

**Cirkulär materialanvändning av återvunna polymera  
material inom additivt tillverkade produkter**  
**-Design av möbler och återanvändning med ny design**

Jesper Fredriksson

AVDELNINGEN FÖR PRODUKTUTVECKLING | INSTITUTIONEN FÖR  
DESIGNVETENSKAPER  
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA LTH | LUNDS UNIVERSITET  
2022

EXAMENSARBETE



# Cirkulär materialanvändning av återvunna polymera material inom additivt tillverkade produkter

– Design av möbler och återanvändning med ny design

Jesper Fredriksson



**LUNDS**  
UNIVERSITET

# Cirkulär materialanvändning av återvunna polymera material inom additivt tillverkade produkter

– Design av möbler och återanvändning med ny design

Copyright © 2022 Jesper Fredriksson

*Published by*

Department of Design Sciences  
Faculty of Engineering LTH, Lund University  
P.O. Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden

*Publicerad av*

Institutionen för designvetenskaper  
Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet  
Box 118, 221 00 Lund

Subject: Product Development (MMKM05)

Division: Product development

Supervisor: Per Kristav

Examiner: Axel Nordin

Ämne: produktutveckling (MMKM05)

Avdelning: Produktutveckling

Handledare: Per Kristav

Examinator: Axel Nordin

# Abstract

In this report, two furniture series were designed containing armchair, sofa and coffee table in each as well as wall modules that can be built together. These furniture series and wall modules was to be manufactured through additive manufacturing, also called 3D printing. The furniture is made of thermoplastics so that the material can be easily reused to print new furniture in a new or the same design when the user wants to replace them, and thus create a cycle with the material.

To begin with, a literature study was made to better understand the possibilities of using aids such as construction analysis using FEM or 3D printing methods that can reduce material use and printing time, and a field study to determine the dimensions of which furniture should be designed from.

The two different designs that were created were one made based on a source of inspiration for the design and was made into modules to build together in whatever shape a user wants, and the other designed based on minimizing printing time and material consumption. The wall modules were then designed to match the furniture series and to be able to create several different patterns with the same wall module, depending on how they were oriented.

An armchair and a coffee table from one of the furniture series were printed on a full-size scale and the remaining parts were printed only on a 1:10 scale.

The report presents an estimate of the costs and material consumption for the various pieces of furniture and wall modules depending on different printing settings. Finally, it is compiled what the author came to.

**Keywords:** Furniture, 3D printing, Circular material use, Recycled plastic, Product development

# Sammanfattning

I den här rapporten designas två möbelsier innehållande fåtölj, soffa och soffbord i varje samt väggmoduler som kan byggas samman. Dessa möbelsier samt väggmoduler skall tillverkas genom additiv tillverkning, även kallad 3D-utskrivning. Möblerna görs i termoplaster för att materialet skall enkelt kunna återanvändas till att skriva ut nya möbler i ny eller samma design då användaren vill byta ut dessa, och på så vis skapa ett kretslopp med materialet.

Till att börja med gjordes en litteraturstudie för att bättre förstå möjligheter att använda hjälpmedel så som konstruktionsanalys med hjälp av FEM eller 3D utskrivningsmetoder som kan minska materialanvändande samt utskrivningstid, och en fältstudie för att fastställa måtten på vilka möblerna skall designas utifrån.

Två olika designer på möbelsier skapades, varav en gjord utifrån en inspirationskälla för formgivningen, samt gjordes till moduler att bygga samman i vilken form en användare än vill, samt den andra designad utifrån att minimera utskrivningstid och materialåtgången. Väggmodulerna designades sedan för att matcha möbelsiererna samt kunna skapa flera olika mönster med samma väggmodul, beroende på hur de orienterades.

En fåtölj och ett soffbord från den ena möbelsieren skrevs ut i fullstor skala och resterande delar skrevs enbart ut i 1:10 skala.

I rapporten presenteras en överslagskalkyl av kostnaderna samt materialåtgången för de olika möblerna samt väggmoduler beroende på olika inställningar. Slutligen sammanställs det var författaren kommit fram till.

**Nyckelord:** Möbler, 3D utskrivning, Cirkulär materialanvändning, Återvunnen plast, Produktutveckling

# Förord

Jag skulle vilja börja denna rapport med att tacka de som hjälp mig med detta projekt och har gjort det möjligt att genomföra. Mitt första tack går till Mattias Karlsson, som varit min handledare på företaget, Ecorub AB, och som har gett hjälp och tips genom hela arbetet. Jag vill därefter tacka företaget, och dess medarbetare, jag gjort arbetet på för möjligheten att göra ett arbete samt bistått med utrustning och annan hjälp. Jag vill även tacka de andra jag stött på under arbetets gång från andra företag som har kommit med hjälp, många små bitar av information har kommit från er som gjort slutresultatet möjligt. Ett stort tack även till The Industry som hjälpte till att skriva ut delar av en möbelserie och gjorde på så sätt det möjligt att ha ett riktigt resultat med i arbetet. Sist vill jag tacka handledare och examinator på skolan som ställt upp i dessa roller så jag kunnat genomföra mitt arbete.

Lund, juni 2022

Jesper Fredriksson

## Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Arbetets mål .....	2
1.3 Omfattning och avgränsningar .....	2
2 Metod.....	3
3 Teori .....	4
3.1 3D utskrivning och material .....	4
3.2 Fused granular fabrication.....	5
3.3 Fused deposition modeling.....	7
3.4 Extrudering .....	8
3.5 Fyllnadsmönster .....	9
3.6 Materialen för möblerna .....	10
3.7 Konstruktionsanalys .....	12
4 Fältstudie .....	14
4.1 Hotell.....	14
4.2 Möbelvaruhus.....	14
4.3 Jämförelse hotell och möbelvaruhus .....	15
4.4 Fastställning av basmått .....	15
5 Designkoncept.....	18
5.1 Inspirationsdesigner.....	18
5.2 Design anpassad för 3D utskrivning.....	24
5.3 Vägghöjning .....	32
5.4 Kostnadsanalys.....	34
5.4.1 Inspirationsdesign.....	35
5.4.2 Design anpassad för 3D utskrivning.....	37
5.4.3 Vägghöjning .....	39
6 Resultat .....	40
6.1 Inspirationsdesign.....	40
6.2 Design anpassad för 3D utskrivning.....	43

6.3 Vaggmodul .....	47
6.4 Sammanslagning av designer och vaggmodul.....	50
7 Diskussion .....	52
8 Slutsatser .....	55
9 Framtida arbete.....	56
10 Referenser.....	57
11 Bilagor .....	59
11.1 Bilaga 1.....	59
11.2 Bilaga 2.....	60
11.3 Bilaga 3.....	64
11.4 Bilaga 4.....	70



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Materialanvändningen i världen måste bli mer hållbar för att signifikant bidra till globala FN målen 9 (hållbar industri, innovationer och infrastruktur), 12 (hållbar konsumtion och produktion) och 13 (bekämpa klimatförändringar). Nyproduktion av polymera material som plast och gummi leder till stora mängd utsläpp av koldioxid. Dessa material tillverkas årligen i volymer om 360 miljoner ton och produktionen antas öka flertalet gånger till 2050 <sup>[1]</sup>. Trots detta återvinns kasserade produkter i alltför låg andel till nya produkter i stället för nytillverkning av råmaterial.

EcoRub är ett greentech-bolag som producerar återvunna pellets designade för formsprutning, strängsprutning, 3D-printing och kalandrering. Bolagets återvunna material utvecklas och produceras med materialegenskaper som inrymmer material med gummits elasticitet till styvheten hos hårda plaster. Ecorub är en producent av återvunnet plast- och gummimaterial som möjliggör återvunna alternativ för den cirkulära ekonomin. Med lång erfarenhet och know-how tar sig EcoRub an utmaningen att tillsammans med produkttillverkande industrier och företag lösa problemet med ökad resurskonsumtion och avfall genom en cirkulär affärsidé.

Additiv tillverkning är en relativt ny tillverkningsmetod, jämfört med andra tillverkningsmetoder så som subtraktiv tillverkning, som växer snabbt i flera områden. Första kommersiellt tillgängliga produkten för additiv tillverkning, utvecklades 1987 av 3D Systems, som var en stereolitografimaskin vilken utnyttjade ett flytande UV-känsligt material som stelnades lager för lager med en laser <sup>[2]</sup>. Additiv tillverkning är ett användbart verktyg vid prototypframtagning, tillverkning med litet antal produkter i en serie eller vid komplexa former på produkten som skall tillverkas.

## 1.2 Arbetets mål

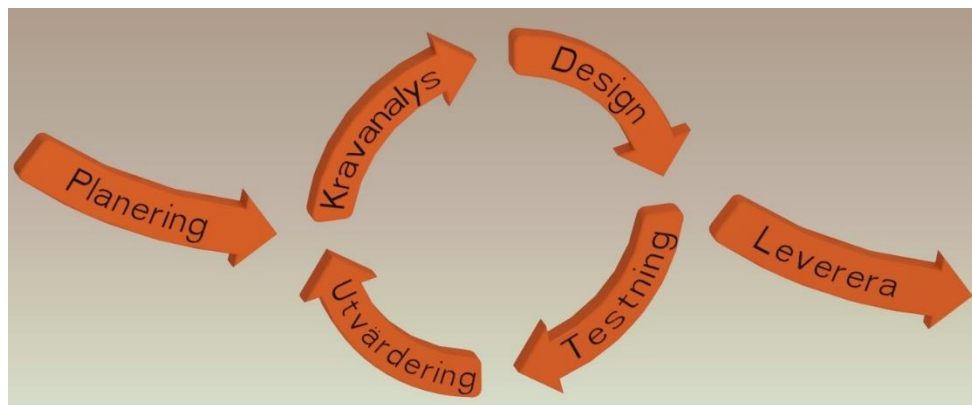
Detta arbete riktar in sig på två möbelsierier tänkta för hotell, väntrum eller andra allmänna utrymmen. Möbelserierna är tänkta att innehålla soffa, fåtölj, soffbord och om tid fanns över väggmoduler som går att använda tillsammans med möbelserierna eller för sig själva. 3D-utskrivning av möbler ger möjligheten att ledtiden från designidéer till att produkten står färdig på plats kan minskas drastiskt kontra andra tillverkningsmetoder. Ännu ett mål är att möblerna skall göra så lite avtryck på miljön som möjligt. Då möblerna tillverkas i termoplast ger även möjligheten att lätt kunna skicka tillbaka en möbel för att kunna malas ner, och sedan skrivas ut igen i en helt ny design och på så sätt skapa en cirkulär materialanvändning som tar mindre på miljön. Ett mål är därför att utnyttja plastmaterial så mycket som möjligt för att förenkla denna process att återvinna/återanvända materialet.

## 1.3 Omfattning och avgränsningar

Arbetet är avgränsat till att materialen som möblerna och väggmodulerna skall produceras i är utvecklat av en annan examensarbetare på företaget vilket gör att materialen är fastställt för detta arbete.

## 2 Metod

Metoden som användes i detta arbete var en version av en iterativ metod, se figur 1. Metoden inleddes med en planering av vilken teori som behövdes läsas in för att kunna utföra arbetet samt vika olika delmoment som skulle genomföras under arbetets gång. Efter planeringsprocessen gjordes ett schema över arbetet, se bilaga 4. Vid varje designkoncept som gjordes påbörjades det med en kravanalys, därefter skapades en design utifrån dessa krav, de testades i olika former som beskrivs i arbetet och slutligen gjordes en utvärdering av den skapade designen. Klarade designen inte utvärderingen på något vis gjordes de fyra stegen om igen, klarade designen utvärderingen gick den vidare för leverans till företaget som en färdig produkt.



**Figur 1: Iterativ metodik som användes i arbetet**

## 3 Teori

En litteraturstudie genomfördes för att få bättre förståelse för hur olika delar av processen fungerar.

### 3.1 3D utskrivning och material

Det finns plaster som används mer än andra vid extrusionsbaserade tekniker då deras materialegenskaper är mer lämpade för dessa tillverkningsmetoder. Exempel på vanliga material vid 3D utskrivning är polylaktid (PLA), Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) samt en glykolmodifierad Polyethylene terephthalate (PETG).

Viktiga egenskaper för plastmaterial som ska 3D skrivas är bra bindning mellan lagerna för att förhindra delaminering på den utskrivna produkten. Polypropen (PP) är ett material som används mycket inom andra tillverkningsmetoder så som formsprutning, men är inte lika vanlig vid 3D utskrivning då den kan ha dålig bindning mellan lagren. En annan materialegenskap som är viktig är att materialet inte deformeras mycket då det kyls och stelnar, det kan skapa problem som att produkten lossnar från utskrivningsytan eller att vissa delar av produkten blir skeva och kan då i vissa sammanhang kanske inte monteras eller användas, vilket kan vara ett problem för PP. Ett annat material som är vanligt vid andra tillverkningsmetoder är polymethyl methacrylate (PMMA), även kallat plexiglas, som är svårt att skriva ut i då det lätt deformeras vid kylningen och stelningen vid utskrivningen. Material som ska skrivas ut med filamentutskrivare i vanliga hushåll är det lämpligt att materialet är resistent till att absorbera fukt. Vid utskrivning med pellets är det enklare att torka materialet innan användning samt läggs i speciella behållare som håller rätt atmosfär för materialet, medan filament oftast är utsatta för atmosfären i rummet där de är<sup>[3]</sup>.

En form av utskrivning som är intressant för detta arbete är metoden vase mode. Vase mode fungerar på så sätt att istället för att skriva ut lager för lager och en infill struktur på det, så skrivs enbart yttre ytan av en 3D modell i en kontinuerlig sträng. Utskriftshuvudet förflyttas i en mjuk rörelse uppåt i z-axeln samtidigt som munstycket följer yttre ytan på modellen. Med denna metod undviks fenomenet med sömmar som skapas vid den punkt där ett lager börjar skrivas ut och avslutas, då produkten skrivs ut lager för lager, se figur 2. Då utskrift med vase mode enbart skriver ut ett yttre lager på modellens yta och ingen infill struktur, går denna metod

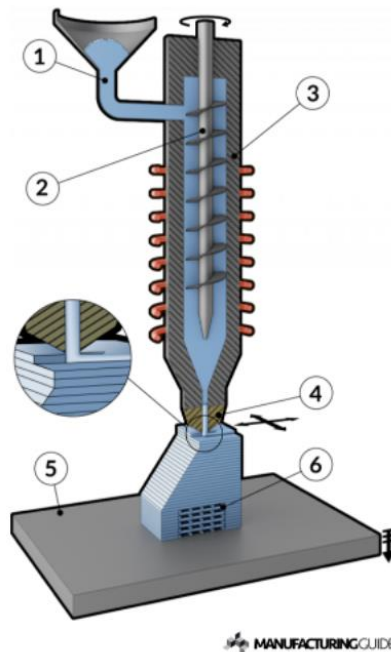
att skriva ut snabbare samt använder mindre material. Det krävs dock att designern tänker på olika faktorer så som utskrivningsriktning, modellens z-axel, samt form för att modellen skall kunna skrivas ut samt hålla för den tänkta lasten.



**Figur 2: Jämförelsebild mellan lager för lager utskrivning till vänster med sömmen som skapas på varje startpunkt för lagret och vase mode utskrivning till höger som saknar sömmen, bild tagen av författaren**

### 3.2 Fused granular fabrication

För produktionen av stora delar, eller hela möbler, kommer en teknik kallad FGF (fused granular fabrication) att användas. Tekniken utgår från granulat, av den plast som skall användas till produkten, som läggs i ett kärl. Granulat är en vanlig form som plast kommer ifrån leverantörer och används även i den vanligare produktionsformen formsprutning som används vid stora produktionsserier. Detta kärl är sedan anslutet till en vertikal extruderingskruv som matar och packar materialet som smälts med hjälp av värmeelement. Smältan pressas genom ett munstycke där diametern och formen på hålet bestämmer flödet tillsammans med extruderingskruvens rotationshastighet. Den utpressade smältan åker ner på utskriftsplattan som kan vara värmd eller inte beroende på material och maskin<sup>[4]</sup>, se figur 3. Med ett större munstycke skapas en högre produktionshastighet men det ger även en sämre ytfinhet, och ett mindre munstycke ger då bättre ytfinhet men längre produktionstid. Detta bland annat på grund av att med större munstycke kommer det både ut mer plast samt har varje lager en högre tjocklek, vilket kräver färre lager för att skriva ut en produkt. Med större munstycke blir det tjockare strängar vilka håller värmen längre, vilket kan påverka olika inställningar på maskinen.



**Figur 3: FGF skrivare, (1) kärl, (2) Extruderingskruv, (3) Cylinder med värmeelement, (4) Munstycke, (5) utskriftsplatta, (6) stödstruktur som håller upp överhäng <sup>[4]</sup>**

Smältan pressas ut genom munstycket i en konstant hastighet och skapar ett lager med tvärsnittet av den slutgiltiga produkten vid den specifika höjden. När ett tvärsnitt är färdigt sänks plattformen ett steg och nästa lager läggs på. Detta repeteras tills hela produkten byggts upp i flertalet lager. Om det finns delar med överhäng är det nödvändigt att skapa en stödstruktur som kan hålla upp materialet. Överhäng finns på de punkter där vinkeln på produkten är för hög, exempelvis ett hål i produkten, se figur 3. Överhäng skapar då ett behov av efterbearbetning när utskriften är färdig då stödstrukturen måste avlägsnas.

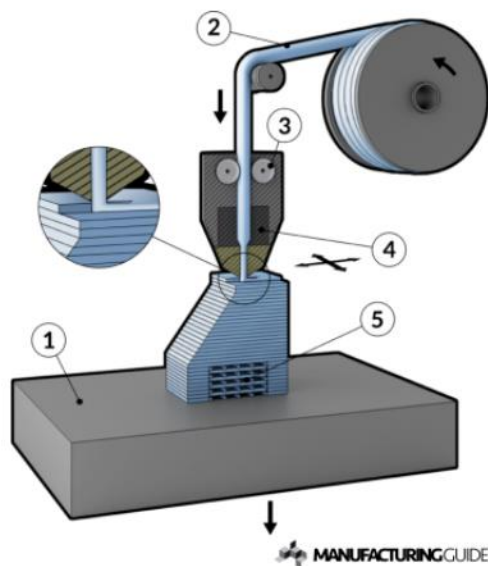
Fördelen med FGF är att munstycket och flödes hastigheten kan vara relativt stort, jämfört med andra former av 3D-utskrivning av plaster, då en kontinuerlig smälta skapas av granulat och flödes hastigheten kan ändras med extruderingskruvens rotations hastighet. En annan fördel med FGF är att då granulaten börjar ta slut är det bara att fylla på kärlet, samt är granulat billigare än filament då det kräver mindre arbete för att skapa. FGF maskinerna som är tillgängliga för detta arbete för att skriva ut de storskaliga möblerna var en Magnum som är skapad av The Industry. Den har möjligheten att använda 2-8mm i diameter stora munstycken samt skriva ut produkter upp till 2,16m<sup>3</sup> med dimensionen 1,5x1,2x1,2m.

Då detta arbete handlar om att tillverka möbler och sedan kunna återanvända samma material för att återskapa möbelen om den blir för sliten eller om designen skall ändra, fungerar FGF tillverkningsmetoden extra bra. Då kunden skickar tillbaka

möbeln mals denna ner och görs till nya granulat enklare än att göras om till nytt filament. Då materialet inte kan malas ner och återanvändas ett oändligt antal gånger, upp till sju gånger som tumregel, är det även mer skonsamt för materialets integritet att ha mindre steg vid återanvändningen <sup>[5]</sup>.

### 3.3 Fused deposition modeling

För produktionen av små detaljer, så som prototyper eller andra detaljer, kommer en teknik kallad för FDM (fused deposition modeling) att användas. Precis som FDM tekniken som beskrivs ovan så går tekniken ut på att skapa en färdig produkt genom att tillverka lager för lager. Största skillnaden mellan FDM och FGF är att här används filament av den valda plasten istället för granulat. Ett filament som kommer på en rulle matas genom motoriserade rullar ner till ett upphettat munstycke. Rullarna pressar filamentet mot värmeblocket och munstycket vilket gör att det smälter och skapar på så sätt smältan som byggs upp lager för lager <sup>[6]</sup>, se figur 4.



**Figur 4: FDM skrivare, (1) utskriftsplatta, (2) filament, (3) rullar, (4) värmeblock samt munstycke, (5) stödstruktur <sup>[6]</sup>**

Då denna tillverkningsmetod använder sig av ett filament som behöver kunna böjas betyder det att den inte kan vara hur tjock som helst. Det böjs på rullen det kommer på samt sedan för att komma ner till munstycket. Ett för tjockt filament hade varit både för kraftfullt, samt kunna knäckas vid rullning och upprullning och därmed kan inte munstycket och flödes hastigheten vara lika stor som i FGF. FDM hade

därför varit svårt att använda vid produktion av stora produkter med avseende på produktionstiden. Ett annat problem vid produktion av stora delar hade varit storleken på spolarna med filament som hade krävts eller mängden spolar, vilket hade gjort bytet svårt antingen på grund av storleken eller antalet gånger de behövts bytas under en produktion. Vanliga tjocklekar på filament är 1,75mm eller 2,85mm <sup>[7]</sup>, där 1,75mm är den vanligare. Samt de vanligaste munstyckesdiametrarna ligger mellan 0,2–0,8mm.

Skrivaren som användes för att skriva ut prototyperna i liten skala var en Creality CR-6 SE, se figur 5. Vid utskrifterna av prototyper som gjorts i arbetet har PLA material använts mest då vidhäftningen på utskriftsplattan var bättre. Därav behövdes inte att skrivaren var under konstant uppsikt vid utskrifterna som gjordes.



Figur 5: Creality CR-6 SE skrivare <sup>[8]</sup>

### 3.4 Extrudering

Extrudering är en tillverkningsmetod för att tillverka föremål med ett visst tvärsnitt längs med hela produkten. Det är en välanvänd tillverkningsmetod som används för att tillverka allt från stålrör med olika profiler, avloppsrör i plast till pasta. Materialet pressas ut genom en form med öppningen formad som det tvärsnitt man är ute efter, se figur 6 för exempel på form. Processen kan genomföras varmt eller kallt beroende på olika faktorer, så som kallextrudering ger bättre ytfinhet och hårdare material om det handlar om metaller pga. kallbearbetningen som sker.





Figur 6: Exempel på en extruderingsform för en aluminiumprofil <sup>[9]</sup>

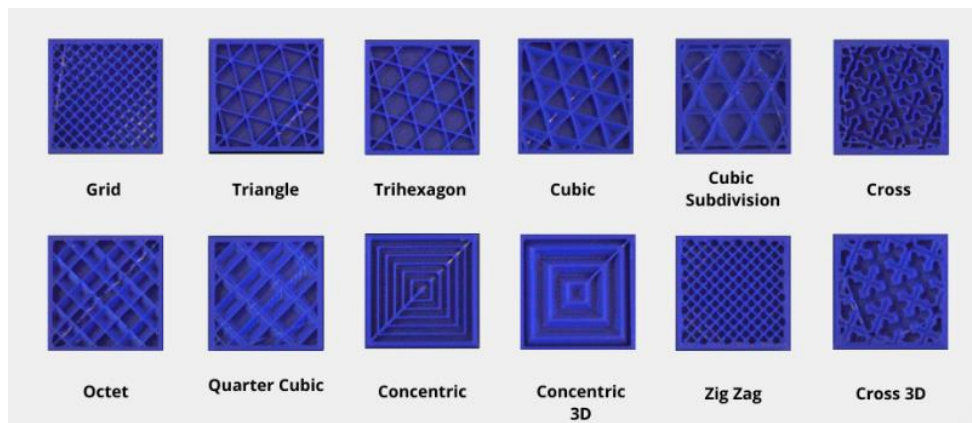
FGF och FDM teknikerna använder båda en extruder i sin process för att gå från råmaterialet, filament eller granulat, till den cirkulära sträng som bygger produkten. I respektive kapitel för FGF samt FDM beskrivs uppbyggnaden för respektive extruder.

Då plast extruderas kan det bli en del defekter i materialet som kan påverka dess hållfasthet. Vid extrudering kan en viss orientering av molekylerna ske i materialet vilket kan skapa en skillnad i materialegenskaper i dragriktningen och i tvärgående riktning. Problem kan uppstå med fångad luft om extrudern är för kort eller om materialet extruderas för fort. Eventuella luftbubblor i materialet, eller mellan strängarna vid 3D utskrivning, kan påverka materialets egenskaper även det. För att bli av med luftbubblor går det att höja temperaturen på både extrudern och därmed plasten samt sänka hastigheten. Höjs temperaturen för mycket kan det istället bli problem med materialdegradering som påverkar hur många gånger det går att återvinna materialet samtidigt som det påverkar materialegenskaper <sup>[10]</sup>.

### 3.5 Fyllnadsmönster

Vid vanliga tillverkningsmetoder som subtraktiv tillverkning eller gjutning blir materialet helt solid, om det inte används olika profiler som sätts samman eller det skapas ett stort hålrum i hela produkten. Det kan betyda att produkten blir antingen väldigt tung om man vill ha en viss dimension på den eller att den inte har tillräcklig hållfasthet utan någon fyllnadsstruktur utan enbart ett skal. Additiv tillverkning skapar möjligheten att ha olika fyllnadsgrad i produkten, vilket kan dra ner totalvikten mycket, men även att behålla tillräcklig hållfasthet. Det går då även att bestämma ett visst mönster som detta fyllnadsmaterial skall ha, vilket kan vara olika bra för olika lastförhållanden. Fyllnadsmönstret är även viktigt vid 3D utskrivning

då modellen byggs lager för lager. Skall till exempel en kub skrivas ut blir det problem när översta lagren skall skrivas ut då strängarna ej har något att vila på när munstycket går över tomrummet. Med en fyllnadsstruktur har strängarna något att vila på när det översta lagret skall byggas från sidovägg till sidovägg i kuben, för vanliga fyllnadsmonster se figur 7.



Figur 7: Tvärsnitt på olika former av ifyllnadsstrukturer <sup>[11]</sup>

### 3.6 Materialen för möblerna

Materialen framtagna för att användas i detta arbete är gjorda som ett separat examensarbete på företaget av Nagendra <sup>[12]</sup> som även utfört samtliga materialtester som presenteras nedan.

Första materialet är ett PETG baserat material innehållande återvunnet gummi. Detta material kommer enbart att vara tillgängligt i svart då det innehåller återvunnet gummi. Provet som gjordes för att få fram lämpliga materialdata var ett dragprov, se figur 8 för de utskrivna provstavarna som användes i testerna.



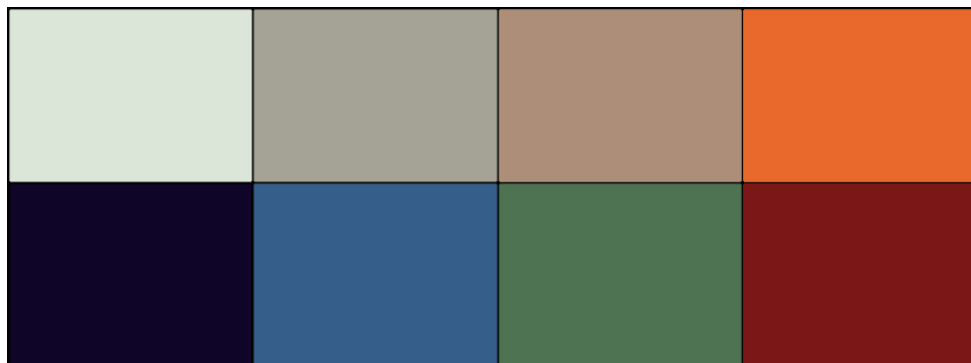
Figur 8: Provstav för tester av materialegenskaper vid dragprov

I tabell 1 visas de materialdata som togs fram ur testerna för första materialet.

**Tabell 1: Materialdata för det hårdare materialet**

<i>Elasticitetsmodul</i>	1680 MPa
<i>Sträckgräns</i>	32 MPa
<i>Töjning vid brott</i>	7,6%

Det andra materialet är ett PP baserat material med tillsatser som gör materialet anpassat för utskrivning. Detta material är mjukare än det som presenterats ovan men är möjligt att färga i olika färger. En enkel färgpalett togs fram av författaren som ett exempel på vilka färger som materialet skulle kunna göras i. Färgpaletten är inspirerad av höstliga färger med mjuk ton för att enklare kunna smälta in olika rum där möblerna kan användas samt att möbels design skall komma i fokus och inte enbart färgen i sig, se figur 9.



**Figur 9: Färgpalettsexempel framtagen av författaren för det mjukare materialet**

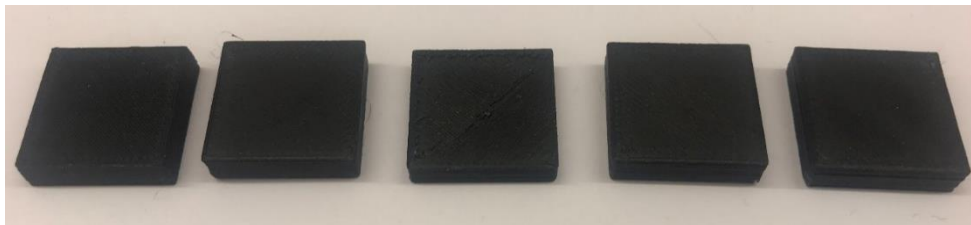
Materialegenskaperna visas i tabell 2 och är ett mycket mjukare material.

**Tabell 2: Materialdata för det mjukare materialet**

<i>Elasticitetsmodul</i>	350 MPa
<i>Sträckgräns</i>	7 MPa
<i>Töjning vid brott</i>	60%

Tester på det hårdare PETG materialet gjordes för att kontrollera hur många gånger det går att återanvända innan det blivit för degraderat. En återvinningscykel innebar att granulat extruderades i en 200°C dubbelskriv extruder, gjordes om till granulat igen och gjordes i ett visst antal cykler. När ett visst antal cykler gjorts skapades ett filament av materialet som sedan printades ut till provbitar för de olika testerna, se figur 10. Testerna som gjordes efter varje återvinningscykel var slagåtlighetstest, hårdhetstest samt smältflöde för att se hur dessa parametrar ändrades efter varje

cykel och på så sätt bestämma när materialet var för degraderat. Upp till 9 cykler genomfördes där materialet visade ett lite sprödare beteende, men annars låga ändringar i parametervärden. Det hårdare materialet blev därför satt till att kunna återvinnas minst 9 gånger.



Figur 10: Provbitar som användes vid test av materialegenskaper på återvinningstestet

### 3.7 Konstruktionsanalys

En litteraturstudie gjordes för att kontrollera möjligheten att använda sig av datorbaserad konstruktionsanalys av de koncept som blir till digitala 3d modeller. De studier som gjorts på 3d utskrivna plast visar alla att det är svårt att göra exakta modeller av hur materialet beter sig då det inte blir helt isotropt i sina materialegenskaper, till exempel olika egenskaper i olika riktningar beroende på hur lagerna byggs. En del av detta beror bland annat på små luftbubblor som kan hamna mellan lagerna och i varje sträng då materialet fäster på det tidigare utskrivna materialet. Detta påverkar även om en CAD modell görs av produkten och sedan räknar ut massan genom programmet, den färdigutskrivna produkten kommer med stor sannolikhet ha lägre massa än beräknat. Testerna som gjorts av Ozcanli på Coventry University visar dock att den utskrivna prototypen visar bättre mekaniska egenskaper vid experiment på den färdigutskrivna detaljen, utskrivna med en FDM skrivare, jämfört med FEM analysen som görs i datorn. Det kan betyda att en FEM analys kan, trots problem med anisotropitet i materialet, användas för att kontrollera om en design kommer klara av rätt laster i fysiska utskrivna detaljer <sup>[13]</sup>.

Effekten på detaljens hållfasthet på grund av fyllningsintällningar, fyllnadsgrad och fyllnadsmönster, blir mindre då detaljen som utsätts för last blir mindre <sup>[14]</sup>. Det betyder att fyllningsinställningarna kan komma att spela stor roll i den slutliga produktens design, på grund av deras storlek. Att hitta rätt fyllnadsmönster kan då vara viktigt för att möblerna skall hålla för användning, vilket betyder att FEM analyser av olika fyllnadsmönster kan ge bra indikation på hur det slutgiltiga mönstret skall se ut för de olika produkterna som skapas. Testerna som Abbot, Kallon, Anghel och Dube gjort på kompression med olika fyllnadsmönster och fyllnadsgrader påvisar dock att FEM analyser och verkliga tester inte påvisar i närheten av liknande resultat. Vilket påverkar möjligheten negativt att göra konstruktionsanalyser med olika fyllnadsmönster för detta arbete som skulle ge

relevanta resultat. De vanliga ISO standardtesterna, som dragtest, kompressionstest och böjtester, som görs för material för att kunna skapa bra modeller för deras mekaniska egenskaper verkar inte heller vara tillräckliga i fallet med 3D utskrivet material <sup>[14]</sup>.

## 4 Fältstudie

En fältstudie utfördes på olika hotell för att få bättre överblick på hur designen av möbler ser ut, olika mått och vanliga möbelarrangemang. Hotell valdes att användas för fältstudien, trots designerna är tänkta att kunna användas i fler allmänna utrymmen, då utbudet av hotell var stort kring det geografiska område arbetet utförts på. Måtten från denna studie jämfördes även med olika mått ifrån möbler som finns på de större varuhusen inriktade på möbler i Sverige, för att se om det är någon skillnad mellan dessa. Målet med fältstudien var att kunna sätta parametrar att förhålla sig till vid designen i form av standardmått.

### 4.1 Hotell

Ett antal hotell, både hotellkedjor samt privatägda, besöktes där mätningar av möbler som stod i både entrén samt i enskilda hotellrum gjordes. Hotellen som besöktes valdes ut på grund av deras geografiska läge samt tillåtelse att få göra mätningar som gavs vid besöken. På varje hotell gavs tillgång till mellan 1–3 hotellrum samt de flesta entréer. I Bilaga 1 finns vilka mätningar som gjordes på de olika hotellen och nedan de slutsatser som drogs utifrån studien. De frågor som kräver en viss känsla, t. ex om armstödshöjden är bekväm, användes författarens eget tycke som referens.

### 4.2 Möbelvaruhus

För att få en bred syn på ett stort antal möbler samt få fram standardmått som sedan kunde användas i designen för detta arbete, gjordes en studie på möbler från några de mer välkända varuhusen i landet. Studien utfördes med hjälp av hemsidorna för vardera företag, där hela sortimenten gick igenom samt de viktigaste måtten antecknades i ett dokument. I tabell 3 visas en sammanställning av de mått som tagits fram från varuhusens hemsidor på samtliga möbler med mått utsatta. I bilaga 2 visas de olika mätningarna i form av plottar. Varuhusens hemsidor hade en väldig variation vilka mått som fanns med och inte, vilket även varierade även i ett enskilt varuhus utbud av samma sorts möbel.

**Tabell 3: Sammanslagen data från de olika varuhusens olika mått på möbler**

<i>Typ av mått</i>	<i>Antal mätdata</i>	<i>Variation [cm]</i>	<i>Medelvärde [cm]</i>	<i>Vanligaste värde [cm]</i>
<i>Soffbord höjd</i>	145	30–55	46,2	45 (40 förekomster)
<i>Fåtölj sitthöjd</i>	71	31–51	44,3	45 (16 förekomster)
<i>Fåtölj sittedjup</i>	36	45–70	54,5	54 (7 förekomster)
<i>Fåtölj ryggstödshöjd</i>	70	24–74	44,5	37 (6 förekomster)
<i>2-sits soffa sitthöjd</i>	62	38–49	45	45 (12 förekomster)
<i>2-sits soffa sittedjup</i>	36	49–100	61,6	60 (5 förekomster)
<i>2-sits soffa sittbredd</i>	12	122–186	149,3	140 (3 förekomster)
<i>2-sits soffa ryggstödshöjd</i>	33	26–50	37,4	37 (6 förekomster)

### 4.3 Jämförelse hotell och möbelvaruhus

En fråga som ställdes av författaren var ifall det finns någon skillnad på måtten på de möbler som köps av privatpersoner på de vanliga varuhusen, och de som går att hitta på mer allmänna utrymmen så som hotell. I kapitlen ovan finns de värden som fanns tillgängliga på varuhusens hemsidor. Under fältstudien på hotellen upptäcktes det fort att värdena på möblernas mått var väldigt lika de som hittades på varuhusens hemsidor, så ingen sammanställning gjordes på dessa värden från hotellkedjorna i rapporten. Mätningarna på hotell gav dock värden på mått som var svåra att få tag på genom möbelspecifikationer på varuhusens hemsidor, som till exempel armstödshöjder eller vinkel på ryggstöd och sits, se fastställda mått i kapitel 2.3. Värden för storlek på bordsskivan togs inte från varuhusens hemsidor då variationen på form och storlek var så pass stor att inga slutsatser kunde dras från det. Mätningar på hotellen gav liknande resultat att storleken på bordsskivan är väldigt olika.

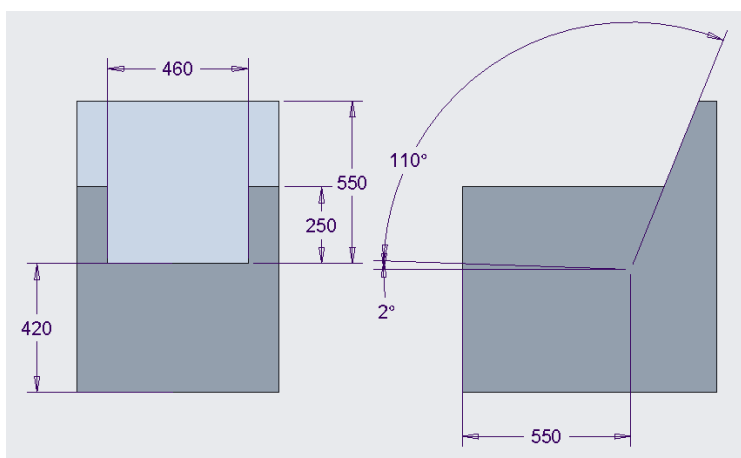
### 4.4 Fastställning av basmått

Utifrån de studier som gjorts på plats med möbler och genom hemsidor bestämdes det vilka mått som skall gälla på de möblerna som designas i detta arbete. I tabell 4 nedan visas de mått som fastställdes för möblerserierna.

**Tabell 4: Fastställda basmått för möblerna ingående i möbelserien**

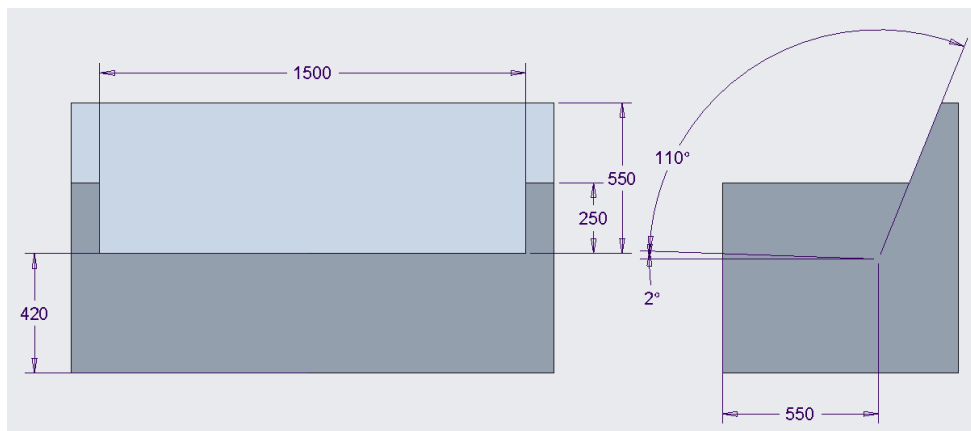
<i>Soffbord höjd</i>	450 mm
<i>Fåtölj sitthöjd</i>	420 mm
<i>Fåtölj sittedjup</i>	550 mm
<i>Fåtölj sittbredd</i>	460 mm
<i>Fåtölj ryggstödshöjd</i>	550 mm
<i>2-sits soffa sitthöjd</i>	420 mm
<i>2-sits soffa sittedjup</i>	550 mm
<i>2-sits soffa sittbredd</i>	1500 mm
<i>2-sits soffa ryggstödshöjd</i>	550 mm
<i>Armstödshöjd soffa och fåtölj</i>	250 mm
<i>Sittvinkel</i>	2°
<i>Ryggstödsvinkel</i>	110°

I figur 11–12 nedan visas de stora måtten i enklare skisser på de olika möbeltyperna som ingår i möbelserien.



**Figur 11: fastställda basmått för fåtölj**





**Figur 12: Fastställda basmått för soffa**

Höjden på soffbord valdes med avseende på den vanligaste höjden bland de soffbord som finns på marknaden samt visades vara vanligast även på fältstudien. Sitthöjden på fåtöljen och soffan valdes till något lägre än de vanligaste sitthöjderna enligt marknaden som finns samt fältstudien. Det gjordes då de flesta möblerna har en mjuk sittyta där man sjunker ner några centimeter när man sätter sig ner. Att göra sitthöjden lägre öppnas möjligheten att även lägga till en tunn kudde som gör sitsen och ryggstödet skönare eller en kudde som är så pass mjuk att man sjunker ner tillräckligt mycket. Möblerna som designas kommer till att designas utan en mjuk sittyta då det försvårar återanvändningen av materialet, men möjligheten finns fortfarande att lägga till. Sittdjupet valdes utifrån det vanligaste även det, samt ryggstödhöjden lika så för fåtöljen. Ryggstödhöjden för soffan valdes till samma som fåtöljen trots det inte var den vanligaste höjden bland ryggstöden på soffor, eftersom fåtölj och soffa skall ingå i samma serie och att ha samma ryggstödhöjd gjorde det enklare få ihop en matchande form för de båda. Sittbredden på fåtöljen valdes utifrån mätningar som gjorts på möbler som mättes under fältstudien på hotell då information om detta ej var tillgängligt på varuhusens sidor. Soffans sittbredd valdes utifrån både mätningar på varuhuset samt de från hotellen, där valdes medelvärdet som ett lämpligt värde. Armstödhöjden valdes utifrån de mätningar som gjorts på hotellmöbler då även detta mått inte finns på varuhusens sidor, samt det som enligt författaren var bekvämast. Sittvinkel samt ryggstödsvinkeln på både soffa och fåtölj valdes utifrån de mätningar som gjordes på hotellmöbler, där samtliga möbler hade liknande vinklar. Ryggstödsvinkeln valdes till det övre värdet av de uppmätta då även här kommer det inte vara någon inbyggd eller tillhörande mjuk kudde som en användare sjunker in i. De möbler med hårdast ryggstöd hade i snitt lite högre vinkel än de med mjuka kuddar.

# 5 Designkoncept

CAD designerna gjordes allihop i CREO Parametric samt renderingar av dessa. Konstruktionsanalyser gjordes allihop i ANSYS Workbench. Samtliga första designer skapades direkt i CAD utifrån författarens mentala bilder.

## 5.1 Inspirationsdesigner

De olika iterationerna som presenteras nedan skrevs ut i liten skala för att kontrollera olika parametrar som bestämmer hur bra designen klarar fullskalig utskrift, med hänsyn på till exempel överhänget då de skrivs ut utan stödstruktur. Kontrollerna som gjordes var optiska kontroller på de utskrivna detaljerna. Det kontrollerades även hållfastheten på detaljerna för att hitta eventuella svaga punkter. Testerna i form av enklare trycktester med händerna i olika riktningar samt speciellt hög last i sits och ryggstöd.

Första designen som designades var soffbordet då inspirationen för denna serie kom ifrån ett konstverk uppe på Lernacken i Malmö, se figur 13–14.

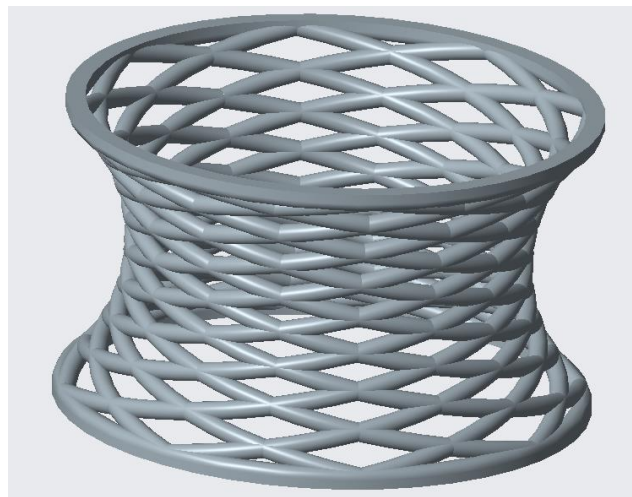


**Figur 13: Spiralkonstverket på Lernacken i Malmö**



**Figur 14: Insidan av spiralkonstverket på Lernacken i Malmö**

Med inspirationskällan gjordes en design för ett underrede till ett soffbord med tanken att ha en bordskiva i valfritt utförande, allt från en stenskiva, glasskiva eller en utskrivna skiva, se figur 15.



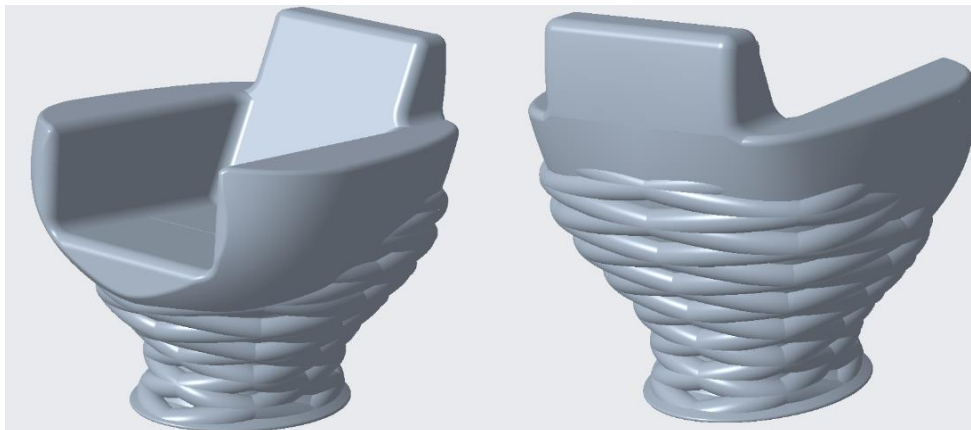
**Figur 15: Första iterationen underrede till bord inspirerat av spiralen på Lernacken i Malmö**

Designen för soffbordet lades åt sidan för att påbörja designen av fåtöljen. Idén med en spiral som håller upp en bordskiva gav tanken att det skulle gå vidare i fåtöljen, en spiraldesign som håller upppe sitsen. Till att börja med formgavs sitsen med ryggstöd och armstöd samt foten nere i marken. Designen skapades först med att definiera dess sittyta och ryggstöd. Ytor skapades bit för bit runt dessa för att få ett mjukt utseende som sedan sattes samman och skapade den solida kroppen, se figur 16.



**Figur 16: Grundformen på övre delen fåtöljen samt dess fot**

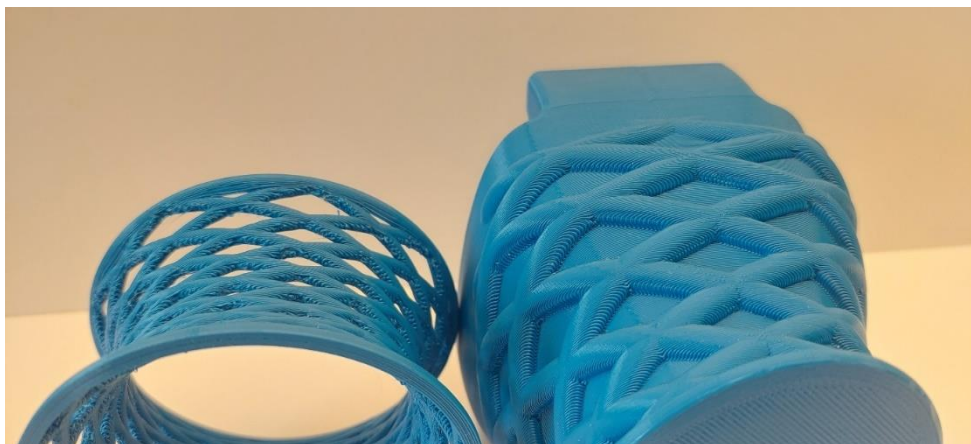
När utseendet på fåtöljens sitt del samt basen blivit färdigställd återstod det att lägga till spiraldesignen som skulle sitta här emellan. Spiraler lades till längs en yta mellan dessa två delar för att följa de mjuka formerna som tagits fram. Då det hade krävts en stor del av stödstruktur i mitten av fåtöljen innanför spiralerna som hade varit svår att få ut samt kunnat förstöra ytförhållanden, valdes det att fylla igen utrymmet innanför spiralerna, se figur 17.



**Figur 17: Första iterationen på spiralmönster mellan övre delen och foten**

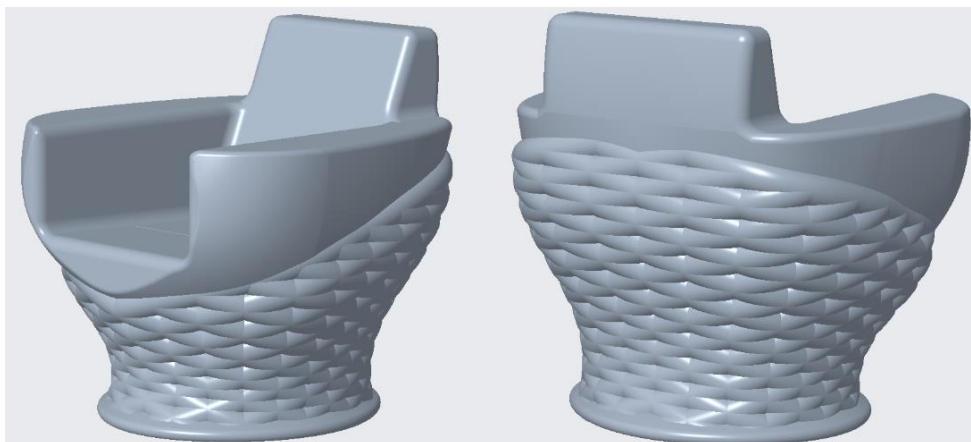
När det i arbetet fanns tillgängligt att skriva ut i liten skala testades dessa designar på fåtölj samt soffbord. Det visade sig att ovansidan av hålen i spiralstrukturen skapade för mycket överhäng som skapade en ful utskrift, se figur 18. Samt visade

det sig att basen var för liten vilket hade kunnat leda till att möbeln tippade om någon skulle sätta sig på främre delen enbart av fåtöljen.



**Figur 18: Utskrifter i liten skala som visar ett exempel på designproblem för utskrift**

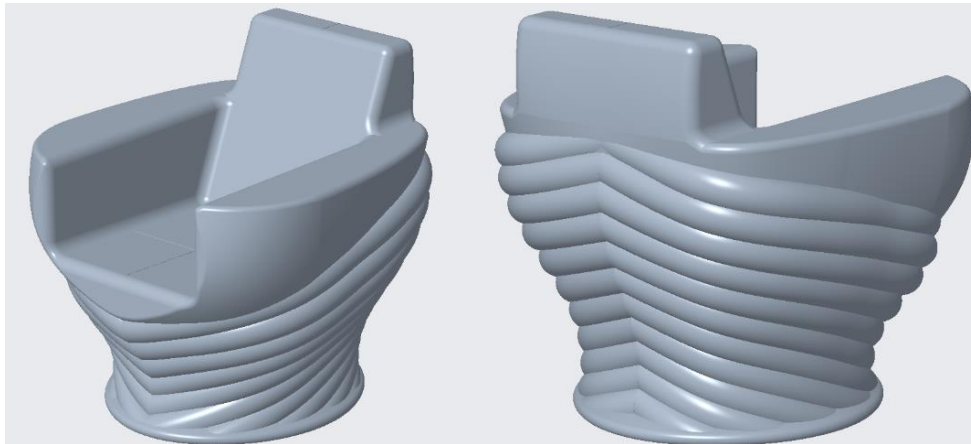
Då fåtöljen hade samma problem som soffbordet med dålig utskrivbarhet samt ett problem till så var det fåtöljen som gjordes om och fick när den var färdigställd vara inspirationen till det slutgiltiga soffbordet. Designen valdes då att förfinas genom att göra spiralerna tätare samt tjockare samt basen på fåtöljen gjordes större, se figur 19.



**Figur 19: En iteration av spiralmönstret mellan övre del och fot**

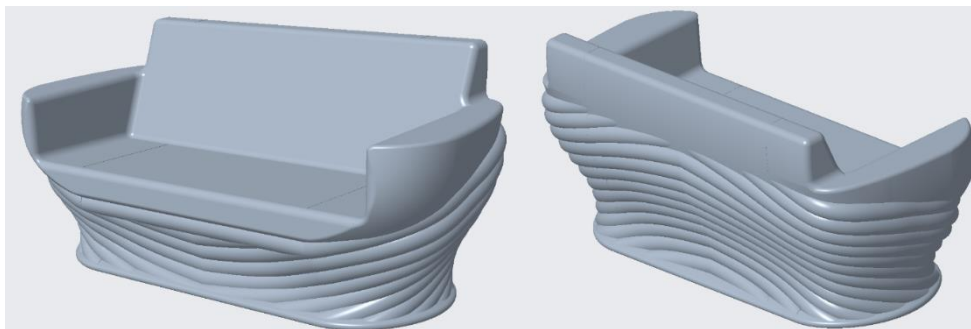
Designen på fåtöljen blev, då den testades att skrivas ut i liten skala, mer stabil och riskerade ej att trilla om tyngd lades på framkanten av sitsen. Spiralmönstret blev dock för mycket enligt författaren och förlorade sitt mjuka utseende vilket gjorde att spiralmönstret ej passade med resterande delen av möbeln. För att skapa ett mjukare utseende på spiralerna bestämdes det att de enbart skulle gå i en riktning och inte korsa varandra, se figur 20.





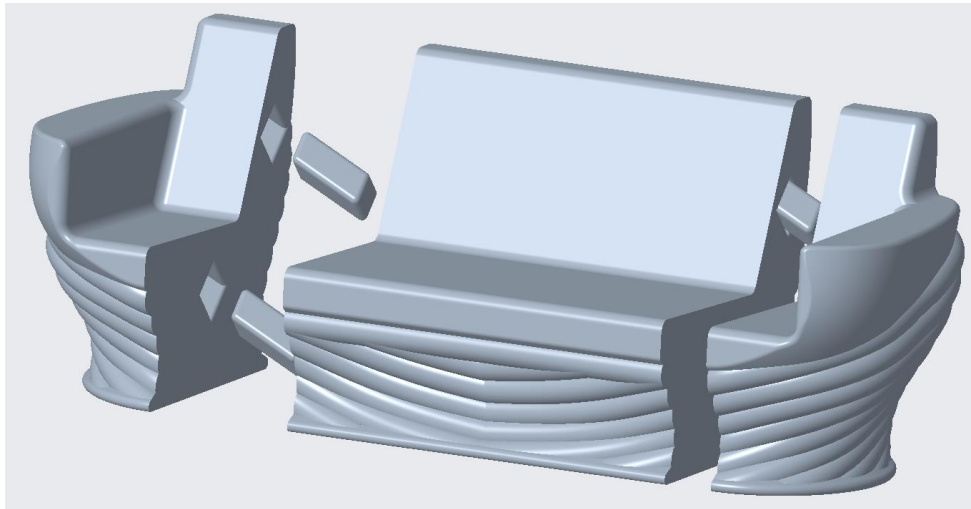
**Figur 20: Sista iterationen av spiralmönstret mellan övre del och fot**

Då fåtöljen färdigställdes skulle designen göras om till en hel 2-sits soffa, vilket skapades genom att dela fåtöljen längs mitten och fortsätta spiralmönstret så spiralerna möttes på mitten av soffan, se figur 21.



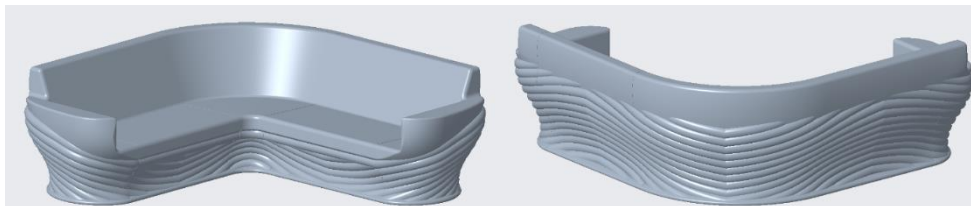
**Figur 21: Sista iterationen av soffan**

Vid detta stadiet i utformningen kom informationen att den stora skrivaren ej var stor nog för att skriva ut hela soffan i en enda utskrift. Lösningen blev naturlig då soffan designades genom att dela fåtöljen på mitten och fortsätta med spiralerna längs med mittendelen av soffan. Soffan skulle då kunna skrivas ut i tre enskilda delar och sättas samman, det skulle skrivas ut i moduler. Det går även att i efterhand bygga om en fåtölj till en soffa genom att lägga till mittendelen. Genom att lägga in vinklade hål in i modulerna och skapa en matchande pinne går det att fästa modulerna med varandra men även lyfta av delar för att förlänga eller förkorta en möbel, se figur 22.



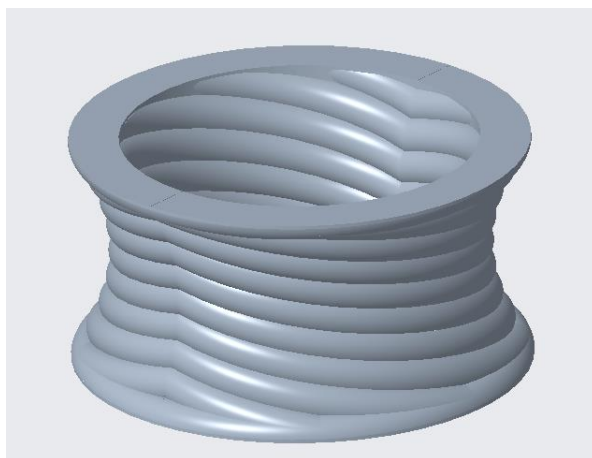
**Figur 22: De olika modulerna som skapar en 2-sits soffa**

För att utnyttja detta bestämdes det att designa en del till för möbelserien, en hörnmodul för att skapa mer frihet för användare att själva bestämma formen på möbelen. Då spiralmönstret går ihop med varandra i varje modul, går det att med de fyra modulerna bygga en soffa i flera olika former och storlekar, se figur 23 för ett förslag med hörnmodulen inlagd.



**Figur 23: Modulsoffan i formen av ett L med hörnmodulen**

En ny design för soffbordet behövdes för att möblerna skulle gå i samma stil. Samma spiraldesign användes på soffbordet istället för det första korsande spiralmönstret, se figur 24.



**Figur 24: Sista iterationen av soffbordet**

Designerna med det slutgiltiga spiralmönstret testades att skrivas ut i 1:10 skala, med munstyckena 0,4mm samt 0,8mm som även de är 1:10 skala jämfört med de stora munstyckena, för att kontrollera utskriftsbarheten med olika munstycken. Enklare hållfasthetstester utfördes också på de utskrivna delarna för att kontrollera svagheter som kan påvisa om de skulle hålla i fullstor skala. Dessa tester innefattade enkelt att trycka och dra med händerna i olika riktningar och på olika punkter då ingen konstruktionsanalys i FEM gjordes på delarna.

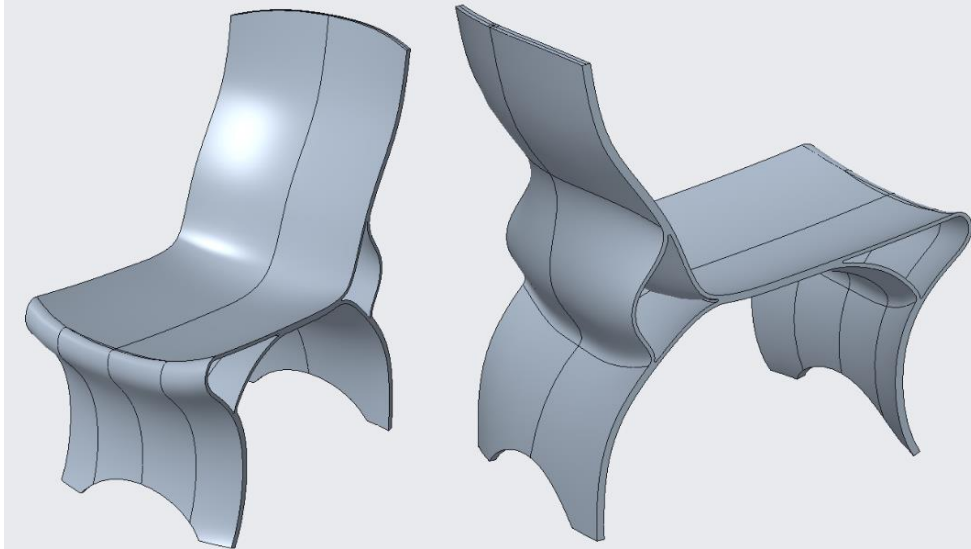
## 5.2 Design anpassad för 3D utskrivning

Då möblerna ovan inte är optimerade för 3D utskrivning kan de ta lång tid att skriva ut, tider för utskrivning i stor skala presenteras i kostnadsanalysen, kapitel 2.5. En ny design skapades då för att vara optimerad för 3D utskrift. Designen optimerades för att skrivas ut i vase mode som beskrevs i kapitel 2.1.8.

Fåtöljen designades först och blev sedan inspirationen för resterande möbler i serien, se figur 25. Sitsen och ryggstödet formades med basmått samt extra mjuka kurvor för att följa en person som sitter. Resterande av fåtöljen designades för att matcha formerna på sitsen, samt hålen som kan ge en extra hållfasthet. De krökta ytorna på benen samt runt hålen gjordes både för att matcha samt för att en krökt yta blir mer hållfast än en helt plan. Krökningen på ytorna gjordes på fri hand i CAD programmet samt kontrollerades att de inte skapades för mycket överhäng så det blev så stor yta som möjligt på varje lager som sammanfogades med det under. En faktor som tagits hänsyn till i samtliga design nedan är vägg tjockleken på möbeln, där väggarna är tjocka är det viktigt att den vägg tjockleken är lika bred som två strängar för att strängarna skall sammanfogas. Sattes tjockleken för stor sammanfogas strängarna ej och det blir ett öppet tvärsnitt som ej är lika stabilt, sattes

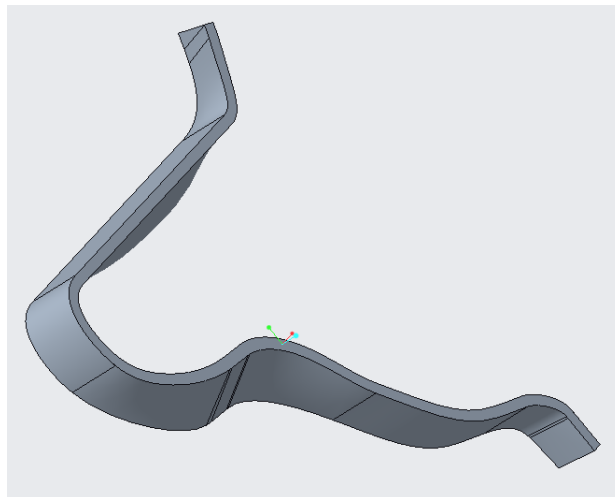


den för låg går strängarna över varandra för mycket vilket kan skapa att material fastnar på munstycket och dras med vilket förstör utskriften.



**Figur 25: Sista iterationen av fåtöljens sitt del**

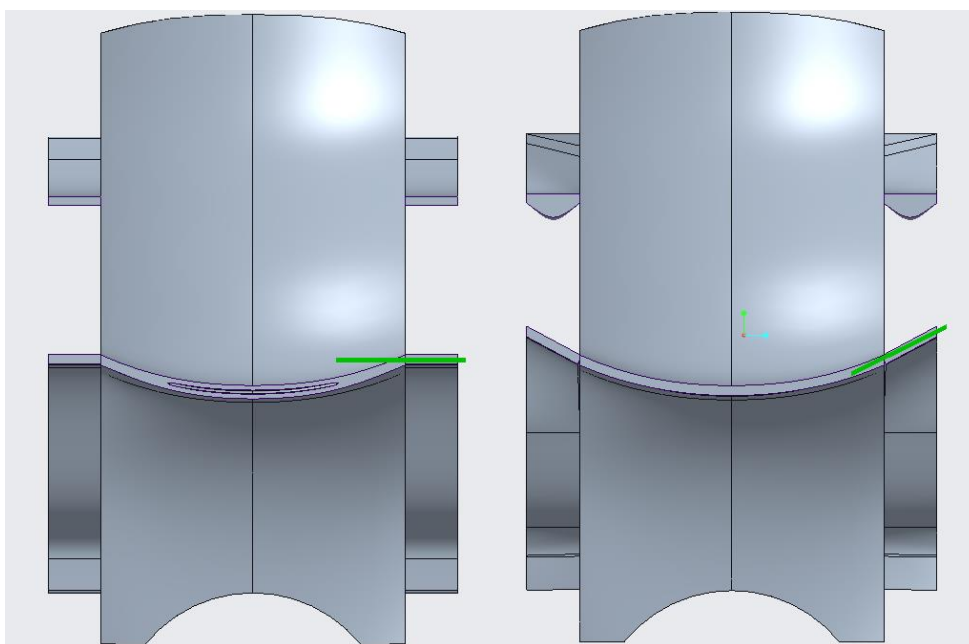
För att öka bekvämligheten på fåtöljen designades ett armstöd, se figur 26, som skrivs ut självt och fästs på fåtöljen med skruvar. Armstödet skrivs ut i riktningen från sidan som ligger an mot fåtöljen och soffan till sidan längst ifrån.



**Figur 26: Sista iterationen av fåtöljens armstöd**

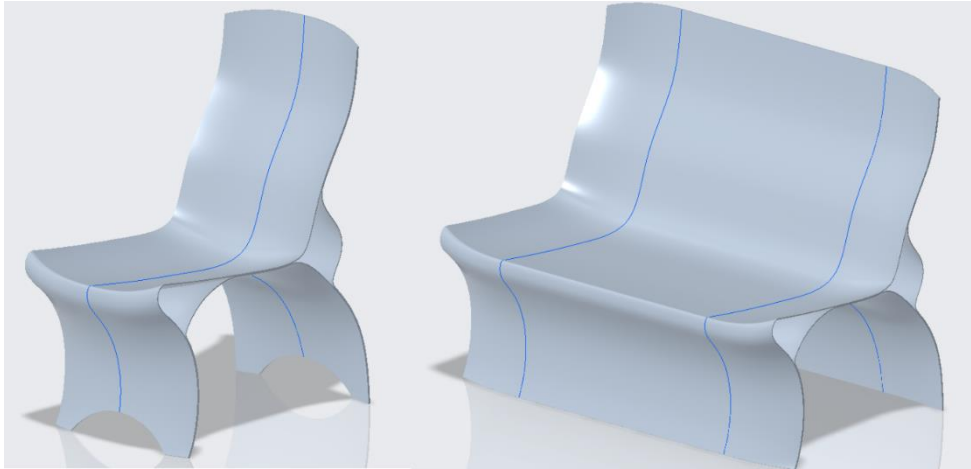
För att kunna skruva fast armstödet i möbelen sågs det till att vinkeln på armstödet vid kontaktpunkterna på möbelen matchade vinkeln på ytan för att skruvarna skall

kunna gå in så långt in i möbeln som behövs utan att sticka ut på ena eller andra sidan. Hade armstödet extruderats rakt ut så hade skruvarna gått genom möbeln och ut i sitsen eller ryggstöden, se jämförelse i figur 27 där den gröna linjen visar skruvens väg.



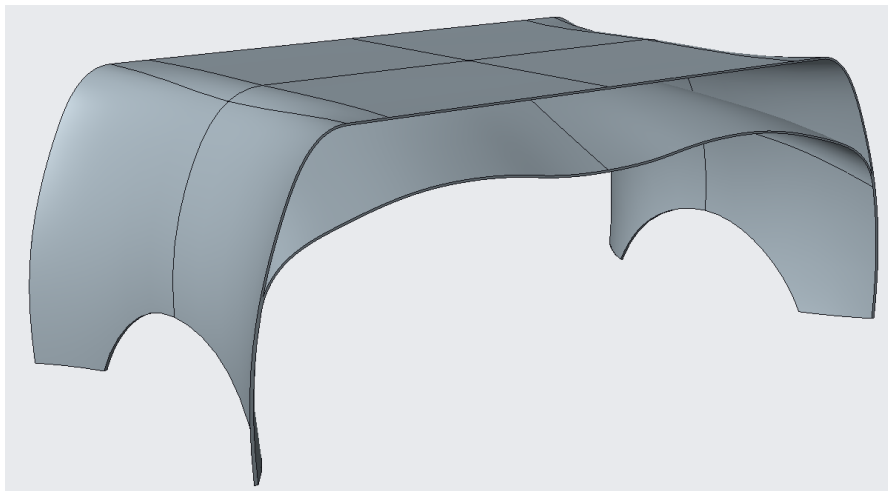
**Figur 27: Illustration av skruvens väg vid hopsättning av armstöd med fåtölj. Väster ett rakt extruderat armstöd från fåtöljens profil, höger ett armstöd anpassat vid fastsättningspunkterna med vinkeln från fåtöljen**

Soffans design blev en fortsättning på fåtöljen, där fåtöljens tvärsnitt i sitsens mitt drogs ut för att göra sitsen bredare, se figur 28. Möjligheten att använda samma armstöd som fåtöljen behölls på detta vis. Det ovala hålet på benen togs även bort för att om en stor oval tagits ut hade det kunnat påverka hållfastheten och flera små hål passa inte designen. Soffans längd blev kortad jämfört med basmåttan då skrivarens höjd inte klarar mer än 1200mm i z-axeln, som går längs med fåtöljen och soffan från sidan till sidan där sidan är där armstöden fästs.



**Figur 28: Designen av soffan genom extrudering av fåtöljens profil längs med linjen**

Soffbordets inspiration togs även den från fåtöljen där benen designades för att matcha de på fåtöljen, se figur 29. Formen på undre delen av bordet gjordes för att gå ihop med fåtöljen och soffan, där matchande hål lades till på benen så som på fåtöljen. Denna design så som fåtöljen och soffan skrivs ut från sidan till sidan, där sidan är den med hålet under bordsskivan.



**Figur 29: Soffbord designat för att matcha fåtölj samt soffa i serien**

En design till gjordes för de utskriftsanpassade möblerna där inspiration togs från stubbar samt hängande tyg. Designen som skapades med hjälp av ytor som manipulerades för att få till formen, se figur 30. Designen var ej något som ingick i målen eller planen från början utan gjordes vid sidan av som en extra del som ett komplement till den utskriftsanpassade möbelserien.



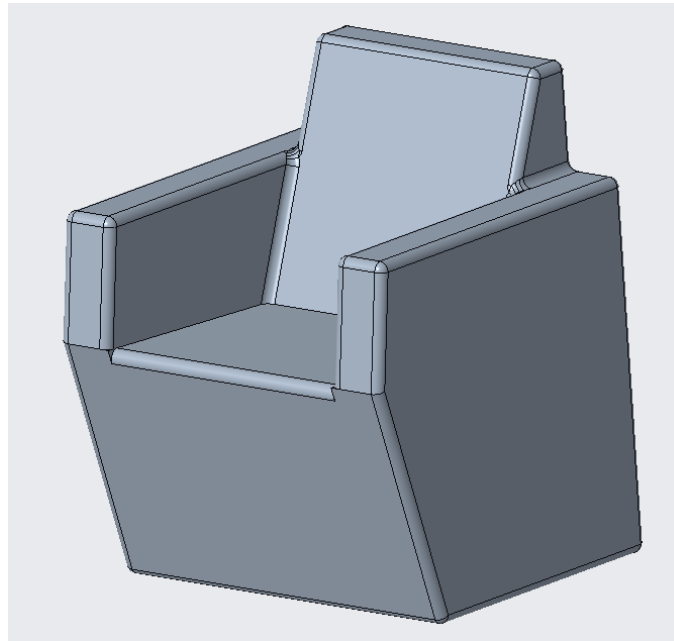
**Figur 30: Underrede till soffbord med inspiration hämtat från trädstubbar samt fallande tyg**

När designen var fastställd gjordes en konstruktionsanalys för att säkerställa att designen håller för användning samt vilket munstycke som skulle användas vid utskriften. Då munstyckena till skrivaren ligger mellan 2-8mm testades designerna på olika tjocklekar med hjälp av enklare FEM analys för de olika två materialen med vägg tjocklekar passande de olika diametrarna på munstyckena. På så vis fastställdes designen med både form och tjocklek. Analysen gjordes på fåtöljen för att bestämma munstyckets storlek och därefter gjordes en analys på soffan samt en på soffbordet för att säkerställa att dessa designer även verkade hålla för lasten. När soffborden testas att skrivas ut i liten skala testades hållfastheten och soffbordet inspirerat av en stubbe visade sig vara mycket starkare, därav gjordes det enbart FEM analyser på det andra soffbordet. Testerna som utfördes på de småskaliga utskrifterna var enkla tester i form av att trycka på detaljen med händerna i olika riktningar, speciellt att ställa detaljen på ett bord och trycka rakt ovanifrån för att likna laster ett bord utsätts för. I alla riktningar som detaljerna testades var soffbordet inspirerat av en stubbe klart starkare.

Metodik för konstruktionsanalysen av de 3D utskriftsanpassade möblerna var likadan för fåtölj samt soffa och följde metoden som presenteras nedan.

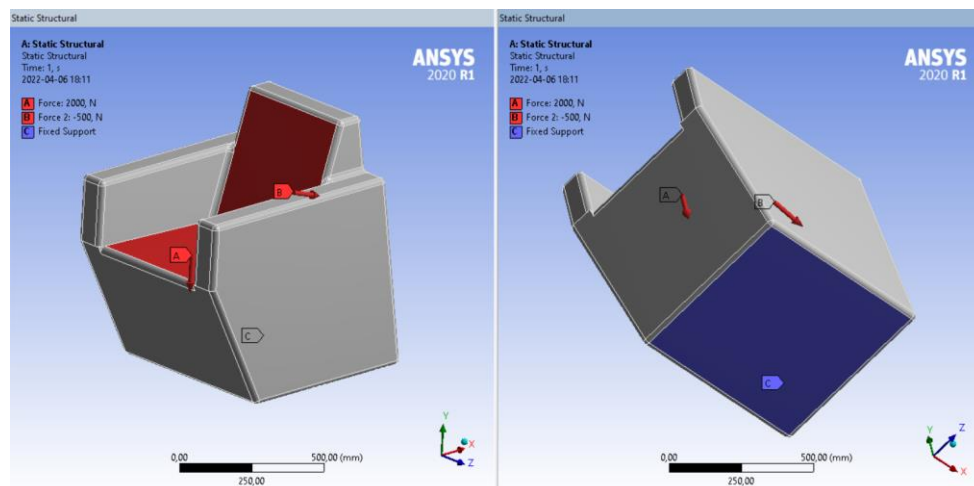
Materialet som användes i konstruktionsanalyserna var ANSYS generella material för PE plast där värden på materialegenskaperna som fanns för materialet som används i arbetet byttes ut, se kapitel 2.1.7.

Först skapades en modell i CAD med, se figur 31.



**Figur 31: Sempel fåtölj med basmått**

Modellen lades in i en static structural analys i ANSYS Workbench, där lastfallet för möbeln lades in. Lastfallet valdes högt för att möbeln skall klara av personer av olika storlekar, eller en person med en annan person i knät, samt avvägningen mellan last på sits och ryggstöd valdes med en ungefärlig uppskattning, se figur 32.



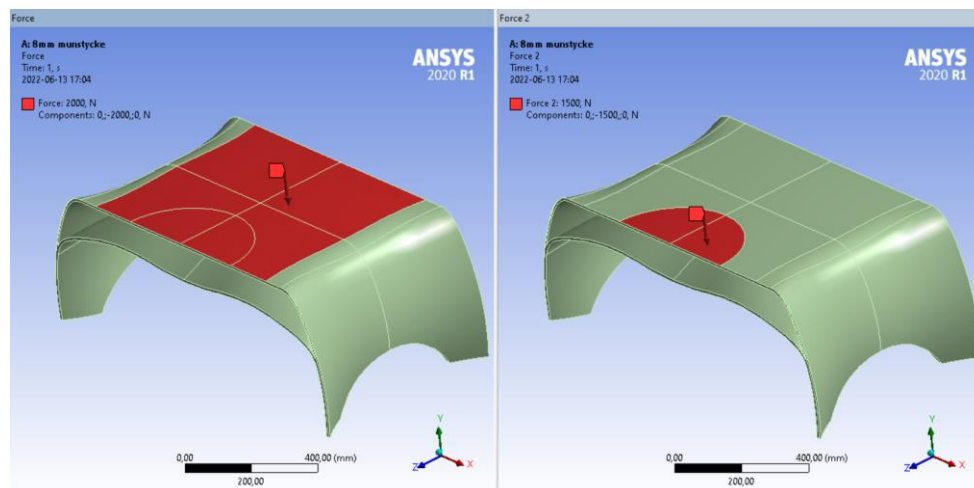
**Figur 32: Lastfallet för samtliga FEM analyser med krafterna till vänster samt randvillkor till höger**

Randvillkoret för analysen valdes till fixerat stöd där möbeln nuddar marken. Detta randvillkor är ej optimalt för analysen då möbeln ej sitter fast i marken. Värden för

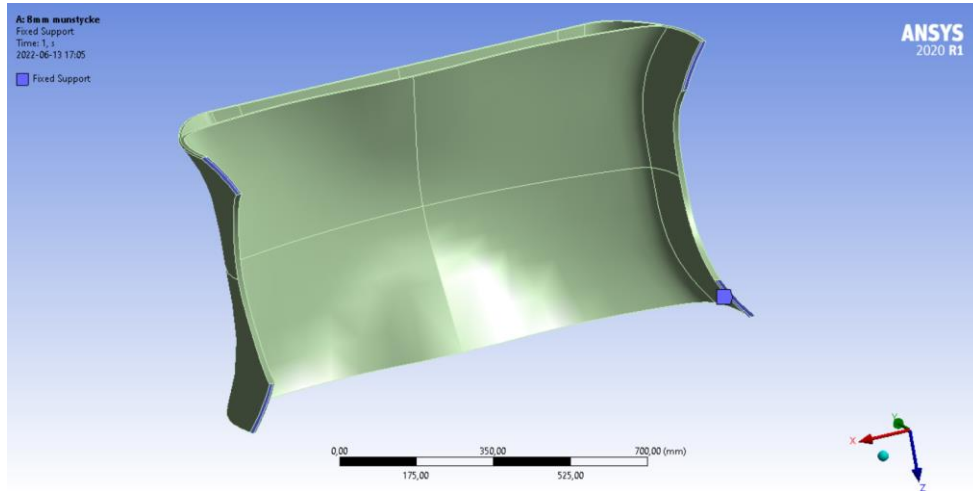
storleken på Meshen på analysen valdes genom att köra analyserna på möblerna med flera iterationer tills värden på spänningar och deformationer började stabiliseras kring ett värde, även vid punkterna med spänningskoncentrationer. Meshstorleken antog värden mellan 20-30mm för fåtölj och soffa samt mellan 10-15mm för soffbordet. Resterande inställningar lämnades på default.

Utifrån detta togs värden ut så som säkerhetsfaktor för materialet samt deformationen för konstruktionsanalysen.

Analyserna som gjordes på soffbordet var en analys för generell hållfasthet med en stor last över hela bordet på 2000N samt ett värsta fall då en person skulle sätta sig på sidan av bordet, där en last på 1500N användes på, se de specifika lastfallen i figur 33.



**Figur 33: Lastfallen för bordet, till vänster allmänna lasten på 2000N samt till höger en last för att simulera en sittande person på 1500N**

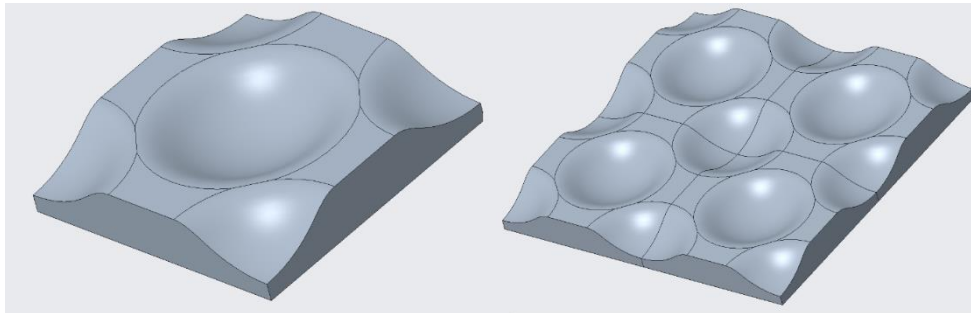


**Figur 34: Randvillkor för analysen av bordet med fixed support**

Utifrån detta togs värden ut så som säkerhetsfaktor för materialet samt deformationen för konstruktionsanalysen.

## 5.3 Vägghöjning

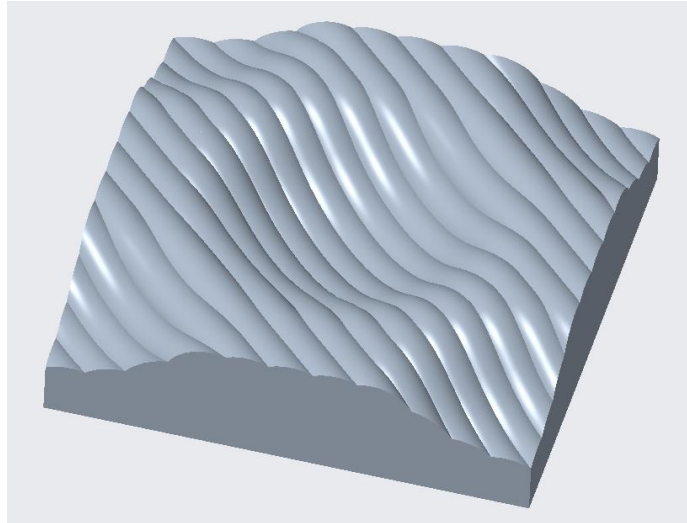
Idén till vägghöjningarna kom från företagets vilja att ha något att sätta på sin vägg i sitt rum för 3D utskrivning. Modulerna designades i dimensionerna 780x780x150mm, men går att skala om i samtliga riktningar för att användaren själv ska kunna välja storleken på väggen de vill ha. Dessa designades för att fungera med båda möbeldesignerna eller enbart vara för sig själva. Designen gjordes även denna som de utskriftsanpassade möblerna för att kunna skrivas ut i vase mode och på så sätt gå snabbare att skriva ut samt använda mindre material. Författaren valde från början att designen skulle gå att använda som modulsoffan ovan, dvs kunna byggas ihop i vilken storlek en potentiell användare vill utan många olika moduler. Till att börja med gjordes en simpel grundform som är repetitiv i alla riktningar och kan då byggas ihop med varandra och skapa ett mönster. Dessa gjordes till block med en urgröjning i mitten samt i alla hörn, se figur 35.



**Figur 35: Till vänster grundformen för en vägghöjning och till höger fyra vägghöjningar sammansatta**

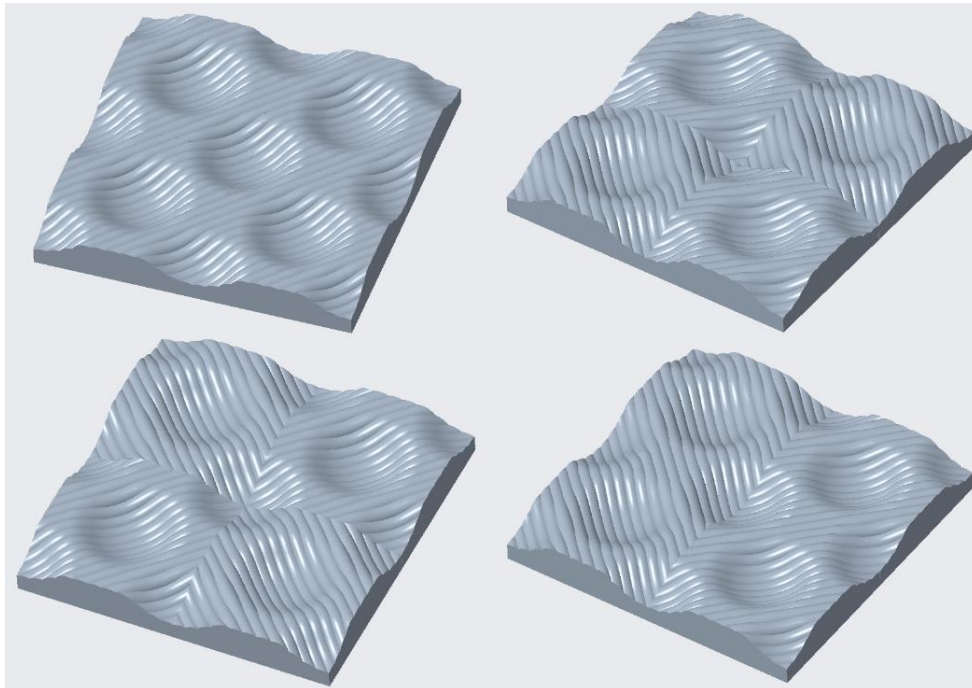
Författaren ville även att med dessa block skulle det gå att göra en större vägg och beroende på orienteringen av blocken skulle det bli olika mönster på väggen. Därav valdes det att mönstret på blocket skulle ligga längs med diagonalen och på så sätt kunna skapa valmöjligheten att vrida på blocken för olika mönster. Inspirationen för mönstret togs rakt från inspirationsdesignen med spiralmönstret, cirklar med samma diameter sveptes längs ytan på blocket, se figur 36.





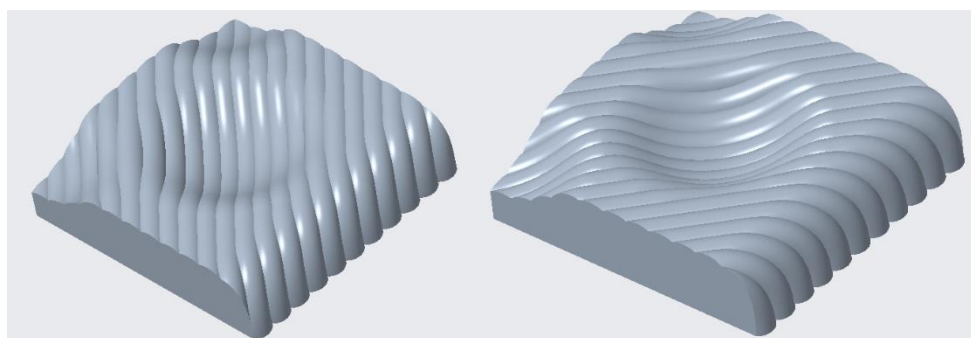
**Figur 36: Vägghöjning med svepta cirklar**

Blocket som skapades kunde nu byggas samman i olika orienteringar men mönstret matchar varandra pga. symmetrin i mönstret samt blocket, se figur 37 för exempel på olika mönster då flera block byggs samman.



**Figur 37: Olika mönster som kan skapas från en och samma vägghöjning sammansatta i olika orienteringar**

Blocken gick nu att sätta samman på flera olika sätt men det behövdes någonting för att avsluta sidorna då det var dessa som syns mest vare sig blocken sätts fast på väggen eller hur de skulle vilja användas. Det behövdes ett block till för att kunna sätta på sidorna för att få mjukare slut på väggen. Samma block användes fast utan urgröpingarna på ena sidans hörn, kanten rundades av och de svepande cylindrarna följde sidan ned. Blocket gjordes, samt en spegelbild på detta för att kunna matcha vilket mönster användaren än väljer med riktningarna på de svepande cylindrarna i sidorna, se figur 38.



**Figur 38:** De två sidoväggmodulerna som är spegelbilder av varandra

Då de utskrivna väggmodulerna skrivs ut med vase mode betyder det att de kommer vara ihåliga från botten till toppen, för att fästa samman de olika blocken efterbearbetning att krävas för att sammanfoga de olika blocken. Detta kan göras med brickor med skruv och mutter på baksidan för att inte förstöra utseendet.

## 5.4 Kostnadsanalys

De olika designerna som visats tidigare i rapporten är mer eller mindre optimerade för att 3D utskrivning, vilket kan påverka både tiden det tar att skriva ut samt vikten på möbelen vilket båda påverkar möbelns kostnad. I detta kapitel visas en kort kostnadsanalys som gjordes med olika parametrar som ändrades. Parametrarna som undersöktes under kostnadsanalysen för de olika designerna var munstyckets diameter samt infillprocent för de designerna som har infill. Andra parametrar hölls konstanta, så som utskriftshastighet och temperaturer, vilka har blivit optimerade för materialet av personen som framställt det. För analysen användes ett slicer program kallat Simplify3D med de optimerade parametrarna inlagda. Tiderna och vikterna som presenteras är de ungefärliga tiderna och vikterna som programmet räknade ut och kan skiljas från verkligheten, men ger ett bra underlag för jämförelse mellan möbelserierna. Enbart de slutgiltiga designerna togs med i denna analys. Kostnadsanalysen görs med hänsyn till det hårdare materialet som data för materialkostnad fanns tillgänglig. Antagna kostnader på maskinen kommer vara 250kr/h samt 50kr/Kg för materialet.

### 5.4.1 Inspirationsdesign

Spannet för infill procent värden valdes utifrån en grov bedömning av författaren vilket lägsta procent infill som är tillräcklig för att möbelen skall hålla och övre gränsen där bedömningen var att det blev överflödigt med högre. Då ändringar i parametrarna på modulhållaren inte gav stor förändring i tid eller vikt valdes en lämplig infill procent för varje diameter på munstycke, med hjälp av en grov bedömning av utseende i slicerprogrammet. Beräknade spannet för vikt samt utskriftstider beräknades beroende på parametrarna, se tabell 5.

**Tabell 5: Möblernas vikt samt utskriftstid beroende på munstyckesdiameter samt fyllnadsgrad från inspirationsdesignen**

	<i>Munstyckesdiameter [mm]</i>	<i>Infill [%]</i>	<i>Vikt [Kg]</i>	<i>Utskrifts-tid [tim: min]</i>
<i>Soffbord</i>	8	5–10	39,2–41,6	6:56–7:20
	6	3–10	43,5–48,0	10:02–11:03
	4	5–10	37,5–40,3	20:55–22:27
	2	4–7	16,6–18,9	36:21–40:55
<i>Fåtöljmodul</i>	8	6–20	33,4–48,5	5:50–8:19
	6	6–20	37,3–53,1	8:30–11:58
	4	5–15	30,4–42,6	16:52–23:26
	2	3–6	13,8–17,8	30:21–37:48
<i>Rak soffmodul</i>	8	7–15	82,5–113,0	13:56–18:52
	6	7–15	91,2–120,6	20:25–26:47
	4	5–15	71,1–109,4	38:56–59:30
	2	3–10	32,3–61,0	66:20–122:19
<i>Hörn soffmodul</i>	8	7–15	73,1–99,4	12:30–16:48
	6	7–15	81,9–108,3	18:28–24:10
	4	5–15	64,0–97,9	35:15–53:27
	2	4–10	33,0–54,5	67:48–109:49
<i>Hel 2-sits soffa</i>	8	-	153,3–214,0	26:16–36:10
	6	-	170,6–231,6	38:25–51:43
	4	-	135,1–186,3	74:16–108:03
	2	-	61,5–98,2	133:34–214:27
<i>Hel L-soffa</i>	8	-	312,9–430,4	53:22–72:30
	6	-	348,5–465,3	78:18–113:40
	4	-	273,4–396,8	150:03–222:36
	2	-	128,4–215,3	274:14–453:07
<i>Modulhållare</i>	8	20	1,0	0:10
	6	20	1,2	0:15
	4	10	0,8	0:24
	2	5	0,4	1:38

Med utskriftstiderna samt vikten beräknade genom Simplify 3D kunde kostnaderna för materialet samt kostnaderna för maskinen beräknas för de olika modulerna samt delarna, se tabell 6.

**Tabell 6: Spannet för materialkostnaderna samt maskinkostnaderna för de olika möblerna i inspirationsdesignen**

	<i>Materialkostnad [SEK]</i>	<i>Maskinkostnad [SEK]</i>
<i>Soffbord</i>	830–2400	1733–10229
<i>Fåtöljmodul</i>	690–2655	1458–9450
<i>Rak soffmodul</i>	1615–6030	3483–30579
<i>Hörn soffmodul</i>	1650–5415	3125–27454
<i>Hel 2-sits soffa</i>	3075–11580	6567–53612
<i>Hel L-soffa</i>	6420–23265	13341–113279
<i>Modulhållare</i>	20–50	42–408

Kostnaderna i tabellen ovan är nästan inverterade om en materialkostnad skall jämföras med respektive maskinkostnad. Tar man en låg kostnad i materialspannet korresponderar det till en hög maskinkostnad.

#### 5.4.2 Design anpassad för 3D utskrivning

Kostnadsanalysen för den 3D utskrivningsanpassade designen gjordes enbart en kostnadsanalys på att använda munstycke med 6mm eller 8mm då det enbart går att använda dessa för denna design, se kapitel 3.2.

**Tabell 7: Möblernas vikt samt utskriftstid beroende på munstyckesdiameter från designerna anpassade för 3D utskrivning**

	<i>Munstyckesdiameter [mm]</i>	<i>Vikt [Kg]</i>	<i>Utskrifts-tid [tim: min]</i>
<i>Fåtölj</i>	8	14,8	2:22
	6	11,0	2:22
<i>Soffa</i>	8	40,0	6:25
	6	30,0	6:25
<i>Armstöd</i>	8	2,1	0:20
	6	1,6	0:20
<i>Soffbord matchande</i>	8	18,4	2:57
	6	13,8	2:57
<i>Soffbord stubbe</i>	8	8,8	1:24
	6	6,6	1:24

Med utskriftstiderna samt vikten beräknade genom Simplify 3D kunde kostnaderna för materialet samt kostnaderna för maskinen beräknas för de olika modulerna samt delarna, se tabell 8.

**Tabell 8: Spannet för materialkostnaderna samt maskinkostnaderna för de olika möblerna i den 3D utskriftsanpassade serien**

	<i>Materialkostnad [SEK]</i>	<i>Maskinkostnad [SEK]</i>
<i>Fåtölj</i>	550–740	592
<i>Soffa</i>	1500–2000	1604
<i>Armstöd</i>	78–105	83
<i>Soffbord matchande</i>	690–920	738
<i>Soffbord stubbe</i>	330–440	350

### 5.4.3 Vägghöjningsmodul

För vägghöjningsmodulerna gjordes kostnadsanalysen på samtliga munstycken, se tabell 9.

**Tabell 9: vägghöjningsmodulernas vikt samt utskriftstid beroende på munstyckesdiameter samt två olika konfigurationer av väggar**

	<i>Munstyckesdiameter [mm]</i>	<i>Vikt [Kg]</i>	<i>Utskriftstid [tim: min]</i>
<i>Vägghöjningsmodul</i>	8	12,3	2:04
	6	9,6	2:04
	4	7,7	4:08
	2	3,2	13:02
<i>3x3 vägg</i>	8	110,7	18:36
	6	86,4	18:36
	4	69,3	37:12
	2	28,8	117:18
<i>5x3 vägg</i>	8	184,5	31:00
	6	144	31:00
	4	115,5	62:00
	2	48	195:30

Med utskriftstiderna samt vikten beräknade genom Simplify 3D kunde kostnaderna för materialet samt kostnaderna för maskinen beräknas för de olika modulerna samt delarna, se tabell 10.

**Tabell 10: Spannet för materialkostnaderna samt maskinkostnaderna för en vägghöjningsmodul samt för två olika konfigurationer av väggar**

	<i>Materialkostnad [SEK]</i>	<i>Maskinkostnad [SEK]</i>
<i>Vägghöjningsmodul</i>	160–615	517–3258
<i>3x3 vägg</i>	1440–5535	4650–29325
<i>5x3 vägg</i>	2400–9225	7750–48875

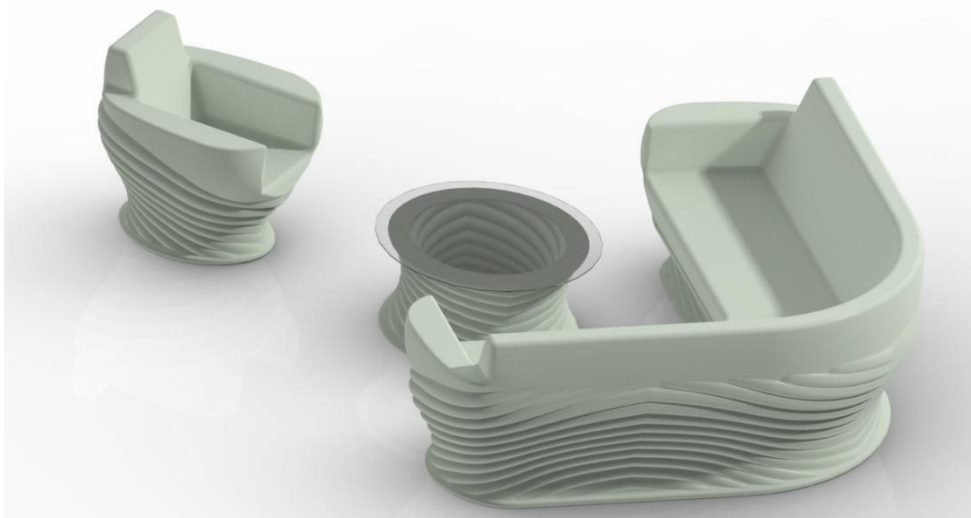
# 6 Resultat

## 6.1 Inspirationsdesign

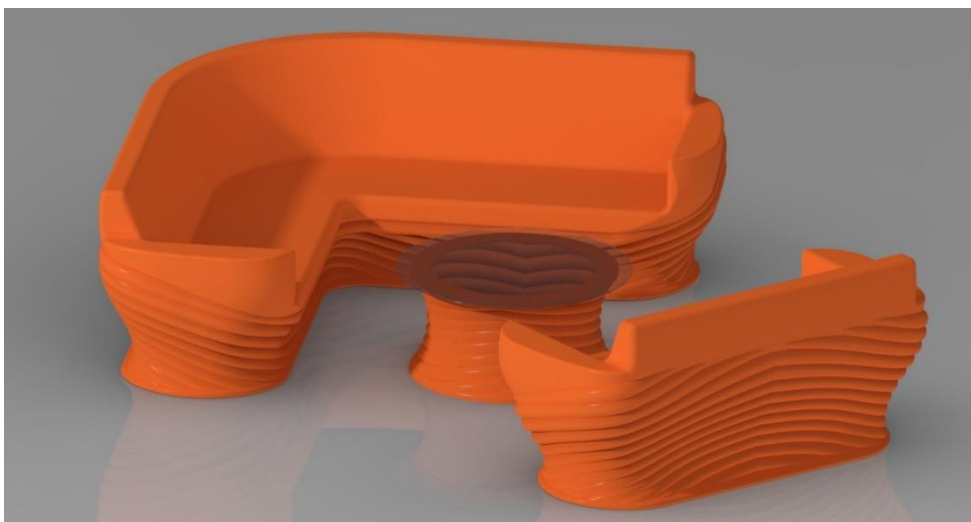
Kostnadsanalysen visar på att det är maskinkostnaderna som i största del påverkar totalkostnaden för möbeln för inspirationsdesignen och kan bli väldigt hög vid användandet av de mindre munstyckena. Jämförs högsta och lägsta materialkostnaden som blir med de olika munstyckena är det, med de större munstyckena som använder mer material, upp till 290–330% högre materialkostnad att använda större munstycke. Görs samma jämförelse med maskinkostnaderna där de mindre munstyckena ger en högre maskinkostnad så är de 590–880% mer kostsamt att använda mindre munstycke. Görs kostnadsjämförelsen mellan en rak soffmodul med minst användning av material, det minsta munstycket, och en med lägst maskinkostnad, största munstycket, blir skillnaden i totalkostnad upp till 442% högre för att använda det minsta munstycket. Där lägsta totalkostnaden för en rak soffmodul blev 7608SEK och högsta totalkostnaden 33629SEK.

Resultatet för inspirationsdesignen blev en möbelserie som består av fyra olika moduler, för att bygga allt från en fåtölj till en soffa i vilken storlek användaren än väljer, med tillhörande pinnar för att hålla samman modulerna, samt ett soffbord. Soffbordet är ett underrede där användaren själv kan välja vilken bordsskiva som skall ligga på, samt exakta storleken på denna. Då tid ej fanns för att skriva ut dessa möbler i stor skala visas renderingar av de olika modulerna i figur 39–41 samt fotografier på utskrifter i 1:10 skala som påvisar utskriftsbarheten av de olika möblerna.





**Figur 39: Rending av L-soffa, soffbord med glasskiva samt fätölj**

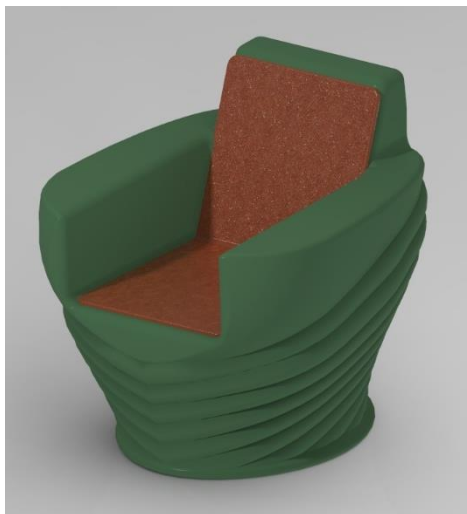


**Figur 40: Rending av soffa, soffbord med glasskiva samt L-soffa**



**Figur 41: 1:10 utskrift av fåtölj soffbord med utskriven bordsskiva samt L-soffa**

Då sitshöjden valdes några centimeter lägre än de vanliga sitthöjderna finns utrymme att lägga till kuddar som gör sits och ryggstöd bekvämare, se figur 42 för exempel på hur en fåtölj kan se ut med kuddar.



**Figur 42: Rendering av exempel på fåtölj med tunn mjuk sits med brunt läder**

## 6.2 Design anpassad för 3D utskrivning

FEM analyserna visade att 6mm eller 8mm munstycket för det starkare PETG baserade materialet, för fåtölj samt soffa, är bäst för tillräcklig säkerhetsfaktor samt hur mycket designen deformeras vid last. Soffbordet designat för att matcha resterande möbler klarar ej av en last för en sittande person på sidan av bordet även med det största munstycket, men klarar av en generellt hög last. Designen för soffborden kommer därav använda sig av det största munstycket på 8mm, se tabell 11 för maximala deformationer samt säkerhetsfaktorer för de olika munstyckesdiametrarna. Vid resultaten med höga deformationer testades även inställningen large deflection att användas vilken resulterade i att lösningen kraschade och påvisade att dessa ej klarar av lasterna. Se bilaga 3 för skärmlapp av analysresultat.

**Tabell 11: Maximala deformationen samt säkerhetsfaktorn på de olika möblerna gjorda i det hårdare materialet beroende på munstyckesdiameter**

	<i>Munstyckesdiameter [mm]</i>	<i>Maximal deformation [mm]</i>	<i>säkerhetsfaktor</i>
<i>Fåtölj</i>	8	4,9	2,3
	6	11,3	2,2
	4	35,8	1,3
	2	132,6	0,5
<i>Soffa</i>	8	10,3	4,1
	6	22,4	2,1
	4	67,8	0,8
	2	244,4	0,3
<i>Soffbord sittlast</i>	8	136,5	0,7
<i>Soffbord total last</i>	8	42,0	2,3

FEM analyserna för det mjukare PP baserade materialet visade direkt att säkerhetsfaktorn var relativt låg för fåtöljen redan med det största munstycket på 8mm, därav gjordes inga tester på mindre munstycken med de mjukare materialet, fåtöljen skrivs ut med 8mm munstycke. Analysen för soffan visade en säkerhetsfaktor på cirka 0,9 med 8mm munstycket. Soffan valdes då även den med att använda 8mm munstycket. Detsamma gäller för soffbordet, säkerhetsfaktorn ligger kring 1 vid halva lastfallet jämfört med det hårdare materialet, se tabell 12. Soffbordet väljs därav till att även det använda 8mm munstycket.

**Tabell 12: Maximala deformationen samt säkerhetsfaktorn på de olika möblerna gjorda i det mjukare materialet**

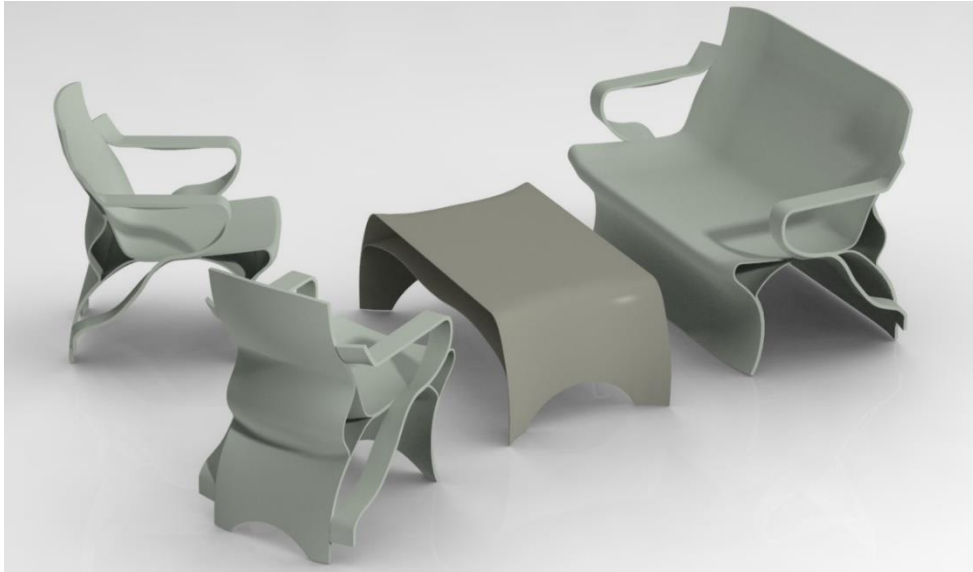
	<i>Munstyckesdiameter [mm]</i>	<i>Maximal deformation [mm]</i>	<i>Säkerhetsfaktor</i>
<i>Fåtölj</i>	8	21,0	1,4
<i>Soffa</i>	8	49,3	0,9
<i>Soffbord sittlast</i>	8	433,9	0,2
<i>Soffbord total last</i>	8	100,2	1,0

Designerna anpassade för 3D utskrivning visade sig spara väldigt mycket i både utskriftstid samt vikt på möbelen jämfört med samma typ av möbel i inspirationsdesignen. Totalkostnaden för möblerna kommer inte skilja sig mycket beroende på munstyckesdiametern då möblerna inte kommer gå att skriva ut med lägre munstyckesdiameter än 6mm. Jämför vi kostnadsanalysen för den 3D utskrifts anpassade designen med inspirationsdesignen så syns det att maskinkostnaderna har ingen inverkan beroende på munstyckesdiameter, det enda som påverkas är materialkostnaden för de olika munstyckena.

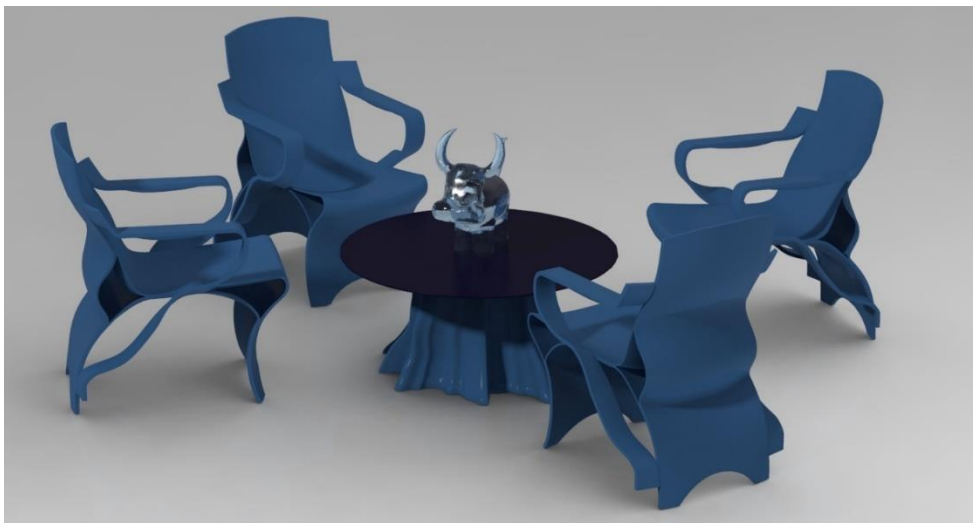
Nedan i figur 43–45 visas renderingar samt utskrifter i 1:10 skala på de färdiga möblerna med olika möbleringar.



**Figur 43: 1:10 utskrift av soffa, två fåtöljer samt matchande soffbordet**



**Figur 44: Rending av soffa, matchande soffbordet samt två fåtöljer**



**Figur 45: Rending av fyra fåtöljer samt stubbsoffbordet med utskriven bordsskiva**

Då sitshöjden valdes några centimeter lägre än de vanliga sitthöjderna finns utrymme att lägga till kuddar som gör sits och ryggstöd bekvämare, se figur 46 för exempel på hur en fåtölj kan se ut med kuddar.



**Figur 46: Rending av exempel på fåtölj med tunn mjuk sits med svart läder**

Den fullstora utskriften som det fanns tid att göra var en fåtölj med ett armstöd samt det matchande soffbordet, se figur 47.



**Figur 47: Fullstor utskrift av fåtölj med ett armstöd samt ett soffbord**

Delar av möblerna har utskriften misslyckats på som ger ett dåligt utseende på ytan, se figur 48.



**Figur 48: Delar av fullstora utskriften med misslyckad utskrift. Till vänster övre delen av armstödet samt till höger ena sidan av soffbordet**

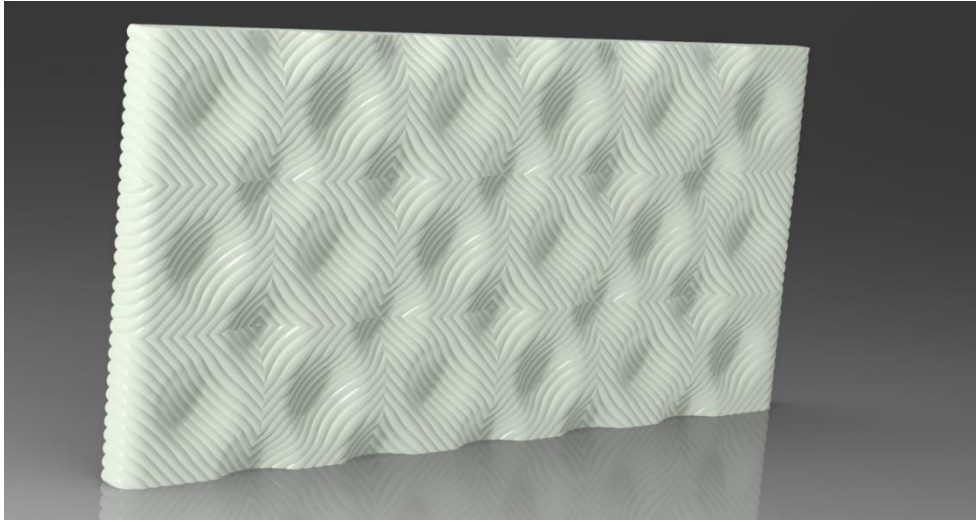
Tiden för utskriften av fåtöljen utan armstöden blev ca 7 timmar och 30 minuter till skillnad från de 2 timmar 22 minuter som beräknats i kostnadsanalysen. Vikten på möbelen blev nära den beräknade i kostnadsanalysen.

## 6.3 Vägghöjningsmodul

I kostnadsanalysen på vägghöjningsmodulerna gjordes en analys på samtliga munstycken trots att de mindre munstyckesdiametrarna skapar tunnare väggar, och kan ge för låg hållfasthet för att stapla modulerna på varandra. Modulerna är även möjliga att hänga upp på väggen vilket tar bort behovet av att varje modul ska kunna klara av lasten att bli staplad på och samtidigt vara stabil från eventuella yttre krafter. Den vägghöjningsmodul med lägst totalkostnad blir en vägghöjningsmodul utskriven med 6mm munstycke och kommer få en totalkostnad på cirka 997SEK/modul. Den vägghöjningsmodul med högst totalkostnad är en utskriven med 2mm munstycke som kommer få en totalkostnad på ca 3418SEK/modul. Totalkostnaden på den dyraste modulen kommer bli cirka 343% jämfört med den billigaste modulen.

Resultatet av vägghöjningsmoduldesignen blev moduler som kan skapa många olika mönster vilket diskuterades i metoden. Se figur 49–51 för exempelrenderingar på olika mönster som kan skapas samt en 1:10 utskriven modell med storleken 5x3.





**Figur 49: Rending av en 5x3 vägg**



**Figur 50: Rending av en 5x3 vägg**

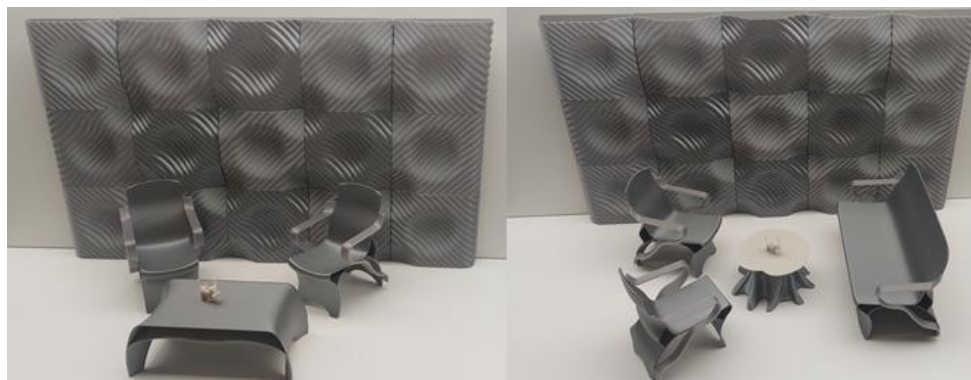




**Figur 51: 1:10 utskrift av en 5x3 vägg**

## 6.4 Sammanslagning av designer och väggmodul

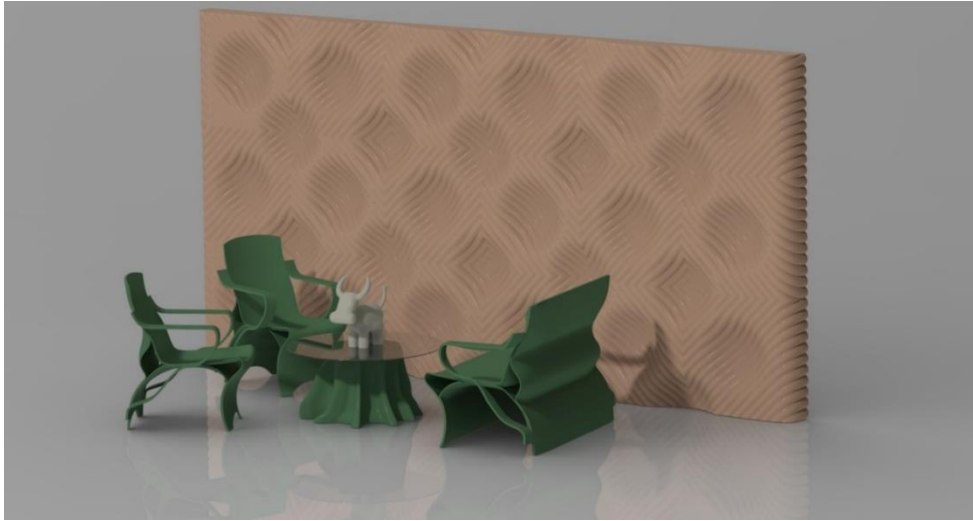
I detta delkapitel visas en del renderingar samt fotografier på 1:10 utskrivna modeller på de slutgiltiga möbelserierna tillsammans med en vägg med 5x3 moduler, se figur 52–55.



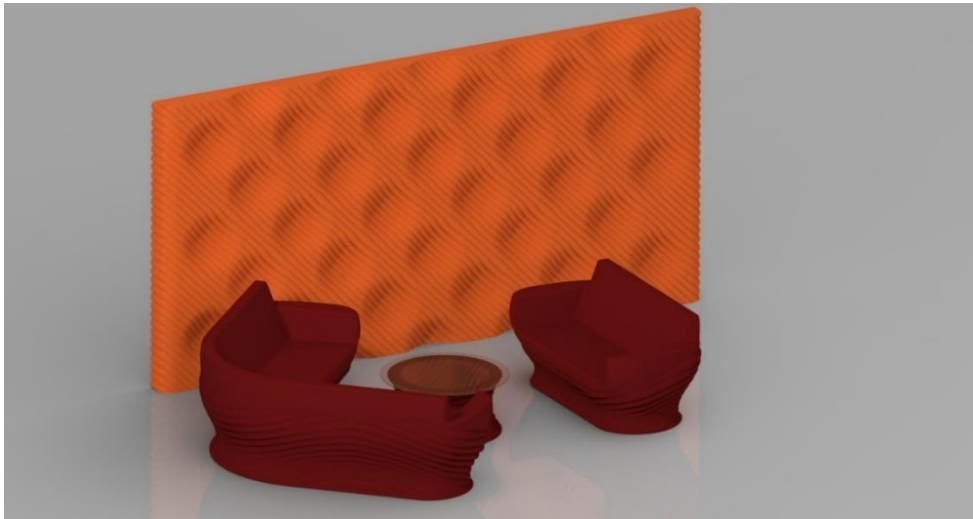
**Figur 52:** 1:10 utskrift av två olika möbelgrupper från utskriftsanpassade serien med en 5x3 vägg



**Figur 53:** 1:10 utskrift av möbelgrupp från inspirationsserien med en 5x3 vägg



**Figur 54: Rending av en möbelgrupp av den utskriftsanpassade serien med en 5x3 vägg**



**Figur 55: Rending av möbelgrupp från inspirationsserien med en 5x3 vägg**

## 7 Diskussion

Då arbetet handlar om att möblerna skall gå att återvinna materialet till nya möbler i ny design eller skriva ut samma möbel igen när den blir sliten, så kan det för användaren vara lämpligt att på inspirationsserien och väggmodulerna välja utskrifter med större munstycke på grund av priset. Det kommer bli mycket högre materialanvändning om användare väljer dessa, men då materialet kommer gå i ett kretslopp för varje gång en ny möbel införskaffas så kommer miljöpåverkan på grund av material inte bli lika stor, som om möbler gjorda av nytt råmaterial varje gång skulle införskaffas.

En direkt parallell kan dras till påverkan av miljön för de 3D utskriftsanpassade möblerna jämfört med de från inspirationsdesignen. Mindre energi krävs för att driva skrivaren den kortare tiden, mindre material behövs framställas för en möbel samt mindre energi för att transportera möbeln från fabrik till användare. Ingen av möblerna går att effektivt stapla samt ingen studie har gjorts ifall de klarar av lastfallet att staplas. Den utskriftsanpassade designen tar dock upp ungefär lika stor volym i en transport om de ej staplas och den mycket lägre vikten gör då transporten mindre energikrävande. Denna möbelserie saknar moduler och går ej att skriva ut med en vinkel för att få till exempel en L-soffa. Därav är användaren mer bunden till de möbler som ingår i serien, med en rak och smalare soffa, och kan ej bygga mer fritt sin sittgrupp. Det användaren vinner är en lägre kostnad, kortare ledtider om man skulle vilja ändra design samt en lägre miljöpåverkan.

Det kan vara så att det är lämpligast att välja det stora munstycket på den 3D utskrivningsanpassade möbelserien, då armstöden skall skruvas in i fåtölj och soffa och kan då påverka den strukturella integriteten. Används större munstycke så kommer väggjockleken bli tjockare och då finns det mer material att fästa skruvarna i, men det kommer fortsatt finnas tillräckligt med material runt skruvarna för att kunna stå emot krafterna vid användning.

Konstruktionsanalysen som gjordes var ej avancerad och användes ej som ett verktyg för att hitta verkliga värden på till exempel säkerhetsfaktorn. Analysen användes som ett verktyg för att snabbt kunna avgöra ifall designerna hade stor chans eller liten att hålla då fullskaliga tester med flera utskrifter för varje design ej var rimligt att göra. Det togs inte i beaktande att armstöd och fåtölj eller soffa sitter ihop med skruvar, utan i analysen sattes dessa som bundna till varandra. I analysen kontrolleras alltså inte det som diskuterades i stycket ovan att skruvarna kommer påverka konstruktionens integritet. Valet av att använda fixed support som randvillkor mellan benen och marken var ett antagande som gjordes då antagandet

gjordes att benen ej skall glida mot underlaget. De eventuella spänningskoncentrationer som skulle kunna uppstå kring randvillkoret hade då bortsetts från, då bedömningen gjordes att andra delar av konstruktionen skulle ge vika först, så som platsen under ryggstödet som har halva tjockleken på materialet jämfört med benen. Andra fenomen så som buckling kontrollerades heller inte.

Ingen FEM analys gjordes på inspirationsmöbelserien då modellerandet av fyllnadsstruktur i olika former samt fyllnadsgraden skulle ta mer tid än vad som fanns att undvara i arbetet, samt att litteraturstudien visade att resultat för detta kan skilja sig stort från verkligheten med olika fyllnadsprocent och struktur. Storskaliga tester på utskrivna möbler hade varit enklare för att kontrollera hållfastheten vid olika av dessa parametrar för att kunna optimera utskriftstiden samt materialanvändningen för möbelserien. Testerna som gjordes i 1:10 skala påvisade en hög hållbarhet i samtliga riktningar när detaljerna utsattes för enkla laster med hjälp av händerna, vilket bör påvisa att möblerna kommer hålla om de skrivs ut i full skala. Vid 3D utskrivning finns det väldigt många parametrar att ändra på, en annan intressant parameter att kontrollera i fullskaliga tester som kan påverka utskriftstiden samt vikten av möbeln mycket är bottenlagren och topplagren som skrivs ut solida samt vägg tjockleken, hur många sammanfogade strängar som bygger upp väggarna. Inställningen går att ändra hur många lager som skall skrivas ut solida i botten, toppen samt väggarna, här går det testa ytterligare mer för att optimera utskriftstiden och vikten på samtliga delar utan att påverka hållfastheten till den grad att de inte skulle klara lasterna av användning.

FEM analyserna som gjordes använde sig av CAD modeller med släta ytor och inte de vågiga ytor som blir av varje lager i en riktig utskrift, därav får de analyser ses som grova indikationer på hur en riktig produkt skulle bete sig. Det finns en del felkällor i analyserna utöver ytstrukturen, materialmodellen är även den väldigt grov då samtliga värden, utom de som presenteras för det valda materialet i kapitel 2.1.7, kommer från ANSYS PE material och enbart de materialdata som presenterats har bytts ut. Även laster och randvillkor är grova uppskattningar som inte behöver stämma exakt med verkligheten. Testerna för materialet utfördes med utskrivna provstavar ur en FDM skrivare medan de riktiga produkterna skrivs ut i en FGF skrivare vilket kan påverka materialegenskaperna då de olika maskinerna samt de olika metoderna kan ge mer eller mindre materialdefekter av olika slag. Materialdefekter som till exempel de som förklarades i kapitel 2.1.4.

FEM analyserna för det mjukare materialet visade säkerhetsfaktorer runt 1 eller under, vilket tyder på att möblerna eventuellt ej kommer hålla. Lastfallen är dock, som diskuterats, höga grova uppskattningar av vad möblerna bör klara av vilket inte behöver betyda att soffan ej kommer hålla trots analysen visade en säkerhetsfaktor under 1. Tester med verkliga utskrifter av möblerna bör därför göras med det mjukare materialet för att kontrollera om de kommer hålla eller inte.

FEM analyserna gjorda för möblerna är enbart statiska analyser och tar ej hänsyn till hur snabbt någon skulle sätta sig i möbeln. Dynamiska analyser i både FEM samt

fullstora utskriften hade behövts göras för att se till så att möblerna ej går sönder vid dessa fall.

En del små defekter syns på den stora utskriften av fåtöljen vilket till största del beror på maskininställningar som inte än är helt optimala då det inte hunnit testas tillräckligt mycket på grund av att materialet är så pass nytt att inte tillräckligt med tester gjorts. Problemområden på den stora utskriften är ställen som överst på ryggstödet, platser där maskinen vänder i en skarp vinkel kan också vara ett problem. Eftersom vändningen är så skarp blir det som att maskinen står stilla på ett och samma ställe medan extrudern fortsätter pressa ut material och på så vis kan dra med material på fel vis. Ett sätt att få bukt med detta kan vara att ändra i 3D modellen och att göra så det blir som en ögla på några millimeter i varje skarpt hörn. Det kan bli så att detta hål ej kommer synas på utskriften men hjälpa maskinen att skapa ett mjukare och bättre hörn som kommer göra ytan finare. Största sannolikheten till detta problem ligger i maskininställningarna då problemet inte finns på samma vis vid nere vid benen på fåtöljen där vinkeln är lika skarp. Fler storskaliga tester hade behövts göras för att optimera designen samt maskininställningarna. Ett stort område på soffbordet blev även dåligt i utskriften vilket även detta borde bero på att maskininställningarna inte är helt optimala för utskriften. Exakt vad som skedde med soffbordet går inte att säga då detta skrevs ut utan uppsikt av en operatör.

Tiden för fåtöljen blev även mycket längre än beräknat, vilket till största del beror på att filerna med maskininställningar som användes i kostnadsanalysen var ej helt korrekta. Hastigheten på munstycket i den riktiga utskriften var hälften så snabb jämfört med de som använts i kostnadsanalysen. Vid den stora utskriften sattes även lagertjockleken till 3mm istället för de 4mm som använts vid beräkningarna, vilket gjorde att fler lager behövdes för att bygga upp möbeln. Möblerna skall även gå att skriva ut med 4mm lagertjocklek, vilket gör att kostnadsanalysen om det bortses från missförståndet med lagertjockleken är fel på maskintimmarna med en faktor två. Maskinkostnaderna visade sig redan vara de kostnader som skulle påverka totalkostnaderna mest, och ökas de med en faktor två blir det att maskinkostnaderna påverkar ännu mer de totala kostnaderna än vad som beräknats. Att försöka hålla nere tiderna för utskriften gör mest för totalkostnaden av möblerna.

## 8 Slutsatser

Detta arbete skapade två möbelsier som enligt analyser, från både FEM samt småskaliga utskrifter, är möbelsier som bör fungera att använda för sitt avsedda ändamål.

Målet att möblerna skall i så stor utsträckning som möjligt vara i plast är mött då det är som mest 12 skruvar i utskriftsanpassade fåtöljen och soffan, utan insatser eller annat, som inte kommer vara av plast. Dessa är lätta att separera från möblerna då de skall återvinnas eller återanvändas. Bordskivor som eventuellt ej kommer vara utskrivna i plast är något som även de går att återanvända om användare skulle bestämma sig för att ändra på borden som är gjorda som underredan.

Målet att påverka miljön så lite som möjligt är som mest mött på den utskriftsanpassade designen som använder sig av minst material samt har kortare utskriftstider som även gör att maskinerna tar mindre energi per möbel.

En serie av väggmoduler blev även gjorda som designades för att ta så lite som möjligt på miljön de med då de är designade på det viset att använda så lite material som möjligt och ha korta utskrivningstider. Väggmodulerna kommer precis som den utskriftsanpassade fåtöljen och soffan med dess armstöd, behöva sammanfogas på något vis med till exempel brickor och skruv. Dessa kommer även vara lätta att separera från väggmodulerna vilket gör det enkelt att återanvända eller återvinna materialet i modulerna.

De fullskaliga utskrifter som gjordes visar att designen fungerar för att skrivas ut vilket var bedömningen från de småskaliga testerna, vilket påvisar att resterande möbler samt väggmoduler bör fungera i stor skala.

## 9 Framtida arbete

För den utskriftsanpassade designerna hade det behövts göras ett fullskaligt test vilket av munstyckena 6mm eller 8mm som fungerar bäst. Både bedömning på det estetiska vilket av munstyckena som ger bäst utseende samt hur pass bra konstruktionen håller för de olika.

Inget sätt för att sammanfoga väggmodulerna togs fram i detta arbete utan kan antingen standardiseras senare eller göras enligt användares eget tycke. Skall väggmodulerna hängas upp på en vägg kan även någon fästordning sättas fast på varje väggmodul som gör att de enkelt skulle kunna hängas upp på väggen på en spik eller skruv, precis som en tavla.

Framtida arbete är även som tagits upp i diskussionen att testa olika inställningar för utskrivningen för inspirationsdesignen som till exempel antalet solida botten och topplager samt väggjockleken på inspirationsdesignen, som kan dra ner på materialåtgång samt utskrivningstider.

Exempel på framtida arbete är att ta fram kuddarna som visas exempel på i resultatet. För att inte påverka sitthöjden för mycket bör dessa vara tunna men kan ändå skapa en mer bekväm yta att sitta på. Dessa hade kunnat fästas med kardborreband som sys fast på kuddarna samt på möbelns sits och ryggstöd fäst kardborrebanden med exempelvis lim, häftstift eller dubbelhäftande tejp.

Ett framtida arbete som behövs göras med samtliga designer som tagits fram är att kontrollera att de följer de lagkrav som finns på möbler som skall vara i offentliga miljöer.



## 10 Referenser

- [1] Naturskyddsföreningen. 5 sanningar om plast. [naturskyddsforeningen.se. https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/5-sanningar-om-plast/](https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/5-sanningar-om-plast/). Hämtad: 2022-02-14.
- [2] Wohlers T, Gornet T. History of additive manufacturing. *Wohlers Report 2014*. 2014.
- [3] All3DP. 3D Printer Filament: The Best Types in 2022. All3dp.com. <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/#section-exotic-and-funky-types-of-3d-printer-filament>. Hämtad: 2022-05-13.
- [4] MANUFACTURINGGUIDE. Fused Granular Fabrication, FGF. Manufacturingguide.com. <https://www.manufacturingguide.com/sv/fused-granular-fabrication-fgf>. Hämtad: 2022-05-13.
- [5] SÖRAB. Det är bättre att elda upp än att återvinna plastförpackningar – sant eller FALSKT?. [sorab.se. https://www.sorab.se/hushall/sa-funkar-det/myter-om-atervinning/myter-om-plastforpackningar/](https://www.sorab.se/hushall/sa-funkar-det/myter-om-atervinning/myter-om-plastforpackningar/). Hämtad: 2022-03-17.
- [6] MANUFACTURINGGUIDE. Fused Deposition Modeling, FDM. Manufacturingguide.com. <https://www.manufacturingguide.com/sv/fused-deposition-modeling-fdm>. Hämtad: 2022-05-13.
- [7] 3DGuide. Vad är Filament för 3D Skrivare. [3dguide.se. https://www.3dguide.se/vad\\_ar\\_filament](https://www.3dguide.se/vad_ar_filament). Hämtad: 2022-03-09.
- [8] Creality. CR-6 SE. [Creality.com. https://www.creality.com/products/cr-6-se-3d-printer](https://www.creality.com/products/cr-6-se-3d-printer). Hämtad: 2022-05-31
- [9] UDDEHOLM. Extrusion. [Uddeholm.com. https://www.uddeholm.com/sweden/sv/applications/extrudering-av-metall/](https://www.uddeholm.com/sweden/sv/applications/extrudering-av-metall/). Hämtad: 2022-05-22
- [10] Pankaj M.P, Prof. Sadaphale D.B. A Study of Plastic Extrusion Process and its Defects. *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science (IJLTEMAS)*. 2018;7(upplaga nr. 9). <https://www.ijltemas.in/DigitalLibrary/Vol.7Issue9/13-20.pdf>. Hämtad: 2022-05-13.

- [11] BCN3D. Understanding the Infill. Bcn3d.com. <https://support.bcn3d.com/knowledge/infill>. Hämtad: 2022-05-13.
- [12] Nagendra N. Fabrication of 3D-Printable Filament and Granulate using Recycled Thermoplastics and Recycled Fillers. *Uppsala universitet*. 2022.
- [13] Ozcanli O. Modal Analysis of 3D Printed Parts. *Coventry University*. 2017. [https://www.researchgate.net/publication/312967914\\_Modal\\_Analysis\\_of\\_3D\\_Printed\\_Parts](https://www.researchgate.net/publication/312967914_Modal_Analysis_of_3D_Printed_Parts). Hämtad: 2022-03-04.
- [14] Elmrabet N, Siegkas P. Dimensional considerations on the mechanical properties of 3D printed polymer parts. *Polymer Testing*. 2020;90(upplaga nr. 0142-9418):106656.<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0142941820306243?token=45A40FF39ACE055153B5F504946DAA297DD329841614FE4C0A76FEAB239F8841B09E07C6DC913B749F8A6BACE695EB13&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220304080316>. Hämtad: 2022-03-04.

# 11 Bilagor

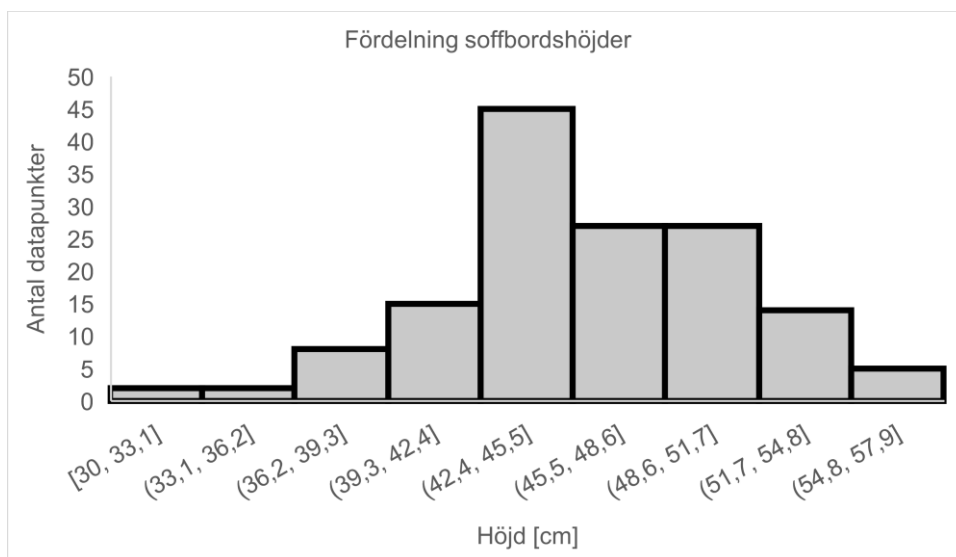
## 11.1 Bilaga 1

### **Mätningar:**

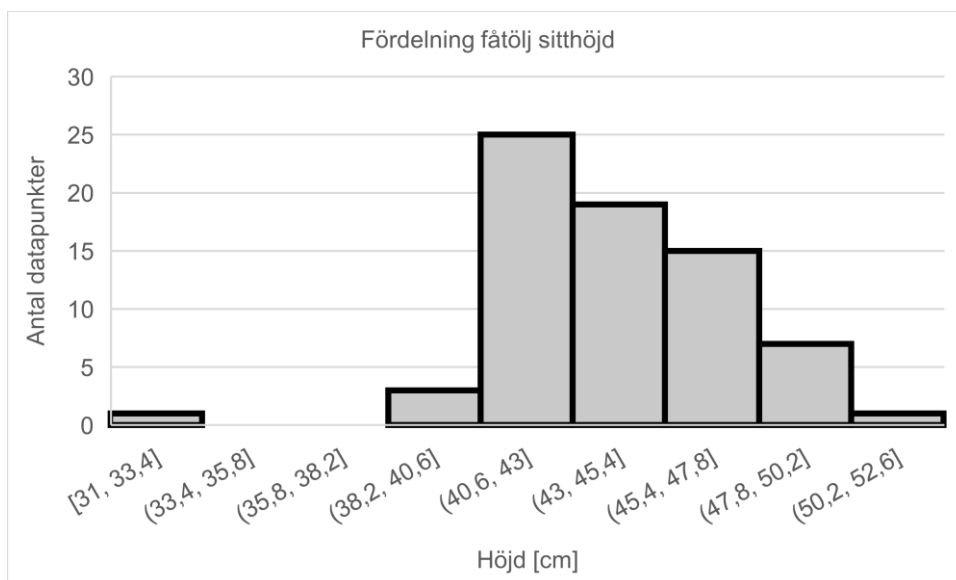
- Storlek på sittande möbler
- Arrangemang med typer av möbler
- Bekvämlighet
- Ryggstödsvinkel
- Vinkel på sits
- Säteshöjd från marken
- Djup på sits
- Bredd på sits
- Höjd på ryggstöd
- Höjd på armstöd
- Bekväm höjd på armstöd
- Längd på armstöd
- Typer av möbler
- Mjukhet på sits, ryggstöd och armstöd
- Höjd på bord
- Storlek på bord
- Färgkombinationer
- Material på möbler
- Inbyggda eller lösa möbler

## 11.2 Bilaga 2

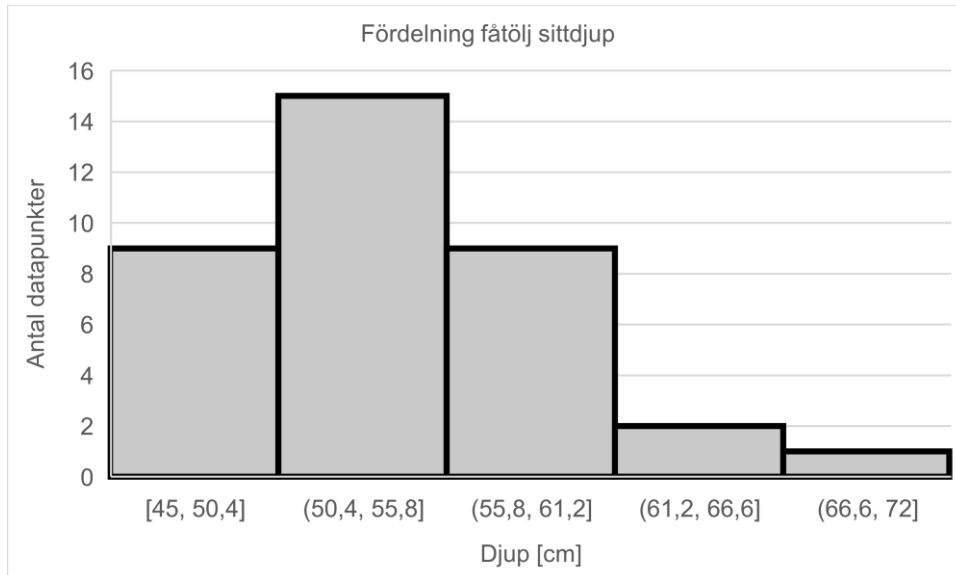
I denna bilaga visas de olika måtten som hämtades från varuhusens hemsidor i form av plottar, se figur 56–63.



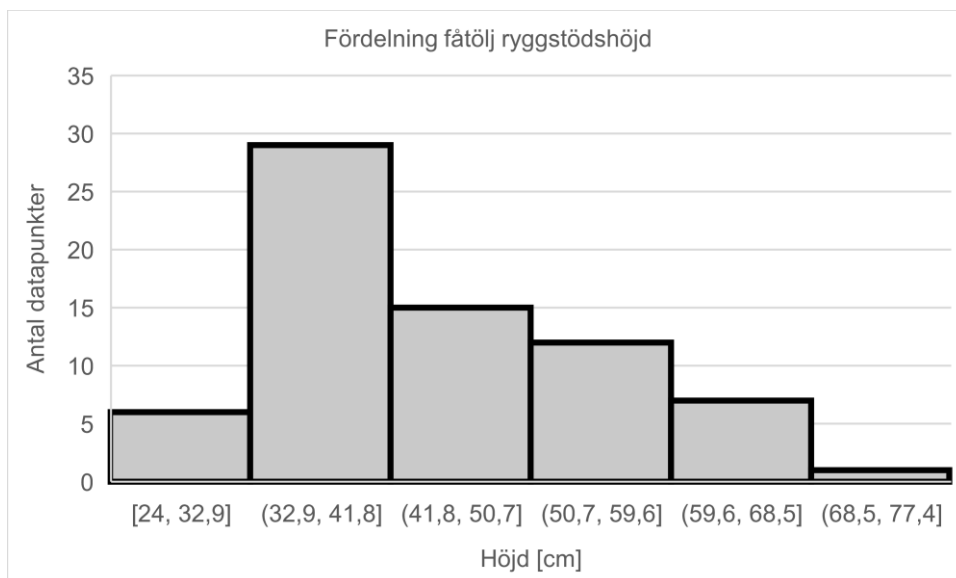
Figur 56: Fördelning på soffbordshöjder för fätöljer



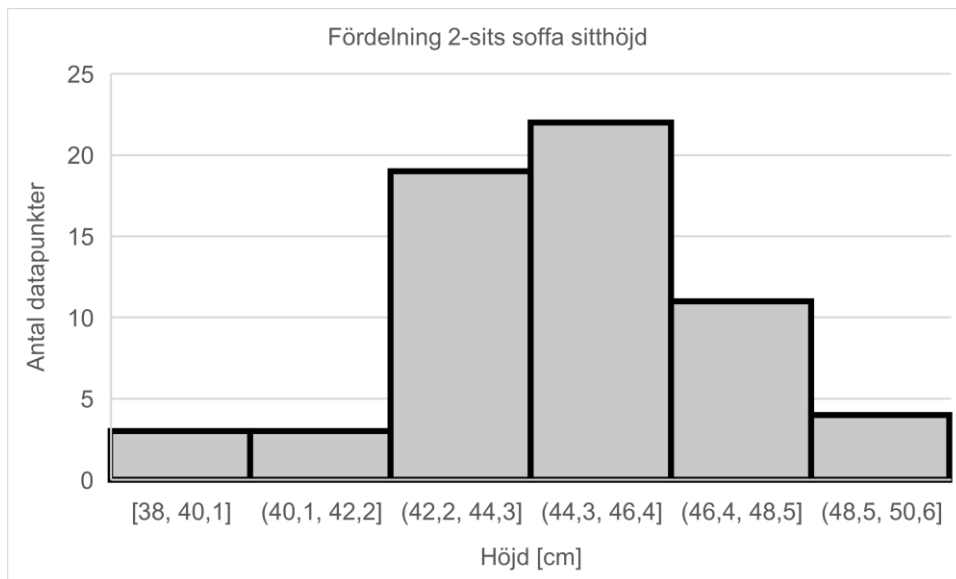
Figur 57: Fördelning på sitthöjder för fätöljer



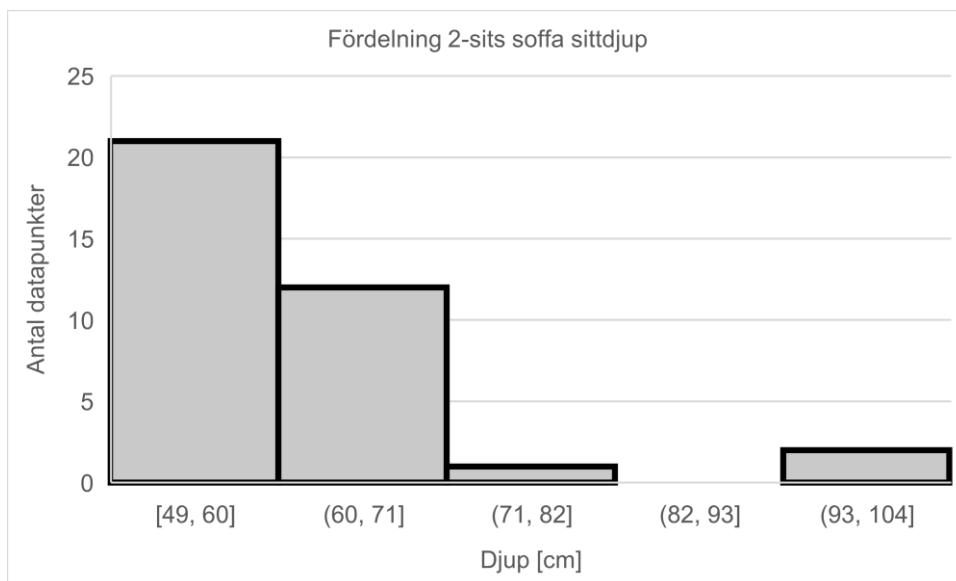
**Figur 58: Fördelning på sittdjup för fåtöljer**



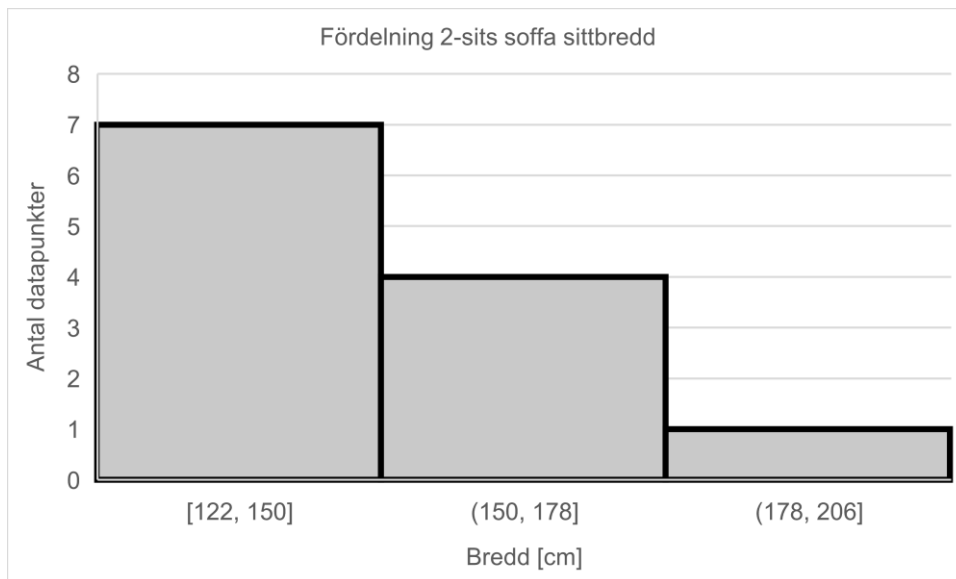
**Figur 59: Fördelning på ryggstödshöjder för fåtöljer**



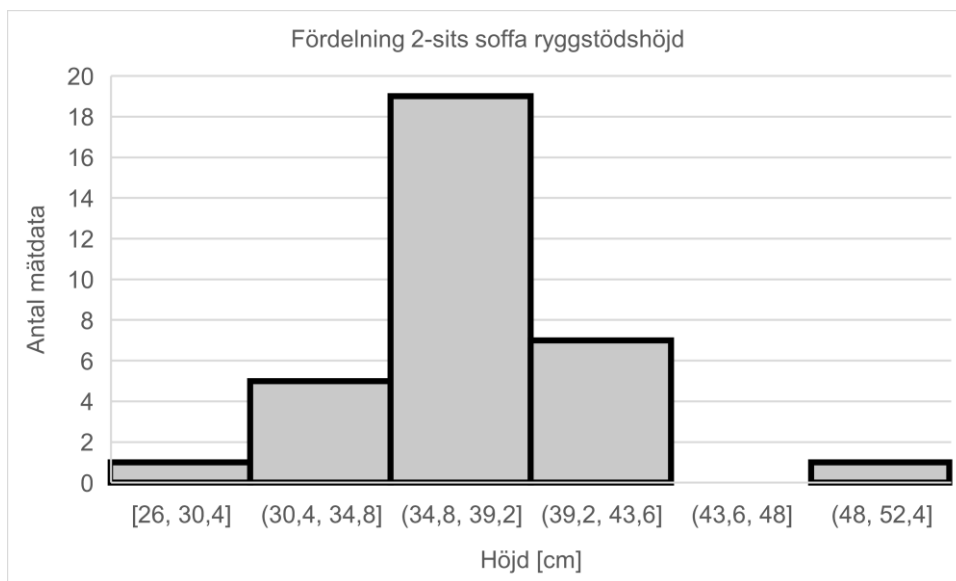
**Figur 60: Fördelning på sitthöjder för 2-sits soffor**



**Figur 61: Fördelning på sittdjup för 2-sits soffor**



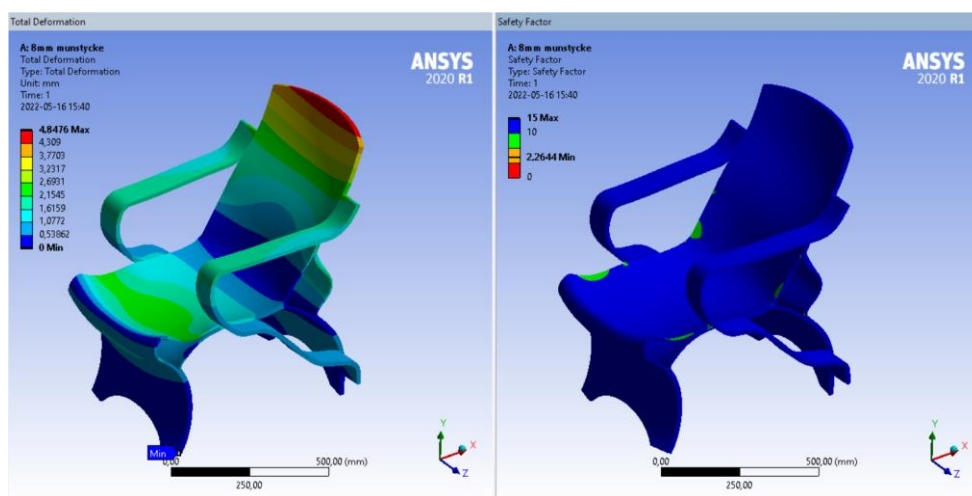
**Figur 62: Fördelning på sittbredd för 2-sits soffor**



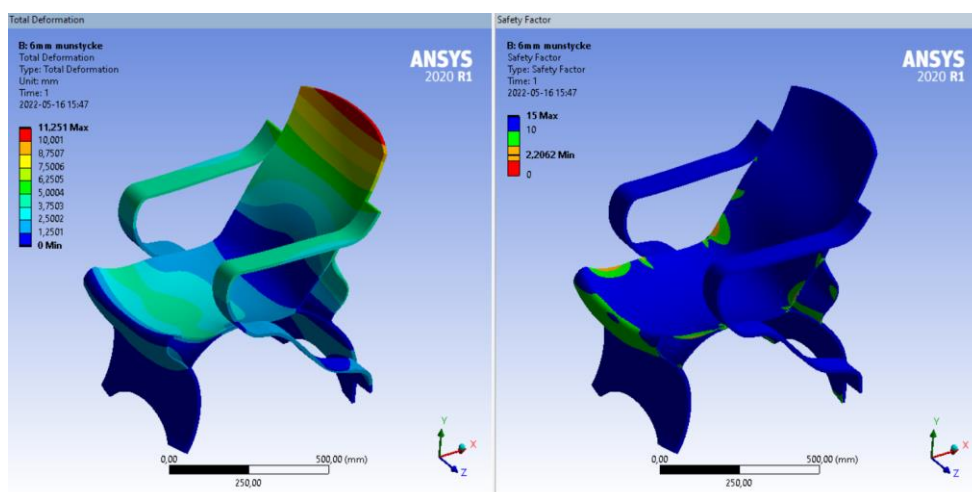
**Figur 63: Fördelning på ryggstödshöjder för 2-sits soffor**

## 11.3 Bilaga 3

Resultaten för konstruktionsanalys av den utskriftsanpassade designen i det hårdare materialet visas först i denna bilaga med skärmsklipp ifrån ANSYS på samtliga resultat i figur 64–73. Skärmsklipp för analys för det mjukare materialet visas i figur 74–77.

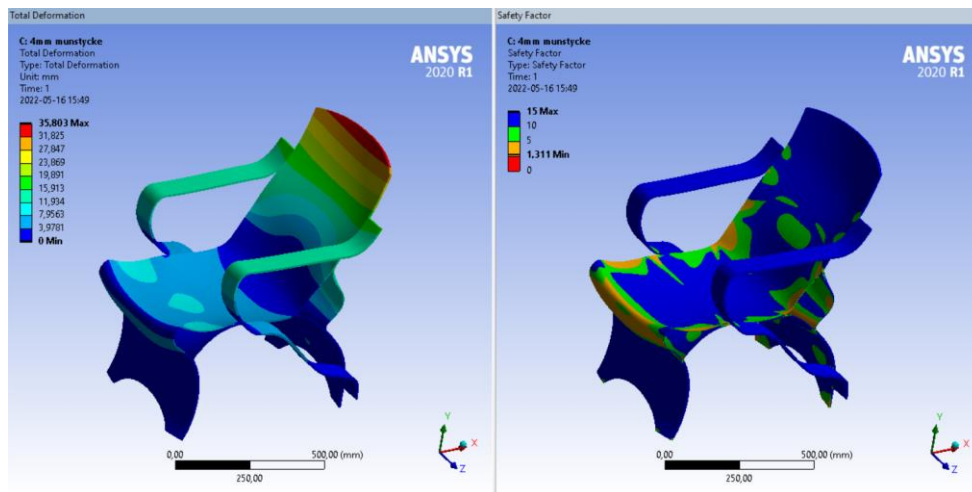


Figur 64: FEM resultat för fåtölj med hårda materialet 8mm munstycke med total deformation till vänster och säkerhetsfaktor till höger

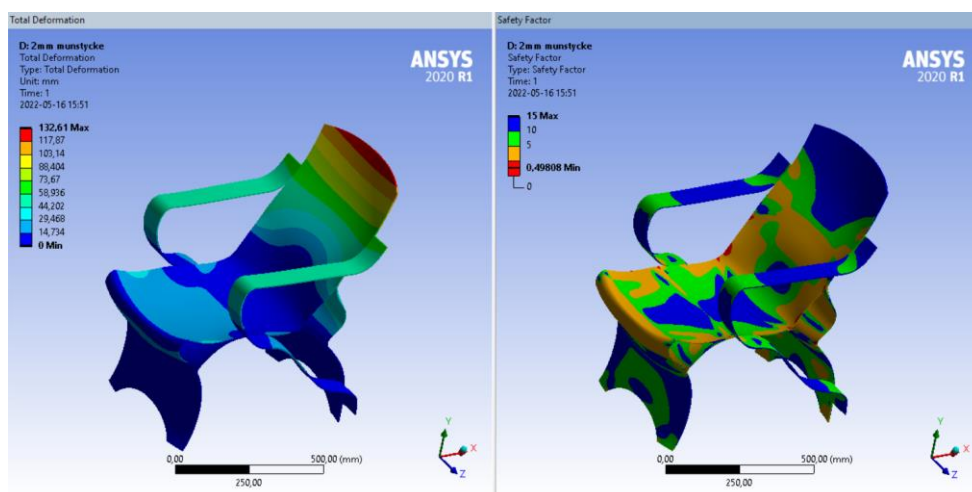


Figur 65: FEM resultat för fåtölj med hårda materialet 6mm munstycke med total deformation till vänster och säkerhetsfaktor till höger

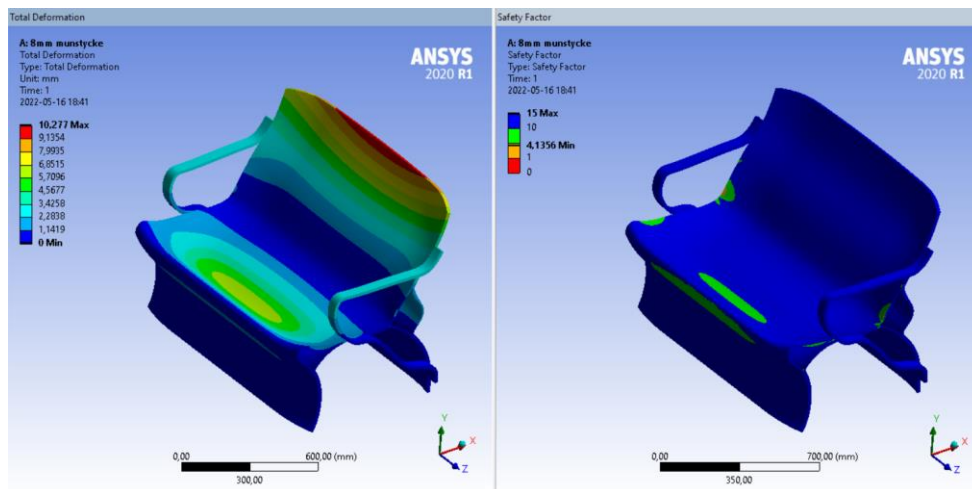




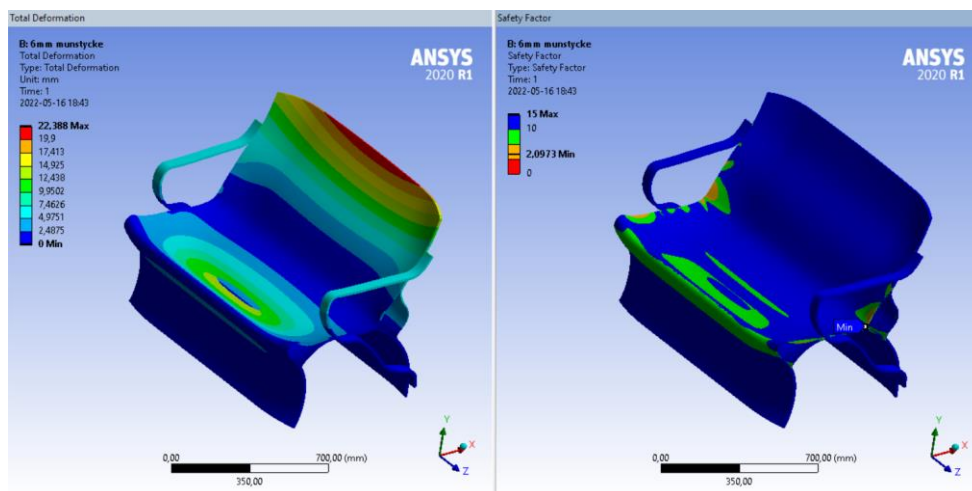
**Figur 66: FEM resultat för fätölj med hårda materialet 4mm munstycke med total deformation till vänster och säkerhetsfaktor till höger**



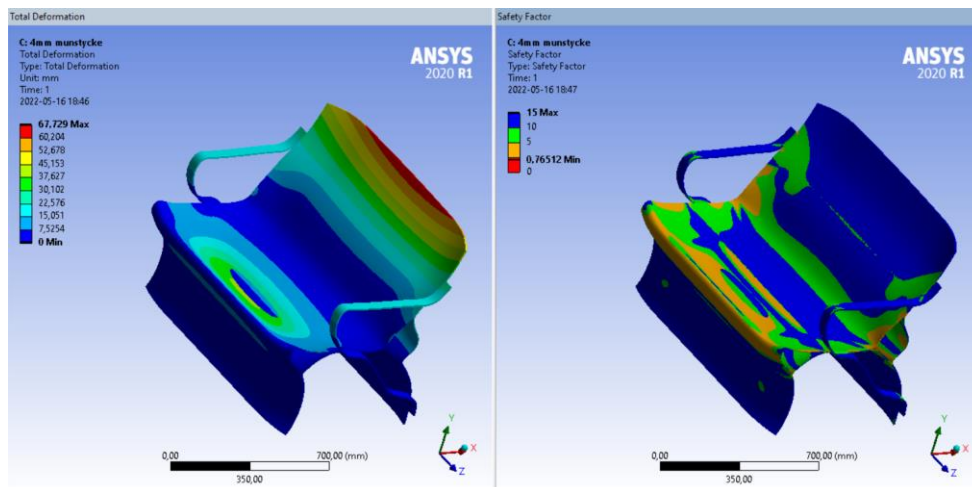
**Figur 67: FEM resultat för fätölj med hårda materialet 2mm munstycke med total deformation till vänster och säkerhetsfaktor till höger**



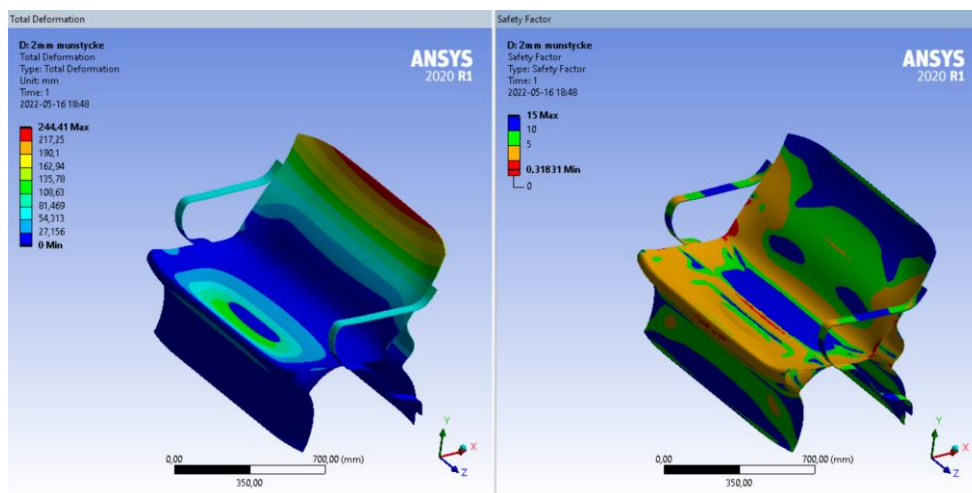
**Figur 68: FEM resultat för soffa med hårda materialet 8mm munstycke med total deformation till vänster och säkerhetsfaktor till höger**



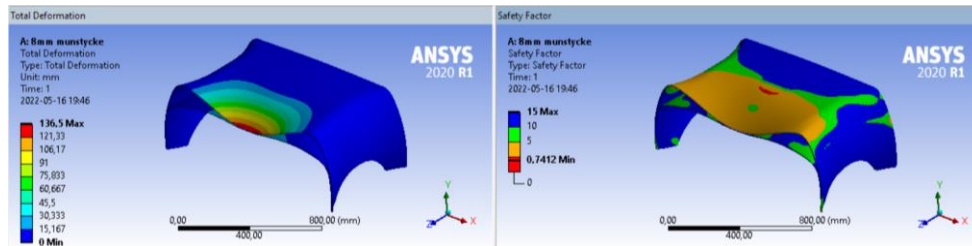
**Figur 69: FEM resultat för soffa med hårda materialet 6mm munstycke med total deformation till vänster och säkerhetsfaktor till höger**



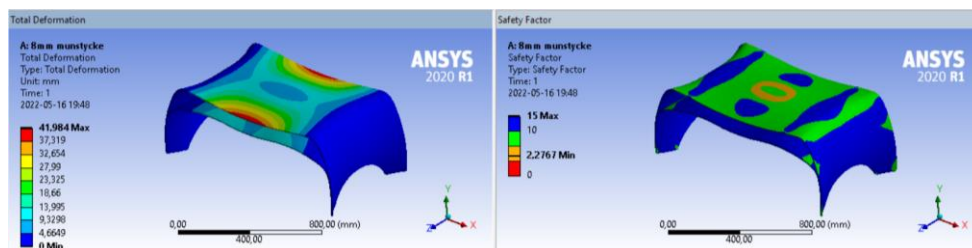
**Figur 70: FEM resultat för soffa med hårda materialet 4mm munstycke med total deformation till vänster och säkerhetsfaktor till höger**



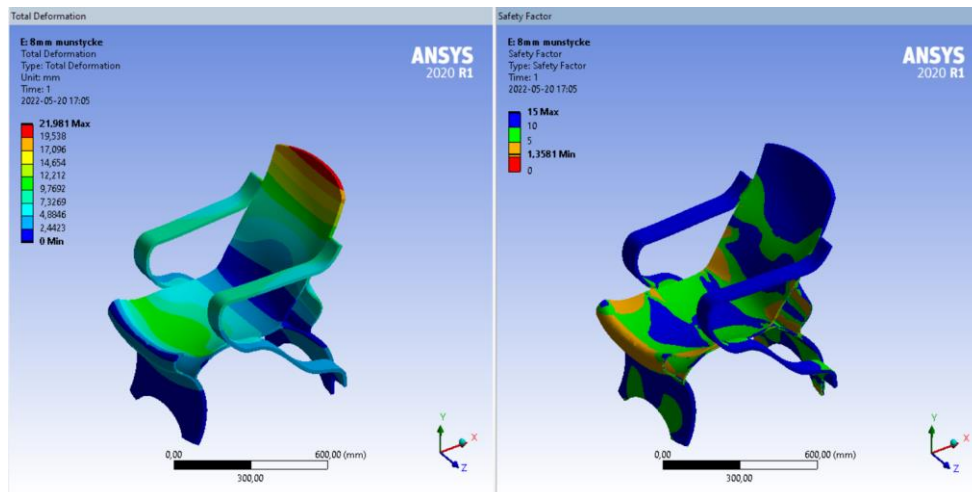
**Figur 71: FEM resultat för soffa med hårda materialet 2mm munstycke med total deformation till vänster och säkerhetsfaktor till höger**



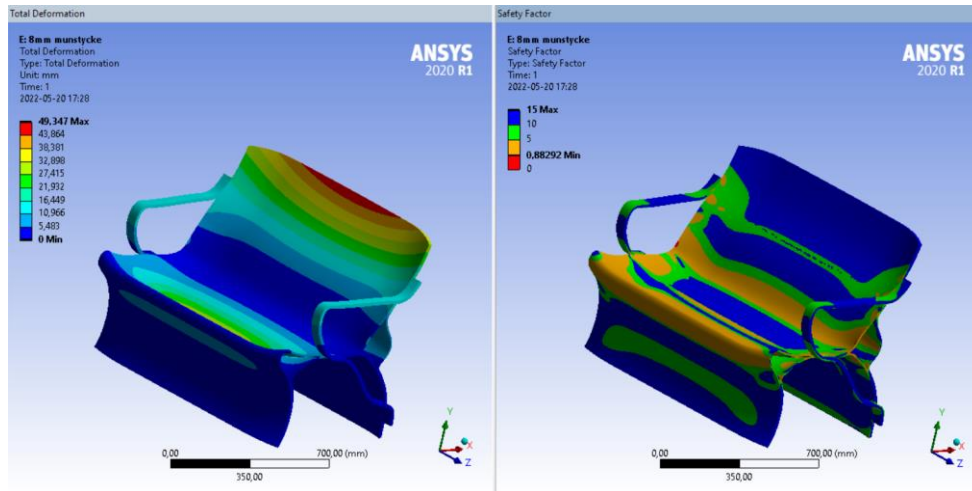
**Figur 72: FEM resultat total deformation till vänster och säkerhetsfaktor till höger med 8mm munstycke och hårda materialet med test för sittande person på kanten**



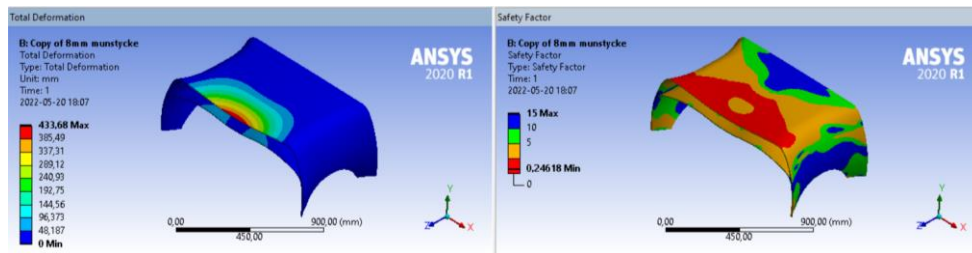
**Figur 73: FEM resultat total deformation nere till vänster och säkerhetsfaktor till höger med 8mm munstycke och hårda materialet för hög allmän last**



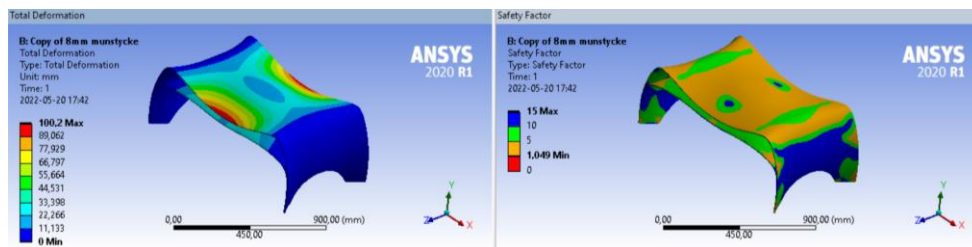
**Figur 74: FEM resultat för fåtölj med mjuka materialet 8mm munstycke med total deformation till vänster och säkerhetsfaktor till höger**



Figur 75: FEM resultat för soffa med mjuka materialet 8mm munstycke med total deformation till vänster och säkerhetsfaktor till höger



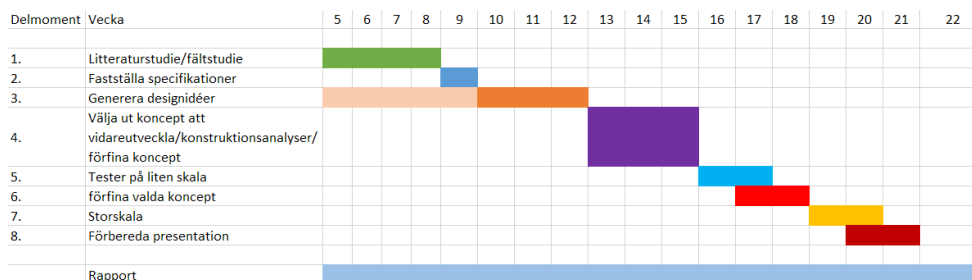
Figur 76: FEM resultat total deformation till vänster och säkerhetsfaktor nere höger med 8mm munstycke och mjuka materialet med test för sittande person på kanten



Figur 77: FEM resultat total deformation till vänster och säkerhetsfaktor till höger med 8mm munstycke och hårda materialet för hög allmän last

## 11.4 Bilaga 4

Tidsplanering av arbetet gjordes i början av arbetet där det gick igenom vilka delmoment som behövdes under arbetets gång, se figur 78.



Figur 78: Gantt schema över arbetsprocessen

Schemat hölls i stora drag genom arbetet, med vissa förändringar allt efter tiden gick. Delmomenten 4, 5 och 6 gick ihop då tester på liten skala påbörjades direkt när tillgång till den lilla skrivaren fanns samt små ändringar gjordes i många iterationer över tiden för att göra utskrivningsbarheten så bra som möjligt. Storskaliga tester blev även framskjutet till slutet på arbetet och blev kortare än beräknat då företaget ej hade fått sin maskin. De enda storskaliga testerna som gick att göra var hos The Industry som tillverkar maskinerna och de hade begränsat med tid att skriva ut.