beskriver systems fördelar samt skillnader mellan dem.

4.2 3D-modell

3D-modellering har utgjort en stor del av denna studie. Med hjälp av 3D-modellen kunde flera misstag identifieras, exempelvis komponenter som kolliderade med varandra, hur dem fungerar tillsammans samt om ytligare delar behövs. CAD-modellerna krävdes även för att kunna skriva ut dem marinblå delarna som illustreras i figur 2.
De olika delarna skapades i samma assembly för att enkelt kunna definiera relationer mellan delarna, vilket bidrar till att undvika kollisioner. Detta arbetssätt underlättade även genomgången samtliga delar för att säkerställa att alla funktioner uppfylls.
Under arbetets gång skapades flera iterationer av sju av CAD-modeller, dessa modeller beskrivs mer ingående i underrubrikerna. Utöver dessa modeller beskrivs andra delar nedan.

Filamenthållare: Denna del användes för att bära en filamentrulle och är monterad på ramens ovansida. Placeringen möjliggör att filamentet kan enkelt matas till skrivarhuvudet. Delen visas i bilaga 10.
Moderkortfäste: Detta fäste användes för att montera moderkortet på ramen, delen visas i bilaga 11.

Drivremsskydd: Efter ett möte med handledaren från MITC upptäcktes det att drivremmen riskerade att skava mot kanten av aluminiumprofilen, vilket kan leda till slitage. För att åtgärda detta konstruerades en modell som fungerade som skydd. Denna del visas i bilaga 12.
Motorkopplingsadapter: Efter ett möte med handledaren från MITC konstaterades det att motorns 5mm axeldiameter inte passade motorkopplingens 8mm inrediameter. På grund av detta konstruerades en adapter. Denna part illustreras i bilaga 13.



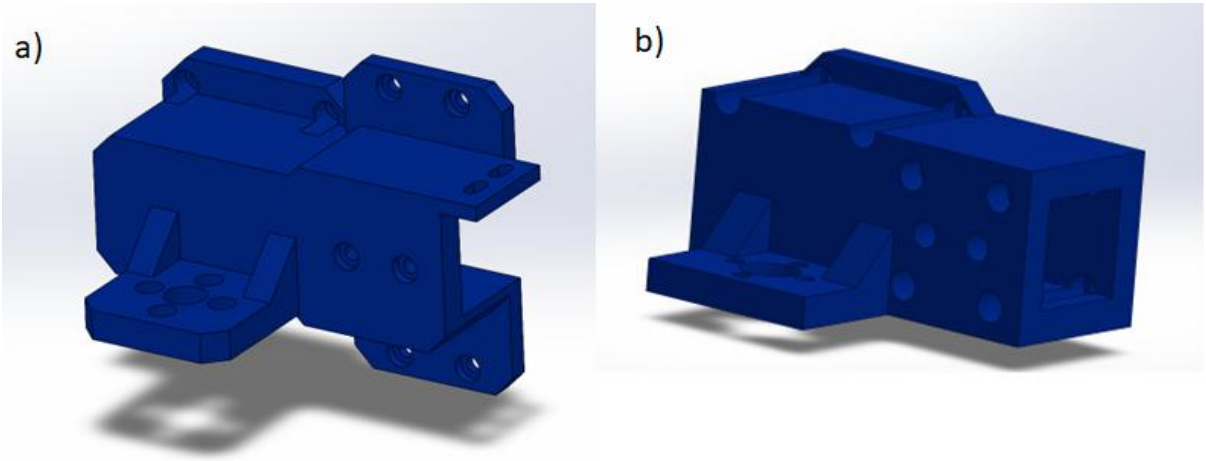
Figur 2: Komplett visuell representation av produkten i CAD.

4.2.1 Linjära skenhållare

Denna del används för att montera andra delar till den linjära skenan, exempelvis är x-axelns motor, trapetsskruvmuttern samt skrivarens arm.
En tidigare iteration av denna del visas i figur 3 som b). I denna version gick skruvarna genom aluminiumprofilen detta skulle kräva att hål borrade i profilen. Eftersom avståndet mellan skruvhålen på den linjära skenan är 20mm och profilen är lika bred, dessutom skulle drivremmen blockeras av skruvarna.

Efter att dessa problem identifierats utveklades en lösning med handledaren från MITC. Detta resulterade idén av att använda en adapter mellan den linjära skenan och den linjära skenhållaren. Adpatern är en metalplatta som monteras på den linjära skenan med fyra skruvar som inte sticker ut. Metalplattan har även fyra skruvhål högre upp för att kunna montera den linjära skenhållaren. Adaptern kan observeras i bilaga 15. Denna Iterationen inkluderar även justerade dimensioner samt ett fäste för en ändlägessensor. Den slutliga CAD-modellen visas i figur 3 och är a).

3D-skrivaren är även utrustad med en linjär skenhållare på den vänstra sidan, vilken utgör en spegelvänd motsvarighet till den högra komponenten. Konstruktionerna är i övrigt identiska och skiljer sig enbart åt i geometrisk orientering. Den vänstra linjära skenhållaren redovisas i bilaga 14.



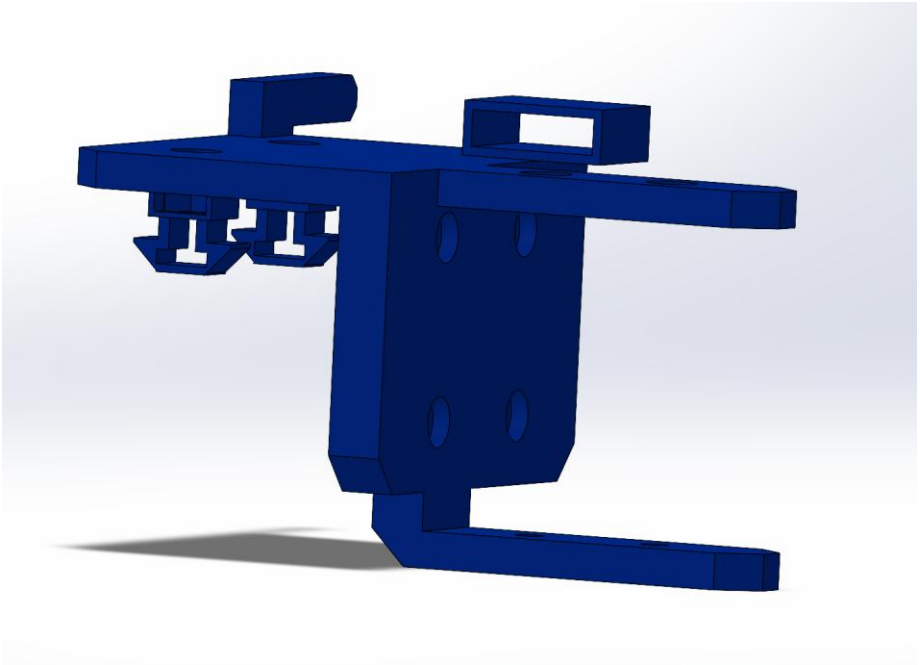
Figur 3: a) Den slutliga linjära skenhållare b) Första iterationen av linjära skenhållaren

4.2.2 Huvudhållare

Denna del monterar skrivarenshuvudet till den linjära skenan i x-riktningen. Den användes även för att koppla drivremmen längs x-ledet och aktivera ändlägessensorn när den närmar sig ändläget.
I en tidigare iterationen skulle drivremmen ledas upp genom aluminiumprofilen och spännas ovanpå huvudhållaren. När drivremmen var ovanpå skulle den fästas på delen med tv separata drivremhålare. I praktiken var drivremmen 6mm bred och kunde dras upp genom aluminiumprofilen utan att vridas. Detta leder till att huvudet kan fastna på denna vridning eller skada delar.

Den slutliga iterationen späns drivremmen istället inom aluminiumprofilens spår. Detta möjliggörs genom att drivremmen förs genom ett hål i huvudhållaren som är i spåret av aluminiumprofilen, sedan användes en mutter och skruv för att spänna drivremmen. Skruven används för att spänna drivremmen genom att muttern dras uppåt när skruven är positionerad i botten av hålet, vilket resulterar i att drivremmen fixeras mot huvudhållaren. Denna iteration

inkluderar ett hål på för kabeldragning och en utstickande del för att kunna aktivera ändlägessensor. CAD-modellen av huvud hållaren illustreras i figur 4.

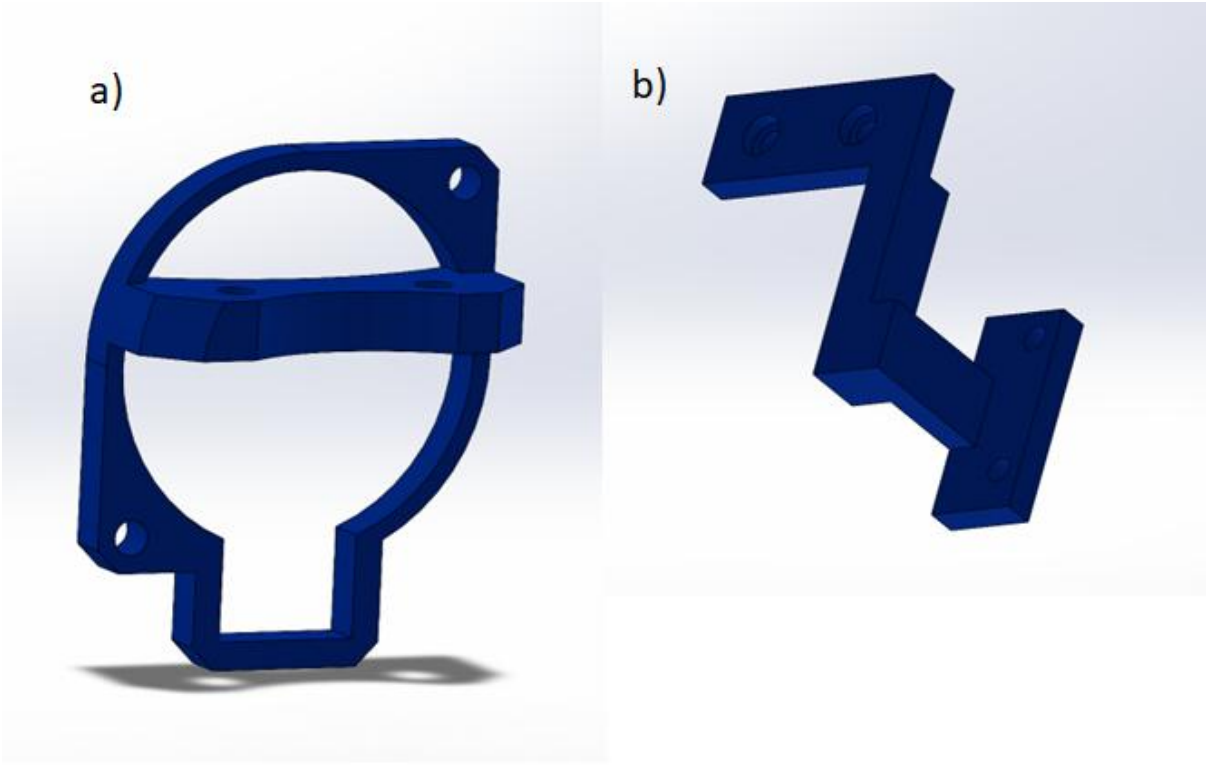


Figur 4: Huvudhållaren

4.2.3 Bäddsensorhållare

Denna del användes för att fästa bäddsensorn på skrivarenshuvud.
Den första iterationen av denna komponent visas i figur 5 och är b). I denna version var det planerat montera hållaren på framsidan av skrivarens huvud. Efter komponenten hade skrivits ut och testning var det flera delar av skrivarhuvudet var i vägen.

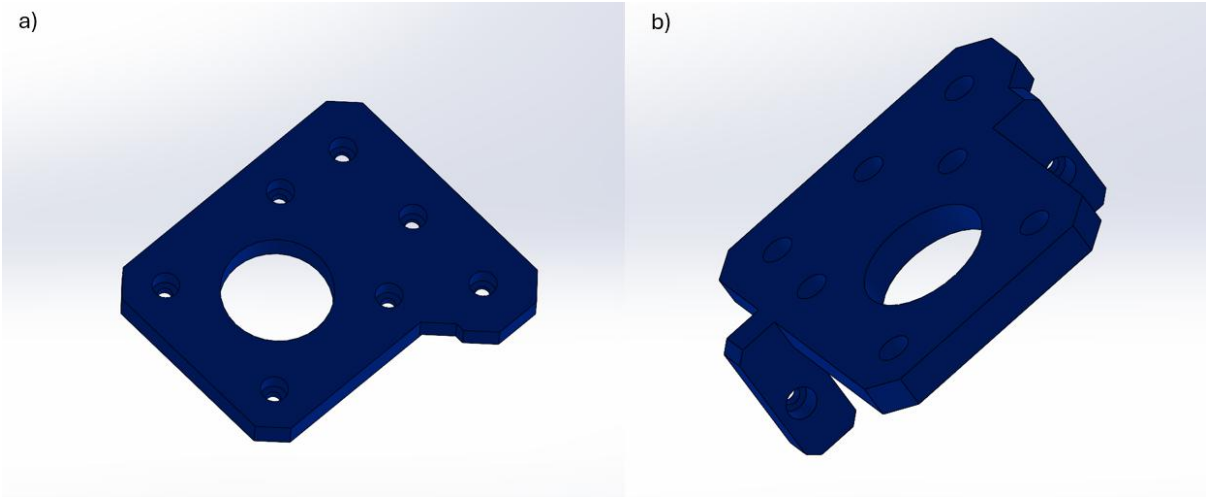
I den reviderade designen monteras hållaren på sidan av skrivarhuvudet ovanför fläkten. Denna placering och nya design möjliggör för enkel montering samt placerar bäddsensor linjärt med skrivaren munstycke. Denna design vissas i figur 5 och är a).



Figur 5: a) Den slutliga designen av sensorhållaren b) första iterationen av hållaren

4.2.4 Z-motorfäste

Detta motorfäste användes för att monter z-motorn på den nedre delen av ramen, som ansvarar förflyttningen i z-riktningen. Fästet användes även för att positionera motorn korrekt i förhållande till trapetsskruven.
Den första iterationen visas i figur 6 a), medan den slutgiltiga versionen illustreras i figur 6 b). Skillnaden mellan dessa är att den slutgiltiga iterationen har en extra rätvinklig sektion för att skapa fler infästningspunkter mot ramen för ökad stabilitet.

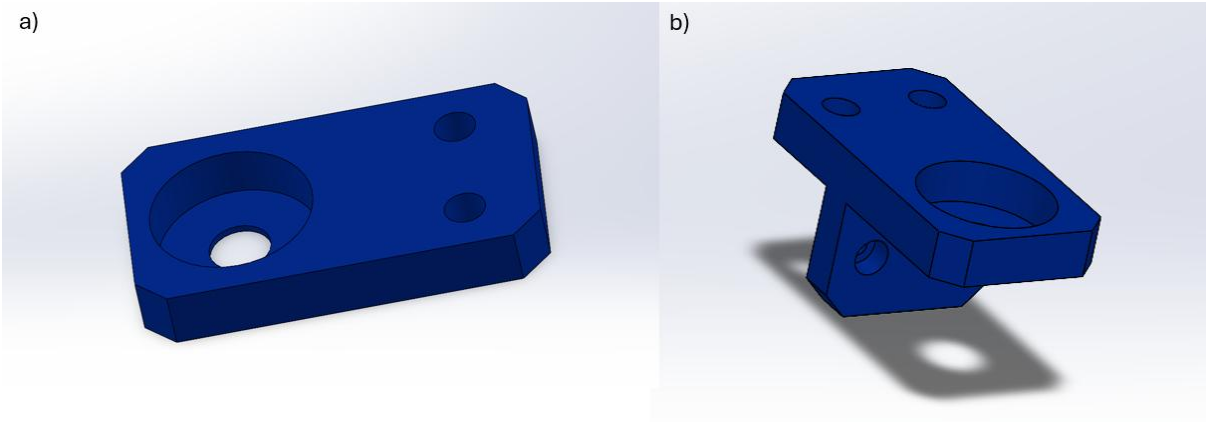


Figur 6: a) första iterationen av z motorfästet b) den sista iterationen

4.2.5 Övre hållare

Denna komponent användes för att montera kullagret till ramen och korrekt positionera den för att trä in trapetsskruven. Kullagrets samt delens funktion är att stabilisera trapetsskruven

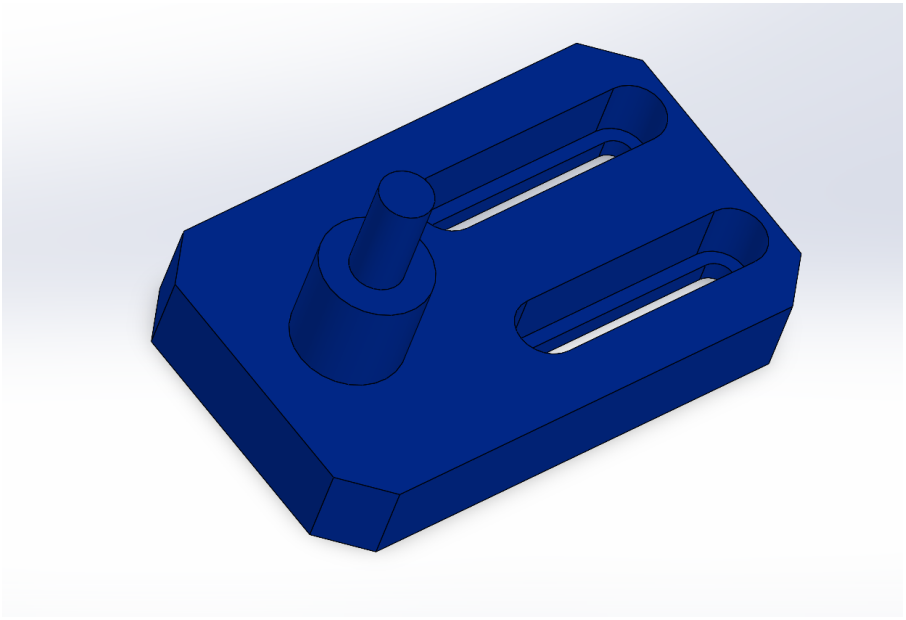
och ge den flera kontaktpunkter. Den första iterationen visas i figur 7 a) medan den slutgiltiga versionen är b). Den slutliga iterationen inkluderar en rätvinklig sektion som möjliggör ytligare infästningar i ramen för att öka stabilitet.



Figur 7: a) första iterationen av den övre hållaren b) den sista iterationen

4.2.6 Drivremsspännare

Drivremsspännarens funktion är att justera spänningen den övre drivremmen. Denna drivrem utgör en sluten slinga som tillverkades genom att skära remmen och sammanfoga ändarna. Längden gjordes medvetet något större än nödvändigt för att möjliggöra monteringen på remskivorna. Drivremmen måste vara spänd för att kunna rotera dem två remskivorna. Spännaren ansluts till remmen via en slät remskiva och kan justeras spänningen av remmen genom att flyttas framåt eller bakåt. Därefter kan den fixeras i rätt position med två skruvar i ramen. Drivremsspännarens CAD-modell visas i figur 8.



Figur 8: Drivremsspännaren

4.3 Ram

För att konstruera 3D-skrivaren ram användes V-slot 20x20 aluminiumprofiler. Anledningen till att dessa användes var för att de är standardiserade, kostnadseffektiva, lätta, hållfasta, enkla att bearbeta samt montera (Makersupplies, u.å).
Aluminiumprofilerna kapades manuellt med såg och kanterna slipades för en uppnå en bättre ytfinish. Därefter monterades profilerna med hjälp av hörnfästen och M5-glidmuttrar för att öka ramens stabilitet. Även om svetsning hade kunnat ge ytligare stabilitet valdes det inte för att möjliggöra justeringar i efterhand. Den ursprungliga ramen visas Figur 9.

Profilerna har varierande längder: 6x 660mm, 4x 550mm, 2x 500mm, samt en 610mm. De vertikala profilerna är 660mm långa. Denna längd valdes eftersom de linjära skenorna är 600mm och hörnstenarna är 28mm höga med en kombinerad längd av 656mm. Den nedre delen av ramen består av två 550mm profiler och en 610mm profil. Avståndet mellan 550mm profilerna är 505mm, vilket motsvarar bredden på XPlanar-stationens profiler med extra utrymme. Profilen på 610mm fungerar som en stoppunkt mot XPlanar-stationen och möjliggör dessutom extra infästning av de vertikala profilerna för ökad stabilitet.
Den övre delen av ramen består av två 550mm profiler och två 500mm profiler. De längre profilerna löper längs de vertikala profilerna medan de kortare är placerade tvärgående.
Aluminiumprofilen som utgör 3D-skrivaren arm har längden 640mm. Denna dimension valdes för att säkerställa tillräckligt utrymme för komponenterna vid ändarna samt för att minimera drivremmens längd.

Figur 9: Överblick av ramen med endast aluminiumprofilerna innan tillägget profiler

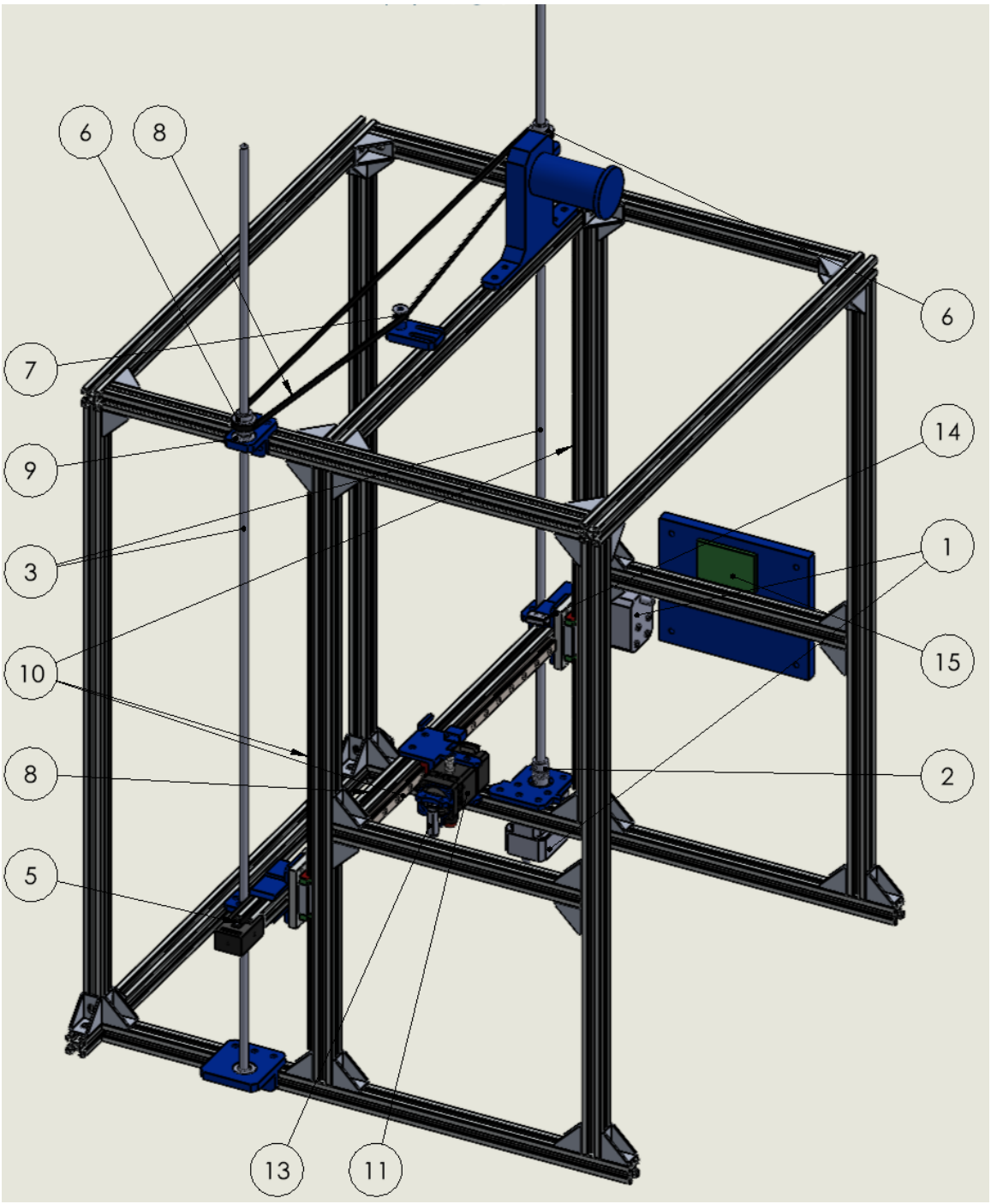
Efter ett informellt möte med handledaren från MITC beslutades att tre extra profiler skulle installeras. Den 500mm långa profilen i mitten av den övre ramen. De två kortare 280mm profilerna placerades mellan mittenpelarna och hörnpelarna. Dessa tillägg förbättrar stabiliteten och minskar risken för att skrivarensarm blir skev.

4.4 Utskrivna delar

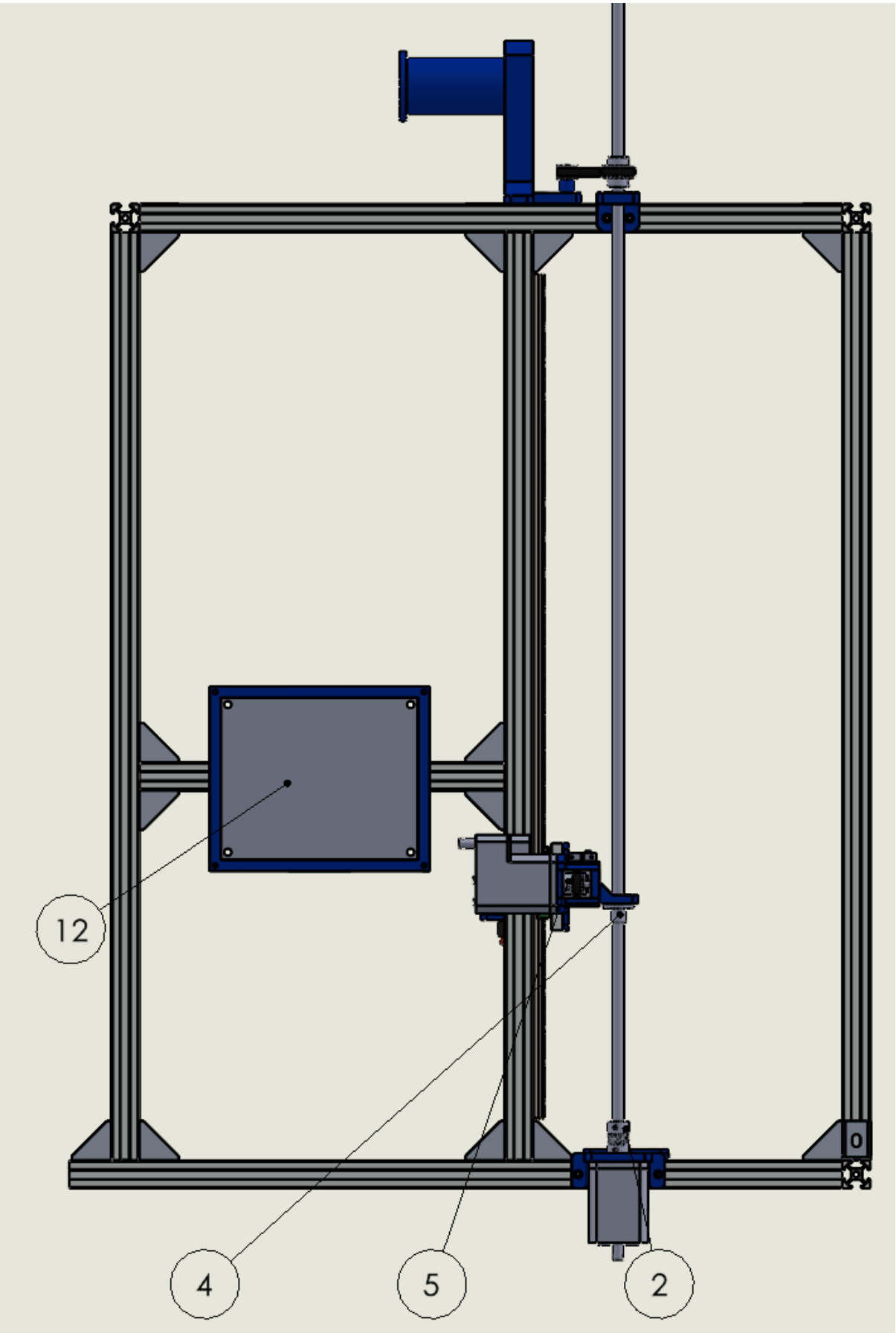
De utskrivna delarna tillverkades med en Bambulab X1 Carbon på MITC och skrevs ut i marinblå PLA. Totalt användes 13 utskrivna delar i konstruktionen.
Flera delar behövde skrivas ut på nytt på grund av konstruktionsfel, nya iterationer eller otillräckliga toleranser. Inledningsvis av studien modellerades delarna utan toleranser detta resulterade i att skruvhålen blev för trånga. En tolerans på 0,15mm infördes därefter, men detta var fortfarande otillräckligt. Även om hålen kunde efterhanters med borr var detta inte önskvärt. Toleransen ökades därför till 0,2 mm, vilket möjliggjorde korrekt montering utan ytterligare bearbetning.

4.5 Mekaniska Komponenter

Nedan beskrivs dem mekaniska komponenterna som används till 3D-skrivaren samt deras funktion. I figur 10 och figur 11 visas dem olika mekaniska komponenterna med korresponderande numer nedan.



Figur 10: De olika mekaniska komponenterna en i isometric vy



Figur 11: De olika mekaniska komponenterna från annan vy

1. Motorer: Två Beckhoff ASI 8111 stegmotorer används. De valdes dels för kompatibilitet med XPlanar-systemet från samma tillverkare, dels för deras vridmoment på 0,29 Nm.
2. Motorkoppling: En 8mm koppling används för att ansluta Z-motorn till trapetsskruven. Adaptern krävdes för att motorns axel har en diameter på 5mm, medan trapetsskruvarna har en 8mm diameter.
3. Trapetsskruv: Används för att omvandla rotationsrörelse till linjär rörelse i Z-led. Skruven har en diameter på 8 mm och en stigning på 2 mm
4. Trapetsskruv mutter: Monteras i en utskriven komponent och används för att förflytta skrivarens arm längs trapetsskruven.
5. Remskivor: 3D-skrivaren använder sig av två remskivor för att flytta drivremmen i x-led. En drivs av motorn och den andra fungerar som vändpunkt och remspännare.
Remskivan som fästs i motorn har en inre diameter på 5mm, båda remskivorna har en 6mm beredd för att passa drivremmen.
6. Större Remskivor: Används tillsammans med en drivrem för att synkronisera de två trapetsskruvarna.
Detta gjordes för att kunna förflytta skrivarens båda trapetskruvar med en motor.
7. Slät remskiva: Monteras i den övre delen av ramen för att justera drivremmens spänning. Detta gjordes därför att avståndet mellan trapetsskruvarna inte hade någon standard stängd cirkel utan behövdes göras självt. Med den slät remskivan kunde drivremmen spännas till rätt anspänning i efterhand.
8. Drivrem: En 6 mm bred rem med 2 mm tandstigning används för att förflytta skrivarhuvudet i X-led och för att synkronisera trapetskruvarna för rörelse i Z-led. Drivremmen för X-led läggs inom aluminiumprofilarens spår på den övre och nedre delen.
9. Kullager: Kullager används på ovansidan av ramen. Dessa kullager tillsammans med en utskriven del används för att ge trapetsskruven stabilitet på grund dess längd. Kullagret har en inrediameter på 8mm och en yttre på 22m.
10. Linjära skenor: MGN12H-skenor används som styrsystem i X- och Z-led. En av skenorna kortades för att passa konstruktionen, denna förkortning gjordes med en vinkelslip och sedan användes en slipmaskin vid kanten. Dem linjära skenorna ökar stabiliteten.
11. Extruder: En BIQU H2 V2S användes som skrivarenshuvud. Extrudern smälter filament och pressar plasten ut genom munstycket ner på skrivplattan med hjälp av en stegmotor. BIQU H2 V2S extrudern kan värma upp plasten till 300 °C och arbetar på 24V.
12. Moderkort: Duet 3 6XD användes som moderkortet för styrning och kommunikation mellan elektriska komponenterna.
13. Bäddsensor: En Bl Touch användes som bäddsensor för att signalera hur nära skrivplattan är ifrån huvudets munstycke. Bäddsensorer användes för att undvika att munstycket skrapas på skrivplattan och för att skrivaren ska veta avståndet till skrivplattan.
14. Ändlägessensor: På x-axeln användes en Creality 3D limit switch vilket är användes som ändlägessensor. Sensorn förefinnas på den linjära skenhållaren för att förhindra att 3D-skrivarens huvud kör in i kanten och riskerar skador.
15. Stepdriver: Användes för att koppla steper motorn från extrudern till moderkortet. Eftersom extrudens steper motor använder fyra kablar och moderkortet behöver sex anslutningar.

En fullständig komponentlista finns under bilaga 16.

4.6 Kopplingsschema

Kopplingsschemat till 3D-skrivaren är uppdelat i två delar ena är Beckhoffs motorerna och andra är komponetnerna kopplade till 6XD moderkortet. Hela schemat kan observeras i figur 12.

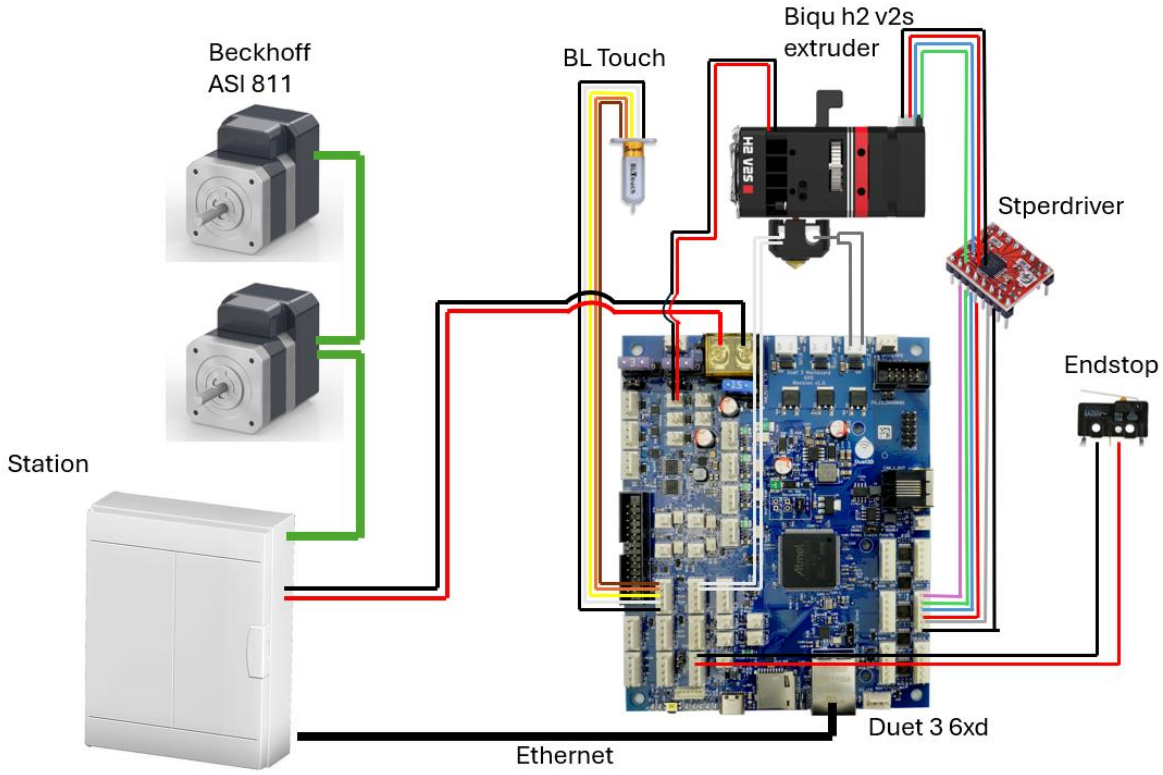
4.6.1 Beckhoff

Beckhoff motorerna seriekopplades och sedan anslöts till XPlanar-systemet via ethernet kabel.

4.6.2 Duet 3 6XD moderkort

Moderkortet användes för att styra och kommunicera med de elektriska komponenterna av 3D skrivaren.
Följande komponenter är anslutna till dem olika portarna av moderkortet
BLTouch -> IO4
Creality 3D limit switch -> IO6
BIQU H2 V2S extruder:
Stegmotor -> via stepdriver till DRIVER 2
Fläkt -> OUT 8
Munstyck värmaren -> OUT 2
Temperatursensor -> IO7

Moderkortet är ansluten till systemet under XPlanar plattorna via strömkablar och Ethernet kabel.



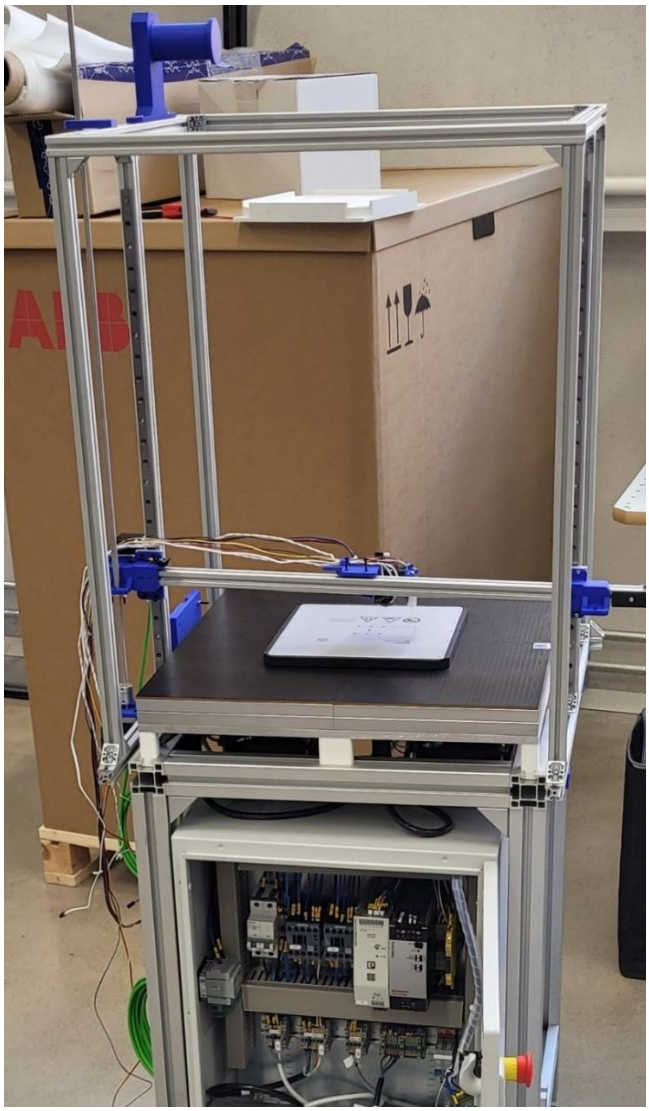
Figur 12: Kopplingsschemat

5. Resultat

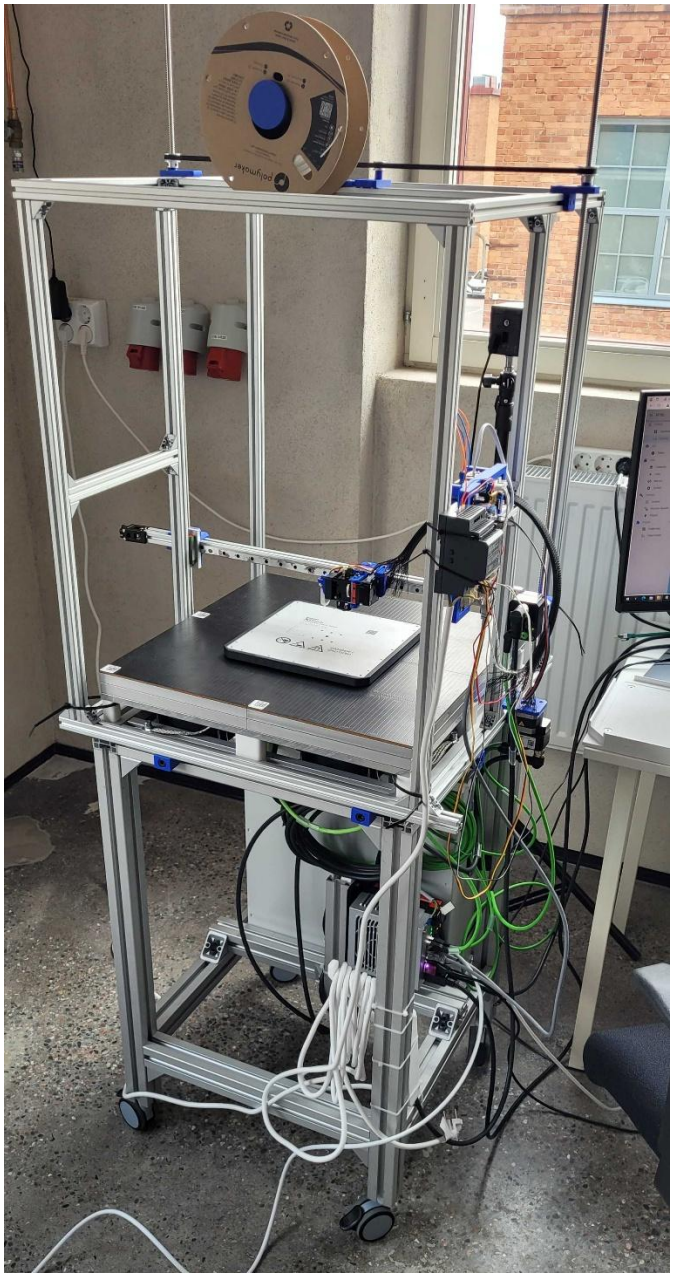
I detta kapitel presenteras och förklaras resultatet av studiens fysiska modell, samt den simulering som skapades av produkten inom en hypotetisk produktionslina.

5.1 Fysisk modell

Resultatet av den första iterationen av konstruktionen kan visas i figur 13, medan den slutliga versionen av 3d skrivaren visas i figur 14. 3D-skrivaren använder linjära skenor som styrsystem i både Z och X-led. För förflyttning i Z-led används två trapetsskruvar, där den ena drivs av en motor och den andra är kopplad via en drivrem för att synkronisera rörelsen. För rörelse i X-led används en drivrem som drivs av en annan motor.
Flera bilder av den första iterationen från olika vinklar presenteras i bilagor 17–20, medan bilder av den slutliga konstruktionen återfinns i bilagor 21–23.



Figur 13: Första iteration av stationen



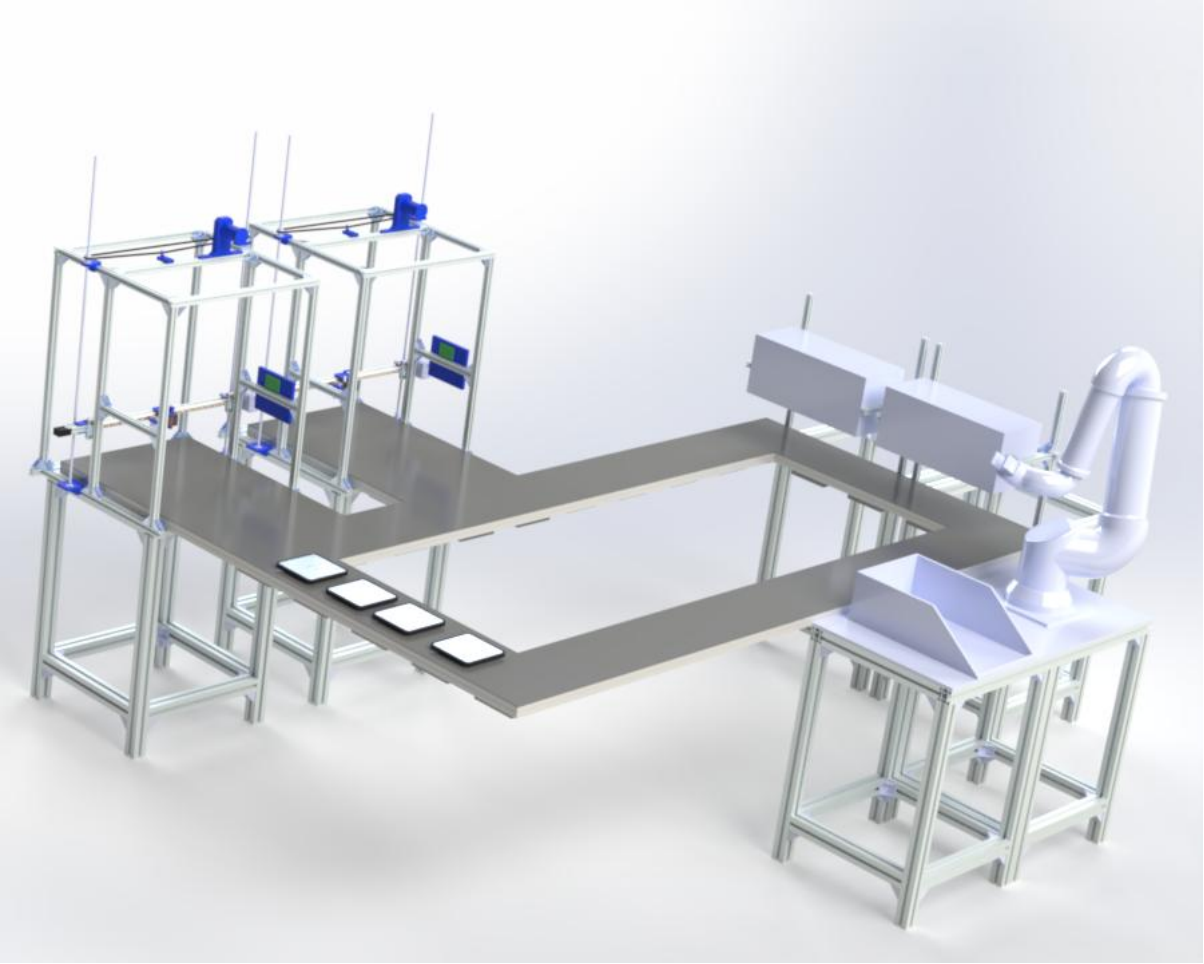
Figur 14: Bild av den slutliga 3D skrivarstationen med XPlanar

3D-skrivarens styrsystem fungerar enligt avsedd konstruktion. De två stegmotorerna roterar korrekt och driver respektive mekanism. Den ena motorn driver en trapetskruv som via en drivrem är kopplat till den andra trapetskruven. Detta resulterar i en synkroniserad rörelse av trapetskruvarna som förflyttar skrivarens arm i Z-led, upp och ner. Den andra motorn driver en remskiva som är kopplad till en drivrem och ytligare en remskiva samt skrivarhuvudet. Detta möjliggör förflyttning av skrivarhuvudet i X-led.
Sensorerna som inkluderar BLTouch, temperatursensorn och ändlägessensorn skickar data till Duet moderkortet vilket kan övervakas via en dator. Motorerna och sensorer programmeras och kontrolleras genom samma dator.

5.2 Simulering

I arbetet utvecklades även en teoretisk simulering av hur en produktionslina med denna 3D-skrivarstation skulle kunna utformas.
Simuleringen består en produktionslina där ett XPlanar-system används för att transpotera

produkter mellan stationer. I denna teoretiska produktionslina tillverkas produkten av en 3D skrivaren vilket sedan passerar två efterhanteringsstationer, innan den transporteras till en robotarm. Robotarmen grepar produkterna från plattan och placerar den i en behållare. Därefter återgår plattan till systemet för att användes på nytt. Systemet möjliggör att flera plattor kan vara i cirkulation samtidigt. Detta innebär att 3D skrivarna kan arbeta kontinuerligt utan att behöva invänta att samma platta återvänder. Simuleringen visas i figur 15.
System kan även teoretiskt vidareutvecklas genom att kopplas vidare till ytligare stationer vid behov. Eftersom samtliga stationer är baserade på XPlanar är systemet modulärt, vilket innebär att hela produktionslinan enkelt kan omkonfigureras.
Det är även möjligt att integrera andra transportsystem, exempelvis kan produkten efter robotarmen föras vidare till en annan separat produktionslina.



Figur 15: En helhetsbild utav den simulerade produktionslinan

6. Analys

I detta kapitel analyseras arbetets empiriska data tillsammans med det teoretiska. Detta görs för att identifiera likheter och skillnader med fokus på arbetets forskningsfrågor samt syfte.

6.1 3D-skrivare

Eftersom 3D-skrivaren använder XPlanar-plattor som skrivplatta skapar en unik typ av FDM 3D-skrivare. Beckhoff (u.å) förklarar hur XPlanar-plattorna kan förflytta sig i alla riktningar, rotera samt höja och sänkas till en viss grad. Eftersom 3D-skrivaren kan röra skrivhuvudet i x-led kan den skriva ut på ett liknande sätt en polär skrivare. Deshpande et al. (2019) beskriver polär skrivare med en roterande skrivplatta kallad theta-axeln. Med XPlanar-plattorna kan skrivplattan förflytta sig i x och y-led medan skrivhuvudet i z-led. Denna typ 3D-skrivare beskrivs av Kelly (2014) som kartesisk. Vidare beskriver France (2013) olika typer av kartesiska varav en kallas för bäddslunga. I denna typ rör sig skrivplattan endast i y-led medan skrivhuvudet förflyttas i x och z-led.
Detta innebär att det utvecklade systemet är unikt och kan kvalificeras som både en polär och kartesisk 3D-skrivare. Detta skulle potentiellt kunna möjliggöra utskrift unika former eller snabbare utskrivningar.

Stationen som konstruerades i denna studie är sannolikt inte den mest optimerade lösningen för samverkan mellan XPlanar och 3D-skrivning. Eftersom det saknas liknande system är det svårt att avgöra vad som utgör den optimala integrationen mellan dessa tekniker. 3D-skrivare hade kunnat konstruerats på flera olika sätt exempelvis som en delta 3D-skrivare, vilket inte testades i denna studie.
Vidare hade 3D-skrivaren kunnat utformas som endast en polär skrivare, vilket potentiellt hade kunnat minska materialåtgången för ramen.

Stationen från denna studie är baserat på en kartesisk 3D-skrivare vilket hade kunnat se annorlunda ut beroende på kriterierna i konceptvalet. Olika styrsystem hade kunnat användes exempelvis hjul som koncept 4 om kostnad hade prioriterats högre. Även materialval för ramen samt komponenter som motorer, moderkort och skrivhuvud hade kunnat ändrats beroende på prioriteringar.

6.2 Automatisering

Resultatet av kombinationen mellan en FDM 3D-skrivare och XPlanar-plattorna är en automatiserad 3D-skrivaresystem. Detta system kräver antingen flera skrivplattor eller ett cirkulärt flöde där XPlanar-plattor återvänder med skrivplattan, samtidigt som den utskrivna delen har avlägsnats innan återkomst. På grund av XPlanar-plattornas programmerbarhet och rörelsefrihet kan användas som skrivplatta för en 3D-skrivare. Systemet har likheter med Prusa resarch (2020) där flera skrivplattor används eller där en mekanism avlägsnar utskrivna delar för att möjliggöra kontinuerlig produktion utan manuellt arbete. Skillnaden mellan dessa system och Papp (2024) & Horsey (2024) är att det saknar en lösning för att transportera färdiga plattor till en annan station. Däremot har systemet potentialen att bytta plattor snabbare än de tidigare nämnda lösningarna. Gemensamt för dessa system är att skrivplattan måste bytas innan nästa utskrift kan påbörjas.

3D-skrivare som använder rullband i stället för skrivplatta har inte begräsningar. I dessa system kan bandet röra sig kontinuerligt vilket eliminerar ledtiden för att byta skrivplatta (Dam et al., 2019, ÖZSOY et al., 2020). En tredje metoden beskrivs av Kacherski et al., (2020) denna metod innebär att den utskrivna delen skrapas skrivplattan. Detta möjliggör fortsatt utskrift på samma platta, men kräver väntetid för själva borttagningen. Denna metod ökar osäkerheten kring vart den utskrivna delen hamnar, vilket kräver ytterligare hantering,

som uppsamling och orientering inför efterföljande processer i en automatiserad produktionslina.

Tillskillnad från de tidigare metoderna stannar den utskrivna delen kvar på antingen skrivplattan eller på ett rullband. Automatiseringen av 3D-skrivning minskar behovet av manuellt arbetet. Exempelvis kan flera delar köas för utskrift utan att en operatör behöver rensa skrivplattan och starta skrivaren på nytt efter varje körning.

XPlanar-plattornas höga precision kan även underlätta automatiseringen av efterhantering. Som Dizon et al. (2021) & Krischke et al. (2024) påpekar att efterhantering av AM ofta är mer tidskrävande än traditionella tillverkningsmetoder. Processer som borttagning av stödmaterial och slipning kräver ofta tidskrävande manuellt arbete. Borttagning av stödmaterial kan dock hanteras enklare med flermaterialskrivare, där exempelvis polyvinyl alkohol används som stödmaterial vilket kan löses upp i vatten. Slipning användes för att förbättra ytfinish eftersom FMD utskrifter bygger lager på lager skapas trappstegseffekt på ytan.

Automatisering XPlanar skapar möjligheten att automatisera efterhanteringen, vilket kan minska manuellt arbete och föra additiv tillverkning närmare massproduktion. Det eliminerar även behovet av att manuellt starta 3D-skrivaren mellan utskrifter eftersom flera delar kan köas. Samtidigt beskriver Dilberoglu et al. (2017) att AM kan vara mindre lämpligt för massproduktion på grund av begränsningar i hastighet, noggrannhet och repeterbarhet, och istället lämpar sig bättre för massanpassning.

Vid implementering av detta system i industrin är det viktigt att tänka på DFAM. Frågan är om företag kommer utnyttja AM:s fulla potential eller begränsa den. Briard et al. (2020) & Gibson et al. (2020) beskriver dem olika tillvägagångsätten djupare. Det opportunistiska tillvägagångsättet fokuserar på att utnyttja AM:s möjligheter, exempelvis genom komplexa geometrier och topologioptimering men kräver potentiellt mer stödmaterial. Det restriktiva tillvägagångsättet tar istället hänsyn till begräsningar som material, prestanda och kostnad. Företag som implementerar AM bör överväga att anpassa sina produkter för AM. Detta kan innebära designa mer komplexa former för förbättrad funktion eller estetik, eller att optimera geometrier för att minimera behovet av stödstrukturer. Automatiseringen av 3D-skrivning kan även öppna upp för nya sätt att tillämpa DFAM. I vissa fall kan extra strukturer behöva skrivas ut för att förbättra fästet mot byggplattformen, beroende på efterföljande processer.

6.3 Applikationer till Smarta fabriker

Resultat av denna studie är en automatiserad 3D-skrivarstaion som även kan transportera delar vidare till andra stationer i en produktionslina. Station uppvisar hög flexibilitet främst tack vare AM:s förmåga att producera olika delar utan maskinbyte. Denna omställning kräver i princip enbart ny programmering samt att rätt fil tillförs till 3D-skrivaren. XPlanar-systemet uppvisar i sig en hög grad av flexibilitet som förklaras av Beckhoff automation (2025). Systemet är skalbart för olika typer av operationer och plattorna kan snabbt programmeras för att anpassas till nya ordar. Detta möjliggör även en effektiv uppdelning av produktflöden, samt integration av flera stationer till sammanhängande produktionslina.
Dessa egenskaper beskrivs av Resman et al. (2021) inom smarta fabriker, där modularitet och heterogenitet lyfts fram som centrala aspekter. Modularitet innebär att olika stationer kan kombineras och omkonfigureras för att skapa nya system, vilket liknar den utvecklade stationens potential att integreras till produktionslinor. Heterogenitet innebär att produktionslinan kan hantera variation i produktionen, detta uppnås genom AM-teknikens förmåga att producera olika delar endast genom att inputera nya filer. Denna anpassningsförmåga är särskilt användbart till smarta fabriker och industri 4.0. Mehrpouya et

al. (2019) betonar att AM bidrar till massanpassning, höga resurseffektivitet, flexibilitet i produktionsflödet sam möjlighet att förändra värdekedjor, detta är avgörande för utvecklingen av smarta fabriker.

Ytligare beskriver Resman et al. (2021) att smarta fabriker ska kunna anpassa produktionslinor automatiskt för att tillverka nya produkter samt hantera flera olika produkttyper inom samma system. Detta behov av flexibilitet drivs av marknadens ökande efterfrågan av kundanpassade produkter. Merklein et al. (2016) framhåller att traditionella tillverkningsmetoder ofta har svårt att hantera små produktionsvolymer på ett kostnadseffektivt sätt, exempelvis på grund av hög verktygskostnader inom formprocesser. Som tidigare diskuterats av Attaran (2017) kan AM lösa detta gap i marknaden genom dess fördelar inom massanpassning genom att möjliggöra kostnadseffektiv produktion av små volymer, minska arbetskostnader samt erbjuda snabb respons på kundernas efterfrågan.

För att den konstruerade stationen ska kunna integreras och kommunicera med efterföljande stationer i en produktionslina krävs sannolikt IoT. Khan & Javaid, (2021) beskriver hur IoT möjliggör sammankopplingen av system via nätverk, detta möjliggör informationsbyte mellan exempelvis sensorer och maskiner. Denna information kan användas för att förbereda efterföljande station inom produktionslinan inför kommande produkt.
Ett relaterat koncept som kan kopplas till IoT är CPS. Vilket enligt Wang et al. (2016) beskriver som integration mellan den digitala och fysiska världen ofta genom WSN. Både IoT och CPS möjliggör en hög grad av automatisering och samverkan mellan olika system inom en produktionsmiljö.
Eftersom 3D-skrivaren skriver ut delar med känd geometri och position på skrivplattan från 3D modellen. Denna information kan överföras till efterföljande stationer via IoT. Detta innebär att de efterföljande stationerna i produktionslinan har tillgång till detaljerad information om delens form, position samt eventuella stödstrukturer. Sedan kan någon process exempelvis en robotarm avlägsna oönskade stödmaterial, med hög precision.
Vid kontinuerlig produktion av varierande delar kan denna typ av informationsöverföring säkerställa att produktionslinan anpassar sig dynamiskt till varje enskild produkt. Detta ger en betydande fördel för automatiserade produktionssystem som hanterar massanpassade produkter.

7. Diskussion & Slutsatser

Detta kapitel diskuterar arbetets slutsatser utifrån all insamlad data som den empiriska samt den teoretiska. Ytterligare besvaras arbetets forskningsfrågor och avslutningsvis ges förslag till framtida arbeten samt framtida forskning.

7.1 Slutsats

I detta arbete har två forskningsfrågor försökts att besvaras genom teoretiska analyser och en fysisk konstruktion, dessa forskningsfrågor var:

F1: Hur skulle en station som använder magnetiskt svävande planmotor i kombination med 3D-skrivning kunna se ut?

F2: Vilka fördelar skulle en sådan station kunna medföra till smarta fabriker?
De potentiella fördelarna med stationen till smarta fabriker kan delas in i följande kategorier automatisering, flexibilitet, precision, unik och modularitet. De nackdelar som identifierades med AM är att den inte lämpar sig för massproduktion samt att denna typ av station är tekniskt avancerad. Samtidigt är dess fördelar särskilt relevant för massanpassning, vilket även passar smarta fabriker.

Den utvecklade stationen möjliggör en hög grad av automatisering av FDM baserade 3D-skrivare. Detta kan göra tekniken mer fördelaktigt för tillverkning, särskilt vid små serier av samma detalj eller vid produktion av flera olika. Ytterligare en fördel till automatiseringen är att flera delar kan köas till 3D-skrivaren, vilket minska tiden 3D-skrivaren inte arbetar och ökar produktiviteten. Automatiseringen reducerar även tiden mellan utskrifter samt minimera behovet av manuellt arbete.

Vidare uppvisar stationen en hög grad av modularitet, eftersom stationen enkelt kan integreras i ett större produktionssystem samtidigt som 3D-skrivarstationen kan avlägsnas vid behov. Stationen kan flyttas inom produktionssystemet för att öka effektivitet eller anpassas efter olika behov samt tas bort för underhåll. På grund av XPlanars-tekniken kan stationen konfigureras på olika sätt, exempelvis som parkeringsyta för plattor, som ett extra transportfält eller som en tillverkningsstation.

Stationen erbjuder hög flexibilitet bland annat inom vad som kan tillverkas vid denna station. 3D-skrivarens förmåga att tillverka komplexa geometriska former möjliggör produktionen av avancerade delar. Detta är särskilt viktigt i smarta fabriker eftersom efterfrågan på kundanpassade produkter ökar. Ytterligare flexibilitet uppnås genom XPlanars möjlighet att kunna programmerarna plattornas rörelser i sex frihetsgrader, samt koppla samman maskiner i en produktionslina.

En annan central aspekt är stationens precision. XPlanar-plattorna har hög rörelseprecision, vilket är fördelaktigt vid transport av känsliga produkter. Den höga precisionen är även viktig för maskiner som arbetar direkt med plattorna, exempelvis 3D-skrivare, efterhanterings maskiner eller robotarmar. Kombinationen av 3D-skrivare och XPlanar skapar ett unikt sätt att tillverka delar. Om denna metod är bättre eller sämre än alternativa lösningar är okänt.

Denna station utgör en bra grund för en produktionslina baserat på FDM 3D-skrivning. För att uppnå en komplett produktionsprocess krävs dock ytterligare stationer, exempelvis automatiserad efterhanterings stationer. Automatiserad efterhantering är en väsentlig del för att kunna implementera FDM 3D-skrivning i industriell produktion. Eftersom den idag ofta innebär manuellt arbete för att förbättra de utskrivna delarna. En Ytterligare fördel är att företag kan producera olika produkter längs samma produktionslina beroende på

kundersbehov, eller tillverka olika produkter under samma dag. Produkterna kan även anpassas individuellt, exempelvis genom att inkludera namn, utan att medföra betydande extra kostnader. Detta skiljer sig från exempelvis formsprutning där varje ny del behöver en ny form vilket innebär en extra kostnad.

Den första forskningsfrågan var: Hur skulle en station som använder magnetiskt svävande planmotor i kombination med 3D-skrivning kunna se ut? Resultatet av studien visar att en sådan station kan utformas som en kartesisk gantry 3D-skrivare med linjära skenor som styrsystem i X och Z-led. Stationen använder remband och trapetskruvar för att styra skrivarens rörelser.
Station hade kunnat skilja sig mycket beroende på andra avgränsningar och kriterier vid konceptvalet. Det är exempelvis möjligt att andra tillverkningsmetoder hade kunnat integrerats med XPlanar mer effektivt.

Sammanfattningsvis visar studien att en integration av en FDM 3D-skrivare med XPlanar har stor potential genom att bidra till ökad flexibilitet, automatisering, modularitet samt kunna integrera 3D-skrivning och dess fördelar till smarta fabriker. Samtidigt kvarstår flera tekniska och praktiska utmaningar gällande implementering, efterhantering och stationens effektivitet vid större produktionsvolymer. För att fullt realisera prototypens potential krävs vidare utveckling och testande inom industriella tillämpningar.

7.2 Framtida arbete

En viktig aspekt för framtida arbete är att undersöka hur en uppvärmd skrivplatta kan implementeras i systemet ovanpå XPlanar-plattor. På grund av studiens tidsram har detta inte kunnat undersökas djupare. En sådan implementation skulle potentiellt förbättra kvaliteten på de utskrivna delarna samt minska risken för misslyckade utskrifter.
Vidare kräver 3D-skrivaren en fläkt för att kyla ned det extruderade plasten. Detta är nödvändigt för att uppnå högre kvaliteten på de utskrivna delarna och för att minska risken för defekter. Det finns även behov av att undersöka skrivarhuvudets hållare, särskilt om den ska tillverkas i ett annat material än PLA. Eftersom delen är placerad nära det uppvärmda munstycket finns en risk att materialet deformeras.

Ytterligare arbete bör även fokuseras på att undersöka alternativa styrsystem för 3D-skrivaren. Det är möjligt att andra lösningar eller en annan design av skrivarens ram, skulle kunna medföra bättre stabilitet och eller högre effektivitet.

En betydande del av studien som inte slutfördes inom studiens tidsram var programmeringen av 3D-skrivaren samt integrationen av stationen till en produktionslina. För att kunna utvärdera stationens fulla funktionalitet krävs det att denna programmering genomförs och att stationen testas i en miljö som liknar den simulerade produktionslinan.

7.3 Framtida forskning

Denna studie har främst fokuserat på att designa 3D-skrivaren och hur den ska samverka med olika komponenter. Konstruktionen av 3D-skrivarens till stor dels baseras på konventionella 3D-skrivare på marknaden. Framtida forskning skulle därför kunna undersöka om alternativa designkoncept kan vara mer lämpade för integrationen med XPlanar tekniken. Det vore även relevant att studera om andra additiva tillverkningsmetoder kan vara mer kompatibla.

För en implementering till smarta fabriker är automatiserade efterhanterings processer en viktig faktor, eftersom nuvarande processer ofta kräver manuellt arbete. Därför behövs vidare forskning kring hur efterhanterings processer kan automatiseras och integreras i ett XPlanar baserat system.

Slutligen krävs ytterligare studier och tester för att avgöra om de utskrivna delarna behöver förbättrad fastsättning på XPlanar-plattorna, särskilt för att möjliggöra efterföljande automatiserade processer, eller om detta behövs.
Det behövs även mer forskning kring vilka fördelar automatiserad FDM 3D-skrivare kan bidra med till industrin. I denna studie hittades inte många artiklar om automatiserade 3D-skrivare eller om företag som använder de eller hur dem används.

8. Referenser

Arora, N., Khan, M. U., Petit, L., Lamarque, F., & Prelle, C. (2019). Design and Development of a Planar Electromagnetic Conveyor for the Microfactory. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, *24*(4), 1723–1731. https://doi.org/10.1109/tmech.2019.2917007

Arunkumar, D. T., Basavakumar, K. G., Sharath, P. C., & Pattanaik, A. (2023). Additive Manufacturing in Automotive Industries. *Materials Horizons: From Nature to Nanomaterials*, 205–218. https://doi.org/10.1007/978-981-99-5949-5_10

Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, *60*(5). https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011

Basu, S. (2023). Manufacturing and factory automation. *Elsevier eBooks*, 243–272. https://doi.org/10.1016/b978-0-323-90246-5.00022-3

Beckhoff Automation. (12 februari 2025). *Beckhoff Automation: XPlanar for Flying Motion Control.* Material handling 247. Hämtad 10 maj från https://www.materialhandling247.com/product/xplanar_for_flying_motion_control

Beckhoff. (u.å). *APSxxxx | XPlanar tiles*. Beckhoff. Hämtad 17 mars från https://www.beckhoff.com/sv-se/products/motion/xplanar-planar-motor-system/apsxxxx-xplanar-tiles/

Blomkvist, P., & Hallin, A. (2014). *Metod för teknologer: examensarbete enligt 4-fasmodellen* (1st). Lund Studentlitteratur. 9789144095141

Briard, T., Segonds, F., & Zamariola, N. (2020). G-DfAM: a methodological proposal of generative design for additive manufacturing in the automotive industry. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, *14*(3), 875–886. https://doi.org/10.1007/s12008-020-00669-6

Dağ, I. E., & Avar, B. (2023). Additively Manufactured Medical Implants. *Springer Materials Horizons*, 219–250. https://doi.org/10.1007/978-981-99-5949-5_11

Dam, D. H., Le, H. N., Bui, D. T., & Nguyen, N. L. (2019). A Research on Conveyor Belt 3D Printer in Industrial Applications - VNU-UET Repository. *Vnu.edu.vn*. https://eprints.uet.vnu.edu.vn/eprints/id/eprint/3656/1/A-Research-on-Conveyor-Belt-3D-Printer-in-Industrial-Applications.pdf

Dave, H. K., & Patel, S. T. (2021). Introduction to Fused Deposition Modeling Based 3D Printing Process. *Springer Materials Forming, Machining and Tribology*, 1–21. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68024-4_1

Dekock, T. (2022). Industrial 3D printer farm automatization: a proof of concept. *LAB University of Applied Sciences,* https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/754849/Dekock_Thibault.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Deshpande, S. P., Kulkarni, S., Shah, S., & Irwin, J. L. (2019). Developing an open source, inexpensive, large-scale polar configuration 3D printer. *International Association of Journals & Conferences, 11*(1), 13–22.

Dilberoglu, U. M., Gharehpapagh, B., Yaman, U., & Dolen, M. (2017). The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, *11*(1), 545–554. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.148

Dizon, J. R. C., Gache, C. C. L., Cascolan, H. M. S., Cancino, L. T., & Advincula, R. C. (2021). Post-Processing of 3D-Printed Polymers. *Technologies*, *9*(3), 61. https://doi.org/10.3390/technologies9030061

Dr. D-Flo. (3 januari 2020). *How to Build a 3D Printer (The Ultimate Guide)* [Video]. Hämtad 26 januari från https://www.youtube.com/watch?v=qub5chyIQ0s

France, A. K. (2013). *Make: 3d Printing - The Essential Guide to 3d Printers*. Make Books.

Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., & Khorasani, M. (2020). Design for Additive Manufacturing. *Additive Manufacturing Technologies*, 555–607. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56127-7_19

Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., & Khorasani, M. (2020). Post-Processing. *Additive Manufacturing Technologies*, 457–489. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56127-7_16

González, C. (30 januari 2020). *Timeline of the 3D Printing History - ASME*. Www.asme.org. https://www.asme.org/topics-resources/content/infographic-the-history-of-3d-printing

Horsey, J. (4 november 2024). *Endless 3D Printing with the Bambu A1 Mini SwapMod*. Geeky Gadgets. Hämtad 6 maj från https://www.geeky-gadgets.com/3d-printing-automation/

Hu, C., Wang, Z., Zhu, L.-M., Zhang, M., & Liu, H. (2016). Performance-Oriented Precision LARC Tracking Motion Control of a Magnetically Levitated Planar Motor With Comparative Experiments. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *63*(9), 5763–5773. https://doi.org/10.1109/tie.2016.2538743

Ivan Miranda. (1 november 2019). GIANT DIY 3D PRINTER FROM SCRATCH [Video]. Hämtad 8 mars från https://www.youtube.com/watch?v=VzjJFon4c8E

Jandyal, A., Chaturvedi, I., Wazir, I., Raina, A., & Ul Haq, M. I. (2022). 3D printing – A review of processes, materials and applications in industry 4.0. *Sustainable Operations and Computers*, *3*(4), 33–42. https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.09.004

Johnson, J. (8 mars 2021). *What Is the XPlanar Transport System?* Beckhoff USA Blog. Hämtad 10 maj från https://www.blog.beckhoffus.com/post/what-is-xplanar

Kacherski, A., Colucci, N. D., Mauriello, D. G., Smallcomb, O. D., Johnson, A., & Donald, N. (2020). *Increasing 3D Printer Throughput with Automated Part Removal*.

Kelly, J. F. (2014). *3D printing: build your own 3D printer and print your own 3D objects*. Que.

Khan, I. H., & Javaid, M. (2021). Role of Internet of Things (IoT) in Adoption of Industry 4.0. *Journal of Industrial Integration and Management*, *7*(4), 2150006. https://doi.org/10.1142/s2424862221500068

Kondo, H., & Connell, J. (28 februari 2022). *Linear Rail (3D Printer): Really Better or Just a Hype?*. All3DP. Hämtad 13 mars från https://all3dp.com/2/linear-rail-3d-printer-really-better-or-just-a-hype/

Krischke, N., Zeidler, S., Baranowski, M., Mogge, P., Ertingshausen, L., Kaltenbacher, M., Selle, B., Bauhofer, H., Schabel, S., & Fleischer, J. (2024). Automated Postprocessing of 3D-printed Multi-Material Polymer Parts Through a Robot-Based Modular System and Control Architecture. *Procedia CIRP*, *130*, 604–610. https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.10.136

Lampropoulos, G., Siakas, K., & Anastasiadis, T. (2019). Internet of things in the context of industry 4.0: an overview. *International Journal of Entrepreneurial Knowledge*, *7*(1). https://doi.org/10.37335/ijek.v7i1.84

Lewrick, M., Link, P., & Leifer, L. (2020). *Design Thinking Toolbox : A Guide to Mastering the Most Popular and Valuable Innovation Methods*. Wiley & Sons Canada, Limited, John.

Machado, C., & Davim, J. P. (2020). *Industry 4.0 Challenges, Trends, and Solutions in Management and Engineering*. CRC Press.

Madison, J. (14 september 2024). *What is Better-Linear Bearings vs. V Wheels for 3D Printers?*. Kingroon 3D. Hämtad 13 mars från https://kingroon.com/blogs/3d-print-101/better-linear-bearings-vs-v-wheels?srsltid=AfmBOor0-tl_Xcz97nnv4zGQF7618gSj6gy1rqAS1Bw4sqQ3abqC__rU

Makersupplies.dk (u.å). *V-Slot Profiles*. Hämtad 13 mars från https://makersupplies.dk/machine-components/v-slot-linear-guides/v-slot-profiles

Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers & Industrial Engineering*, *127*(1), 925–953. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030

Mehrpouya, M., Dehghanghadikolaei, A., Fotovvati, B., Vosooghnia, A., Emamian, S. S., & Gisario, A. (2019). The Potential of Additive Manufacturing in the Smart Factory Industrial 4.0: A Review. *Applied Sciences*, *9*(18), 3865. https://doi.org/10.3390/app9183865

Merklein, M., Junker, D., Schaub, A., & Neubauer, F. (2016). Hybrid Additive Manufacturing Technologies – An Analysis Regarding Potentials and Applications. *Physics Procedia*, *83*, 549–559. https://doi.org/10.1016/j.phpro.2016.08.057

MITC. (13 december 2023). *Om oss*. Hämtad 26 mars från https://mitc.se/om-oss/

Papp, D. (30 september 2024). *3D Printer Swaps Build Plates To Automate Print Jobs*. Hackaday. Hämtad 6 maj från https://hackaday.com/2024/09/30/3d-printer-swaps-build-plates-to-automate-print-jobs/

Parvanda, R., & Kala, P. (2023). Trends, opportunities, and challenges in the integration of the additive manufacturing with Industry 4.0. *Progress in Additive Manufacturing*. https://doi.org/10.1007/s40964-022-00351-1

Prusa Research. (2020). *PRUSA PRO AFS* Prusa3D. Hämtad 6 maj från https://www.prusa3d.com/applications/prusa-pro-afs_236928/

Rahman, M. M., Saiaf Bin Rayhan, Sultana, J., & Rahman, M. Z. (2023). Additive manufacturing techniques, their challenges, and additively manufactured composites for advanced engineering applications. *Elsevier EBooks*, 329–351. https://doi.org/10.1016/b978-0-323-96020-5.00118-7

Reeves, P., Tuck, C., & Hague, R. (2011). Additive Manufacturing for Mass Customization. *Springer Series in Advanced Manufacturing*, 275–289. https://doi.org/10.1007/978-1-84996-489-0_13

Resman, M., Turk, M., & Herakovic, N. (2021). Methodology for planning smart factory. *Procedia CIRP*, *97*, 401–406. https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.258

Rolohaun. (19 juni 2022) DIY Fast CoreXY 3D Printer! Carbon Fiber X rods! [Video]. Hämtad 8 mars från https://www.youtube.com/watch?v=AIhoW_cuxsI

Shahrubudin, N., Lee, T., & Ramlan, R. (2019). An overview on 3D printing technology: technological, materials, and applications. *Procedia Manufacturing*, *35*, 1286–1296. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089

Snapmaker. (13 november 2023). *The linear guide rail systems on 3D printer axes: All you need to know*. Hämtad 13 mars från https://support.snapmaker.com/hc/en-us/articles/18939172355223-The-linear-guide-rail-systems-on-3D-printer-axes-All-you-need-to-know

Stewart, C. (20 januari 2023). *Implementation of a Modular Magnetic Levitation Planar Motor*. University of Waterloo. http://hdl.handle.net/10012/19092

Säfsten, K., Gustavsson, M. (2019). *Forskningsmetodik för ingenjörer och andra problemlösare* (1 uppl.). Studentlitteratur.

Teixeira, L. F., Juliana, F, A., & Suely, N. (2021). A Material-Driven Design Approach Methodology in 3D Printing Waste Recycling. *Springer Tracts in Additive Manufacturing*, 105–129. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75235-4_6

3DJake. (18 november 2022). *How to Build 2 Printers from Scratch – Part 1: Frames and Motion Systems* [Video]. Youtube. Hämtad 8 mars från https://www.youtube.com/watch?v=NMfFirtB1D4

Turney, D. (31 augusti 2021). *History of 3D printing: It's older than you think*. Autodesk. https://www.autodesk.com/design-make/articles/history-of-3d-printing

Ulrich, K. T., Eppinger, S. D., & Yang, M. C. (2015). *Product design and development*. McGraw-Hill Education.

Villi, Ö., Villi O., & Yavuz, H. (2024). Concept design for optimizing mass production processes with 3D printer in the industry. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, *8*(1), 8–19. https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.1359048

Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2016). Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, *101*, 158–168. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.12.017

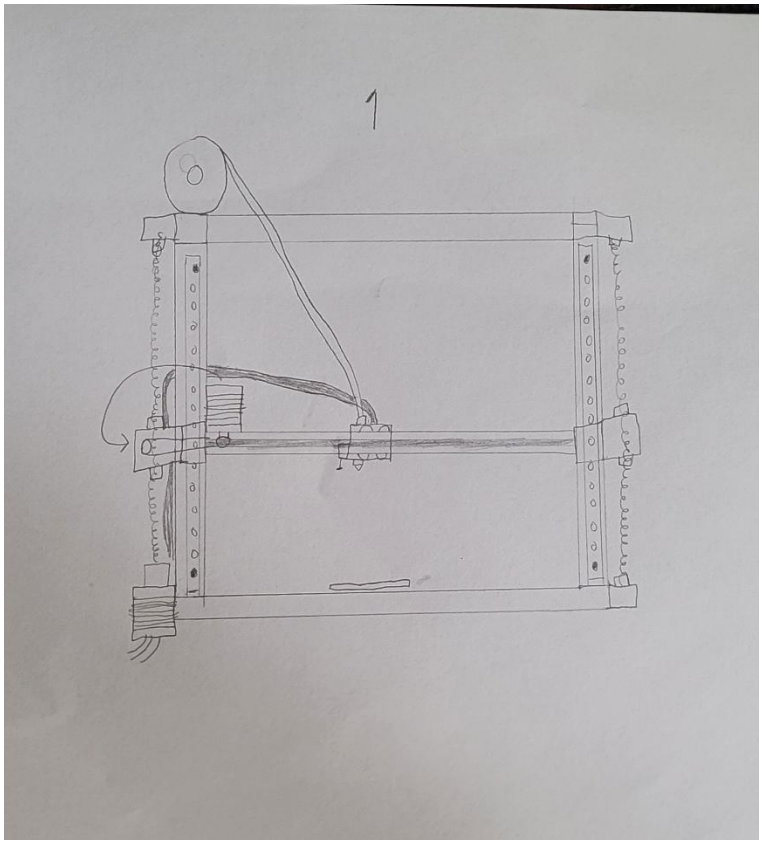
Wikberg N. Å., Ericsson, Å., & Törlind, P. (2015). *Design Process och Metod*. Studentlitteratur

Özsoy, K., Aksoy, B., & Yücel, M. (2020). Görüntü Işleme Tekniklerine Dayalı Konveyör Sistemli Sürekli Yazabilen Otomatik 3B Baskı Cihazın Tasarımı ve İmalatı. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. https://doi.org/10.18185/erzifbed.666424

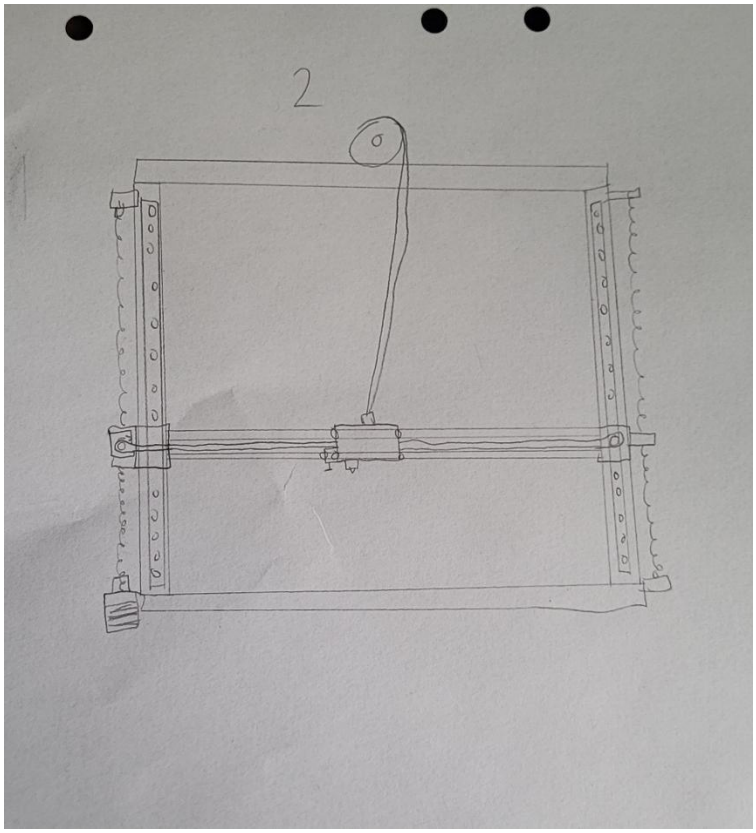
Bilagor

Bilagor av koncepten

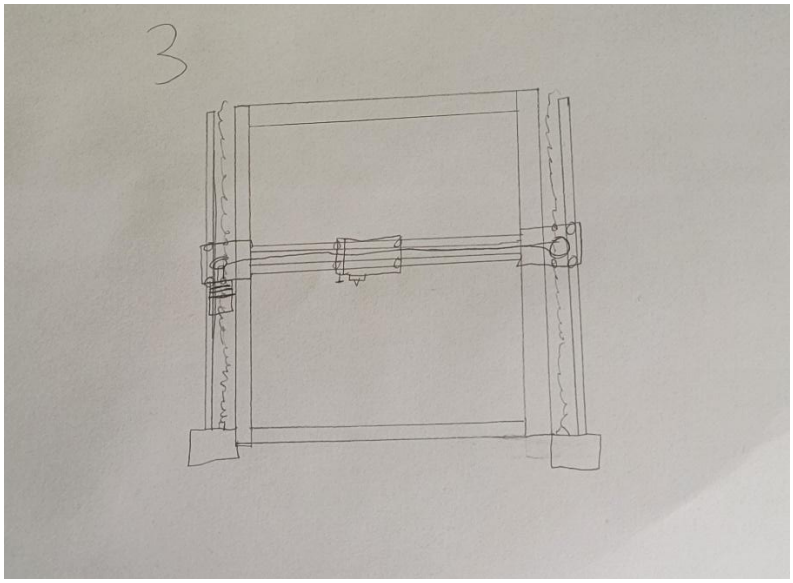
Bilaga 1: Koncept 1



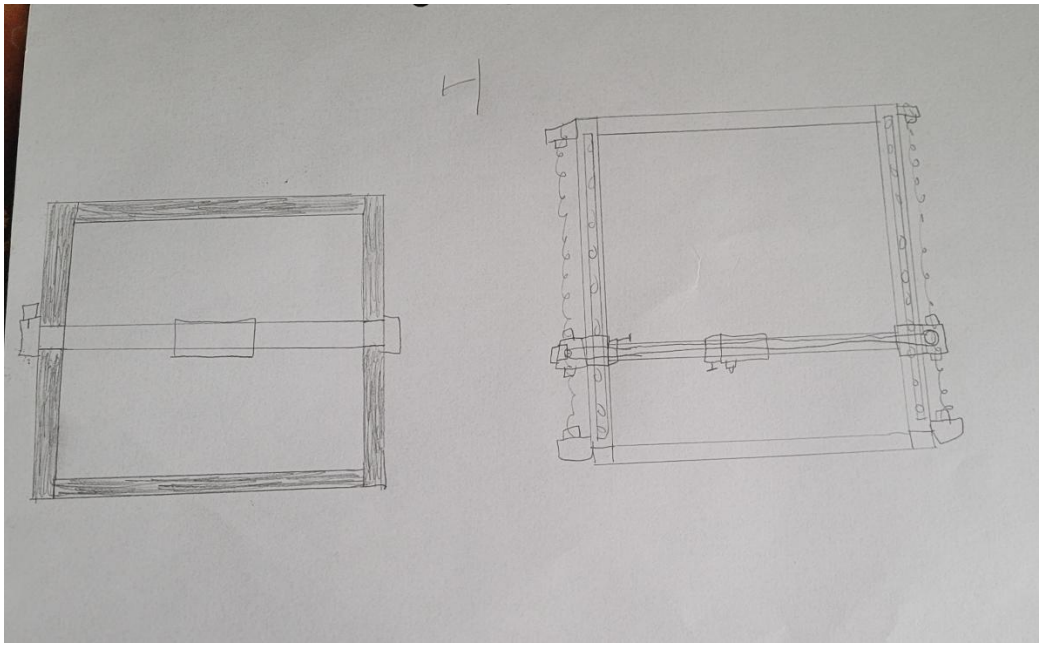
Bilaga 2: Koncept 2



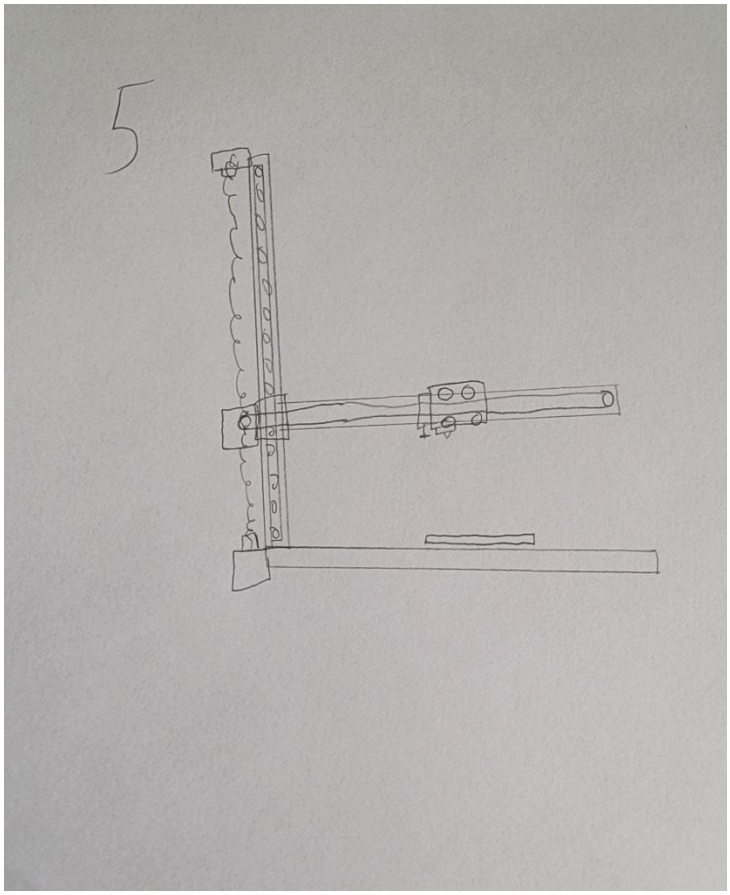
Bilaga 3: Koncept 3



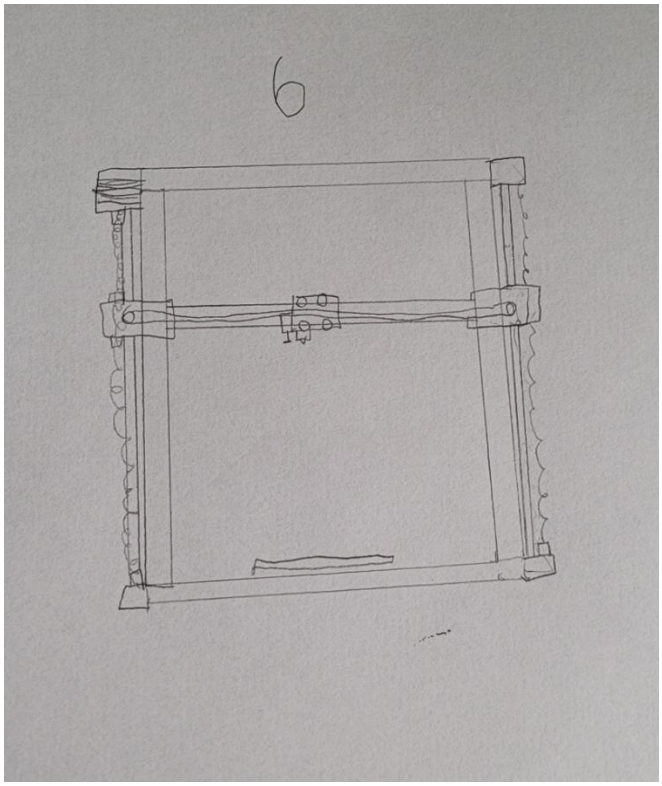
Bilaga 4: Koncept 4



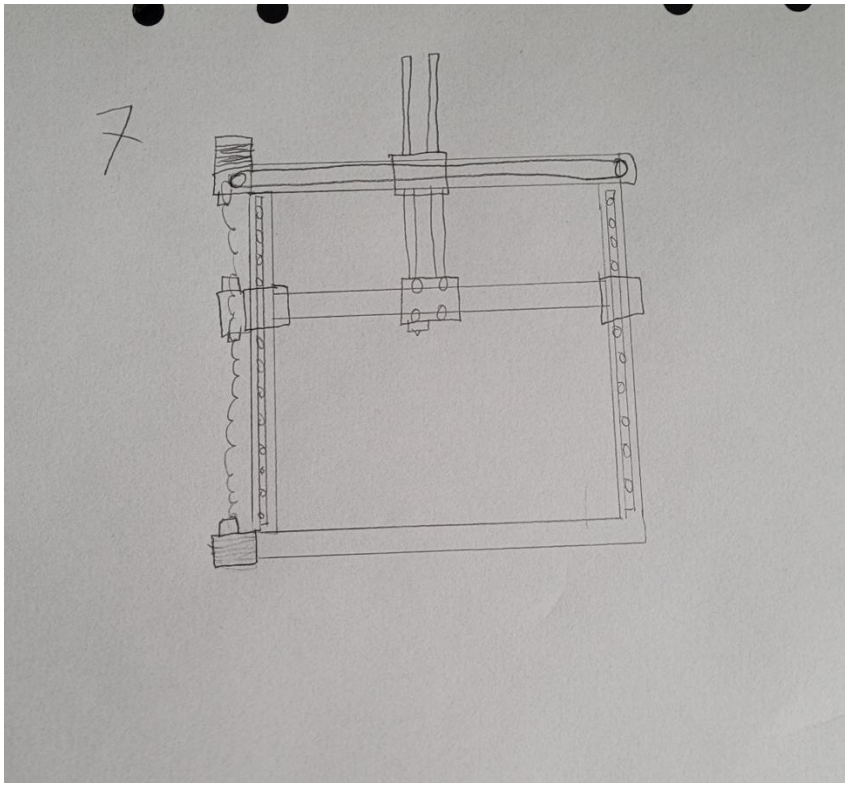
Bilaga 5: Koncept 5



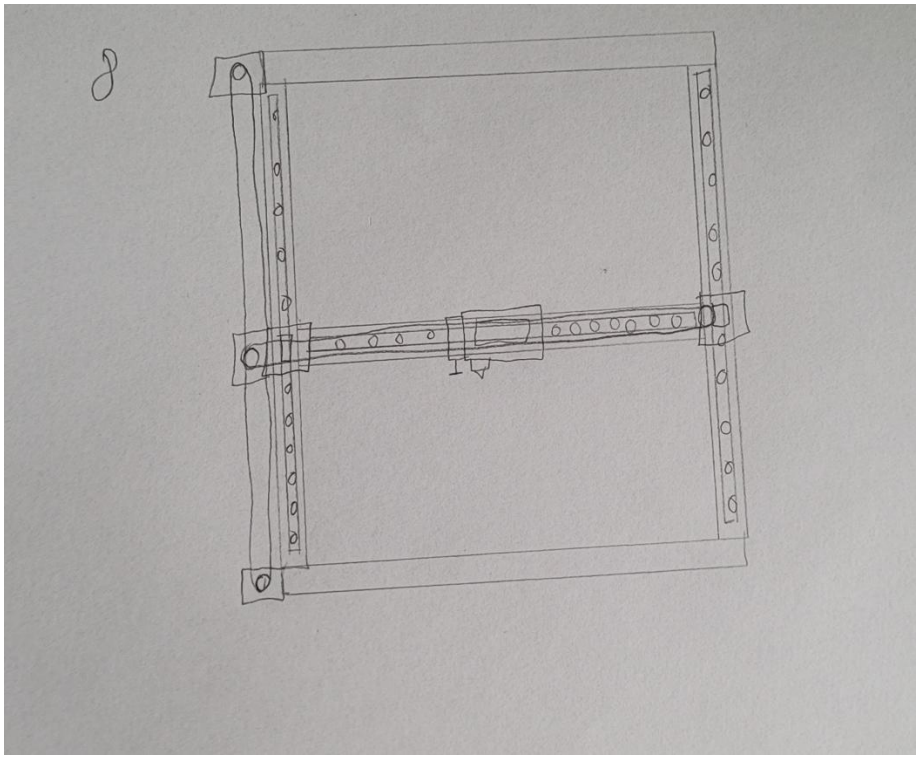
Bilaga 6: Koncept 6



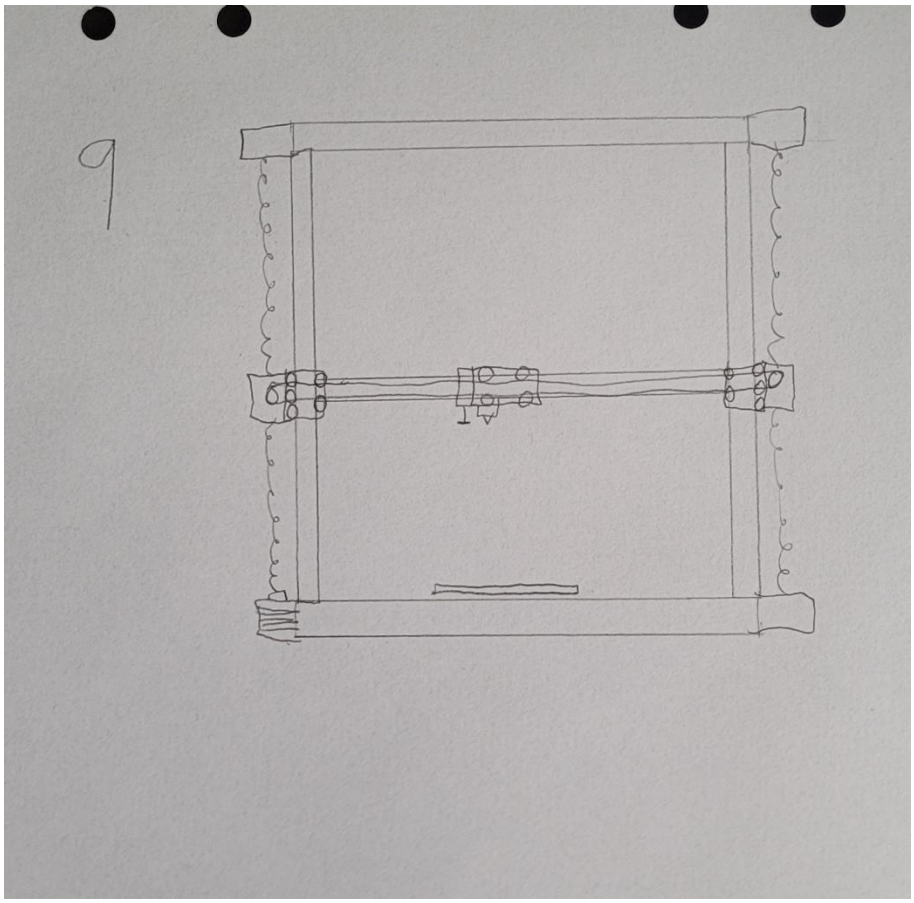
Bilaga 7: Koncept 7



Bilaga 8: Koncept 8

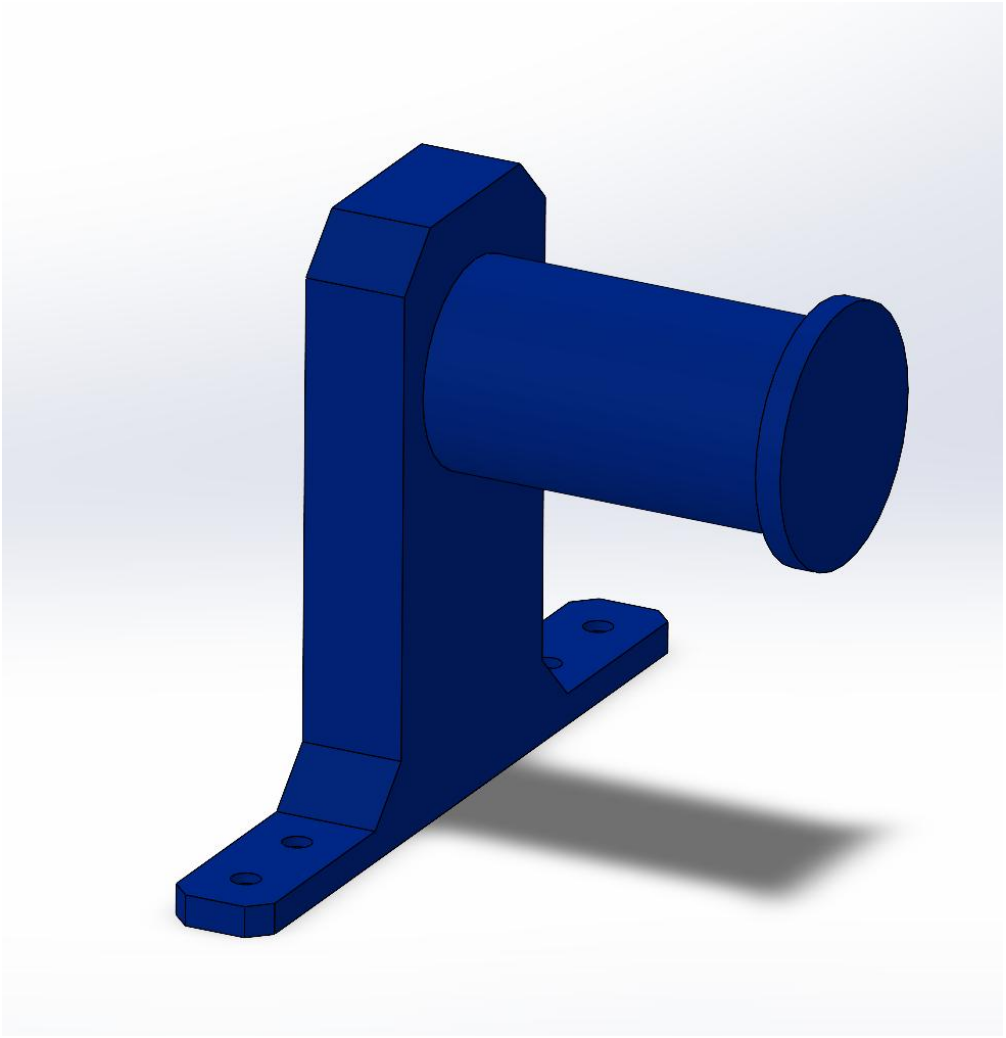


Bilaga 9: Koncept 9

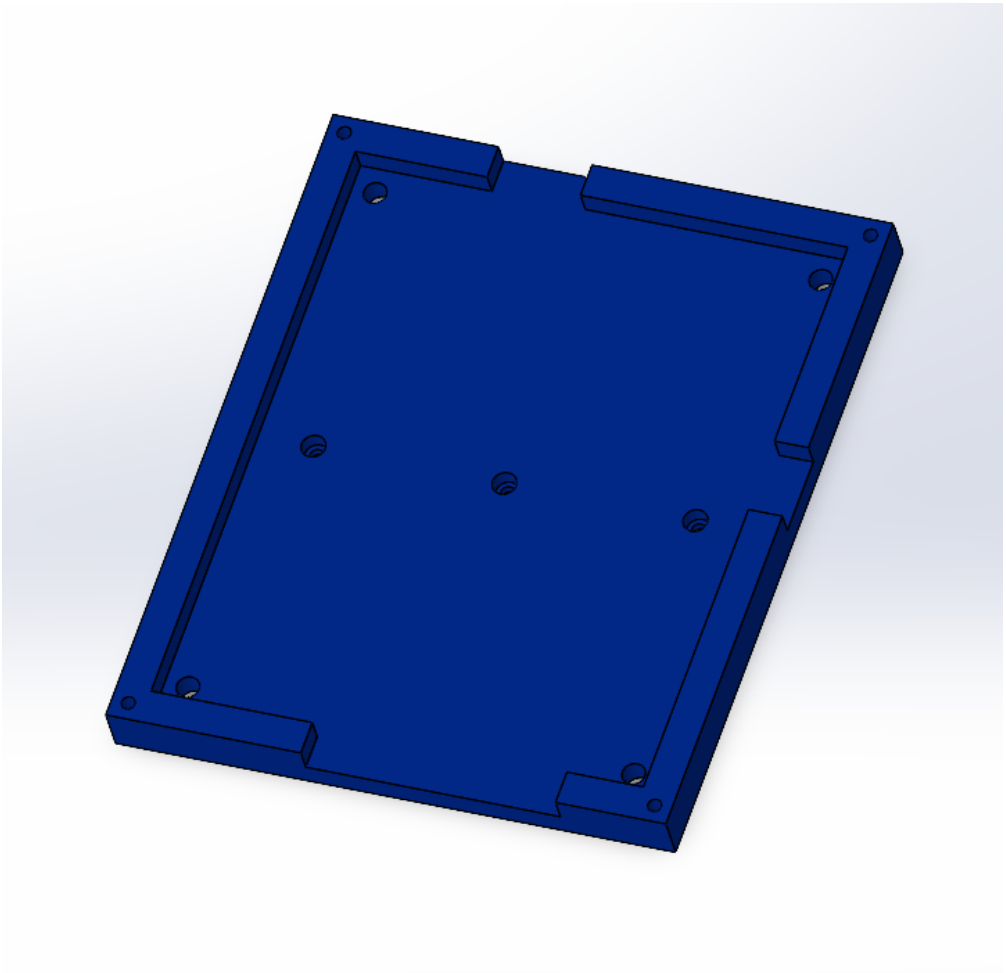


Bilagor av CAD modellerna

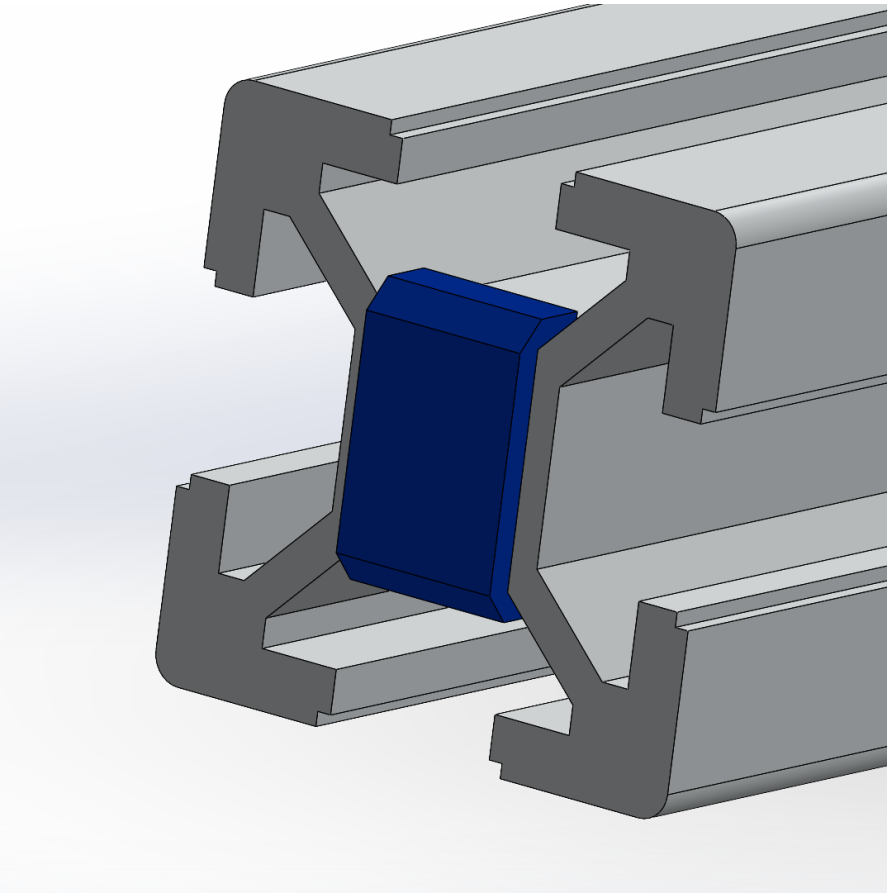
Bilaga 10: Filament hålare



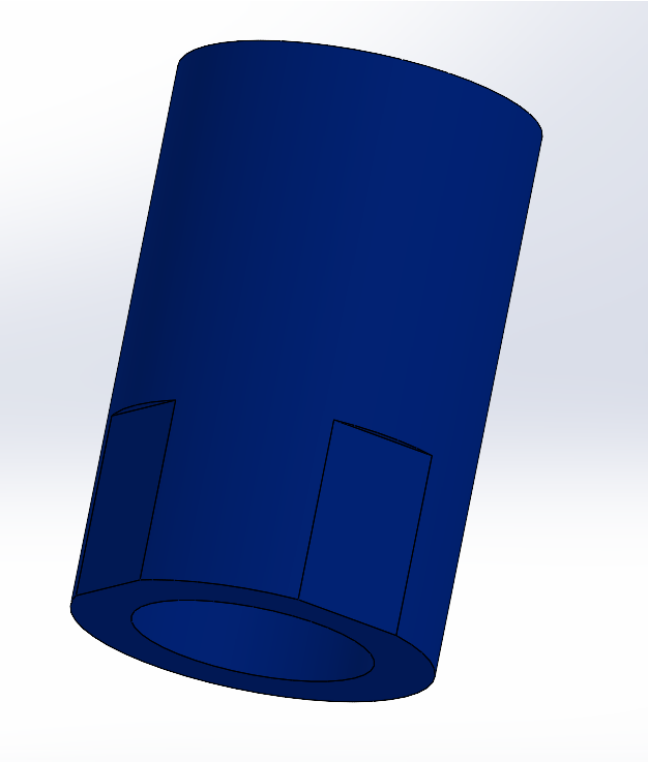
Bilaga 11: Moderkort fäste



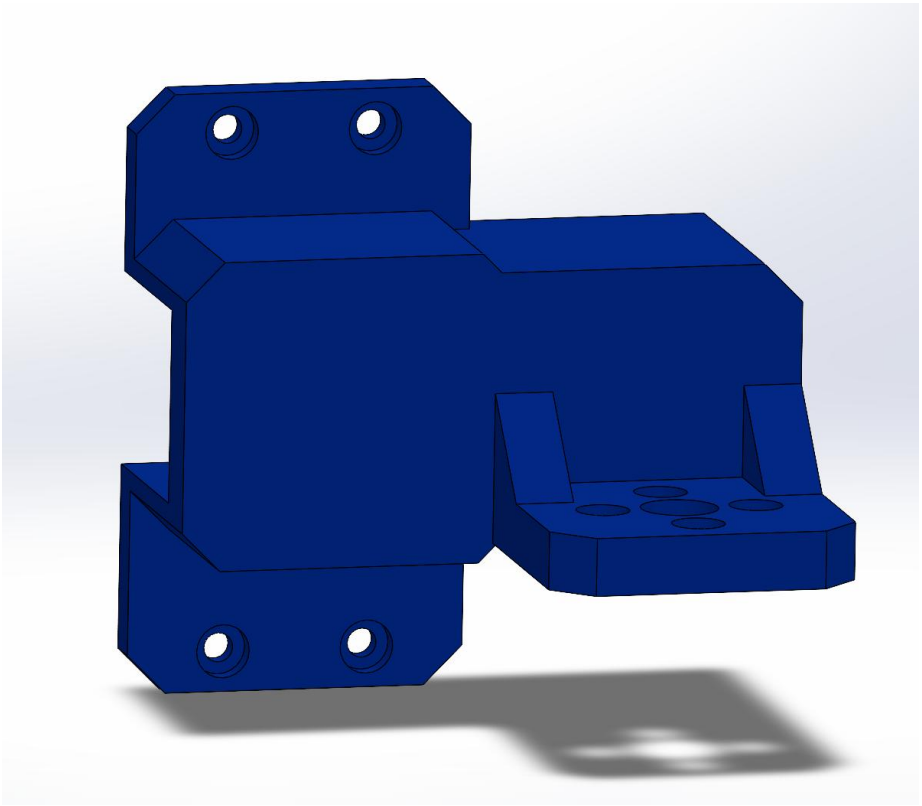
Bilaga 12: drivrem skydd på aluminiumprofil



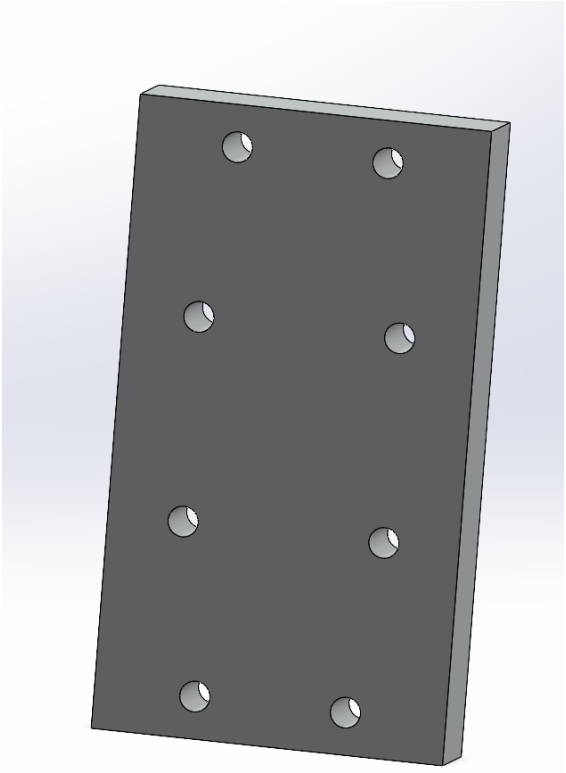
Bilaga 13: Motor kopplare adapter



Bilaga 14: Linjära skenhålare vänster



Bilaga 15: Metallplatta adapter



BOM

Bilaga 16

1x Print huvud (BIQU H2) (https://www.3dprima.com/se/spare-parts-accessories/manufacturers/biqu/biqu-h2-v2s-24-v-extruder_28841_10681)
2x Trapetskruv (https://www.123-3d.se/123-3D-Leadscrew-TR8x2-8mm-100cm-i2252-t9712.html)
1x Trapetskruv mutter(https://www.123-3d.se/123-3D-Leadscrew-mutter-TR8x2-i2134-t9712.html)
1x Drivrem (https://www.123-3d.se/123-3D-GT2-Stalforstarkt-timing-belt-6mm-5m-i6571-t0.html)
1x Belt tensioner (https://www.123-3d.se/123-3D-Belt-tensioner-2020-for-Ender-3-Pro-X-axis-i5585-t15117.html)
1x Remskiva (https://www.123-3d.se/123-3D-GT2-Pulley-hogupplost-6mm-rem-20-tander-5mm-axel-i2081-t14815.html)
2x Större Remskiva (https://www.123-3d.se/123-3D-GT2-Pulley-hogupplost-6mm-rem-32-tander-8mm-axel-i2568-t14819.html)
1x Slät Remskiva (https://www.123-3d.se/123-3D-slat-pulley-hog-upplosning-6mm-rem-5mm-axel-i2086-t14821.html)
1x X limit sensor (https://www.123-3d.se/Creality3D-Creality-3D-Sermoon-D1-X-Axis-Limit-Kit-4004180023-i7331-t324.html)
1x Bed sensor (https://www.123-3d.se/Antclabs-BLTouch-Auto-Bed-Leveling-Sensor-v3-1-BLTOUCH-i3640-t19122.html)
1x Bed sensor längre kabel (https://www.123-3d.se/Antclabs-Antclabs-BLTouch-Auto-Bed-Leveling-Sensor-Cable-Kit-SM-XD-1-5m-SM-XD1-5-i3643-t13138.html)
40x M3 Glid mutterer (https://www.123-3d.se/123-3D-Glidmutter-M3-for-aluminiumprofil-20x20-20st-i2059-t14575.html)
1x Huvud (https://www.3dprima.com/se/spare-parts-accessories/manufacturers/biqu/biqu-h2-v2s-24-v-extruder_28841_10681)
1x Moderkort (https://www.123-3d.se/Duet3D-Duet3D-Duet-3-moderkort-6XD-v1-0-Duet-3-MB6XD-v1-0-i8305-t14808.html)
1x Motor Koppling (https://www.123-3d.se/123-3D-Flexibel-motorkoppling-8mm-8mm-i2505-t3045.html)
1x Smörja (https://www.123-3d.se/SuperLube-Super-Lube-Grease-i1467-t14800.html)
3x Linear rails (https://www.123-3d.se/123-3D-MGN12H-linear-rails-60cm-i1400-t14800.html)
40x M3 Skruvar (https://www.123-3d.se/123-3D-Metallskruv-sexkant-cylinderhuvud-galvaniserad-M3-x-8mm-50st-i3078-t3122.html)
2x Motorer (https://www.beckhoff.com/sv-se/products/motion/compact-drive-technology/asi8100-compact-integrated-stepper-motor-drives/asi8111-abcc-w1yz.html)
1x Kullager (https://www.123-3d.se/123-3D-Kullager-608ZZ-1st-i20-t13131.html)
1x Stegmotor kabel (https://www.123-3d.se/123-3D-123-3D-Stegmotorkabel-4p-Dupont-6p-JST-100cm-i2323-t13138.html)

10m 20x20 Aluminiumprofiler

30x Hörnbitar

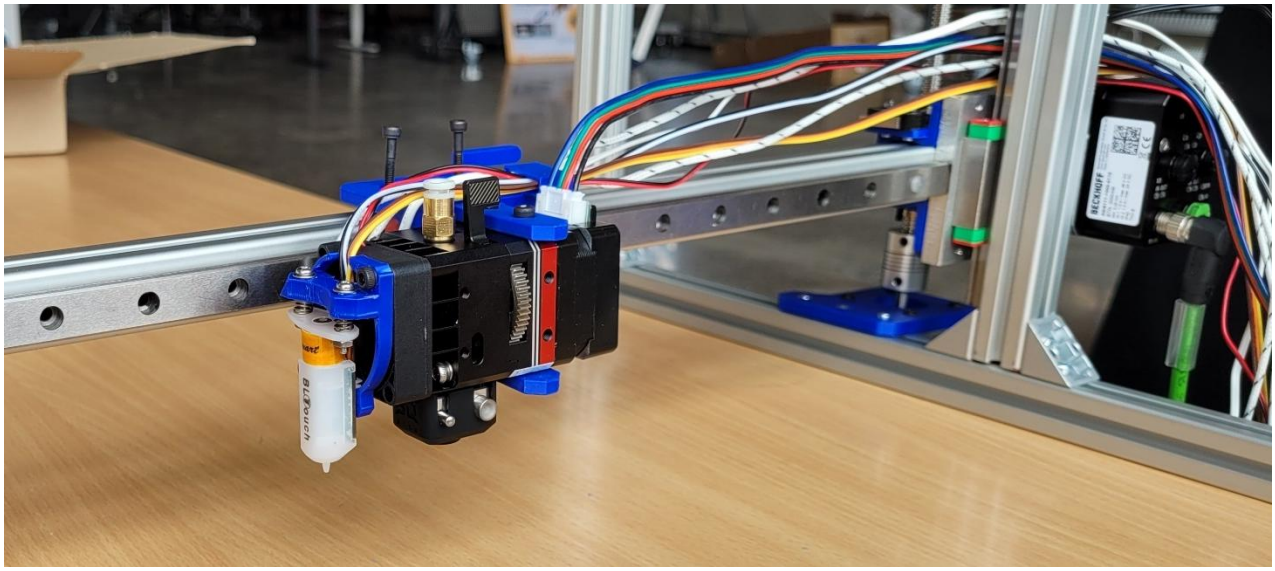
30x M5 Skruvar

30x M5 Glid mutter

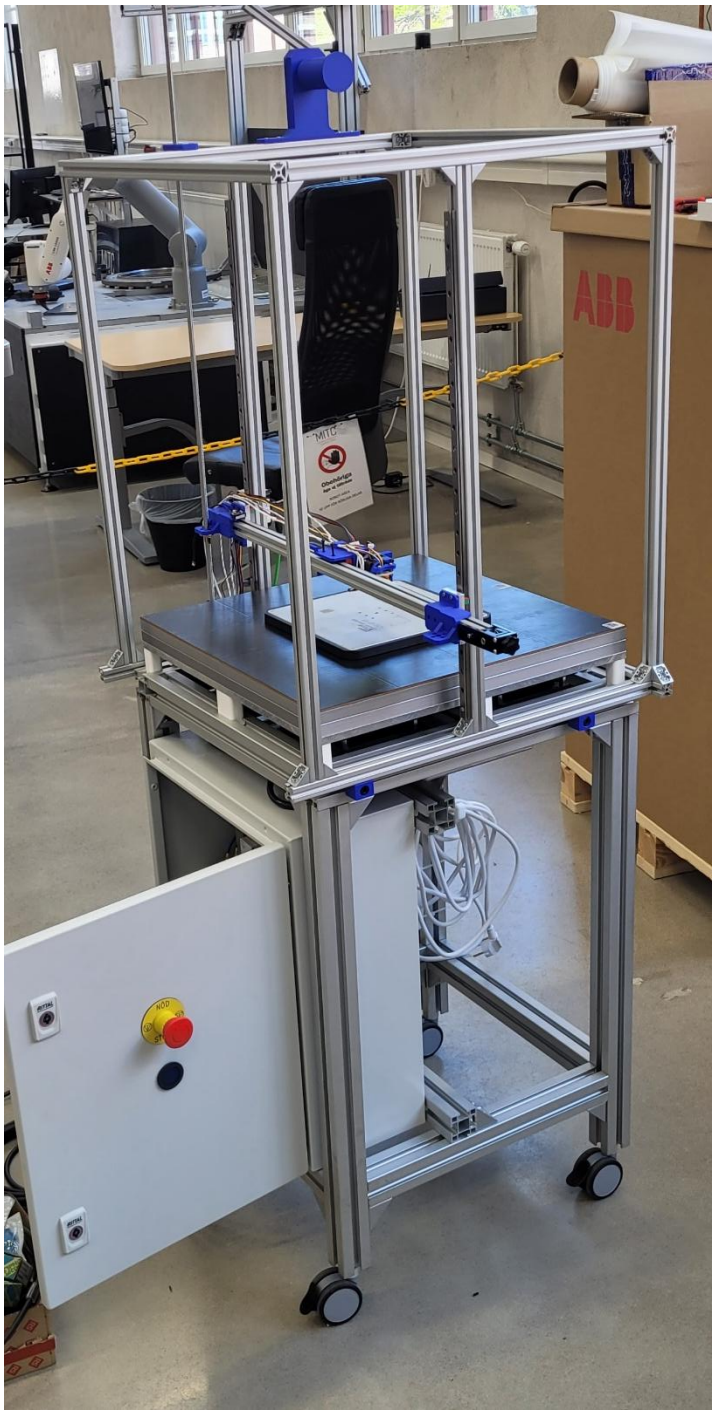
2x Special producerade metaladapter

Bilagor resultat

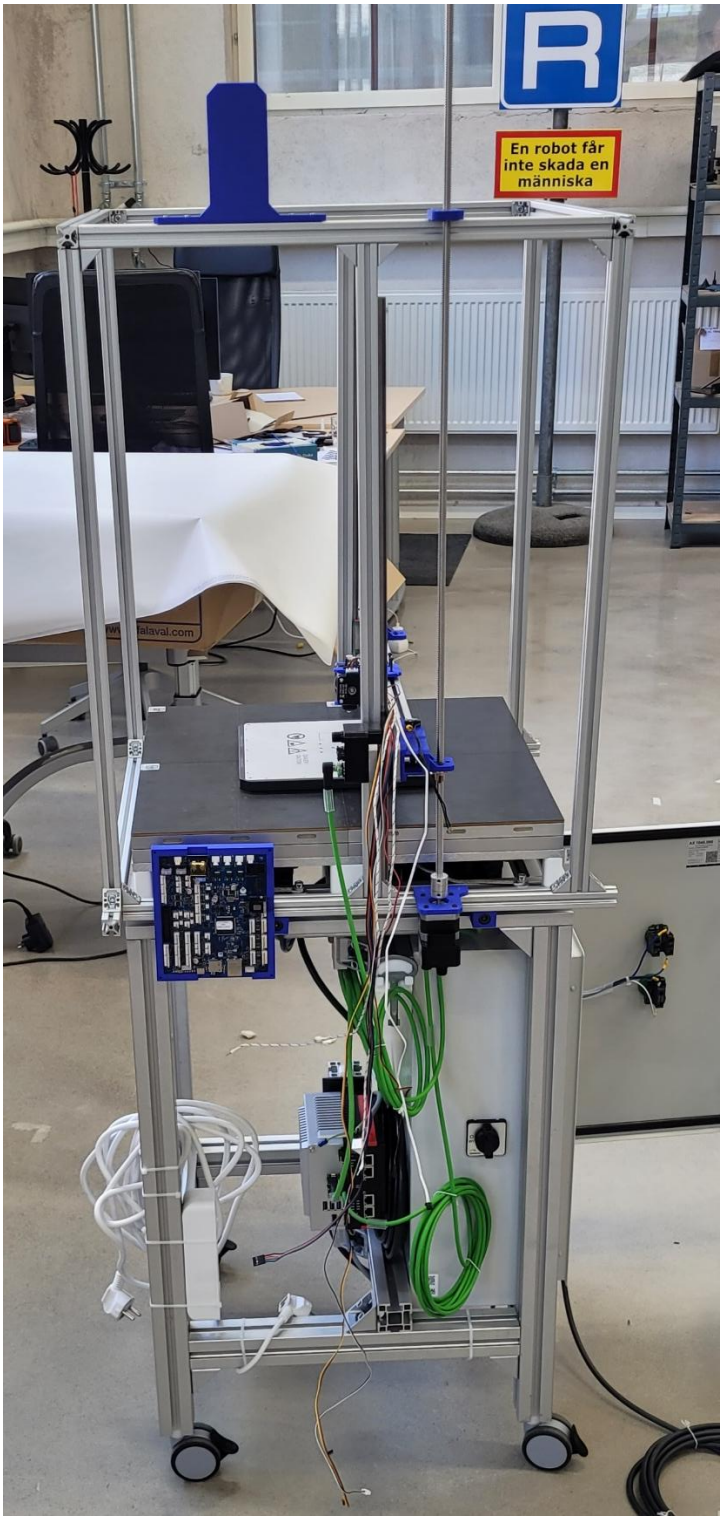
Bilaga 17: Närmare bild av 3D-skrivarens huvud och arm



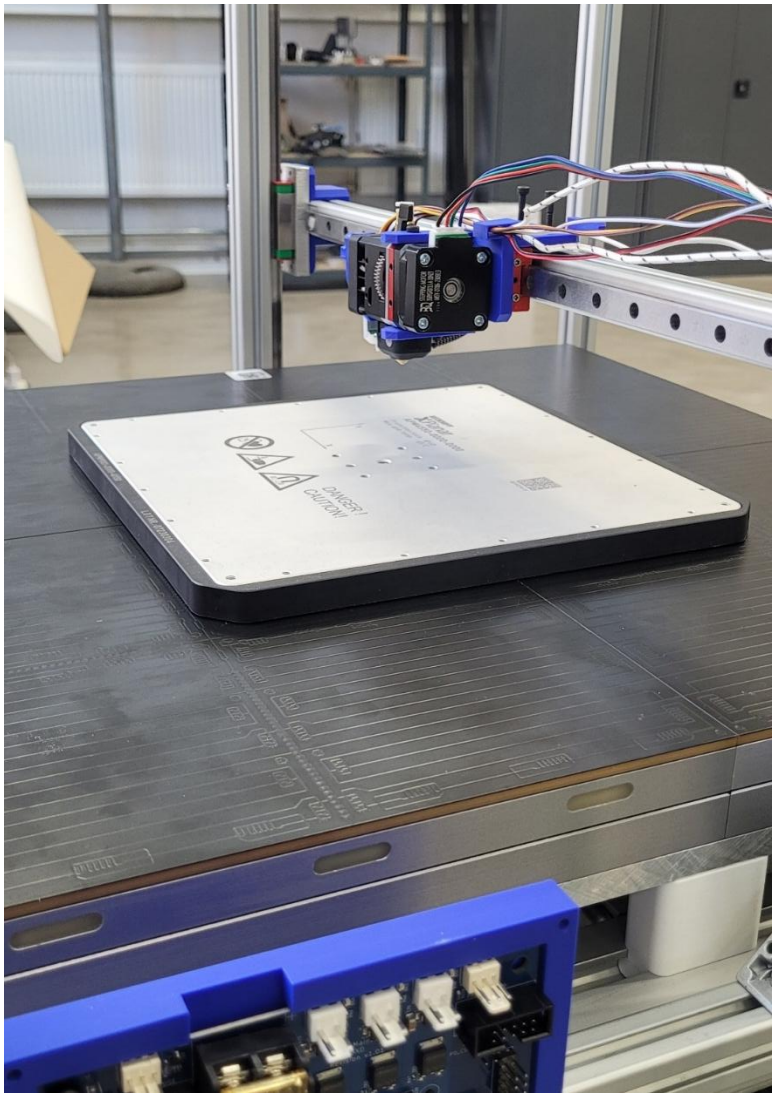
Bilaga 18: Sido vy av hela stationen



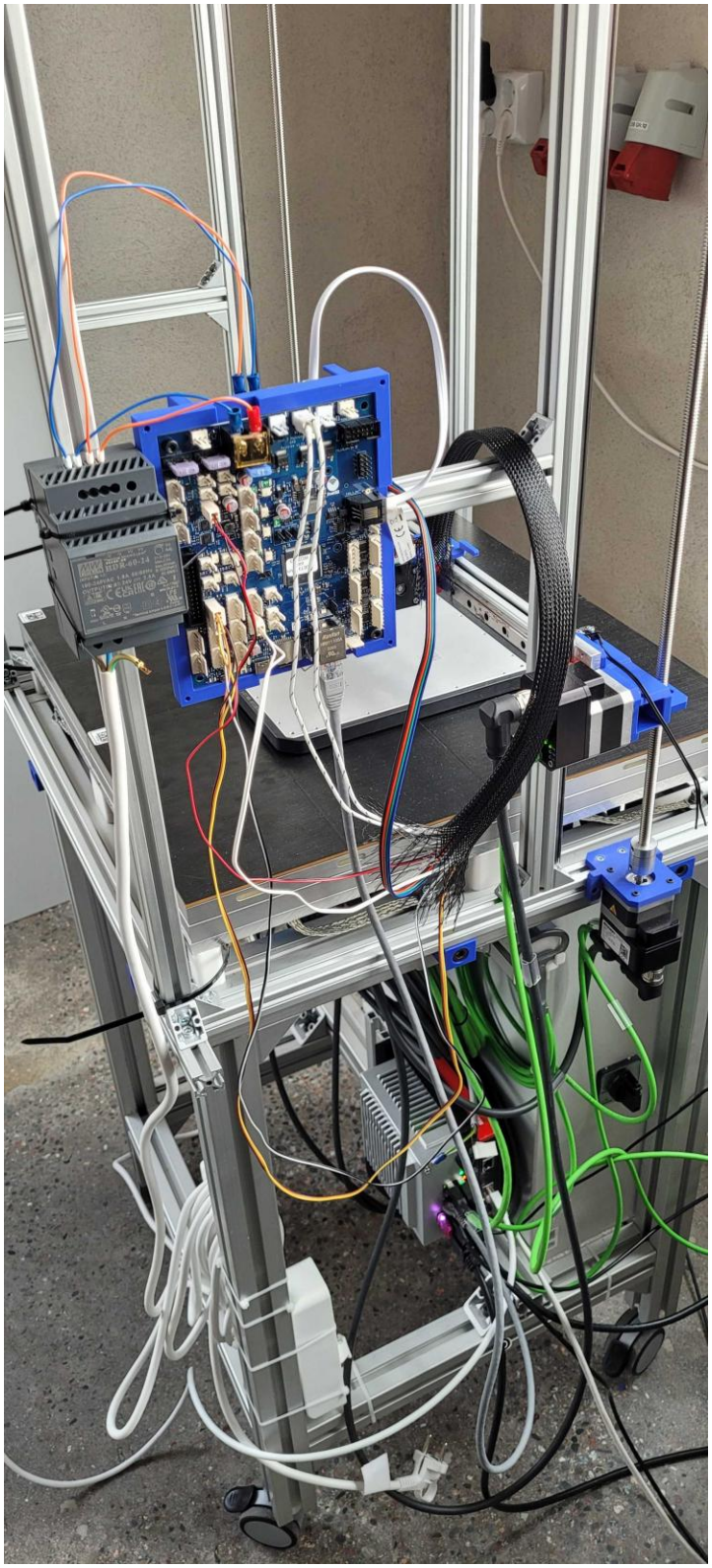
Bilaga 19: Bild av hela stationen från annan sida



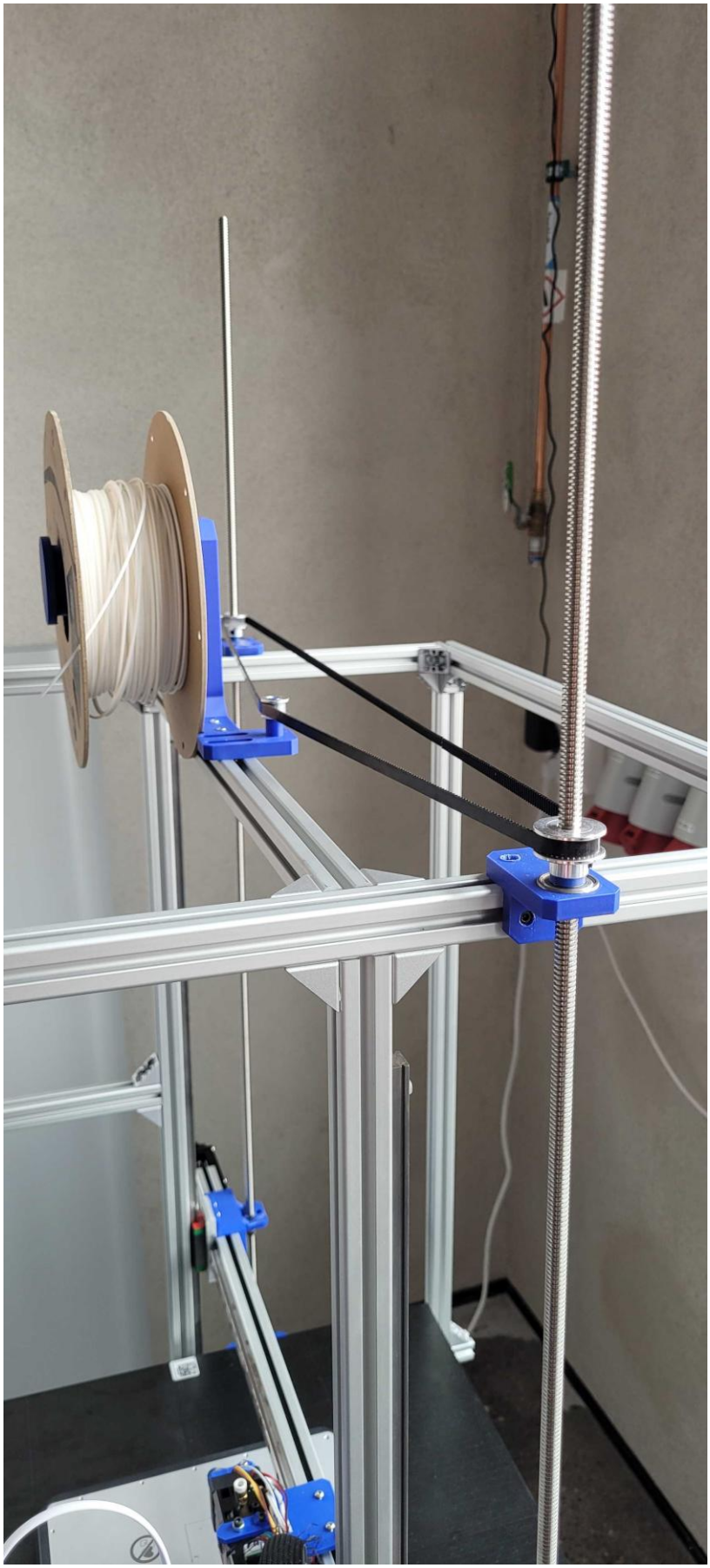
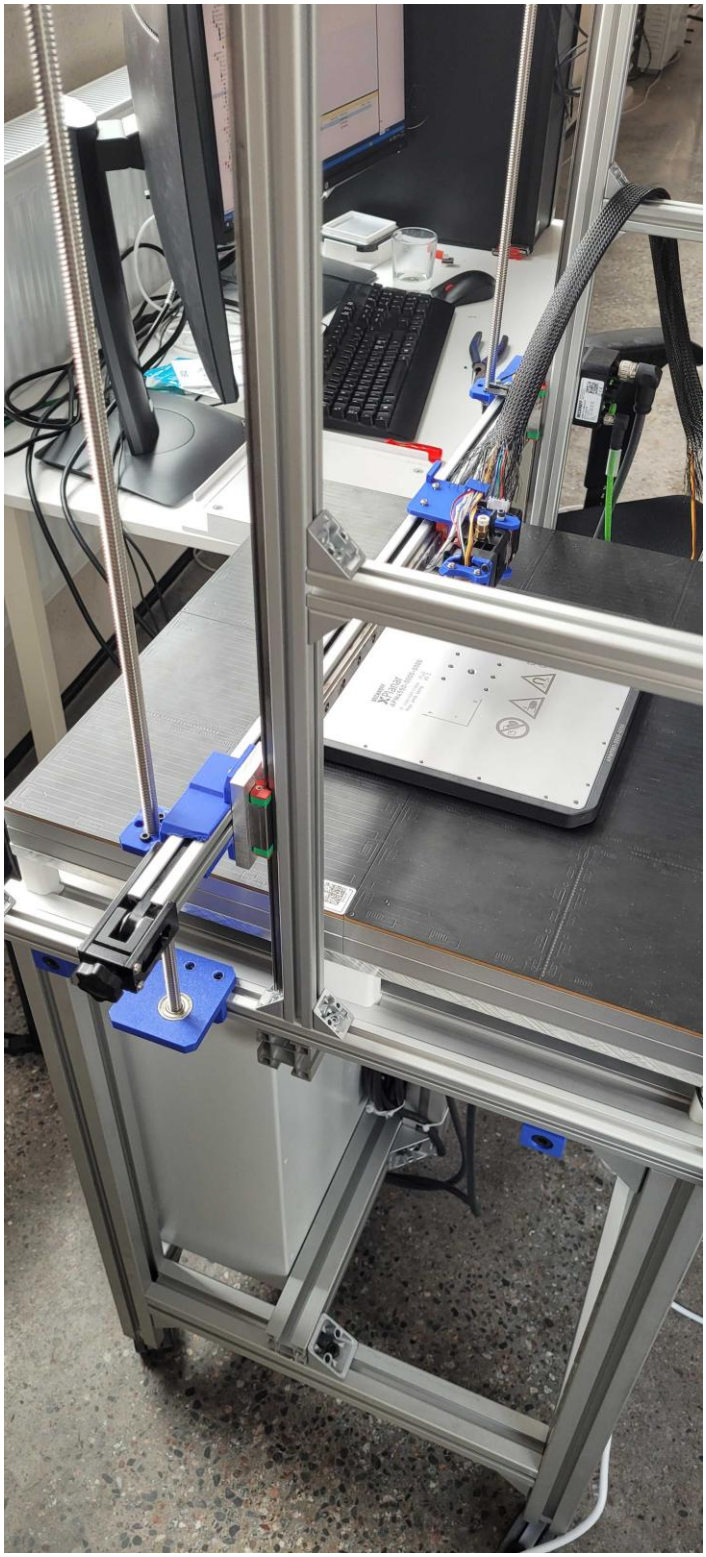
Bilaga 20: Närma bild av skrivarens huvud tillsamman med XPlanar



Bilaga 21: Sido bild av hela slutgiltiga stationen



Bilaga 22: Bild av den övre delen av den slutgiltiga stationen



Bilaga 23: Närmar bild av armen och XPlanar av den slutgiltiga stationen