

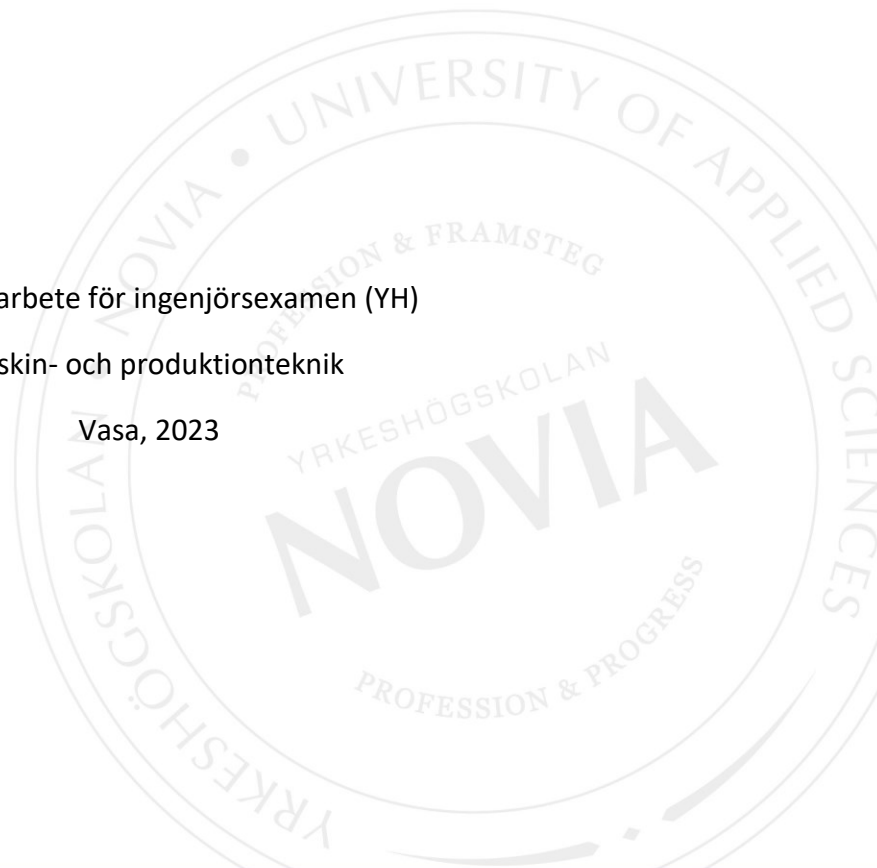
# Planering och tillverkning av fixturer för efterbehandling av ett 3D-utskrivet objekt i metall

Sebastian Brevik

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)

Maskin- och produktionsteknik

Vasa, 2023



## EXAMENSARBETE

Författare: Sebastian Brevik

Utbildning: Maskin- och produktionsteknik

Inriktningsalternativ: Drift- och energiteknik

Handledare: Kenneth Ehrström, Miguel Cordero

Titel: Planering och tillverkning av fixturer för efterbehandling av ett 3D-utskrivet objekt i metall.

---

Datum: 24.11.2023

Sidantal: 24

---

### Abstrakt

Detta examensarbete utforskar tillverkningen och användningen av 3D-utskrivna fixturer för efterbehandling av metalliska 3D-utskrivna objekt. Syftet är att förbättra och effektivisera efterbehandlingsprocessen för dessa objekt, med målet att öka produktiviteten och precisionen i bearbetningen. Studien omfattar design och prototypframställning av två specifika fixturer, anpassade för ett utvalt metalliskt 3D-utskrivet föremål, samt praktiska testning och optimering.

Arbetet inleds med en teoretisk bakgrund kring additiv tillverkning (AM), speciellt fokuserat på 3D-utskrivning i metall. Viktiga aspekter som processparametrar och efterbehandlingskrav undersöks, liksom tekniker för design och användning av jigggar och fixturer inom detta område. Ett viktigt element i studien är valet av material för 3D-utskrivning, med ett speciellt fokus på PLA för att utveckla prototyper av fixturerna. Dessa prototyper testas under olika bearbetningsförhållanden, inklusive CNC-fräsning för att utvärdera deras funktion och effektivitet.

Genom experiment och tester utvecklades optimerade fixturer som visar på fördelar vid användning i efterbehandlingen av metalliska 3D-utskrivna föremål. Dessa fixturer testas för att behandla och förbättra kvaliteten på de 3D-utskrivna metallföremålen, vilket resulterar i förbättrad bearbetningsprecision och minskad arbetsbelastning. Studien belyser vikten av att förstå de mekaniska egenskaperna och interaktionerna mellan 3D-utskrivna fixturer och bearbetningsmaskiner.

Sammanfattningsvis demonstrerar examensarbetet hur 3D-utskrivna verktyg kan underlätta efterbehandlingsprocesser i metalltillverkningsindustrin, och markerar en väg framåt för implementeringen av 3D-utskrivningsteknik i moderna tillverkningsprocesser. Den framhäver potentialen och möjligheterna med anpassade 3D-utskrivna verktyg för att förbättra effektivitet och precision i efterbehandlingen av komplexa metallföremål.

---

Språk: svenska

Nyckelord: 3D-utskrivning, metall 3D-utskrivning.

---

## **BACHELOR'S THESIS**

Author: Sebastian Brevik

Degree Program: Mechanical and Production Engineering

Specialization: Operation and Energy Technology

Supervisor(s): Kenneth Ehrström, Miguel Cordero

Title: Design and Manufacture of Fixtures for Post-Processing a Metal 3D Printed Object.

---

Date: 24.11.2023

Number of pages: 24

---

### **Abstract**

This thesis explores the manufacture and use of 3D printed fixtures for the finishing of metallic 3D printed objects. The aim is to improve and streamline the post-processing for these objects, with the goal of increasing the productivity and precision of the processing. The study includes the design and prototyping of two specific fixtures, adapted for a selected metallic 3D printed object, as well as practical testing and optimisation.

The work starts with a theoretical background on additive manufacturing (AM), especially focused on metal 3D printing. Important aspects such as process parameters and post-processing requirements are investigated, as well as techniques for the design and use of jigs and fixtures in this field. An important element of the study is the choice of materials for 3D printing, with a special focus on PLA to develop prototypes of the fixtures. These prototypes are tested under different machining conditions, including CNC milling to evaluate their function and efficiency.

Through experimentation and testing, optimised fixtures were developed that show benefits when used in the post-processing of metallic 3D printed objects. These fixtures are tested to treat and improve the quality of the 3D printed metal objects, resulting in improved machining precision and reduced workload. The study highlights the importance of understanding the mechanical properties and interactions between 3D printed fixtures and processing machines.

In summary, the thesis demonstrates how 3D printed tools can ease the post-processes in the metal manufacturing industry and marks a way forward for the implementation of 3D-printing technology in modern manufacturing processes. It highlights the potential and possibilities of customised 3D printed tools to improve efficiency and precision in the finishing of complex metal objects.

---

Language: swedish

Keywords: 3D-Printing, Metal 3D-Printing

---

## Förord

Detta examensarbete gjordes i samarbete yrkeshögskolan Novia i Vasa. Jag hoppas att detta examensarbete kan vara till intresse för alla som är intresserade av tillverkningen av jigggar och fixturer till 3D-utskrivna föremål i metall eller till och med 3D-utskrivna föremål i plast. Jag vill ge ett extra tack till mina handledare, Miguel Cordero och Kenneth Ehrström för all hjälp och insikt till det relaterade ämnet. Jag vill också tacka Kaj Rintanen för att han hjälpte mig att hitta ett examensarbete samt Leif Backlund för att han hjälpte mig med att köra Novias CNC-fräs.

Sebastian Brevik

Vasa, 23.11.2023

# Innehållsförteckning

1	Introduktion .....	1
1.1	Syfte och mål .....	1
2	Teori .....	2
2.1	AM (Additive manufacturing).....	2
2.1.1	Introduktion till 3D-utskrivning i metall.....	3
2.1.2	Användningsområden.....	4
2.1.3	Efterbehandling.....	5
2.1.4	Processparametrar och optimering.....	6
2.2	Jiggar och fixturer .....	6
3	Bearbetningsmetoder .....	8
3.1	3D-utskrivning av fixturen .....	8
3.2	Automatiska bearbetningsmetoder .....	9
3.2.1	CNC-fräsning.....	9
3.2.2	CNC-svarvning.....	10
3.2.3	Jämförelse mellan CNC-fräsning och CNC-svarvning.....	10
4	Metod .....	10
4.1	Start .....	10
4.2	Krav .....	11
4.3	Designerna.....	12
4.4	Materialvalet.....	13
4.4.1	PLA .....	13
5	Resultat.....	14
5.1	3D-utskrivning i plast, prototyper .....	15
5.1.1	Prototyper fixtur 1, korkhållare.....	15
5.1.2	Prototyper fixtur 2, flaskhållare .....	16
5.1.3	Prototyp diskussion .....	17
5.2	Fixtur 1 och test, CNC-fräsen.....	17
5.3	Fixtur 2 och test .....	19
5.4	Förbättring av fixtur 1.....	19
5.5	Förbättring av fixtur 2.....	20
6	Diskussion .....	21
6.1	Resultatdiskussion .....	21
6.2	Slutord .....	22
7	Källförteckning (IEEE).....	23

## Termer och beteckningar

AM (additive manufacturing)	Additiv tillverkning
3D	3-dimensionellt
2D	2-dimensionellt
CAD (computer assisted design)	Datorstöd konstruktion
Gitterstöd	Strukturstöd som används under AM-tillverkningen för att upprätthålla objektet.
PLA	Polylaktid (biopolymer)
MPa	Megapascal
SLS	selective laser sintering
SLM	selective laser melting

# 1 Introduktion

Detta examensarbete gjordes på uppdrag av yrkeshögskolan Novia i Vasa. Examensarbetet innehåller tillverkningen och prototypframställningen av två fixturer för ett föremål som är 3D-utskrivet i metall.

3D-utskrivning i metall har utvecklats mycket under de senaste åren. Detta har orsakat att man har börjat fokusera alltmer på efterbehandlingsprocessen, då de 3D-utskrivna objekten blir alltmer geometriskt komplicerade och utvecklas med nya robusta material. De vanligaste problemen som dyker upp vid utvecklingen av 3D-utskrivna föremål är att det uppstår alltmer strukturstöd i tillverkningsprocessen. Med hjälp av en jigg eller en fixtur i efterbehandlingsprocessen har man möjlighet att montera delarna i till exempel maskiner, verktygshållare och bänkskruvständer för att lättare behandla objektet.

I detta examensarbete är fixturerna tillverkad genom att 3D-utskriva prototyper i plast och sedan testa deras inverkning på själva föremålet så att inga skador uppkommer vid monteringen i efterbehandlingsprocessen. Dessutom har man tänkt på vilka bearbetningskrafter som utsätts på fixturen och föremålet.

## 1.1 Syfte och mål

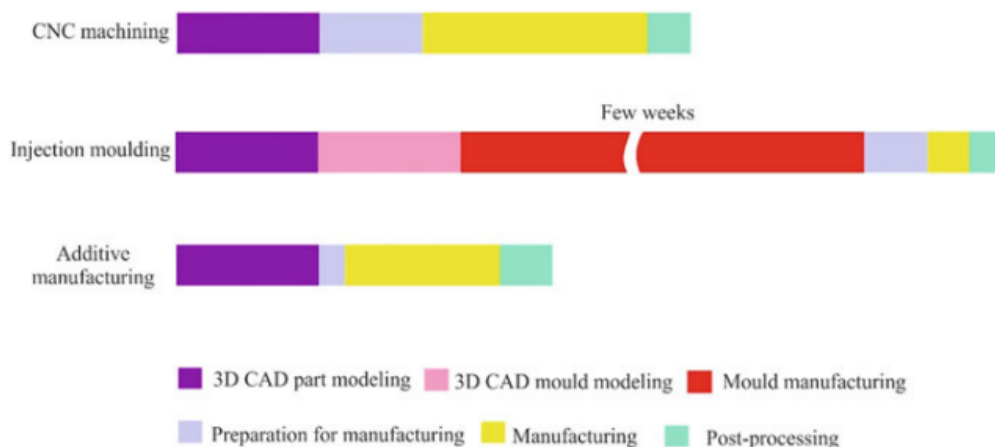
Syftet med detta examensarbete var att optimera och förbättra efterbehandlingsprocessen för ett specifikt 3D-utskrivet föremål. Målet var att man får en ökad produktivitet.

## 2 Teori

I teoridelen behandlas de allmänna grunderna i additiv tillverkning, 3D-utskrivning av metallföremål samt teknikgrunderna i processparametrar och optimeringar.

### 2.1 AM (Additive manufacturing)

Additiv tillverkning är en term som tidigare kallades för snabb prototypframställning och är idag främst känd som 3D-utskrivning, där man tillägger ett materiallager på ett redan befintligt materiallager. Tidigare använde man additiv tillverkning för att snabbt tillverka ett system eller en del för att testa dess funktion och se modellen i verkligheten före man började tillverka föremålet i det planerade materialet [1]. Detta var mer kostnadseffektivt och snabbare än att utföra prototypframställningen steg för steg som man traditionellt gjorde med användningen av CNC-bearbetningsmaskiner eller med hjälp av formsprutning [2]. *figur 1* visar tid som kan sparas in med hjälp av olika additiva tillverkningsprocesser i jämförelse mot traditionella prototyp tillverkningsmetoder.



*Figur 1. Jämförd produktionstid för CNC-fräsning, AM (Polyjet process) och AM (3D-Printing). [3]*

Idag används additiv tillverkning inte endast för prototypframställning men även för att tillverka produkter, detta är på grund av att materialtekniken och 3D-utskrivarna har blivit



så pass avancerade och gjort så att ”bron mellan den slutliga produkten och en prototyp är väldigt kort” [1, s. 2]. De material som finns tillgängliga idag är främst olika metall-, keramik- och plastföreningar [4]. Youtube-videorna [5] och [6] tar upp hur 3D-utskrivning av fixturer och jigggar påverkar bearbetningsprocessen och hur detta har snabbat upp deras produktion.

### 2.1.1 Introduktion till 3D-utskrivning i metall

3D-utskrivning i metall är en AM-teknik, metallråmaterial smälts lager på lager till ett 3-dimensionellt objekt med hjälp av datorteknik som kontrollerar maskinens styrning. AM-metoderna som bestäms är beroende på hur komplex geometrin är, den slutliga användningen och vilket material, man tänker sig det 3D-utskrivna föremålen skall ha. De vanligaste metoderna inom 3D-Metallutskrivning är SLS (selective laser sintering) och SLM (selective laser melting). [4]

3D-utskrivare som kan skriva ut metallobjekt är betydligt större och dyrare än 3D-utskrivare som är bara kapabla att skriva ut objekt i plast. Tack vare att 3D-utskrivningsteknologin har utvecklats så pass mycket under de senaste åren har det lett till att 3D-utskrivare som kan skriva metallobjekt har blivit betydligt mindre och lättare att producera. [7]



Figur 2. Bild på en 3D-utskrivare som använder sig av SLM, AM-metoden. [8]

Anskaffning av metall 3D-skrivare erbjuder en kortare logistikkedja och design-flexibilitet för företag. Förutom att företag sparar pengar så har denna möjlighet också lett till att det har skett en miljöförbättring då utsläpp från logistiken har minskat och att man ej behöver bryta upp lika mycket råmaterial för att producera delar, som på det traditionella sättet. [9]

### 2.1.2 Användningsområden

De största områdena där man använder sig av metall 3D-utskrivning är inom den medicinska industrin, flyg-, rymd- och bilindustrin samt vid andra industriella applikationer för att tillverka anpassade verktyg och formar. Här tar man hjälp av att det är möjligt, att snabbt kunna anpassa olika delar. [9] Som exempel kan man iaktta *figur 3* som visar hur metall 3D-utskrivning används inom den medicinska industrin, där man har 3D-utskrivit ett tinningbens implantat för en patients kranium. Metoden möjliggör att man får en anpassad del inom kort tid.



*Figur 3. Ett 3D-utskrivet medicinskt implantat som är anpassad till ett kranium. [10]*

### 2.1.3 Efterbehandling

Efterbehandling av det 3D-utskrivna föremålet kan variera i olika grader, beroende på vad dimensionerna, syftet och ytans krav är. Det kan vara fråga om att man inte är tvungen att göra en efterbehandling, till att det krävs att man är i behov av flera steg för att få fram den slutliga produkten.

Ett exempel på hur efterbehandlingsprocessen kan se ut vid metall 3D-utskrivning är att man tar bort delvis smälta partiklar från objektet eller att man slipar ner svetsöverbyggnaden vid en svetsfog. De vanligaste kraven är att man tar bort strukturstödet och metallpulvret vid olika "metal powder bed" AM-system. Borttagningen av strukturstödet kan vara att man enkelt bryter bort det, till att man är tvungen att använda sig av slipar eller olika CNC-maskiner för borttagningen. Man kan optimera en CNC-maskinen att bearbeta föremålet så att det får en bättre yta samtidigt som strukturstödet tas bort. [11]



Figur 4. Bild på ett 3D-utskrivet objekt, där man blir tvungen att ta bort strukturstödet. [12]

#### 2.1.4 Processparametrar och optimering

Vid design av föremålet så skall man planera utifrån föremålets krav. Man skall ta hänsyn till vilka parametrar objektet kommer att utsättas för. Detta kan vara värme, utmattning och draghållfasthet. Vid värme så kan föremålet bli skevt, då uppstår förändringar hos geometrin och metallkornen kan ta skada och spricka. Om man kan förebygga värmeskador kan man öka produktens livslängd samt planera om man behöver dimensionera om föremålet eller om det är möjligt att använda ett kylsystem. [11]

Draghållfasthet och utmattningsskador uppkommer om föremålet utsätts för tryck eller vid lång användning. Exempel på skador som kan uppkomma är att föremålet böjer sig, spricker eller helt bryts av. För att förhindra dessa skador så bör man använda rätt material och att dimensioneringen av föremålet utifrån dess användning och teoretiskt uträknade faktorer. [11]

## 2.2 Jiggar och fixturer

Jiggar och fixturer är olika redskap som kan användas för att hjälpa till en operatör eller en maskin med arbetsprocessen. Skillnaden mellan en jigg och fixtur är att en jigg hjälper till med att styra verktyget under bearbetningen samt att den kan hålla fast föremålet. En fixtur håller endast fast föremålet så att personen eller maskinen kan göra sitt arbete, iaktta *figur 6*.

En jigg eller en fixtur gör att föremålet som skall bearbetas har en noggrannare, säkrare, snabbare efterbehandlingsprocess samt att verktyget får en längre livslängd. I *Figur 5*, kan man iaktta en 3D-utskrivna jigg, som används för att greppa fast föremålet på plats samt det hjälper till med att leda bormaskinen, så den kan borra hålen vid rätt position. [13]



Figur 5. 3D-utskrivna jigg, som används för att styra borren i förhållande till arbetsstycket. [14]



Figur 6. Bild på en fixtur som håller fast en vevstake. [15]

### 3 Bearbetningsmetoder

Vid designen av en fixtur eller en jig så skall man ta i beaktande krafterna som operatören eller vad en automatiserad maskin utsätter fixturen eller jiggen för. Detta är särskilt viktigt vid automatiserade processer som till exempel hos en CNC-fräsmaskin, så att fixturen inte blir defekt och ger sig då den utsätts för större krafter än vid till exempel hos en bormaskin. Större krafter som påverkar föremålet och redskapen orsakar vanligtvis större skador. [16]

Ergonomin och arbetsredskapens lättillgänglighet kan snabba upp bearbetningsprocessen och förhindra skador för operatören, genom att designa fixturerna så att de snabbt ska kunna ändra på föremålen vid bearbetningsprocessen och så operatören inte har oergonomiska arbetsställningar.

#### 3.1 3D-utskrivning av fixturen

När man skriver ut ett 3D-föremål så ska man först och främst se till att 3D-utskrivaren har möjligheten att utföra arbetet. Munstycket bör vara lämpligt, skrivbordet tillräckligt stort och att 3D-utskrivaren bör uppnå tillräckligt hög värme för att smälta materialet.

Materialvalet är en viktig faktor vid 3D-utskrivning, här kan man öka på säkerhet vid mekaniska utföranden samt att man också kan förebygga skador från kemikalier och värme. Strukturstödet skall göras lämplig enligt föremålet man 3D-utskriver, så att inte föremålet börjar svikta och att man kan överföra värme under tillverkningsprocessen. För mycket värme kan leda till att föremålet börjar skeva.

Ytterligare kan man spara tid och materialkostnader beroende på hur lång tid det tar för en 3D-skrivare att skriva ut ett föremål, vilket är beroende av skrivarens inställningar. Man kan också använda olika material i vätskeform, såsom fotosensitiva hartser eller vaxföreningar. Vid metall 3D-utskrift använder man främst metalliskt pulver och det är också möjligt att använda tråd, likt vid svetsning. [17], [1]

## 3.2 Automatiska bearbetningsmetoder

I detta examensarbete så planeras att använda fixturen med automatiska bearbetningsmetoder att snabba upp tillverkningsprocessen. För att få en uppfattning av krafterna som fixturen eller jiggen utsätts för och vilken metod som är bäst för tillverkningsprocessen så undersöktes de olika metoderna. Man kan göra uträkningar med hjälp av CNC-programmet G-Wizard eller teoretiskt med hjälp av boken *Metal Cutting Theory and Practice Manufacturing*. s. 537.

### 3.2.1 CNC-fräsning

CNC-fräsning, Computer Numerical Control-fräsning, är en avancerad tillverkningsmetod som kombinerar precision och automatisering. Denna teknik utnyttjar datorstyrda maskiner för att skära och bearbeta olika material. CNC-fräsen kan köra verktyget på tre olika axlar (längden, bredden eller höjden) mot bara en yta på föremålet. Medhjälp av jigggar och fixturen så kan man rotera föremålet så att yta ändras mot fräsens verktyg. Man refererar till antalet rörliga axlar i en CNC-fräs genom att ange hur många axlar som är involverade. Till exempel har en vanlig CNC-fräs ofta tre axlar (X, Y, och Z) för att representera rörelser längs längd-, bredd- och höjdriktningarna. Man kan inkludera ytterligare rörelser, såsom rotationer kring X- och Y-axlarna. [18, s. 7–10]

Ett praktiskt exempel är när CNC-fräsen har tre grundläggande axlar och jiggen som används för att positionera materialet har ytterligare tre axlar som kan röra sig. Denna konfiguration resulterar i vad man benämner som 6-axlig CNC-fräsning. Det ökade antalet axlar möjliggör mer flexibilitet och precision i bearbetningen, särskilt vid tillverkning av komplexa detaljer och former. [18, ss. 7-10]

Teoretiskt är fräsning betydligt svårare att räkna ut än vad borring och svarvning är. Detta på grund av att det lättare uppkommer vibrationer som leder till att verktyget lyfter sig eller stöts till sidan [19]. Vid fräsning så kan man minska kraften som föremålet och jiggen/fixturen utsätts för genom att öka på spindelhastigheten samt att man minskar på inmatningshastigheten och skärdjupet. [19, ss. 1-82]

### 3.2.2 CNC-svarvning

CNC-svarvning, Computer Numerical Control-svarvning, utnyttjar datorstyrd teknik för att bearbeta olika material på likadant sätt som CNC-fräsning. I svarvning styr CNC-svarven verktyget längs två huvudaxlar, vanligtvis längs längdriktningen (X) och höjdriktningen (Z) för att forma och skapa önskade ytor på olika föremål. Här använder man sig inte av mera axlar än tre, i motsats från CNC-fräsning där man kan ha upp till 12 axlar. [18, s. 11]

### 3.2.3 Jämförelse mellan CNC-fräsning och CNC-svarvning

Jämfört med CNC-fräsning rör sig CNC-svarvning på två axlar, vilket gör svarvning enklare när det gäller rörelsemönster, särskilt vid cirkulära föremål. CNC-svarvning är lättare att koda då man har en mindre axel man måste ta i beaktande. Teoretiskt sett har svarvning mindre chans att skapa vibrationer som kan påverka verktygets stabilitet. Därför kan CNC-svarvning vara mer förutsägbar jämfört med fräsning och borrar.

Vid CNC-svarvning används oftast en fixtur som håller endast ett föremål åt gången per bearbetningsprocess, där fixturen roteras medan svarvens verktyg hålls stilla. Fixturer vid CNC-fräsning har möjligheten att hålla flera föremål samtidigt per bearbetningsprocess. Vid fräsning så roteras fräsens verktyg medan fixturen hålls stilla.

## 4 Metod

I detta kapitel presenteras metoderna, tankesättet, designen och prototyperna före tillverkningen av fixturerna.

### 4.1 Start

Examensarbetet börjades efter ett möte med handledarna Miguel Cordero och Kenneth Ehrström där vi gick igenom problemet och kom fram till att jag skulle göra två fixturer för ett föremål. Vi gick igenom exempel på tidigare använda fixturer och vi diskuterade kort igenom vilka faktorer man skulle tänka på hos designen av fixturen samt parametrarna.



Jag började direkt tänka på olika designer och hur jag skulle gå till väga. Jag skissade några designer utgående från föremålet och faktorerna. Innan processen påbörjade med att få mina idéer till en verklig prototyp satte jag mig in i teorin kring fixturer och de olika bearbetningsmetoderna samt att jag tänkte på vilka krafter som föremålet utsätts för.

Jag kom fram till att CNC-fräsning är ett bättre alternativ för att bearbeta föremål där man kommer bara att köra längs en yta. CNC-fräsning kan bearbeta flera föremål åt gången, detta möjliggör att man ej behöver starta om programmet och välja nollpunkter samt att man inte blir tvungen montera föremålen lika ofta.

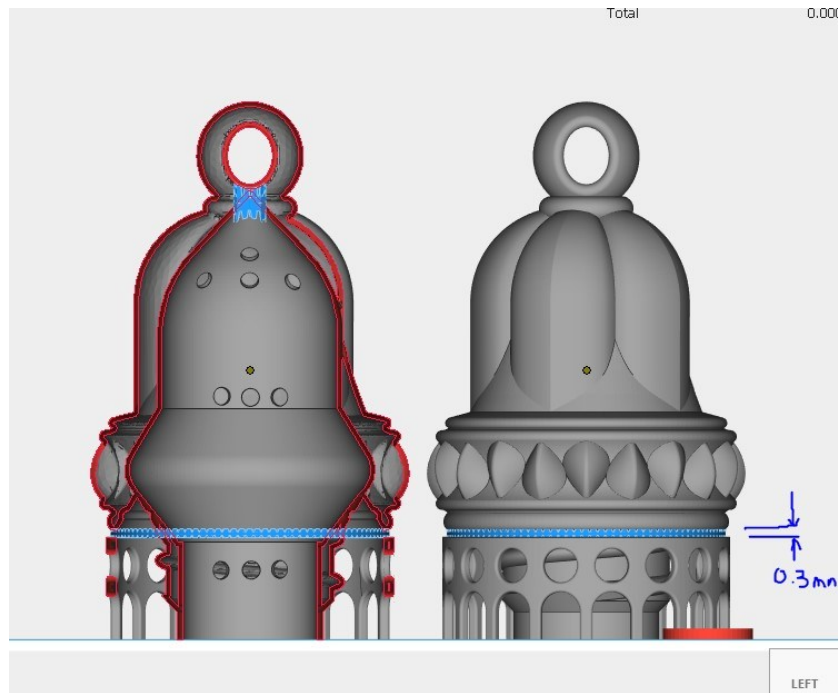
Handledarna gav goda råd och jag kunde fritt på att konstruera en så bra fixtur som möjligt.

## 4.2 Krav

Föremålet som skulle bearbetas kunde delas upp i två delar, där korkens strukturstöd skall avlägsnas i en automatisk bearbetningsprocess medan flaskans strukturstöd skulle bearbetas manuellt. (*figur 8* visar hur föremålet ser ut då korken och flaskan är ihop monterad)

Kravet på korkens fixturdesign var att fixturen skulle hålla fast flera korkar i en CNC-fräsmaskin medan strukturstödet avlägsnas. *Figur 7* visar korkens strukturstöd där man bearbetar strukturstödet med 0,3 mm längd, det övriga strukturstödet kan brytas bort.

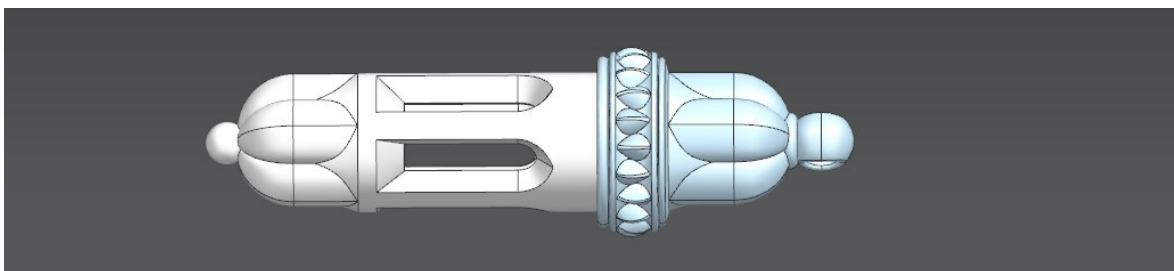
De skulle också kunna stå emot krafterna som de olika verktygen utsätter fixturerna för och så att föremålen inte skadas av självaste fixturerna. Operatören ska också lätt kunna använda fixturerna.



Figur 7. Det 0,3 mm blåa området (höger) skulle bearbetas i en automatisk bearbetningsprocess.

### 4.3 Designerna

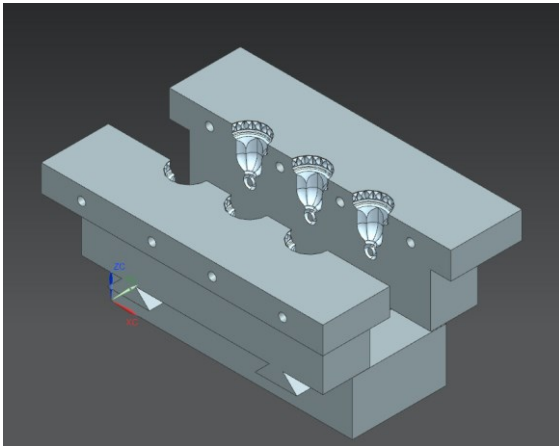
Utgående från kraven i 3.2 samt *figur 8*, så började jag med att skissa fixturerna som skulle hålla korken och flaskan.



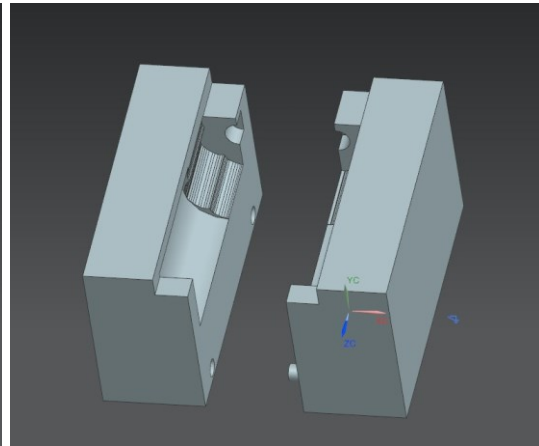
Figur 8. Bild på föremålet man skall använda fixturerna till.

Fixturerna skulle vara lätt att hantera under efterbehandlingsprocessen. I *figur 9 & 10* har man gjort två designar. *Figur 9* kan hålla tre föremål per bearbetningsprocess, här har man gjort att fixturen rör sig längs två spår och har en överhängande kant för att få den på rätt nivå. Man tar hjälp av en extern jigg som håller fast fixturen, till exempel i ett bänkskruvstöd, för att få ett starkare grepp. Man har också iakttagit föremålens geometri så att man kunde designa fixturerna så att den kan montera föremålen på endast ett sätt i

fixturen. Man har även gjort fyra M6-hål i *figur 9*, där man kan lägga till fyra gängade stål-stänger, dessa använder man sig av för att ytligt spänna fast fixturen och föremålen.



*Figur 9. Design 1 (vänster).*



*Figur 10. Design 2 (höger).*

## 4.4 Materialvalet

Materialvalet presenteras under denna rubrik. Materialvalet beror på flera faktorer till exempel att det ska tåla CNC-maskinens värme och den kraft fixturen utsätts för som uppkommer under efterbehandlingsprocessen. Det är också viktigt att fixturerna tål hårda slag.

### 4.4.1 PLA

PLA är ett plastmaterial som används mycket vid 3D-utskrivning av prototyper. Fördelen med PLA är att det billigare och ett mera miljövänligt alternativ jämfört mot andra material. PLA är även snabb att skriva ut och lätt att ta bort ur strukturstödet. Materialet har en relativt hög brottgräns mot vad andra mera vanliga material har. Nackdelen är att materialet är sprött och tål värme sämre. [17]

PLA är inte känt för att vara ett robust material, men styrkan på fixturen kan styras med hjälp av dess tillverkningsprocess. En högre fyllnadsgrad och skikthöjd kan ge en starkare 3D-utskrivna del. [20]

För denna studie är PLA ett bra val att skriva ut designen i, så att man kan se att alla dimensioner är korrekta samt att man kan testa föremålets plats och att den hålls fast i fixturen. Man kommer även att använda PLA till de slutliga fixturerna med rätta inställningar. Med rätt optimering får man en tillräckligt stark fixtur för att hålla föremålet på plats.

## 5 Resultat

Prototyperna spelade en avgörande roll i tillverkningen av de slutliga fixturerna. Därför bestämde jag att använda samma 3D-utskrivare och material som man använde vid prototypstillverkningen. Enligt egna litterära studier och rekommendationer från handledarna och utomstående personer skulle det gå att använda PLA-fixturer för att bearbeta mindre föremål i en CNC-maskin. Ultimaker S5 skrivaren visade sig vara en bra 3D-utskrivare för att skriva ut fixturerna, även dess förmåga att reproducera fixturerna med samma inställningar var bra.

Majoriteten av printerinställningarna förblev samma som vid prototypstillverkningen. Med hjälp av en AA-0,8 mm stor dys och en skikthöjd på 0,2 mm samt en noggrann temperaturkontroll på 200 C° kunde man säkerställa att det använda PLA-materialet smälte och avsattes jämnt under utskriftsprocessen. Detta resulterade i högkvalitativa och pålitliga fixturer som uppfyllde deras avsedda ändamål.

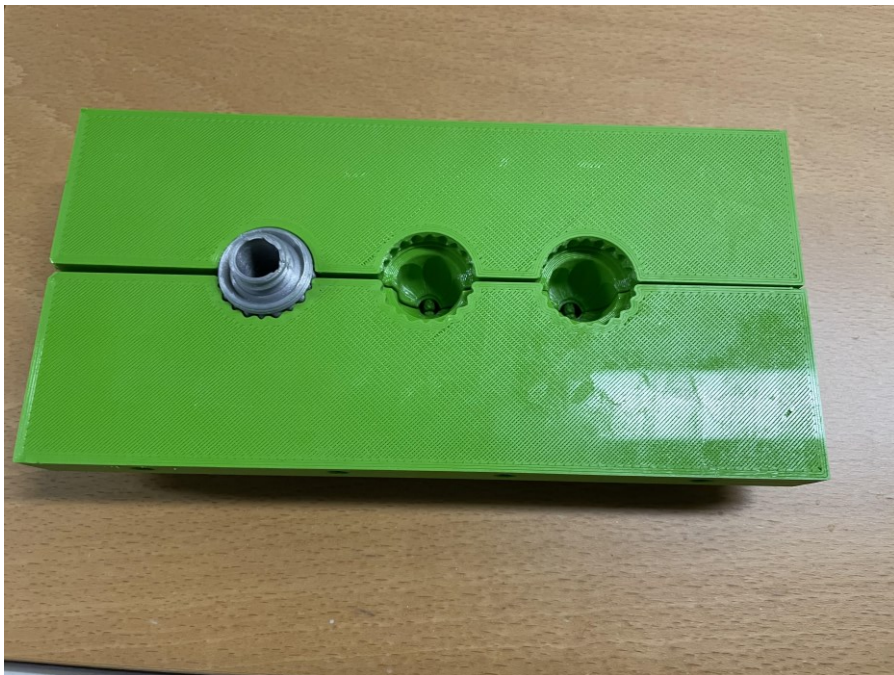
Det är värt att notera att justeringen av storleken på fixturerna, ökning på 3,7% för att passa de slutliga föremålen var en viktig del av framgången av prototypstillverkningen. Detta säkerställde att föremålen passades och fästes bra i fixturerna.

## 5.1 3D-utskrivning i plast, prototyper

Prototyperna gjordes med hjälp av Ultimaker S5 3D-utskrivare. Materialet som användes var PLA.

### 5.1.1 Prototyper fixtur 1, korkhållare

Före man började 3D-utskriva Prototypen för fixtur 1 som skulle användas som bas för i bearbetningsprocessen så ökade man storleken med 3,7 % för att få lite spelrum mellan fixturen och föremålet samt att allt passade. Denna storleksändring togs ifrån då man började med att framställa flertal prototyper med olika storlekar tills föremålen passade i fixturen samt att vid 3D-utskrivning så kan föremålet man 3D-utskriver krympa. 3D-utskrivning gjordes med munstycke-storleken 0,8 mm och man använde sig av grön PLA plast med en diameter på 2,85 mm. Väggtjocklekarna var 2 mm med en 20 % fyllning i triangelmönster. Det tog cirka 7 timmar för 3D-utskrivaren att skriva ut prototypen.



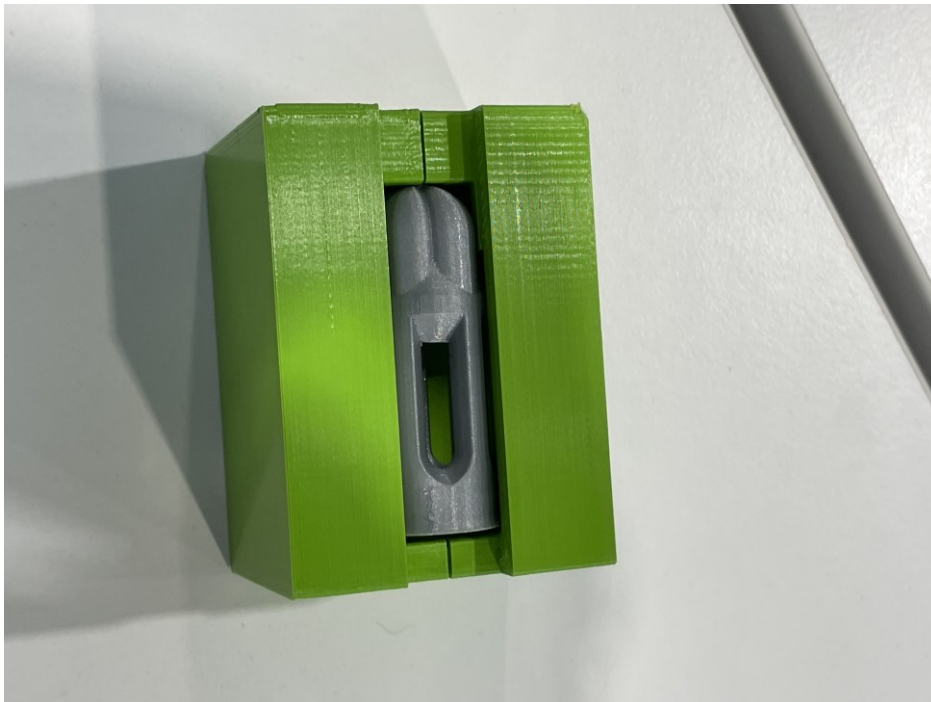
Figur 11. Bild på fixturen som håller korkarna.

### 5.1.2 Prototyper fixtur 2, flaskhållare

Prototyper för fixtur 2 gjordes med samma inställningar som fixtur 1, med undantag av en viss ändring i storlek. hänsyn till vad man iakttog i prototypframställningen av fixtur 1 så ökades prototypens storlek med 3 %. Detta beslut baserades på erfarenheter från Prototyp 1 och de lärdomar som togs från de tidigare 3D-utskrivningarna.

Då man övervägde storleksändringen, måste man balansera mellan att säkerställa att fixturer och prototyper fortfarande passade perfekt och att undvika eventuell överdimensionering som skulle påverka deras effektivitet. Att justera storleken med 3% visade sig vara ett framgångsrikt försök och gav de önskade resultaten.

Själva 3D-utskrivningen av Prototyp 2 gick smidigt, och användningen av PLA-material tillsammans med rätt inställningar resulterade i en tillfredsställande och funktionell prototyp. Det tog cirka 3,5 timmar för 3D-utskrivaren att skapa Prototyp 2.



*Figur 12. Bild på fixturen som håller flaskan.*

### 5.1.3 Prototyp diskussion

Under prototypframställningen ställdes jag inför flera utmaningar som krävde anpassning och justering. Dessa inkluderade ändring av storlek, där jag beslutade att öka prototypernas storlek med 3 % i alla dimensioner för att skapa ett utrymme mellan fixturer och föremål, med tanke på den potentiella krympning som kan uppstå under 3D-utskrivningen.

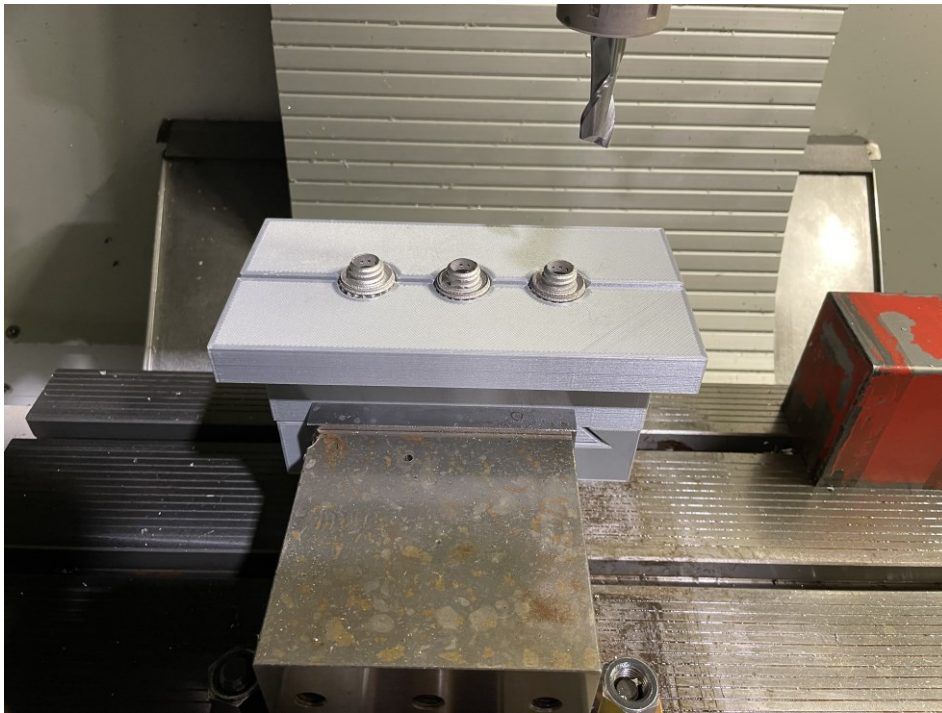
Jag var också tvungen att göra ändringar i modellen för att optimera prototyperna, vilket innebar att jag justerade fixturernas design för att säkerställa deras effektivitet och att allt passade.

En annan utmaning var att prototyperna ibland inte fastnade i 3D-utskrivarens byggbord. Detta var ett återkommande problem under utskriften. Här åtgärdade man problemet genom att använda sig av ett limlager på byggbordet.

Vidare stötte jag på problem med slicern, den programvara som används för att konvertera 3D-modeller till filer som används av 3D-utskrivaren. Det är alltid nödvändigt att justera slicer-inställningarna för att säkerställa korrekt framställning av prototyperna.

## 5.2 Fixtur 1 och test, CNC-fräsen

Fixtur 1 tillverkades med inställningarna som beskrevs i rubrik 4 samt man använde en fyllningsgrad på 50 %. De 3D-utskrivna metallkorkarna monterades i fixturen. Efter detta så placerades fixturesystemet i CNC-fräsen *Figur 13*. Bearbetningen utfördes manuellt med hjälp av CNC-maskinens kontroller, för att testa fixturens styrka. Om några problem uppstod så kunde man manuellt snabbt ändra på CNC-fräsmaskinen. Inläring och hjälp gavs av lektor Leif Backlund.



*Figur 13. Fixturen fastspänd i CNC-fräsen.*

Resultatet av CNC bearbetningen kan ses i *Figur 14*. Här kan man iaktta att man har tagit bort majoriteten av strukturstödet och förenklat bearbetningsprocessen avsevärt, men för mycket material avlägsnades då man körde CNC-fräsen manuellt. Tidigare krävde borttagningen av strukturstöd manuell användning av slipverktyg och filar, vilket inte bara tog mycket tid utan också medförde risker.



*Figur 14. Resultatet av bearbetningen.*



### 5.3 Fixtur 2 och test

Fixtur 2 tillverkades för att hålla fast flaskan. Fixturen hade identiska inställningar som fixtur 1. För att montera fixturen använde man sig av ett vanligt bänkskruvstöd, som man kan se i *Figur 16*. Därefter utförde man manuellt borttagningen av strukturstödet. Denna metod underlättade borttagningen av strukturstödet från det 3D-utskrivna föremålet utan att det behövde göras medan föremålet var fastsatt på 3D-utskrivarens byggbord.



*Figur 15. Manuellt slår bort strukturstödet.*



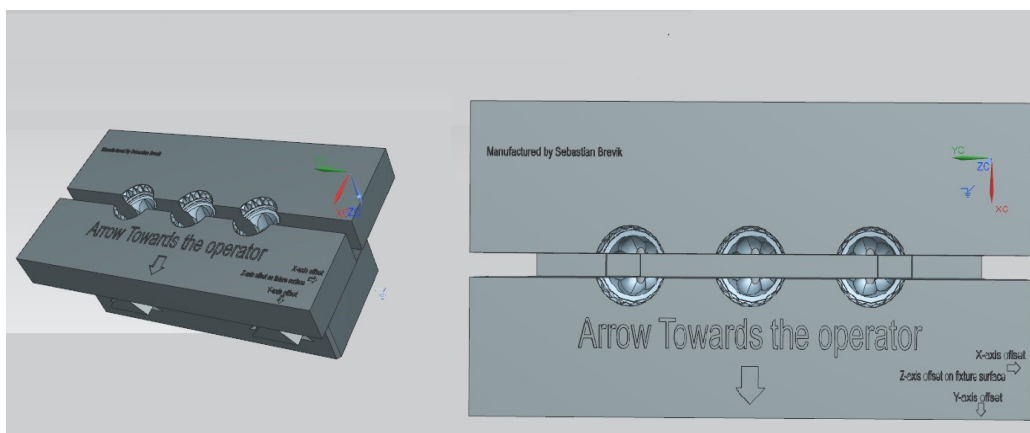
*Figur 16. Borttaget strukturstöd.*

### 5.4 Förbättring av fixtur 1

Efter den första bearbetningen med Fixtur 1 upptäcktes vissa utmaningar, särskilt oönskade vibrationer vid ett av objekten. För att åtgärda detta och förbättra användarupplevelsen överväger jag att göra justeringar. En möjlig åtgärd är att sänka höjden på Fixtur 1 för att öka stabiliteten under bearbetning. Genom att placera fixturen lägre i CNC-maskinens hållare.

I *figur 17* kan man iaktta den omskapade fixtur 1 designen, här har man lagt in pilmarkeringar på Fixtur 1 som är riktad mot operatören och offsetpunkterna. Detta kommer underlätta för operatören att korrekt orientera fixturen och att Z, X, Y-

nollpunkterna visar var man lägger in CNC-maskinens koordinatsystem. Denna justering är särskilt viktig för att underlätta inrättningen av koordinatsystemet med CNC-fräskommandokoder, vilket i sin tur gör programmeringsarbetet mer effektivt. Oavsett vilken position fixturen intar i CNC-maskinens fäste kommer denna förbättring att bidra till en smidigare och mer standardiserad kodningsprocess för bearbetningen.

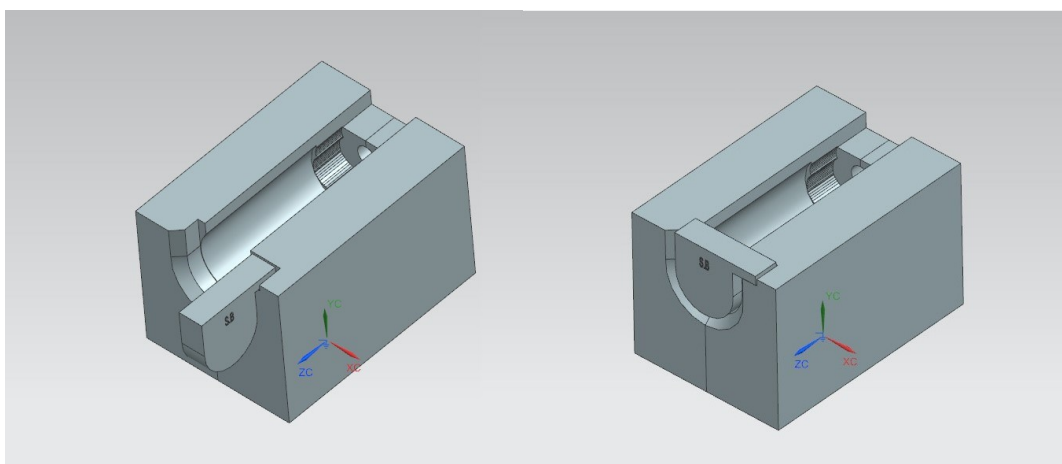


Figur 17. Den omskapade fixtur 1 designen med pilmarkeringar och markerings beskrivning.

## 5.5 Förbättring av fixtur 2

Fixtur 2 fungerade smidigt enligt planerna, men för att ytterligare öka användarvänligheten och effektiviteten så gjordes några förbättringar.

En möjlighet är att införa en integrerad dörrfunktion på Fixtur 2 för att förenkla processen att vända flaskan. Genom att ta bort behovet av att lösgöra fixturen från bänkskruvstödet vid varje rotation, denna förändring kan ses i *figur 18*.



Figur 18. Den omskapade fixtur 2 designen.

## 6 Diskussion

I detta kapitel behandlas olika frågor och egna tankar kring 3D-utskrivning och själva examensarbetet. Information och frågor till diskussionen fick man främst genom teorin. [21], [22]

### 6.1 Resultatdiskussion

I detta avsnitt diskuteras resultaten av det genomförda examensarbetet, där fokus har legat på utvecklingen och användningen av fixturerna för efterbehandlingsprocessen vid metall 3D-utskrivning. Genom att använda 3D-utskrivningsteknik i tillverkningsprocessen har olika aspekter av fixturdesign och dess påverkan på bearbetningen undersökts.

Efter den inledande bearbetningen med Fixtur 1 identifierades specifika utmaningar, inklusive oönskade vibrationer. Genom att överväga höjdnivåjusteringar och ökad dimension har åtgärder diskuterats för att öka fixturens stabilitet under bearbetningen. Särskild uppmärksamhet ägnades åt att införa en tydlig pilmarkering som är riktad mot operatören för att underlätta korrekt orientering och enhetlig programmering av CNC-koden.

Fixtur 2 visade sig fungera enligt förväntningarna, men möjligheter till ytterligare förbättringar identifierades. Diskussionen om att införa en integrerad dörrfunktion för att underlätta rotationen av objektet och optimera verktygshanteringen bidrar till ökad användarvänlighet och effektivitet.

Under framställningen av prototyper användes PLA-material för dess fördelar vid 3D-utskrivning, särskilt dess kostnadseffektivitet och miljövänlighet. Diskussionen betonar hur justeringar i storlek och skikhöjd spelade en avgörande roll för att säkerställa en stark och funktionell fixtur.

## 6.2 Slutord

Syftet med examensarbetet var att undersöka för- och nackdelar med att använda 3D-utskrivna fixturer och jigggar. Under examensarbetet, speciellt vid den praktiska delen, så fick man iakttä att 3D-utskrivning av prototyper är framtiden. Detta särskilt inom industrier där man är tvungen att snabbt kunna ändra på delar och föremål man producerar. Detta sparar in på tid och pengar, detta märkte man då man själv blev tvungen att göra flera versioner av prototyperna. Om man skulle ha gjort detta i till exempel i en CNC-maskin så skulle det ha tagit betydligt längre och blivit mycket dyrare.

Nackdelar med att 3D-utskriva för tillfället kan vara att material som används kan anses exotiskt och väldigt dyrt, till exempel Onyx™ Nylon-fiberkomposit som finns vid Novia kostar över 300 euro per kilogram. Samma gäller 3D-utskrivare som kan skriva ut dessa mera exotiska materialen, till exempel en Markforged skrivare kan kosta mellan 3 000 och 10 000 euro. Detta gör så att många privatpersoner och små företag inte har tillgång till att införskaffa sig de mer avancerade 3D-utskrivare.

## 7 Källförteckning (IEEE)

- [1] I. Gibson, D. W. Rosen och B. Stucker, Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing, Springer, 2015.
- [2] D. Godec, J. Gonzalez-Gutierrez, A. Nordin, E. Pei och J. U. Alcázar, A guide to additive manufacturing, Springer, 2022.
- [3] "researchgate," [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/363501627\\_Introduction\\_to\\_Additive\\_Manufacturing](https://www.researchgate.net/publication/363501627_Introduction_to_Additive_Manufacturing).
- [4] G. Manoj, Metal Additive Manufacturing: A Review, 2018.
- [5] "Strong 3D Printed Fixtures with TITANS of CNC & Markforged," 22 02 2023. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=te7II6BTM1c>. [Använd 19 10 2023].
- [6] "3D Printed CNC Fixtures with TITANS of CNC and Markforged," Markforged, 25 04 2023. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=QSa0YWICl14>. [Använd 19 01 2023].
- [7] "markforged," [Online]. Available: <https://markforged.com/materials/plastics/onyx>. [Använd 18 oktober 2023].
- [8] "indiamart," [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/metal-3d-printers-laser-powder-bed-fusion-21820330448.html>.
- [9] J. O. Milewski, Additive Manufacturing of Metals: From Fundamental Technology to Rocket Nozzles, Medical Implants, and Custom Jewelry, Springer, 2017.
- [10] "3dnatives," [Online]. Available: <https://www.3dnatives.com/en/the-growing-3d-printed-implant-market-090320214/>.
- [11] L. Yang, K. Hsu och G. Lee, Additive Manufacturing of Metals: The Technology, Materials, Design and Production, Springer, 2017.
- [12] "tctmagazine," [Online]. Available: <https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/materialise-e-stage-support-generation-for-metal-3d-printing/>.
- [13] Designing 3D Printed jigs and fixtures, Formlabs.com, 2017.
- [14] "industrialmachinerydigest," [Online]. Available: <https://industrialmachinerydigest.com/wp->

content/uploads/2019/06/FormLabs-designing-jigs-and-fixtures-3d-printing.pdf.

- [15] "plmgroup," [Online]. Available: <https://plmgroup.eu/3d-printing/applications/3d-printing-for-jigs-fixtures/>.
- [16] Krishna, V. Burra och S. Vijay, "Design and Structural Analysis of a Jig-Fixture Assembly for a Tail wing," Blekinge tekniska högskolan, Karlskrona, Sverige, 2017.
- [17] "2021 GUIDE TO 3D PRINTING MATERIALS," MakerBot, 2021.
- [18] P. Smid, CNC programming handbook (second edition), New york: Industrial Press Inc., 2003.
- [19] D. A. Stephenson och J. S. Agapiou, Metal Cutting Theory and Practice Manufacturing, CRC Press, 1997.
- [20] J. O'Connell, "PLA Plastic/Material – The Ultimate Guide," 22 januari 2023. [Online]. Available: <https://all3dp.com/2/what-is-pla-plastic-material-properties/>. [Använd 1 november 2023].
- [21] T. Daya, "Facilitating Sustainable Material Decisions: A Case Study of 3D Printing Materials," University of California, Berkeley, 2017.
- [22] J. O. B. 1, 3. Ana Ferrández-Montero 2, B. F. 2 och J. Y. Pastor, "Characterisation and Modelling of PLA Filaments and Evolution with Time," 2021.
- [23] HEM Guidebook: A Machinist's Guide to Increasing Shop Productivity with High Efficiency Milling, Harvey performance company, 2017.
- [24] Markforged, "Address more manufacturing challenges with composite and metal 3D printing," 2020.
- [25] T. Axom, "fictiv," 08 09 2022. [Online]. Available: <https://www.fictiv.com/articles/3-axis-to-12-axis-cnc-milling-machine-capabilities-comp>.