

Examensarbete rapport 2024

# **Förbättring av filamentmatningsteknik för ökad effektivitet hos FDM 3D-skrivare**

Emil Gustafsson  
Jonatan Stenmark



**CHALMERS**

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap  
Chalmers University of Technology

Göteborg, Sverige 2024

Förbättring av filamentmatningsteknik för ökad effektivitet i FDM 3D-skrivare  
Emil Gustafsson, Jonatan Stenmark

© Emil Gustafsson, Jonatan Stenmark, 2024.

Handledare: Kjell Melkersson

Examinator: Kjell Melkersson, Institutionen för Industri- och Materialvetenskap

Examensarbete 2024

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

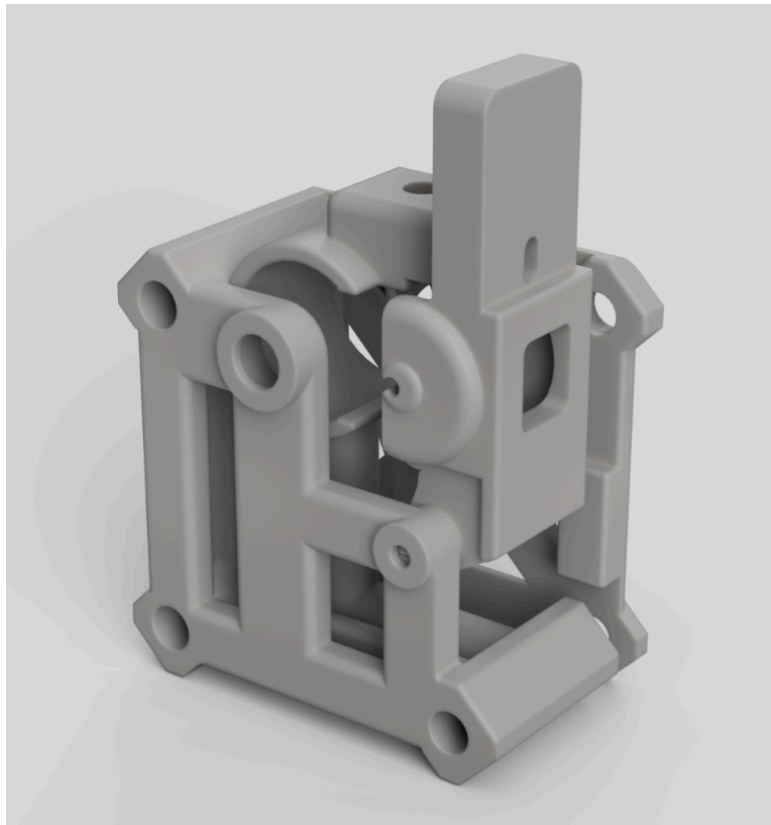
Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96 Göteborg

Telefon +46 31 772 1000

## Sammanfattning

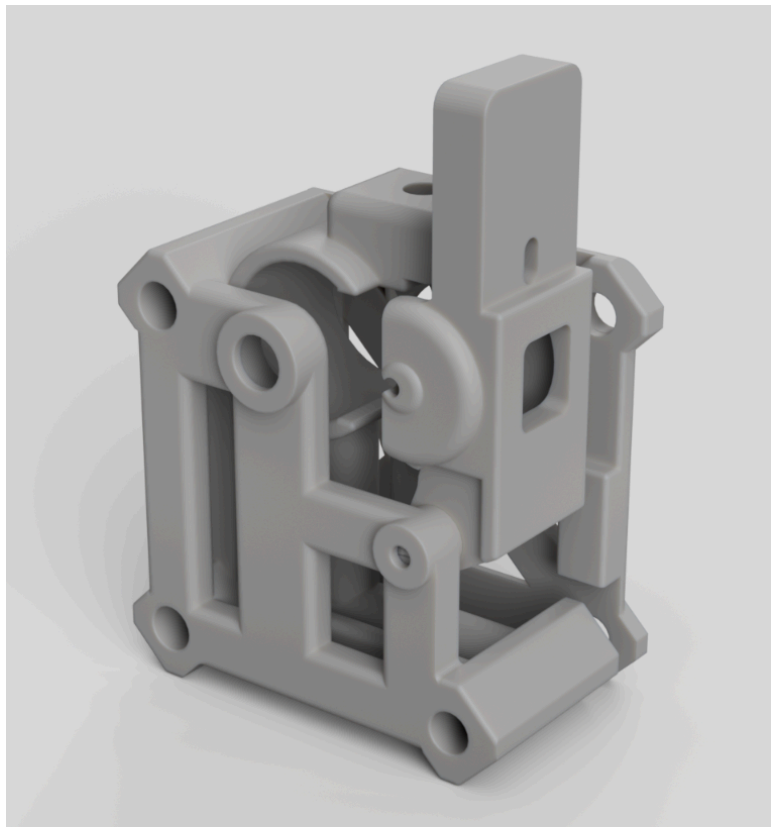
I denna rapport presenteras utvecklingen av en extruder för en Fused Deposition Modelling 3D-skrivare. Målet var att skapa en mer tids- och kostnadseffektiv samt en mer miljövänlig extruderlösning. För att uppnå detta genomfördes användarundersökningar, tester och analyser av konkurrenters lösningar för att identifiera de vanliga problemen och styrkorna hos extrudrar. Baserat på dessa insikter utvecklades en prototyp, se figur 0.1 som har matningshjul med 8 mm innerdiameter för att säkerställa jämn utmatning och minimera extruderingsfel. Materialet HDPE med 30% glasfiber användes till chassit för att ge extrudern en låg vikt, kostnad och miljöpåverkan. Slutsatsen var att den nya designen var tids- och kostnadseffektiv samt minskade miljöpåverkan.



**Figur 0.1:** Renderad bild på framtagen prototyp

## Abstract

This report presents the development of an extruder for a Fused Deposition Modelling 3D-printer. The aim of the report was to create a more time- and cost-efficient, as well as a more environmentally friendly, extruder solution. To achieve this, user surveys, tests, and analyses of competitors' solutions were conducted to identify common problems and strengths of extruders. Based on these insights, a prototype was developed, see figure 0.2, featuring feed wheels with an 8 mm inner diameter to ensure smooth output and minimize extrusion errors. The chassi was made of HDPE with 30% fiberglass to provide the extruder with low weight, cost, and environmental impact. The conclusion was that the new design was time- and cost-efficient and reduced environmental impact.



**Figur 0.2:** *Renderad bil på framtagen prototyp*

# Innehållsförteckning

<b>Figurer.....</b>	<b>1</b>
<b>Tabeller.....</b>	<b>2</b>
<b>1 Inledning.....</b>	<b>3</b>
1.1 Projektets intressenter.....	3
1.2 Bakgrund.....	3
1.3 Problemformulering.....	5
1.4 Syfte.....	5
1.5 Frågeställning.....	5
1.6 Avgränsningar.....	5
1.7 Gantt-schema.....	5
<b>2 Undersökning av problemet.....</b>	<b>6</b>
2.1 Användarundersökning.....	6
2.2 Kundbehovslista.....	7
2.3 Funktionsanalys.....	7
<b>3 Testmetodik.....</b>	<b>9</b>
3.1 Testförberedelse.....	9
3.2 Procedur.....	11
3.3 Testresultat.....	11
<b>4 Framtagning av koncept.....</b>	<b>15</b>
4.1 Konkurrenters lösning.....	15
4.1.1 Annex sherpa mini extruder.....	15
4.1.2 Bondtech LGX extruder.....	15
4.1.3 Proper extruder.....	16
4.2 Delsystemsanalys.....	17
4.2.1 Definiera delsystem.....	17
4.2.2 Morfologisk matris.....	18
4.2.3 Konceptkatalog.....	19
4.2.4 Kravspecifikation.....	20
4.3 Valt koncept.....	20
4.3.1 Elimineringsmatris.....	20
4.3.2 Pughmatris.....	21
4.3.3 Konceptval.....	22
<b>5 Framtagen lösning.....</b>	<b>24</b>
5.1 Detaljkonstruktion.....	24
5.1.1 Chassit.....	24
5.1.2 Fysisk prototyp.....	25
5.2 Andra komponenter.....	26
5.2.1 Matningshjul.....	27
5.2.2 Förspänningsfjäder.....	28
5.3 Materialval.....	28
5.4 Slutgiltiga prototyp.....	29
<b>6 Slutsatser.....</b>	<b>31</b>

<b>7 Diskussion och fortsatt arbete.....</b>	<b>32</b>
<b>Bilagor.....</b>	<b>33</b>
<b>Referenser.....</b>	<b>47</b>

# Figurer

1.1 Komponenter av en FDM-skrivare.....	3
1.2 Komponenter av en extruder.....	4
1.3 Bowden och Direct drive.....	4
2.1 Användarundersökning - tid .....	6
2.2 Användarundersökning - problem.....	6
3.1 Creality Sprite Extruder SE-Neo till vänster och Ender 3 original extruder till höger.....	9
3.2 Testmodell 1 - 3D-benchy till vänster och Testmodell 2 - hastighetstorn till höger.....	10
3.3 Exempel på stringing.....	10
3.4 PLA - Direct drive utskriften till vänster och bowden till höger.....	12
3.5 PETG - Direct drive utskriften till vänster och bowden till höger.....	13
3.6 TPU - Direct drive utskriften till vänster och bowden till höger.....	14
4.1 Annex sherpa mini.....	15
4.2 Bondtech LGX med matningshjul.....	16
4.3 Proper Extruder.....	16
4.4 Funktionsträd.....	17
4.5 Olika typer av matningshjul under delfunktionen greppa material.....	18
4.6 Första skiss av prototyp.....	23
5.1 Chassi.....	24
5.2 Sidvy av prototyp.....	25
5.3 Utmatningsledare.....	25
5.4 Utskrivern prototyp i PLA.....	25
5.5 Komponenters position för extruder.....	27
5.6 Bondtech-matningshjul.....	28
5.7 Thumbscrew Assembly.....	28
5.8 Slutgiltig prototyp.....	29
5.9 Slutgiltig sprängd prototyp.....	30

# Tabeller

2.1 Kundbehovslista.....	7
2.2 Sammanställning av funktioner.....	8
3.1 3D-skrivarens inställningar.....	11
4.1 Morfologisk matris.....	18
4.2 Konceptkatalog.....	19
4.3 Elimineringssmatris.....	21
4.4 Pughmatris 1.....	22
5.1 Material sammanställning.....	29

# 1 Inledning

Detta kapitel fastställer de grundläggande förutsättningarna för projektet, inklusive dess bakgrund, syfte och avgränsningar.

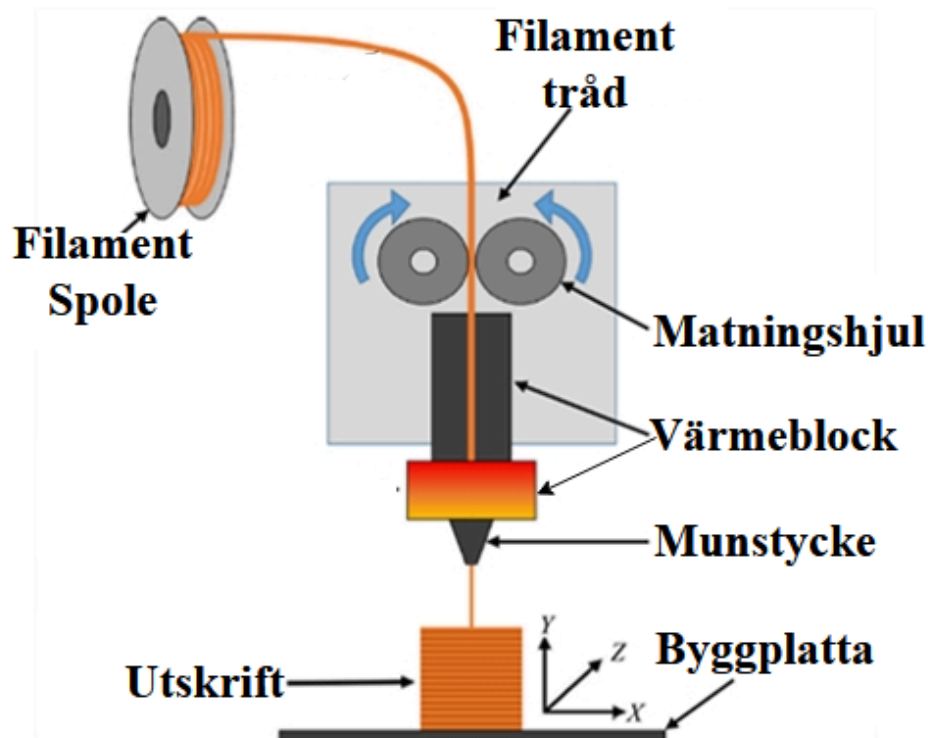
## 1.1 Projektets intressenter

I detta projekt är det väsentligt att uppmärksamma den centrala intressenten, som utgörs av köpare och användare av produkten. Utöver dessa externa intressenter finns det även en tydlig intern intressent. Chalmers Tekniska högskola är en viktig del i och med tät koppling till projektet.

## 1.2 Bakgrund

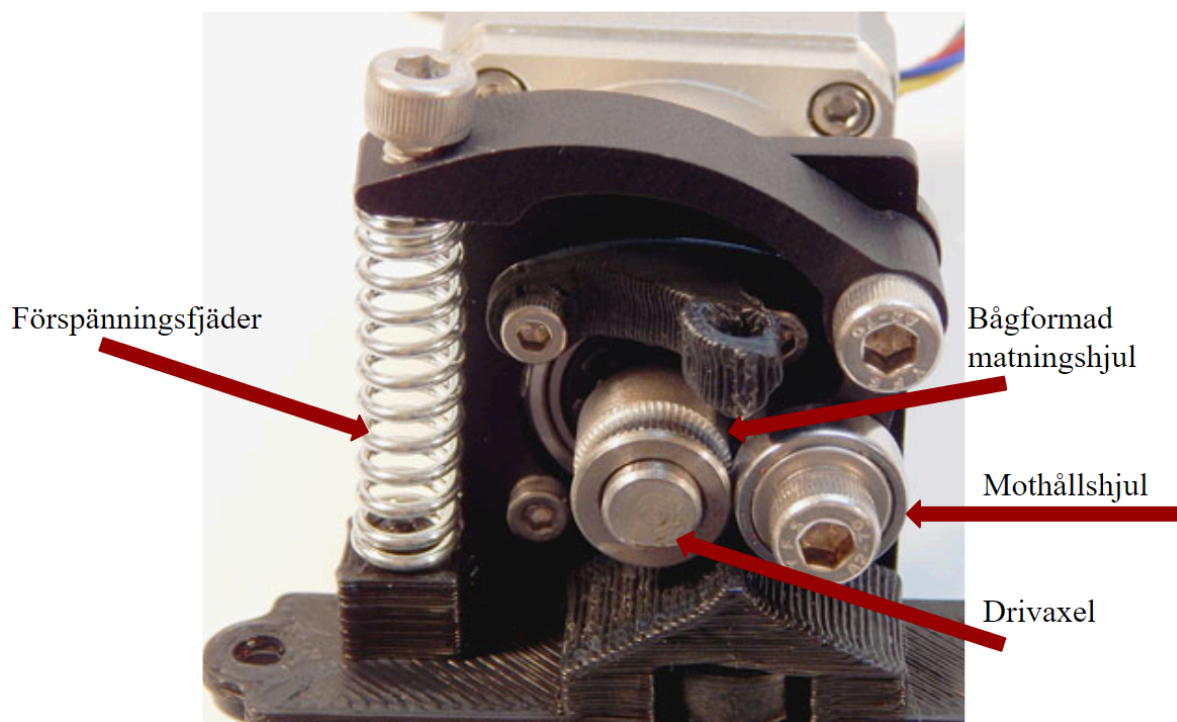
3D-skrivning är en form av additiv tillverkning som skiljer sig från traditionell subtraktiv tillverkning som tar bort material. Additiv tillverkning är en transformativ process som bygger en komponent lager för lager. Metoden öppnar vägar för mer komplexa tredimensionella former och intrikata geometrier som tidigare inte var möjliga med konventionella metoder. Detta kombinerat med en stor besparing att snabbt kunna framställa en fysisk prototyp, är några av de anledningar till att 3D-skrivning är attraktivt.

Inom additiv tillverkning finns det generellt sett sju individuella kategorier, var och en lämpad för olika material, applikationer och krav. Material extrudering eller Fused Deposition Modelling (FDM), är den vanligaste processen inom branschen och är varumärkesregistrerad av företaget Stratasys (2023). När allmänheten använder termen "3D-skrivare" refererar de vanligtvis till en FDM-skrivare. Denna typ av skrivare trycker filament genom ett upphettat munstycke på en byggplatta, se figur 1.1. Lager för lager förflyttas munstycket varefter det smälta filamentet sammanfogas tills utskriften är färdigt.

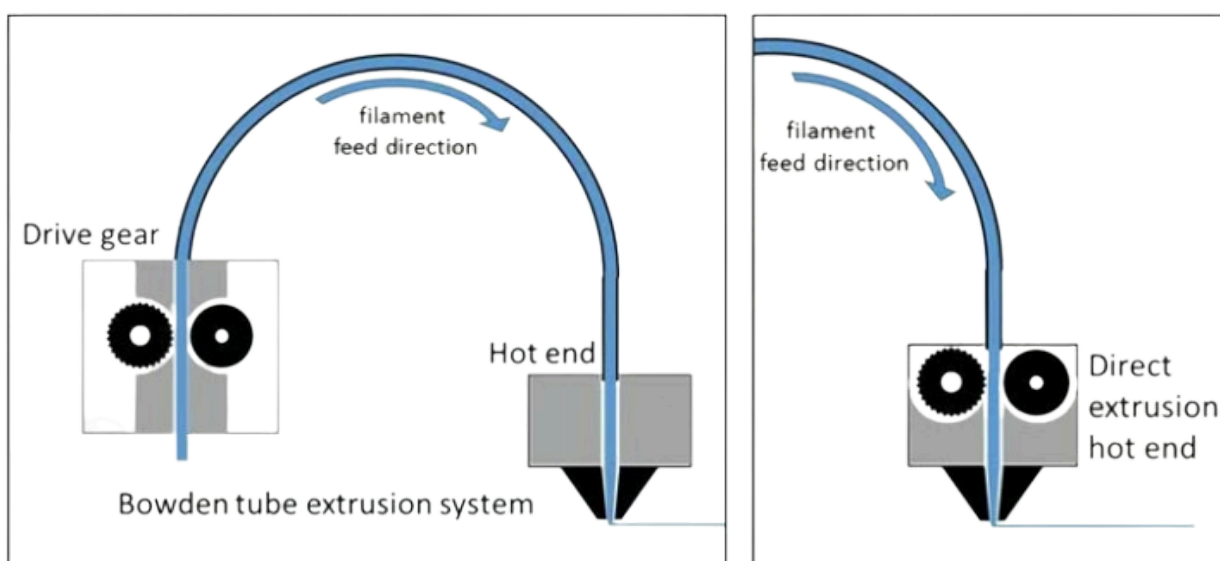


Figur 1.1: Komponenter av en FDM-skrivare

Detaljen som matar munstycket med filamenttråd kallas för en extruder och består av flera små komponenter. Filamentet matas in i extrudern från en spole. I extrudern greppar ett eller flera matningshjul filamentet som roteras av en stegmotor. För att bibehålla rätt tryck på filamentet finns ett fjäderbelastad mothållshjul, se figur 1.2. I figur 1.3 visas två olika typer av extrudrar. I vänstra delen av figuren visas hur filamentet trycks genom ett *bowdenrör* gjord av Polytetrafluoreten (PTFE) in i munstycket. Denna typ av extruder kallas en *bowden-extruder* som skiljer sig från *direct drive* där filamentet matas direkt från extrudern in i munstycket, se högra delen av figur 1.3.



Figur 1.2: Komponenter av en extruder



Figur 1.3: Bowden och Direct drive

### 1.3 Problemformulering

Extrudern är en liten och ofta känslig komponent på en 3D-skrivare. För att säkerställa hög kvalitet på slutresultatet måste extrudern alltid fungera och kunna extrudera en jämn och exakt jämn mängd material. Enligt Simplify3D (2024) är de vanligaste problemen att filamentet fastnar i extrudern, att filamentet fastnar i munstycket och blockerar extrudern, ojämn extrudering av dåligt filament samt mekaniska problem som slitna tänder på matningshjulet. Dessa problem kan leda till avbrott i utskriftsprocessen och resultera i misslyckade eller defekta utskrifter

### 1.4 Syfte

Syftet med detta projekt var att undersöka hur 3D-skrivning kan förbättras genom att utveckla extrudern till 3D-skrivaren. Projektet ska även undersöka hur den nya extrudern kan vara mer tids- och kostnadseffektiv. Det här projektet kommer att inkludera en fungerande prototyp som på ett meningsfullt vis kan lösa problemformuleringen.

### 1.5 Frågeställning

Under detta arbete söks svaren på följande frågor:

- Hur kan extrudern på en 3D-skrivare förbättras?
- Hur är detta sätt mer tid- och kostnadseffektivt?
- Hur kan extrudern förbättras ur ett miljövänligt perspektiv?

### 1.6 Avgränsningar

Detta projekt fokuserar enbart på extrudern på 3D-skrivaren, vilket innebär att byggplattan och andra komponenter på 3D-skrivaren inte kommer att undersökas. Extrudern är även specifikt designad och anpassad för att fungera med Ender 3 Neo och är inte kompatibel med andra 3D-skrivare.

På grund av tidsbegränsningar kommer olika stegmotorer inte att undersökas. Extrudern är därför endast anpassad för att användas med Creality Sprite SE-Neo stegmotor i bilaga 1.

### 1.7 Gantt-schema

Det här projektet sträcker sig över en 21 veckors tidsram, se Gantt-schema i bilaga 2. I vänstra kolumnen där visas inlämningar samt etapper uppradade och i följande kolumner respektive tidsram uppsatt för att arbeta på. Varannan vecka hålls ett möte för att avstämna och diskutera projektet med handledaren.

## 2 Undersökning av problemet

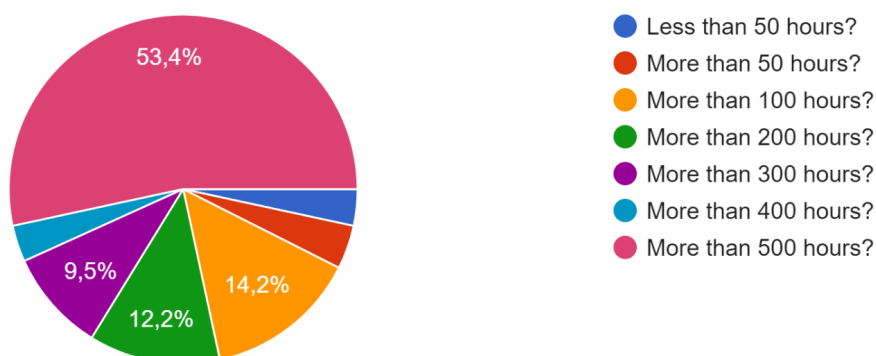
Det här kapitlet undersöker och definierar kundens behov och kriterier av problemet.

### 2.1 Användarundersökning

För att få en klarare inblick i problemen med extruders gjordes en användarundersökning. Frågorna cirkulerade kring vad, när och hur problemen uppstod. Enkäten skickades ut till flera olika grupper och forum om 3D-skrivare. Efter en vecka hade 151 svar samlats in och procentuella grafer gjordes av svaren. Majoriteten (53,4%) hade använt 3D-skrivaren över 500 timmar, se figur 2.1, 64,2% hade upplevt problem med extrudern där de vanligaste problemen var blockering, se figur 2.2.

How much have used your 3D-printer?

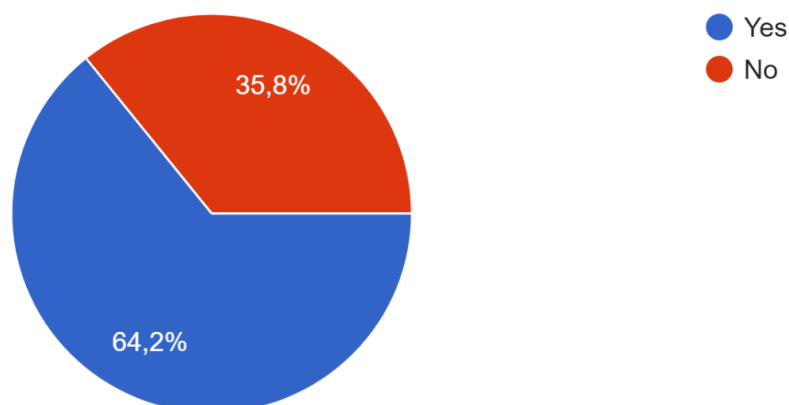
148 svar



**Figur 2.1:** Användarundersökning - tid

Have you ever had any problems with your extruder?

148 svar



**Figur 2.2:** Användarundersökning - problem

## 2.2 Kundbehovslista

En kundbehovslista är en översikt över de krav och önskemål som kunden har när det gäller en produkt. För en extruder omfattas de följande tre kategorierna: prestanda, miljö och säkerhet, se tabell 2.1.

<b>Kundkrav och Kundönskemål</b>		
<b>Prestanda</b>	<b>Milljö</b>	<b>Säkerhet</b>
Metallkonstruktion	Miljövänlig	Fysisk avskärmning
Hållbar	Återvinningsbar	Temperaturövervakning
Prisöverkomlig	Energieffektiv	Skydd mot överbelastning
Reparerbar		
Automatisk sätta förspänningstryck		
Lång livslängd		
Litet underhåll		
Precis utmatning		
Jämn utmatningshastighet		

**Tabell 2.1:** Kundbehovslista

## 2.3 Funktionsanalys

Funktionsanalys är ett moment inom produktutveckling som ämnar att bättre förstå de funktioner och egenskaper som krävs för att uppfylla kundens behov. Detta görs genom att dela in varje funktion i en av fyra kategorier: huvudfunktioner, delfunktioner, stödjande funktioner och oönskade funktioner.

Huvudfunktionen är den grundläggande funktion som produkten måste utföra för att uppfylla dess primära syfte och användarbehov. Det är vanligtvis den mest kritiska och nödvändiga funktionen.

Delfunktioner eller tillägsfunktioner är underliggande funktioner som gynnar och möjliggör de huvudfunktioner som produkten eller systemet erbjuder. Delfunktioner är vanligtvis mer specifika än huvudfunktionerna.

Stödjande funktioner stöder produktens övergripande funktionalitet, men är inte nödvändig för dess grundläggande syfte. De kan till exempel bidra att förbättra användarupplevelsen eller effektiviteten hos produkten. I tabell 2.2 visas sammanställningen av funktionerna hos en extruder.

Huvudfunktion	-Förse munstycket med filament
Tilläggsfunktioner	-Möjlighet för varierande hastighet hos filament
	-Kunna backa ur filament
	-Kompatibel med olika storlekar av munstycke
	-Tillåta utskrift av högttemperaturs-filament
	-Tillåta ändring av förspänningstrycket
Stödjande funktioner	-Kompatibel med flexibla filament
	-Möjliggöra utskrift i flera färger/material
	-Notifiera om eventuella problem
	-Rengöra filament från yttre damm och vätskor
Öönskade funktioner	-Meddela om filament tar slut
	-Högljudd under operation
	-Kräva underhåll ofta

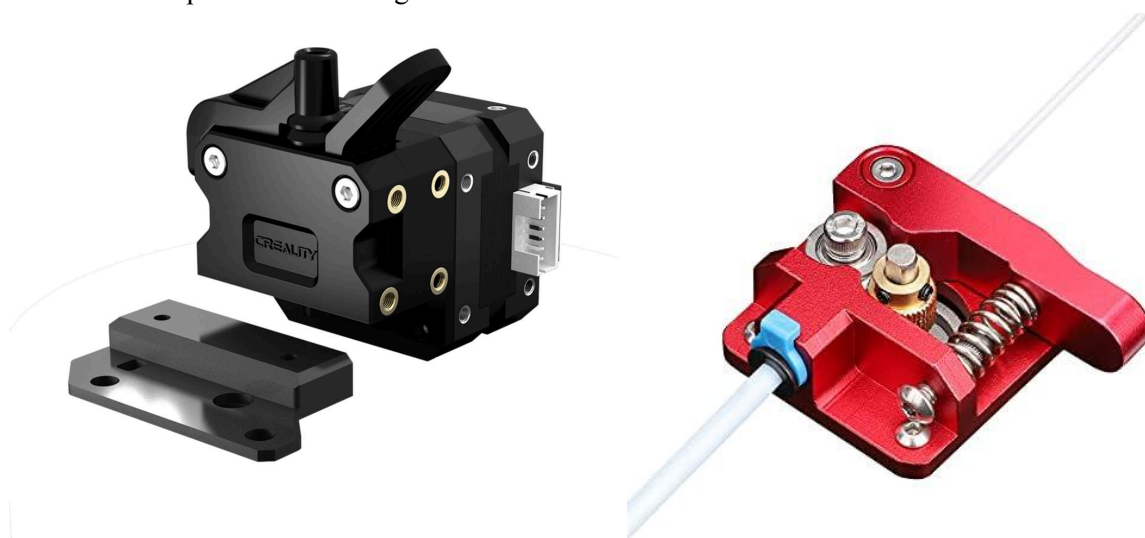
**Tabell 2.2:** *Sammanställning av funktioner*

## 3 Testmetodik

I detta kapitel redovisas tester som genomfördes för att jämföra en bowden-extruder med en direct drive-extruder.

### 3.1 Testförberedelse

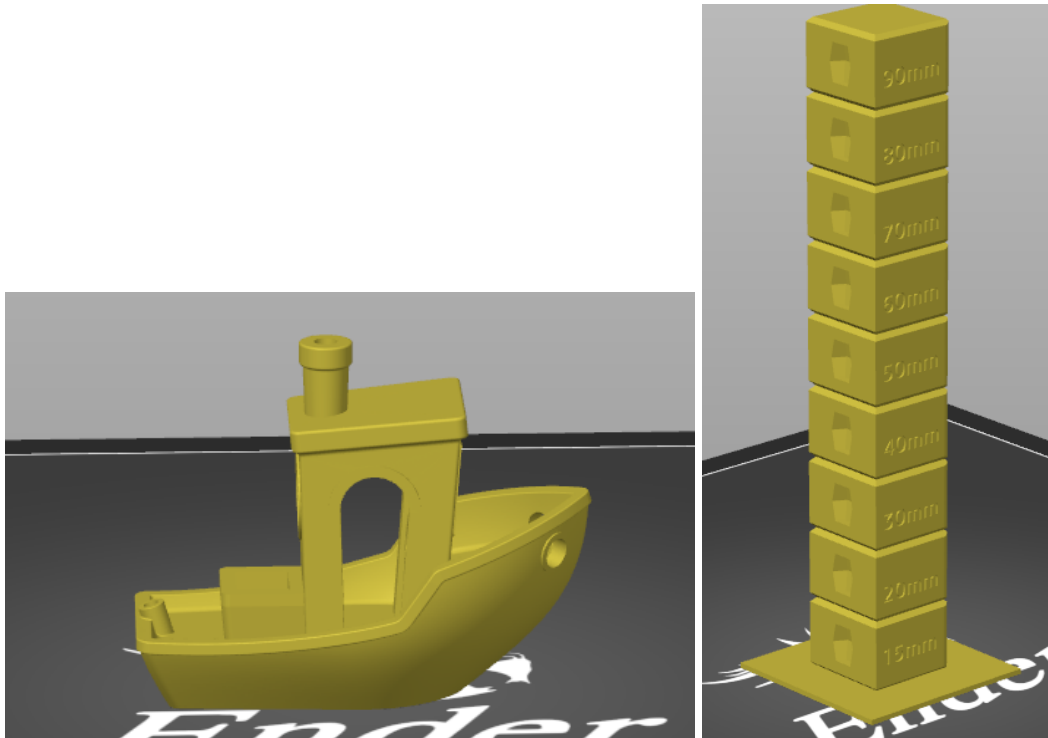
För att genomföra testerna användes två olika extruder-modeller, Creality Sprite Extruder SE-Neo, som är en direct drive-extruder och Ender 3 Neo original extruder, se figur 3.1 som är en bowden-extruder. Testerna utfördes på en Ender 3 Neo utan några extra modifikationer, se bilaga 5. De filler-material som har använts för att genomföra testerna är Polylaktid (PLA), Polyetylentereftalat med glykol (PETG) och Termoplastisk polyuretan (TPU). Samtliga filler-material köptes in från företaget SUNLU.



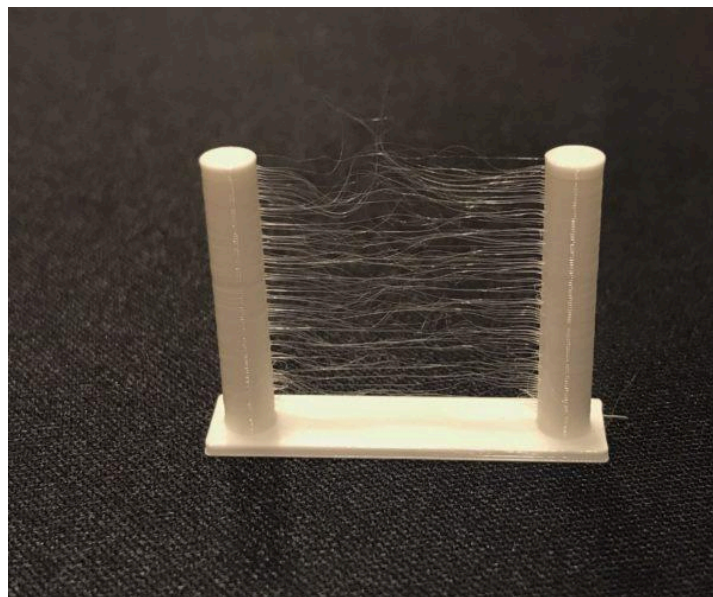
**Figur 3.1:** Creality Sprite Extruder SE-Neo till vänster och Ender 3 original extruder till höger

Två olika modeller skrevs ut för att testa olika parametrar vid 3D-utskrift. Den första modellen var en 3D-Benchy, se figur 3.2, som huvudsakligen används för att testa flödet och retraktionen. Retraktionen innebär att extrudern drar tillbaka en liten mängd material för att förhindra *stringing*. *Stringing* uppstår när materialet droppar under förflyttning och orsakar oönskade trådar som hänger mellan olika delar av utskriften, se figur 3.3 för exempel på *stringing*. Den andra modellen var ett hastighetstorn, se figur 3.2, vilket används för att utvärdera flödet vid olika utskriftshastigheter mellan 15 och 90 mm/s.

Två ytterligare tester gjordes även där testmodell 1 (3D-Benchy) skrevs ut i PLA med två olika lager-höjder, vilket är distansen som z-axeln förflyttar sig efter varje lager. En av dessa modeller skrevs ut med en lagerhöjd på 0,28 mm och den andra med en lagerhöjd på 0,08 mm. Detta skiljer sig från de andra testerna, där utskriften gjordes med en första lagerhöjd på 0,3 mm och resten av utskriften på 0,2 mm



**Figur 3.2:** Testmodell 1 - 3D-Benchy till vänster och Testmodell 2 - Hastighetstorn till höger



**Figur 3.3:** Exempel på stringing

För att skriva ut modellerna användes programmet PrusaSlicer vilket är ett separat program från 3D-skrivaren som konverterar 3D-modeller till Geometri-kod (G-kod). Detta är ett programmeringsspråk som kommunicerar till 3D-skrivaren vad den ska göra. Några av de inställningar som användes för att skapa utskriften visas i tabellen nedan. Retraktions-hastighet är vilken hastighet extrudern drar tillbaka materialet medan retraktions-längd är mängden material extrudern drar tillbaka.

Extruder	Material	Temperatur [°C]	Utskriftshastighet (för testmodell 1) [mm/s]	Retraktions-hastighet [mm/s]	Retraktions-längd [mm]
Direct Drive (Creality Sprite SE-Neo)	PLA	200	40	85	1,5
	PETG	240	40	85	1,5
	TPU	220	15	0	0
Bowden (Ender 3 Neo original)	PLA	200	40	60	5
	PETG	240	40	60	5
	TPU	220	10	0	0

**Tabell 3.1:** 3D-skrivarens inställningar

## 3.2 Procedur

I det första steget förbereddes direct drive-extrudern (Creality Sprite SE-Neo) genom att upphetta munstycket till en specifik temperatur. Denna temperatur justerades beroende på det material som användes enligt tabellen ovan. Sedan placerades materialet i en filamenttork, vilket är en separat maskin som avfuktar filamentet. När materialet var placerat matades tråden in i extrudern. Efter att tråden var inmatad och extruderingsprocessen var stabil, initierades utskrifter av testmodell 1 (3D-Benchy) för alla material. Därefter utfärdades utskrifter på testmodell 2 (hastighetstorn) med PLA och PETG däremot inte med TPU på grund av dess höglastiska egenskaper och låga utskriftshastighet. Det ansågs att testmodell 2 inte skulle bidra till resultatet.

I det andra steget demonterades direct drive-extrudern ner och bowden-extrudern (Ender 3 Neo original extruder) monterades på 3D-skrivaren. Men när tråden skulle matas in tog det stopp på grund av att filament hade täppt igen vid värmeblocket. Efter noggrann analys konstaterades att problemet uppstod till följd av att PTFE-röret var placerat för högt. Lösningen på problemet var att sätta munstycket på 260°C för att mjuka upp och därefter försiktigt borra bort det fastsittande filamentet. Denna justering medgav en förbättring av flödet i extrudern. Eftersom blockeringen fanns även under de tidigare testerna, även om värmeblocket inte var helt blockerat, skapades det fortfarande en försämring av flödet. Det var därför nödvändigt att återupprepa samtliga tidigare tester för att dra fullständiga slutsatser.

När blockeringen hade åtgärdats fortsatte testerna som tidigare med bowden-extrudern. Efter testerna med bowden-extrudern hade genomförts, demonterades den ner och direct drive-extrudern monterades återigen på 3D-skrivaren. Därefter upprepades de tidigare testerna och de nya testerna med direct drive-extrudern. När alla tester var avslutade, togs bilder på utskrifterna och resultaten analyserades.

## 3.3 Testresultat

Vid användning av PLA observerades att kvaliteten på bottenytan var dålig på båda utskrifterna av testmodell 1, se figur 3.4. Detta berodde på en ojämn byggplatta och att första lagerhöjden var 0,3 mm. Den höga första lagerhöjden bidrog även till att kvaliteten längst fram på testmodell 1 blev ojämn och undermålig. Vid utskrift med bowden-extrudern noterades en något ökad mängd *stringing*, orsaken till detta är att retraktionen i bowden-extrudern är sämre jämfört med direct drive-extrudern. Samtliga utskrifter av testmodell 1 jämfördes med en ytjämnhetslikare för att

kvantifiera ytjämnheten. Resultaten visade att ytjämnheten låg inom intervallet Ra 2,5 till Ra 4 men att ytjämnheten på bowden-extruderns testmodell 1 var en aning bättre.



**Figur 3.4** - PLA - Direct drive utskriften till vänster och bowden till höger

Testmodell 2 avslöjade att de första lagren som skapades med direct drive-extrudern visade lägre kvalitet. En förklaring till detta är att bottenplattan var ojämn under utskriftsprocessen. Dessutom avslöjade testmodell 2 att prestandan hos bowden-extrudern försämrades märkbart när utskrifthastigheten överskred 60 mm/s. Jämförelsevis med direct drive-extrudern som inte visade någon notabel försämring i utskriftskvaliteten i hastighetsintervallet från 15 mm/s till 90 mm/s

Vid användning av PETG observerades att kvaliteten på bottenytan var dålig på båda utskrifterna av testmodell 1 se figur 3.5, vilket är på grund av samma orsaker som tidigare identifierats med PLA. Kvaliteten längst fram var bättre än med PLA, troligen på grund av PETG:s mjukare egenskaper, vilket gjorde att den inte påverkades lika mycket av den ojämna bottenplattan. En viss mängd *stringing* noterades på utskriften med direct drive-extrudern medan bowden-extrudern uppvisade betydligt mer *stringing*, detta beror återigen på den sämre retraktion i bowden-extrudern.



**Figur 3.5 - PETG - Direct drive utskriften till vänster och bowden till höger**

Testmodell 2 visade inga nya insikter utöver vad som tidigare har observerats. Bowden-extrudern återigen en märkbar försämring i utskriftskvaliteten när utskrifthastigheten överskred 60 mm/s.

Vid användning av TPU-material var det inte möjligt att genomföra en framgångsrik utskrift med bowden-extruder se figur 3.6, trots flera försök. Tillslut, när en halv utskrift erhöles, observerades tydliga tecken på under-extrudering. Under-extrudering är ett fenomen som sker när för lite material matas in i munstycket som sedan resulterade i hål i lagret. Detta ledde till slut till ett blockerat munstycke.

Direct drive-extruder lyckades skriva ut en hel testmodell 1. Men även här observerades små hål i utskriften vilket också indikerar under-extrudering. Det noterades även betydande mängder *stringing*, det kan dock förklaras genom att retraktionen var avstängd för att förhindra att böjning och vikning av tråden under processen. Detta kan ofta förekomma på grund av TPU:s högelastiska egenskap.



**Figur 3.6 - TPU - Direct drive utskriften till vänster och bowden till höger**

En noggrann analys utfördes av testmodell 1 som skrevs ut med en lagerhöjd på 2,8 mm i PLA. Det observeras att testmodell 1 som var utskriven av bowden-extrudern framkallar en viss mängd *stringing*. Ytjämnheten hos ytorna låg mellan Ra 4 och Ra 6.

Vid användning av 0,08 mm lagerhöjd i PLA har en signifikant mängd *stringing* observerats på testmodell 1 som var utskriven av bowden-extrudern, medan ingen *stringing* noterades på testmodell 1 utskriven av direct drive-extrudern. Dessutom observerades en viss nivå av över-extrudering, vilket är motsatsen till under-extrudering, det vill säga att för mycket material matas in i munstycket, på testmodell 1 som skrevs ut av bowden-extrudern. Däremot har över-extruderingen varit mer framträdande och sträckt sig längre upp på testmodell 1 utskriven av direct drive-extrudern. Resultatet på ytjämnheten hos ytorna låg mellan intervallet Ra 1 till Ra 2.

## 4 Framtagning av koncept

### 4.1 Konkurrenters lösning

Det finns många olika extrudrar på marknaden med varierande egenskaper. Här beskrivs olika koncept, vad som gör dem unika samt några av deras fördelar.

#### 4.1.1 Annex sherpa mini extruder

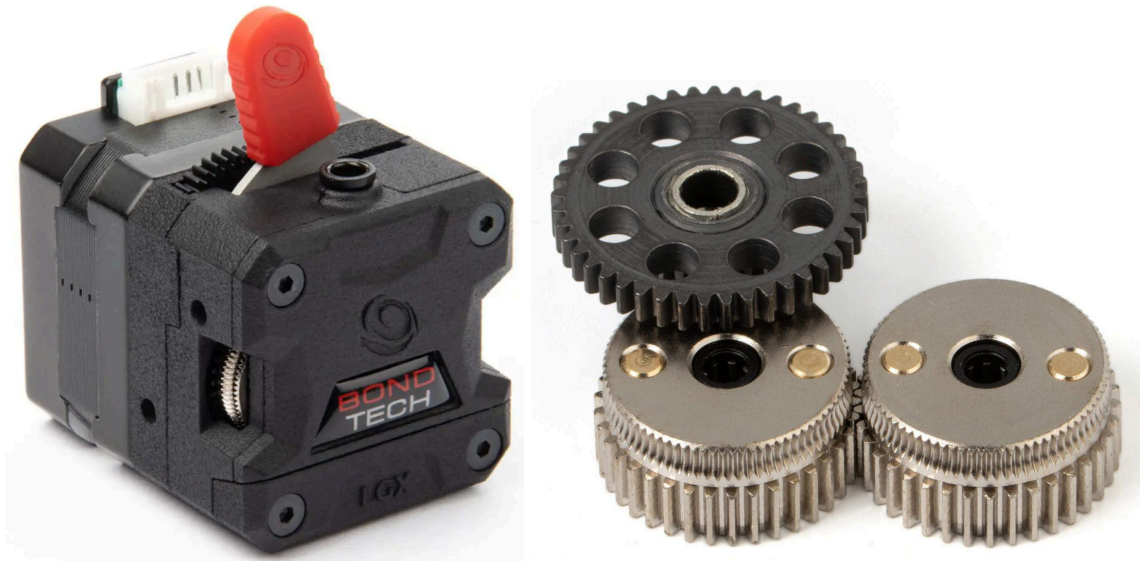
Sherpa mini är en extruder utvecklad av Anlin och teamet under Annex Engineering, se figur 4.1. Extrudern har en dual drive design med ett unikt chassi. Chassit är utvecklad för att skära ned vikt vilket uppnås med dess öppna design.



**Figur 4.1:** *Annex sherpa mini*

#### 4.1.2 Bondtech LGX extruder

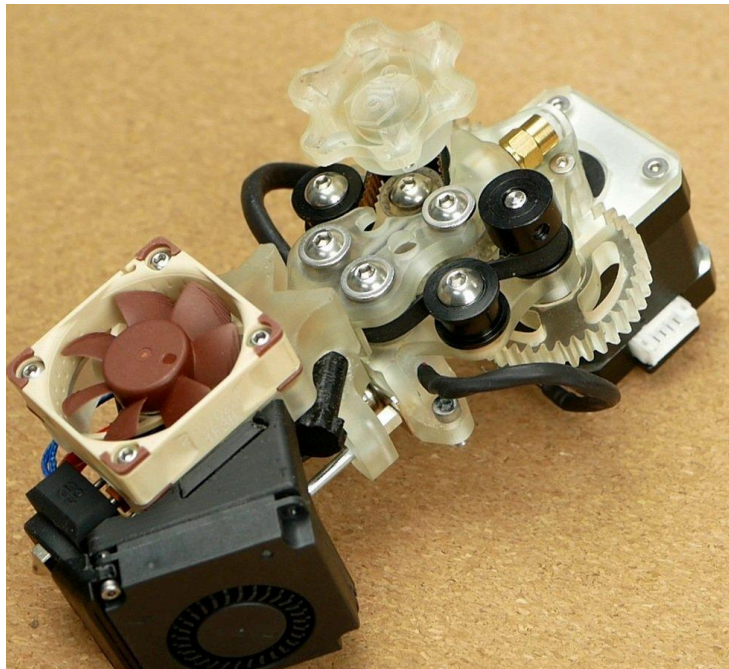
LGX är en komplett extruder från Bondtech med dual drive och större drivande kuggar, se figur 4.2. En nyckelegenskap är extruderns spännspek för att förspänna matningshjulet. Istället för en skruv och fjäder sätts förspänningen med en spak som kan förflyttas mellan sju olika förinställda inställningar. Spaken underlättar att sätta förspänningen utan verktyg.



**Figur 4.2:** *Bondtech LGX med matningshjul*

#### 4.1.3 Proper extruder

Proper Extruder är en extruder, se figur 4.3 utvecklad av Jón Schone från *Proper Printing*. Denna extruder skiljer sig från traditionella modeller genom att använda bälten istället för matningshjul för att leda filamentet genom extrudern. Eftersom bälten har en större kontaktyta med filamentet, förhindrar det vikningar och böjningar av filament. Detta gör Proper Extruder särskilt lämpad för utskrifter med mjukare material.



**Figur 4.3:** *Proper Extruder*

## 4.2 Delsystemsanalys

Här delas extruders komplexa system upp i flera delsystem för att sedan generera flera olika dellösningar.

### 4.2.1 Definiera delsystem

Figur 4.4 illustrerar delsystemet för extrudern hos en FDM-skrivare i form av ett hierarkiskt träd-diagram. Överst i trädet är systemets huvudfunktion, vilket för en extruder är att förse munstycket med filament. Under huvudfunktionen struktureras delfunktionerna och dess underordnade lösningar. Delfunktioner och dellösningar representeras av blåa respektive gråa rutor.

Delfunktionerna är:

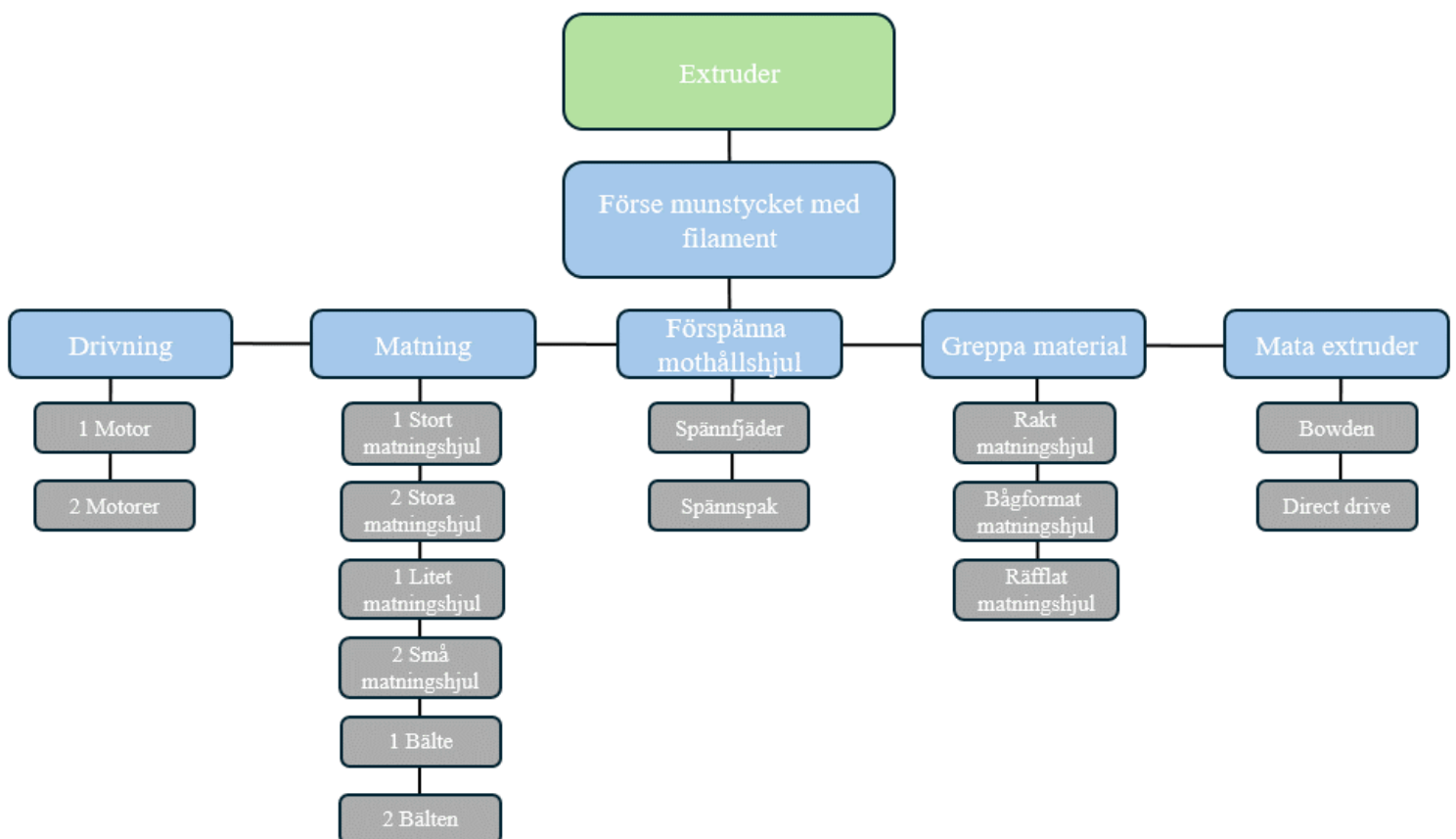
**Drivning:** Denna delfunktion avgör antalet stegmotorer som ska användas i extrudern.

**Matning:** Här bestäms storlek eller antal matningshjul alternativt om ett bältssystem ska användas istället för matningshjul, vilket är fallet i *Proper Extruder*. Om endast ett matningshjul används, fungerar ett kullager som mothållshjul.

**Förspänna mothållshjul:** Förspänningen av mothållshjulen kan åstadkommas antingen med en spännfjäder eller en spännpak

**Greppa material:** Valet av typ av matningshjul som ska användas i extrudern avgörs här. I figur 4.5 åskådliggörs olika typer av matningshjul, från vänster: bågformat matningshjul, räfflat matningshjul och rakt matningshjul.

**Mata extruder:** Bestämmer om det ska vara ett bowden- eller direct drive-system.



Figur 4.4: Funktionsträd



**Figur 4.5:** Olika typer av matningshjul under delfunktionen greppa material

#### 4.2.2 Morfologisk matris

En morfologisk matris är ett strukturerat verktyg för att generera och organisera dellösningar för respektive delfunktioner. Den framtagna morfologiska matrisen i tabell 4.1 matrisen för en extruder blev  $2 * 6 * 2 * 3 * 2 = 144$  varianter. För att gå vidare behöver antalet reduceras till ett mer hanterbart antal. *Spännspaken* i dellösningar avlägsnades eftersom den saknade tillräcklig precision för finjustering. Detta resulterade i att filamentet antingen greppades för hårt eller för löst. Vidare togs ett beslut att eliminera dellösningen *bowden*. Anledningen till detta var svårigheten att skriva ut flexibla material som TPU. Den slutgiltiga konceptkatalogen innehåller  $2 * 4 * 3 + 2 * 2 = 28$  stycken möjliga kombinationer då bälten och “*Greppa material*” ej kan kombineras.

Delfunktioner		Dellösningar					
		1	2	3	4	5	6
Drivning	A	1 Motor	2 Motorer				
Matning	B	1 Stort matningshjul	2 Stora matningshjul	1 Litet matningshjul	2 Små matningshjul	1 Bälte	2 Bälten
Spänna matningshjul	C	Spännfjäder	Spännspak				
Greppa material	D	Rakt matningshjul	Bågformat matningshjul	Räfflat matningshjul			
Mata extrudern	E	Bowden	Direct drive				

**Tabell: 4.1:** Morfologisk matris

### 4.2.3 Konceptkatalog

När den morfologiska matrisen var fullständig, kombinerades dellösningarna för att generera samtliga genomförbara lösningalternativ. Dessa är sammanställda i konceptkatalogen, se tabell 4.2.

Lösningalternativ	Drivning	Matning	Spänna matningshjul	Greppa material	Mata extrudern
1	1 Motor	1 Stort matningshjul	Spännfjäder	Rakt matningshjul	Direct Drive
2	1 Motor	2 Stora matningshjul	Spännfjäder	Rakt matningshjul	Direct Drive
3	1 Motor	1 Litet matningshjul	Spännfjäder	Rakt matningshjul	Direct Drive
4	1 Motor	2 Små matningshjul	Spännfjäder	Rakt matningshjul	Direct Drive
5	1 Motor	1 Stort matningshjul	Spännfjäder	Bågformat matningshjul	Direct Drive
6	1 Motor	2 Stora matningshjul	Spännfjäder	Bågformat matningshjul	Direct Drive
7	1 Motor	1 Litet matningshjul	Spännfjäder	Bågformat matningshjul	Direct Drive
8	1 Motor	2 Små matningshjul	Spännfjäder	Bågformat matningshjul	Direct Drive
9	1 Motor	1 Stort matningshjul	Spännfjäder	Räfflat matningshjul	Direct Drive
10	1 Motor	2 Stora matningshjul	Spännfjäder	Räfflat matningshjul	Direct Drive
11	1 Motor	1 Litet matningshjul	Spännfjäder	Räfflat matningshjul	Direct Drive
12	1 Motor	2 Små matningshjul	Spännfjäder	Räfflat matningshjul	Direct Drive
13	1 Motor	1 Bälte	Spännfjäder	-	Direct Drive
14	1 Motor	2 Bälten	Spännfjäder	-	Direct Drive
15	2 Motorer	1 Stort matningshjul	Spännfjäder	Rakt matningshjul	Direct Drive
16	2 Motorer	2 Stora matningshjul	Spännfjäder	Rakt matningshjul	Direct Drive
17	2 Motorer	1 Litet matningshjul	Spännfjäder	Rakt matningshjul	Direct Drive
18	2 Motorer	2 Små matningshjul	Spännfjäder	Rakt matningshjul	Direct Drive
19	2 Motorer	1 Stort matningshjul	Spännfjäder	Bågformat matningshjul	Direct Drive
20	2 Motorer	2 Stora matningshjul	Spännfjäder	Bågformat matningshjul	Direct Drive
21	2 Motorer	1 Litet matningshjul	Spännfjäder	Bågformat matningshjul	Direct Drive
22	2 Motorer	2 Små matningshjul	Spännfjäder	Bågformat matningshjul	Direct Drive
23	2 Motorer	1 Stort matningshjul	Spännfjäder	Räfflat matningshjul	Direct Drive
24	2 Motorer	2 Stora matningshjul	Spännfjäder	Räfflat matningshjul	Direct Drive
25	2 Motorer	1 Litet matningshjul	Spännfjäder	Räfflat matningshjul	Direct Drive
26	2 Motorer	2 Små matningshjul	Spännfjäder	Räfflat matningshjul	Direct Drive
27	2 Motorer	1 Bälte	Spännfjäder	-	Direct Drive
28	2 Motorer	2 Bälten	Spännfjäder	-	Direct Drive

**Tabell 4.2:** *Konceptkatalog*

#### 4.2.4 Kravspecifikation

Kravspecifikationen är ett dokument som beskriver samt urskiljer önskemål och krav. Varje kriterium i kravspecifikationen är mätbara med en verifieringsmetod. Kravspecifikationen för det här projektet, se bilaga 3, beskriver bland annat att extrudern är kompatibel med PLA, PETG, TPU och ABS. Kriteriet är ett krav och markeras därav med ett *K*. Önskvärda kriterier markeras med ett *Ö*. Under rubriken *verifieringsmetod* beskrivs det tillvägagångssätt som skall användas för verifiera att kriteriet uppfylls. Till höger om verifieringsmetod presenteras vilken referens som använts. Kundbehov syftar på *kundbehovslistan* samt *funktionsanalysen* från kapitel 2.2 och 2.3 respektive.

### 4.3 Valt koncept

#### 4.3.1 Elimineringssmatris

Elimineringssmatrisen är ett verktyg som används för att systematiskt utvärdera och eliminera lösningsalternativ som inte uppfyller kriterierna. Målet med att använda en elimineringssmatris är att effektivt begränsa antalet lösningsalternativ till de mest genomförbara och lämpliga alternativen för applikationen. Denna process utförs genom att sätta ned elimineringssmatriser som varje lösningsalternativ skall tillgodose. Om ett lösningsalternativ uppfyller ett kriterium eller ej markeras de med ett "+" eller "-" respektive. Kriterierna är baserade på kundbehovslistan, se tabell 2.1. I tabell 4.3 visas elimineringssmatrisen för extrudern. Lösningsalternativ 13, 14, 27 och 28 var först att elimineras. Beslutet grundades på att bälten kräver en högre grad av underhåll gentemot matningshjul som är tillverkade i metall. Vidare beslutades även det att eliminera alla lösningsalternativ med 2 motorer. Anledningen är att två motorer väger avsevärt mer än en motor. Med en direct drive lösning är vikten mer betydelsefull att hålla ned då extrudern förflyttas med munstycket. De slutliga koncept som går vidare till nästa steg i processen är 1-12 och redovisas i tabell 4.3.

Elimineringsmatris								Skapad 2024-05-23	
								Modifierad 2024-05-23	
Utförd av Jonatan Stenmark och Emil Gustafsson								+ Ja	+ Behåll lösning
								- Nej	- Eliminera lösning
								? Information saknas	? Sök mer information
Lösningalternativ	Elimineringskriterier							Kommentar	Beslut
	Kompatibel med flexibla samt fasta material	Driftsäker	Reparierbar	Motstå filament arbetstemperatur	Lite underhåll	Relativt lätt	Atervinningsbar		
1	+	+	+	+	+	+	+		+
2	+	+	+	+	+	+	+		+
3	+	+	+	+	+	+	+		+
4	+	+	+	+	+	+	+		+
5	+	+	+	+	+	+	+		+
6	+	+	+	+	+	+	+		+
7	+	+	+	+	+	+	+		+
8	+	+	+	+	+	+	+		+
9	+	+	+	+	+	+	+		+
10	+	+	+	+	+	+	+		+
11	+	+	+	+	+	+	+		+
12	+	+	+	+	+	+	+		+
13	+	+	+	+	-			Bälte kräver mer underhåll	-
14	+	+	+	+	-			Bälte kräver mer underhåll	-
15	+	+	+	+	+	-		2 Motorer tungt att driva	-
16	+	+	+	+	+	-		2 Motorer tungt att driva	-
17	+	+	+	+	+	-		2 Motorer tungt att driva	-
18	+	+	+	+	+	-		2 Motorer tungt att driva	-
19	+	+	+	+	+	-		2 Motorer tungt att driva	-
20	+	+	+	+	+	-		2 Motorer tungt att driva	-
21	+	+	+	+	+	-		2 Motorer tungt att driva	-
22	+	+	+	+	+	-		2 Motorer tungt att driva	-
23	+	+	+	+	+	-		2 Motorer tungt att driva	-
24	+	+	+	+	+	-		2 Motorer tungt att driva	-
25	+	+	+	+	+	-		2 Motorer tungt att driva	-
26	+	+	+	+	+	-		2 Motorer tungt att driva	-
27	+	+	+	+	-			Bälte kräver mer underhåll	-
28	+	+	+	+	-			Bälte kräver mer underhåll	-

Tabell 4.3: Elimineringsmatris

### 4.3.2 Pughmatris

När alla koncept har genomgått elimineringsmatrisen och reducerats, fortsätter de till utvärdering med hjälp av Pugh-matriser. Här jämförs lösningalternativen med varandra baserat på de sju uppsatta kriterierna. Varje koncept bedöms och poängsätts i förhållande till ett referenskoncept för varje kriterium. Om referenskonceptet bedöms vara bättre ges poängen "-", om det bedöms vara sämre ges poängen "+", och om de är likvärdiga ges poängen "0". När alla kriterier har utvärderats,

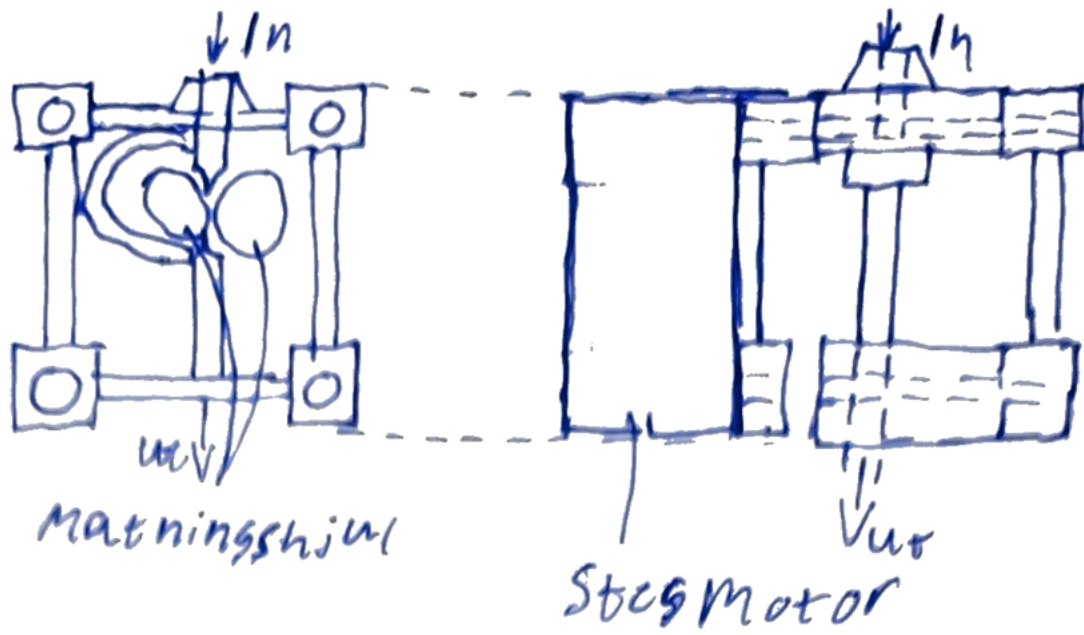
summeras antalet "+" och "-" för att fastställa en rangordning av koncepten. Denna process upprepas tre gånger för att minimera subjektivitet och säkerställa en transparent elimineringsprocess. För denna matris användes koncept 1, 6 och 12 som referenser, se tabell 4.4 , bilaga 4 samt bilaga 5. Matriserna resulterade i att koncept 4, 5 och 8 placerades högst bland alla tre matriser och gick vidare i processen för vidareutveckling.

Skapad: 2024-05-24	Pughmatris Extruder											
Modifierad: 2024-05-24	Pughmatris Extruder											
Kriterium	Alternativ											
	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Vikt	R	-	-	+	0	-	-	+	0	-	-	+
Max matningskraft	e	0	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
Livslängd	f	+	+	-	0	+	+	-	0	+	+	-
Temperaturbeständighet	e	+	+	-	0	+	+	-	0	+	+	-
Installationskomplexitet	r	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Miljöpåverkan	e	-	-	+	0	-	-	+	0	-	-	+
Återvinningsbar	n	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ +	s	-	2	2	2	1	3	2	2	1	2	2
Σ 0		-	3	2	2	6	2	2	2	6	2	2
Σ -		-	2	3	3	0	2	3	3	0	3	3
Nettovärde		-	0	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1
Rangordning		-	2	3	3	1	1	3	3	1	3	3
Vidareutveckla		-	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej

Tabell 4.4: Pughmatris 1

### 4.3.3 Konceptval

Testerna som utfördes visade hur en del extruders lider av designval. Efter att ha reducerat den initiala konceptkatalogen på 28 koncept, återstod endast tre koncept värdiga att vidareutveckla. Det blev uppenbart att den bäst presterande extrudern är en av de vanligaste tillgängliga på marknaden. Kombinationen av två små raka eller bågformade matningshjul med en drivande motor och direkt drive var den lämpligaste konfigurationen att vidareutveckla på. Därav fastställdes det att gå vidare med lösningalternativ 8 och inte fortsätta med alternativ 4 eller 5. Figur 4.6 visar en första skiss på det slutgiltiga konceptet.



Figur 4.6: Första skiss av prototyp

## 5 Framtagen lösning

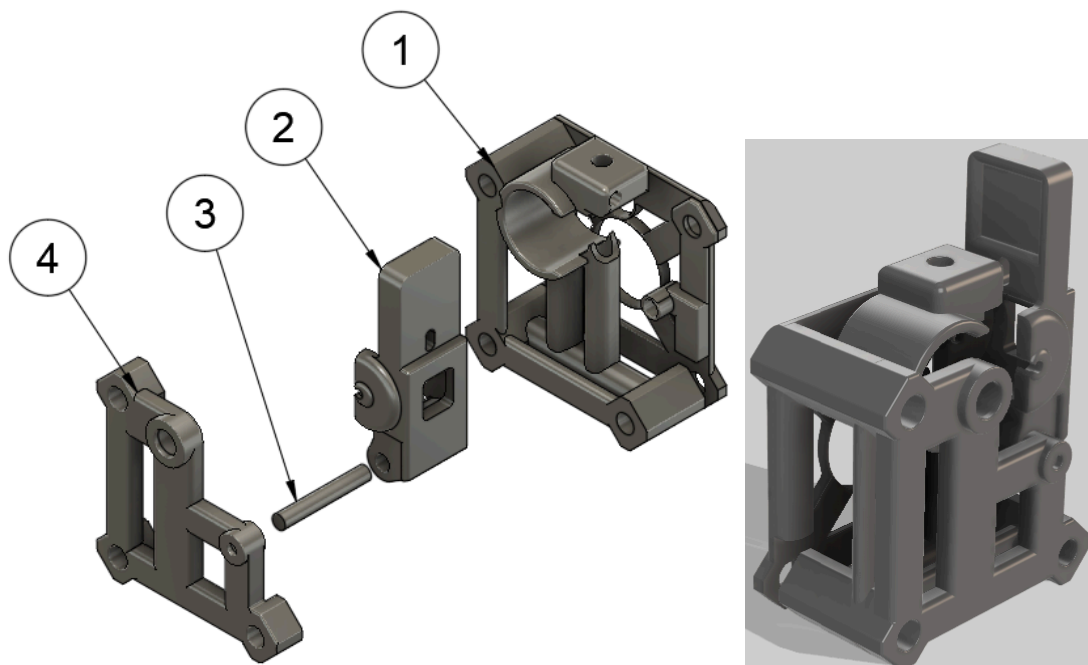
Ingående ritningar togs fram i CAD mjukvaruprogrammet Fusion 360 från AutoCAD. Programmet har även fungerat som en sandlåda för att framställa och visualisera konceptideér.

### 5.1 Detaljkonstruktion

Enligt Stefan Hermann (2023), påverkar hög vikt extruderns maximala acceleration, precision och medför vibrationer som ställer större påfrestning på skrivaren. Av denna anledning har inspiration tagits från Annex sherpa mini extruder som har en mer öppen extruder design för att uppnå en lättviktsdesign. Chassits geometriska utformning har konstruerats för att minska vikten utan att kompromissa styvheten. Detta tillvägagångssätt säkerställer att strukturen behåller integritet och prestanda samtidigt som den totala massan reduceras.

#### 5.1.1 Chassit

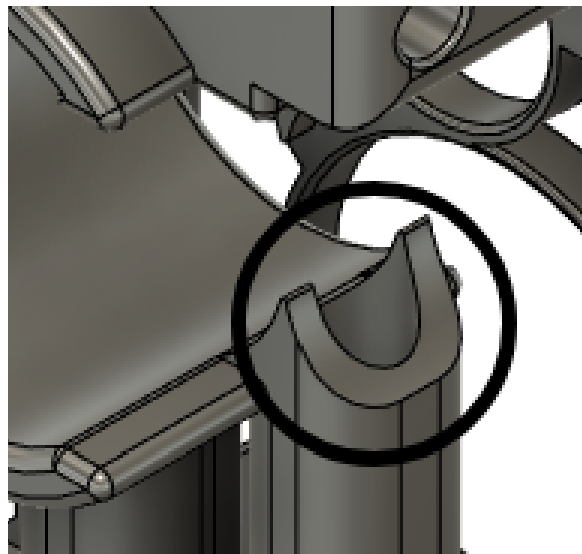
Chassit visas i figur 5.1. I figuren syns huvuddelen (1), vilket har en direkt kontakt med stegmotorn. En motkraftsarm (2) som håller ett av matningshjulen och är sammanfogad med huvuddelen via en axel (3). Prototypen är designad för att passa en Creality Ender 3 Neo-skrivare, vilket förklarar den synliga glipan på huvuddelen, se figur 5.2. En metallplatta är placerad här för att fästa extrudern och 3D-skrivaren. Tre skruvar löper genom hela chassit och en kortare skruv i det övre högra hörnet. Detta beror på att motkraftsarmen förhindrar en längre skruv att löpa genom hela chassit. Figur 5.3 visar en även utmatningsledare som förhindrar material som har låg styvhet som TPU att vika sig.



Figur 5.1: Chassi



**Figur 5.2:** *Sidvy av prototyp*

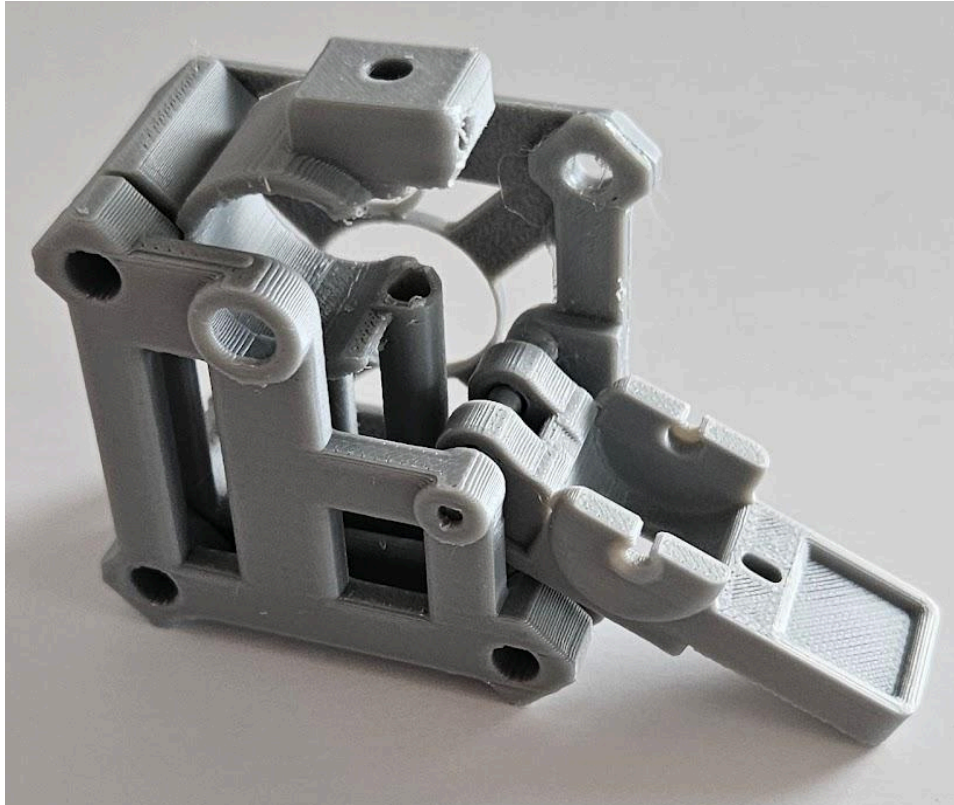


**Figur 5.3:** *Utmatningsledare*

### 5.1.2 Fysisk prototyp

Efter att den färdiga prototypen utformats i CAD exporterades filen till ett program som omvandlade modellen till G-kod. Detta möjliggör kommunikation mellan datorn och 3D-skrivaren för att överföra filer. Prototypen printades i materialet PLA (Polylaktid), vilket är kostnadseffektivt och

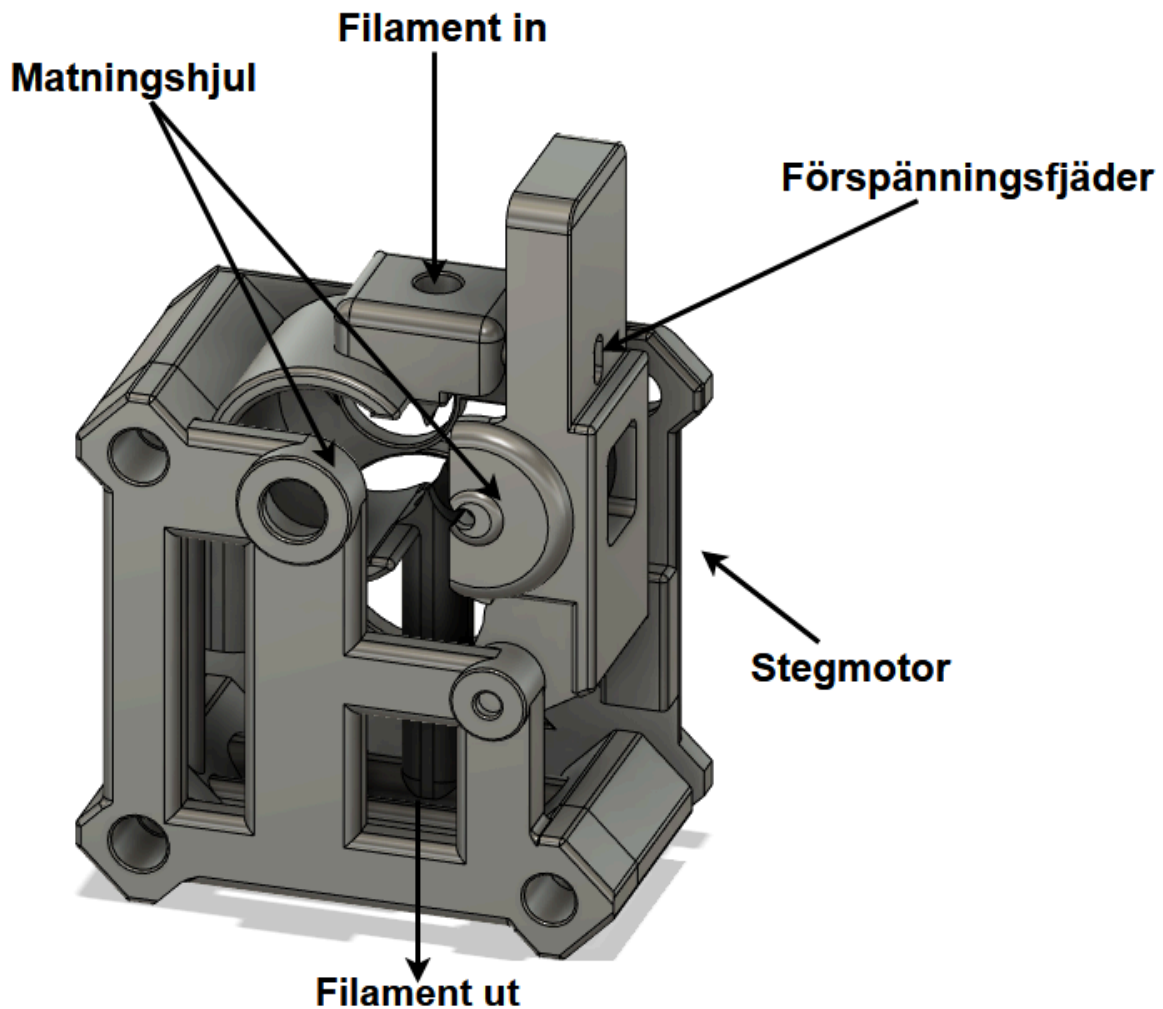
enkelt att skriva ut i. PLA valdes enbart för att skapa en fysisk prototyp och kommer inte att användas i den slutliga produkten. Resultatet presenteras i figur 5.4.



**Figur 5.4:** Utskriven prototyp i PLA

## 5.2 Andra komponenter

Med hjälp av befintliga produkter som redan finns på marknaden som matningshjul och förspänningsfjäder, möjliggör det en ökad koncentration på utveckling av chassit. Nedan i figur 5.5, visas var dessa komponenter är positionerade i extrudern.



**Figur 5.5:** Komponenters position för extruder

### 5.2.1 Matningshjul

Enligt Róbert Lórin (2024), skaparen av Orbiter-extrudermodellerna, ger ett matningshjul med en innerdiameter större än 8 mm ingen ytterligare förbättring av utskriftskvaliteten. Detta beror på att begränsningen i detta fall ligger i stegmotorns kraft och en större stegmotor skulle vara överflödigt för personligt bruk. Lórin visade i sina tester en jämförelse mellan 5 mm och 8 mm i innerdiameter, där flödes hastigheten kontinuerligt ökades med olika material. Resultatet visade att ett 8 mm matningshjul gav mer konstant utmatning och färre extruderingsfel på alla testade material

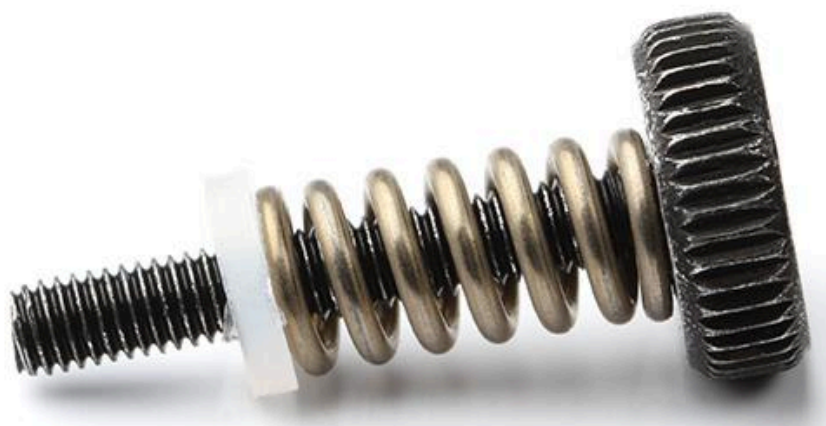
Därför används Bondtech's matningshjul, se figur 5.6, med 8 mm innerdiameter och en längd på 11 mm för extrudern. Detta val grundades på den förbättrade prestandan i flödes hastighet och minskande av extruderingsfel, vilket gör det till ett bra val för högkvalitativa 3D-utskrifter.



**Figur 5.6:** *Bondtech-matningshjul*

### 5.2.2 Förspänningsfjäder

När det kommer till förspänningsfjäder valdes Bondtech:s *Thumbscrew Assembly*, se figur 5.7. Detta val grundades på skruvens låga vikt, som enligt Bondtech är 5,9 gram. Dessutom valdes denna skruv på grund av den enkla möjligheten att justera den kraft som matningshjulen påverkas av. Detta är fördelaktigt eftersom material med hög styvhet som PLA kräver ett större tryck från matningshjulen än mer elastiska material som TPU.



**Figur 5.7:** *Thumbscrew Assembly*

### 5.3 Materialval

När det kommer till materialval till chassit på extrudern finns det många olika att överväga. Efter en noggrann undersökning uteslöts de flesta materialen och ett urval skrevs ner i tabell 5.1 nedan.

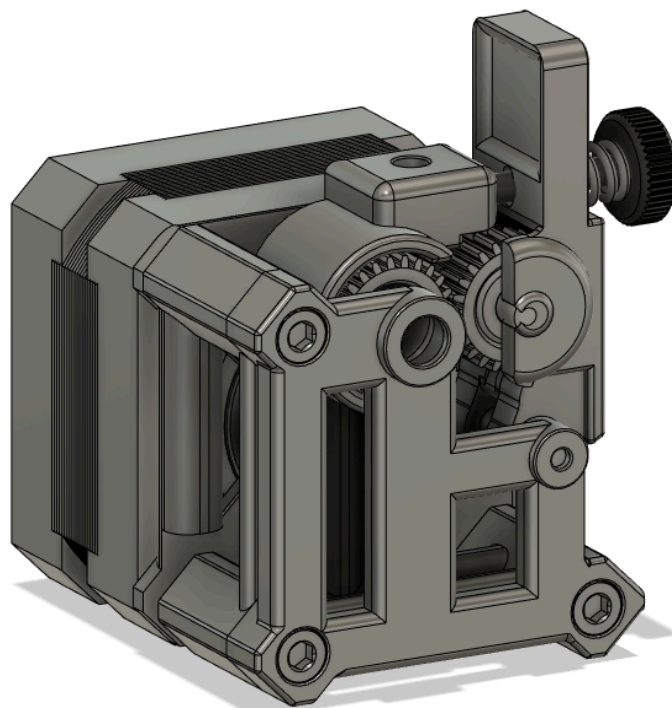
Material	PA12 (30% glasfiber)	ASA	ASA+PC	PLA	PC (30% glasfiber)	PC (10% glasfiber)	HDPE (30% glasfiber)
Kostnad [SEK/kg]	74,6-77,7	20,1-20,2	35,3-38,3	30,3-38,5	38,3-42,3	41,4-44,8	22,6-24,6
Arbetstemperatur [°C]	90-120	53-67	90-110	40-60	112-127	108-124	90-110
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	1230-1250	1050-1060	1100-1120	1200-1290	1400-1430	1270-1280	1180-1280
Återvinning [%]	0	0,1	0,1	0,1-1,1	0	0	0
Utsläpp [kg/kg CO2]	6,17-6,8	4,63-5,1	4,81-5,3	2,15-2,4	5,03-5,54	5,69-6,27	2,43-2,68

**Tabell 5.1:** Material sammanställning

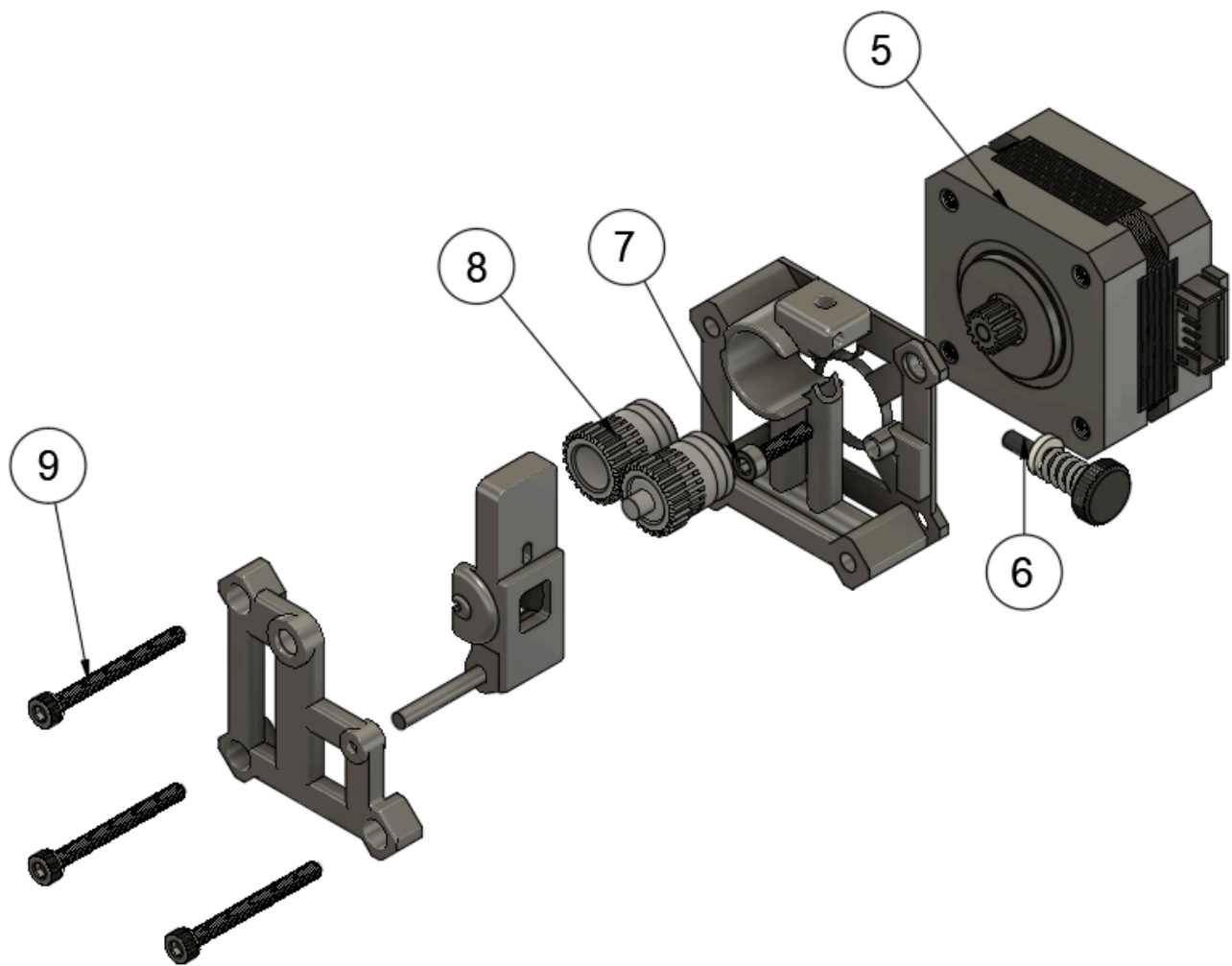
Efter en mer detaljerad analys av tabellen beslutades att högdensitetspolyeten (HDPE) med 30 % glasfiber var det mest lämpliga alternativet. Detta baserades på materialets låga kostnad och låga koldioxidutsläpp. Extrudern utsätts för betydande termisk belastning, främst på grund av att stegmotorn under drift kan uppnå temperaturer upp till 70°C. På grund av detta valdes varken ASA (Akrylnitrilstyrenakrylat) eller PLA (Polylaktid) trots deras låga kostnader och låga koldioxidutsläpp.

#### 5.4 Slutgiltiga prototyp

Det slutgiltiga prototypen visas i figur 5.8 och 5.9. I figuren syns stegmotorn (5) som har samma mått som Creality Sprite SE-Neo:s stegmotor. Skruvarna är M3x0,5 där de längre skruvarna (9) har en längd på 30 mm medan den kortare skruven (7) har en längd på 12 mm. Skruvstorleken valdes baserat på stegmotorns gängstorlek. Bondtech-matningshjulen (8) används i prototypen, dock är matningshjulen i CAD-modellen 15 mm långa medan de som ska vara i den riktiga extrudern är 11 mm. Förspänningsmekanismen består av bondtechs *Thumbscrew Assembly* (6) vilket möjliggör enkel justering och säkerställer att filamentet pressas effektivt mot matningshjulen.



**Figur 5.8:** Slutgiltig prototyp



**Figur 5.9:** *Slutgiltig sprängd prototyp*

## 6 Slutsatser

Projektet har resulterat i utvecklingen av en lättare och mer effektiv extruder utan att kompromissa med prestanda eller kvalitet. Genom att använda en mer öppen design på chassit har mängden material minskat, vilket i sin tur reducerar vikten på chassit och därmed minskar påfrestningar på skrivaren. Däremot innebär den öppna designen en potentiell ökning av damm vid matninghjulen, vilket kan leda till täppning i munstycket. Detta kan i sin tur kräva att extrudern rengörs oftare.

Materialvalet har en betydande inverkan på både kostnaden och miljöpåverkan. HDPE med 30 % glasfiber valdes som material till chassit, på grund av materialets låga kostnad och koldioxidutsläpp i jämförelse med andra material som redan finns i marknaden. HDPE med glasfiber har dessutom en relativt låg densitet och klarar de belastningar som chassit utsätts för.

Användningen av matningshjul med 8 mm innerdiameter jämfört med ett hjul som har 5 mm diameter minskar risken för extruderingsfel och därmed risk för att munstycket täpps igen. Detta gör extrudern mera kostnadseffektiv eftersom det minskar risken för ofullständiga utskrifter, som testmodell 1 utskriven av bowden-extrudern i TPU (se avsnitt 3.3 *Testresultat*), vilket i sin tur leder till mindre materialspill. Den ökade tillförlitligheten gör också extrudern mer tidseffektiv, då användarna inte behöver starta om utskriftsprocessen lika ofta.

Marknaden för 3D-skrivare är omfattande och fortsätter att växa i takt med att additiv tillverkning blir alltmer populär. Reservdelar och modifierade komponenter för alla typer av skrivare finns tillgängliga att köpa. Projektet har utnyttjat denna breda marknad genom att använda befintliga delar som elmotor och matningshjul. Detta har visat sig spara tid och möjliggjort omfokusering av projektets resurser på andra områden.

## 7 Diskussion och fortsatt arbete

Detta examensarbete beskriver undersökning och designen av en extruder som anses vara den mest lämpliga för detta ändamål. Trots dess förbättrade prestanda är det viktigt att notera att denna extruder inte passar alla användare. Designen är skapad för att minska vikten samtidigt som prestandan bibehålls så gott som möjligt. För användare som enbart prioriterar en extruder med snabb utskriftshastighet är denna design inte lämplig. Det är en kompromiss mellan prestanda och vikt som måste balanseras.

Prototypen är ett koncept där viktreducering har prioriterats högt. En av anledningarna till detta är valet av en direct drive extruder. För användare där vikt inte är det primära bekymret samt om 3D-skrivaren använder en bowden-tube-design, kan kraftigare stegmotor och andra materialval samt matningshjul väljas för bättre prestanda.

Ett av de största hindren som uppstått under projektets gång har varit tiden. För att hantera detta har flera delkomponenter valts att köpas från marknaden, vilket har frigjort tid för att fokusera på andra viktiga aspekter av projektet. Detta tillvägagångssätt har medfört kompromisser, där studier av dessa köpta delar har fått avvakta till framtida arbete.

Om mer tid och resurser kan avsättas till projektet, vore det gynnsamt att ägna ytterligare uppmärksamhet åt dessa köpta komponenter. En noggrannare studie av deras egenskaper och möjligheter till anpassning kan bidra till att förbättra extruderens övergripande prestanda och tillförlitlighet. Testerna fungerar som en bas för att utveckla en ny och förbättrad komponent relevant för extrudern.

Vidare är denna extruder även anpassad att passa endast en typ av 3D-skrivare, Creality's Ender 3. För framtida arbete finns potential att utveckla en mer modulär extruder som kan anpassas för att passa fler olika skrivarmodeller på marknaden. Genom att skapa en mer modulär design skulle det öka extruderens kompatibilitet och användbarhet för en bredare användargrupp. Det skulle kräva ytterligare undersökning och utveckling av universella monteringsfästen för att säkerställa en korrekt passform på olika skrivare. En sådan anpassning skulle göra extrudern mångsidig och öka dess användbarhet för olika användare.

# Bilagor

Bilaga 1: Creality Sprite SE-Neo stegmotor





### Bilaga 3: Kravspecifikation

Kravspecifikation	Skapad: 2024-05-25		Utförare: Emil Gustafsson, Jonatan Stenmark	
	Modifierad: 2024-05-25			
Kriterier	Målvärde	K / Ö	Verifieringsmetod	Referens
<b>Funktioner</b>				
Extrudera filament	PLA, PETG, TPU, ABS	K	Test	Projektbeskrivning
Kompatibel filament-diameter	1,75 mm	K	Test	Projektbeskrivning
<b>Storlek</b>				
Volym upptagen på skrivaren	< 1 dm <sup>3</sup>	K	CAD	Kundbehov
Volym upptagen på skrivaren	< 0.8 dm <sup>3</sup>	Ö	CAD	Kundbehov
<b>Prestanda</b>				
Precision av extrudering	> 100 steg / mm	K	Produktdokumentation	Kundbehov
Precision av extrudering	> 500 steg / mm	Ö	Produktdokumentation	Kundbehov
Max hastighet	50 mm / s (PLA)	K	Produktdokumentation	Kundbehov
<b>Massa</b>				
Total vikt	< 500 gram	K	CAD	Kundbehov
<b>Miljö</b>				
Värmebeständig		K	Utmattningstest	Kundbehov
Fuktbeständig		K	Utmattningstest	Kundbehov
<b>Säkerhet</b>				
Användarsäker		K	Avändartest	Kundbehov
<b>Livslängd</b>				
Livslängd	> 1 år	K	Utmattningstest	Kundbehov
Livslängd	> 2 år	Ö	Utmattningstest	Kundbehov
<b>Tillverkningskostnad</b>				
Tillverkningskostnad	< 800 kr	Ö	Tillverkningsanalys	Kundbehov
<b>Miljöpåverkan</b>				
Koldioxidens fotavtryck	5 kg / extruder	Ö	Livscykelanalys	Projektbeskrivning

<b>Underhåll</b>				
Utföra underhåll	var 6:e månad	Ö	Långtidstest	Kundbehov
<b>Installation</b>				
Installationstid	< 24 timmar	K	Installationstest	Kundbehov
Installationstid	< 1 timme	Ö	Installationstest	Kundbehov
<b>Återvinning</b>				
Återvinningsbar		K	Produktdokumentation	Kundbehov

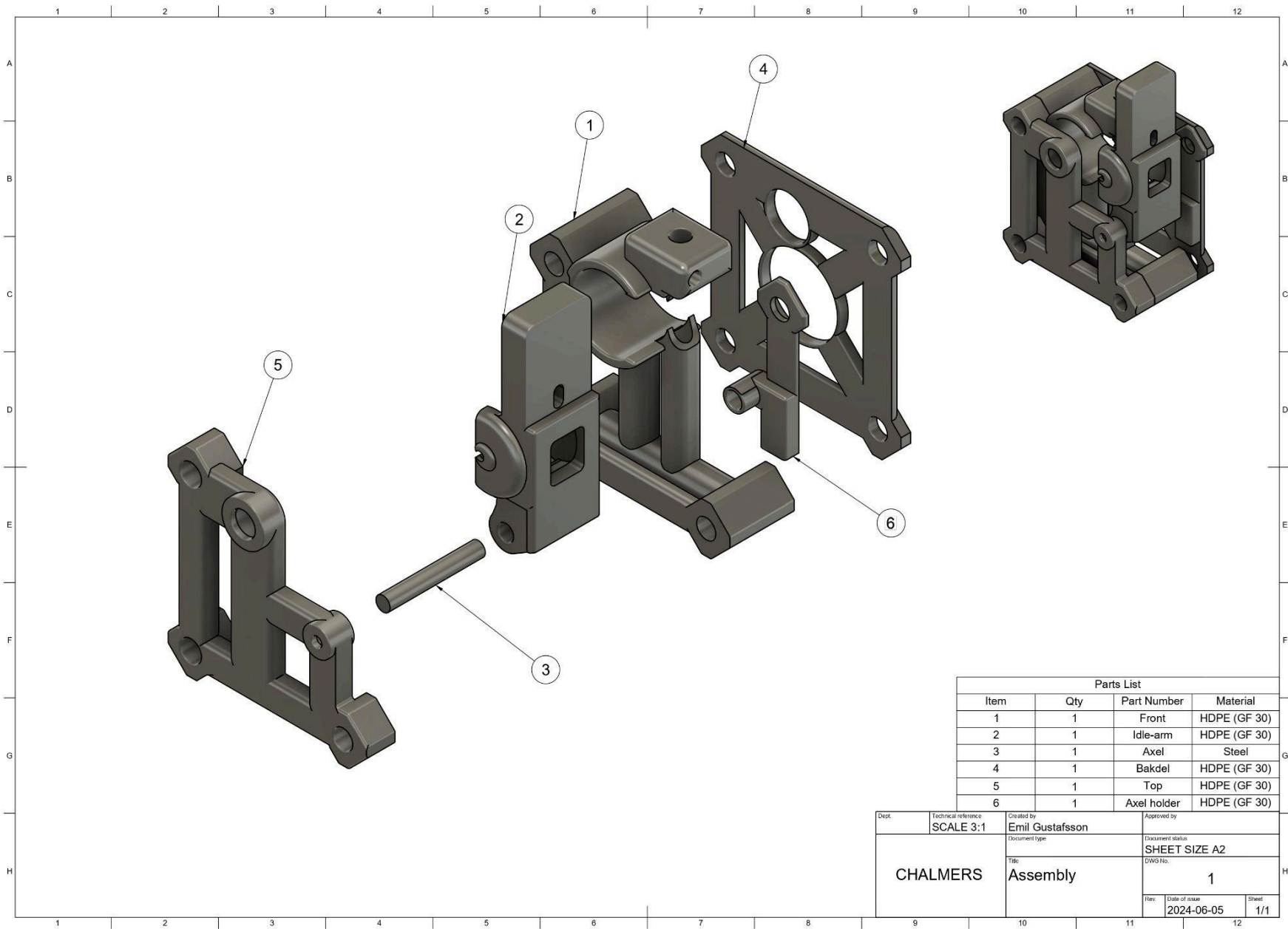
Bilaga 4: Pughmatrix 2

Skapad: 2024-05-24	Pughmatrix Extruder											
Modifierad: 2024-05-24												
Kriterium	Alternativ											
	6	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12
Vikt	R	-	0	-	-	-	-	-	-	0	-	-
Max matningskraft	e	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+
Livslängd	f	-	0	-	-	-	-	-	-	0	-	-
Temperaturbeständighet	e	-	0	-	-	-	-	-	-	0	-	-
Installationskomplexitet	r	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Miljöpåverkan	e	-	0	-	-	-	-	-	-	0	-	-
Återvinningsbar	n	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ +	s	-	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1
Σ 0	-	2	6	2	2	2	2	2	2	6	2	2
Σ -	-	4	1	4	4	4	4	4	5	1	5	4
Nettovärde	-	-3	-1	-4	-3	-3	-3	-3	-5	-1	-5	-3
Rangordning	-	2	1	3	2	2	2	2	4	1	4	2
Vidareutveckla	-	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja	Nej	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej

Bilaga 5: Pughmatrix 3

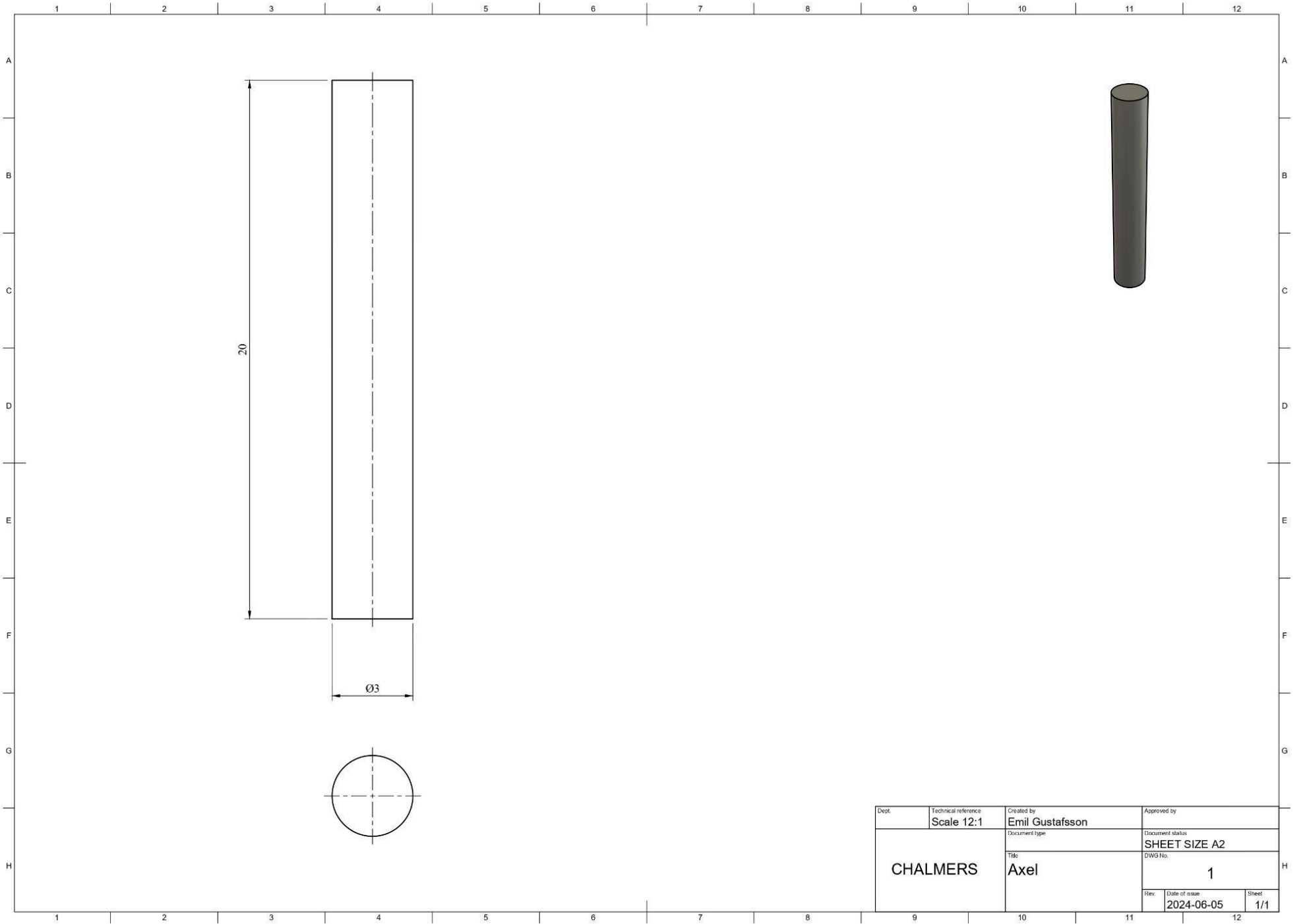
Skapad: 2024-05-24	Pughmatrix Extruder												
Modifierad: 2024-05-24													
Kriterium	Alternativ												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Vikt	R	-	+	+	0	-	+	+	0	-	+	+	
Max matningskraft	e	-	+	+	+	-	+	+	-	-	-	0	
Livslängd	f	+	-	-	0	+	-	-	0	+	-	-	
Temperaturbeständighet	e	+	-	-	0	+	-	-	0	+	-	-	
Installationskomplexitet	r	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Miljöpåverkan	e	-	+	+	0	-	+	+	0	-	+	+	
Återvinningsbar	n	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Σ +	s	-	2	3	3	1	2	3	3	0	2	1	2
Σ 0		-	2	2	2	6	2	2	2	6	2	2	3
Σ -		-	3	2	2	0	3	2	2	1	3	3	2
Nettovärde		-	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-2	0
Rangordning		-	3	1	1	1	3	1	1	3	3	4	2
Vidareutveckla		-	Nej	Nej	Ja	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej

Bilaga 4: CAD ritning

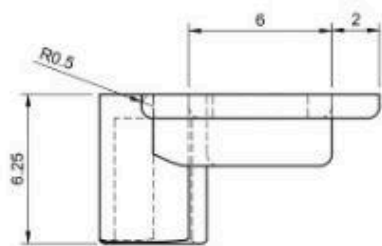
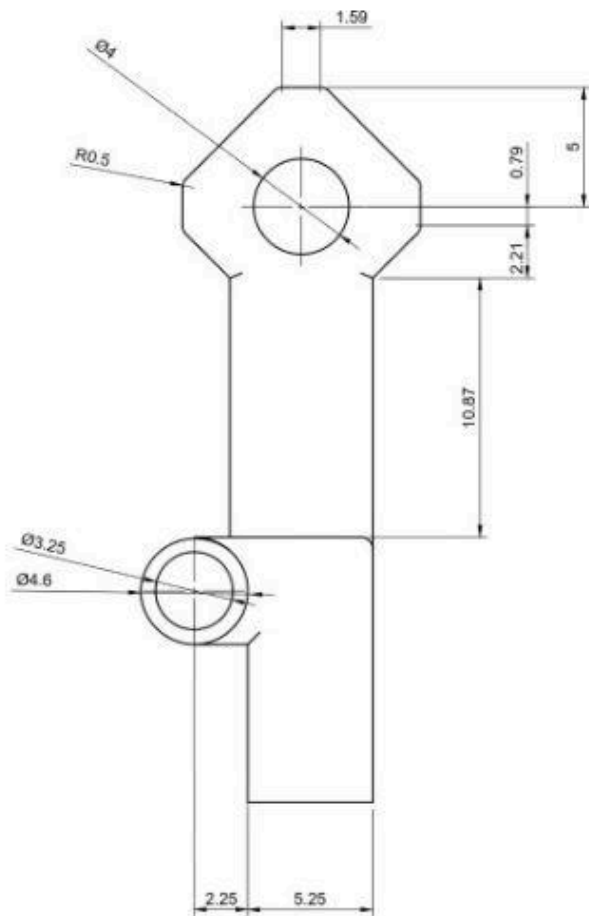


Parts List			
Item	Qty	Part Number	Material
1	1	Front	HDPE (GF 30)
2	1	Idle-arm	HDPE (GF 30)
3	1	Axel	Steel
4	1	Bakdel	HDPE (GF 30)
5	1	Top	HDPE (GF 30)
6	1	Axel holder	HDPE (GF 30)

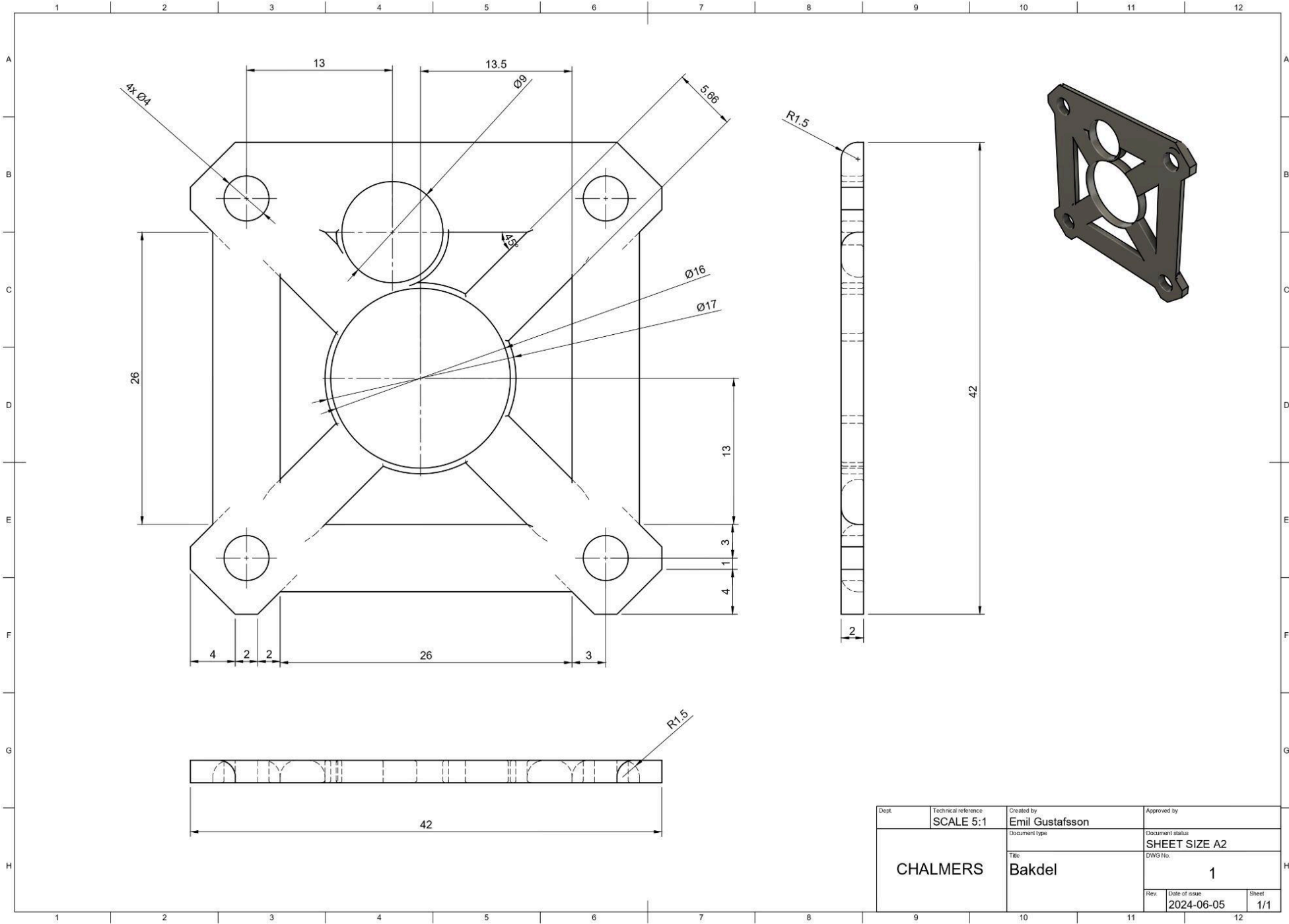
Dept.	Technical reference <b>SCALE 3:1</b>	Created by <b>Emil Gustafsson</b>	Approved by
<b>CHALMERS</b>	Document type		Document status <b>SHEET SIZE A2</b>
	Title <b>Assembly</b>		DWG No. <b>1</b>
	Rev:	Date of issue <b>2024-06-05</b>	Sheet <b>1/1</b>



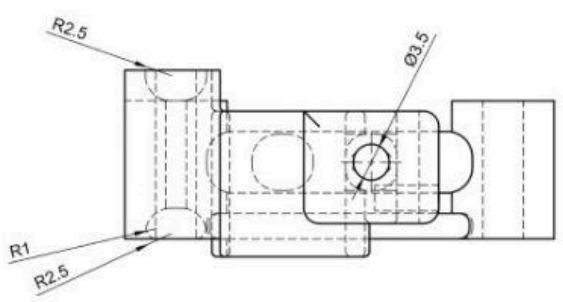
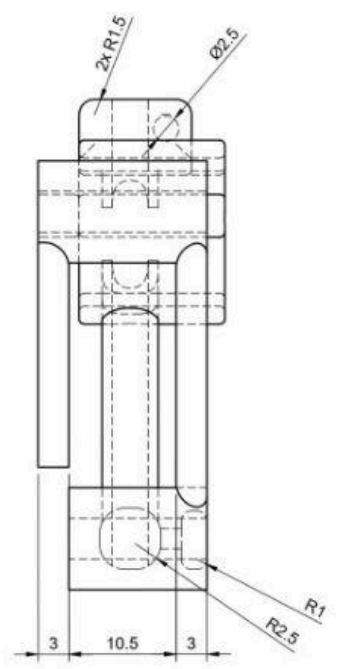
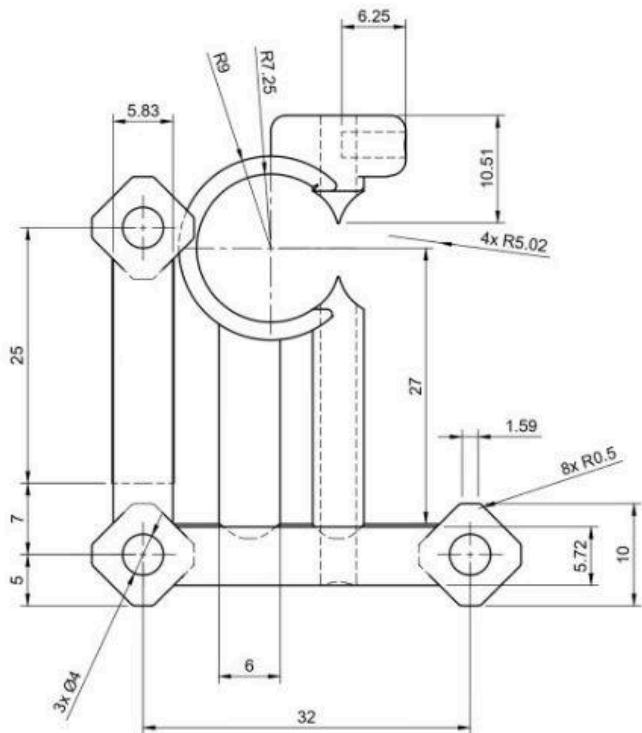
Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
	Scale 12:1	Emil Gustafsson	
CHALMERS	Document type		Document status
	Title		SHEET SIZE A2
		Axel	DWG No.
			1
	Rev.	Date of issue	Sheet
		2024-06-05	1/1



Dept.	Technical reference SCALE 7:1	Created by Emil Gustafsson	Approved by
CHALMERS	Document type	Document status SHEET SIZE A2	
	Title Axel Holder	1	
	Rev	Date of issue 2024-06-05	Sheet 1/1



Dept.	Technical reference SCALE 5:1	Created by Emil Gustafsson	Approved by
CHALMERS		Document type	Document status SHEET SIZE A2
		Title Bakdel	DWG No. 1
		Rev.	Date of issue 2024-06-05

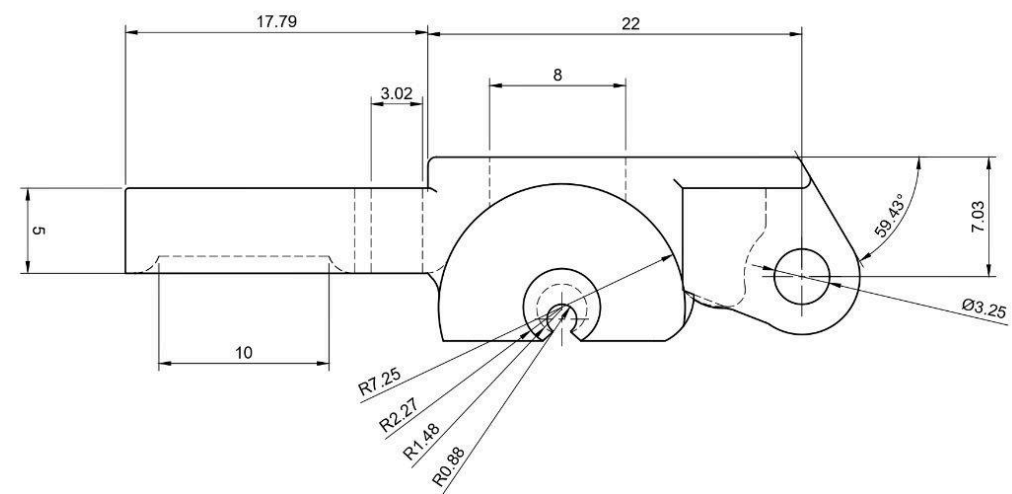
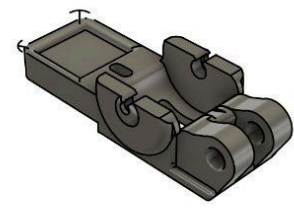
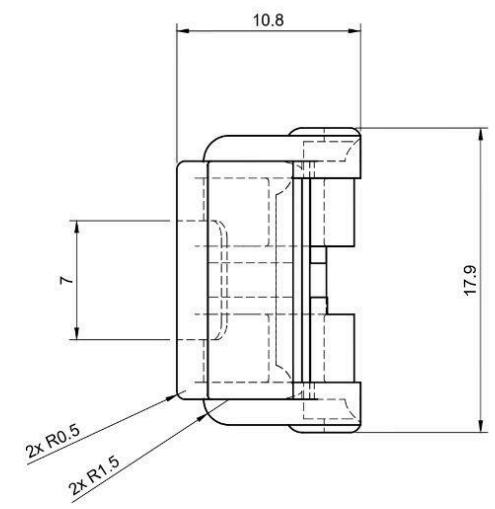
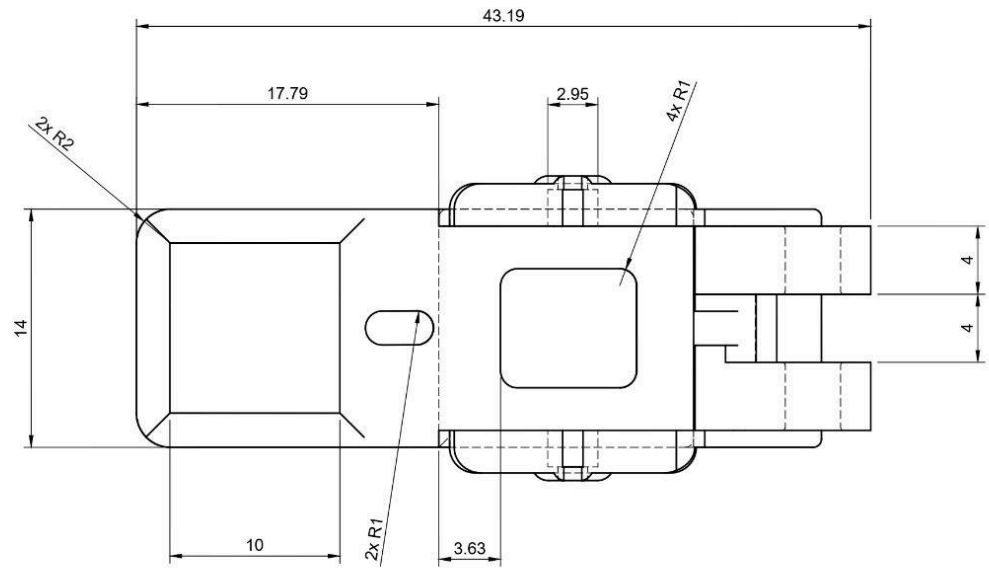


Dept.	Technical reference <b>SCALE 3:1</b>	Created by <b>Emil Gustafsson</b>	Approved by
<b>CHALMERS</b>	Document type	Document status <b>SHEET SIZE A2</b>	
	Title	<b>Front</b>	
	Rev.	Date of issue <b>2024-06-05</b>	Sheet <b>1/1</b>

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

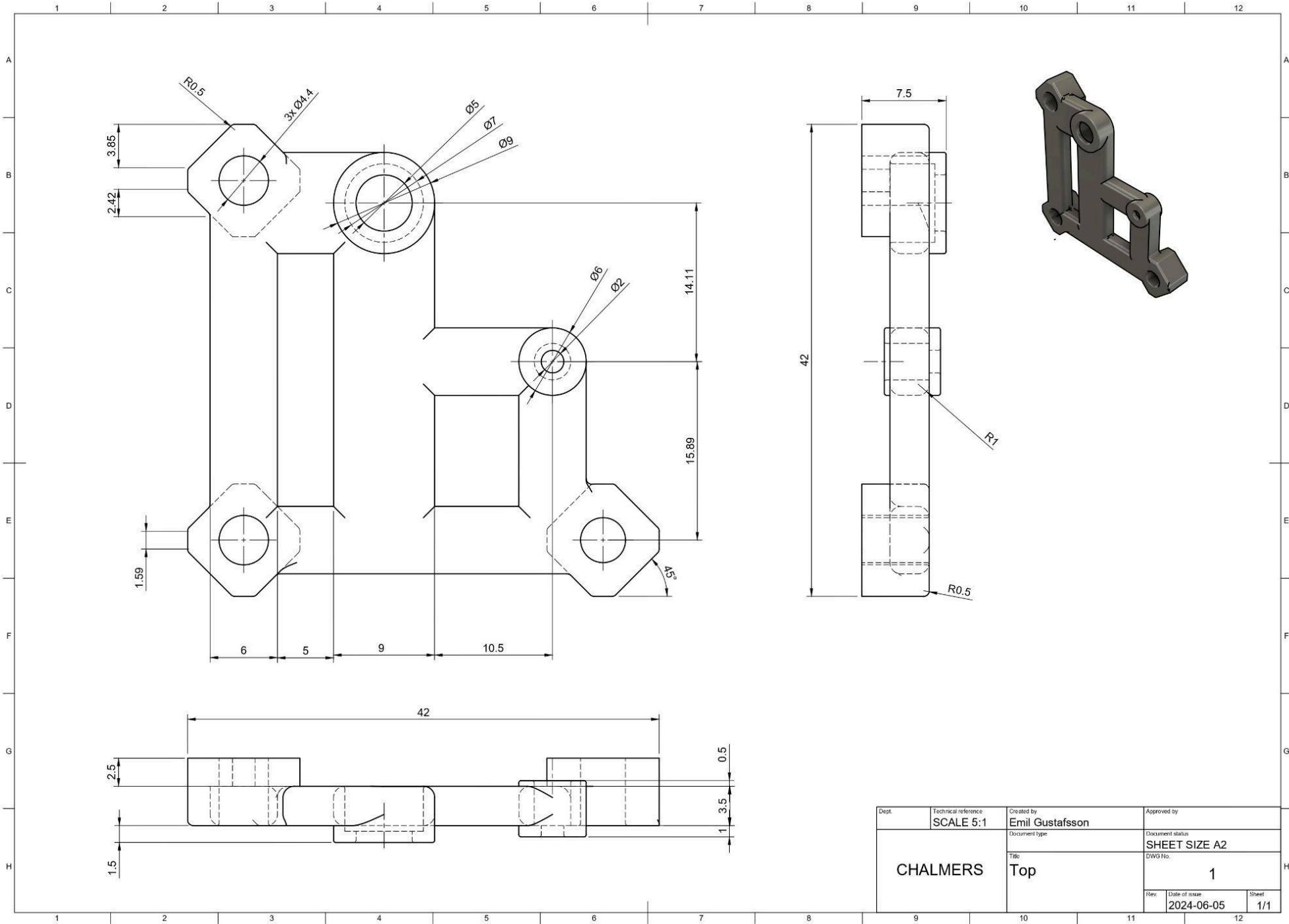
A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H

A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H



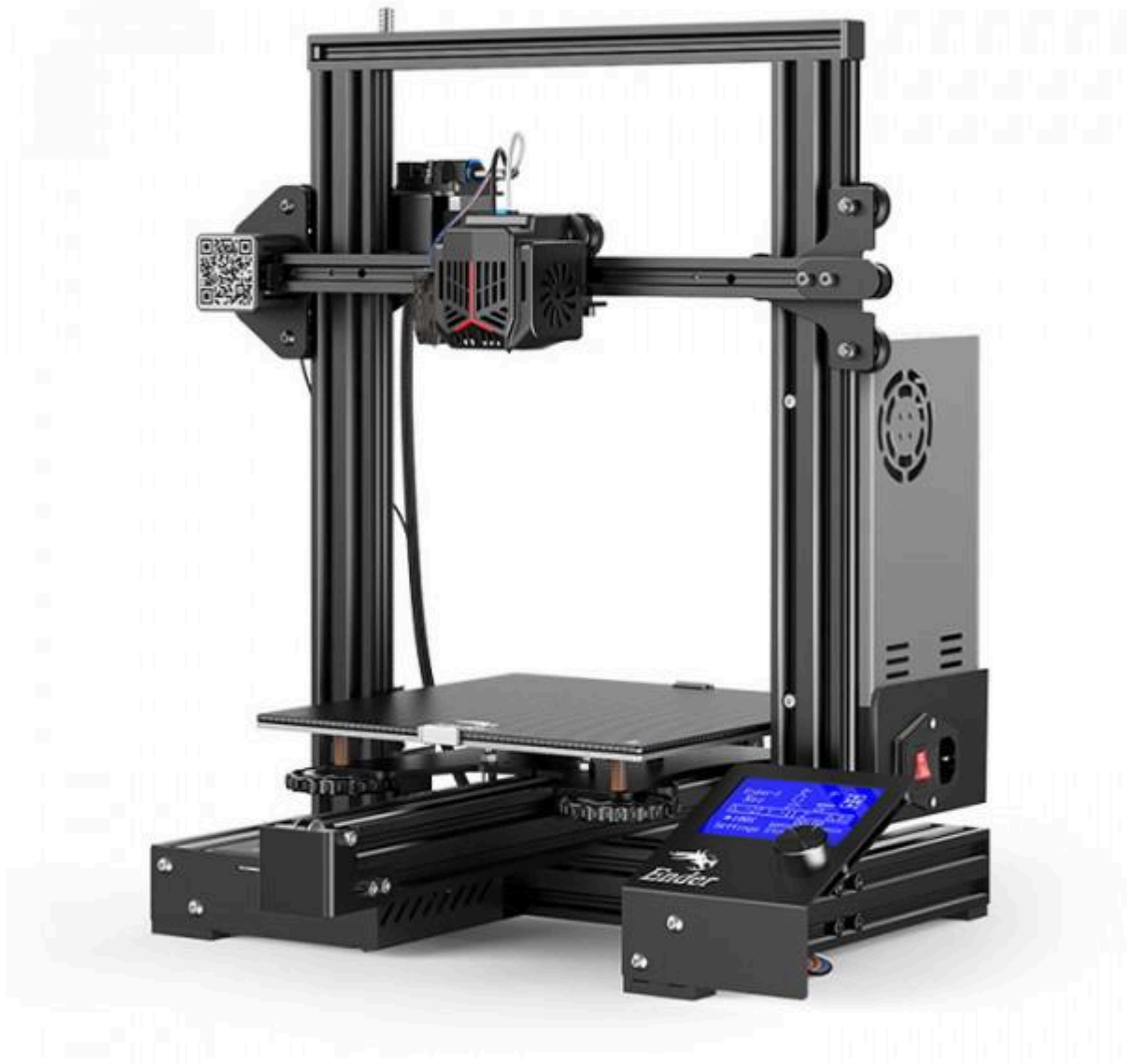
Dept.	Technical reference <b>SCALE 5:1</b>	Created by <b>Emil Gustafsson</b>	Approved by
<b>CHALMERS</b>	Document type	Document status <b>SHEET SIZE A2</b>	
	Title <b>Idle-arm v3</b>	DWG No. <b>1</b>	
	Rev.	Date of issue <b>2024-06-05</b>	Sheet <b>1/1</b>

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12



Dept.	Technical reference SCALE 5:1	Created by Emil Gustafsson	Approved by
CHALMERS	Top	Document type	Document status SHEET SIZE A2
		DWG No.	1
		Rev.	Date of issue 2024-06-05

Bilaga 5: Creality Ender 3 Neo 3D-skrivare



# Referenser

Simplify3D. (2024). *Inconsistent Extrusion*.

<https://www.simplify3d.com/resources/print-quality-troubleshooting/inconsistent-extrusion/>

Annex Engineering (4 april 2024). *Sherpa Mini Extruder*.

<https://annex-engineering.eu/>

Bondtech (2021). *LGX Large Gears Extruder*.

<https://www.bondtech.se/product/lgx-large-gears-extruder/>

Jón Schone (2024). *Proper Extruder*. Proper Printing.

<https://properprinting.pro/product/proper-extruder/>

Hermann, S. (18 februari 2023). *Which is the strongest 3d printing extruder*. CNC Kitchen.

<https://www.cnckitchen.com/blog/which-is-the-strongest-3d-printing-extruder>

Lőrincz, R. (2024) *The true story of the orbiter v2.0*. Orbiter projects.

<https://www.orbiterprojects.com/the-true-story-of-orbiter-v2-0/>

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH  
MATERIALVETENSKAP  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2024  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**