



**CHALMERS**  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

---



## **Kvalitetssäkring vid additiv tillverkning**

Definiering av en process för utveckling, tillverkning och kvalitetssäkring av additiv tillverkade komponenter

Kandidatarbete inom Högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

**SASA NIKOLIC**

---

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Kandidatarbete IMXS30-19-XX  
Göteborg, Sverige 2019



KANDIDATARBETE IMXS30-19-XX

## Kvalitetssäkring vid additiv tillverkning

Definiering av en process för utveckling, tillverkning och kvalitetssäkring av additiv tillverkade komponenter

*Kandidatarbete inom Högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik*

SASA NIKOLIC

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2019

Kvalitetssäkring vid additiv tillverkning

Definiering av en process för utveckling, tillverkning och kvalitetssäkring av additiv tillverkade komponenter

SASA NIKOLIC

© SASA NIKOLIC, 2019

Kandidatarbete IMXS30-19-XX

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: +46 (0)31-772 1000

Omslag:

Additiv tillverkad sko från Adidas

Chalmers Reproservice

Göteborg, Sverige 2019

Kvalitetssäkring vid additiv tillverkning

Definiering av en process för utveckling, tillverkning och kvalitetssäkring av additiv tillverkade komponenter

Kandidatarbete inom Högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

SASA NIKOLIC

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap

Chalmers tekniska högskola

## SAMMANFATTNING

I denna rapport utvärderas det hur processen för additiv tillverkning via Markforged Mark Two ska gå till för att komponenterna som printas enligt den ska kunna kvalitetssäkras.

Detta är alltså ett teoretiskt arbete där fokus ligger på att beskriva hur en process bör se ut. För att hitta eventuella brister i processen utförs en riskanalys för de olika stegen i processen.

Uppdelningen är:

Framtagning av materialdata, i denna del läggs mycket tid på att definiera vilka materialparametrar som blir nödvändiga att ha med för att senare kunna utföra beräkningar. Ett materialdatablad tas fram som resultat av denna del.

Implementering i beräkningsmodellen, vid denna del definieras det hur materialdatan ska hanteras.

Konstruktion, en kortare konstruktionsguid tas fram som delas upp i två delar. Vid den första ligger fokus på rekommendationer utifrån hållfasthet för komponenten. Vid den andra läggs fokus på de berägränsningar utifrån Markforged Mark Two printern samt tillverkningsmetoden.

Beräkningar, då det saknas materialparameterat för Onyx som är tillverkningsmaterialet blir beräkningsdelen omöjlig att utföra fullt ut. Däremot så beskrivs det hur denna bör utföras och rapporteras efter att materialparametrarna tagits fram.

Slutligen beskrivs hur processen vid additivt tillverkade komponenter bör utföras och hur kvalitetskontroller bör vara.

Projektet utförs vid Deva Mecaneyes kontor i Västerås.

Nyckelord: Additiv tillverkning, Kvalitetssäkring

Quality assurance of component manufactured with additive manufacturing  
Definition of a process for development, manufacturing and quality assurance regarding additive manufacturing of components  
Bachelor's thesis in Mechanical Engineering  
SASA NIKOLIC  
Department of Industrial and Materials Science  
Chalmers University of Technology

## ABSTRACT

This degree project has been written by a student from the Bachelor of Engineering program in Mechanical Engineering at Chalmers University of Technology.

The purpose of this report is to try to describe a process for quality assurance of additive-manufactured components.

A large part of the work has been to produce a proper template for how the material data is to be covered and to produce a proper risk analysis.

The work was done at the Department of Industrial and Materials Science (IMS) and in collaboration with Deva Mecaneyes in Västerås.

Keywords: Additive manufacturing, Quality assurance

# INNEHÅLL

<b>Sammanfattning</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>ii</b>
<b>Innehåll</b>	<b>iii</b>
<b>Förord</b>	<b>ix</b>
<b>1 Introduktion</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	1
1.2 Syfte . . . . .	1
1.3 Avgränsningar . . . . .	1
1.4 Rapportöversikt . . . . .	1
<b>2 Bakgrund</b>	<b>2</b>
2.1 Materiallära . . . . .	2
2.1.1 Val av material . . . . .	2
2.1.2 Framtagning av materialdata . . . . .	3
2.1.3 Metaller . . . . .	3
2.1.4 Polymeramaterial . . . . .	4
2.1.5 Onyx . . . . .	6
2.1.6 Tillverkning med plast . . . . .	6
2.1.7 Standardisering . . . . .	7
2.2 Hållfasthetslära . . . . .	8
2.2.1 Spänning och E-modul . . . . .	8
2.2.2 Viktiga samband . . . . .	9
2.2.3 Utmattning . . . . .	10
2.2.4 Dragprov . . . . .	11
2.3 Konstuktion . . . . .	12
2.3.1 Kraftflöde . . . . .	12
2.3.2 Dimensioneringskriterier . . . . .	13
2.3.3 Spänningskoncentration . . . . .	13
2.4 Additiv tillverkning . . . . .	13
2.4.1 Inställningar . . . . .	15
2.4.2 Vanliga fel för 3D-printade detaljer . . . . .	15
2.5 Nuläget . . . . .	17
2.6 FMEA . . . . .	17
<b>3 Metod</b>	<b>17</b>
3.1 Framtagninga av Materildata . . . . .	18
3.1.1 Frågeställningen . . . . .	18
3.1.2 Printerinställningar . . . . .	18
3.1.3 Provstav . . . . .	18
3.1.4 Tillvekningsförhållanden . . . . .	19
3.1.5 Teoretiska egenskaperna . . . . .	20

3.1.6	De framtagna värdena . . . . .	22
3.2	Implementering i beräkningsmodellen . . . . .	22
3.2.1	Frågeställning . . . . .	22
3.2.2	Materialdata och dess behandling . . . . .	22
3.3	Konstruktion . . . . .	22
3.3.1	Frågeställning . . . . .	22
3.3.2	Konstruktionsguiden . . . . .	22
3.3.3	Del 2 . . . . .	23
3.3.4	Spänningskoncentrationen . . . . .	23
3.3.5	Storlek på komponent . . . . .	24
3.3.6	Stödmaterial . . . . .	24
3.3.7	Krympande hål . . . . .	25
3.3.8	Tillverkningsunderlag . . . . .	26
3.4	Beräkningar . . . . .	26
3.4.1	Frågeställningen . . . . .	26
3.4.2	Beräkningsmetod . . . . .	26
3.5	Tillverkning och Kvalitetssäkring . . . . .	26
3.5.1	Frågeställningen . . . . .	27
3.5.2	Tillverkning och kontroll av tillverkning . . . . .	27
3.6	Risicanlys . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Resultat</b>	<b>27</b>
4.1	Framtagning av materialdata . . . . .	27
4.1.1	Printerinställningar och orientering av provstaven . . . . .	27
4.1.2	Tillverkningsförhållanden . . . . .	28
4.1.3	Teoretiska egenskaper . . . . .	28
4.1.4	Databladet . . . . .	30
4.2	Implementation i beräkningsmodell . . . . .	30
4.2.1	Behandling av materialdatan . . . . .	30
4.3	Konstruktion . . . . .	32
4.3.1	Konstruktionsguiden . . . . .	32
4.3.2	Konstruktionsguiden del 1 . . . . .	33
4.3.3	Konstruktionsguide del 2 . . . . .	36
4.3.4	Tillverkningsunderlag . . . . .	40
4.4	Beräkning . . . . .	41
4.4.1	Implementering av materialdata och tillverkningsunderlaget vid beräkningar . . . . .	41
4.4.2	Rapporteringen av resultaten . . . . .	42
4.5	Tillverkning och kvalitetssäkring . . . . .	43
4.5.1	Tillverkningen . . . . .	43
4.5.2	Kvalitetssäkring av tillverkningen . . . . .	43
4.5.3	Kvalitetssäkringsdokument . . . . .	44
4.6	Risicanlys . . . . .	44
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>44</b>
5.1	Metoddiskussion . . . . .	44
5.1.1	Framtagning av Materialdatan . . . . .	44
5.1.2	Konstruktion . . . . .	44



5.2	Reslutatdiskussion . . . . .	45
5.2.1	Framtagning av Materialdatan . . . . .	45
5.2.2	Implementering i Beräkningsmodellen . . . . .	45
5.2.3	Konstruktion . . . . .	45
5.2.4	Beräkningar . . . . .	46
5.2.5	Tillverkning och kvalitetssäkring . . . . .	46
<b>6</b>	<b>Slutsatser och Rekommendationer</b>	<b>46</b>
6.1	Rekommendationer . . . . .	46
6.2	Slutsatser . . . . .	47
	<b>Referenser</b>	<b>49</b>
	<b>Bilaga A Materialdatabladet</b>	<b>51</b>
	<b>Bilaga B Excelfil för hantering av materialdatan</b>	<b>56</b>
	<b>Bilaga C Lathund</b>	<b>58</b>
	<b>Bilaga D Kvalitetssäkringsdokument</b>	<b>62</b>
	<b>Bilaga E Riskanalys</b>	<b>65</b>

# Figurer

2.1	Resultat av stavhopp i meter på x-axeln och tiden i på y-axel . . . . .	2
2.2	Polymerdeformation kurvan och utsträckningen av kedjorna . . . . .	4
2.3	Strukturen av polymerkedjor hos amorfa vs semikristallin . . . . .	5
2.4	Onyx fibren under mikroskop . . . . .	6
2.5	Komponent där man ser den tydliga lager på lager uppbyggnaden . . . . .	7
2.6	De fyra olika typerna av deformation. . . . .	8
2.7	Sprött och segt brott . . . . .	8
2.8	Spänningstöjningsdiagram . . . . .	9
2.9	Refflat material där ett utmattningbrott skett . . . . .	10
2.10	Dragprov för metall som visar ingenjörsspänningen . . . . .	11
2.11	Dragnings av plaster med olika E-moduler . . . . .	12
2.12	Kraftflödet hos en nötknäppare . . . . .	12
2.13	Spänningskoncentration linjer vid stora och små radier . . . . .	13
2.14	Processen för tillverkning av 3D-printade objekt . . . . .	14
2.15	Pillowing . . . . .	16
2.16	Trådning . . . . .	16
2.17	Bristning . . . . .	17
3.1	Provstav D638 TYP IV enligt ASTM-standard . . . . .	19
3.2	Anordningen som användes av företaget tidigare för kontroll av temperaturen och luftfuktighet . . . . .	20
3.3	Bild på Onyxkuben och IR-mätaren . . . . .	21
3.4	Modell A . . . . .	23
3.5	Modell B . . . . .	24
3.6	Bild på trappan med de olika vinklarna . . . . .	24
3.7	Illustration över vad som menas med fria vinkeln . . . . .	25
3.8	Fem hål med olika geometri . . . . .	25
3.9	Fem hål med olika geometri . . . . .	26
4.1	Provstavarnas orientering . . . . .	28
4.2	Anordningen av stående provstavar . . . . .	28
4.3	De teoretiska egenskaperna . . . . .	29
4.4	Graf som visar den parallella utvidgningen jämfört med utvidgningen i normalled . . . . .	30
4.5	Von Mises spänning över modell A . . . . .	33
4.6	Von Mises spänning över modell B . . . . .	34
4.7	Illustrering över krafterna som drar i komponenten . . . . .	35
4.8	Tre sätt att orientera en och samma komponent som ger den olika hållfasthet . . . . .	35
4.9	Riktningar i modell illustrerade över printbädden . . . . .	36
4.10	Riktningar i modellen illustrerade på komponenten . . . . .	36
4.11	Fem hål med olika geometri . . . . .	38
4.12	Ovanifrån i 2D syns tydligt att stödmaterial behövs. . . . .	38
4.13	Orientering A . . . . .	39
4.14	Orientering B . . . . .	40
4.15	Koordinatsystem för ett generellt additivt tillverkat objekt . . . . .	42

# Tabeller

2.1	Sammanfattning av de vanligaste inställningarna hos 3D-printer . . . . .	15
4.1	Förbestämda inställningarna som provstaven ska printas med . . . . .	27
4.2	Rekommenderade tillverkningsförhållanden . . . . .	28
4.3	Utvidningskoefficientstabell . . . . .	29
4.4	Andel kolfiber i Onyx . . . . .	30
4.5	Tabellen där materialparametrarna ska fyllas i . . . . .	32
4.6	Sammanfattningstabell över maximala Von Mises spänningen för de två modellerna	34
4.7	Första tabellen där minsta möjliga fria vinkeln söktes . . . . .	37
4.8	Andra tabellen där minsta möjliga fria vinkeln söktes . . . . .	37
4.9	Tredje tabellen där minsta fria vinkeln söktes . . . . .	37
4.10	Skillnaden i procent mellan angivna mått och de faktiska måtten . . . . .	38
4.11	Passningstabell . . . . .	39
4.12	Kvalitetskontroll innan print . . . . .	43
4.13	Kvalitetskontroll efter print . . . . .	44



## FÖRORD

Det här examensarbetet är genomfört av en student från högskoleingenjörsprogrammet för Maskinteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet har pågått i 20 veckor från januari 2019 till juni 2019 och utgör 30 högskolepoäng av de 180 poäng som programmet motsvarar. Arbetet gjordes på institutionen för Industri och Materialvetenskap (IMS) och i samarbete med Deva Mecaneyes i Västerås.

Jag skulle i första hand vilja tacka min handledare Mårten Olsson på Deva Mecaneyes för att jag fick möjligheten att skriva detta examensarbete hos dem. Jag är även tacksam över att jag fick använda mig av deras programvara, prova att printa i deras 3D printer och självklart för alla råd och stödet jag fått på vägen, inte endast från Mårten men även från de övriga på Deva Mecaneyes kontoret i Västerås. Jag vill dessutom tacka min examinator Antal Boldizar för den tiden han lade åt sidan för mig.









# 1 Introduktion

Additiv tillverkning har använts sedan början på 80-talet, denna tillverkningsmetod har använts inom många olika områden i allt från maskinkomponenter, medicinska delar till kläder och skor.

Trots att denna metod funnits tillgänglig i drygt 40 år saknas det konkreta standarder kring den. Vilket kan vara anledningen att det största användningsområdet för denna metod är framtagningen av prototyper. Hunter, 1966

I detta arbete tar det fram en process som Deva Mecaneyes kan komma att följa i syfte att kunna kvalitetssäkra de komponenter som tillverkas via additiv tillverkningen i deras verksamhet, samt att en riskanalys av denna process skapas.

## 1.1 Bakgrund

Examensarbetet kom till då företaget Deva Mecaneyes insåg att det fanns ett behov att skapa rutiner som bör följas för att kunna kvalitetssäkra additivt tillverkade komponenter. Behovet var stort då det för tillfället saknas en standardisering kring additiv tillverkning av komponenter.

Vid skrivandet av detta arbete används tidigare examensarbete utfört av Tobias Bäckman Bäckman, 2018 för Deva Mecaneyes. I hans rapport var fokus på att ta fram materialdata för 3D-printmaterial. Yttligare hjälp togs från guidelines från Markforged, tillverkaren av den 3D-printern som företaget använder.

## 1.2 Syfte

Syften med arbetet är att utarbeta en överskådlig beskrivning avseende kvalitetssäkring av komponenter som från additiv tillverkning. Särskilt utsågs att utföra en utgångspunkt för fortsatt kvalitetssäkring och att etablera en riskanalys.

## 1.3 Avgränsningar

Tiden är begränsad till 20 veckor och arbetet ska motsvara 30 hp enligt Högskoleförordningen.

Arbetet kommer att avgränsas till Markforged 3D-printern Mark Two som företaget Deva Mecaneyes använder sig av.

Materialdata kommer att avgränsas till användningen av Onyx som består av nylon och kolfiber.

## 1.4 Rapportöversikt

Arbetet blir uppdelat i fem faser som följer tillverkningsprocessen av additiv tillverkning så att den process som fastställs i arbetet får en tydlig och logisk följd.

Uppdelningen är enligt följande:

Fas 1 - Framtagning av materialdata

Fas 2 - Implementation i beräkningsmodell

Fas 3 - Konstruktion

Fas 4 - Beräkning

Fas 5 - Tillverkning och kvalitetssäkring

## 2 Bakgrund

I detta kapitel presenteras den teori som låg till grunden för projektet. Kapitlets avsikt är att beskriva den relevanta kunskap som krävs för att ge en god uppfattning om rapportens resultat och diskussion.

### 2.1 Materiallära

Material som idag används för additiv tillverkning är plaster och metaller. För att kunna ha goda förutsättningar för att förstå detta arbete bör man bekanta sig med platsernas och metallernas grundläggande egenskaper. Därav detta stycke. För att skriva avsnittet användes kunskap från **Materrilas**:

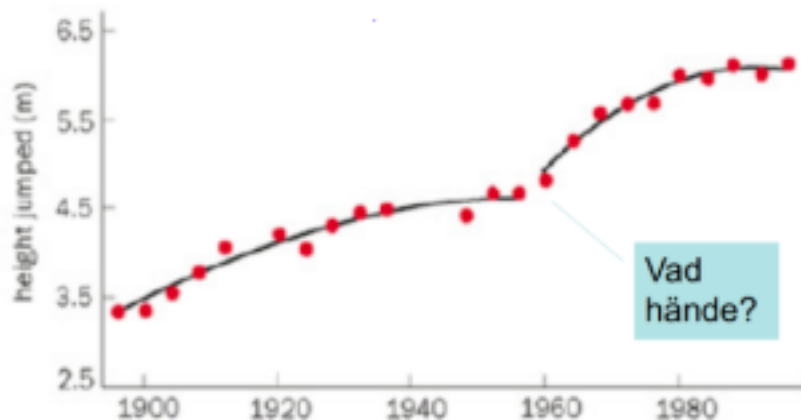
#### 2.1.1 Val av material

Att välja rätt material kan vara svårt då det för tillfället beräknas finns över 200 tusen olika material att arbeta med. Det är dock mycket viktigt att välja rätt då materialet ofta har en avgörande roll för prestandan.

Ta bilden 2.1 nedan som exempel.

CHALMERS  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

### Guldhoppen i stavhopp (OS)



Figur 2.1: Resultat av stavhopp i meter på x-axeln och tiden i på y-axel

Bilden visar en graf över utvecklingen inom stavhopp över åren med årtalen på x-axeln och höjden i meter på y-axeln.

Man kan se ett tydligt hopp kring 70-talet där resultaten plötsligt blir påfallande bättre, man kan även notera att utvecklingen blir snabbare därefter.

Så vad var det som hände inom stavhopp kring 70-talet?

Svaret till denna fråga finner vi inte genom att kika på atleterna själva utan när vi istället kollar på deras utrustning.

Fram till 70-talet använde sig de tävlande av stavar som var tillverkade av trä, bambu, stål och aluminium men på 70-talet slog ett relativt nytt material genom. Detta nya material hade hög E-modul, hög draghållfasthet och en låg vikt, vilket visade sig vara en stor fördel.

Det nya materialet var glasfiber, med epoxi vilket i dagsläget är en välkänd högprestanda komposit. Från exemplet ovan förstå att det är mycket viktigt att välja rätt material för en produkt.

Den stora frågan blir då, hur ska man gå till väga för att välja just rätt material? En rekommendation enligt är att följa en process med fyra steg.

Kortfattat är stegen:

### **1. Översätt behovet**

I detta steg skriver man om behoven till mål, funktioner, begränsningar/kraven och fria variabler.

### **2. Screening**

I detta steg gör man en elimineringsmatris där man tar bort alla de material som inte uppfyller kraven.

### **3. Ranka**

I detta steg rankar man materialen med hjälp av de målen en satt upp i steg ett.

### **4. Sök dokumentation**

Vid det sista steget bör inte allt för många kandidater kvar och tanken här är att ta fram så mycket dokumentation som möjligt för varje kandidat för att sedan kunna göra ett beslut.

En mycket viktig sak man inte får glömma vid val av materialval är även att ha i åtanke hur väl materialet är anpassat till den tillverkningsmetod som kommer att användas samt hur materialet kommer att påverkas av tillverkningsprocessen.

I vårt fall var materialvalet gjort på så sätt att tillverkningsmetoden begränsar till att endast använda Onyx som material.

## **2.1.2 Framtagning av materialdata**

Materialdata kan delas upp i fyra områden:

Generella

Mekaniska

Termiska

Elektriska

De generella är exempelvis densitet eller kostnad och dessa går oftast enkelt att slå upp i materialdatabaser. Till de mekaniska materialdata hör materialets elasticitet, spänning, deformation, förmåga att ta upp energi, seghet, brottseghet, hårdhet mm.

Med den termiska materialdata menas framför allt smältpunkt, försvinningspunkt samt expansionskoefficienten även kallad för utvidgningskoefficienten samt värmeledningsförmågan. Med de elektriska egenskaperna syftar man på exempelvis elektrisk konduktivitet.

Dessa kan mätas upp experimentellt som Tobias Bäckman gjorde i sitt arbete. Detta är dock både tids- och resurskrävande och därför uppskattas standardvärden mycket.

För metaller finns det förhållandevis bra data medans det ont om god data för platser som används vid additiv tillverkning. Antal Boldizar, 2008

## **2.1.3 Metaller**

De vanligaste materialet för 3D-printning är polymermaterial, dock finns det även en del additiv tillverkning som görs med metall. Därför tas detta korta stycke med i arbetet så att läsaren ska kunna bekanta sig med grundläggande egenskaper även hos metaller.

Metaller är grundämnen med hög ledningsförmåga både för elektricitet och värme, de är lätta att forma, har generellt en hög densitet och glänsar när de är polerade.

Metaller har använts av människan sedan bronsåldern som började 1700 f.Kr så det är inte överraskande att det finns gott om standarder för dessa. Däremot saknas det ännu en del värden på hur dessa påverkas av utmattnings. Jobbaren, 2019

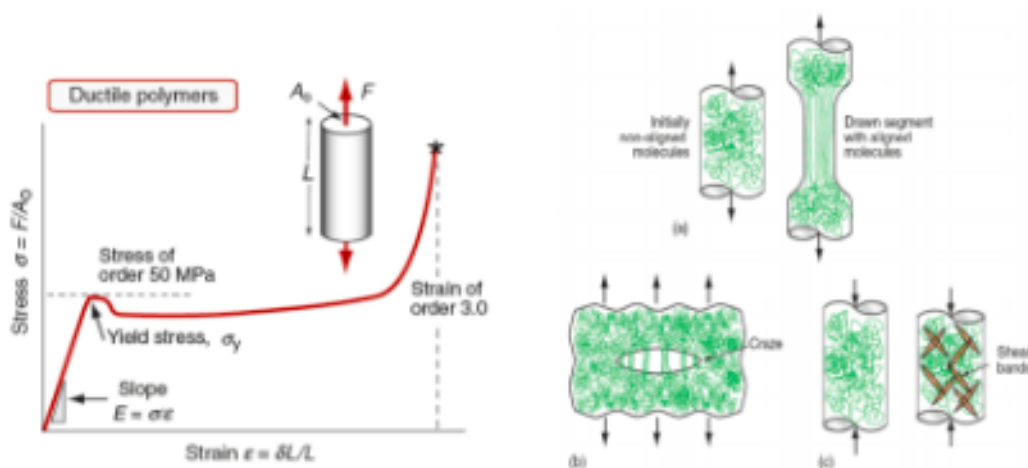
### 2.1.4 Polymermaterial

Med polymermaterial menas hårdplast, termoplast och elastomerer. Dessa är seiga material som huvudsakligen består av långa kedjor av upprepade monomererpolymerer.

Polymerer kallas ofta i vardagspråk för plaster fast plaster är egentligen polymerer med adderade tillsatser som ger dessa önskade egenskaper.

För nuvarande saknas allmänna erfarenheter omformade till industrin för polymermaterial.

## Polymerers deformation – 'sopsäcken'



Figur 2.2: Polymerdeformation kurvan och utsträckningen av kedjorna

Plaster har ett specifikt brottbeteende som bör beaktas om man ska arbeta med dessa. Som vi kan se från figur 2.2 ovan så har polymerer speciella egenskaper. Kurvan i den vänstra delen av bilden kan delas upp i den elastiska delen, den plastiska även kallad för den flytande delen och den andra elastiska delen eller deformations hårdnande.

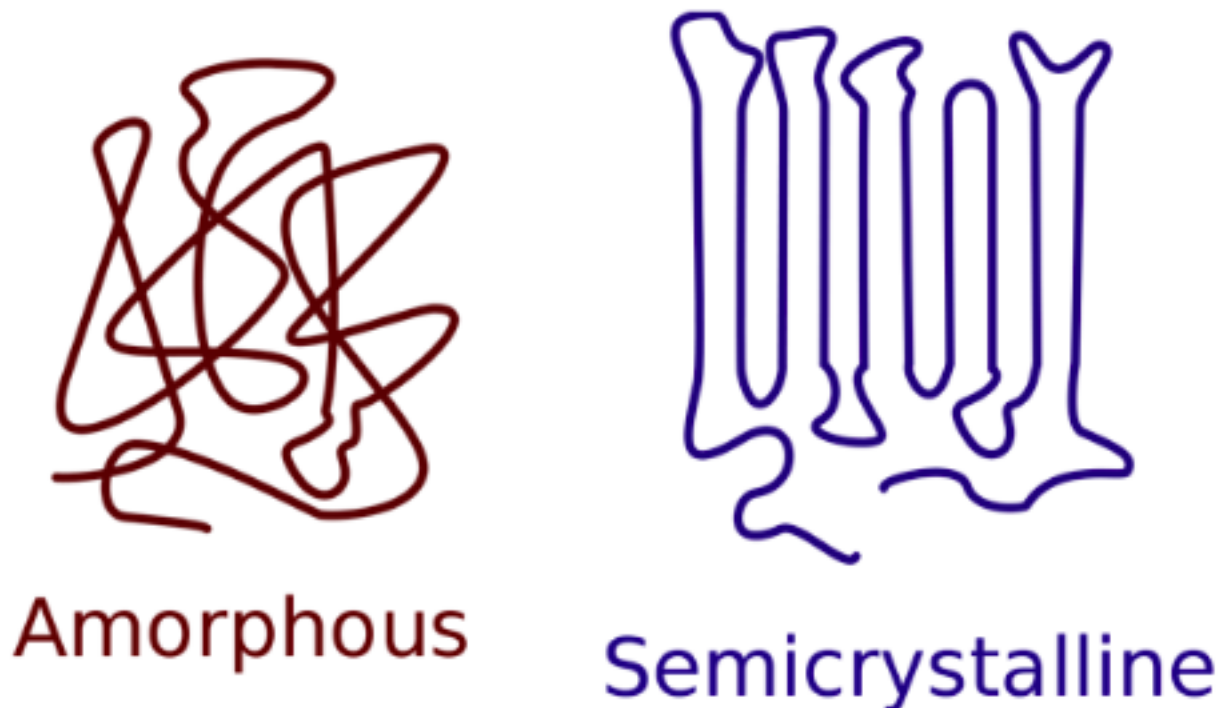
Vid den första elastiska delen då materialet befinner sig under sträckgränsen beter sig materialet som en metall. Här är det enkelt att förutse hur materialet beter sig.

Att materialet är elastiskt innebär att om man släpper på den pålagda spänningen kommer materialet att återvända till ursprungsformen utan någon kvarstående deformation.

På en kemisk nivå är det trådarna i polymeren som sträcker ut sig från det nystan de befinner sig i. När dessa har sträckt ut sig helt kommer materialet in på den andra delen som kallas för den plastiska eller den flytande delen. Här blir det svårt att avgöra hur materialet kommer att bete sig, det sägs att det "flyter".

Denna del är svår att räkna på då töjningen blir större medan spänningen i stort sätt är detsamma.

När alla kedjorna rätats ut och töjts ut maximalt kommer vi in i den andra elastiska delen. Här ökar spänningen mycket snabbt och slutligen går materialet av. Ytterligare ett viktigt avsnitt inom polymerer att ha kunskap kring är skillnaderna mellan Amorfa och Delkristallina. Denna skillnad är egentligen enklast att förklara med bilden 2.3 nedan.



Figur 2.3: Strukturen av polymerkedjor hos amorfa vs semikristallin

Från figur 2.3 syns det att de amorfa polymerer kedjor är ihopskrynklade utan någon ordning, medan de delkristallina även kallade för semikristallina är delvis ordnade.

Det intressanta är hur detta upplägg av kedjorna påverkar egenskaperna hos materialet.

#### **Amorfa:**

De amorfa polymererna tål belastning bra, har en bra ytfinhet, är genomskinliga, de är styva upp till sin glastemperatur, mycket dimensionsstabila men hos dessa uppstår även lätt spänningssprickor.

Exempel på Amorfa är:

ABS - har god styvhet, mycket lättbearbetade, känsliga för UV-ljus, dessa används vanligtvis för bland annat kåpor, skyddshjälm, kylskåp inredning mm.

PMMA - även känd som plexiglas, dessa kan man tex finna som glasersättning, relativt billig och genomskinlig.

Polykarbonat PC - mycket slagkraftig, tål höga temperaturer, känslig för metanol, utmattas lätt, och kan skapa spänningssprickor snabbt i kontakt med olja eller bensin.

#### **Semikristallina:**

De semikristallina polymererna är relativt styva, har en låg friktion, skevar lätt, har en stor formkrympning, bra dragtöjning och är inte genomskinliga.

Exempel på semikristallina är:

Polyacetal POM - dessa är relativt styva, bra mot utmattning, tar inte upp fukt men brinner häftigt, känslig för skarpa hörn, lättbearbetad. Används vanligtvis för kugghjul, remskivor, vattenmätare, pumphjul och finmekaniska detaljer.

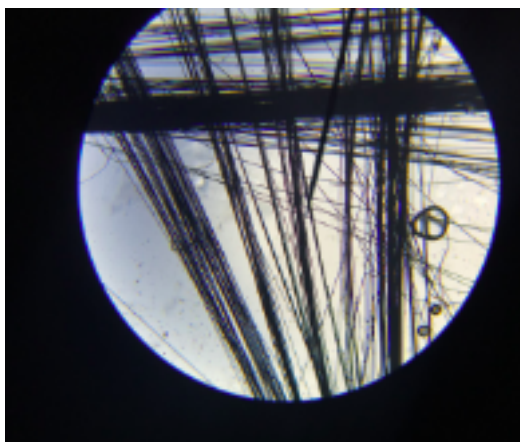
Polyamid PA - styv vid höga temperaturer, låg friktion, lättsprutad, fungerar bra upp till 120 Celsius, spröd vid låga temperaturer. Används exempelvis till hushållsmaskiner, fibrer av olika slag, kugghjul, dörrhandtag mm.

Polypropen PP - känslig för UV-ljus, spröd vid låga temperaturer, mycket kemiskt tålig och används därför ofta inom laboratorier och för att tillverka behållare för kemiska substanser. Nossrac, 2019

### 2.1.5 Onyx

Det material som detta arbete begränsas till är Onyx då det är detta material som man använder sig av vid additiv tillverkning på Deva Mecaneyes.

Nedan visas en mikroskopbild, figur 2.4, på onyxfibren. Onyx är en blandning av flexibelt nylon och kolfiber som ger den en hög styvhet och är ett vanligt 3D-printer material. PLM-grup, 2019



Figur 2.4: Onyx fibren under mikroskop

### 2.1.6 Tillverkning med plast

De vanligaste tillverkningsmetoderna för plast är:

#### **Formsprutning**

Formsprutning är en av det mest använda tillverkningsmetoderna för plast i Sverige, denna används till termoplaster, härdplaster och elaster.

Metoden kan användas för både semikristallina och amorfa plaster.

Formsprutningsmaskiner består av sprutenhet och formblåsningenhet. Sprutenheten består av en uppvärmd cylinder och en roterande skruv. Formblåsningenheten är stängd tills den fyllts med tillräckligt mycket smält plast och tillräckligt högt tryck har byggts upp och materialet stelnat. Det är viktigt att se till att hela formen är uppfylld och att den smälta plasten inte stelnar för fort då detta gör att plasten blir spröd.

#### **Gjutning**

Utan att gå in alltför mycket på detaljer kan gjutning kortfattat beskrivas som att hälla smältan i en form även kallad för kokill och låta den stelna utan trycksättning. Gjutning görs ofta med metaller men även en del härdplaster.

#### **Extrudering**

Extrudering eller strängpressning är användbar för föremål som har konstant tvärsnitt. Här pressas materialet genom ett munstycke även kallad matrisen. Matrisens utformning bestämmer detaljens geometri. Produkten som strängpressas är långa och har samma genomskärningsyta längst hela längden.

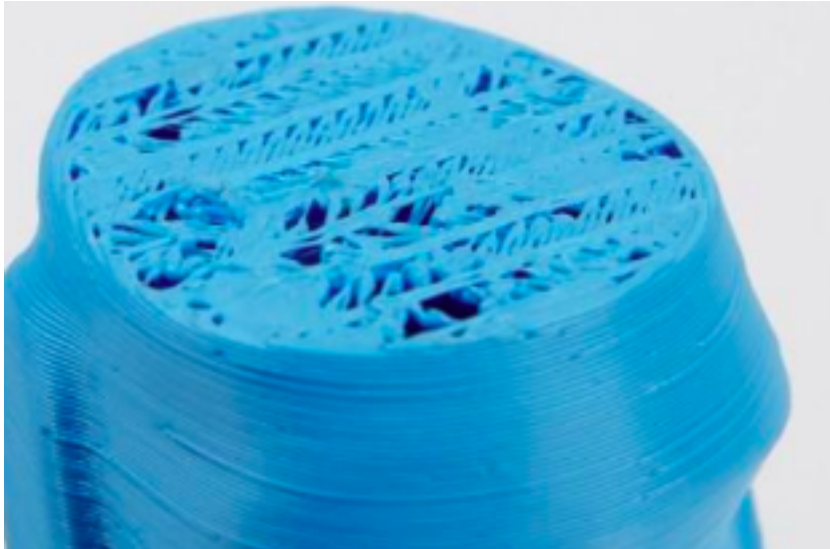
### 3D-print

Själva händelseförloppen för 3D-print beskrivs utförligt nedan. Det som är viktigt att ha i åtanke är de mekaniska egenskaperna i detaljers olika riktningar. Lennart Hågeryd, 2001

*”3D-printing is actually a misnomer, It’s actually 2D-printing over and over again”*

– Joe DeSimone 2015

Beskrivningen given från Joe DeSimone är betänklig, det som idag kallas för 3D-printning är egentligen inte riktigt 3D-printing. Utan vanlig 2D-printade lager staplade på varandra. Detta är enkelt att se om i tillräcklig förstoring av strukturen av en 3D-printad detalj, se figur 2.5 nedan.



Figur 2.5: Komponent där man ser den tydliga lager på lager uppbyggnaden

#### 2.1.7 Standardisering

Dragprovning används vanligen för framtagning av mekaniska egenskaper. För att ta fram materialdata används ofta dragprover. För att dessa ska vara så lika varandra som möjligt bör det bestämmas vilken provstav som kommer att användas vid dragproverna, dvs processen bör standardiseras.

Standardisering kom till för att underlätta och påskynda arbetet mellan olika företag och har visat sig vara mycket effektivt och hjälpsamt för många företag.

Standarder kan göras på flera olika aspekter så som dimensionering, material, metod som används, prestanda, beräkningar mm.

Viktiga standarder organ är:

ISO-standard, International Organization for Standardization

EN, Europeiska Unionen

SS, Svensk standard

ASTM, American Society for Testing and Materials

ASTM är den största nationella organisationen för framtagning av standarder, bland annat standarder att för till vid provtagningar.

ASTM D 3039 - 17 och ASTM D638 - 14 är exempel på två standardprovstavar som ASTM tagit fram för att standardisera provstavar av plast. Dessa används till dragprovshug av komposit för förstärkta plaster har vistats D3039 och enbart plast för D 638.

Detta arbete är begränsat till enbart plaster och därför kommer provstaven enligt D 683 standarden att användas. International, 2019

## 2.2 Hållfasthetslära

I detta avsnitt går kort igenom några grundläggande termer och aspekter av hållfasthetsläran. Hållfasthetslära är läran om fasta kroppars beteande under mekanisk bearbetning och deformation. Alltså beskrives förhållandet mellan deformationen hos kroppar och de krafter som verkar på kroppen. Det finns fyra typer av deformation som grundläggande:

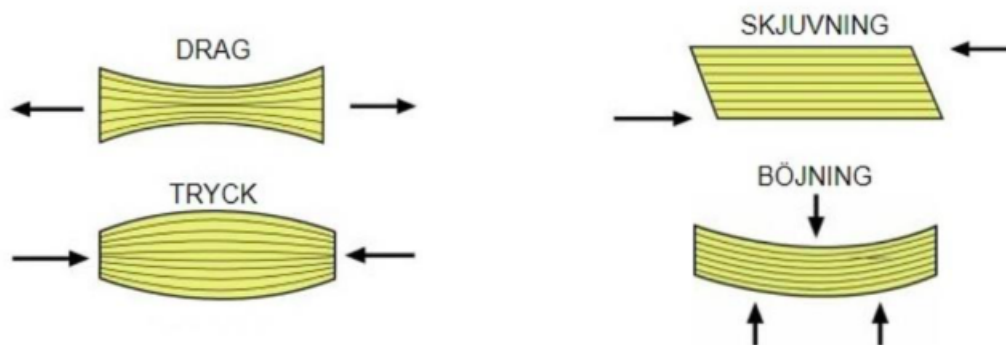
Drag

Tryck

Skjuvning

Böjning

Dessa visas schematisk i fig 2.6.



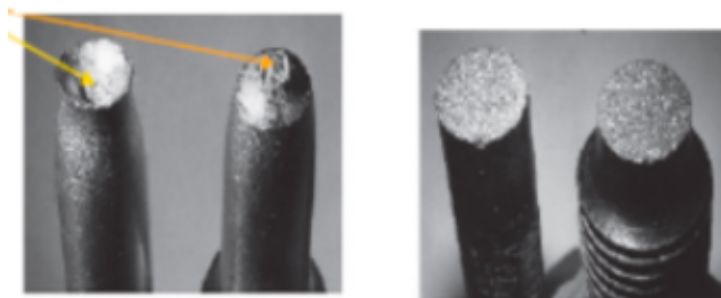
Figur 2.6: De fyra olika typerna av deformation.

### 2.2.1 Spänning och E-modul

Spänning är ett grundläggande begrepp inom hållfasthetsläran defineras som kraften som kan tas upp av en viss area. Om materialets spänningsgräns överstigs kan brott uppstå.

Man skiljer på spröda och sega brott. Vid sega brott kvarstår deformationen som skapades i materialet innan brottet medan det inte gör det vid spröda brott. Man kan se det som att vid spröda brott går objektet plötsligt av ", se fig 2.7 nedan. Dahlberg, 2001

### Segt (ductile)    Sprött (brittle)



Figur 2.7: Sprött och segt brott



Ett annat grundläggande begrepp inom hållfastheten är den så kallade E-modulen, som beskriver styvheten hos ett material.

E-modulen är egentligen kvoten mellan spänningen och deformationen under den elastiska delen. Med den initialaelastiska delen av deformation menas deformation som sker under sträckgränsen. Under denna gräns återgår materialet till sin ursprungsform när belastningen tas bort. Över den gräns erhålls istället en kvarstående deformation.

När material deformeras över sin sträckgräns kallas det för plastisk deformation. Dahlberg, 2001

## 2.2.2 Viktiga samband

Sambanden mellan spänningen i materialet och töjningen av det kan tas fram enligt spänningsdefinitionen, där spänningen är kvoten mellan kraften och tvärsnittsarean:

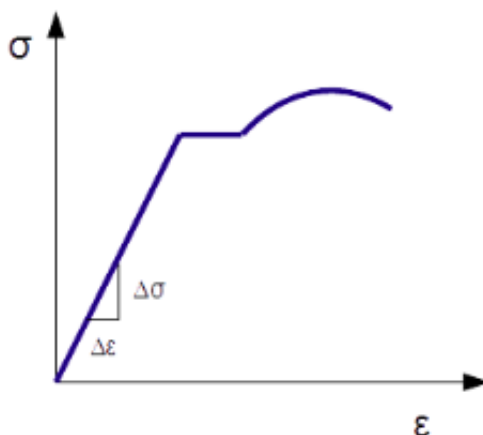
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

Töjningen i materialet är sambandet mellan förlängningen och den ursprungliga längden. Där täljaren är förlängningen och nämnaren är ursprungslängden:

$$e = \frac{\delta}{L_0} \quad (2.2)$$

Sambandet mellan spänningen och töjningen i ett material kan för den elastiska delen (den linjära delen på drag kurvan) tas fram med E-modulen.

Om man plottar spänningen på y-axeln och töjningen på x-axeln, dvs skapar ett spännings-töjningsdiagram kan E-modulen avläsas som den initiala lutningen, se fig 2.8 nedan.



Figur 2.8: Spännings-töjningsdiagram

Sambandet mellan spänning och töjning kallas även för Hookes lag, och från den defineras enligt:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Töjning i material kan även uppstå på grund av ändring i temperaturen, denna töjning beräknas med utvidgningskoefficienten  $\alpha$  är känd via:

$$\epsilon = \alpha \Delta T$$

Det är viktigt att ha i åtanke att deformationen i längdriktningen även ger deformation i tvärriktningen, dvs töjning i längdriktning ger upphov till töjning i tvärriktning.

Töjningen i tvärriktning är proportionell mot töjningen i längdriktningen. Denna proportionalitetskonstant kallas för tvärkontraktionstalet eller för Poissons tal,  $\nu$  och kan tas fram enligt:

$$\nu = \frac{\frac{l-l_0}{l_0}}{\frac{L-L_0}{L_0}}$$

Täljaren är här den relativa ändringen i tjocklek och nämnaren är den relativa ändringen i längden.

### 2.2.3 Utmattning

Utmattning innebär en lägre hållfasthet orsakad av upprepade mekaniska spänningar.

Vid utmattning påverkas materialets elasticitet och sträckgräns.

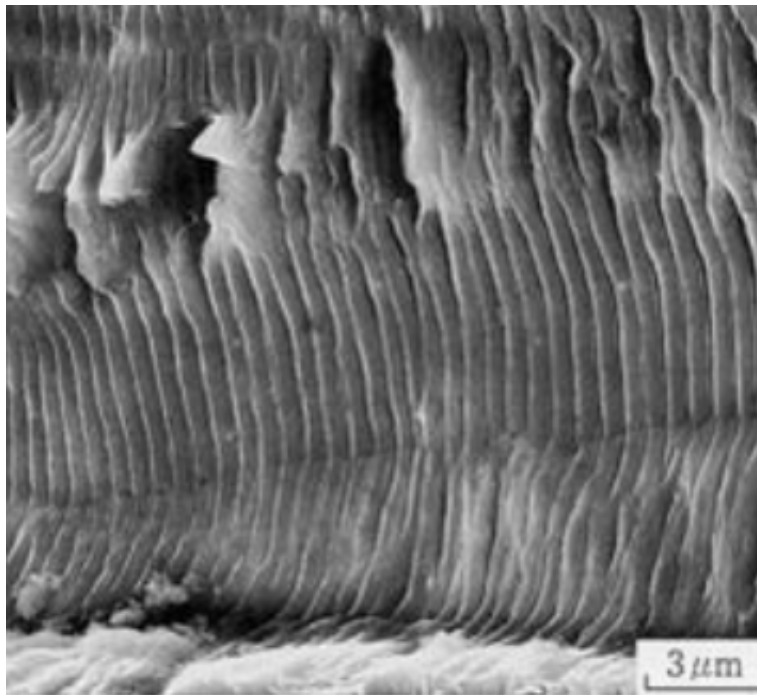
Materialets förmåga att motstå utmattning kallas utmattningshållfasthet och är ett mått på hur väl materialet står emot brott vid stort antal spänningsväxlingar.

Man kan dela upp utmattningsbrott i tre steg.

I steg ett uppstår den initiala sprickan, denna börjar ofta med en repa på ytan eller från en inre defekt.

Under det andra steget växer sprickan för varje cykel komponenten utsätts för, man kan se hur sprickan har vuxit fram cykliskt, materialet är refflat, se fig 2.9 nedan.

När sprickan växer sig tillräckligt stor uppstår ett plötsligt katastrofalbrott. Dahlberg, 2001



Figur 2.9: Refflat material där ett utmattningsbrott skett

Utmattningsbrott utgör 80% av maskinkonstruktionshaverier och ca 90% av alla brott i metall. MagnusA.Bot, 2019

Ett känt katastrofalbrott orsakad av utmattning är olyckan vid oljeplattformen Alexander Kielland i Ekofisk i Nordsjön, Norge. Här var det vågorna som orsakade utmattningen genom att cykliskt slå emot en av pelarna som oljeplattformen stod på. Den ursprungliga sprickan som sedan spreds under cyklisk inverkan skapades troligen redan då plattformen tillverkades.

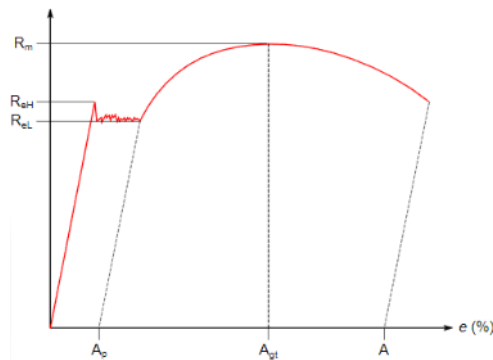
I denna olycka orsakad av utmattningsbrott omkom 123 människor som arbetade på oljeplattformen. Magnus A. Bot, 2019

## 2.2.4 Dragprov

I figur 2.10 nedan visas en dragprovskurva där x-axeln är deformationen och y-axeln visar spänningen. Dragspänningskurvan delas in i tre områden.

Först är den linjära delen som visar sambandet mellan spänning och töjning. Lutningen på denna del är materialets E-modul. Denna del når sin höjd vid  $R_{eH}$  vilket är den övre gränsen av sträckgränsen. Den andra delen är efter att  $R_{eH}$  överskrids vilket resulterar i stora förändringar med avseende på deformation samtidigt som spänningen bevaras relativt lika.

Den tredje och sista delen är den delen då kurvan börjar svänga nedåt trots att spänningen egentligen ökar, detta beror på att det uppstår en midjebildning i provstaven som orsakar att tvärsnittsarea minskar lokalt.



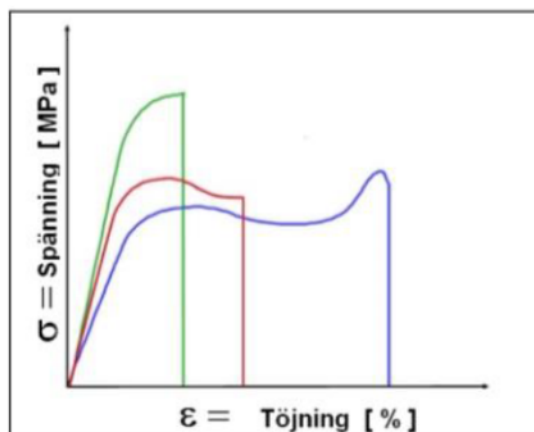
Figur 2.10: Dragprov för metall som visar ingenjörsspänningen

Nedan i figur 2.11 visas dragprover från tre olika plaster.

Den gröna kurvan är från en fiberförstärkt plast som är styv och spröd. Sträckgränsen och brottgränsen inträffar vid samma punkt. Detta innebär att brott sker plötsligt utan att materialet ger någon visuell indikation på det.

Den röda kurvan är från ett segare material där det finns en tydlig midjebildning.

Den blåa kurvan är från det segaste materialet med lägst E-modul. Här finns en tydlig plasticering som leder till deformationshårdnande orsakad av att molekyler ordnas om vid plasticeringen.



Figur 2.11: Dragning av plaster med olika E-moduler

## 2.3 Konstruktion

För förståelse av konstruktionsdelarna i denna rapport bör läsaren vara bekant med några grundläggande koncept inom konstruktion. Melkersson, 2017

### 2.3.1 Kraftflöde

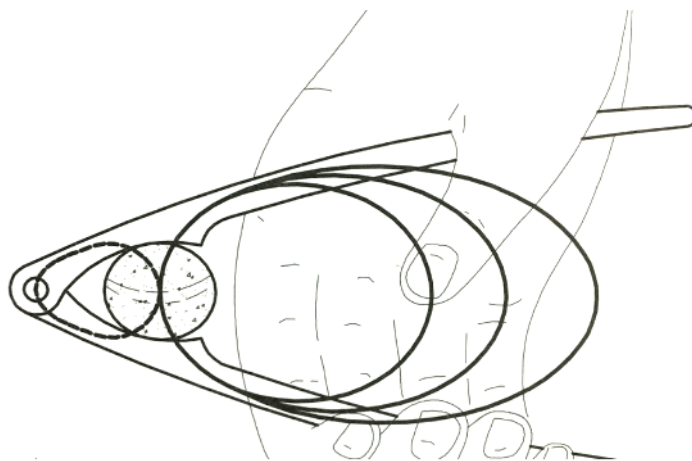
För att kunna skapa hållbara komponenter behövs en god uppfattningen om hur den kommer att belastas. Här kommer kunskapen om kraftflöde till användning.

Kraftflöden och momentflöden är slutna händelsekedjor som uppstår pga att, varje verkande kraft framkallar en lika stor motriktad kraft.

Detta innebär i kort att om en komponent utsätts för en kraft eller ett moment så skapas stödreaktioner i komponenten. Dessa skapar i sin tur krafter på nästa element som då får stödreaktioner på nästa o.s.v.

Det finns inga generella metoder för att ta fram kraftflöde mer än ett tränat öga med förmågan att se kraftflödet genom en detalj eller en hel konstruktion.

Nedan i figur 2.12 illustreras ett kraftflöde genom en nötknäppare. Melkersson, 2017



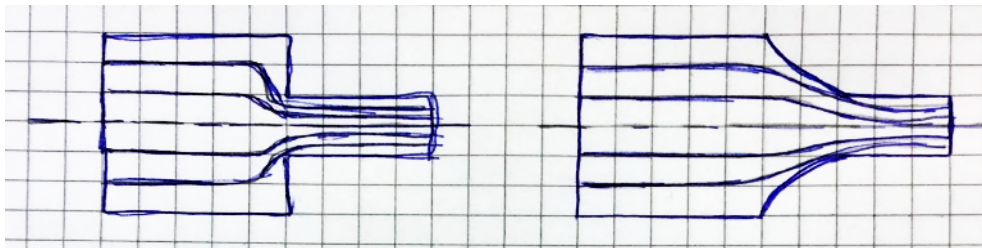
Figur 2.12: Kraftflödet hos en nötknäppare

### 2.3.2 Dimensioneringskriterier

För att kunna sätta dimensioner på detaljer krävs det mer än endast de siffervärden man får från från de teoretiska modellerna. Det krävs en del objektiva kriterier såsom överskridande av brottgräns, utmattningsgräns, stabilitetsgräns.

### 2.3.3 Spänningskoncentration

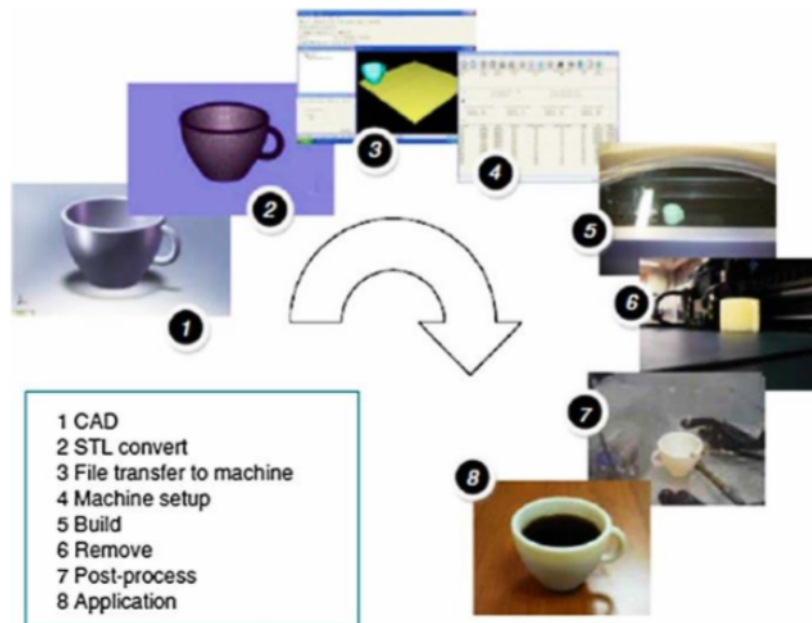
Spänningskoncentrationen innebär att spänningen koncentreras kring ett visst ställe och har ofta en stor inverkan på detaljens hållfasthet. Spänningskoncentrationsfaktorn eller formfaktorn förkortas ofta med  $K_t$  och är tabellerad för olika geometrier i de flesta formelsamlingarna finns dea angivna. Generellt eftersträvas så stora radier som möjligt och skarpa invändiga hörn undviks eftersom de högsta spänningskoncentrationerna lätt uppstår där, se figur 2.13.



Figur 2.13: Spänningskoncentration linjer vid stora och små radier

## 2.4 Additiv tillverkning

Additiv tillverkning är den tillverkningsmetod där tredimensionella föremål skapas genom att gradvis lägga till material. Additiv tillverkning kallas ofta 3D-printing. Additiv tillverkning kan utföras på olika sätt och kategoriseras upp, det gemensamma samlingsnamnet är Additive Manufacturing och förkortas ofta bara till AM. Ytterligare ett samlingsnamn är Freeform fabrication eller förkortat FFF. Trots att processerna för AM kan variera något har alla gemensamma steg. Dessa är visade pedagogiskt i figur 2.14 Gibson, 2014



Figur 2.14: Processen för tillverkning av 3D-printade objekt

### Konceptframtagning

Här gäller det att ta beslut om utseende och funktionen för en produkt. Konceptframtagning kan se ut på många olika sätt, allt från beskrivningar till skisser men för att kunna använda sig av AM behövs det en digital-modell. Denna skapas ofta i CAD.

### Konvertering till STL/AMF

Konvertering till STL innebär att göra om modellen till en enklare modell än i CAD, man tar bort all konstruktions och modelldata sedan approximeras ytan med ett triangulärt mönster. De flesta CAD programmen har idag en direkt översättning till STL-fil men en del problematik uppstår då CAD-programmet vill rätta till felen som att det saknas material. Vilket inte är fel enligt STL-filen. En STL-fil är egentligen endast en samling av trianglar och normalvektorer. För att undvika dessa problem har AMF(Additive Manufacturing File) tagits fram som numera är standard att använda sig av.

### Arbeta med STL/AMF

Manipulering av STL/AMF filen behövs de flesta AM-maskinerna har verktyg som tillåter användaren att manipulera den parten som ska byggas genom att exempelvis orientera parten annorlunda eller variera mängden av stödmaterial.

### Maskinställningar

I detta steg ställs AM-maskinen in genom att välja inställningsparametrar såsom materialval, skikt-tjocklek mm.

### Byggprocess

När alla inställningar i föregående steg är färdiga påbörjas uppbyggnaden och parten byggs i verkligheten. Det första skiktet byggs på plattan som sedan rör sig sakta neråt och nästa skikt byggs på det föregående och så stegvis till hela parten är klar.

### Friläggning

När parten är färdig ska den tas bort från plattan den byggts på, detta görs oftast manuellt och parten

kan skadas om detta steg utförs slarvigt.

### Efterbehandling

Den tillverkade parten behöver oftast efterbehandlas för att få önskade egenskaper. Efterbehandlingen kan innebära slipning, polering och värmebehandling.

### Användning

Här kommer den stora problematiken med AM-tillverkade produkter. Produkter tillverkade i samma material via traditionella tillverkningsmetoder har med sig en beprövad materialstandard medan AM-tillverkade produkter saknar denna standardisering vilket troligtvis är en av anledningarna till att AM-tillverkade komponenter för det mesta endast används som prototyper. Gibson, 2014

## 2.4.1 Inställningar

Tabellen nedan är en kort sammanfattning av de vanligaste inställningarna man bör ha kännedom kring om man ska arbeta med 3D-printing:

Engelska namnet	Översättningen	Beskrivning	Rekommendationer
Layer Height	Lagerhöjd	Höjden på skikten	Ju tunnare desto finare detalj
Shell Thickness	Vägg tjocklek	Antal lager i väggen	Ju tjockare desto robustare detalj
Retraction	Indragning	Bestämmer hur mycket munstycket dras in	Fel inställning kan orsaka trådning, se riskanalys
Fill Density	Fyllningsgraden	Anges i procent och talar om fyllnadsgraden av detaljen (100% = helt fylld)	Generellt starkare med högre fyllnadsgrad
Printing Speed	Utskriftshastigheten	Hur snabbt skrivhuvudet färdas	Mera detaljerade detaljer behöver lägre hastighet
Bottom/Top Thickness	Botten och topp tjockleken	Antal topp och bottenlager	Tjockare botten ger mera stabilitet, tjockare topp minskar risken för pillowing"
Spiralize	Utslätning av Z-ärren	Vid skarpa hörn kan Z-ärr eller dragkedja-ärr skapas	Se till att aktivera denna om detaljen som tillverkas innehåller skarpa hörn

Tabell 2.1: Sammanfattning av de vanligaste inställningarna hos 3D-printer

## 2.4.2 Vanliga fel för 3D-printade detaljer

Vissa fel uppstår oftare än andra vid 3D-printning, här nedan tas tre vanliga fel upp. Dessa kan uppstå var för sig eller tillsammans på en och samma komponent som i fallet nedan.

Pillowing - orsakas ofta av att det översta lagret är för tunt och ser ut som små kuddar mellan skikten

2.15.



Figur 2.15: Pillowing

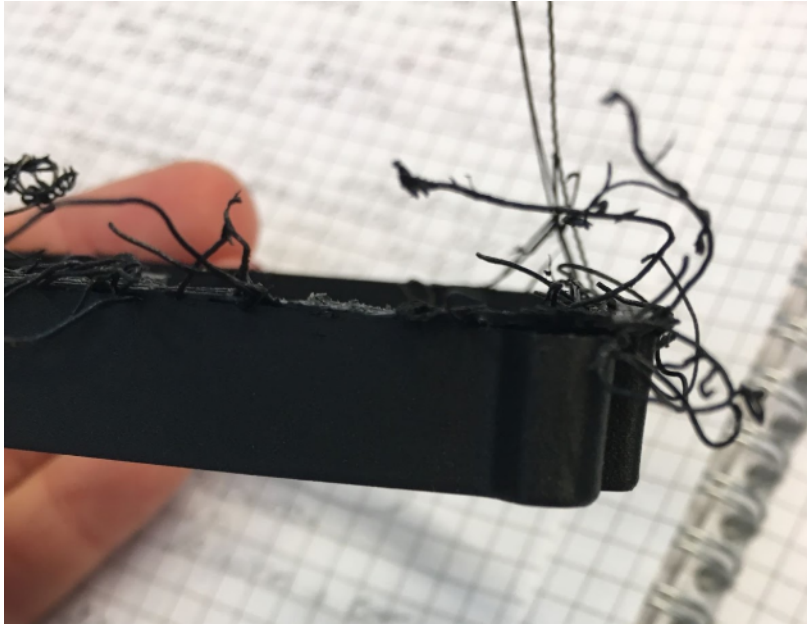
Trådning - orsakas ofta av att det finns en viss läckning från munstycket och kan åtgärdas med ökad indragning 2.16



Figur 2.16: Trådning

Cracking/Bristning - orsakas ofta av att skikten inte fäster i varandra ordentligt och kan förbättras med ökad temperatur 2.17.





Figur 2.17: Bristning

## 2.5 Nuläget

Idag finns det flertalet användningsområden för AM såsom snabb prototyp tillverkning, produktutveckling, medicinsk 3D-print, tillverkning av kläder och även konst. Nordamerika och Europa är världsledande inom 3D teknologier idag, men även Japan använder sig mycket av denna teknologin.

## 2.6 FMEA

FMEA är kort för Fail Models and Effects analysis eller på svenska feleffektsanalys. Detta är en metod som många företag använder sig av för att på ett systematiskt sätt kunna förutse möjliga fel och utvärdera dess konsekvenser.

En FMEA analys bör utföras i grupp med deltagare från olika områden. Analysen genomförs genom att en blankett/datablad fylls i eller genom att man använder sig av FMEA-programvaror. Det senare är dock för väldigt komplexa riskanalyser.

I denna rapport kommer en förberedd excel-fil att fyllas i. Per Linstedt, 2003

## 3 Metod

I detta kapitel redogörs arbetsgången för arbetet och metoden granskas för att ge förståelse i den genomförda processens utformning. Avsnittets syfte är att ge svar på hur genomförandet utformats samt varför det har utformats på det viset.

## 3.1 Framtagning av Materildata

Inför denna del träffades styrgruppen med studenten och pratade ihop sig om vilka delar som bör finnas med i processen för framtagning av materialdata för att kunna kvalitetssäkra additivt tillverkade komponenter. Man kom fram till att ett datablad bör skapas där all relevant fakta skulle stå med. I denna del av arbetet var målet att ta fram ett sådant datablad.

### 3.1.1 Frågeställningen

Frågeställningen här blir:

*Vilka materialprover behöver utföras för att kunna säkra kvaliteten för en komponent tillverkad via additiv tillverkning i en Markforged Mark Two skrivare?*

### 3.1.2 Printerinställningar

Inställningarna på printern blir högst avgörande för komponentens slutgiltiga hållfasthet, därav bör dessa tas med i databladet som skapas för framtagning av materialdata.

Dom relevanta printinställningarna för denna rapport som avgränsas till Markforged Mark Two skrivaren är:

**Fyllningsmönster**

**Fyllningsdensitet**

**Väggjockleken**

**Topp och bottenplattans tjocklek**

**Lagerhöjden**

Hur dessa ställs in vid print av provstaven som kommer att användas för framtagning av materialdatan finns angivet i databladet under resultat samt i appenix A.

Det ansåg även viktigt att specificera hur provstaven är uppställd på plattan, därav kommer databladet innehålla en figur på hur provstaven ska vara uppställd.

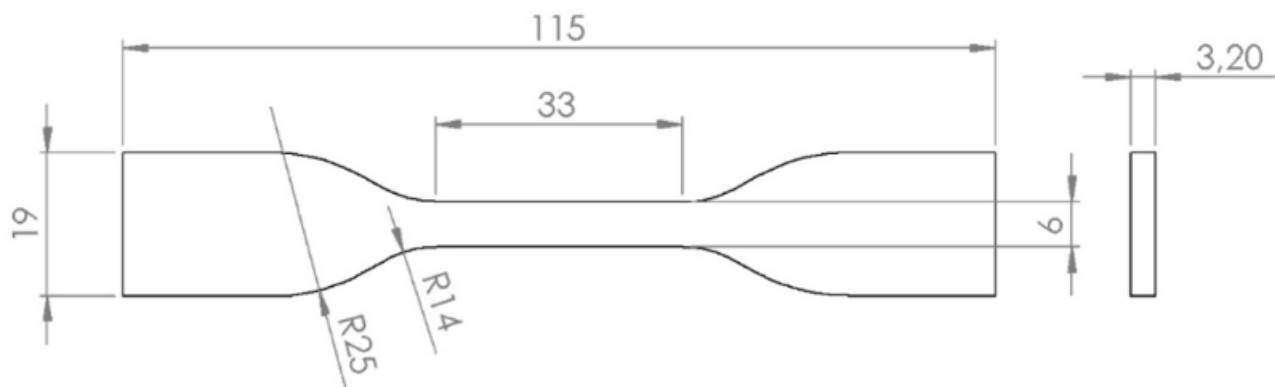
### 3.1.3 Provstav

Det beslöts använda provkropp enligt D638 - 14 TYP IV enligt ASTM standard, se figur 3.1.

Just denna provstav valdes av två anledningar. Den första anledningen blev att det enligt ASTM-standarderna anses vara bra vid jämförande av bland annat styvheten hos olika material

*The Type IV specimen is generally used when direct comparison are required between materials in different rigidity cases.” (ASTM International, 2018)*

Den andra anledningen var att det just var denna typ som Tobias Bäckman använde sig av i sitt arbete och han ansåg att den fungerade väl.



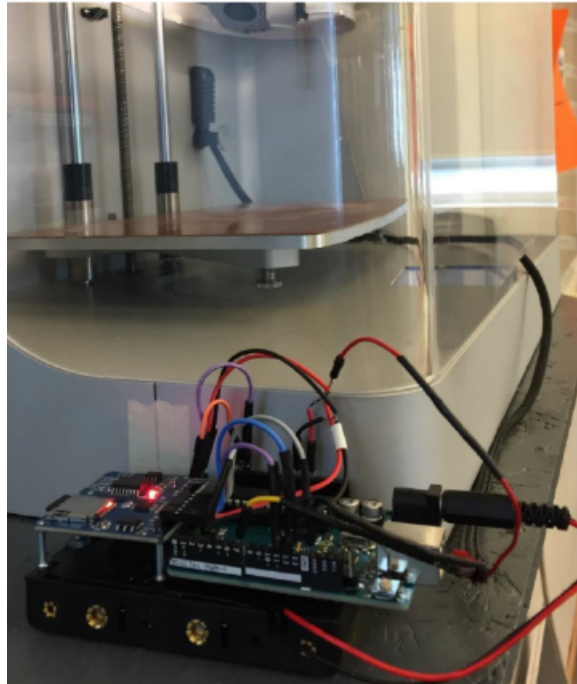
Figur 3.1: Provstav D638 TYP IV enligt ASTM-standard

### 3.1.4 Tillverkningsförhållanden

Luftfuktighet och temperatur i rummet där 3D-printern sitter kan påverka materialdatan. Detta beror på att dessa påverkar hur snabbt och väl lagren binder varandra. Därför ansågs det viktigt att dessa skulle antecknas vid tillverkningen av provstavar som ska användas till framtagningen av materialdatan.

För att kunna avläsa dessa införskaffas en temperatur och luftfuktmätare som placerades vid 3D-printern. Figuren 3.2 nedan visar den uppställningen som Tobias Bäckman använde sig av då han utförde sina prover på Deva Mecaneyes.

För att få en idé om vilka värden man bör ligga kring frågades man Fredrik Finnberg som är VD på Digital Mechanics, Västerås.



Figur 3.2: Anordningen som användes av företaget tidigare för kontroll av temperaturen och luftfuktighete

### 3.1.5 Teoretiska egenskaperna

Med de teoretiska egenskaperna menas värden som finns tillgängliga på förhand. De teoretiska egenskaperna som ansågs behövas blev:

- Utvidningskoefficienten
- Andel kolfiber i onyx
- Smältpunkten
- Teoretiska E-modulen
- Poissons tal

#### Utvigningskoefficienten

Då inga pålitliga värden för utvidgning av onyx kunde hittas bestämdes det att dessa skulle tas fram experimentellt.

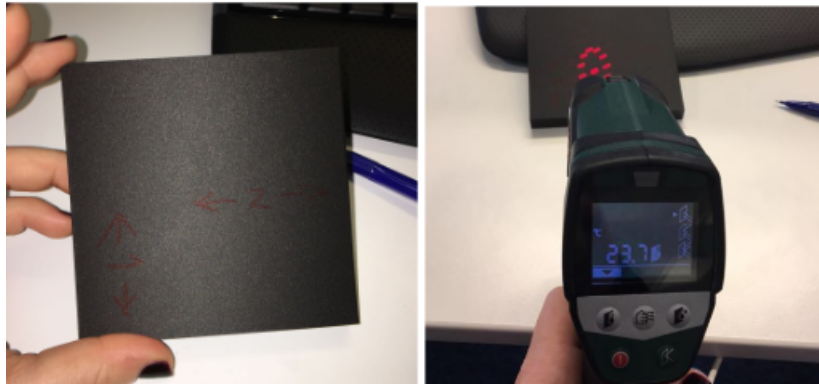
En kloss på 100 mm x 100mm x 10 mm tillverkades med Markforged Mark Two i Onyx materialet med fyllnadsgraden 100%.

Denna placerades i en frys med -20 C över en natt sedan plockades klossen fram och längden mättes i två riktningar.

Normalt med fibrer och parallellt med fibern för att se om utvidgningen var densamma i båda riktningar.

Sedan placerades denna i en ugn med +80 C och mättes igen strax efter den togs ut på samma sätt som ovan.

Slutligen lät klossen kylas ner till rumstemperatur och en sista mätning utfördes. En IR-termometer användes för att mäta temperaturen på klossen, dock gjordes detta endast för den sista mätningen. I figur 3.3 nedan ses klossen och IR-mätaren. Alternativt hade dilatometer kunnat användas.



Figur 3.3: Bild på Onyxkuben och IR-mätaren

De uppmätta värdena och ekvation 3.1 användes sedan för att beräkna utvidningskoefficienten. Denna finns under resultat.

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_1 * \Delta T} \quad (3.1)$$

### Andel kolfiber i Onyx

Det ansåg vara relevant att ta fram andelen av kolfiber i Onyx. Detta med motivationen att det bör ha en inverkan på de teoretiska värden för materialet.

Det visade sig att detta blev en utmaning då tillverkaren av materialet inte ville ge denna information. Istället användes klossen som printats för framtagning av utvidningskoefficient.

Klossen vägdes och densiteten kunde tas fram då volymen för denna var känd.

Densiteten för Onyx jämfördes sedan med densiteten för rent Nylon och densiteten för rent kolfiber. Med hjälp av ROM kunde andelen kolfiber i Onyx räknas fram.

De framräknade värdena finns under resultaten.

### Smältpunkten

Eftersom det endast är nylonet i Onyx som smälter medan kolfibret i Onyx hackas upp antogs Onyx smältpunkt till samma som Nylon, PA 6,6 vilken ligger på kring 255C.

Eftersom detta teoretiska värdet visade sig vara mycket högre än arbetstemperaturen ansågs det inte relevant att ta fram det riktiga värdet.

### Teoretisk E-modul

Anledningen att ta fram ett teoretisk värde för E-modul är egentligen bara för att ha det som referensvärde. Det fanns ett angivet teoretisk värde att hämta från Markforged, tillverkaren av printer.

För detta värden finns dock ingen riktning angiven vilket tyvärr gjorde att det i praktiken inte är speciellt användbara.

### Poissons tal

Denna antas vara samma för nylon och för blandningen av nylon och kolfiber, Onyx. Därav används standardvärdet på 0.3.

### 3.1.6 De framtagna värdena

Då syftet med denna rapport är att ta fram process som bör följas för att kunna kvalitetssäkra 3D-printade komponenter kommer det inte att tas fram några konkreta värden.

Däremot kommer det att fastställas vilka värden som bör vara med. Genom en gruppdiskussion kom man fram till att följande värden ska finnas med:

Sträckgränsen i xy samt z-riktningen

Brottgräns i xy samt z-riktningen

Antal cykler innan brott i xy samt i z-riktningen

Dessa värden bör tas fram för tre olika temperaturer -20 C, + 20 C och + 40 C. Detta för att undersöka om materialet beter sig annorlunda vid varierande temperatur.

Att utföra dragprover på - 20 C samt vid + 40 C kommer troligtvis att blir en utmaning. Här rekommenderar Johan Ahlström, professor vid Institutionen för materialvetenskap på Chalmers, att man tar hjälp av Research Institute of Sweden, förkortat RISE i Borås om dessa prover ska utföras.

## 3.2 Implementering i beräkningsmodellen

Detta stycke beskriver hur den framtagna materialdatan ska behandlas. Även för denna del kommer en riskanalys att utföras där eventuella osäkerheter tas upp.

### 3.2.1 Frågeställning

Frågeställningen här blir:

*Hur bör den erhållna materildatan behandlas?*

### 3.2.2 Materialdata och dess behandling

För att bestämma vilken materialdata som kommer att tas fram användes först och främst resultaten från "Framtagning av materialdata". För att bestämma hur denna skulle behandlas tog studenten hjälp från kunskaper från kursen Matematisk Statistik. Blomqvist, 2002

## 3.3 Konstruktion

I denna del behandlas de metoder som användes för att ta fram en enklare konstruktionsguide samt metoden för bestämde av vad som bör finnas med på tillverkningsunderlaget.

### 3.3.1 Frågeställning

Frågeställningen här blir:

*Vad kan vara bra att tänka på vid konstruerar av komponenter som ska tillverkas med Markforged Mark Two printer och vad bör finnas med på tillverkningunderlaget?*

### 3.3.2 Konstruktionsguiden

Denna delades upp i två delar:

- Del 1 av konstruktionsguiden som omfattar rekommendationer utifrån hållfasthet och materialläran
- Del 2 av konstruktionsguiden som omfattar rekommendationer utifrån de begränsningar som finns

utifrån 3D-printern.

## Del 1

För att skriva denna del användes tidigare kunskap från hållfasthet och materialteknik-kurserna. Det som användes var tåga teorin samt att en enkel jämförelse gjordes kring spänningskoncentrationen vid ändringen på formen. De enkla FEM-modeller jämfördes i Solid Works, 2016.

### 3.3.3 Del 2

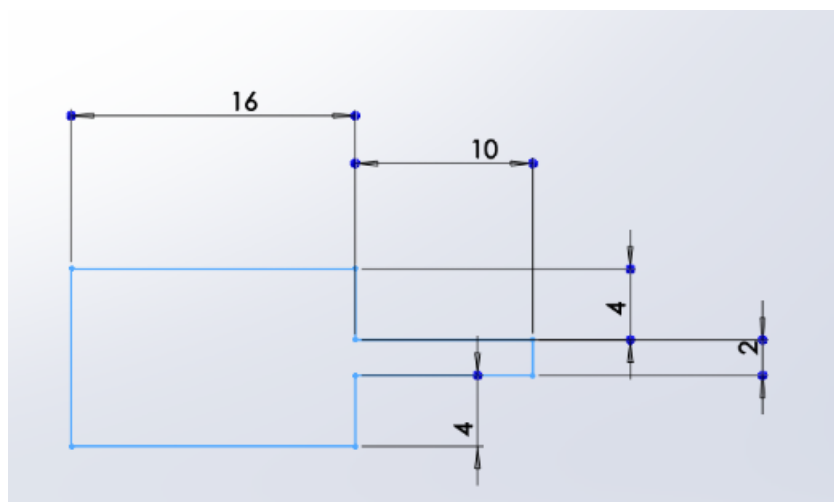
För att skriva denna del användes Markforged hemsida där man kunde finna en hel del hjälpsam information till hur skrivaren är begränsad.

Utöver de begränsningarna som fanns angivna på hemsidan hade Deva Mecaneyes tidigare stött på en del problem med sina konstruktioner. Främst på grund av att stödmaterial lagts till på oönskat vis. Ytterligare ett problem som noterats av var att hål krymper.

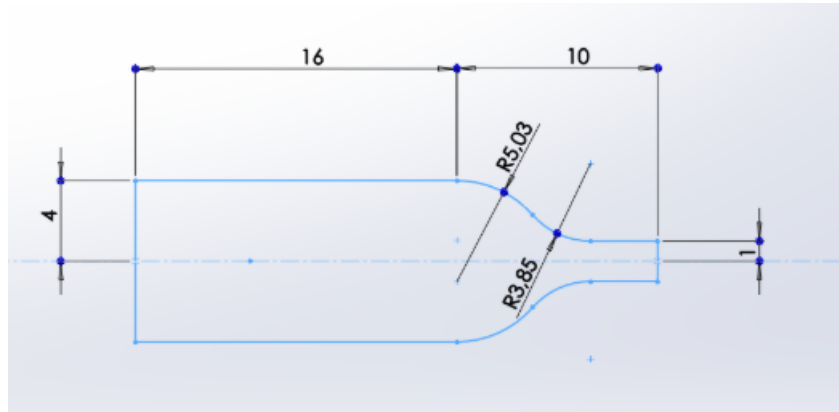
### 3.3.4 Spänningskoncentrationen

Redan i teoriavsnittet gick förklarades det att spänningskoncentrationen uppstod vid skapa hörn. För att testa hur detta påverkar additivt tillverkade komponenter skapades två enkla FEM-modeller.

Modellerna gjordes enligt ritningarna 3.4 och 3.5 nedan, som material valdes Nylon 6 då Onyx inte fanns i SolidWorks 2016. Den ena sidan av modellen sattes fast och en andra drogs med en jämnt fördelad kraft på 1000 N.



Figur 3.4: Modell A



Figur 3.5: Modell B

### 3.3.5 Storlek på komponent

På mötet med styrgruppen diskuterades storleken på komponenten. Både maximala storleken och minimala storleken en komponenten kan ha. För att ta fram dessa användes rekommendationer från tillverkaren för printern.

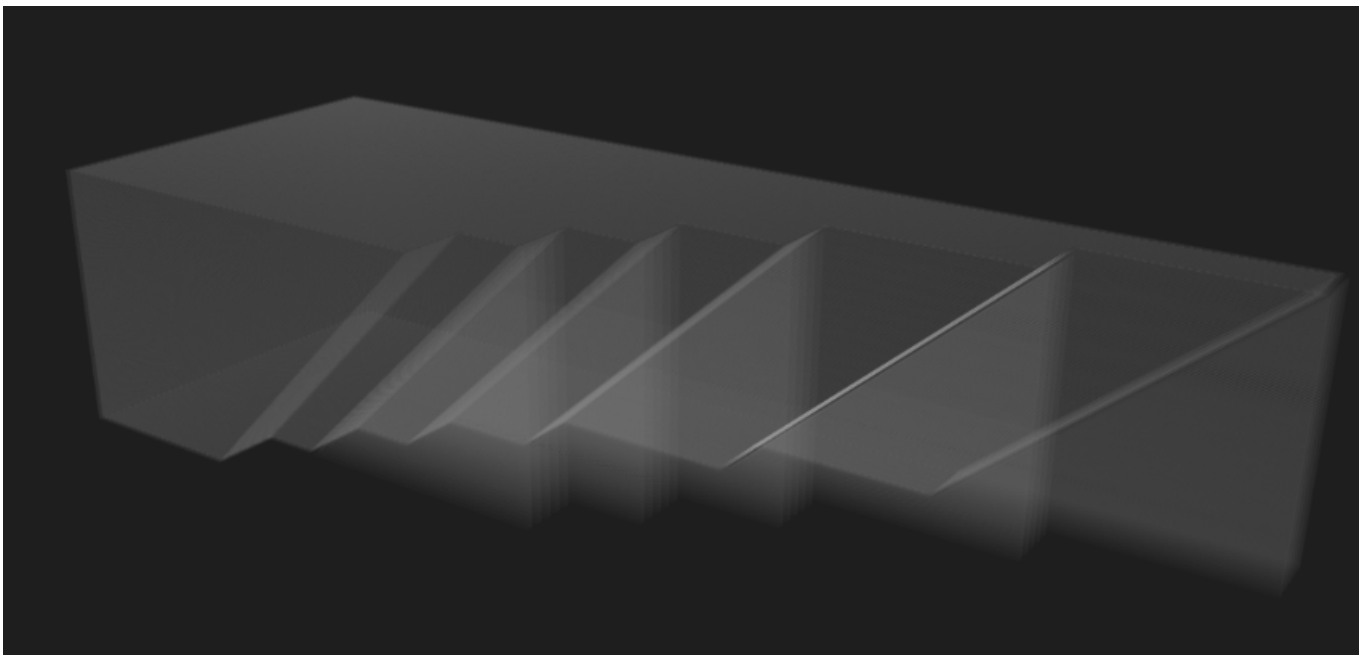
### 3.3.6 Stödmaterial

Som nämnt ovan orsakar oönskad stödmaterial problem vid konstruktion. För att kunna lösa detta problem bestämdes behövde det först hittas vid vilken vinkel som stödmaterial läggs till.

För att göra detta skapades en "trappa" med varierande lutning på trappstegen, se figur 3.6.

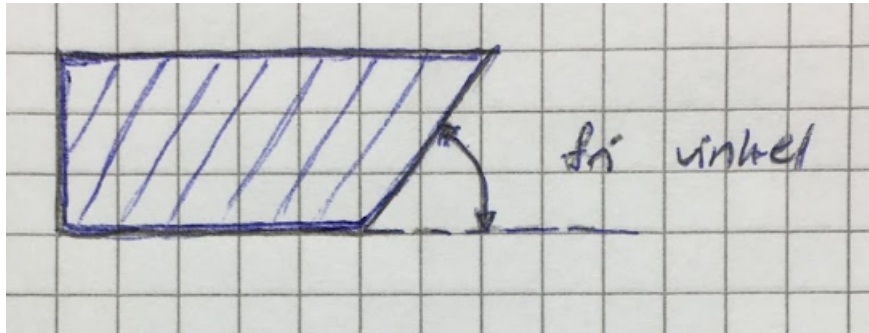
Denna lutning döptes till "fria vinkel".

Lutningen börja från 90 graders och arbeta sig neråt från det för att finna den minsta möjliga "fria vinkel". Figur 3.7 nedan visar en enkel skiss av vad som menas med den fria vinkeln.



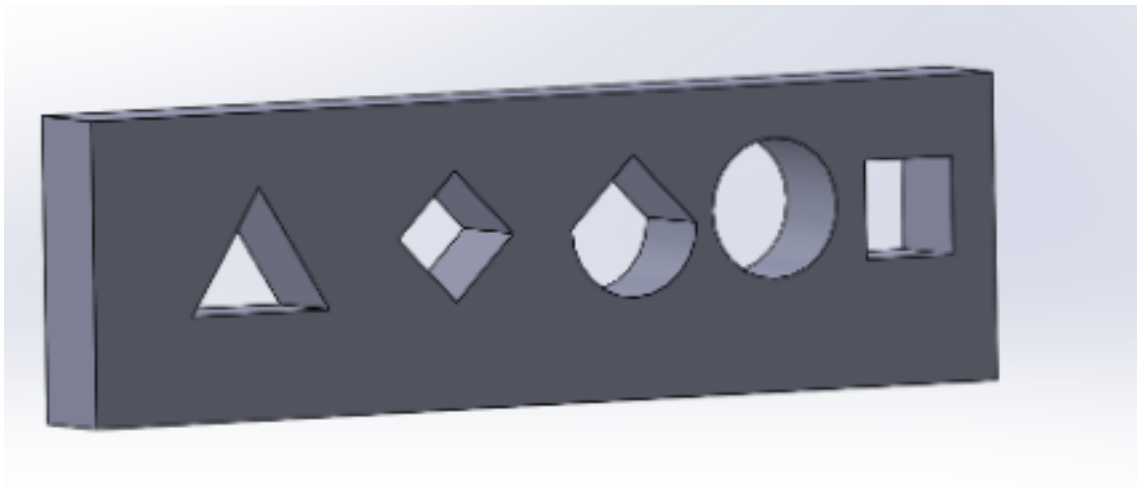
Figur 3.6: Bild på trappan med de olika vinklarna





Figur 3.7: Illustration över vad som menas med fria vinkeln

Oönskat stödmaterial orsakar framför allt problem vid konstruktion av hål, då det täpper igen hålen. Därför testades fem olika geometrier som kan användas för att göra hål, se figur 3.8.



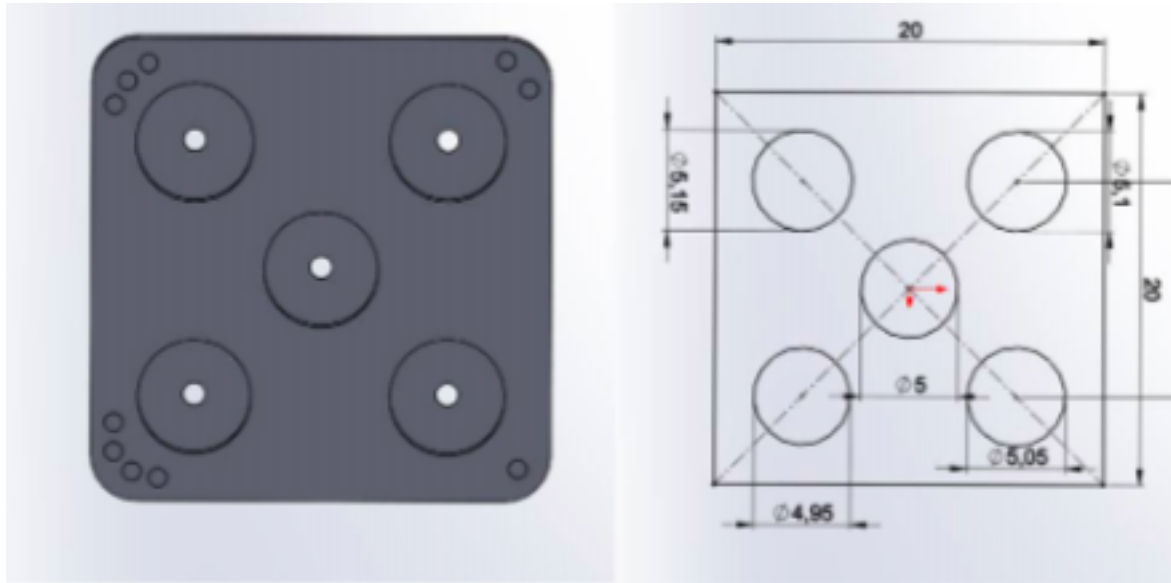
Figur 3.8: Fem hål med olika geometri

### 3.3.7 Krympande hål

Ytterligare en sak att tänka på vid konstruktion av hål är att de tenderar att krympa, speciellt stående hål.

För att undersöka detta gjordes en kub med fem olika olika stora hål, se figur 3.9.

Som ett första prov mättes den riktiga storleken på hålen efter att de hade printats och fått svalna. Dessa mätningar gjordes av studenten med hjälp av ett digitalt skjuvmått med två decimalers noggrannhet. Sedan användes en vanlig cylinderstav på 5 mm med en tolerans på +0.004/ +0.0012. Med hjälp av denna undersöktes istället passformen för de olika storlekarna.



Figur 3.9: Fem hål med olika geometri

### 3.3.8 Tillverkningsunderlag

För att kunna få en hållbar komponent behövs ett bra tillverkningsunderlag. Under resultaten nedan sammanfattas vad den bör innehålla. Vad den bör innehålla kom man fram till genom diskussion med styrgruppen.

## 3.4 Beräkningar

Vid detta stycke kommer en beräkningsguide att tas fram där det redogörs hur beräkningarna ska genomföras och rapporteras baserat på den befintliga materialdatan och tillverkningsunderlag.

### 3.4.1 Frågeställningen

Frågeställningen här blir:

*Hur används den framtagna materildatan och informationen från tillverkningsunderlag för att utföra beräkningar för komponenten ?*

### 3.4.2 Beräkningsmetod

För att utföra hållfasthetsberäkningar används de flesta ingenjörer idag av något FEM-program. Deva Mecaneyes använder sig av NX.

Under resultatdelen kommer det att behandlas hur materialdatan och tillverkningsunderlaget kommer till användning vid beräkningar med FEM-programet NX.

## 3.5 Tillverkning och Kvalitetssäkring

I detta avsnitt definieras hur beredning av print-jobb ska genomföras baserat på tillverkningsunderlag samt hur kvalitetssäkring av tillverkning ska genomföras. En mall tas fram på kvalitetssäkringsdokument där ovan nämnda ska dokumenteras och arkiveras/lämnas till kund tillsammans med komponent.

### 3.5.1 Frågeställningen

Frågeställningen här blir:

*Hur går det till när en additiv tillverkad komponent ska tillvekas i en Mark Two printer och hur kvalitetssäkras denna tillverkning?*

### 3.5.2 Tillverkning och kontroll av tillverkning

För att enklast beskriva hur ett print-jobb går till skapades en lathund för printjobbet, se bilaga C. Genom diskussion med styrgupp bestämdes det att kvalitetssäkring av tillverkningen bör sker dels genom kontroller av tillverkningsförhållanden innan printjobbet och dels genom att kontroll av hållfastheten hos materialet efter printjobbet.

## 3.6 Riskanalys

Riskanalysen för processen gjordes enligt FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) och finns som bilaga E.

## 4 Resultat

I detta kapitel Bäckman, 2018 redovisas resultatet av de utförda metoderna i föregående kapitel. Kapitlet är uppdelat i sex delar på samma sätt som metoddelen.

### 4.1 Framtagning av materialdata

Målet för denna del var att besvara frågan:

*Vilka materialprover behöver utföras för att kunna säkra kvaliteten för en komponent tillverkad via additiv tillverkning i en Markforged Mark Two skrivare?*

#### 4.1.1 Printerinställningar och orientering av provstaven

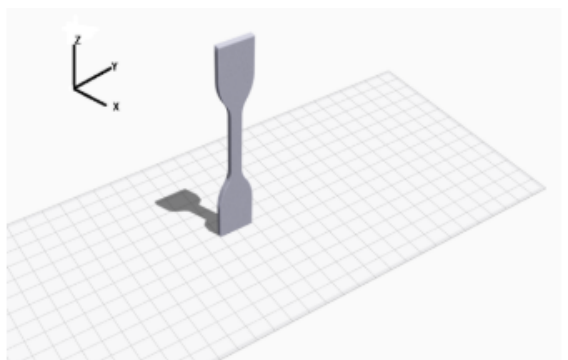
För att göra komponenten så stark som möjligt valdes följande inställningar.

Fyllningsmönster	Solid
Fyllnadsdensitet	100 %
Vägg tjocklek	Solid
Botten och topp tjocklek	Solid
Lagerhöjd	0,1

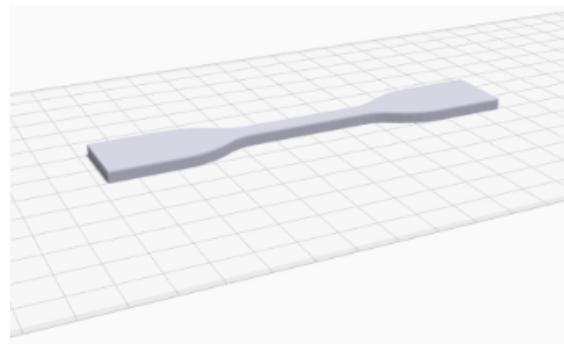
Tabell 4.1: Förbestämda inställningarna som provstaven ska printas med

### Orienteringen av provstaven

Eftersom materialdata önskas i både XY- och Z-led måste dragprovstavar tillverkas med två olika orienteringar. Liggandes enligt bild 4.1b för XY-led och stående enligt bild 4.1a för Z-led. På så sätt kan hållfastheten testas både mellan lagren (Z-led) och i själva fibern (XY-led).



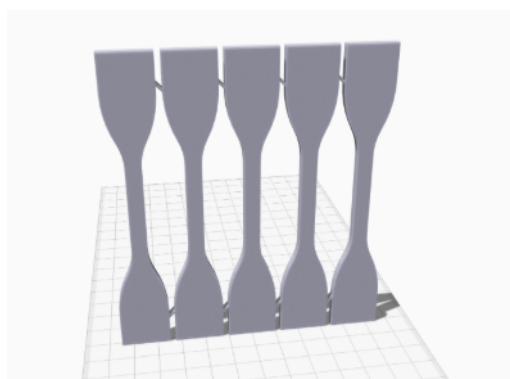
(a) Provstav stående, dras i Z-led



(b) Provstav liggandes, dras i XY-led

Figur 4.1: Provstavarnas orientering

För att kunna printa provbiten och testa hållfastheten mellan lagren (Z-led) utan att provbiten böjs rekommenderas det att flera provstavar printas stående samtidigt med stöd mellan dem, se figur 4.2.



Figur 4.2: Anordningen av stående provstavar

#### 4.1.2 Tillverkningsförhållanden

Rekommenderade tillverkningsförhållanden enligt nedan:

Luftfuktighet	60 %
Rumstemperatur vid print	20 grader

Tabell 4.2: Rekommenderade tillverkningsförhållanden

#### 4.1.3 Teoretiska egenskaper

De teoretiska egenskaperna kan urläsas från figuren nedan. 4.3.

<b>Material</b>	<b>Onyx</b>
<b>Utvidningskoefficient normal</b>	<b>153 <math>\mu\text{m}</math></b>
<b>Utvidningskoefficient parallell</b>	<b>27 <math>\mu\text{m}</math></b>
<b>Smältpunkt</b>	<b>276 C</b>
<b>Teoretisk E-modul</b>	<b>2.9 GPa</b>
<b>Poissons tal</b>	<b>0.3</b>

Figur 4.3: De teoretiska egenskaperna

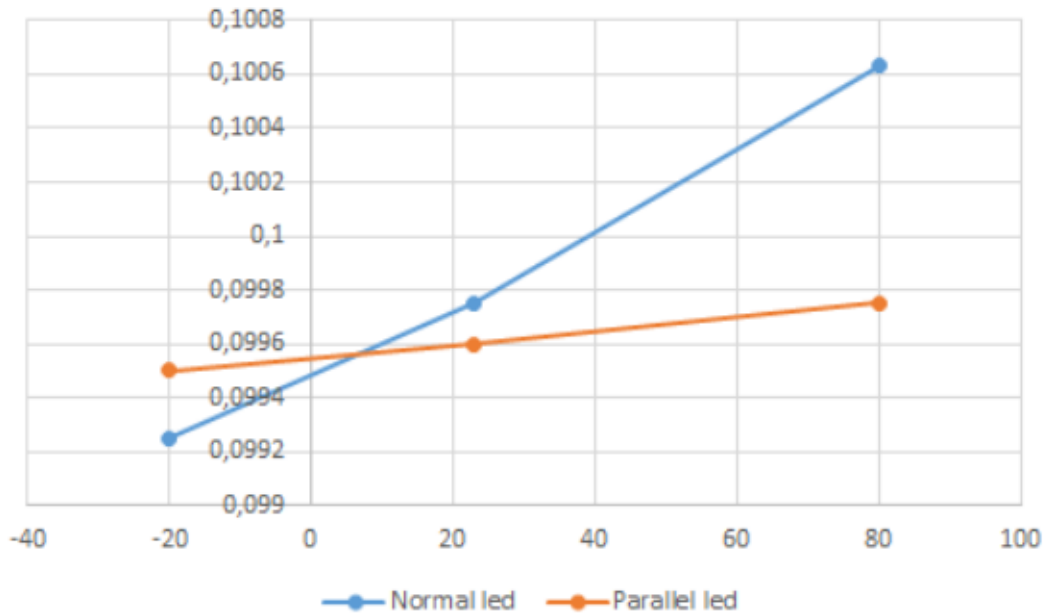
## Utvidningskoefficienten

Utvidningskoefficienten för de två olika riktningar visas i tabell 4.3 nedan.

	80 C	23 C	-20 C	Utvidningskoefficienten
Parallellt	100,63 [mm]	99,75 [mm]	99,25 [mm]	154 [ $\mu\text{m}/\text{C}$ ]
Normalt	99,75 [mm]	99,60 [mm]	99,50 [mm]	27 [ $\mu\text{m}/\text{C}$ ]

Tabell 4.3: Utvidningskoefficientstabell

Den så kallade normalriktningen anger utvidgning mellan lagren medan den parallella anger utvidgningen av själva Onyxfibern. Grafen 4.4 nedan visar hur längden ändras med stigande temperatur i de två riktningarna.



Figur 4.4: Graf som visar den parallella utvidgningen jämfört med utvidgningen i normalled

### Andel kolfiber

Som nämnt ovan i metodavsnittet ansågs det vara viktigt att ta reda på andelen kolfiber i Onyx, resultatet presenteras nedan. 4.4.

	Andel kolfiber i Onyx [%]
Med den densiteten man själv tagit fram	18 %

Tabell 4.4: Andel kolfiber i Onyx

### 4.1.4 Databladet

Fullständiga materiladatabladet finns som appendix A.

## 4.2 Implementation i beräkningsmodell

Här kommer resultaten att redovisas för hur materialdatan ska behandlas. Frågan som strävas efter att besvara här är:

*Hur bör den erhållna materildatan behandlas?*

### 4.2.1 Behandling av materialdatan

Med materialdatan menas de värden som tagits fram i föregående avsnitt. Enligt Blomqvist, 2002 ger flera försök säkrare resultat och det bör, av denna anledning, strävas efter att ha så många försök som möjligt. Åt andra sidan vet vi att ökat antal försök innebär ökade kostnader.

Med detta i åtanke bör det genomföras tio försök för följande prover:

- Sträckgräns i xy-riktning

- Sträckgräns i z-riktning
- Brottgräns i xy-riktning
- Brottgräns i xy-riktning
- Framtagen E-modul för xy-riktning
- Framtagen E-modul för z-riktning
- Antal cykler för halva sträckgränsen i xy-riktning
- Antal cykler för halva sträckgränsen i z-riktning
- Skjuvmodul i xy-riktning
- Skjuvmodul i z-riktning

Samtliga försök ska utföras med dragprover och avläsning av dragprovskurvor fylls i den förberedda excel-filen B. Från denna erhålls då följande värden:

- Maxvärdet
- Minimivärdet
- Medelvärdet
- Standardavvikelsen

Dessa tas fram för tre olika temperaturer och tabell 4.5 nedan kan fyllas i:

	Medelvärde -20 C	Medelvärde 20 C	Medelvärde 40 C	Standardav- vikelsen -20 C	Standardav- vikelsen 20 C	Standardav- vikelsen 40 C
Sträckgräns XY						
Sträckgräns Z						
Brottgräns XY						
Brottgräns Z						
E-modul XY						
E-modul Z						
G-modul XY						
G-modul Z						
Antal cykler in- nan brott för hal- va sträckgränsen XY-led						
Antal cykler in- nan brott z för halva sträckgrän- sen Z-led						

Tabell 4.5: Tabellen där materialparametrarna ska fyllas i

## 4.3 Konstruktion

Detta stycke delas upp i två huvuddelar, Konstruktionsguiden och Tillverkningsunderlag. Dessa delar är tänkta att tillsammans besvarat frågan:

*Vad kan vara bra att tänka på vid konstruerar av komponenter som ska tillverkas med Markforged Mark Two printer och vad bör finnas med på tillverkningunderlaget?*

### 4.3.1 Konstruktionsguiden

Vid denna del ska en enkel konstruktionsguide tas fram med exempel på bra/dålig konstruktion av komponenter som tillverkas via additiv tillverkning och vad som är viktigt att tänka på. Som vi nämnde tidigare i metodavsnittet så kommer konstruktionsguiden att delas upp i två delar beroende på vad som begränsar konstruktionen.

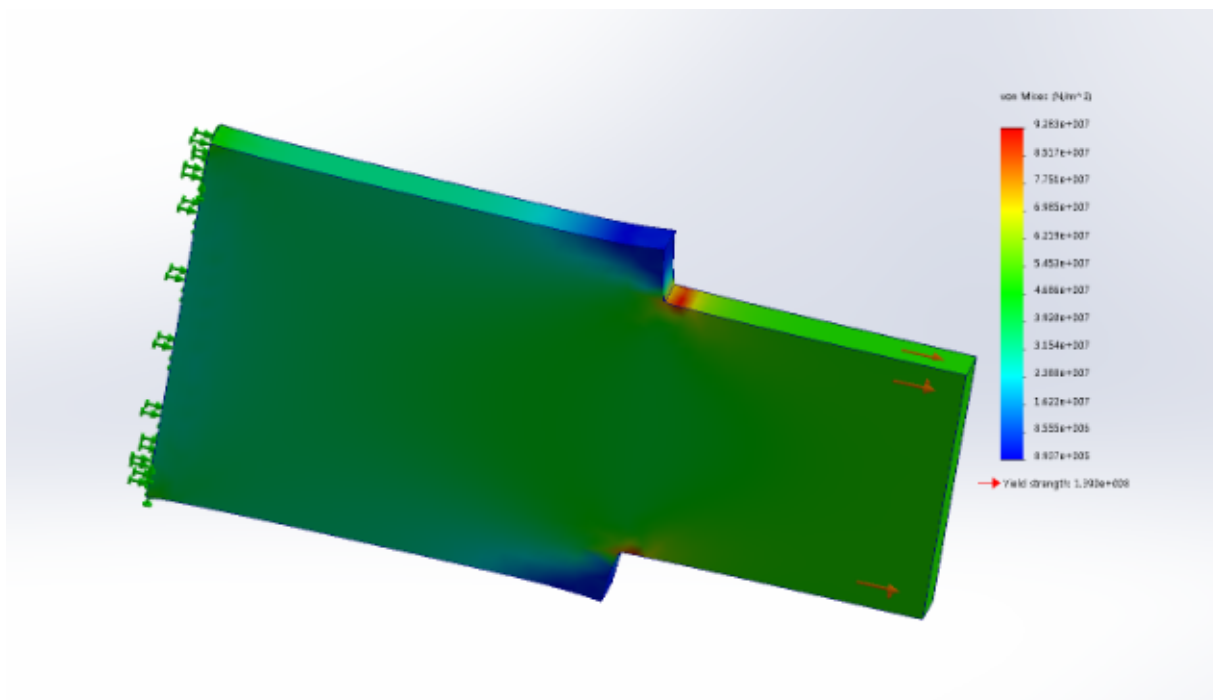


### 4.3.2 Konstruktionsguiden del 1

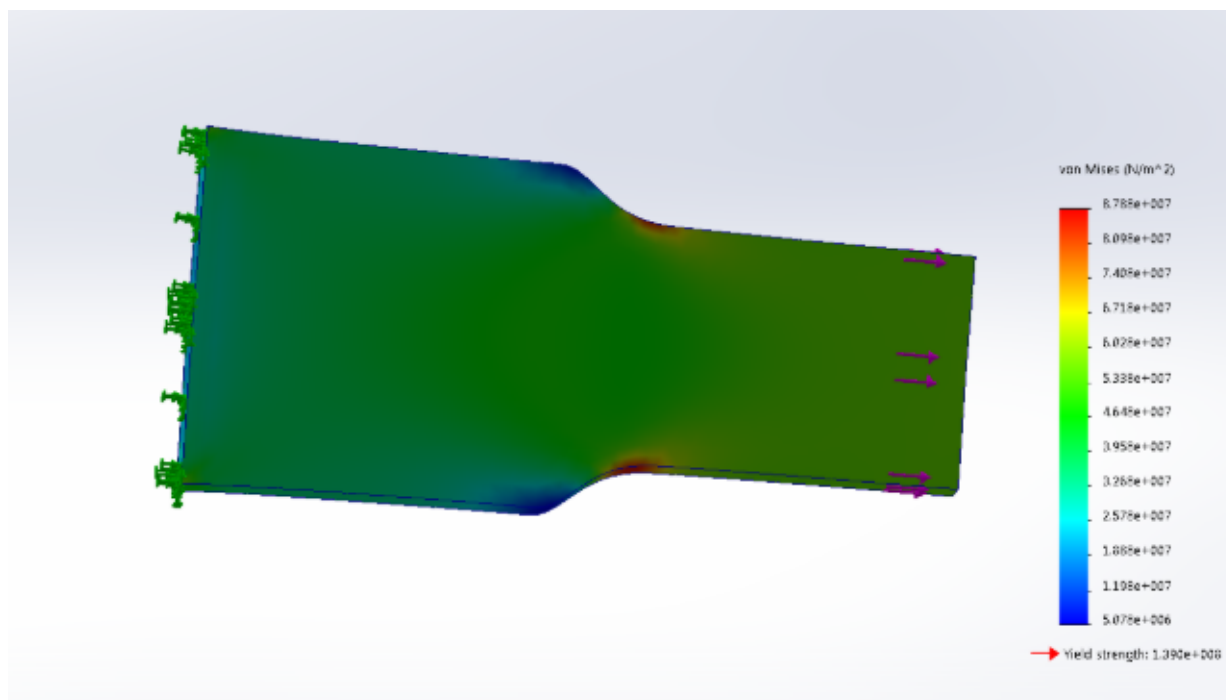
I denna del undersöks hur formen av komponenten kan påverka spänningskoncentrationen samt tåga-teorin.

#### Spänningskoncentration

Det skapades två FEM-modeller som kunde användas för att undersöka på hur spänningen påverkas, ritningen för dessa finns under metoden. Vi kallar den modellen med 90 graders lutning för modell A och modellen med mjuka kanter för modell B.



Figur 4.5: Von Mises spänning över modell A



Figur 4.6: Von Mises spänning över modell B

Modell	Högsta V.M spänning
Modell A	92 MPa
Modell B	87 MPa

Tabell 4.6: Sammanfattningstabell över maximala Von Mises spänningen för de två modellerna

Ur tabell 4.6 ovan kan en skillnad på 495 kPa utläsas mellan modellerna dvs den maximala spänningen minskar med ca 500 kPa av att endast mjuka till hörnen.

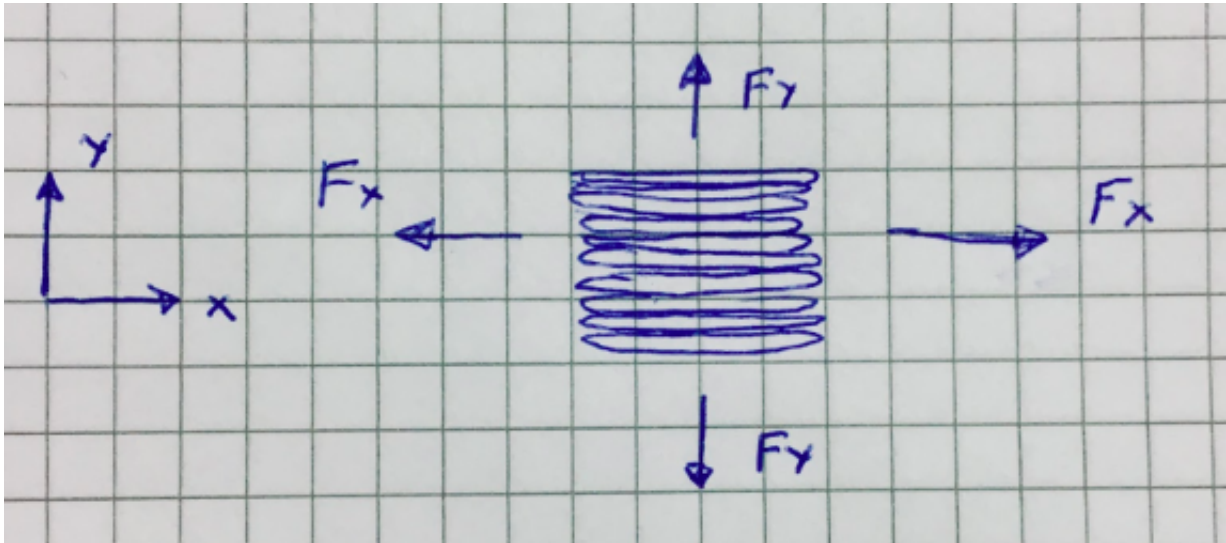
Det kan sägas att kraften sprids ut jämnare vid mjukare kanter än vid skarpa hörn, vilket resulterar i att den högsta spänningen blir betydligt lägre hos modellen med mjuka hörn. Detta bör betraktas vid konstruktion av komponenter. Det är extra viktigt att undvika skarpa hörn i z-led vid additiv tillverkning, anledningen till detta beskriv nedan.

## Tåga

Faktum är att lager på lager uppbyggnaden försämrar detaljens hållfasthet betydligt vilket kan förstås av svaghet i sammanflytning.

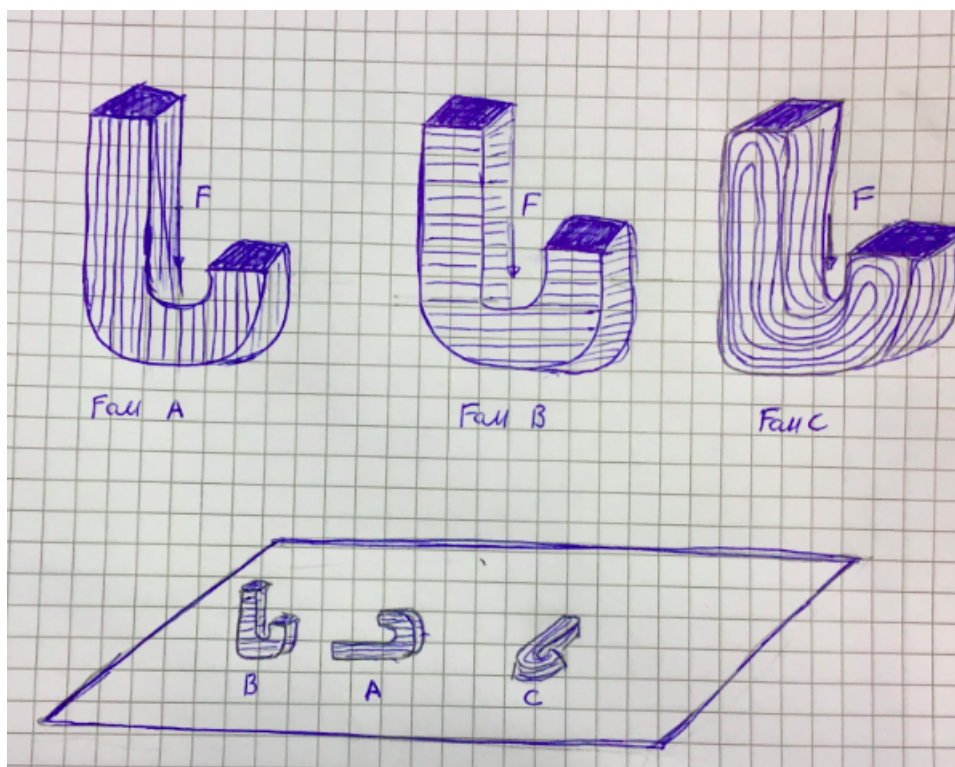
Hållfastheten är därmed alltid högre i själva materialet jämförts med emellan lagren. Om bild 4.7 observeras inses det ganska snabbt att det behövs en betydligt större kraft  $F_x$  för att dra isär komponenten än  $F_y$ .

Detta beror på att detaljen hålls fast av materialets egna bindningar i x-led, medan det endast hålls fast av limmet mellan lagren i y-led.



Figur 4.7: Illustrering över krafterna som drar i komponenten

När 3D-komponenter ska tillverkas är det viktigt att se över hur krafterna kommer att verka på komponenten och försöka tillverka vända komponenten så att den kan hålla emot i den riktning som konstruktionen kräver.



Figur 4.8: Tre sätt att orientera en och samma komponent som ger den olika hållfasthet

Bild 4.8 visar tre krokarna som alla ska hålla emot lasten  $F$  enligt bilden. Även om alla krokarna är gjorda i samma material och tillverkade med samma 3D-printer kommer de att ha olika hållfasthet. Varken krok A eller B kan väntas hålla emot lasten  $F$  speciellt bra, då komponenten kommer att "rivas" av mellan lagren under lasten.

Fall C håller betydligt bättre. I fall C tas kraften upp av bindingarna i själva materialet och inte av avgränsskiktet mellan plattorna, detta är tåga. Komponenter som tillverkas med additiv tillverkning bör tillverkas så att tåga finns i material.

### 4.3.3 Konstruktionsguide del 2

I denna del undersöks begränsningar utifrån Markforged Mark Two printern.

#### Storlek på komponent

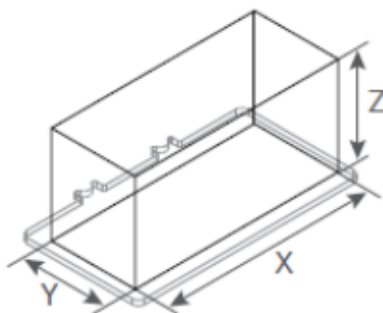
Enligt rekommendationer från tillverkaren av Markforged Mark Two är den maximala storleken för en detalj:

320 mm i X-led

132 mm i Y-led

154 mm i Z-led

Med riktningarna enligt bild 4.9.



Figur 4.9: Riktningar i modell illustrerade över printbädden

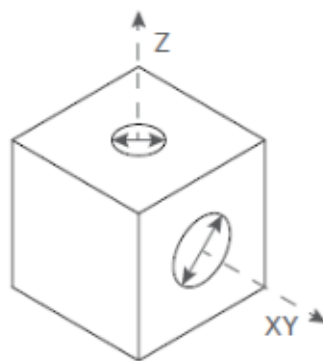
Den minsta storleken enligt samma referens som ovan och orienteringen enligt bild 4.9:

1,6 mm i X-led

1,3 mm i Y-led

0,8 mm i Z-led

Minsta rekommenderade hålstorlek är 1.5 mm i XY-led och 1 mm i Z-led med orientering enligt bild 4.10 nedan. Om hålen är mindre finns risken att de fylls.



Figur 4.10: Riktningar i modellen illustrerade på komponenten

## Fria vinkeln

Här är resultaten från att ha provat sig fram till den minsta vinkeln som en komponent kan ha utan att kräva stödmaterial. Se tabellerna 4.7, 4.8 och 4.9 nedan för resultat.

Vinkeln	Stödmaterial behövs
90	nej
80	nej
70	nej
60	nej
50	nej
40	ja

Tabell 4.7: Första tabellen där minsta möjliga fria vinkeln söktes

Vinkeln	Stödmaterial behövs
50	nej
45	nej
40	ja

Tabell 4.8: Andra tabellen där minsta möjliga fria vinkeln söktes

Vinkeln	Stödmaterial behövs
45	nej
44	ja

Tabell 4.9: Tredje tabellen där minsta fria vinkeln söktes

Det visade sig att 45 grader är den minsta fria vinkel.

## Konstruktion av hål

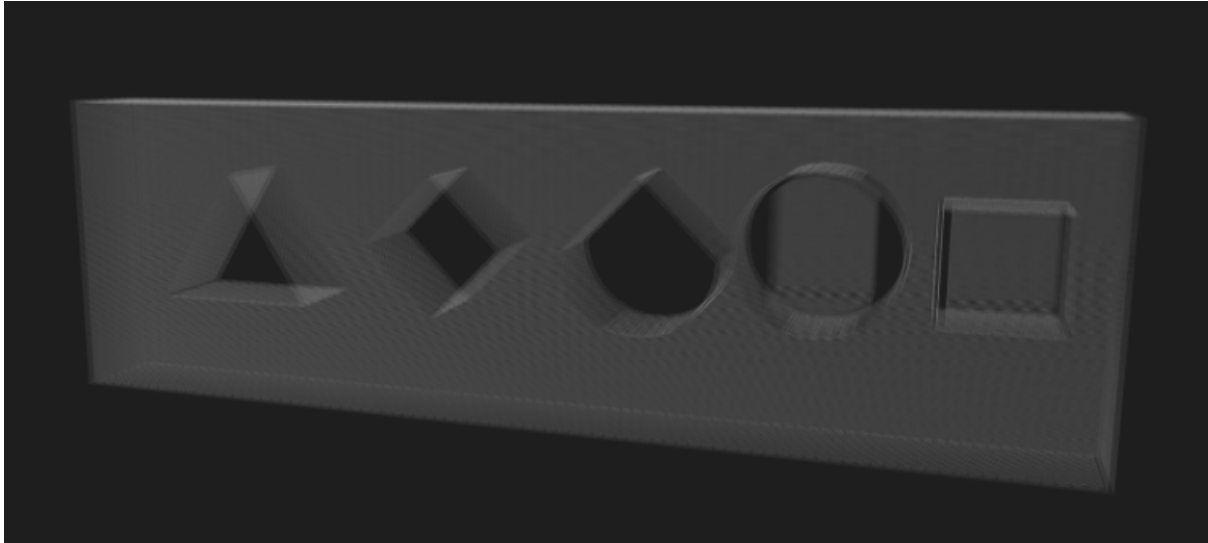
Som nämnt i metoddelen provades två olika aspekter för konstruktion av hål.

Den första var att prova olika geometrier för att undersöka när stödmaterial behövs vid stående hål.

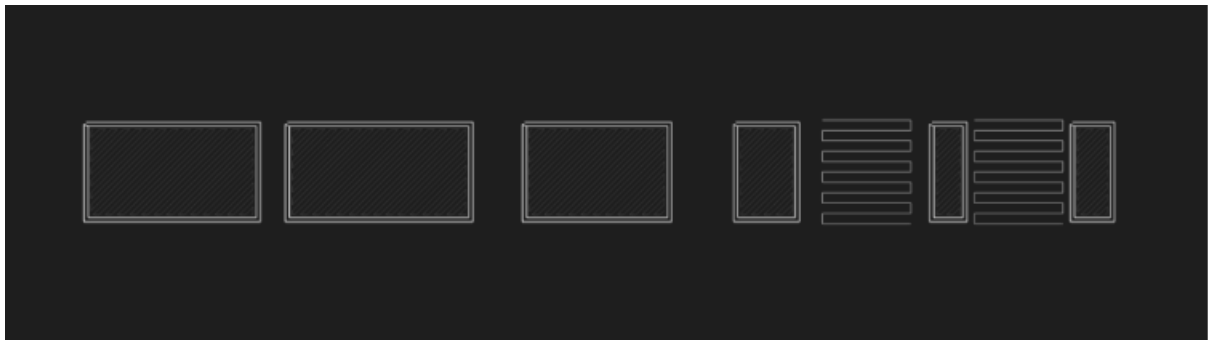
Den andra att kolla på krympning hos liggande hål.

### Liggande hål och deras geometri

De former som klarade sig utan stödmaterial blev de som inte behövde ha en mindre frivinkel än 45 grader, se bilderna 4.11 och 4.12 nedan.



Figur 4.11: Fem hål med olika geometri



Figur 4.12: Ovanifrån i 2D syns tydligt att stödmaterial behövs.

### Stående hål

Stående hål kan vara ett bra alternativ om den geometriska formen inte kan ändras, dock uppstår det problem med att stående hål krymper. Här nedan finns två tabeller som visar på hur hålet krymper.

Angivet mått	Faktiskt mått	Skillnad	Skillnad i %
5 mm	4,57 mm	0,43 mm	8,6
5,15 mm	5,08 mm	0,7 mm	13,59
5,10 mm	4,74 mm	0,63 mm	12,35
5,05 mm	4,65 mm	0,4 mm	7,92
4,95 mm	4,62 mm	0,33 mm	6,66

Tabell 4.10: Skillnaden i procent mellan angivna mått och de faktiska måtten

Från tabell 4.10 ovan kan vi konstatera att hålen krymper och de verkar krympa ca 10 % till 15 %. Flera prover bör dock utföras för att kunna dra en slutgiltig slutsats om hur mycket dem krymper. Värden från tabell 4.10 ovan är varken pålitliga eller speciellt användbara i praktiken. Ett passningprov

med en cylindrisk stav valdes därför att utföras då detta är betydligt mer användbart i verkligheten. Den cylindriska staven som användes för att prova passformen mättes upp till 5 mm med en tolerans på +0.004/ +0.0012. I tabell 4.11 nedan finns passformen för de olika hålen angivet.

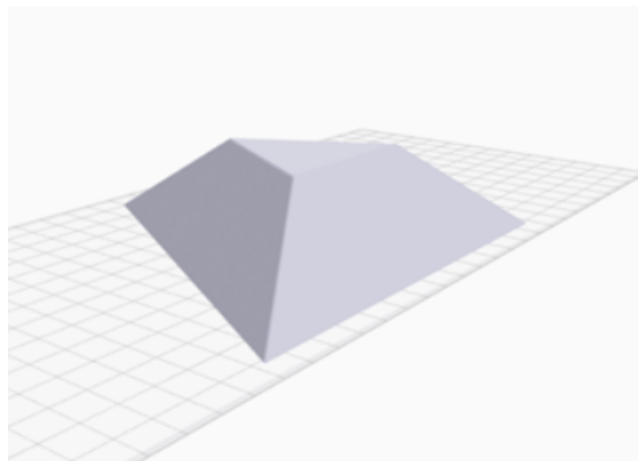
Angivet mått på hålet	Passform
5 mm	Lätt drivpassning
5,15 mm	Löpande spel
5,10 mm	Lätt löpande passning
5,05 mm	Sugpassning
4,95 mm	Presspassning

Tabell 4.11: Passningstabell

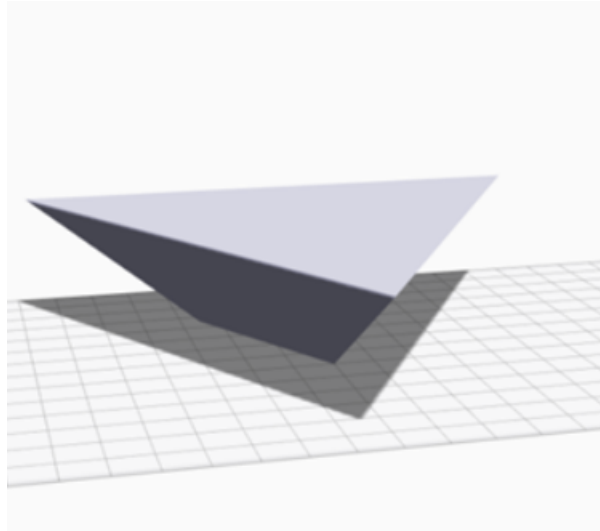
### Orientering av komponent

När materialet stelnar har det en tendens att dras ihop något, krympning. Detta kan leda till att materialet släpper från plattan och att kanterna viks uppåt.

För att undvika detta bör först och främst komponenten alltid limma fast. Yttligare en sak som kan hjälpa mot att komponenten släpper är att den orienterats rätt.



Figur 4.13: Orientering A



Figur 4.14: Orientering B

Bilderna 4.13 och 4.14 visar samma komponent men vänd på två olika sätt innan print. Variant A är att föredra då denna har mindre sannolikhet att släppa från plattan. Både för att den har en större yta som fäster vid plattan men framför allt för att det är en mindre kraft som drar upp den.

#### 4.3.4 Tillverkningsunderlag

Tillverkningunderlag bör som minst innehålla följande:

1. Namn på komponent
2. Till vilket projekt komponenten görs
3. Person/er som ritat den
4. Person/er som godkänt ritningen
5. Last (typ av last och dess storlek)
6. Randvillkoren (fixering i x,y och z led)
7. Ifylld tillverkningsruta
8. Bild på orienteringen innan print

**Exempel på tillverkningsunderlag till "Sashas Triangel"**



**Namn på komponent:** Sashas Triangel  
**Tillhör projekt:** Sashas XJobb  
**Person/er som ritat komponent:** Sasha Nikolic  
**Person/er som godkänt projektet:** Sasha Nikolic  
**Last:** Jämnt fördelad trycklast på 2 N rakt ovanifrån enligt bild xx nedan  
**Randvillkor:** Fixerad i x,y och z led enligt bild xx nedan  
**Tillverkningsrutan**

Printer: Markforged Two  
Material: Onyx  
Fyllnadsgrad: 100%  
Volym på komponent: 115,63 cm<sup>3</sup>  
Beräknad print tid: 15h 6m

**Bild på orientering innan print :**

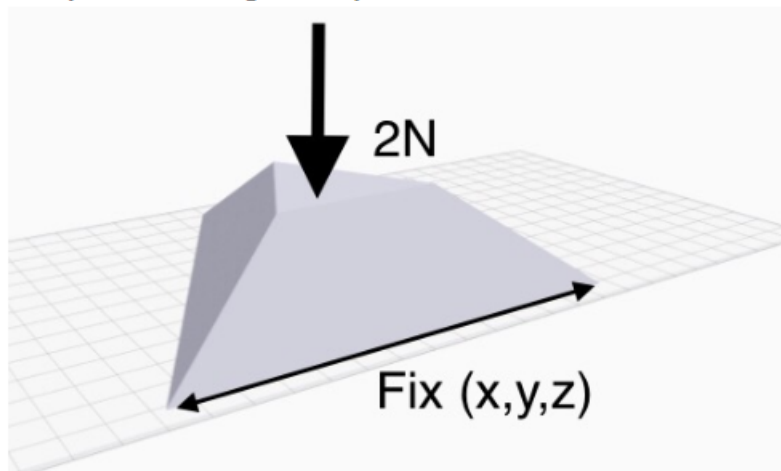


Bild xx:

## 4.4 Beräkning

Vid denna del ska följande fråga besvaras:

*Hur används den framtagna materildatan och informationen från tillverkningsunderlag för att utföra beräkningar för komponenten ?*

### 4.4.1 Implementering av materialdata och tillverkningsunderlaget vid beräkningar

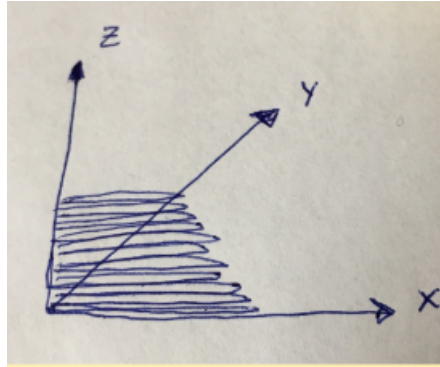
Oavsett vilket beräkningsprogram som används är upplägget enligt följande .

Programmet tar in en STEP eller Parasolid fil och denna 3D modellen bryts ner i finita element, detta kallas för att skapa en mesh.

Vid nästa steg tillsätta materialegenskaper, här kommer materildatan som tidigare tagits fram till användning.

Då Onyx är ett ortotrop material kräver beräkningsprogrammet att två av tre parametrar fylls i för att materialet ska kunna definieras. De tre parametrarna är E-modul, Poissons tal och G-modul.

För materialet Onyx antas E-modulen och därmed även G-modulen vara detsamma för x och y riktningen. Medan E-modulen och G-modulen för z-led antas vara annorlunda, se bild 4.15.



Figur 4.15: Koordinatsystem för ett generellt additivt tillverkat objekt

Gällande Poissons tal antas att följande gäller:

$$x_y = y_x$$

$$z_y = y_z$$

$$z_x = x_z$$

Det antas även att z är den svaga vertikala riktningen och därav följer det att:

$x_y = y_x$  planet blir svag för skjuvning dvs kommer att ha ett högt poissons tal medan  $z_y = y_z$  och  $z_x = x_z$  planen kommer att stå emot skjuvning bättre och därmed ha en högre skjuvmodul dvs lägre poissons tal.

Ovanstående antaganden bör kunna bekräftas när materialproverna utförts. Då detta inte görs i denna rapport får man nöja sig med antaganden som är baserade på teori.

Efter att materialegenskaper tilldelats är nästa steg att lägga på laster och randvillkor. Dessa ska finnas tydligt angivna i tillverkningsunderlaget och om frågor skulle uppstå kontaktas personen som ritat komponenten. Även detta bör finnas angivet i tillverkningsunderlaget.

Nästa steg blir att utföra simuleringen och ta fram resultaten. Detta sker genom att programmet beräknar approximativa lösningar för partiella differentialekvationer med hjälp av den skapade meshen.

Kortfattat kan det sägas att FEM-analysen visar hur lasten kommer att påverka komponenten.

#### 4.4.2 Rapporteringen av resultaten

Resultaten från FEM-analysen bör redovisas som en kort teknisk rapport som minst innehåller:

1. Begränsningen
2. Beskrivning av modellen och dess geometri
3. Tabell med materialdata med referens
4. Tydlig beskrivning av lasterna och randvillkoren
5. Bild med kort beskrivning som visar hur spänningarna fördelar sig över komponenten
6. Bild med kort beskrivning över hur komponenten deformeras under lasten
7. Tabell där största Von Mises spänningen, huvudspänningen och deformationen finns angivna
8. Slutsats och rekommendation

## 4.5 Tillverkning och kvalitetssäkring

Vid denna del ska det definieras hur kvalitetssäkring samt tillverkning bör genomföras. Det ska även redovisas den mall som tagits fram till kvalitetssäkringen som ska fylls i vid tillverkning och arkiveras/lämnas till kund tillsammans med komponent.

### 4.5.1 Tillverkningen

Här nedan kommer det stegvis beskrivs hur tillverkningen ska gå till. Det förutsätts att tillverkningsunderlaget är klart och det finns tillgängligt att använda sig av vid detta steg. Det förutsätts även att en STL-fil finns färdig.

Använd Eiger, Markforgeds egna mjukvara. Denna är molnbaserad och kan användas från vilken dator som helst så länge den har webbläsaren Google Chrome.

Eiger används för att förbereda STL-filen och leverera G-koden till skrivaren och det är denna process som beskrivs i en lathund som finns som appendix C.

### 4.5.2 Kvalitetssäkring av tillverkningen

Som nämnt i metoddelen bör tillverkningen kontrolleras både innan och efter printjobbet.

#### Kvalitetskontroll innan printern startas

Innan printern startas bör följande tabell fyllas i:

	Optimalt	Uppmätt/Observerat
Luftfuktighet	60 %	
Temperatur	20 C	
Byggplattans skick	Mycket god	

Tabell 4.12: Kvalitetskontroll innan print

#### Kvalitetskontroll efter print

Samtidigt som komponenten printas bör även två provstavar enligt ASTM D638-typ IV printas med den, en horisontell och en vertikal. Dessa provstavar ska användas för att testa materialegenskaperna, den liggande provstaven för att kolla materialegenskaperna i xy-led och den stående för att kontrollera materialegenskaperna i z-led.

Följande tabell bör fyllas i:

	Angivet värde för materialdatan vid liknande temperatur	Värdet för provstaven tillverkad tillsammans med komponenten
Luftfuktighet		
Brottgräns xy-led		
Brottgräns z-led		

Tabell 4.13: Kvalitetskontroll efter print

### 4.5.3 Kvalitetssäkringsdokument

Innan en komponent lämnas över till kund bör mallen för kvalitetssäkring fyllas i, se appendix D.

## 4.6 Riskanalys

Riskanalysen finns som appendix E.

# 5 Diskussion

I detta avsnitt tas det upp en diskussion om metoden och resultatet samt dess utmaningar och förutsättningar.

## 5.1 Metoddiskussion

I denna del diskuteras de delar av metodens upplägg som studenten ansåg behövde överläggas.

### 5.1.1 Framtagning av Materialdatan

Metoden som användes för att ta fram utvidgningskoefficienten för Onyx var kreativt.

Tyvärr utfördes denna metoden även slarvigt, då det endast användes en IR-termometer för att kontrollera temperaturen vid en av de tre temperaturerna. Längden på kuben mättes upp av olika personer vid de tre olika temperaturer. Detta gör att framtagna värdets pålitlighet minskar.

Även den metoden som användes vid framtagning av andelen kolfiber i Onyx är opålitlig. Detta på grund av två anledningar.

Först och främst är det okänt exakt vilket nylon MarkForged använder vid tillverkningen av Onyx. Därmed blir de antagande nylondesiteten en osäkerhet.

Den andra anledningen är att det antas att inga andra tillsatser än rent kolfiber används.

### 5.1.2 Konstuktion

Till och börja med är det värt att notera att metoden som användes för att undersöka hur varierande former påverkar spänningskoncentrationen i komponenten hade kunnat och borde egentligen ha utförts med betydligt flera modeller än endast modell A och B.

Trots det nöjde sig denna studie dock med att endast ur ett pedagogiskt syfte, påvisa skillnaden mellan ett skarpt hörn dvs modell A och ett med något större radie dvs modell B.

Att kontrollera om stödmaterial läggs till endast genom att skapa modellen i Eiger-programmet är mycket tidseffektivt och billigt då en riktig komponenten inte behöver printas. Dock kvarstår frågan om verkligheten blir samma som modellen. Samt även frågan om hur hållbara en 3D-printad komponent med 45 dragder vinkel egentligen är.

## 5.2 Resultatdiskussion

I denna del kommer vi att diskutera de framtagna resultaten.

### 5.2.1 Framtagning av Materialdatan

Diskussionen här blir kring det materialdatabladd som togs fram.

Printinställningarna, typen av provstav och orienteringen av provstaven är bestämda och det framgår väldigt tydligt på materialdatabladdet hur de ska vara.

Utöver en kort beskrivande text hur provstaven bör orienteras finns det dessutom tre bilder som visar detta. Detta anses är mycket bra då det är viktigt att dessa parametrar blir inställda rätt.

Dom angivna teoretiska egenskaperna på materialdatabladdet är diskuterbara.

Utvidgningskoefficienten togs fram via en tveksam metod, som diskuterats ovan. Trots detta valdes det att lita på att de framtagna värden för utvidgningen i de två riktningarna och ha med dessa i materialdatabladdet.

Det är intressant att notera att materialet utvidgar sig betydligt mer i själva materialet dvs i den parallella riktningen än mellan lagren dvs i normalriktningen. Detta är dock inte oväntat med tanke på att fibern i Onyx ligger i parallell riktning och utvidgas därefter.

Värdet för andelen kolfiber i materialdatabladdet ansågs inte vara pålitliga då den metod som användes var så pass bristande och därav togs detta värde inte med i materialdatabladdet.

Gällande de värden som enligt denna rapport bör tas fram till materialdatabladdet är det högst tveksam att proverna kommer att utföras vid alla de tre angivna temperaturerna. Detta på grund av att det kommer att vara både dyrt och tidskrävande att utföra proverna vid temperaturer på -20 grader samt +40 grader. Dessutom är det diskuterbart om det ger något merväde att utföra proverna vid de olika temperaturerna. Då komponenter som printas troligtvis kommer att användas för robotar som står inomhus där temperaturer inte variera något drastiskt.

### 5.2.2 Implementering i Beräkningsmodellen

Det bestämdes att minst tio prover bör göras för var och en av de tio parametrarna man valde att undersöka, dessutom rekommenderas att alla prover görs vid tre olika temperaturer.

Detta skulle innebära att man ska utföra 300 provtagningar. Frågan är om detta är rimligt i praktiken. Men då detta arbete endast är teoretiskt valde man att inte besvara denna fråga utan gå vidare och utgå från att det är rimligt och att alla dessa prover utförs.

### 5.2.3 Konstruktion

Vi börjar med att kommentera del ett i konstruktionsguiden.

Vi kollar då på skillnaden mellan modell A och modell B där den maximala Von Mises spänningen

minskar med ca 500 kPa då man mjukar till det invändiga hörnet. Detta är inte oväntat och bekräftar det som antogs skulle ske redan i metodavsnittet. Större radier ger lägre spänningskoncentrationer. I del två av konstruktionsguiden tas den maximala och minimala storleken för en komponent upp samt den minimala storleken för hål. Värdena är framtagna av tillverkaren och inget av dessa värden har testats fram experimentellt vilket gör att man inte bör lita på dem fullt ut.

Ett av dess värden som sticker ut är den minsta radien ett hål påstås kunna vara i Z-led, 0,8 mm. Med kunskapen om att stående hål tenderar att krympa vid print anses en radie på 0,8 mm i Z-led orimligt litet och bör testas experimentellt.

Att den minsta möjliga fria vinkeln blir 45 grader verkar fullt rimligt då det är ett vanligt värde för ett flertal andra 3D print modeller.

Att hål krymper mellan 10 % till 15 % är oväntat och som nämnt ovan i metoddiskussionen är den metoden som man använder sig av för att ta fram storleken på hålen efter print inte alls pålitlig. Därmed blir inte heller resultaten pålitliga. Passningstabellen däremot är väl utförd och användbar i praktiken. Dock skulle fler prover kunna göras med flera stavar och flera hålstorlekar.

#### 5.2.4 Beräkningar

Den stora osäkerheten vid beräkningarna är om rätt antagningar har gjorts kring skjutningen. Detta kan man egentligen inte veta innan materialdataproverna tagits fram då antagandena bygger på att z-led är den svaga riktningen.

#### 5.2.5 Tillverkning och kvalitetssäkring

Att beskriva hur processen bör utföras med hjälp av en lathund kan anses vara överflödigt. Det blir dock väldigt tydligt hur man ska gå till väga och detta är bra då det är vid denna del som den mänskliga faktorn kan komma att störa processen.

Att utföra kvalitetskontroll av materialet både innan och efter man printar kan diskuteras.

Alternativt hade man kunnat göra en av provstavarna först, testa hållfastheten på den och sedan printa önskad komponent. Det ansågs dock vara lämpligare och enklare att printa komponenten direkt med provstavarna.

Den provstav som ska printas stående, för att användas för att kontrollera hållfastheten i Z-led, kan komma att bli sned. I materialdatabladet rekommenderas det därför att flera stavar printas samtidigt så de kan hålla upp varandra.

## 6 Slutsatser och Rekommendationer

I detta avslutande avsnitt kommer vi att skriva slutsatserna från arbetet och rekommendationer.

### 6.1 Rekommendationer

Efter att ha skrivit denna rapport skulle man vilja lämna följande rekommendationer.

Om materialparametrarna ska tas fram enligt denna rapport bör man fundera över om det kommer löna sig att utföra dem internt då det kommer vara väldigt tidskrävande.

Lita inte blint på de teoretiska värdena i materialdatabladet särskilt då dessa är osäkra.

Använd riskanalysen så mycket som möjligt under processens gång.

Medan rapporten skrevs dök flertalet idéer om eventuella examensarbetet till framtiden upp, så som:

- Ett större arbete där denna process testas från början till slut och riskanalysen utvärderas ytterligare.
- Ett arbete där utmattningen hos additivt tillverkade komponenter undersöks. - Ett arbete som endast fokuserar på konstruktionen med additiv tillverkade komponenter.

## 6.2 Slutsatser

Processen som bör följas för att kunna beräkna additivt tillverkade komponenter behöver baseras på tillförlitlig materialdata. Som vi nämnde i introduktionen var den stora utmaningen i att kvalitetssäkra additivt tillverkade komponenter att standardisering saknas för dessa processer. Bland annat var en del i problematiken att det inte finns pålitlig materialdata.

Därför lades mycket arbete på att skapa ett datablad där man skulle definierat vilka prover som behöver utföras, hur provstaven bör se ut, hur den ska printas samt hur den ska orienteras.

Trots att antalet prover försökte hållas lågt kom man till slut fram till att man skulle behöva utföra kring hundra prover för varje önskad temperatur för att kunna säkerställa de önskade materialparametrarna.

Det är ett faktum att additivt tillverkade komponenter skapar ett ortotropt material som kräver att såpass många prover utförs.

När väl materialparametrarna blir framtagna kvarstår beräkningsdelen som även den blir utmanande på grund av att man arbetar med ett ortotropt material.

Slutligen kommer tillverkningen och kvalitetsssäkeringen av komponenten där man inser att den största risken är den mänskliga faktorn då rutiner inte följs.

Sammanfattningsvis kan man säga att det blir mycket svårt att kvalitetssäkra en additivt tillverkad komponent så länge det saknas goda materialparametrar och bra dokumentation. Det finns mycket jobb kvar innan komponenter som additivt tillverkade kan kvalitetssäkras.





# Referenser

- Antal Boldizar, C. K. (2008). *Plaster-Materialval och Materiladata*. Liber. (Se sidan 3).
- Bäckman, T. (2018). *Utredning om konstruktion och beräkning för additiv tillverkning - Markforgesd* (examensuppsats, Mälardalens högskola Eskilstuna Västerås). (Se sidorna 1, 27).
- Blomqvist, H. (2002). *Matematisk statistik, försöksplanering och kvalitetsstyrning*. HB Matematiklitteratur. (Se sidorna 22, 30).
- Dahlberg, T. (2001). *Teknisk Hållfasthetslära*. Studentlitteratur AB. (Se sidorna 8–10).
- Gibson, I. (2014). *Additive Manufacturing Technologies*. Studentlitteratur AB. (Se sidorna 13, 15).
- Hunter, J. S. (1966, 1. januari). Design of Experiments. Hämtad 22 maj 2019, från [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_printing](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing). (Se sidan 1)
- International, A. (2019, 13. maj). ASTM International, hämtad 1 april 2019, från <https://www.astm.org/Standards/D638.htm>. (Se sidan 7)
- Jobbaren. (2019, 12. januari). Metall. Hämtad 28 maj 2019, från <https://sv.wikipedia.org/wiki/Metall>. (Se sidan 4)
- Lennart Hågeryd, S. B. o. M. L. (2001). *Modern Produktionsteknik del 1*. Liber. (Se sidan 7).
- MagnusA.Bot. (2019, 12. januari). Materialutmattning. Hämtad 28 maj 2019, från <https://sv.wikipedia.org/wiki/Materialutmattning>. (Se sidorna 10, 11)
- Melkersson, K. (2017). *Maskinelement*. Studentlitteratur AB. (Se sidan 12).
- Nosslrac. (2019, 13. maj). Plaster. Hämtad 28 maj 2019, från <https://sv.wikipedia.org/wiki/Plast>. (Se sidan 6)
- Per Linstedt, J. B. (2003). *The Value Model*. Nimba AB. (Se sidan 17).
- PLM-grup. (2019, 13. maj). PLM. Hämtad 28 maj 2019, från [https://plmgroup.se/3d-printers/?gclid=Cj0KCQjwuLPnBRDjARIsACDzGL0aNsaFhPysDkL5YaNGZXzgprwJZkCiPrAmBM\\_8F\\_RrRWHkM17Wn0QaAhTnEALw\\_wcB](https://plmgroup.se/3d-printers/?gclid=Cj0KCQjwuLPnBRDjARIsACDzGL0aNsaFhPysDkL5YaNGZXzgprwJZkCiPrAmBM_8F_RrRWHkM17Wn0QaAhTnEALw_wcB). (Se sidan 6)



# A Materialdatabladet

Databladet som materialparametrarna ska skrivas in i.

## Materialdatablad

**Materia:** Onyx

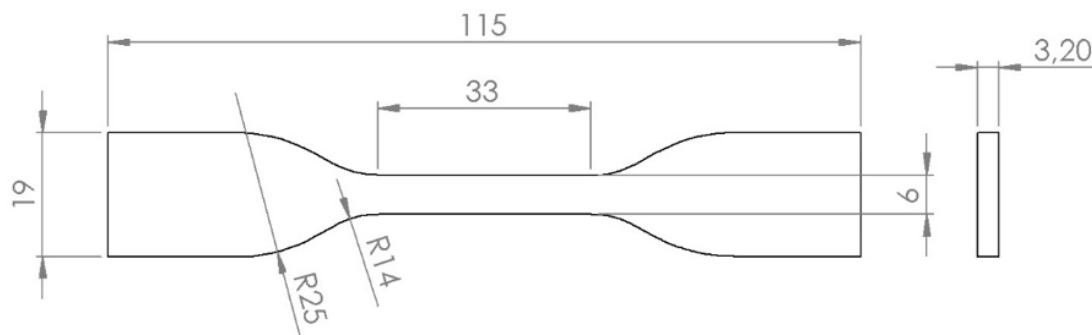
**Tilläggsmaterial:** Ingen

**Tillverkningsmetod:** Additiv Tillverkning via Markforged Mark Two med följande inställningar:

<b>Fyllnadsmönster</b>	<b>Solid</b>
<b>Fyllnadsgrad</b>	<b>100 %</b>
<b>Vägg tjocklek</b>	<b>Solid</b>
<b>Botten och toppen tjocklek</b>	<b>Solid</b>
<b>Lagerhöjd</b>	<b>0.1</b>
<b>Placering av lagren*</b>	<b>90 graders förskjutning</b>

### Provstaven

Enligt ASTM D638 - 14 standard typ IV \*



### Placering av provstaven:

Vid tillverkning bör provstaven orienteras enligt bild 1a för prover i xy-led och enligt bild 1b för prover i z-led. De provstavar som ska tillverkas för prover i z-led bör tillverkas flera i taget med stöd mellan dem enligt bild 1c.

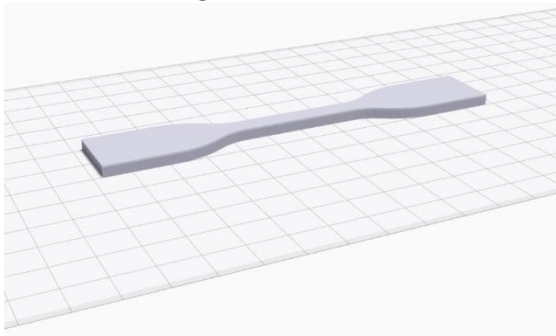


Bild 1a

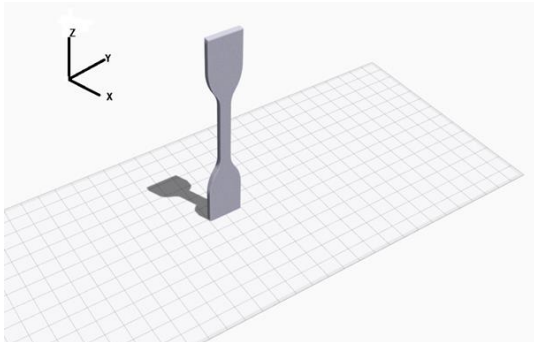


Bild 1b

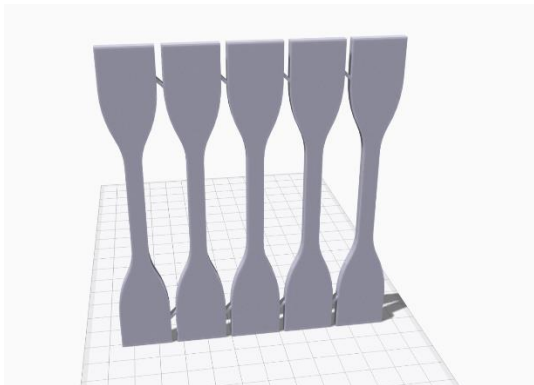


Bild 1c

Teoretiska egenskaperna:

Material	Onyx
Utvidningskoefficient normal	153 $\mu\text{m}$
Utvidningskoefficient parallell	27 $\mu\text{m}$
Smältpunkt	276 C
Teoretisk E-modul	2.9 GPa
Poissons tal	0.3

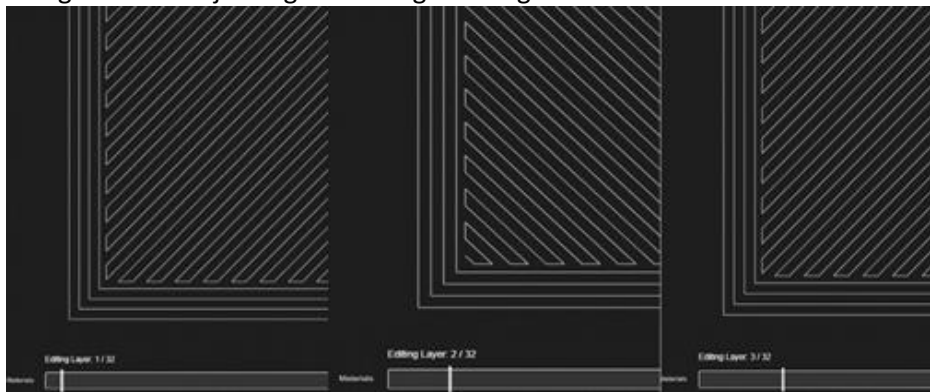
Tillverkningsförhållanden:

Luftfuktighet	
Temperatur	

Framtagna värden

Temperatur	-20 C	20 C	40 C
Sträckgräns XY-riktning			
Sträckgräns Z-riktning			
Brottgräns XY-riktning			
Brottgräns Z-riktning			
Antal cykler för halva sträckgränsen XY-riktning			
Antal cykler för halva sträckgränsen Z-riktning			
E-modul xy-led			
E-modul z-led			
G-modul xy-led			
G-modul z-led			

\*90 graders förskjutning mellan lagren enligt nedan:



\* ASTM D638-14 bör användas vid provtagning då man testar provbitar gjorda i plast utan fiberförstärkning. Enligt ASTM internationella standarder finns det fem typer som kan användas vid framtagning av materialdata.

*“The Type IV specimen is generally used when direct comparison are required between materials in different rigidity cases (that is, nonrigid and semirigid).”* (ASTM International, 2018).

Enligt ovanstående taget ut dokumentet ASTM D638 – 14, rekommenderas typ IV vid framtagning av materialdata för Onyx eller Nylon.

\*De angivna värden tas fram via dragprover och det angivna värde är ett medelvärde från de tio proverna som är gjorda.

## **B Excelfil för hantering av materialdatan**



Prov -20 C	Sträckgräns xy (MPa)	Sträckgräns z (MPa)	Brottgräns xz (MPa)	Brottgräns z (MPa)	Framtagen E-modul xy-riktningen	Framtagen E-modul z-riktningen	Antal cykler för halva sträckgränsen Z-riktningen	Antal cykler för halva sträckgränsen xy-riktningen	G-modul XY-led	G-modul Z-led
1										0
2										0
3										0
4										0
5										0
6										0
7										0
8										0
9										0
10										0
Max	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Standardavvikelse	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	0
Medelvärdet	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	0
Prov 20 C	Sträckgräns xz (MPa)	Sträckgräns y (MPa)	Brottgräns xz (MPa)	Brottgräns y (MPa)	Framtagen E-modul	Antal cykler för halva sträckgränsen xy-riktningen	Antal cykler för halva sträckgränsen Z-riktningen			
1										0
2										0
3										0
4										0
5										0
6										0
7										0
8										0
9										0
10										0
Max	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Standardavvikelse	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	0
Medelvärdet	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	0
Prov 40 C	Sträckgräns xz (MPa)	Sträckgräns y (MPa)	Brottgräns xz (MPa)	Brottgräns y (MPa)	Framtagen E-modul	Antal cykler för halva sträckgränsen xy-riktningen	Antal cykler för halva sträckgränsen Z-riktningen			
1										0
2										0
3										0
4										0
5										0
6										0
7										0
8										0
9										0
10										0
Max	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Standardavvikelse	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	0
Medelvärdet	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	#DIVISION/0!	0

# C Lathund

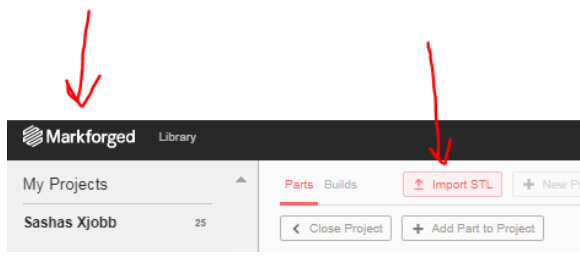
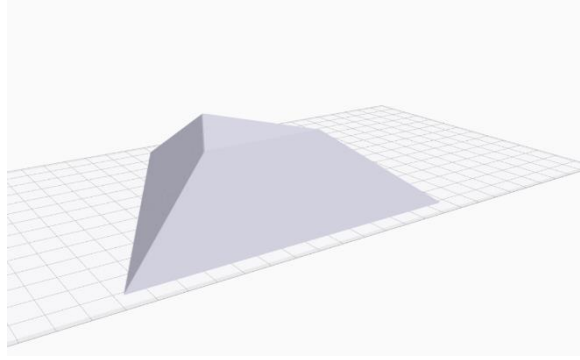

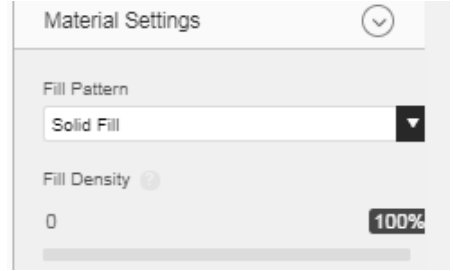
Lathund för Markforged Mark Two

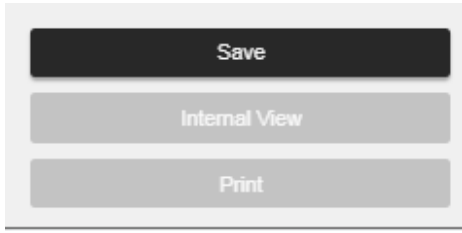
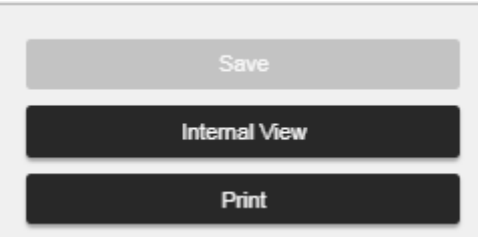
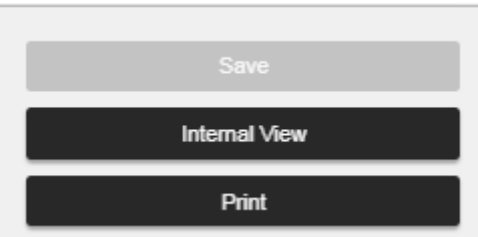
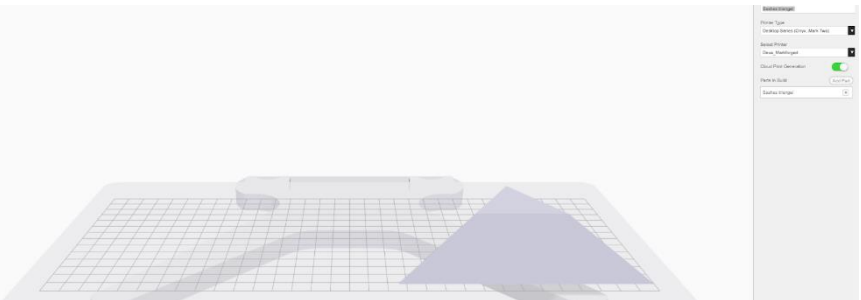
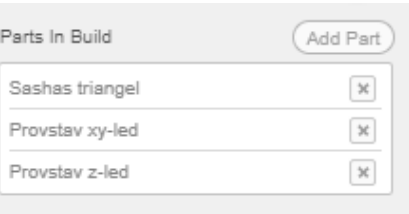
### Lathund till Mark Two print

Här nedan kommer vi att stegvis beskriva hur tillverkningen ska gå till. Förutsättningen är att tillverkningsunderlaget är klart och det finns tillgängligt att använda sig av vid detta steg samt att en STL-fil finns färdig.

Använd Eiger, Markforged egna mjukvara. Denna är molnbaserad och kan användas från vilken dator som helst så länge den har Google Chrome webbläsare.

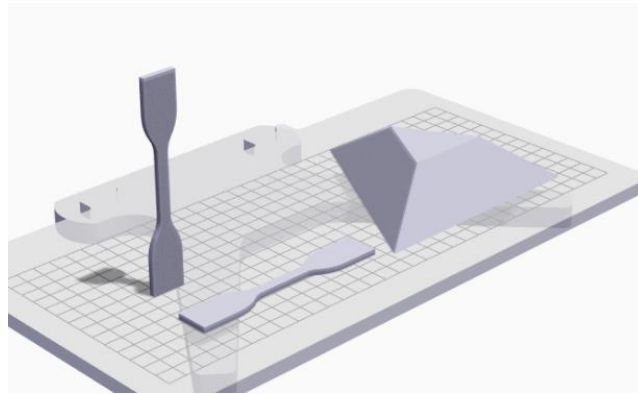
Eiger används för att förbereda STL-filen och leverera G-koden till skrivaren och det är just denna process som beskrivs i lathunden nedan.

Steg	Exempelbild
1. Gå in till angivet projekt och ladda upp STL-filen.	
2. Orientera detaljen så att koordinaterna överensstämmer med tillverkningsunderlaget. Obs det är viktigt att komponenten är rätt orienterad då programmet sparar orienteringen på komponenten.	
3. Ställ in materialet och printern enligt tillverkningsunderlag	
4. Ställ in fyllnadsgraden enligt tillverkningsunderlag	

<p>5. Spara detaljen och generera kör-schema genom att klicka på "Save"</p>	
<p>6. Kontrollera körschemat för detaljen genom att klicka på "Internal View"</p> <p>Här kan man till exempel se på vilka ytor som eventuellt stödmaterial läggs till på.</p>	
<p>7. Kontrollera om inställningarna och orienteringen är enligt tillverkningsunderlaget. Efter kontroll klicka på "Print".</p>	
<p>8. Kontrollera om inställningarna och orienteringen är enligt tillverkningsunderlaget. Efter kontroll klicka på "Print".</p>	
<p>9. Klicka på "Add Part" och lägga till följande provstavar.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Provstav xy-led</li> <li>- Provstav z-led</li> </ul>	

10. Placera ut provstavarna på byggplattan så att de inte överlappar varandra.

OBS! Roter ej detaljen i detta steg.



11. Kontrollera och anteckna:  
Luftfuktigheten vid printern  
Temperaturen vid printern  
Byggplattans skick

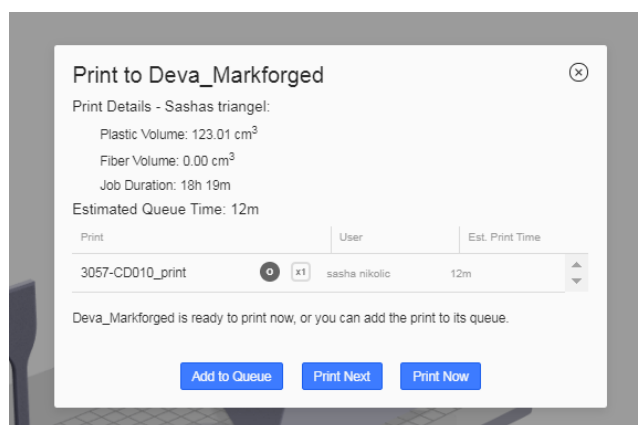
	Optimalt	Uppmätt/Observerat
Luftfuktighet	60 %	
Temperatur	20 C	
Byggplattans skick	Mycket god	

12. För att detaljen ska fästa bör man lägga ett tunt lager lim på byggplattan.

13. Tryck på "Print"

Om skrivaren inte är tillgänglig kan man lägga till sin utskrift i kön genom att trycka på "Add to Queue"

Om inte klicka på "Print now" för att sätta igång printjobbet



## **D Kvalitetssäkringsdokument**

# Kvalitetssäkringsdokument

Fyll i innan print:

	Optimalt	Uppmätt/Observerat
Luftfuktighet	60 %	
Temperatur	20 C	
Byggplattan skick	Mycket god	

Fyll i innan print

	Angivet värde vid materialdata vid liknande temperatur	Värdet för provstaven tillverkad tillsammans med komponenten
Brottgräns xy-led		
Brottgräns z-led		





# **E Riskanalys**

Risanalys enligt FMEA

Fas i processen	Funktion	Vad kan gå fel?	Vartför blir det fel?	Vad kan hända om det blir fel?	Vad kan man göra för att förebygga eller upptäcka felet?	Responsible	Completed	Severity	Occurrence	Detection	RPN
<b>5. Framtagning av Materialdata</b>											
<b>5.1 Inställningarna på printern</b>											
Fyllnadsmonter		Ställs in fel	Mänskliga faktorn	Följfelet som gör att de framtagna värden blir felaktiga	Skapa en färdig printfil som sparas i arkiv.			8	2	2	32
Fyllnadsgrad		Ställs in fel	Standard inställning på printer 37%	Följfelet som gör att de framtagna värden blir felaktiga				8	2	2	32
Väggspjålet											0
Botten och toppen tjocklek											0
Lagerhöjd		Ställs in fel	Mänskliga faktorn	Följfelet som gör att de framtagna värden blir felaktiga				8	2	2	32
Risken för lagren		Ställs in fel	Mänskliga faktorn	Följfelet som gör att de framtagna värden blir felaktiga		Sasha		8	2	2	32
<b>5.2 Val av provbit</b>											
ASTM D638 - 14 typ IV					Rekommendation i standardern Skapa en färdig printfil som sparas i arkiv. Lägg till referens till denna fil i datablad.	Sasha					0
Orientering av provbit		Fel orientering	Mänskliga faktorn	Följfelet som gör att de framtagna värden blir felaktiga	Kontrollera om man kan spara själva printbitiden. Ovs. S eller S20t provdetaljer och hur de är placerade på plattan. Lägg till referens till denna fil i datablad.	Tommie		8	2	2	32
<b>5.3 Tillverkningsförhållanden</b>											
Luftfuktighet		Mäts inte upp	Finns ingen mätare vid skrivaren	Lagren torkar för snabbt/långsamt vilket leder till sämre hållbarhet	Sätt in en temp/luftfuktighetsmätare i printer	Tommie		8	8	2	128
		Material har tagit upp fukt	Nyflösa kollektor öppnar materiallådan	Defekt detalj	Sätt skruvar som lås på lådan för att undervika att kollektor öppnar den	Tommie		8	8	2	128
Temperatur		Mäts inte upp	Finns ingen mätare vid skrivaren	Lagren torkar för snabbt/långsamt vilket leder till sämre hållbarhet	Sätt in en temp/luftfuktighetsmätare i printer.	Tommie		8	8	2	128
Kalibrering av printer		Ej kalibrerad, munstyckets arbetsområde är ej parallellt med platta.	Ingen rutin för när printer ska kalibreras. Görs när kvaliteten blir synligt sämre.	Defekt detalj	Lägg in i process att printer ska kalibreras innan provdetaljer skrivs ut.	Sasha		8	8	2	128
Förinställning av plattan		Platta är sliten vilket det påverkar utskrift	Ingen rutin för när platta ska bytas. Görs när kvaliteten blir synligt sämre.	Defekt detalj	Skriv i process att platta ska kontrolleras visuellt innan printning. Ta fram en skrapa i plast för att minska slitaget på platta.	Sasha Tommie		8	5	2	80
<b>5.4 Teoretiska egenskaper</b>											
Utvändigkoefficienten		Felvärde	Svårt att finna rätt värde	Material beter sig inte som väntat vid ändring av temperatur	Finns ej värden från MarkForged. Utför egna mätningar och jämför mot teoretiska värden på PA/PA med fiber.	Sasha		8	8	5	320
Smältpunkt		Felvärde	Svårt att finna rätt värde		Vi använder standardvärde för PA och specificerar arbetstemperatur visserligen lägre än +40.	Sasha		8	8	5	320
E-modul		Felvärde	Svårt att finna rätt värde		Finns på MarkForged men ej i bestämd riktning.	Sasha		8	8	5	320

1.5 Fremtagne värden											
Sträckgräns xy-riktning		Slutsaten dras från alldeles för få prover	För få prover	Svårt att utnyttja materialet till detaljer. Överdimensionering.	Idå är ett bra antal enligt eurocode 9 för att få en rimlig spridning med rimligt antal detaljer.			8	2	5	80
Sträckgräns z-riktning		Slutsaten dras från alldeles för få prover	För få prover					8	2	5	80
Brottröns xy-riktning		Slutsaten dras från alldeles för få prover	För få prover					8	2	5	80
Brottröns z-riktning		Slutsaten dras från alldeles för få prover	För få prover					8	2	5	80
Antal cykler på halva sträckgräns innan brott uppstår		Utmattningsbrott uppstår tidigare än väntat	Man gör endast prover i en riktning	Utmattningsbrott uppstår tidigare än väntat	Bör lösas till brott (inte avbryta vid 1m cykler) för att i framtiden kunna använda för att bygga upp utmattningskurva			8	2	5	80
E-modul		Slutsaten dras från alldeles för få prover	För få prover		Ta fram E-modul via dragprover				2	5	4
1.1 De olika temperatuerna											
Minus 20 C		Prover utförs inte	Dyrt att utföra dessa prover	Svårt att förutspå hur materialet kommer att bete sig vid dessa temperaturer	Göra provet			8	8	5	320
Plus 20 grader		Prover utförs inte vid rätt temperatur	Dyrt att utföra dessa prover	Svårt att förutspå hur materialet kommer att bete sig vid dessa temperaturer	Göra provet			8	2	2	32
Plus 40 C		Prover utförs inte	Dyrt att utföra dessa prover	Svårt att förutspå hur materialet kommer att bete sig vid dessa temperaturer	Göra provet			8	8	5	320
2 Implementering i beräkningsmodellen	Funktion	Vad kan gå fel?	Vadför blir det fel?	Vad kan hända om det blir fel?	Vad kan man göra för att förebygga eller upptäcka felet?	Responsible	Completed	Severity	Occurrence	Detection	
Beräkning av spänning	Felvärdet	Vilket leder till att det räknas med fel area	Följfel	Man bör mäta upp provstaven efter den printas	Använd separata löpningsgivare eller limma dragprovernas kanter så att de fäster ordentligt			8	5	5	200
Beräkna töjningen	Felvärdet	Dragprovet glider	Följfel	Se till att maskinen är rätt inställd och kalibrerad				8	5	5	200
Beräkna E-modul	Felvärdet	Maskinen tar ej hänsyn till plast	Fel materialdata		Använda sig av IR-tremometer för korrekt uppmätning av temperatur, märka specifika ställe på detaljen där mätningarna ska utföras			8	5	5	200
Beräkna utvidningskoefficient	Felvärdet	Slarvig uppmätning av temperaturen	Detaljen utvidgas mer/mindre än väntat		Göra tre prover där man tar fram Poissons tal experimentellt och jämför värdet mot det antagna			8	5	5	200
Antagen Poissons tal	Felvärdet	Fel antagande eller fel uppmätning	Skivmodulen blir fel	Detaljen klarar plasticeras eller går av tidigare än väntat				8	5	5	200
Sträckgräns och brottröns	Otillräckligt med 10prover, uppmätning	Felaktig uppställning av materialdatan till FEM-modell	Detaljen klarar plasticeras eller går av tidigare än väntat		Kontrollera/jämföra STL-modell mot FEM-modell			8	5	5	200
FEM-modell	Modellen stämmer inte	Vad kan gå fel?	Vadför blir det fel?	Vad kan hända om det blir fel?	Vad kan man göra för att förebygga eller upptäcka felet?	Responsible	Completed	Severity	Occurrence	Detection	
3. Konstruktion											
3.1 Konstruktionsguiden											
Minsta fria vinkel bestäm till 45 grader	Stödmateriell läggs till	Printern klarar inte av en så liten frivinkel	Stödmateriell läggs till		Konstruktör kontrollerar printfil, så att stödmateriell inte läggs till där det ej ska vara			8	2	2	32
Användning av rekommenderad geometri för horisontella hål	Stödmateriell läggs till i hål	Fel antagande om geometrin	Hålens går ej att använda som hål utan att behöva bearbetas först		Konstruktör kontrollerar printfil, så att stödmateriell inte läggs till där det ej ska vara			8	2	2	32
Passningstabell	Hål krymper mer eller mindre än väntat och passningstabellen stämmer ej	Antagande gjort på alldeles för få prover	Det som skulle fästa i hålet får ej plats eller blir glider ur		Utföra studie med Iaf tio prover och för flera håstörkor			8	2	2	32
Delen med störst area av komponenten mot plattan	Komponent lossnar	Felantagande	Komponent böjs upp vid kanterna		Testa sin hypotes med Iaf tio prover			8	2	2	32
Begränsad mått enligt guidlines från markfordoged	Går inte att göra så små detaljer i praktiken				Göra testprint med minsta			8	2	2	32

	Vad kan gå fel?	Vadför blir det fel?	Vad kan hända om det blir fel?	Vad kan man göra för att förebygga eller upptäcka felet?	Responsible	Completed	Severity	Occurrence	Detection		
<b>3.2 Tillverkningsunderlaget</b>											
Namn på komponent, tillhörande projekt, person/er som ritat komponent, person/er som godkänn ritningen								8	2	5	80
Randvillkor x,y och z								8	2	5	80
Orientering av komponent	Printfilen kontrolleras ej vilket leder till att stödmaterial inte läggs till där det ej ska	Det går ej att genomföra i verkligheten	Viktiga ytor blir "tula"	Konstruktör kontrollerar printfilen				8	2	5	80
Inställningarna på printern och vilket material som ska användas	Ställer inte in printern till solid		Komponent blir svagare					8	2	5	80
<b>4. Beräkningar</b>											
	Vad kan gå fel?	Vadför blir det fel?	Vad kan hända om det blir fel?	Vad kan man göra för att förebygga eller upptäcka felet?	Responsible	Completed	Severity	Occurrence	Detection		
<b>4.1 FEM analysen i NX/Ansys</b>											
Använda sig av materialet som tagits fram internt	Felvärdet	Feljämfel	Felaktig beräkning	Granska materialdatabasen innan beräkningarna görs				8	5	2	80
Antagandet att skänkning är svag i xy-led	KY-plan i modell ej samma som den tillverkade detaljens XY-plan	Fel riktning i materialet	Felaktig beräkning	Kontrollera modellens materiellinringar				8	5	2	80
Uppställning av lasterna och randvillkoren								8	5	2	80
<b>4.2 Rapportering av resultaten</b>											
Begränsningen	Otillräckligt med information	Bristande kommunikation mellan konstruktör och beräkningsingenjör		Ha tydliga instruktioner nerskiva				8	5	5	200
Beskrivning av modellen och dess geometri	Otillräckligt med information	Bristande kommunikation mellan konstruktör och beräkningsingenjör		Ha tydliga instruktioner nerskiva				8	5	5	200
Yttelst men materialräddat och referens till matriellidålan	Otillräckligt med information	Bristande kommunikation mellan konstruktör och beräkningsingenjör		Ha tydliga instruktioner nerskiva				8	5	5	200
Bild med kort beskrivning som visar hur spänningarna fördelar sig över komponenten	Otillräckligt med information	Bristande kommunikation mellan konstruktör och beräkningsingenjör		Ha tydliga instruktioner nerskiva				8	5	5	200
Bild med kort beskrivning över hur komponenten deformeras under lasten	Otillräckligt med information	Bristande kommunikation mellan konstruktör och beräkningsingenjör		Ha tydliga instruktioner nerskiva				8	5	5	200
Tabell där största Von Mises, Huvudspänningen och deformationen finns angivna	Anges fel typ av spänning	Felspänning skrivs upp	Felaktig säkerhetsfaktor	Ha tydliga instruktioner nerskiva				8		5	0
Situats och rekommendation	Otillräckligt med information	konstruktör och beräkningsingenjör		Ha tydliga instruktioner nerskiva				8	5	5	200
<b>5. Tillverkning och kvalitetskontroll</b>											
	Vad kan gå fel?	Vadför blir det fel?	Vad kan hända om det blir fel?	Vad kan man göra för att förebygga eller upptäcka felet?	Responsible	Completed	Severity	Occurrence	Detection		
Lathunden till tillverknings	Lathunden är fel eller otillräcklig	Dåligt skrivet	Defekt produkt/print	Tommie kollade igenom den				8	2	2	32
<b>5.2.1 Kvalitetskontroll innan print</b>											
Uppmätning av luftfuktighet	Felvärdet	Det går för lång tid mellan uppmätning	Defekt produkt/print	Se till att man mäter precis innan print				8	2	2	32
Uppmätning av temperatur	Felvärdet	Det går för lång tid mellan uppmätning	Defekt produkt/print	Se till att man mäter precis innan print				8	2	2	32
Kontroll av byggtillstånd skick	Skador syns ej	Ej tillräcklig okulär besiktning	Defekt produkt/print	Ha en likare som jämförs mot på gräns acceptabel				8	2	2	32
<b>5.2.2 Kvalitetskontroll efter print</b>											
	Vad kan gå fel?	Vadför blir det fel?	Vad kan hända om det blir fel?	Vad kan man göra för att förebygga eller upptäcka felet?	Responsible	Completed	Severity	Occurrence	Detection		
Brotgräns vid xy-led	Felaktig uppmätning	Dragprovet glider, dras för fort eller dålig hantering av provstaven	Felvärdet	Öka fri med lim eller slipa kanterna/Se till att samma hast som vi materialdepprovtagnin/Tydlig instu				8	5	2	80
Brotgräns vid z-led	Felaktig uppmätning	Dragprovet glider, dras för fort eller dålig hantering av provstaven		sasha fixa två pinn och provstav				8	5	2	80