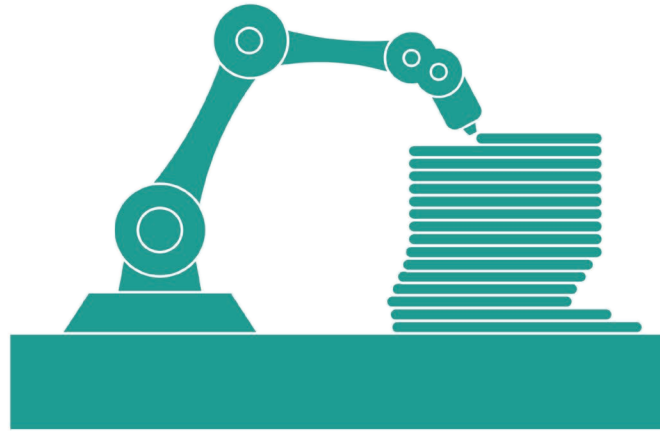




CHALMERS



En guide för storskalig additiv tillverkning med termoplaster

Utformning av handbok för beslutsunderlag och designstöd för konstruktörer i tillverkningsindustrin

Kandidatarbete inom Teknisk Design, Maskinteknik och Mekatronik

Amelie Nordh

Jennie Winqvist

Johan Trulsson

Klara Collin Aronsson

Tobias Edholm

Yunyi Fu

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Gothenburg, Sweden 2020

www.chalmers.se

En guide för storskalig additiv tillverkning med termoplaster

Utformning av handbok för beslutsunderlag och designstöd för konstruktörer i
tillverkningsindustrin

© Amelie Nordh, Jennie Winqvist, Johan Trulsson, Klara Collin Aronsson, Tobias Edholm,
Yunyi Fu

Handledare: Jakob Müller

Examinator: Lars Almefelt

Kandidatarbete 2020

Institutionen för industri- och materialvetenskap

Chalmers University of Technology

SE-412 96 Göteborg, Sverige

Telefon +46(0) 31-772 1000

Göteborg, Sverige 2020

Förord

Vi vill uttrycka ett stort tack till vår handledare Jakob Müller för stöd, konstruktiv kritik och expertis under hela projektets gång. Stort tack även till våra samarbetspartners Emil Johansson och Lenny Tönnäng på RISE för den ovärderliga data och feedback som ni försett oss med. Ett tack till Anthony Norman för det språkliga stöd vi fått i utformandet av handboken. Vi vill även tacka våra kontaktpersoner Tomas Burman på BLB Industries och Malin Fleen på The Wood Region för möjligheten att utvärdera handboken med er både under och i slutet av arbetets utvecklingsprocess. Detta har varit mycket betydelsefullt för oss och resultatet. Till sist vill vi även rikta ett stort tack till vår examinator Lars Almefelt för stöd under detta projekt.

Abstract

The basis of this bachelor thesis is the creation of a handbook including design guidelines to be used by companies who are interested in Large Scale Fused Deposition Modeling (FDM). The project is a collaboration between Research Institutes of Sweden (RISE) and students from Chalmers University of Technology. RISE provides the opportunity for companies interested in large scale FDM to test this manufacturing method for their application. For small scale FDM there are well defined and widely implemented guidelines which will help in the creation of designs well suited for the technique. This is not yet the case for large scale FDM. There are quite a lot of aspects that one must consider when designing for large scale FDM and some of them differ from small scale and other kinds of manufacturing techniques. This lack of guidelines and experience leads to a situation where companies have designs not well suited for large scale FDM. These unsuitable designs make the production process more troublesome which leads to increased lead times and costs. Therefore, there is a great incentive to help companies create better designs for large scale FDM. The aim of the project was therefore to create a support for mechanical- and design engineers which will help both when deciding if it's suitable to use large scale FDM as well as provide guidelines for the actual design.

The process of creating the handbook has been an iterative process. Ideation, development of concepts and writing of the handbook has been interspersed with evaluation through interviews and audits with experts and possible future stakeholders.

The resulting product is a guide with three major chapters; background, decision and design. This was combined in a layout including illustrative examples, summarizing lists and plain language. Final evaluations of the handbook by the major stakeholders seem to indicate that the handbook fulfils all the necessary functions that were defined, that it will fill its purpose and support future work within the field of large scale FDM.

Keywords:

Large Scale Additive Manufacturing, Design Guidelines, Large Scale Fused Deposition Modeling, Thermoplastic, Additive Manufacturing Handbook

Sammandrag

Grunden för detta kandidatarbete är skapandet av en handbok med designriktlinjer som kan användas av företag som är intresserade av storskalig fused deposition modeling (FDM). Projektet är ett samarbete mellan Research Institutes of Sweden (RISE) och studenter vid Chalmers tekniska högskola. RISE erbjuder företag som är intresserade av tekniken möjlighet att prova tekniken för sina tillämpningsområden. För småskalig FDM finns det väl definierade och välanvända riktlinjer som stöd för konstruktörer, så är ännu inte fallet för storskalig FDM. Det finns dock ett antal viktiga aspekter att ha i åtanke vid konstruktion för storskalig FDM, vilka kan skilja sig mycket från småskalig FDM och andra tillverkningstekniker. Denna brist på riktlinjer och erfarenhet leder till en situation där företag ofta har en design som inte lämpar sig särskilt väl för storskalig FDM. Detta leder till en omständlig tillverkningsprocess med längre ledtider och större kostnader. Därför finns det ett stort incitament att hjälpa företag med att skapa bättre konstruktioner. Målet med projektet var därför att skapa ett stöd riktat främst mot konstruktörer och designers som hjälper dem både med att besluta om storskalig FDM är lämpligt samt att designa för och förstå processen.

Att skapa handboken har varit en iterativ process där skapande av idéer, konceptutveckling och handboksskrivande varvats med utvärdering genom intervjuer och feedback från experter och andra intressenter.

Resultatet är en handbok med tre huvudkapitel: bakgrund, beslut och design. Detta kombinerades med illustrativa exempel, sammanfattande listor och klarspråk. Den slutgiltiga utvärderingen av handboken gjordes med experterna och intressenterna och tyder på att handboken fyller sitt syfte och kommer att kunna fungera som ett bra stöd för kommande arbete inom området.

Nyckelord: Storskalig additiv tillverkning, Termoplast, Designriktlinjer, Handbok för additiv tillverkning, Storskalig FDM

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Problemformulering	2
1.3	Syfte	3
1.4	Frågeställning	3
1.5	Avgränsningar	3
1.6	Etik- och hållbarhetsaspekter	4
2	Teori.....	5
2.1	Additiv tillverkning	5
2.2	Fused Deposition Modeling	6
2.3	Pedagogik och design.....	11
2.4	Usability	18
3	Metodteori.....	20
3.1	Planeringsverktyg.....	20
3.2	Produktutvecklingsverktyg.....	20
3.3	Intervjuteknik	21
3.4	Konceptframtagning.....	21
3.5	Utvärdering.....	23
3.6	Visualisering.....	24
4	Metod	25
4.1	Planerings- och produktutvecklingsverktyg.....	25
4.2	Datainsamling.....	26
4.3	Konceptframtagning.....	27
4.4	Formativ utvärdering.....	31
4.5	Summativ utvärdering av den slutgiltiga handboken.....	33

5	Resultat	35
5.1	Datainsamling.....	35
5.2	Produktutvecklingsverktyg.....	37
5.3	Handbokens innehåll & upplägg	40
5.4	Handbokens text.....	52
5.5	Handbokens design	55
5.6	Den slutgiltiga handboken.....	67
5.7	Summativ utvärdering	72
6	Diskussion.....	74
6.1	Projektets resultat och handboken.....	74
6.2	Rekommendationer	78
7	Slutsats	79
8	Referenser	81
9	Bilagor.....	85

1 Inledning

Inledningen presenterar bakgrunden för projektet och varför det har genomförts. Vidare introduceras en problembild som belyser utmaningar som finns kring ämnet följt av projektets syfte, frågeställning och avgränsningar. Avslutningsvis beskrivs viktiga aspekter kring etik och hållbarhet.

1.1 Bakgrund

Additiv tillverkning (Eng: Additive Manufacturing, AM) är en tillverkningsmetod som går ut på att skapa en tredimensionell produkt från en CAD-modell genom att en 3D-skrivare selektivt adderar material lager för lager (Redwood et al., 2017). Framfarten för AM har under de senaste decennierna varit minst sagt uppseendeväckande och visar inga tecken på att sakta ned. Från tidigt 1980-tal till 2014 uppskattades marknadsvärde för AM till över 4 miljarder dollar (Thompson et al., 2019). År 2019 uppskattades marknadsvärdet till över 10 miljarder dollar (Sher, 2020). Produkter och prototyper tillverkade genom AM förekommer i många olika branscher, bland annat inom sjukvården, flyg- och rymdindustrin samt bilindustrin (Thompson et al., 2019). Enligt Emil Johansson, expert inom additiv tillverkning, är en del av den senaste utvecklingen inom AM tillverkning av komponenter i större skala (personlig kommunikation, 31 januari, 2020).

Utbudet av metoder och material för AM är brett (Ford & Despeisse, 2016). Den vanligast tillämpade AM-metoden är *fused deposition modeling* (FDM). För FDM extruderas material genom ett munstycke, lager för lager (Varotsis, 2018). Metoden används för tillverkning av prototyper och produkter av olika termoplaster och termoplastbaserade kompositer (Redwood et al., 2017).

Projektet samarbetspartner Research Institutes of Sweden (RISE) är ett svenskt forskningsinstitut som bedriver industrinära forskning. RISE har en industrirobotbaserad testbädd för storskalig FDM. Detta ger intresserade företag inom tillverkningsindustrin en möjlighet att testa tekniken. RISE arbetar för att fungera som ett stöd och erbjuda kompetens för att bemöta industrins ökande intresse för storskalig FDM (RISE, u.å.).

1.2 Problemformulering

I dagsläget uppkommer en del problem när företag vill tillverka med AM, i synnerhet när det kommer till stora komponenter (AMFG, 2019). Att designa och tillverka stora komponenter blir på de flesta sätt mer komplext och kräver mer eftertanke än vid design och tillverkning av små komponenter. Vid större skala ökar kraven på design och tillverkning vilket i sin tur ökar kraven på kompetens hos företags konstruktörer (AMFG, 2019). Enligt Emil Johansson och Lenny Tönnäng, experter inom additiv tillverkning på RISE, saknar många konstruktörer och företag i dagsläget den kompetens inom storskalig FDM som krävs vilket leder till olika typer av problem (personlig kommunikation, 21 februari, 2020).

En möjlighet för företag som är intresserade av att börja tillverka med storskalig FDM är att vända sig till forskningsinstitut såsom RISE, eller andra experter inom området som kan erbjuda djupare kompetens för storskalig FDM. Då aktörer inom industrin generellt har dåligt kunskap inom området krävs en omfattande genomgång av FDM-tekniken i stort. Detta gäller främst att skapa en förståelse för när storskalig FDM är en lämplig tillverkningsteknik att välja samt hur design bör anpassas för tekniken. Detta kan resultera i en utdragen initial process som blir ineffektivt, resurskrävande och kostsamt för inblandade aktörer.

Enligt E. Johansson har många företag oftast en bristande kompetens inom design för storskalig FDM. Detta kräver i många fall flera iterationer av produktens design, ofta i samråd med externa experter (personlig kommunikation, 21 februari, 2020). Företagen själva känner sina produkter bäst och har sina idéer och föreställningar om resultaten de vill uppnå. I sin tur förstår experterna tekniken betydligt bättre och vet vad som krävs för att tillverka en lyckad produkt med storskalig FDM. En risk, när experterna behöver lägga sig i och ändra företagets design, blir att designen och slutprodukten i vissa fall inte lever upp till företagets förväntningarna (personlig kommunikation, 21 februari, 2020).

Utöver detta tenderar företag även att ha tämligen optimistiska föreställningar om tidsåtgång, kostnader och förväntat resultat vilket i många fall inte överensstämmer med realiteten, enligt E. Johansson (personlig kommunikation, 21 februari, 2020).

För att minimera dessa problem skulle ett hjälpmedel behövas där företag i ett tidigt skede kan förbereda sig för tillverkning med storskalig FDM. Företagen kan då tidigt få en tydligare bild av tekniken samt att kommunikationen mellan expert och intresserat företag blir enklare då

missförstånd i en större utsträckning kan undvikas. På detta sätt kan ledtiderna minskas från idé till färdig produkt.

1.3 Syfte

Syftet med projektet är att ta fram en handbok, fysisk eller digital, för tillverkning av stora komponenter tillverkade genom AM. Mer specifikt kommer projektet fokusera på komponenter tillverkade genom storskalig FDM. En av utgångspunkterna kommer vara projektets samarbetspartner RISE. Genom handboken syftar projektet till att lyfta fram relevant information gällande stora komponenter tillverkade med FDM.

Handboken ska kunna fungera som ett verktyg för att minimera ledtiden från idé till önskat resultat för företag intresserade av storskalig FDM. För att uppnå detta ska handboken tillhandahålla tillräcklig information för företag att ta beslut om huruvida de bör använda tekniken samt kartlägga designriktlinjer för storskalig FDM.

1.4 Frågeställning

De frågor som detta projekt ämnar till att svara på är följande:

Vilken information gällande stora komponenter är relevant för en konstruktör för att kunna ta ett beslut om huruvida storskalig FDM är en lämplig tillverkningsmetod samt för att kunna utföra ett designarbete anpassat för tillverkning med storskalig FDM?

Hur ska denna information förmedlas och presenteras till konstruktörer på ett lättillgängligt och pedagogiskt sätt?

1.5 Avgränsningar

För att begränsa projektets omfattning har ett antal avgränsningar gjorts. Handbokens målgrupp definieras som konstruktörer på företag med intresse för storskalig FDM av termoplaster samt termoplastbaserade kompositer. Storskalig, det vill säga stora komponenter, definieras som större än 0.25m³. Då projektets samarbetspartner använder en extruder monterad på en

industrirobot gjordes även avgränsningen att handboken främst ska fokusera på detta. Handboken kommer endast att skrivas och distribueras på engelska samt i digital form.

1.6 Etik- och hållbarhetsaspekter

Om handboken skulle leda till en ökad användning av FDM inom industrin skulle detta kunna medföra vissa följder. Då FDM är en additiv tillverkningsmetod möjliggörs en hög utnyttjningsgrad av material (Redwood, 2020a). I bästa fall förbrukas endast det material som slutprodukten består av, även om detta i praktiken sällan blir utfallet. Vid användning av stödstrukturer, efterbearbetning eller om en utskrift blir felaktig sänks utnyttjandegraden av material (Song & Telenko, 2016). Vid dessa fall kan dock återvinning vara möjlig beroende på material. Detta kräver då en ytterligare process (Redwood, 2020a). Vissa produkter tillverkade med FDM slipas för att få släta ytor vilket ytterligare minskar graden materialutnyttjande.

FDM i sig kräver mer energi än konventionella tillverkningsmetoder. I jämförelse med fräsning har det visats att FDM kräver sex gånger mer energi vid produktion av samma antal enheter (Balogun, Kirkwood & Mativenga, 2014). Energiförbrukningen kan dock minskas om fler produkter skrivs ut vid samma tillfälle. En stor anledning till detta är att den mest energikrävande delen av processen är uppstarten, det vill säga för att värma upp byggplattan och extrudern (Simon, Lee, Spurgeon, Boor & Zhao, 2018).

En ökning av AM förväntas generera en ökning av upphovsrättsöverträdelser. Att kopiera och förfälska produkter via tillgång av digitala filer kommer bli enklare och möjligheten att särskilja kopia från original kan bli omöjligt (The Welding Institute, u.å.).

En möjlig positiv konsekvens av en ökad användning av FDM är att företag får bredare möjligheter för intern produktion av till exempel prototyper och verktyg. Detta kan minska ledtider samt transportbehov då mer kan produceras på samma ställe vilket ger en minskad mängd CO₂-utsläpp. (Redwood, 2020a).

2 Teori

Följande kapitel utgör rapportens teoretiska ramverk och inkluderar bakgrundsfakta om AM och FDM följt av teori om pedagogisk utformning av text, informativ design och usability. De ämnen som behandlas i detta kapitel har utgjort grunden för arbetet med att ta fram och utforma handboken och har även stöttat de beslut som tagits under projektets gång. Delar av resultat från intervjuer och datainsamling som genererats under projektets gång presenteras även här för att generera en bättre förståelse.

2.1 Additiv tillverkning

Additiv tillverkning (AM), även kallat 3D-printing är en tillverkningsmetod som introducerades på marknaden på 80-talet (Redwood et al., 2017). Metoden går ut på att skapa ett tredimensionellt objekt från en CAD-modell genom att selektivt addera material lager för lager. På detta sätt skiljer sig AM från mer traditionella, subtraktiva och formativa tillverkningsmetoder såsom fräsning, svarvning och formsprutning. Additiv tillverkning (AM) möjliggör skapande av en komplex design utan behovet av speciella verktyg och formar som vid mer traditionella metoder. (Redwood et al., 2017).

Vid god kunskap och en design anpassad för AM kan tiden för framtagning av enstaka produkter från digital modell till fysisk produkt vara relativt kort och processen kan göras kostnadseffektivt. Små förändringar i design kan enkelt implementeras och ske mellan varje utskrift (Redwood et al., 2017). Detta gör generellt tekniken lämplig för tillverkning av prototyper där behovet av att testa, ändra och göra om är stort (Thompson et al., 2019).

Korta ledtider och möjligheten till ändringar i designen utan nya verktyg gör det till en användbar metod för snabb prototyp-tillverkning (The Welding Institute, 2020). Inom detta område, som utgör en viktig del i dagens produktutvecklingsprocesser, är AM den vanligaste tillverkningsmetoden (The Welding Institute, 2020).

Inom biomedicin används tekniken bland annat för att utveckla personanpassade proteser och implantat. Idag produceras till exempel höft- och knäimplantat med AM. Korta ledtider, individanpassning och komplexa designer är exempel på krav som den typen av produkter ställer och som AM kan uppfylla (Redwood, 2020b).

Flyg- och rymdindustrin, där metoden har utnyttjats de senaste 30 åren, utnyttjar den lätta vikten i förhållande till höga styrkan. (Artley, 2020a). AM är även vanligt förekommande inom områden som bilindustrin och vid tillverkning av gjutverktyg och fixturer (Artley, 2020b) (Redwood et al., 2017). Metodens många fördelar och flexibilitet gör att nya användningsområden ständigt utforskas och fler och fler företag får upp ögonen för dess möjligheter (Attaran, 2017).

2.2 Fused Deposition Modeling

Idag är FDM den vanligast förekommande AM-tekniken. Juli 2018 stod FDM för 69 % av den globala tillverkningen inom AM (Statista, 2018).

FDM-tekniken kommer i ett brett utbud från mindre desktop-modeller för några tusen kronor till industrimodeller som kostar upp till flera miljoner kronor. Det breda utbudet av termoplaster och 3D-skrivare för FDM gör tekniken lämplig för många olika ändamål. Allt ifrån snabba prototyper till funktionella slutprodukter (Redwood et al., 2017).

2.2.1 Funktion och process

En FDM 3D-skrivare adderar termoplast lager på lager för att tillverka detaljen. 3D-skrivaren består av två principiella huvudkomponenter. En extruder som smälter och deponerar termoplast samt ett system som möjliggör relativ rörelse mellan extruder och byggplatta i x-, y- och z-led (Redwood et al., 2017).

Processen börjar med att extrudern värms upp över smälttemperaturen för termoplasten. Material förses till extrudern som sedan deponeras genom ett munstycke ut på byggplattan. Extrudern rör sig i en programmerad bana i det horisontella planet för att skapa det första lagret. Extrudern förflyttas sedan en lagerhöjd uppåt och påbörjar det andra lagret som smälter samman med det tidigare. Processen fortsätter på samma sätt tills utskriften är färdig (Redwood et al., 2017).

Extruderns uppbyggnad skiljer sig något mellan stor och liten skala. Vid småskalig FDM används material i form av filament på spole. Då förses extrudern med material genom roterande hjul som pressas mot filamentet. Enligt E. Johansson används material i form av granulat för storskalig FDM. Då används en extruderingskruv för att förse material till extrudern. Värmeblock värmer upp termoplasten över smälttemperaturen och materialet matas

ut genom ett munstycke (personlig kommunikation, 31 januari 2020). För storskalig FDM kan dimensionerna för munstycket vanligtvis variera mellan 2 - 12 mm. Detta resulterar i en produktivitet mellan 6 - 30 kg/h, enligt T. Burman (personlig kommunikation, 21 april 2020).

Rörelsen mellan extruder och byggplatta för FDM i större skala kan uppnås genom ett traverssystem eller industrirobot. Traverssystem är standard för 3D-skrivare av mindre skala. Enligt E. Johansson blir det allt vanligare att använda industrirobot för storskalig FDM (personlig kommunikation, 31 januari 2020).

Förloppet i en FDM-process följer generellt sett ett antal olika steg. Inledningsvis skapas någon typ av CAD-modell (Varotsis, 2018). CAD-modellen exporteras därefter till lämpligt format. Det vanligast använda filformatet kallas StereoLithography (STL) och bygger upp modellens geometri med hjälp av trianglar. Vidare överförs filen till slicermjukvara som delar upp komponenten i de olika lagren som 3D-skrivaren sedan kommer skriva ut komponenten i. Det är även i detta steg vissa utskriftsparametrar kan specificeras såsom lagertjocklek, orientering på komponenten och stödstruktur. Slutligen översätter slicermjukvaran filen till numerisk kod, ofta g-code. Denna kod instruerar 3D-skrivaren hur den ska skriva ut komponenten, lager för lager (Giang, 2020) (Redwood et al., 2017).

Några av de stora fördelarna med FDM jämfört med traditionella tillverkningsmetoder är enligt E. Johansson och L. Tönnäng (personlig kommunikation, 21 februari 2020).

- Komplexa, organiska geometrier.
- Materialbesparing genom hålrum.
- Topologioptimering.
- Reducera antal delar.
- Specialanpassade och unika detaljer.

Komplexa, organiska geometrier är en av de stora styrkorna med storskalig FDM. Tekniken lämpar sig bättre för dessa former än mer raka geometrier med skarpa vinklar. Detta är något som bör utnyttjas när man designar för storskalig FDM och ta hänsyn till vid beslut. Om man inte kan utnyttja en styrka som denna är chansen stor att det finns någon annan tillverkningsmetod som är mer kostnadseffektiv. Generellt för FDM ges även goda möjligheter för hålrum i detaljen, kallat infill. Detta gör tekniken lämplig för viktreducering då den ger en designfrihet att tillverka detaljen i allt ifrån ett skal till en solid del. Detta reducerar även materialåtgång och tillverknings tid (Redwood et al., 2017).

I och med de goda möjligheterna för komplexa geometrier är tekniken lämplig för topologioptimering enligt L. Tönnäng (personlig kommunikation, 21 februari 2020). Topologioptimering är en teknik som innebär att man med hjälp av ett datorprogram optimerar CAD-modellens form och massa utifrån givna laster, utan för stor negativ påverkan på utskriftens hållfasthet. (Linköpings Universitet, u.å.).

En annan styrka med FDM är möjligheten till att reducera antalet separata delar i en produkt. Detta är främst på grund av den goda möjligheten för att tillverka ihåliga och komplexa former. Det leder till att komplexa komponenter som tidigare bestått av flera delar nu kan tillverkas i ett stycke genom FDM (Liu, 2016).

Tekniken lämpar sig även bra för specialanpassade och unika detaljer. Med FDM finns möjligheten att för varje utskrift justera design och utskriftsparametrar. Detta gör ofta tekniken lämplig för prototyper och produktion av mycket låg volym (Redwood et al., 2017).

2.2.2 Material

Det finns ett antal olika termoplaster som används för FDM, alla med varierande egenskaper. Generellt kan man konstatera att desto högre krav på materialegenskaper, desto högre temperatur vid utskrift krävs. Högre temperatur ställer i sin tur högre krav på 3D-skrivaren för att uppnå bra resultat. Vid ökade temperaturer blir även risken för problem som krympning och förvridning större (Redwood et al., 2017).

Vanligt använda termoplaster vid FDM är följande.

- PLA
- ABS
- Nylon
- PP

PLA är det vanligaste materialet som används vid småskalig FDM. Detta då det är förhållandevis enkelt att uppnå goda slutresultat. Det kan även framställas med hjälp av förnybara råvaror som majsstärkelse eller sockerrör. PLA förekommer även vid storskalig FDM men lämpar sig då bäst till prototyper på grund av de sämre hållfastegenskaper. ABS har goda mekaniska egenskaper, såsom hög styrka. För att uppnå bäst slutresultat vid utskrift krävs en kontrollerad miljö runt 70°C för att uppnå god vidhäftning mellan lagerna. Detta kan orsaka problem vid stor skala på grund av svårigheter att skapa en kontrollerad miljö. Nylon har goda

mekaniska egenskaper såsom god seghet och bra motstånd mot kemikalier. PP är en mjuk och flexibel polymer med goda utmattningsegenskaper men lägre styrka (Simplify3D, 2020).

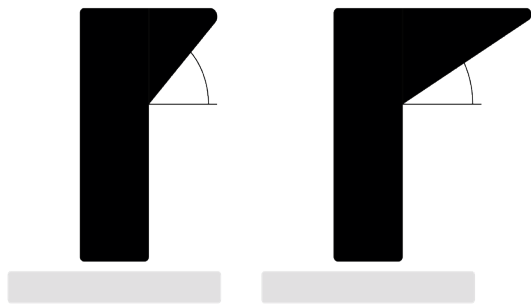
För att förbättra materialegenskaper och framför allt minska problem relaterat till krympning används ofta ett kompositmaterial bestående av en termoplast tillsammans med fibrer. Användandet av fibrer är ett viktigt verktyg vid storskalig FDM, detta enligt L. Tönnäng (personlig kommunikation, 21 februari 2020). Fibrer som vanligtvis används är kol-, glas- och träfibrer. Utöver att förhindra krympning kan fiber även uppfylla andra syften. Träfiber är till exempel bra som ett miljövänligt utfyllnadsmaterial och kolfiber kan ge bättre egenskaper relaterat till hållfasthet. Vilken fiber som används beror på vilken egenskap som söks. (Zindani & Kumar, 2019).

2.2.3 Vanliga problem och designriktlinjer vid småskalig FDM

Vid FDM finns ett antal problem som kan uppkomma vid design och tillverkning. Detta har lett till att det finns ett antal designregler för mindre komponenter. Här presenteras ett urval av vanliga problem och designregler.

- Överhäng
- Stödstrukturer
- Överbrygging
- Krympning
- Förvridning
- Anisotropi
- Dålig vidhäftningsförmåga

Överhäng innebär att man har vinklar i utskriften som gör att lagret som skrivs ut inte har fullt stöd från underliggande lager, *se figur 1*. Problem uppkommer då stödet underifrån inte är tillräckligt och oönskad deformation uppstår. För mindre utskrifter är en generellt satt maxgräns 45°. Stödstrukturer används då det inte finns något underliggande stöd för det utskrivna lagret som t.ex. vid för mycket överhäng. Då används stödmaterial som tas bort vid efterbearbetning. Överbrygging innebär brygging mellan två detaljer det vill säga att man skriver ut utan något stöd underifrån, *se figur 2* (Cain, 2020a) (Redwood et al., 2017).



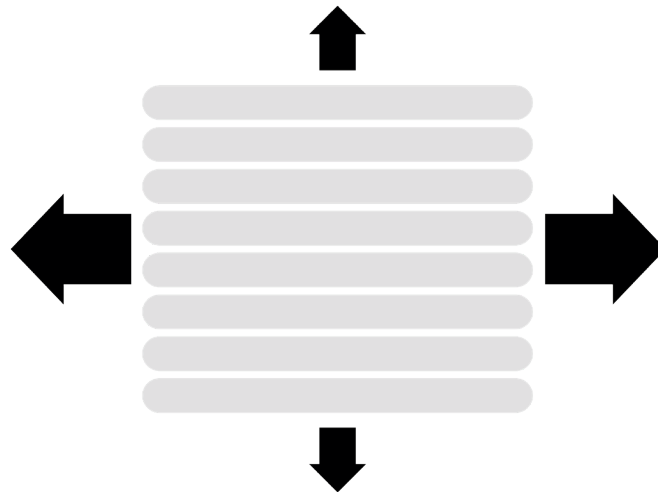
Figur 1. Två överhäng med olika vinklar.



Figur 2. Överbrygning mellan två detaljer i form av stående block.

Krympning syftar till att dimensionerna av utskriften kommer att minska under nedkylning. Detta kan leda till toleransproblem och är mycket materialberoende (Armillotta, Bellotti & Cavallaro, 2018). Förvridning innebär att utskriften krymper ojämnt och oförutsägbart. Detta leder till att utskriften har en tendens att vrida sig och deformeras. För att undvika detta vill man bland annat designa med jämn godstjocklek och komplexa former. (Schmutzler, Zimmermann & Zaeh, 2016) (Redwood et al., 2017).

Uppbyggnaden i lager ger upphov till hållfasthetsmässig svaghet mellan varje lager (Redwood et al., 2017). Detta fenomen av att fysikaliska egenskaper varierar i olika riktningar kallas anisotropi, *se figur 3* (Nationalencyklopedin, u.å.). Genom att designa eller orientera produkten med hänsyn till detta kan den anisotropiska effekten i stor mån undvikas. En viss svaghet kommer alltid finnas i någon riktning (Redwood et al., 2017). En aspekt relaterad till utskriftens anisotropiska beteende är vidhäftningsförmågan mellan lager. Vidhäftningsförmågan bygger på att utskrivet material trycks mot och smälter ihop med föregående lager. Problem kan uppstå vid för låg vidhäftning eller på grund av spänningskoncentrationerna mellan lager (Redwood et al., 2017). Utskriftens karaktäristiska lagerstruktur ger även upphov till en räfflad ytstruktur (Cain, 2020b).



Figur 3. En utskriven dels anisotropiska beteende, det vill säga att delen klarar olika belastningar i olika riktningar.

2.3 Pedagogik och design

För att förstå hur en handbok ska utformas användes en rad olika teorier kring pedagogik, design och textutformning. Följande kapitel presenterar fakta kring dessa ämnen och inkluderar mer specifikt teori om pedagogiskt utformande av text, informativ design och presentation av visuell information.

2.3.1 Att skriva pedagogisk, informativ och lärande text

Det finns många metoder, beskrivningar och teorier kring att kommunicera information och skriva text på ett pedagogiskt och effektivt sätt. För att på ett pedagogiskt sätt kunna formulera beskrivande, informativ och hjälpande text i exempelvis handböcker eller manualer är det viktigt att ha vissa saker i åtanke.

En initial och central del är att veta vem som kommer att läsa texten, med andra ord vilken målgruppen är. Beroende på vem läsaren är kommer nivån på språket, mängden bakgrundsinformation och detaljnivån i texten att variera. Exempelvis riktas en vetenskaplig text mot utbildade läsare, ofta inom specifika fält och ämnen skrivs på ett seriöst, informativt och professionellt sätt (Walden University, 2020). En handbok eller manual syftar till att utbilda och instruera inom ett särskilt ämne. Till skillnad från en akademisk text är målgruppen bredare och dess akademiska bakgrund kan variera. Det är viktigt att tänka på hur mycket

tidigare kunskap läsaren besitter kring ämnet för att säkerställa att tillräcklig information redogörs.

Förståelse är en grundläggande byggsten i en lyckad informativ och lärande text. Ska texten nå många olika typer av läsare med varierande akademisk bakgrund kan det vara bra att skriva med en mer lättillgänglig och lättförståelig underton (Persson & Johansson, 2014). Några faktorer som bidrar till att en text blir mer lättläst är meningslängd, typsnitt, textstorlek och radlängd. Vidare bidrar även diagram, färgsättning, bilder, lexikon och grafiska element till en mer lättläst text (Person & Johansson, 2014).

Att skriva en handbok handlar till stor del om att ta ett ofta komplext ämne och göra det förståeligt och lättillgängligt för en relevant målgrupp. Ett sätt att göra komplicerad text mer tillgänglig och lättförståelig för en större målgrupp är att skriva i klarspråk (Institutionen för språk och folkminnen [Isof], 2019). Myndigheten Institutet för språk och folkminnen redogör för hur text kan skrivas i klarspråk. De lyfter bland annat fram tio faktorer som bör beaktas för att åstadkomma en tydlig och lättförståelig text:

- Välj en lagom personlig ton.
- Välj relevant innehåll.
- Disponera texten på ett logiskt sätt.
- Förklara allt som behöver förklaras.
- Stryk sådant som inte behövs.
- Skriv informativa rubriker.
- Undvik långa och invecklade meningar.
- Använd begripliga ord och förklara nödvändiga facktermer.
- Sammanfatta det viktigaste.
- Välj en genomtänkt grafisk formgivning.

Robert Barnett belyser i boken *Practical Playscript* (Barnett, 2008) hur man på ett effektivt sätt kommunicerar information och instruktioner till en, i många fall, bred och varierad målgrupp. Barnett (2008) lyfter fram svårigheter med människans komplexitet och hur olika läsare kan tolka samma text på många olika sätt. Författaren måste lita på att läsaren förstår och tolkar texten på ett korrekt sätt och minimera risken för missförstånd. Vikten av att praktiskt kontrollera och testa förståelsen av texten med läsare påpekas även i Barnetts text (2008). I texten presenteras en rad faktorer gällande skrivsätt för hur en manual kan skrivas för att på ett

enklare sätt nå fram till läsaren. Några faktorer som även kan gälla för andra typer av beskrivande och lärande texter är följande:

- **Struktur:** För att underlätta för läsaren och ge en bra överblick är det viktigt med en klar struktur innefattandes en tydlig början och ett tydligt slut med en logisk tidsföljd.
- **Undvik förvirring och ambiguitet:** Försök att undvika missförstånd och ha i åtanke att ord och meningar kan betyda olika saker för olika läsare. Det är viktigt att anpassa språket för läsaren och lägga det på en lagom komplicerad nivå. Ska texten skrivas för en teknisk målgrupp bör språket vara tekniskt. Dock bör man vara försiktig med att beblanda för mycket jargong och särskilt branschspecifika uttryck då texten troligtvis även kommer läsas av personer utanför branschen. Svårare begrepp kan användas men bör förklaras på ett lättillgängligt och tydligt sätt exempelvis med hjälp av en inledande begreppslista.
- **Kategorisering:** Kategorisering är viktigt för att skapa en tydlig struktur. Detta kan göras med exempelvis kapitel, underrubriker och listor som följer en naturlig ordning.

I personlig kommunikation med Nina Nordh, redaktör för universitet och högskola på Gleerups (personlig kommunikation, 6 april, 2020) beskrev Nordh några *Pedagogiska tips för handbokskrivande* som sammanställdes i några punkter som är väsentliga att tänka på vid utformande och skrivande av en handbok:

- **Börja med det viktigaste:** Essensen av en handbok är att förenkla, förtydliga och skapa en översikt. För att bibehålla fokus på användaren och inte tappa läsarens intresse är det bra att presentera viktig information först. Använd introduktioner och avsnitt och kapitel i boken med relevant information.
- **Hitta en röd tråd:** Fokusera på att bibehålla en röd tråd och skapa en logisk och tydlig uppdelning med kapitel, rubriker och underrubriker. En handbok kan exempelvis innehålla följande delar:
 - Detaljerad innehållsförteckning
 - Sammanfattning av bokens innehåll
 - Inledning som summerar det viktigaste inför läsningen av handboken
 - Handbokens kapitel
 - Referenser
 - Teknisk ordlista

- Bilagor med illustrationer, tabeller, checklistor etc.
- Sakordsregister
- **Ingresser:** För att skapa en bra överblick och fånga läsarens intresse kan ingresser användas. Ingressen kan exempelvis sammanfatta det viktigaste i ett kapitel och skrivas med fetstil.
- **Skriv enkelt och varierat:** Undvik långa och krångliga meningar och skriv på ett rakt och enkelt sätt. Variation av text och meningar kan vara bra för att skapa intresse och dynamik. Variera meningslängd och längd på stycken och använd olika rubriker, listor och faktarutor.
- **Förklara facktermer:** Stötta läsaren genom att förklara svårare ord och fackliga termer. Det kan exempelvis vara fördelaktigt att inkludera en ordlista i början eller slutet av boken.
- **Pedagogiska element:** För att underlätta för läsaren kan olika pedagogiska element användas såsom mellanrubriker, punktlister, checklistor, faktarutor, sammanfattningar, textstil och förklarande figurer.

2.3.2 Effektiv informationsdesign

För att på ett pedagogiskt och tydligt sätt kunna designa och utforma informativa gränssnitt krävs det arbete och eftertanke. Informationsdesign kan definieras på många olika sätt. Kathryn Coates och Andy Ellison skriver i sin bok *Introduction to Informative design* (2014) hur det kan beskrivas. Somliga beskriver det som visualisering av data medan andra ser det mer som kommunikation av meddelanden. Vare sig det är en varningsskylt, en säljande annons eller en instruktionsbok innefattar dessa olika betydelser, meningar och tolkningar av information. En definition av informationsdesign som lyfts fram i boken är följande:

” It is the organization and display of information, messaging or storytelling in an ordered hierarchy. A journey of information. To present content in a clear and unique and engaging way by engaging and targeting the human senses through the use of graphic devices such as type, colour, imagery, time, light, textures and materials etc. to either warn, teach, explain, entertain or direct.”

Citat Vince Frost taget ur Coates & Ellison (2014, s.12)

Författaren Ronnie Lipton beskriver i sin bok *The Practical guide to Information Design* (2007) på följande vis:

” Information design is the study and practice of bringing clarity and comprehension to visual materials that are meant to direct, teach, explain, or otherwise inform. It's both a discipline and a lifelong learning opportunity.”

Citat Ronnie Lipton (2007, s. 25)

Lipton skriver även om effekten av en lyckad informationsdesign. Han menar att det hjälper människor att navigera och förstå komplext innehåll i form av fakta, siffror, direktiv och krav. Det hjälper även människor med problemlösning och att uppfylla behov (Lipton, 2007). Lipton nämner även att det är effektivt för att minska eller eliminera frustration hos användaren och belyser starkt behovet av att förstå målgruppen och utforma text och design efter det (Lipton, 2007).

Omkring 80 procent av människans sinnesintryck tas in via synen (Bohgard et al., 2011). Synsinnet arbetar ständigt och aktivt med att försöka hitta mönster och strukturer. Det är mycket som påverkar hur vi upplever och tolkar vår omgivning genom det vi ser.

När det kommer till design och utformning av visuell information är det viktigt att presentera det på lämpligt sätt. Särskilt viktiga faktorer som är bör beaktas vid design av visuella medel är exempelvis färgval, kontrast, mörkerseende och intensitet (Bohgard et al., 2011). Särskilt viktigt är det att ha i åtanke vid design av digitala gränssnitt. Något som även är viktigt att tänka på vid utformande av visuella gränssnitt är att människans syn efter 40-års ålder försvagas och att närmare 7–8 procent av männen och 0,5–1 procent av kvinnorna i Sverige är färgblinda för rött/grönt (Bohgard et al., 2011).

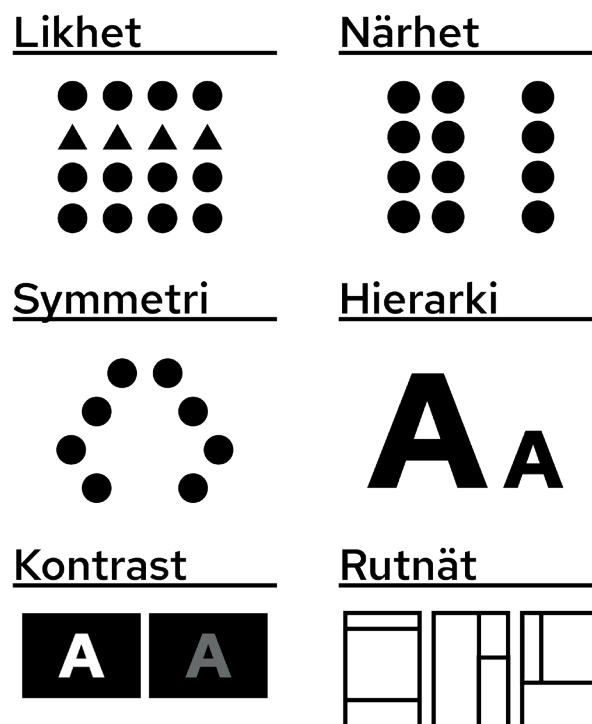
2.3.3 Design och presentation av visuell information

För att skapa förståelse och korrekt uppfattning av design finns det olika riktlinjer som kan agera stöttepelare i olika typer av designarbeten.

2.3.3.1 Gestaltlagarna

Gestaltlagarna kartlägger några principer kring människans perception och hur dessa kan appliceras på design (Bohgard et al., 2011). Nedan presenteras några av dessa principer:

- **Likhetsprincipen:** Element som hör ihop bör utformas lika. Människan tenderar att gruppera och koppla ihop saker som liknar varandra till en enhet, *se figur 4*. Dessutom antas även liknande saker ha liknande funktion. Därför bör saker som ska höra ihop och fungera på samma sätt också utformas på samma sätt. Skapa likhet mellan element kan exempelvis göras med färg, form, storlek eller text (Bohgard et al., 2011).
- **Närhetsprincipen:** Denna princip syftar till att saker som ligger nära varandra upplevs hänga ihop till skillnad från saker som är placerade långt ifrån varandra, *se figur 4*. Detta kan exempelvis skapas genom att gruppera element på olika sätt eller genom att använda färgkodning. Genom att göra avgränsningar, som exempelvis en ram, går det även att skapa närhet och indikera att saker inom dessa ramar hänger ihop (Bohgard et al., 2011).
- **Symmetri:** Människor tilltalas generellt sett av symmetri och när saker är i balans *se figur 4*. Därför kan det vara fördelaktigt att utnyttja symmetriska uppdelningar i design (Bohgard et al., 2011).



Figur 4. Visualisering av diverse riktlinjer för presentation av visuell information.

2.3.3.2 Kontrast och färg

Vid design av visuell information finns det riktlinjer för hur färg och kontraster bör användas. Kontrast handlar inte bara om hur färger skiljer sig och fungerar sinsemellan utan gäller även typsnitt, storlekar och ljusskillnader, *se figur 4* (Coates & Ellison, 2014). Kombinationer såsom rött och blått eller rött och grönt är färgkombinationer som borde undvikas då dessa kontraster är svåra att särskilja. Den klassiska kombinationen svart text på vit bakgrund är däremot optimal att använda vad gäller färg och kontrast (Bohgard et al., 2011). Generellt sätt är ljus text och bild på ljus bakgrund svårt att urskilja och bör användas med en mörkare bakgrund (Coates & Ellison, 2014).

Att använda färg kan vara både effektivt och stimulerande men bör behandlas med eftertanke. Generellt sett har människan svårt att behandla fler än fyra färger i ett och samma gränssnitt (Bohgard et al., 2011). Ibland kan fler färger användas om det sker konsekvent men bör i allmänhet inte överskrida sju (Bohgard et al., 2011). Färg är i många fall subjektivt men kan även ha inlärd betydelse och påverkas av exempelvis kulturella skillnader eller företagskulturer. I Sverige och övriga västvärlden brukar exempelvis grönt symbolisera okej, kör, fortsätt, på medan rött symboliserar stopp, fara, varmt. Likaså kan blått symbolisera lugnt och kallt medan gult symboliserar varning, sakta, testning (Bohgard et al., 2011). Blått kan även kopplas ihop med teknik, kunskap och neutralitet (Morton, 1997).

2.3.3.3 Symboler och bilder

Symboler och bilder är även faktorer som bör utformas med eftertanke. Vissa symboler kan ha olika betydelser i olika länder eller på olika företag. Höger- och vänsterinriktade pilar är symboler som generellt sätt betyder riktningar åt respektive håll. På samma sätt tolkas generellt uppåt och nedåt som ökning respektive minskning (Coates & Ellison, 2014).

2.3.3.4 Visuell hierarki och organisering av information

Att organisera information bör göras på ett genomtänkt och strukturerat sätt. En viktig faktor som kan vara bra att tänka på vid utformning och strukturering av information är visuell hierarki (Coates & Ellison, 2014). Visuell hierarki syftar till att det som sticker ut mest från mängden är det som drar mest uppmärksamhet och även det som människan upplever är av störst betydelse, *se figur 4*. Vid design bör man arrangera element efter denna princip för att få användaren att följa information i rätt ordning och värdera information på rätt sätt (Coates & Ellison, 2014).

Visuell hierarki kan skapas med bland annat färg, storlek och ordningsföljd. Vid färgkodning är det viktigt att använda samma styrka på färgen om de har samma betydelse (Coates & Ellison, 2014). Har de olika stor betydelse kan man exempelvis använda blekare färger till det som är mindre viktigt och starkare färger till det som är mer viktigt. Visuell hierarki med text kan bland annat skapas genom att använda olika typsnitt, stilar och tjocklekar på texten. Exempelvis kan tjockare text uppfattas som viktigare än normal. Ett hjälpmedel som kan vara användbart och underlätta vid organisering av text är att använda sig av ett rutnät. Detta skapar en naturlig plats för olika typer av information och vägleder läsaren hur texten ska läsas. Ett rutnät kan på effektivt sätt skapa luft och utrymme vilket är viktigt för att undvika ett rörigt intryck (Coates & Ellison, 2014).

2.4 Usability

För att utvärdera huruvida en produkt når målet med användningen eller inte kan exempelvis testas utifrån produktens *usability*. Usability kan ses som en beskrivning på hur enkel en produkt är att använda och handlar mycket om användarvänlighet (Jordan, 1998). Mer formellt definieras usability enligt ISO-standard på följande vis:

”.. the extent to which a product can be used with effectiveness, efficiency and satisfaction by specific users to achieve specific goals in a specific environment”

(Citerat enligt ISO DIS 9241–11)

De beskrivande begreppen *effectiveness*, *efficiency* och *satisfaction* definieras av Jordan (1998) som följande:

- *Effectiveness* - Ändamålsenlighet, det vill säga, i vilken utsträckning mål eller uppgifter kan uppnås med noggrannhet och fullständighet.
- *Efficiency* - Med effektivitet menas den ansträngning som krävs för att uppnå ett mål, resursåtgång i förhållande till noggrannhet och fullständighet.
- *Satisfaction* - Tillfredsställelsen som användaren upplever vid användning, hur acceptabel produkten är ur användarens synvinkel och frånvaron av obehag.

En produkts usability, alltså dess effectiveness, efficiency och satisfaction, kan testas genom att utföra användartester. Detta kan göras genom att bedöma användartester utifrån Jordans

(1998) fem usabilitykomponenter. En av dessa, vilka varit av relevans för projektets designarbete, definieras nedan av Jordan (1998):

Guessability - The effectiveness, efficiency and satisfaction with which specified users can complete specific tasks with a particular product for the first time.

Enligt Lars-Ola Bligårds (2011) ACD3 - Utvecklingsprocessen ur ett människa-maskinperspektiv kan guessability definieras enligt:

Gissningsbarhet (Guessability): förmågan hos maskinen att få användaren att utföra en uppgift korrekt vid första försöket.

3 Metodteori

Metodteorin beskriver teorin bakom de metoder som använts under projektets gång. Metoderna beskriver olika planeringsverktyg och produktutvecklingsverktyg som för att skapa struktur och referenspunkter för utformningen av handboken. Vidare beskrivs intervjuteknik och metoder som använts för konceptframtagning samt metoder kring utvärdering och visualisering av handboken.

3.1 Planeringsverktyg

Då projektet haft en bestämd tidsram har olika planeringsverktyg varit nödvändiga för att strukturera upp arbetet och nå målen. Två av de viktigaste metoderna som användes var GANTT-schema och *backlog*.

Ett GANTT-schema är ett grafiskt verktyg som används vid planering av projekt för att generera en visuell bild av dess arbetsflöde. GANTT-schemat redovisar bland annat vilka uppgifter som behöver göras, hur lång tid de kommer ta och när de ska startas (Tonnquist, 2019).

En backlog är en dynamisk lista över de uppgifter som ska utföras i ett projekt. I listan prioriteras uppgifter efter en ordning som ofta ändras under projektets gång (Tonnquist, 2019).

3.2 Produktutvecklingsverktyg

Följande avsnitt beskriver metoderna funktionslista och persona som använts för att stötta och definiera målet med handboken och projektet.

3.2.1 Funktionslista

En funktionslista är ett verktyg för att formulera och definiera en produkts önskade funktioner. Dessa sorteras sedan genom att klassas som antingen huvudfunktioner, delfunktioner eller stödfunktioner baserat på deras relation till människa-maskinsystemets systemmål (Bligård, 2011). Ett ytterligare sätt att beskriva funktionerna är som nödvändiga eller önskvärda, varpå generellt huvudfunktion och delfunktioner anses nödvändiga och stödfunktioner önskvärda.

3.2.2 Persona

En persona är en fiktiv person som skapas för att på så sätt personifiera produktens målgrupp och göra den mer relaterbar. Vid utvecklingen av en produkt kan det vara lämpligt att utgå från sin persona för att enklare bestämma vad som är ett lämpligt beslut i processen (Wikberg-Nilsson, Ericson, och Törlind, 2015). För att göra det enklare att använda sig av en persona och tänka utifrån målgruppens perspektiv ska det vara en karaktär som är relevant, representativ och realistisk.

3.3 Intervjuteknik

Intervjuer är en flexibel, empirisk datainsamlingsmetod som går ut på att muntliga frågor ställs till den person som intervjuas. De tre intervjumetoder som använts under detta projekt är strukturerad, semistrukturerad och djupintervjuer.

En strukturerad intervju innebär att förberedda, specifika frågor ställs utefter en intervjumall. Inga spontana följdfrågor ställs och svaren är av mätbar, kvantitativ karaktär. Ibland kan svarsalternativ ges likt vid en enkät (Näpärä, 2019) (Bligård, 2011).

En semistrukturerad intervju kan innehålla både specifika samt öppna frågor och diskussionsområden. Den intervjuade uppmuntras att diskutera kring ämnen som dyker upp, men den som håller i intervjun kan styra samtalet åt önskad riktning. Spontana följdfrågor kan ställas under intervjun (Bligård, 2011) (Näpärä, 2019).

Djupintervjuer kan användas för att få en djupare inblick i oftast komplexa eller svårtillgängliga ämnen. Denna typ av intervju görs ofta med experter och genererar kvalitativa data. Upplägget är flexibelt och kan vara antingen strukturerad eller mer semistrukturerad (Novus, 2019).

3.4 Konceptframtagning

För konceptframtagning av handboken har olika idégenereringsmetoder och analysmetoder använts. I följande sektion beskrivs de metoder som använts för att generera och analysera fram idéer för olika konceptförslag av handboken.

3.4.1 KJ

KJ-analys är en metod för att få en översikt av samt organisera stora mängder kvalitativa data och på detta sätt hitta lämpliga teman att dela upp data i. Inga bestämda områden finns när man börjar analysen, istället är det själva processen som efterhand visar på vilka tematiska grupperingar som är lämpliga. Faktapunkter skrivs på lappar som sedan placeras ut en i taget. Om en lapp är relaterad till en som redan är utplacerad, placeras den nya vid den. På detta sätt skapas grupper med olika teman, som kan alterneras under processens gång när nya teman uppdagas (Wikberg-Nilsson, Ericson & Törlind, 2015).

3.4.2 Brainstorming

En vanlig metod för idégenerering är brainstorming. En grundtanke för metoden är att tanken ska få löpa fritt, inga idéer eller tankar får kritiseras (Wikberg-Nilsson, Ericson & Törlind, 2015). Alla idéer anses värdefulla och bör respekteras då de kan leda till bra idéer. Man säger alltså allt man tänker på och ingen får säga att tanken är irrelevant eller orealistisk utan allt antecknas och ska på detta sätt väcka ännu fler tankar och idéer hos resten av gruppen.

3.4.3 Brainwriting

Brainwriting går ut på att varje medlem i gruppen för sig själva skissar upp en eller flera idéer under några minuter för att sedan dela den med gruppen (Wikberg-Nilsson, Ericson & Törlind, 2015). På detta sätt låter man individen tänka för sig själv och utveckla sina egna tankar utan andras påverkan. Dessa idéer presenteras sedan för gruppen och blir utgångspunkter att bygga vidare på gemensamt.

3.4.4 Braindrawing

Braindrawing kan liknas vid en visuell variant av brainstorming. Samtliga deltagare ska snabbt skissa fram förslag och idéer som efter en förbestämd tidsperiod sitt resultat vidare ett steg. Under denna runda ska deltagarna utgå ifrån de idéer som skissats upp och utveckla därifrån. När skisserna gått ett helt varv består varje delkoncept av en kombination av alla idéer (Wikberg-Nilsson, Ericson & Törlind, 2015). Precis som vid brainstorming är kvantitet prioriterat före kvalitet och resultatet är tänkt som ett underlag för vidare idégenerering och konceptutveckling.

3.5 Utvärdering

För att säkerställa att utvecklingsarbetet går i rätt riktning är det fördelaktigt att utvärdera resultat och delresultat på olika sätt. Följande stycke beskriver de utvärderingsmetoder som tillämpats för att säkerställa kvaliteten av handboken.

3.5.1 Formativ utvärdering

En utvärdering som är formativ görs under processens gång för att identifiera svagheter och utifrån responsen kunna förbättra produkten som utvecklas. De områden som utvärderas brukar delas in i användbarhet, nytta, användarvänlighet och funktion. Kontinuerlig utvärdering genererar en iterativ process. (Bligård, 2011)

Ett *användartest* är en metod för formativ utvärdering utformat för att utvärdera en produkt eller tjänsts *usability* och därmed få ett underlag för hur den kan utvecklas och göras bättre. Testpersonerna ska representera framtida användare av den verkliga produkten och får utföra särskilda uppgifter (Bligård, 2011).

En annan metod för formativ utvärdering är att genomföra en *granskning*. Detta innebär att dokument och designförslag presenteras för tänkta intressenter i projektet som får ge feedback. Syftet med en granskning är dels att få intressenternas åsikter, men även att sälja in produkten hos dem. Metoden kan bland annat genomföras i form av en intervju eller enkät. (Bligård, 2011)

3.5.2 Summativ utvärdering

En summativ utvärdering görs för att undersöka hur väl resultatet uppfyller ställda krav och mål. Denna typ av utvärdering kan ske både under utvecklingsprocessen, för att undersöka de olika fasernas resultat, samt i slutet för att utvärdera hur bra den slutliga produkten kan anses vara (Bligård, 2011).

En verifiering är en typ av summativ utvärdering där produkten ställs mot den kravspecifikation som ställts för att se hur väl produkten uppfyller dessa. Verifiering kan genomföras under hela utvecklingsprocessen. (Bligård, 2011)

3.6 Visualisering

De visualiseringsverktyg som användes för att skapa en design för handboken var främst Adobe-programmen InDesign och Illustrator.

InDesign är en programvara från Adobe som tillåter användaren att designa produkter som enligt tradition trycks, till exempel fysiska posters eller en digital tidning. I programmet jobbar man med ark varpå man kan addera exempelvis text och illustrationer för att bearbeta och ta fram en önskvärd layout (Adobe, 2020).

En annan programvara från Adobe är Illustrator. Detta program används för att skapa digitala illustrationer och är vektorbaserat. Det kan användas för att jobba med bland annat logotyper, symboler och ikoner (Adobe, 2020).

4 Metod

Följande kapitel beskriver hur genomförandet av projektet utförts och vilka steg som inkluderats för att ta fram handboken. Kapitlet presenterar tillvägagångssätt och syfte med de steg och metoder som använts under projektets gång. Inledningsvis beskrivs genomförandet av planerings- och produktutvecklingsverktygen och datainsamling. Konceptframtagning av handboken delades upp i innehåll, text och design och presenteras nedan enligt denna uppdelning. Avslutningsvis beskrivs tillvägagångssättet för de olika utvärderingar som gjordes av respektive del.

4.1 Planerings- och produktutvecklingsverktyg

Nedan beskrivs genomförandet av de metoder som definierade projektets planering och produktutvecklingsprocess. Dessa metoder var en förutsättning för att det övriga arbetet skulle fungera.

4.1.1 Planering

Ett GANTT-schema utformades i början av projektet för att strukturera upp arbetet och få en översikt av projektet. Då exakt tillvägagångssätt ännu var okänt byggdes det upp baklänges och utgick därmed från kända deadlines. Allteftersom förutsättningar och planer förändrades under processens gång justerades och anpassade schemat successivt.

Med syfte att organisera och prioritera arbetsuppgifter fördes under projektet en backlog. Denna agerade även underlag för planering då den gav en översikt av projektet och den kommande tiden. Arbetsuppgifter organiserades efter vilket område de hörde till, till exempel design, planering eller företagskontakter. Deras status rankades som nytt, påbörjat, pausat eller färdigt för att underlätta prioritering av uppgifter.

4.1.2 Funktionslista och kärnfrågor

Med syfte att få en överblick av hur målgruppens behov såg ut, samt utifrån detta definiera handbokens funktioner, gjordes en funktionslista. Den beskrev funktioner som direkt svarade på behov som formulerats utifrån den problembild som identifierats under intervjuerna med

RISE. Funktionerna kategoriseras i två delar; vad som är nödvändigt för boken att erbjuda och vad boken önskvärt bör erbjuda. Med hjälp av funktionslistan kunde gruppen konkret arbeta mot att målgruppens behov skulle besvaras i den slutgiltiga versionen av handboken. Dessutom utformades ett antal kärnfrågor för att på ännu ett sätt tydliggöra vad handboken ska uppfylla för behov. Även dessa baserades på behovsidentifieringen som tidigare gjordes.

4.1.3 Persona

För att konkretisera och generera en djupare förståelse för målgruppen skapades två fiktiva personer som på olika sätt speglade handbokens verkliga potentiella användare. Dessa skapades i samband med att målgruppen smalnades av, vilket tas upp senare i rapporten, och agerade som gemensamt underlag och stöd vid utformandet av både text och innehåll under projektets gång. De två personorna beskrevs utifrån bland annat teknisk bakgrund, utbildningsnivå, yrkesroll samt intresse för AM.

4.2 Datainsamling

För att skapa en förståelse för ämnet och erhålla fakta till handboken inleddes arbetet med en datainsamling i form av en litteraturstudie samt två intervjuer med RISE. Förloppet av detta beskrivs i följande avsnitt.

4.2.1 Litteraturstudier

För att skapa en grundläggande förståelse för AM och komma fram till handbokens innehåll och upplägg inleddes projektet med en litteraturstudie. Grundläggande fakta om AM och FDM och hur text och design utformas pedagogiskt var några ämnen som undersöktes. Litteraturstudien genomfördes inte bara i början av arbetet utan kontinuerligt under projektets gång.

Flera sökmotorer och databaser utnyttjades för att hitta relevant litteratur. Främst användes Google Scholar. Sökord som användes var bland annat *Large Scale Additive Manufacturing*, *Large Scale FDM*, *Industrial Robot Additive Manufacturing* och *Large Scale AM Thermoplastics*.

Inför arbetet med utvecklingen av handbokens design fokuserades en del av den kontinuerliga litteraturstudien på just detta. Upplägg och utformning av text, pedagogik, designprinciper och

färglära var fokus för datainsamlingen. Sökord som användes för detta område var främst *Pedagogiskt skrivande, Skrivregler och Informative design*.

4.2.2 Intervjuer med RISE

Två semistrukturerade intervjuer gjordes med projektets kontaktpersoner på RISE avdelning för additiv tillverkning, Emil Johansson och Lenny Tönnäng. Den första intervjun deltog endast Johansson. Målet för den inledande intervjun var behov- och problemidentifiering. Intervjun ägde rum i RISE:s tillverkningslokaler där muntliga svar varierades med enkla demonstrationer av lokalens utrustning. I kombination med spontana följdfrågor användes även en intervjumall, *se bilaga 1*.

En andra semistrukturerad intervju genomfördes med Johansson och Tönnäng. Likt tidigare intervju kombinerades spontana följdfrågor med en intervjumall, *se bilaga 2*. Målet för denna intervju var att identifiera problem som uppkommit vid samarbeten med deras industripartners. Dessa partners är ofta i uppstarten av en AM-process och har i många fall en bristfällig kunskap inom området. Potentiella lösningar till dessa problem diskuterades samt processen som helhet. Ett försök att få tillgång till konkreta designriktlinjer gjordes för att få en tydligare bild av vilken data som i dagsläget fanns att tillgå.

4.3 Konceptframtagning

Datainsamlingen följdes av konceptframtagning i form av olika idégenereringsmetoder. För att strukturera arbetet delades utformandet av handboken in i tre olika delar; innehåll, text och design. Följande kapitel beskriver hur idégenerering och konceptframtagning för respektive delar genomfördes.

4.3.1 Handbokens innehåll

Utifrån den första intervjun med RISE samt fakta från litteraturstudier gjordes en modifierad version av brainstorming för att ta fram ett underlag som fungerade som utgångspunkt för konceptgenereringen. Förslag på innehåll adderades av samtliga gruppmedlemmar och sammanställdes sedan som olika tänkbara ämnesområden för handboken. Både övergripande och en del mer specifika ämnen för mindre delavsnitt togs fram.

Figur 5. Översiktsbild av genomförd KJ-analys.

Resultatet av KJ-analysen och tidigare brainstorming användes som underlag för framtagning av konceptförslag till handbokens innehållsförteckning och upplägg. Dessa genererades med hjälp av brainwriting där respektive gruppmedlem separat skrev ned förslag på hur upplägget för handboken kunde vara utformat. Samtliga förslag redovisades sedan i grupp och diskuterades gemensamt för att kombineras till ett antal koncept.

För att reducera omfattningen av handboken och på så sätt säkerställa ett mer relevant resultat smalnades målgruppen av från beslutstagare, konstruktörer och maskinoperatörer på företag

till endast konstruktörer. Denna målgrupp ansågs viktigast när det kommer till designarbetet på företagen vilken även uttrycktes under intervjuerna med RISE.

Olika delar från de framtagna koncepten som brainwritingen genererade kombinerades till ett mindre antal koncept utformade för den nya målgruppen. De delar som beslutades för att inkluderas ansågs vara i linje med funktionslistan, kärnfrågorna, den nya målgruppen och personan.

Efter vidare analys valdes ett koncept som skulle gås vidare med. Detta gjordes genom att ställa de två olika koncepten mot varandra och utvärderades inom projektgruppen genom att verifiera huruvida de uppfyllde funktionslistan, kärnfrågorna samt överensstämde med målgruppen och personan. Besluten grundades även i teori om pedagogiskt upplägg för skrivande av handbok.

Det valda konceptet agerade som en bas för den vidare utvecklingen av handbokens innehållsförteckning som även användes vid utvärdering av ett första utkast av innehållet. Vidare utveckling gjordes genom att det valda konceptet byggdes på genom att fler underrubriker adderades i respektive kapitel.

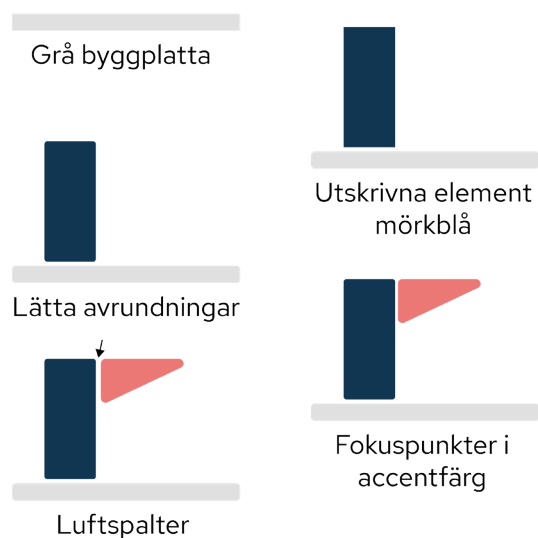
4.3.2 Handbokens text

Utformandet och skrivandet av texten i handboken påbörjades kort efter att ett slutgiltigt konceptförslag var framtaget. För att möjliggöra en bredare användning och nå fler valdes handboken att skrivas på engelska. Skrivandet grundade sig i teori som återfinns i kapitel 2.3 i rapportens teoretiska ramverk. Exempelvis lades ett fokus på att hålla målgruppen i åtanke och använda en lagom personlig ton. För att hålla ett fokus på målgruppen under skrivandeprocessen användes även de personas som skapats. Vidare användes teorin om att skriva klarspråk genom att exempelvis undvika långa och krångliga meningar, förklara det som behöver förklaras och skriva informativa rubriker. Även *“Pedagogiska tips för handbokskrivande”*, som återfinns i avsnitt 2.3, inspirerade skrivandet och utformandet av texten genom att skriva enkelt och varierat och använda pedagogiska element såsom listor och faktarutor. Utformandet av handbokens text har skett successivt och aktivt under hela projektets gång. Texten har varit ett levande dokument som har scannats och omarbetats konstant parallellt med arbete med design och innehåll.

4.3.3 Handbokens design

För konceptframtagning och idégenerering kring handbokens visuella utformning användes en modifierad version av mindmapping. En initial fas startades genom att respektive deltagare skissade upp flera idéer som sedan delades med resten av gruppen som tillsammans diskuterade de olika idéerna. Nästa fas fortsatte sedan med vidare skiss utifrån det gemensamma resultatet från tidigare fas. Dessa faser upprepades tills ett mättat resultat nåddes. Metoden utfördes digitalt och skisser delades direkt online. Utformandet av designen utfördes med teori kring bland annat gestaltlagar, informativ design och teori om färg och kontrast i åtanke. Denna idégenerering genomfördes flera gånger och designen itererades därmed i flera omgångar.

För att öka förståelsen i handboken togs även olika grafiska element fram för de textdelar som behövde stöttas upp av till exempel illustrationer eller faktarutor. Innan arbetet med att ta fram illustrationer påbörjades skapades en intern designmall med hjälp av mindmapping. Denna designmall bestod av ett antal regler och riktlinjer för färgkombinationer, former samt storlekar och hade som syfte att ge illustrationerna ett enhetligt uttryck, *se figur 6*. Förslag på olika grafiska element och var de kunde passa in lades till kontinuerligt i ett gemensamt dokument och utvecklades allt eftersom texten utformades. För att kunna arbeta med dessa element skapades ett dokument där beskrivningar från handbokens text som behövde stöttas upp av grafiska element skrevs ner. När en illustratör hade valt ett ämne att göra illustration kring var det relativt fritt vilken process som användes, utöver att de färdiga illustrationerna skulle skapas i Adobe Illustrator och följa den grafiska profilen. Det fanns ett tätt samspel mellan de som illustrerade med idéutbyten inför nya illustrationer och feedback på redan skapade illustrationer. Valet om vilka illustrationer som sedan skulle inkluderas i handboken gjordes gemensamt i gruppen och skedde successivt allteftersom innehåll och text utformades.



Figur 6. Designmall för skapande av illustrationer.

4.4 Formativ utvärdering

För ett arbete mot ett säkerställt och relevant resultat utfördes formativa utvärderingar på de tre delarna av handboken. Följande kapitel beskriver hur de olika utvärderingarna samt iterationer och omarbetning gick till för respektive del. Initialt introduceras utvärderingen av innehåll och text samt de företag som var med i utvärderingen. Vidare beskrivs utvärderingen av designen.

4.4.1 Utvärdering av innehåll och text

För att säkerställa att handbokens innehåll och dess distribuering var relevant för målgruppen genomfördes en intervjubaserad granskning som utvärdering med projektets kontaktpersoner på RISE samt företagen BLB Industries och The Wood Region. Dessa företag valdes då de genomgått processen som handboken skulle agera medel för och då de tillhör den tänkta målgruppen.

The Wood Region är ett 3 årigt projekt finansierat av EU, Region Värmland och Torsby kommun. De har skapat en testbädd för storskalig 3D-utskrift med industrirobot där företag får utforska denna nya teknik. Detta projekt har varit i samarbete med RISE, och bygger till stor del på teknik framtagen av RISE. Vår kontaktperson Malin Fleen jobbar som designer på The Wood Region och arbetar både med kunder och 3D-skrivaren. Fleens kollega Alexsander Nordvall arbetar som industridesigner på The Wood Region.

BLB Industries är ett företag baserat i Värnamo som tillverkar 3D-skrivare för stora komponenter. BLB industries är en av få aktörer på den europeiska marknaden som erbjuder 3D-skrivare som utnyttjar en traversbaserad teknik för större skala. Företaget startade 2015 och har vuxit till att bli ett internationellt välkänt företag inom storskalig FDM. Denna i princip egna teknik ger ett annat perspektiv av processen för storskalig FDM jämfört med andra kontakter vi haft i industrin. De hade god erfarenhet av majoriteten av den process för storskalig FDM vi behandlar i handboken och deras synpunkter ses som är relevanta för projektet. Vår kontaktperson Tomas Burman är delägare och säljare.

Utvärderingarna var utformade som en semistrukturerad intervju och stöttades upp med en intervjumall, *se bilaga 3*. Samtliga intervjuer genomfördes via videosamtalsprogrammet Zoom. Intervjufrågorna var i stort samma för samtliga intervjuer, bortsett från några kompletteringar som gjordes när företagens specialområden önskade utforskas. Intervjun inleddes med att presentera upplägg och innehållsförteckning för aktuellt utkast av handboken och kompletterades sedan med diskussion.

Då handboken skrevs på engelska utvärderades även språket och texten i handboken med hjälp av Anthony Norman, universitetsadjunkt vid Fackspråk och Kommunikation. Även detta gjordes utifrån ett frågeformulär men som därtill kompletterades med fria kommentarer.

4.4.1.1 Iteration och omarbetning av innehåll och text

De svar som erhöles från respektive intervju sammanfattades i punktlistor för att skapa en bättre översikt och analyserades sedan. En sammanfattande lista av resultatet från samtliga företaget togs fram och denna blev utgångspunkt för omarbetningen som innebar en omstrukturering av innehållet, samt komplettering och borttagning av text.

4.4.2 Utvärdering och test av design

I syfte att utvärdera vilket koncept som fortsatt arbete skulle fokusera på, samt undersöka vissa aspekter av deras usability genomfördes en formativ utvärdering av de två koncepten som den tredje brainstormingen resulterade i. Totalt åtta testpersoner valdes utefter en grundläggande kunskap inom ingenjörskunskap och en viss erfarenhet av design. Kunskap om AM var inte ett kriterium då handbokens innehåll inte var en del av denna utvärdering.

Utvärderingen var utformad som en granskning av designkoncepten med vissa influenser av ett användartest. Detta byggde på strukturerade intervjufrågor, *se bilaga 4*. De två

designkoncepten presenterades stegvis med tillhörande frågor som testade deras *guessability* genom att utvärdera testpersonernas förståelse av olika element. Under utvärderingen utförde testpersonerna inga uppgifter, men de tillfrågades att förklara vad olika element hade för funktion. Intervjun fokuserade även mycket på frågor kring estetik och lätläslighet och frågorna som ställdes genererade både kvalitativ och kvantitativ data. För att få ett pålitligt resultat fick hälften av testpersonerna se det ena konceptet först och den andra hälften fick se koncepten i omvänd ordning. Detta för att presentationsordningen inte skulle ha någon betydelse för intrycket och för att konceptens *guessability* skulle kunna diskuteras. Några av de bilder och beskrivningar som användes till utvärderingen kan ses i, *bilaga 5*. Utvärderingen av designen genomfördes genom videosamtal via Zoom.

4.4.2.1 Iteration och omarbetning av design

Resultatet från utvärderingen av designen sammanställdes i en tabell och organiserades, så att de testpersoner som börjat med ena konceptet kunde särskiljas från de testpersoner som började med det andra. Då den erhållna datan var en kombination av kvalitativ och kvantitativ data gick gruppen igenom en fråga i taget och analyserade och sammanfattade svaren.

Resultatet från utvärderingen omformulerades till en sammanfattning av hur slutkonceptet borde utformas utifrån utvärderingen. Med denna som utgångspunkt kombinerades de två koncepten till ett slutgiltigt koncept. Några ytterligare korrigeringar gjordes även utifrån designriktlinjer och diskussion inom gruppen.

4.5 Summativ utvärdering av den slutgiltiga handboken

Efter formativa utvärderingar och omarbetning av de tre respektive delarna av handboken sammanställdes alla delar till en slutgiltig handbok i InDesign. För att utvärdera den slutgiltiga produkten genomfördes en summativ utvärdering av innehåll, text och design som en helhet. Den färdiga handboken skickades i PDF-format till intresserade företagskontakter på RISE, BLB Industries och Wood Region. Utvärderingen med Emil Johansson och Lenny Tönnäng på RISE genomfördes via videosamtal där handbokens alla delar diskuterades del för del. Kommentarer på arbetet från Tomas Burman från BLB industries samt Malin Fleen och Alexander Nordvall från Wood Region togs emot digitalt i textformat över mail. Formuläret som användes kan ses i *bilaga 6*.

Resultatet från den summativa utvärderingen sammanställdes till en slutgiltig bedömning. Mindre saker som var enkla att korrigera ändrades men i det stora hela blev detta den slutgiltiga bedömningen av handboken.

5 Resultat

Följande kapitel presenterar resultatet av den datainsamling och behovsidentifiering som utfördes för att ta fram handbokens innehåll, text och design. Kapitlet inkluderar även resultat av produktutvecklingsverktygen och utvärderingarna. Resultatet av konceptframtagningen presenteras initialt utifrån handbokens olika delar; innehåll, text och design för att sedan avslutas med en slutgiltig presentation av handboken som en helhet.

5.1 Datainsamling

I följande avsnitt beskrivs de behov och den relevanta faktan som uppkom från litteraturstudier och intervjuer med RISE. Litteraturstudien pågick parallellt med den period då de två intervjuerna genomfördes vilket ledde till att resultatet av respektive metod stöttade riktningen för den andra.

5.1.1 Litteraturstudie

En initial litteraturstudie gjordes för att inleda projektet och undersöka AM och FDM. Ett viktigt resultat av detta var en avgränsning för projektet till att enbart behandla polymera material, då detta visades vara det material som främst används vid storskalig FDM. Litteraturstudien gav en grundläggande förståelse för AM och FDM vilket bland annat inkluderade hur tekniken fungerar, vilka vanliga problem och designriktlinjer som finns för FDM i mindre skala, positiva och negativa aspekter kring tekniken samt dess möjligheter och begränsningar. Utöver detta introduceras även mer specifika fakta såsom olika tekniker för att förflytta extrudern, anisotropi samt materialegenskaper. Viss del av den information som uppdagades kring FDM i mindre skala fungerade som underlag för påföljande datainsamling. Exempel på detta var vanliga problem såsom förvridning, överbryggning, överhäng och krympning. Ytterligare litteraturstudier genomfördes under hela projektet för att stötta processen och utvecklingen av handboken. Dessa byggde på den data som framkom under senare intervjuer och genererade en djupare förståelse.

5.1.2 Intervjuer med RISE

Ett stort problem som identifierades under det första mötet med RISE var de långa ledtider som skapades då intressenter kom till RISE för att starta en process med storskalig FDM. En aspekt som lyftes fram som en anledning till detta var en kunskapsbrist gällande tekniken hos konstruktörer och beslutsfattare i industrin. Denna kunskapsbrist var inte bara relaterad till teknikens processförlopp i stort utan även när tekniken kunde ses som lämplig att tillämpa samt utformning av designen för att minimera problem vid tillverkning.

Den inledande fasen av att börja använda storskalig FDM identifierades som tidskrävande och därav inte lika kostnadseffektivt som när kunskapsnivån hos konstruktörer höjts senare i användningen av storskalig FDM. En introduktion till den typ av 3D-skrivare RISE använde gavs också vid tillfället.

Den andra mer omfattande intervjun genomfördes med Emil Johansson och Lenny Tönnäng på RISE. Inledningsvis undersöktes de utmaningar och problem som företag och intressenter har när de kontakta RISE. Detta relaterades till den kunskapsbrist i industrin som identifierats vid det första intervjutillfället med Johansson. Vid detta tillfälle framkom också att det finns en övertro på vad som var möjligt att åstadkomma hos intressenter som kontakter RISE. Resultatet av denna kunskapsbrist resulterade ofta en utdragen iterativ process för att anpassa designen för storskalig FDM, där stöd från RISE krävdes i flera led. Missuppfattningen kring vad storskalig FDM lämpar sig för var även det ett resultat av identifierad kunskapsbrist.

Benämningen Large Scale Additive Manufacturing (LSAM) stämdes av mot Tönnäng och Johansson som ett fungerande sätt att referera till storskalig FDM som tillverkningsteknik i handboken.

Då problembilden förtydligats flyttades fokus till att förstå processen vid användandet av storskalig FDM. Detta gjordes genom att konkretisera processen på ett mer översiktligt och förståeligt sätt. Processen startar då intressenten ska avgöra om storskalig FDM är en lämplig tillverkningsteknik för tänkt applikation och avslutas efter utskrift av modell eller en eventuell efterbearbetning.

Data för designriktlinjer diskuterades då det identifierats som viktigt att erbjuda läsaren detta då handboken ska kunna fungera som ett designstöd och reducera upplärningstiden. Det framkom att det är svårt att ge exakta svar på vad för designelement som fungerar då det beror på fler aspekter än designen. Ett urval av dessa var typ av 3D-skrivare, materialval och

inställningar för utskriften. De designriktlinjer som lyftes fram som viktiga att belysa för storskalig FDM var överlag även de områden där riktlinjer existerar för 3D-utskrift av mindre modeller. Några av dessa var utmaningen att skriva ut för stora överhäng samt hur brett tomrum det är möjligt att överbrygga med en extruderad sträng. En aspekt som skilde sig från utskrift av mindre skala var synen på användandet av stödmaterial. RISE tryckte mycket på de negativa konsekvenserna av att använda omfattande stödmaterial vid utskrift, såsom en utmanande efterbearbetning samt en markant ökning i materialåtgång och därmed utskriftstid. Att minimera utskriftstiden lyftes som viktigt.

Krympning innebär, liksom vid allt arbete där termoplast stelnar, en utmaning enligt Johansson. Denna effekt förekommer vid 3D-utskrift i liten skala men blir betydligt mer påtaglig då mängden material ökar. Sättet storskalig FDM fungerar på leder till att mängden krympning blir svårare att förutsäga och sällan är homogen vilket kan resultera i förvridning av utskriven del. Vikten av materialval för utskriften relateras starkt till denna problematik, där användandet av att tillsätta fiber till termoplasten presenteras som den absolut mest effektiva och tillämpade åtgärden.

Ett försök att undersöka aspekter som påverkar hållfastheten gjordes. RISE har inte fokuserat på detta men några av de faktorer som ses som betydelsefulla för hållfastheten var materialval, vidhäftning lager emellan, lagerriktning samt utskriftstemperatur.

Då design och konstruktion belyses som de viktigaste aspekterna relaterade till lämpligheten i att använda storskalig FDM riktas mycket identifierad information mot konstruktörer som huvudmottagare. Johansson nämner att design och utskrift ofta har ett starkt samspel i iterationerna och att konstruktion och förberedelse för utskrift ofta sköts av samma person på RISE. Detta var en av grunderna till att målgruppen senare smalnades av till enbart konstruktörer.

Att erbjuda information på engelska framkom som önskvärt då storskalig FDM är globalt tillämpad och många begrepp som används översätts generellt inte.

5.2 Produktutvecklingsverktyg

Resultatet av produktutvecklingsverktygen beskriver de viktiga behov och funktioner som uppdragats i behovsidentifieringen sammanställt i en funktionslista. I följande avsnitt

presenteras även de kärnfrågor som utformades för handbokens ändamål samt de personas som väglett skrivandeprocessen.

5.2.1 Funktionslista och kärnfrågor

Intervjuer och litteraturstudier som genomfördes under den tidiga datainsamlingsprocessen genererade en förståelse av problembilden och behovet av handboken. För att konkretisera behoven som fanns och syftet med handbokens funktion skapades en funktionslista och några kärnfrågor. Kärnfrågorna som togs fram var följande:

- Passar storskalig FDM för produkten i fråga utifrån faktorer såsom design, funktion, kostnad och tidsåtgång?
- Hur ska design eller redesign anpassas för att framgångsrikt kunna tillverkas genom storskalig FDM?
- Hur tar man en CAD-fil till en utskriven del? Några av funktionslistans punkter som ansågs nödvändiga var att tillhandahålla beslutsunderlag, främst för konstruktörer, att besluta om huruvida storskalig FDM är aktuellt för dem, introducera och utbilda inom ämnet AM och presentera en realistisk bild av storskalig FDM. Önskvärda punkter var exempelvis erbjuda inspiration och tillhandahålla designriktlinjer, saker som är betydelsefulla men inte nödvändiga för att uppnå målet med handboken. För komplett funktionslista, *se tabell 1*. Bokstäverna N och Ö står för nödvändig respektive önskvärd.

Typ	Funktion	Beskrivning/Anmärkning/Ex på lösningar	
N	Tillhandahålla	Beslutsunderlag	Tillräcklig information för konstruktörer att stötta beslutstagare om storskalig FDM är lämpligt eller inte för aktuella situationen genom för- och nackdelar, tillämpningar, hållbarhetsaspekter
N	Erbjuda	Designstöd	För konstruktörer
N	Informera kring	Materialaspekter	Ex vanliga val, hur påverkar det, motverka problem, tillämpningar
N	Introducera och utbilda	Robotbaserad storskalig FDM	
N	Erbjuda	Kunskap	Inom området för storskalig FDM
N	Presentera	Realistisk bild	Av storskalig FDM, ekonomiskt, tid, formfrihet, tekniska och fysiska begränsningar
Ö	Erbjuda	Inspiration	Vid tillverkning och design av storskalig FDM

Ö	Introducera	Tillverkningsmetoder inom storskalig FDM	Diverse metoder för storskalig FDM, robot, travers etcetera
Ö	Erbjuda	Verklighetsanknytning	Ex genom exemplifiering
Ö	Erbjuda	Processöversikt	Från beslut till efterbearbetning
Ö	Erbjuda	Designriktlinjer	För konstruktörer för storskalig FDM
Ö	Erbjuda	Jämförelse	Små/stora komponenter
Ö	Belysa	Hållbarhetsaspekter	Främst material, jämförelser med andra tillverkningstekniker
Ö	Tillhandahålla	CAD-riktlinjer	För konstruktörer att lyckas med en korrekt CAD-modell inför utskrift med storskalig FDM
Ö	Tillhandahålla	Riktlinjer för efterarbetning av CAD-fil	Ex förberedelse av g-code genom, slicing från STL-fil
Ö	Belysa	Vanliga problem	Designproblem, tillverkningsproblem etcetera som kan uppstå vid storskalig FDM, både i designstadiet och tillverkningsstadiet
Ö	Presentera	Efterbearbetningsalternativ	Ex. för- och nackdelar, materialförlust, påverkan hållfasthet

Tabell 1. Tabellen visar framtagna funktionslista som verkar för att beskriva funktioner och behov handboken ämnar att uppfylla. Typerna N och Ö står för nödvändiga respektive önskvärda funktioner.

5.2.2 Persona

De två fiktiva karaktärerna, som agerade underlag för utformandet av texten till handboken, hade båda en teknisk bakgrund och ett intresse för AM. Utbildningsnivå, yrkesroll samt varför de och deras företag skulle vara intresserade av storskalig FDM var några saker som skilde dem åt. De två olika personor och deras skillnader gjorde att de tillsammans representerade och omfattande handbokens tänkta målgrupp. För en beskrivning av de två framtagna personor, se figur 7.

Ingrid ingenjör

Ingrid är civilingenjör inom maskinteknik och driver ett startup som ska tillverka mindre fritidsbåtar av glasfiberförstärkt plast. Ingrid växte upp på en skärgårdsö på västkusten och tycker att miljöfrågor är väldigt viktiga för att kommande generationer ska få uppleva samma fantastiska natur som henne. Företaget ska därför arbeta aktivt med sin miljöprofil och ska därför se över vilken tillverkningsprocess som passar bäst för dem. De har ingen tidigare erfarenhet av AM men är nyfikna och vill titta närmare på att använda AM för att tillverka båtarna och ska nu ta fram en helt ny båtmodell som test.



Karl konstruktör

Karl har gått yrkeshögskola för att bli CAD-konstruktör. Han har ett stort privat intresse av 3D-printing i mindre skala och vill förstå skillnaderna. Karl är nyutexaminerad och jobbar nu på ett stort företag. Karl har fått i uppgift att anpassa befintlig design på produkten för att de ska kunna börja använda additiv tillverkning i mindre skala, främst för prototyper.



Figur 7. De två personans framtagna som ett stöd i genomförd process.

5.3 Handbokens innehåll & upplägg

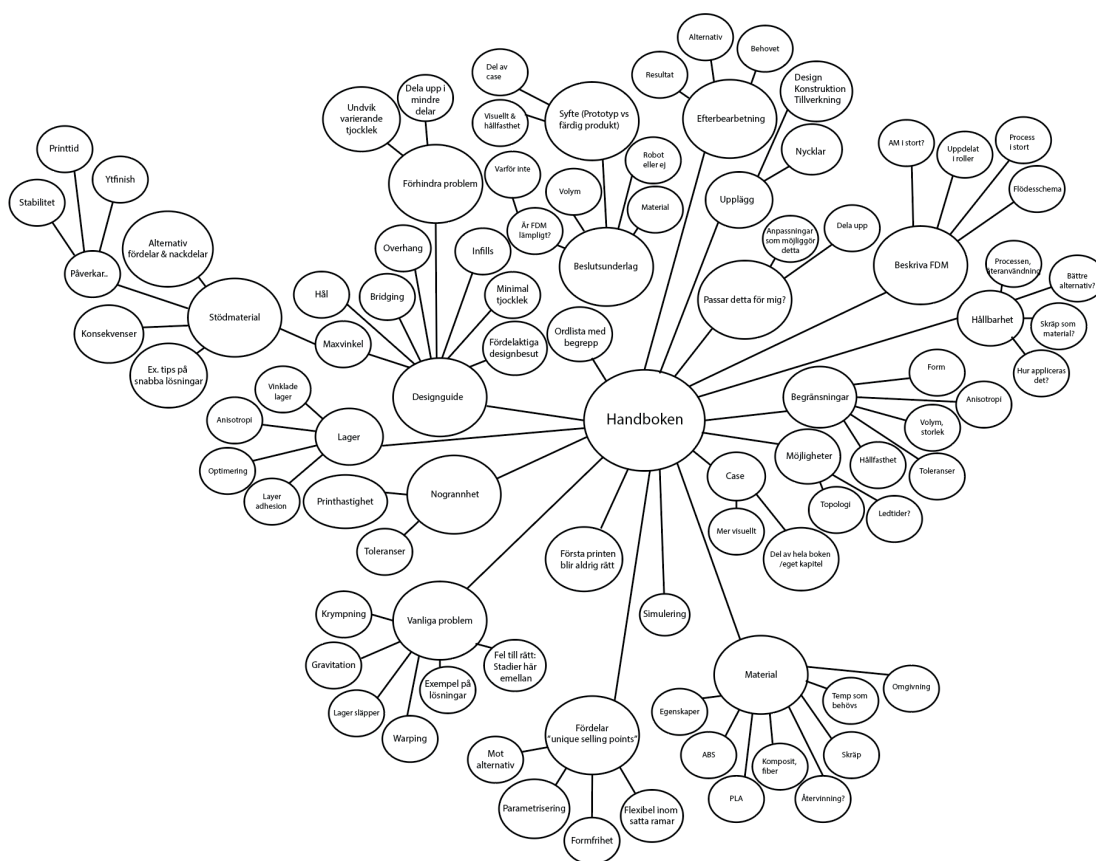
Följande avsnitt representerar resultatet kring handbokens innehåll och upplägg, det vill säga vilken fakta som var relevant att ta med i handboken och hur den skulle läggas upp. Kapitlet inkluderar framtagna ämnesområden, koncept och resultat av den formativ utvärderingen samt ett slutgiltigt innehåll och upplägg. Majoriteten av den data som visades relevant för handboken genererades av de intervjuer och litteraturstudier som genomfördes under den tidiga datainsamlingen.

5.3.1 Ämnesområden

Från de olika idégenereringsmetoderna brainstorming och KJ-analys framkom ett antal olika ämnesområden och mer ingående vilka punkter dessa områden borde belysa.

Redan tidigt i processen uppdagades saker som var fortsatt viktiga för handboken. Den brainstorming som gjordes med grund i litteraturstudier och den första intervjun med RISE resulterade i en formulering och tankekarta av några olika ämnesområden som uppfattades

viktiga för storskalig FDM. Dessa ämnen betonades både i litteratur som studerats men även i intervjun med RISE vilket var anledningen till att de lyftas fram i detta steg. Några av dessa ämnen var Vanliga problem som krympning och förvridning, Designriktlinjer som maxvinkel, överbryggning och överhäng och Beslutsunderlag. För fullständig redovisning av ämnesområdena som uppkom av genomförd brainstorming, *se figur 8* nedan.



Figur 8. Tankekarta, ett hjälpmedel i idégenereringsarbetet med innehållet i handboken.

KJ-analysen baserades på den andra intervjun med RISE. Precis som vid genomförd brainstorming resulterade KJ-analysen i ett antal ämnesområden av olika omfattning och storlek, men med mer fördjupning. Detta för att den andra intervjun gav mer fördjupade data än den första vilket även ledde till att resultatet från analysen genererade en mer korrekt och relevant bild.

De ämnesområden för handboken som identifierades presenteras nedan med exempel på vad delarna skulle inkludera:

- Tillverkningsmetoder: Robot, travers, en jämförelse av maskinalternativ

- Tillverkningsspecifikationer: Slicer, förvridning, vidhäftning mellan lager, krympning, stödmaterial, infills, munstycke, hållbarhet, utskriftshastighet, ytenergi
- Beslutsfattande: Vad kan AM passa för och inte, lönsamhet, ändamål, anpassningar för att produkten ska passa, komplexa, organiska former, låg volym
- Hållfasthet: Anisotropi, tillämpningar, vidhäftning mellan lager
- Material: Exempel på material, fibrer, hållbarhet, atmosfär, komposit, materialvärden
- Efterbearbetning: Släta ytor, lagerbortfall, toleranser, uppdelade komponenter
- CAD: Parametrisering, topologioptimering, fel typ av fil
- Design: Designriktlinjer, introdel för konstruktion, skriva ut lager snett, stödmaterial
- Översikt/info: Kort beskrivning av AM/LSAM, tillämpningar, snabbstartsguide
- Hållbarhet: Applicering, alternativ, material
- Case: Dummy case, företagscase
- Framtiden: Olinjära lager, mer avancerad slicer

5.3.2 Nio koncept

För att kunna ta fram konceptförslag för övergripande upplägg i handboken kombinerades resultatet av KJ-analysen med resultatet från brainstormingen. Den brainwriting som sedan genomfördes genererade nio olika koncept för hur dessa ämnesområden kunde distribueras. Alla nio koncept riktade sig till den rådande målgruppen bestående av beslutstagare, konstruktörer och maskinoperatörer. De nio konceptets upplägg representerade hur olika ämnen kunde agera kapitel respektive underkapitel, deras hierarki i förhållande till varandra, deras ordning samt hur viktiga och omfattande de ansågs vara, *se bilaga 7*. Två av dessa nio koncept redovisas nedan för att ge exempel på konceptets omfattning och skillnader. Just dessa två koncept visas då de skilde sig väldigt mycket åt, medan resterande sju koncept inte stack ut lika mycket och liknade de två som redovisas. De två som redovisas nedan kallas för koncept A och koncept B.

5.3.2.1 Koncept A

Koncept A bestod av en inledning samt tre stora kapitel riktade till tre separata målgrupper. Beslutskapitlet skulle rikta sig till beslutstagare på företagen, designkapitlet till konstruktörer och tillverkningskapitlet till maskinoperatörer. I de tre stora kapitlen skulle de ämnen som tänktes relevanta för respektive målgrupp läggas in som avsnitt. Konceptets fyra kapitel redovisas i *figur 9*.



Figur 9. De fyra kapitlen i koncept A.

5.3.2.2 Koncept B

Koncept B hade inte kapitel riktade till respektive målgrupp. Istället bestod konceptet av fler kapitel som riktades till hela målgruppen. Delar som i koncept A tillhörde ett av fyra större kapitel representerades här i egna kapitel. Innehåll gällande hållbarhet, material och efterbearbetning var således fristående. Här uppkom även idén att ha en processlinje i början eller slutet av handboken samt en ordlista. Detta var element som belysts som bra, pedagogiska hjälpmedel i teorin (avsnitt 2.3) konceptets kapitel redovisas i *figur 10*.



Figur 10. De åtta kapitlen i koncept B.

5.3.3 Två koncept

De nio koncept som genererats kombinerades och modifierades vidare, vilket agerade underlag för framtagningen av nya koncept. Mycket fokus lades på de tidigare koncepten A och B då dessa utmärkte sig. I detta steg ändrades målgruppen till att enbart riktas in mot konstruktörer (kan läsas mer om i metod, kapitel 4.3.1) vilket blev en viktig aspekt för framtagningen av de nya koncepten som resulterade i två nya koncept. Trots den avsmalnade målgruppen som uteslöt beslutstagare och maskinoperatörer ansågs fortfarande en beslutsdel relevant. Detta grundades i en uppfattning från företagen om att konstruktörer är högst involverade i de beslut som denna beslutsdel ska tänkas täcka. Koncepten verifierades gentemot funktionslistan, kärnfrågorna, den nya målgruppen och personan.

Att följa en tidslinje var något som nämnts i teorin (avsnitt 2.3) och detta lade grunden för att båda koncepten utgick från en slags tidslinje. Koncepten innefattar en överblickande struktur med huvudrubriker och underrubriker. Resultatet av dessa två nya koncept redovisas nedan.

5.3.3.1 Konstruktörens tidslinje

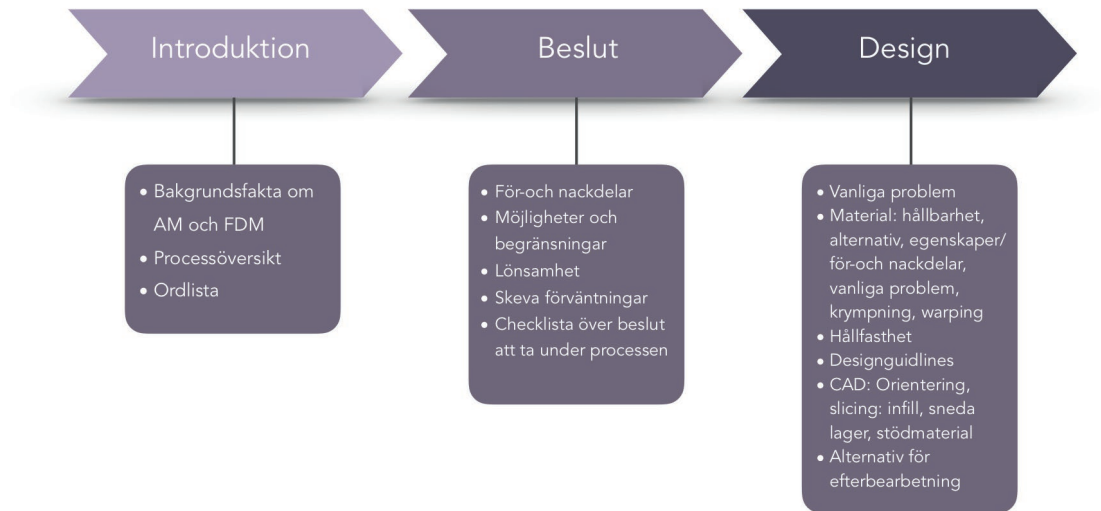
Detta koncept beskriver en konstruktörs tidslinje på företag från det att företaget finner intresse för storskalig FDM och eventuellt vill börja tillverka med tekniken till att en färdig produkt har skrivits ut.

Genom litteraturstudier och intervjuer med RISE framkom det att företag och dess konstruktörer sällan har gedigen kunskap kring storskalig FDM och dess lämplighet för diverse tillämpningar. Detta i kombination med en grund i teori om pedagogik kring handboksskrivande som återfinns i kapitel 2.3 genererades att konceptet borde innefatta en introduktionsdel med nödvändig bakgrundsfakta om AM och storskalig FDM.

Under intervjuerna uppdagades det även att företag och konstruktörer ofta har en missvisande bild av storskalig FDM med orealistiska förväntningar på bland annat slutprodukt, tidsåtgång och vad det kommer att kosta. Därav ansågs ett kapitel som belyste detta särskilt nödvändigt. Detta resulterade i ett beslutskapitel som innefattade för-och nackdelar med storskalig FDM, lönsamhet och annan information som ansågs nödvändig för att ta ett beslut om huruvida tekniken är passande eller inte.

I intervjuerna med RISE betonades betydelsen i att företagen redan från början skapar en design anpassad för storskalig FDM. Även detta var något som konstruktörerna, enligt intervjuerna med RISE, oftast inte hade kunskap kring vilket resulterade i ett designkapitel för att konstruktörer ska kunna anpassa sin design från början och ända fram till utskrift. Tanken med denna del var att inkludera bland annat allmänna designråd, konkreta designriktlinjer, vanliga problem som kan uppstå vid design för storskalig FDM och information kring materialval. Ämnen som hållbarhet, material, efterbearbetning och tillverkning integrerades här i designkapitlet. Detta gjordes för att de påverkar valet av design och detta ansågs viktigt att betona. Dessutom ansågs de flesta ämnen smälta in i varandra såsom exempelvis hållfasthet och tillverkning. Ämnen som miljö och hållbarhet ansågs också oftast tas upp i samband med material vilket betonades både i litteratur och intervjuer med RISE. Resultatet av detta blev ett stort och omfattande designkapitel. Nedan presenteras konceptet i form av en tidslinje med fler detaljer kring vad som framkom nödvändigt och önskvärt att ta med, *se figur 11*.

Konstruktörens tidslinje

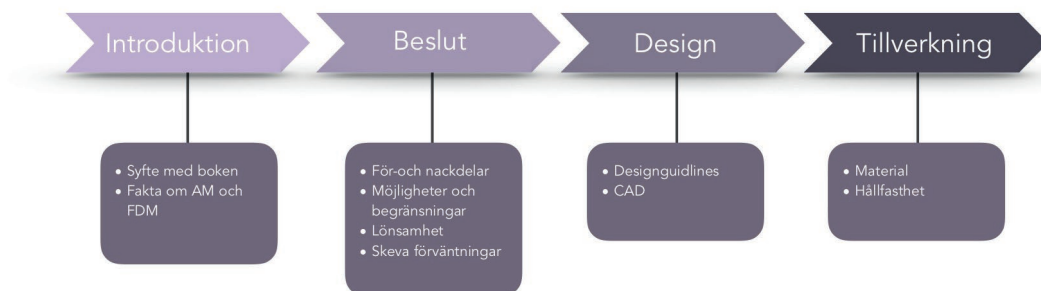


Figur 11. Illustration av de kapitel som ingick i konceptet Konstruktörens tidslinje.

5.3.3.2 Processens tidslinje

Följande koncept hade många likheter med det förra konceptet. Skillnaden var utgångspunkten i en AM-process där introduktion, beslut, design och tillverkning var de huvudsakliga delarna. Tillverkningsdelen skulle i detta koncept innefatta information kring materialval och hållfasthet istället för i designdelen som i det tidigare konceptet. Anledningen till att material och hållfasthet lades under tillverkning i detta koncept men att det lades under design i det förra var svårigheten att urskilja vad som tillhörde design och vad som tillhörde tillverkning. För en övergripande bild av konceptet, se figur 12.

Processens tidslinje



Figur 12. Illustration av de kapitel som ingick i konceptet Processens tidslinje.

5.3.4 Huvudkoncept: Konstruktörens tidslinje

Slutligen valdes det första koncept ett utifrån en konstruktörs tidslinje. Anledningen till att konstruktörens tidslinje valdes som huvudsakligt koncept var av flera anledningar. Konceptet ansågs spegla målgruppens process på ett passande sätt samt svarade bättre på projektets kärnfrågor och funktionslista. För att belysa att designen är en ytterst viktig faktor i arbetet mot en lyckad storskalig FDM-process ansågs det relevant att lyfta fram detta avsnitt och inkludera faktorer som material och hållfasthet. KJ-analysens resultat, det vill säga identifierade ämnesområden för handboken, i kombination med konceptet, "Konstruktörens tidslinje", med kapitlen introduktion, beslutsunderlag och design blev grunden för en idégenerering för hur samtliga avsnitt och kategorier skulle sorteras. För att konkretisera och binda resultatet till handboken sammanställdes ett första utkast av resultatet som en innehållsförteckning till handboken, *bilaga 8*. Sammanfattningsvis utgick det valda konceptet från konstruktörens tidslinje och innehöll en introduktionsdel, en beslutsdel och en designdel. Med syfte att skapa ett pedagogiskt upplägg med grund i teori från kapitel 2.3 inkluderades även en ordlista som skulle beskriva tekniska begrepp samt ett register längst fram. De övergripande kapitlen och en beskrivning presenteras nedan.

5.3.4.1 Introduktionskapitel

Introduktionsdelen, *se figur 13* inkluderades för att tillhandahålla läsaren med en baskunskap kring begrepp och ämnen relaterade till storskalig FDM. Den kunskap som presenteras ger läsaren en förståelse av ämnet som är anpassad till den nivå som handboken skrivs på. Detta kapitel inkluderade basfakta om storskalig FDM och tar upp grundläggande teknik,

Introduction and how to use this handbook Glossary

1. Introduction

- 1.1 What is additive manufacturing?
- 1.2 Additive Manufacturing
- 1.3 A brief history of AM and FDM
- 1.4 How does large scale FDM work
- 1.5 An overview of large scale FDM process

2. Decision

- 2.1 Is large scale FDM suitable for you?
- 2.2 Introduction to the chapter
- 2.3 When is FDM suitable?
- 2.4 Perception vs reality
- 2.5 Unique selling points
- 2.6 Additional advantages
- 2.7 The first one will never succeed

3. Design

- 3.1 Common design considerations
- 3.2 Common problems
- 3.3 Material
- 3.4 How to affect mechanical properties
- 3.5 Design guidelines
- 3.6 Post processing of CAD-model
- 3.7 Post processing of printed part

Figur 13. Innehållsförteckning från huvudkonceptet.

hur den fungerar och vad den används till. Detta kapitel syftade även till att ge läsaren en överblick över vad som kunde väntas i handboken och skapa ett intresse för fortsatt läsning.

5.3.4.2 Beslutskapitel

Då information kring bristande kunskap hos konstruktörer uppdagades och belystes som ett problem inkluderades ett kapitel som specifikt skulle agera beslutsunderlag för huruvida storskalig FDM är en passande teknik för det önskade ändamålet eller inte, *se figur 13*. Detta kapitel inkluderade för- och nackdelar med tekniken, mer specifikt när tekniken passar och inte passar samt vad som kan förväntas av tekniken vad gäller tid, kostnad och slutresultat. Kapitlets mål var att visa på vad som är särskilt bra med storskalig FDM men även att skapa en realistisk bild över vad som faktiskt är möjligt att tillverka med tekniken och inte. Ett mål med detta kapitel var att på ett balanserat sätt varva möjligheter och begränsningar vid storskalig FDM för att skapa en mer rättvisande bild än den som identifierats i industrin.

5.3.4.3 Designkapitel

Syftet med handboken är att skapa ett stöd för konstruktörer vid design av stora komponenter tillverkade med AM. Detta, i kombination med informationen som kom upp från intervjuerna angående konstruktörers svårigheter att designa lämpliga modeller och produkter som passar för AM, resulterade i ett fokuserat kapitel enbart tillägnat design, *se figur 13*.

Kapitlet syftar till att generera en förståelse för hur man designar och anpassar en produkt för storskalig FDM. Detta avser främst hur man utnyttjar storskalig FDM som teknik, men även hur man undviker de vanligaste problemen som uppstår.

Kapitlet ämnade att ta upp konkreta designriktlinjer, begränsningar samt information kring vanliga problem. Hållfasthet, material och efterbearbetning var ytterligare saker som inkluderades i detta kapitel då allt ansågs vara i direkt relation med designen av en produkt.

5.3.5 Formativ utvärdering

Utvärderingen med de tre företagen gav mycket input och komplettering kring innehållet och dess upplägg. Punktlister för processen, vanliga feluppfattningar i industrin, designriktlinjer och lämpliga applikationer av metoden diskuterades. Nedan presenteras ett sammanfattande urval av utvärderingens resultat från respektive företag.

5.3.5.1 BLB Industries

Utvärdering av innehåll med Tomas Burman på BLB Industrier. Burman belyste att kostnaden är den aspekt som väger tyngst. Detta påverkar flera faktorer som i sin tur påverkar den totala kostnaden då storskalig FDM används som tillverkningsteknik. Den viktigaste faktorn som lyftes fram är minimering av tid i 3D-skrivaren då en del skrivs ut. Detta görs genom att förenkla designen av den modell som skrivs ut, som möjliggör användandet av en större munstycksstorlek. Burman ansåg att detta bör prioriteras och att utförliga detaljer istället bör skapas vid efterbearbetning av utskriven del.

En annan punkt som enligt Burman bör lyftas fram ytterligare var att teknikens mervärde bör utnyttjas i så stor utsträckning som möjligt. Detta mervärde var enligt Burman dels de punkter som tas upp under avsnittet kring när storskalig FDM är en lämplig teknik men också relaterat till att inkludera detaljer om det kan göras utan att kräva alltför mycket efterbearbetning eller ökar munstycksstorleken väsentligt. Burman tryckte även på att det är viktigt att komma till sak tidigt i varje avsnitt och belysa vad som är dess huvudbudskap.

Innehållsförteckningens upplägg ansågs belysa alla viktiga delar i en bra ordning.

Beslutsdelen ansågs otroligt viktig av Burman som tog upp vikten av att applikationen är passande för storskalig FDM. Exempel lyftes fram som ett sätt de ofta skapar förståelse för tekniken mot kunder. Burman poängterade att det är viktigt att inte visa alltför orimliga applikationer av tekniken som exempel då intresserade då ofta drar slutsatsen att den tillämpningen är lämplig. Oavsett exemplets egentliga lämplighet.

Burman ser inte användandet av infill och stödstrukturer som problematiskt utan mer att det används när det behövs.

Enligt Burman har BLB Industries aldrig haft problem med utskrivna delars hållfasthet. De kan i teorin skriva ut i de flesta bulkplastbaserade material men använder ABS med någon typ av fiber inblandad som standard.

5.3.5.2 The Wood region

Vi höll utvärderingen med Fleen som är designer och jobbar nära både kunder och 3D-skrivaren The Wood Region använder. Fleen ansåg att designen för storskalig FDM var det absolut viktigaste för att få ett lyckat slutresultat. Hon utvecklade med att kunder tyvärr inte har denna kunskap för storskalig FDM vilket leder till att omfattande utbildning krävs i början

av kundkontakter. Hon upplevde att bästa sättet att utbilda kunder var genom konkreta exempel. Här nämndes även att kunder ofta har svårt att tänka utanför ramen med hur tekniken kan användas som till exempel att istället för att skriva ut en båt så kan man istället skriva ut formen för att därefter gjuta båten. Hon lyfte även att designriktlinjer som gäller för konventionella tillverkningsmetoder även gäller här och inte får glömmas bort. Angående designaspekter nämnde hon vikten av vase mode och att designa bort stödstrukturer. Vase mode innebär att man inte har några start och stopp under skrivtiden, utan ett kontinuerligt materialflöde. Detta kan ge upphov till synliga defekter. Även stödstrukturer nämndes kunna påverka ytan. Enligt Fleen kräver de omfattande efterbearbetning och bör undvikas i största möjliga utsträckning. Materialmässigt använde de nästan bara ett material, PLA-baserad träfiberkomposit. Detta eftersom The Wood Region projektet är till för att hitta innovativa lösningar inom skogsindustrin.

5.3.5.3 RISE

Vid denna utvärdering med RISE gick vi igenom ett utkast av innehållsförteckningen samt listor med viktiga punkter om varje kapitel. Designriktlinjer diskuterades och utvecklades. Passande applikationer för storskalig FDM utvecklades relaterat till komplexa geometrier. Inte att det ger en större designfrihet än konventionella tillverkningsmetoder utan att det bara är andra regler som gäller. Aspekter att ha i åtanke i förhållande till designen diskuterades, till exempel topologioptimeringsverktyg som kan användas i ett tidigt stadie för att ge en indikation på kraftfördelning. Även vikten av vase mode togs upp för att undvika start och stopp för att resultatet ska bli bättre. Ytterligare vikt lades vid att uppmana till att utnyttja mervärdet av tekniken, till exempel genom att lägga in ytterligare detaljer som inte kräver efterbearbetning.

5.3.5.4 Sammanfattning

Överlag ansågs handbokens innehåll och upplägg vara korrekt och relevant av alla tre deltagande företag.

Generellt gick resultatet från de tre företagen hand i hand, men i vissa frågor skilde sig deras svar. Exempel på detta var huruvida användningen av stödstrukturer ansågs problematisk eller ej samt hur maskintiden skulle utnyttjas för detaljer. Detta ledde till en mer öppen inställning till det i handboken utan att värdera valet alltför mycket. Att lyfta fram vinsterna med att göra

på ett sätt istället för att säga att man inte kan göra på något annat sätt görs mer genomgående för handboken.

Vikten av att komma till sak tidigt och belysa huvudpoängen för varje avsnitt framkom av utvärderingarna vilket ledde till en omprioritering av avsnitt men även på ett mer detaljerat plan i form av listor.

Hur starkt vi bör lyfta fram utnyttjandet av teknikens mervärde var företagskontakterna eniga kring vilket ledde till skapandet av ett nytt avsnitt angående detta.

5.3.6 Slutresultat

Efter utvärdering och omarbetning sammanställdes innehåll och upplägg till ett slutgiltigt resultat i form av en introduktion, ett bakgrundskapitel, ett beslutskapitel och ett designkapitel. Huvudkonceptets tidigare introduktionskapitel ändrades här till ett bakgrundskapitel för att istället låta introduktionen syfta på den inledande delen av handboken som beskriver hur den ska användas. Beskrivningen av respektive kapitel samt sammanställningen som gjordes i form av en innehållsförteckning presenteras i följande kapitel.

5.3.6.1 Introduktion

Som en introduktion till handboken presenteras en metatext kring handbokens syfte, upplägg och kontext. Detta kompletteras med en ordlista innehållande relevanta begrepp som tas upp i handboken samt ett tack till externa resurser som stöttat vårt arbete.

5.3.6.2 Bakgrundskapitel

Detta kapitel ger en bakgrund till ämnet genom att inledningsvis beskriva tekniken AM mer generellt för att senare smalna av till att bli mer ämnesspecifikt för storskalig FDM. Processöversikten av storskalig FDM avslutar kapitlet för att ge en naturlig introduktion till resten av boken som steg för steg tar upp områden som presenteras i denna processöversikt.

5.3.6.3 Beslutskapitel

Detta kapitels huvudsyfte är att skapa en mer rättvisande bild hos läsaren av storskalig FDM som tillverkningsteknik. Detta för att ge läsaren en grund för att kunna avgöra hur lämplig storskalig FDM är som tillverkningsteknik för tänkt tillämpning.

Kapitlet består av tre huvuddelar. Inledningsvis är när storskalig FDM som teknik lämplig samt bredden av dess tillämpningsmöjligheter. Dessa presenteras som en mer översiktlig lista för att sedan beskrivas mer ingående. Därefter behandlar en del vilka faktorer som påverkar tillverkningskostnaden. Detta presenteras liksom den första delen först i en lista för att sedan beskrivas djupare i följande textavsnitt. Den tredje, avslutande delen av beslutskapitlet ger en redogörelse av vanliga missuppfattningar i industrin samt en mer rättvisande bild av dessa. Även denna inledningsvis presenterad i listformat.

5.3.6.4 Designkapitel

Kapitlet för design kan ses som huvuddelen för arbetet och omfattar hela storskalig FDM processen från utformning av komponent till efterbearbetning av utskrift. Designkapitlet består av 8 delar. Inledningsvis presenteras allmänna råd och riktlinjer som bör ha i åtanke vid design för storskalig FDM. Fokus var att skapa en förståelse för hur mervärdet med användandet av storskalig FDM kan och bör utnyttjas för att öka lämpligheten av användandet av storskalig FDM. Sätt att förenkla genomförandet eller påverka kostnad och resultat beskrevs också. Därefter konkretiserades arbetet något för att ta upp mer handfasta riktlinjer för utformning av designen. Här presenteras också så exakt data som finns att tillgå att förhålla sig till såsom vinklar för överhäng och procentandel infill.

Därefter vidgas återigen perspektivet något och vanliga problem vid utskrift samt material presenteras för att ge läsaren lämplig baskunskap för att vidare kunna hantera de aspekterna. Faktorer som påverkar utskriftens egenskaper presenteras av samma anledning. Relaterat till detta beskrivs även nödvändiga förberedelser av 3D-modellen för utskrift samt vanligt justerade parametrar för 3D-skrivaren för att stötta läsaren i vidare fördjupning på området om nödvändigt. En grund till efterbearbetning avslutar designkapitlet såsom det också avslutar processen för storskalig FDM i stort. Denna grund tar mycket översiktligt upp möjliga bearbetningsalternativ samt möjliga anledningar till att det skulle krävas.

5.3.6.5 Avslutningskapitel

Ett register av prioriterade begrepp presenteras i slutet av handboken för att ytterligare underlätta navigering i handboken samt visa på de olika områdenas omfattning. Här presenteras även en källförteckning med främsta fokus på de individer som genom en konstruktiv dialog bidragit mest till handboken. För en mer detaljerad bild av innehållsförteckningen, *se figur 14*.

Table of Contents

BACKGROUND

1.1 Additive Manufacturing

1.2 Large Scale Additive Manufacturing

1.3 Working principle of LSAM

1.4 LSAM, step by step overview

DECISION

2.1 When is LSAM Suitable

- Investigate all your manufacturing options
- Utilize the added value with LSAM
- Complex and organic shapes
- Parametric design
- Low volume production
- Design optimization and rapid prototyping
- Layered surface texture
- Part Consolidation
- Using LSAM in conjunction with conventional manufacturing processes

2.2 Cost

- Business case
- Reduce Iterations and Lead Time
- Reduced print time

2.3 Perception vs reality

- Cost
- Lead times
- Perfect results with the first print
- Quality of the outcome
- Print Complete Part
- Form freedom
- Material selection

DESIGN

3.1 Design Considerations

- Utilize the Added Value Using LSAM
- Design for Maximum Nozzle Size
- Vase Mode
- Topology Optimization

3.2 Design for LSAM

- Overhangs
- Support Structures
- Infill
- Top Surfaces
- Angled and non Linear Layers
- Sharp Corners
- Minimum Feature and Radius
- Aspect ratio

3.3 Design Guidelines

3.4 Common Problems

- Shrinkage and Warping
- Possible solutions to Shrinkage and

Warping

The staircase effect

Possible solutions to the staircase effect

3.5 Materials

- Overview and background
- Material selection
- Fibers

3.6 Mechanical Properties

- Anisotropy
- Layer adhesion
- Infill

3.7 Preparing CAD-model in Slicer Software

- Orientation of the model on the print bed
- Print parameters that are often adjusted

3.8 Post processing of Printed Part

- High Tolerance Requirements
- Surface finish
- Support Structure Removal
- Assembly
- Personal communication
- Additional sources

Figur 14. Innehållsförteckning för slutgiltig version av handboken.

5.4 Handbokens text

Med anledning av att tillgängliggöra resultatet för en stor bredd inom tänkt målgrupp samt att en stor andel av implementerade facktermer togs beslutet att språket för handboken ska vara engelska. Detta beslut stärktes ytterligare av Johansson, RISE.

Skrivandet av själva texten i handboken grundade sig i ett fokus på målgruppen och persona, pedagogiska tips för handboks skrivande samt annan teori från avsnitt 2.3 i rapporten. Nedan visas utdrag från diverse kapitel i den slutgiltiga handboken. Vidare beskrivning av de grafiska element som syns på bilderna förklaras ytterligare i avsnitt 5.5 om designen.

En ordlista implementerades för att beskriva svårare termer på ett lättillgängligt sätt. Delar av ordlistan kan ses i *figur 15*.

Ingresser lades in på varje kapitelframsida för att sammanfatta det viktigaste, förbereda läsaren och skapa en tidig och konkret inblick i vad kapitlet kommer handla om. Detta gjordes även i

syfte att kunna möjliggöra för läsaren att välja om kapitlet är relevant för de eller inte. Ett exempel på en ingress i handboken kan ses i *figur 16*.

För att skapa en tydlig struktur på texten infördes konkreta rubriker och underrubriker. Rubrikerna formulerades på ett enkelt språk genom att tydligt, utan formella beskrivningar, beskriva vad som förväntas av stycket. Ett exempel på dessa typer av rubriker kan ses i *figur 17* som beskriver kapitlet “*Perception vs reality*” samt några av de tillhörande underrubriker.

Genom att hålla ett fokus på målgruppen och stämma av med hjälp av våra skapade personas lades kraft vid att skriva med en lagom personlig ton. Med lagom menas en balans mellan akademiskt skrivande, lättförståeligt och klarspråkigt. Här valdes exempelvis att rikta språket i form av att använda ord som “*you*”. Ett exempel på detta i ett sammanhang kan ses i *figur 18*.

För att öka förståelsen och underlätta läsning infördes pedagogiska element såsom faktarutor, listor och illustrativa figurer. Faktarutorna belyser antingen särskilt relevant fakta som bör läsas för förståelsen av innehållet eller saker som inte är lika viktigt att läsa utan snarare bidrar med extra bonuskunskap. Detta skiljer sig beroende på hur faktarutorna är placerade. Är de placerade i flödande text indikerar de stor betydelse. Placeras de på sidan av texten indikerar de bonusmaterial. Även listor infördes för att belysa och beskriva bland annat olika typer av processer, översikter och alternativ på saker. Exempel på listor och faktarutor och dess placeringar kan ses i *figur 18* och *figur 19*.

Glossary

Additive manufacturing [AM]

A manufacturing process, commonly known as 3D printing, where material is added layer by layer to build three dimensional objects from the bottom up.

Angled layers

Layer printed at an angle relative to the base plate when using an industrial robot based printer.

Anisotropy

Parts properties being directionally dependent when loads are applied. Meaning, different properties in different directions.

Aspect ratio

The ratio between the area of the base and the height of a part to be printed.

Base plate

The platform which supports the first layer of a print.

Bridging

Bridging is the action to print between two edges so that the string is partially printed without any support from underneath.

Extruder

Component of printer that creates a continuous strand of material, usually a polymer melt.

Infill

A common method used in additive manufacturing where solid parts are made to be lighter and use less material by adding a repetitive 3D-pattern inside the model.

Large Scale Additive Manufacturing [LSAM]

The creation of large parts through extrusion based additive manufacturing.

Layer adhesion

How well the layers of the part adhere to each other.

Layer direction

The layer direction is in the plane the layers are built.

Overhang

An overhang is any feature of a part sticking out and not being supported by another layer directly beneath it.

Slicer Software

A computer software used to turn CAD-files into numerical control code such as g-code that the AM-machine can interpret.

Staircase effect

A phenomenon most prominent on surfaces with just a slight angle to the printing bed. Causes the surface to get a texture reminiscent of a staircase.

Stereolithography File [STL-file]

Commonly used file format in 3D-modeling, describing the model using a mesh of triangles.

Support Structure

Additional structures to be printed to support features not being able to support themselves.

Tolerance Requirements

How close to the intended dimensions the final part needs to be.

Topology optimization

Optimization of component geometry related to weight and load distribution.

Top surface

A flat, horizontal surface at the top of a printed part or feature.

Vase mode

A special print process where each layer of the print is constructed from one continuous strand of material which completes a full loop.

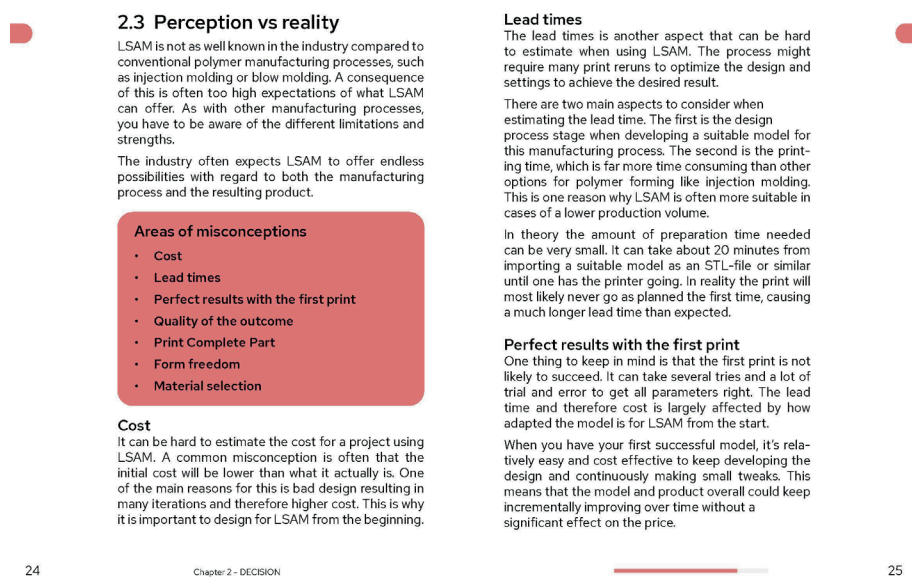
Warping

A phenomenon where parts are distorted because of internal strains caused by uneven shrinkage of the part.

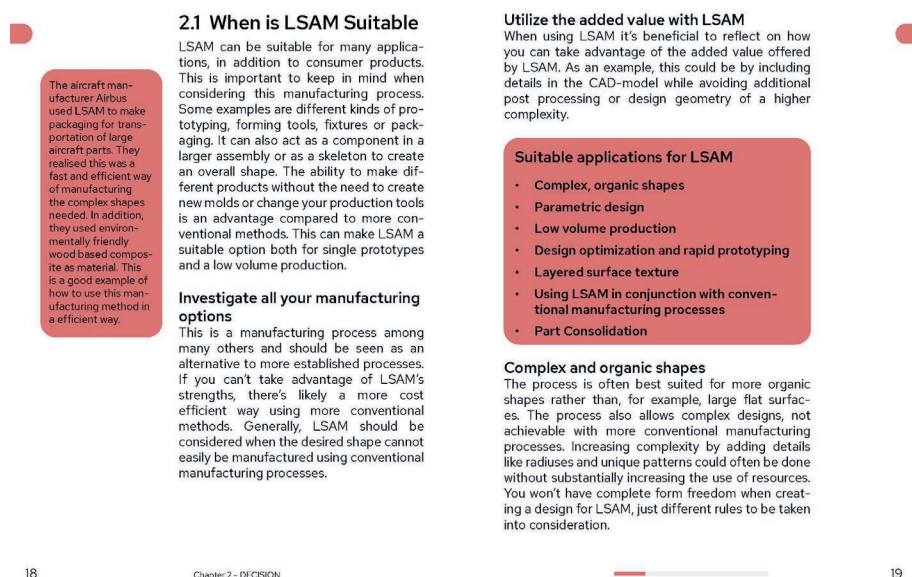
Figur 15. Handbokens ordlista med beskrivningar av ett urval av belysta begrepp i handboken.

The success of using LSAM largely depends on its suitability in relation to the business case. It is important to understand when LSAM is a suitable manufacturing process and how to make use of its several strengths. In the following chapter this will be investigated as well as some common misconceptions related to LSAM identified in the industry.

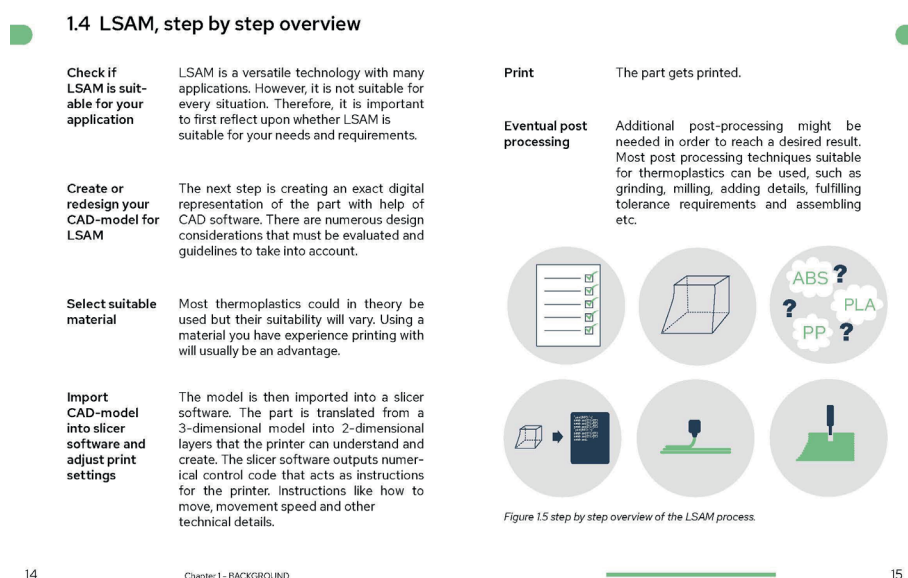
Figur 16. Ingress för kapitel 2 i handboken.



Figur 17. Exempel av kapiteluppslag i handboken för att visa utformandet av rubriker och underrubriker.



Figur 18. Ett urval av handbokens faktarutor och listor samt exempel på anpassat språk.



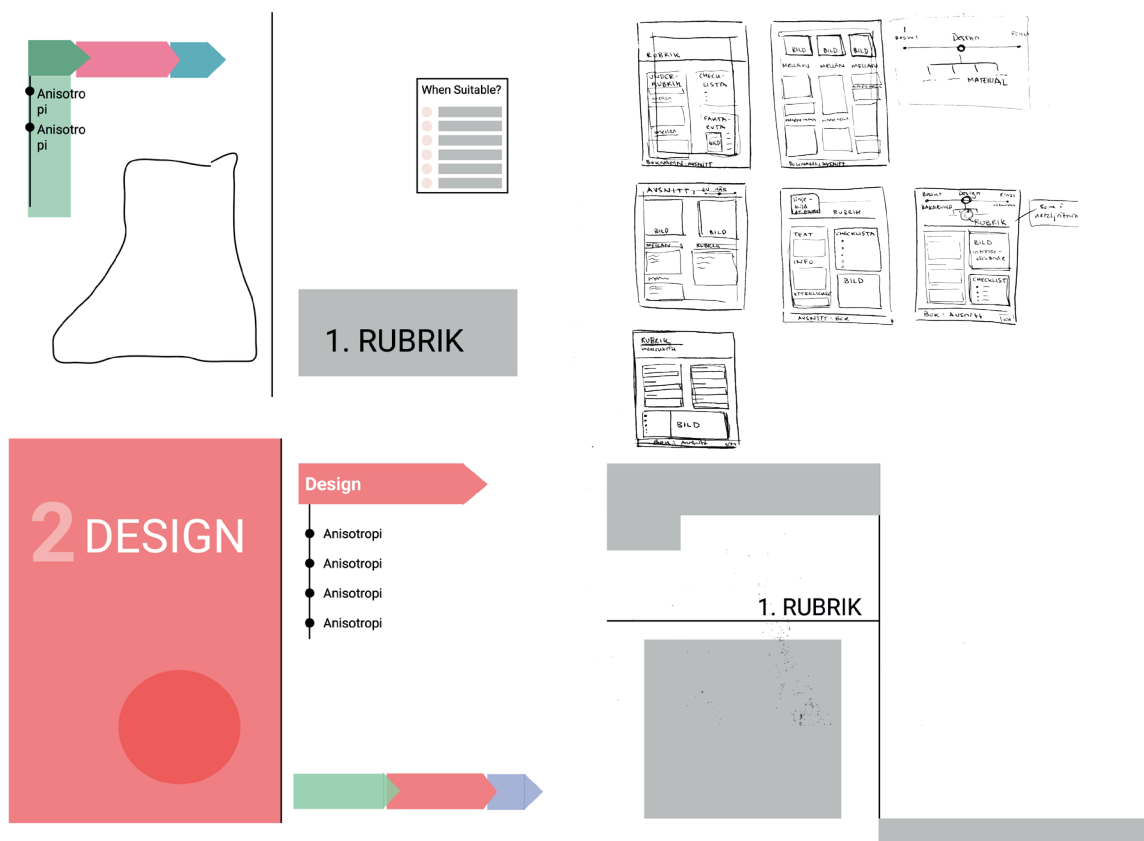
Figur 19. En bild på en annan variant av lista samt en processöversikt med stöttande illustrationer.

5.5 Handbokens design

Följande kapitel presenterar resultatet av projektets arbete kring framtagandet av handbokens design. Detta omfattar konceptframtagning och konceptval, resultatet från utvärderingen samt slutresultat av design med tillhörande illustrationer. Innan processen för utformningen av handboken började togs ett beslut om att handboken skulle anpassas för både fysisk form och digitalt PDF-format, med ett högre fokus på PDF-formatet. Detta grundades i att ett digitalt format gör handboken mer tillgänglig för intressenter samt möjliggör enkel navigering i dokumentet med hjälp av en sökfunktion. Användningsmöjligheterna ökas då en PDF-handbok även går att skriva ut för att användas fysiskt. Att hänsyn togs till båda formaten gjorde att vissa senare beslut som togs kring designen lämpade sig olika bra för antingen fysiskt eller digitalt format. Störst fokus lades då på en anpassning för ett digitalt format.

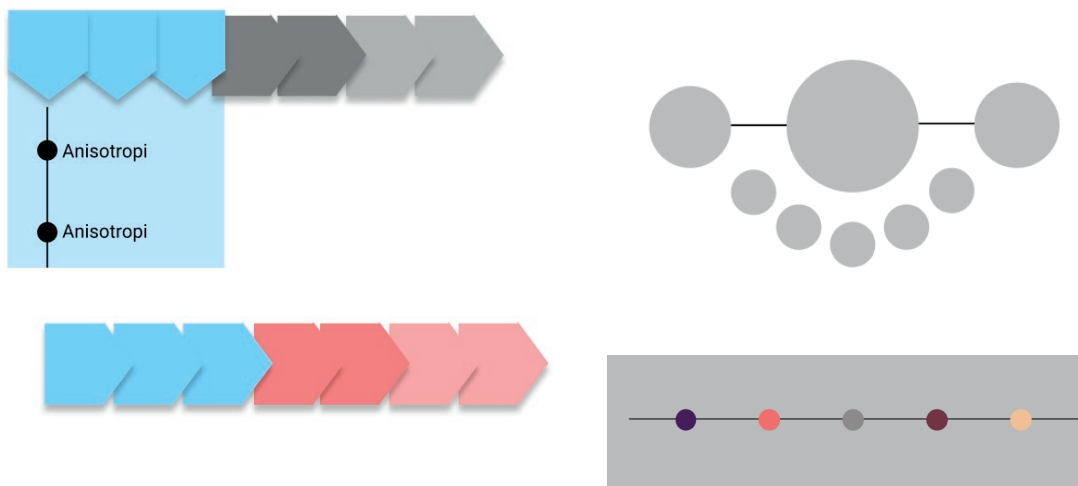
5.5.1 Konceptframtagning

Den första braindrawingen resulterade i en stor mängd idéer och skisser för olika varianter av kapitelframsidor, se figur 20.



Figur 20. Ett antal tidiga skisser över kapitelframsidor, både digitala och analoga.

Under den första braindrawingen kom gruppen fram till vilka element som olika typer av sidor i handboken skulle innehålla, vad de skulle fylla för funktion och hur vissa tänkta element skulle se ut. Ett exempel på ett element är den processtidslinje som ska representera var någonstans läsaren befinner sig i boken samt innehållsförteckningen för respektive kapitelavsnitt, se *figur 21*. Även ett antal olika färgskalor togs fram under denna fas som kunde användas i de olika koncepten, se *figur 22*.



Figur 21. Olika varianter av övergripande design för tidslinjer och innehållsförteckningar.

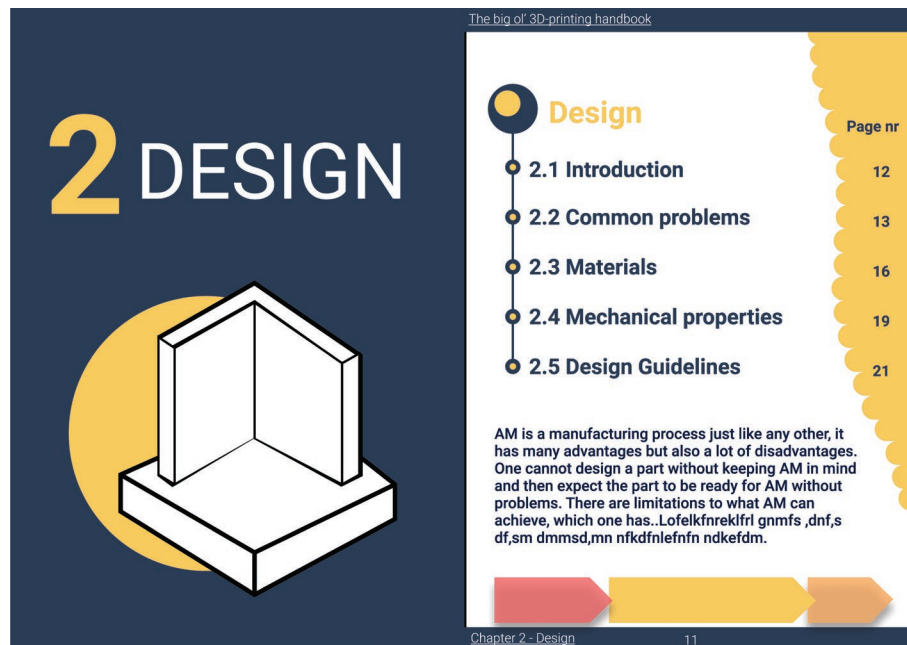


Figur 22. Fyra olika färgskalor från de tidigaste stadierna av konceptgenerering.

5.5.2 Ett första baskoncept

Designprocessens andra braindrawing resulterade i ett första baskoncept för handbokens design. Konceptet representerades av ett förslag på en kapitelframsida, *se figur 23*, och ett generellt textuppslag, *se figur 24*. Kapitelframsidan består av de element som ansågs viktiga för att skapa en lättförståelig design. Inkluderade designelement var kapitelsiffra, kapitelnamn, innehållsförteckning för kapitlet, introducerande text, processtidslinje samt två illustrationer.

För att handbokens design inte skulle vara för avskalad fick hela boken en genomgående färg som valdes till mörkblå för att generera ett lugnt och neutralt intryck. Då blått symboliserar både teknik och kunskap i stora delar av världen (se teori i kapitel 2.3) ansågs färgen lämplig. För att varje kapitel skulle gå att särskilja hade varje kapitel en egen accentfärg.



Figur 23. Exempel av kapiteluppslag från baskonceptet.



Figur 24. Exempel på textuppslag från baskonceptet.

5.5.3 Två koncept

Den tredje braindrawingen grundades till viss del i den första och resulterade i en utveckling och omformning av det första konceptet, samt en utformning av ett helt nytt andra koncept. Båda innehöll ungefär samma element som det ursprungliga konceptet, med vissa skillnader i detaljerna kring dem. Dessa två koncept var de som senare utvärderas i designutvärderingen. En stor skillnad mot tidigare koncept var att detta koncept behandlade bokens inledning som ett eget kapitel och därför hade 4 kapitel istället för de tidigare 3. Därför skapades en ny färgskala med en ytterligare färg för det första kapitlet, *se figur 25*. Båda koncepten använder samma färgskala, men sättet den implementeras på skiljer sig åt.



Figur 25. Färgskalan som skapades för de två koncepten.

Båda konceptets kapitelframsidor byggde på samma tanke som det ursprungliga när det gällde att ha en innehållsförteckning, en introduktionstext, titel, siffra samt att varje kapitel hade en accentfärg. Koncept 1, *se figur 26*, hade en illustration som symboliserade respektive kapitel, ingen sidhänvisning i innehållsförteckningen, ingen processlinje samt en introduktionstext i två spalter, likt konceptets textsidors upplägg. Koncept 2, *se figur 26*, hade ingen illustration, men sidhänvisningen i innehållsförteckningen, en processlinje och en introduktionstext i en spalt. Koncepten hade samma mörkblå grundfärg och samma accentfärger (grönt, gult, orange och rött) men med olika utformning och placering av respektive element. De fyra accentfärger som de fyra kapitlen tilldelades grundades här i subjektiva estetiska preferenser. Fokus låg i detta stadiet på utformning, placering och inkludering av element framför färgval, för att så tidigt som möjligt kunna utvärderas.



Figur 26. Kapitelframsidor för koncept 1 (ovan) och koncept 2 (nedan).

De två konceptet hade tillhörande textuppslag med olika förslag på textens utformning. Detta innefattade typsnitt, illustrationernas placering relativt texten, antal spalter och dess placering, rubrikernas utformande och olika processtidslinjer som visade hur långt läsaren hade kommit i kapitlet.

Koncept 1, *se figur 27*, hade mörkblå marginaler som ramade in sidan, typsnittet Roboto, samt gula markörer högt upp på sidan som skulle symbolisera vilket avsnitt i kapitlet läsaren befann sig i. Dessa markörer skulle allt eftersom läsaren kommer längre fram i kapitlet, flyttas ner höjdmässigt. Detta koncept hade även numrering på rubriker med nivå två och tre.



Figur 27. Exempel av textuppslag i koncept 1 (vänster) och koncept 2 (höger).

Koncept 2, *se figur 27*, hade en textspalt, typsnittet Red Hat Text, gula trianglar längst ner på sidan, alla illustrationer i en smalare högerspalt samt rubriker utan numrering.



Figur 28. Olika sätt att presentera innehåll med hjälp av textrutor för koncept 1 (vänster) och koncept 2 (höger).

De två koncepten presenterade även två olika sätt att placera ut textrutor som var tänkta att ingå i handboken, *se figur 28*. Koncept 1 hade grå rutor placerade i en spalt eller över två spalter i botten av sidan medan koncept 2 hade gula rutor som placerades på samma plats som illustrationerna, i spalten eller i botten av sidan, *se figur 28*.

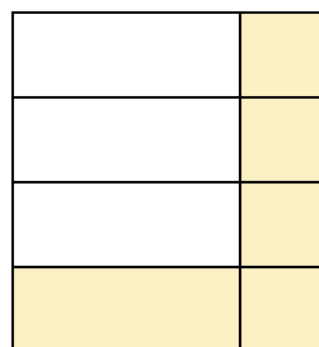
5.5.4 Formativ utvärdering

Generellt visade utvärderingen att koncept 2 föredrogs bland testpersonerna. Dock visades det att det i viss kombination med element från koncept 1 samt små justeringar skulle ge den bästa utformningen av handboken.

Utvärderingen visade att texten bör stå som i koncept 2, med typsnittet Red Hat Text och i en spalt. Gula markörer på sidan är att föredra men istället ha en specifik placering i höjddled för respektive kapitel. Rubriker bör numreras och tanken att ha en särskild plats för illustrationer på uppslaget mottogs positivt.

Utvärderingen visade att testpersonerna tolkade textrutorna olika beroende på deras placering. När det var placerade i flödande text, *se vita områden i figur 29*, ansågs de viktiga. När de istället var placerade i marginalen motsvarande de gula fälten i *figur 29* ansågs de mindre viktiga. Detta gav upphov till tankar att faktarutornas placering ska anpassas efter deras relevans i handboken och därmed medge en god usability för läsaren.

Den tidslinje som tillhörde textsidan för koncept 2 visades vara mer lättförstådd än i koncept 1. Dock var dess funktion långt ifrån självklar för alla testpersoner och kunde därmed inte anses medge god *guessability*. Detta resulterade i att detta element omdesignades till slutkonceptet.



Figur 29. Visualisering av rutnätet för framtagning av handbokens textsidor.

Kapitelframsiden som tillhörde koncept 2 var en favorit och att introtexten stod i en spalt föredrogs. Att innehållsförteckningen var försedd med sidnumrering

var positivt. Illustrationerna som visades på kapitelframsidor i koncept 1 kändes inte relevant för målgruppen. Det fanns en önskan om att tidslinjen som fanns på kapitelframsiden skulle vara grå på de delar förutom det aktuella kapitlets del för att vara tydligare.

Slutligen visade utvärdering på att färgerna borde väljas så att de är enklare att urskilja. Det gula och det orangea kapitlet var svårt för testpersonerna att se skillnad på.

5.5.5 Slutresultat

Med stöd i resultatet från utvärderingen gjordes en omdesign som resulterade i ett slutkoncept. Större delar av detta bestod av koncept 2 men med vissa element från koncept 1 samt några helt nya detaljer.

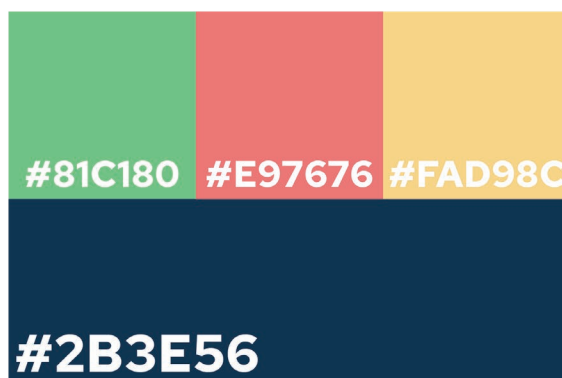
Färgkombinationen som användes i den formativa utvärderingen fick kritik för att vara för lika varandra och därför svåra att skilja på, därför utvecklades en ny färgskala, *se figur 30*.



Figur 30. Den nya färgskalan.

I samband med den slutliga innehållsförteckningen blev det bara tre kapitel, då det som tidigare varit introduktionskapitel inte ansågs behöva ett helt eget kapitel. Därför behövdes bara tre

accentfärger. Den gröna accentfärgen som tillhörde det första kapitlet togs därför bort och de tre resterande accentfärgerna presenteras i *figur 31*.



Figur 31. Den slutgiltiga färgskalan med 3 färger.

Kapitelframsidorna har annan bakgrundsfärg än resten av boken för att verkligen stå ut för den som snabbt bläddrar igenom boken, *se figur 32*. Denna mörkblå färg är samma som för de föregående koncepten. Alla fyra kapitel har en egen accentfärg. Färger är desamma som för de tidigare koncepten som utvärderades. Den processtidslinje som presenteras här visar handbokens samtliga kapitel i förhållande till varandra. Det aktuella kapitlets del markeras med respektive färg medan resterande kapitel är grå.

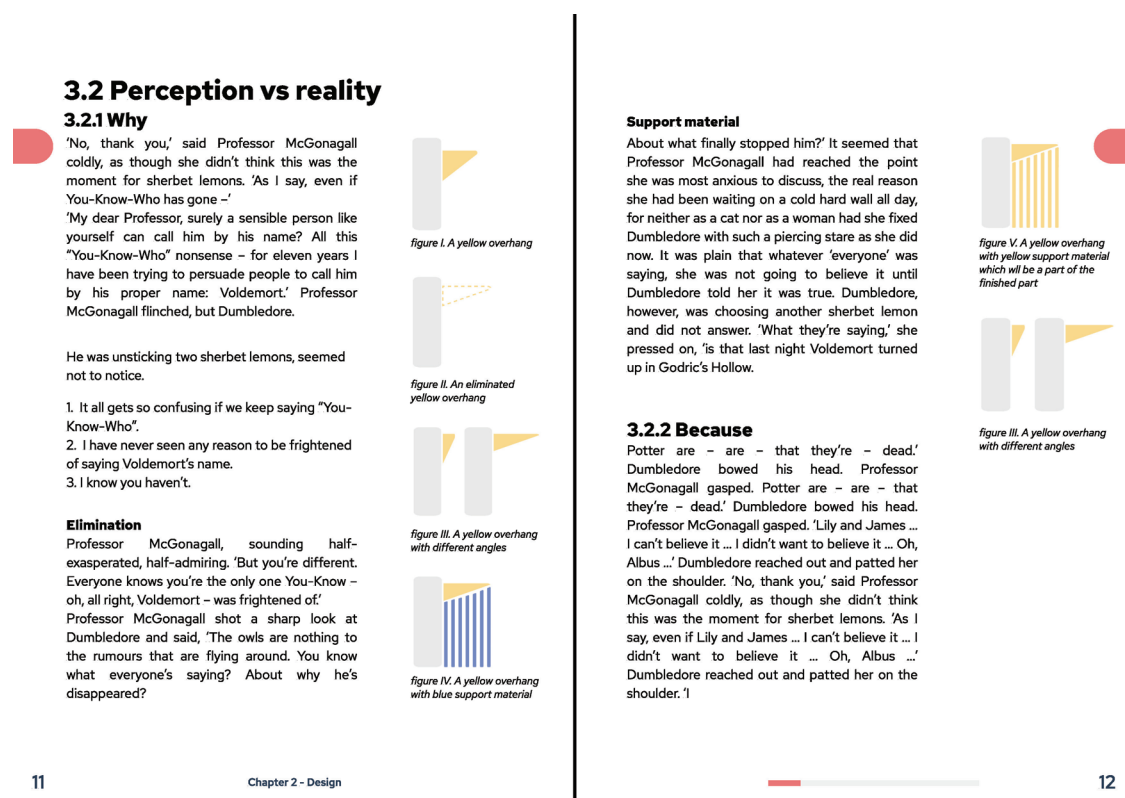


Figur 32. Kapitelframsida för kapitel 2 i slutkonceptet.

Texten står i en vänsterförskjutenspalt som i koncept 2 och är skriven i typsnittet Red Hat Text, *se figur 33*. Rubriker för kapitel och avsnitt är numrerade och med större marginaler än vad

rubriker i både koncept 1 och koncept 2 hade. På sidans högra sida placeras figurer som illustrerar sådant som förklaras i texten. Detta för att det ska bli enkelt för läsaren koppla samman illustration med text och därmed förstå det som beskrivs. För att figurerna ska få plats har textspalten gjorts något smalare på de sidor som har figurer för att sedan breda ut sig något mer på de sidor som enbart är text.

Processlinjen som finns på textsidorna omformades helt och fick en väldigt simpel design. Dess funktion ansågs inte så viktig att den var tvungen att stå ut lika mycket som tidigare koncepts tidslinjer.



Figur 33. Exempel av textuppslag i slutkonceptet.

Konceptet beskriver även hur textrutor används och placeras i förhållande till textspalterna. Textrutorna kan om de inte är nödvändiga att läsas ligga bredvid texten på samma sätt som illustrationer gör genom hela boken. De kan även ligga i linje med texten om de anses vara viktigt att läsaren ser dessa i en viss ordning, likt högersidan, se figur 34. Samtliga rutor utformades i samma färg som respektive kapitel.

De gula markörerna från koncept 1 valdes istället för trianglarna som koncept 2 hade på botten av sidan. Både fyllde samma funktion och det ansågs tillräckligt att inkludera ett av dessa element. Då utvärderingen av koncepten visade positiv respons på markörerna inkluderades

dessas i slutkonceptet. Markörerna sitter på samma höjd genom hela handboken och har respektive kapitels accentfärg för att tillåta läsaren att navigera i den fysiska handboken genom att kolla på sidryggen. I digital form fyller inte dessa markörer samma funktion, men symboliserar ändå vilket kapitel läsaren befinner sig i.

3.3 Unique selling points

3.3.1 It's great

'No, thank you,' said Professor McGonagall coldly, as though she didn't think this was the moment for sherbet lemons. 'As I say, even if You-Know-Who has gone –'

'My dear Professor, surely a sensible person like yourself can call him by his name? All this "You-Know-Who" nonsense – for eleven years I have been trying to persuade people to call him by his proper name: Voldemort.' Professor McGonagall flinched, but Dumbledore.

He was unsticking two sherbet lemons, seemed not to notice.

1. It all gets so confusing if we keep saying "You-Know-Who".
2. I have never seen any reason to be frightened of saying Voldemort's name.
3. I know you haven't.

Elimination

Professor McGonagall, sounding half-exasperated, half-admiring. 'But you're different. Everyone knows you're the only one You-Know – oh, all right, Voldemort – was frightened of.' Professor McGonagall shot a sharp look at Dumbledore and said, 'The owls are nothing to the rumours that are flying around. You know what everyone's saying? About why he's disappeared?'



figure I. A yellow overhang



figure II. An eliminated yellow overhang



figure III. A yellow overhang with different angles



figure IV. A yellow overhang with blue support material

Support material

About what finally stopped him?' It seemed that Professor McGonagall had reached the point she was most anxious to discuss, the real reason she had been waiting on a cold hard wall all day, for neither as a cat nor as a woman had she fixed Dumbledore with such a piercing stare as she did now. It was plain that whatever 'everyone' was saying, she was not going to believe it until Dumbledore told her it was true. Dumbledore, however, was choosing another sherbet lemon and did not answer. 'What they're saying,' she pressed on, 'is that last night Voldemort turned up in Godric's Hollow.'

3.3.2 It's literally great

Potter are – are – that they're – dead.' Dumbledore bowed his head. Professor McGonagall gasped. Potter are – are – that they're – dead.' Dumbledore bowed his head. Professor McGonagall gasped. 'Lily and James ... I can't believe it ... I didn't want to believe it ... Oh, Albus ...' Dumbledore reached out and patted her on the shoulder. 'No, thank you,' said Professor McGonagall coldly, as though she didn't think this was the moment for sherbet lemons. 'As I say, even if Lily and James ... I can't believe it ... I didn't want to believe it ... Oh, Albus ...' Dumbledore reached out and patted her on the shoulder.'



figure V. A yellow overhang with yellow support material which will be a part of the finished part

Greatness

Mrs Dursley on the cheek and tried to kiss Dudley goodbye but missed, because Dudley was now having a tantrum and throwing his cereal at the walls. 'Little tyke,' chorled Mr Dursley as he left the house. He got into his car and backed out of number four's drive. It was on the corner of the street that he noticed the first sign of something peculiar – a cat reading a map. For a second, Mr Dursley didn't realise what he had seen – then he jerked his head around to look again. There was a tabby cat standing on the corner of Privet Drive, but there wasn't a map in sight. What could he have been thinking of? It must have been a trick of the light.

3.4 Additional advantages

3.4.1 It's pretty cool

'No, thank you,' said Professor McGonagall coldly, as though she didn't think this was the moment for sherbet lemons. 'As I say, even if You-Know-Who has gone -'

'My dear Professor, surely a sensible person like yourself can call him by his name? All this "You-Know-Who" nonsense - for eleven years I have been trying to persuade people to call him by his proper name: Voldemort.' Professor McGonagall flinched, but Dumbledore.

He was unsticking two sherbet lemons, seemed not to notice.

1. It all gets so confusing if we keep saying "You-Know-Who".
2. I have never seen any reason to be frightened of saying Voldemort's name.
3. I know you haven't.

Elimination

Professor McGonagall, sounding half-exasperated, half-admiring. 'But you're different. Everyone knows you're the only one You-Know - oh, all right, Voldemort - was frightened of.' Professor McGonagall shot a sharp look at Dumbledore and said, 'The owls are nothing to the rumours that are flying around. You know what everyone's saying? About why he's disappeared?'



figure I. A yellow overhang



figure II. An eliminated yellow overhang



figure III. A yellow overhang with different angles



figure IV. A yellow overhang with blue support material

Support material

About what finally stopped him? It seemed that Professor McGonagall had reached the point she was most anxious to discuss, the real reason she had been waiting on a cold hard wall all day, for neither as a cat nor as a woman had she fixed Dumbledore with such a piercing stare as she did now.

Why is it cool?

Mr Dursley blinked and stared at the cat. It stared back. As Mr Dursley drove around the corner and up the road, he watched the cat in his mirror. It was now reading the sign that said Privet Drive - no, looking at the sign, cats couldn't read maps or signs. Mr Dursley gave himself a little shake and put the cat out of his mind. As he drove towards town he thought of nothing except a large order of drills he was hoping to get that day. But on the edge of town, drills were driven out of his mind by something else. As he sat in the usual morning traffic jam, he couldn't help noticing that there seemed to be a lot of strangely dressed people.



figure V. A yellow overhang with yellow support material which will be a part of the finished part



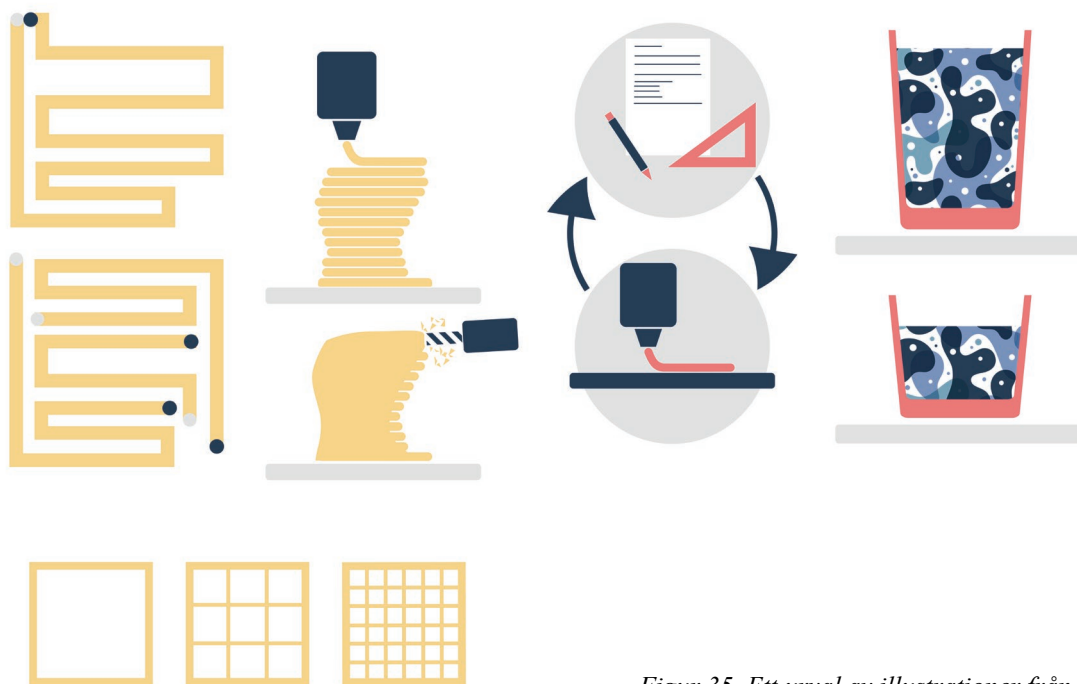
figure III. A yellow overhang with different angles

Potter are - are - that they're - dead.' Dumbledore bowed his head. Professor McGonagall gasped. Potter are - are - that they're - dead.' Dumbledore bowed his head. Professor McGonagall gasped. 'Lily and James ... I can't believe it ... I didn't want to believe it ... Oh, Albus ...' Dumbledore reached out and patted her on the shoulder. 'No, thank you,' said Professor McGonagall coldly, as though she didn't think this was the moment for sherbet lemons. 'As I

Figur 34. Exempel av textuppslag som illustrerar placering av textrutor i slutkonceptet.

5.5.6 Illustrationer

Illustrationer användes flitigt för att öka läsarens förståelse i handboken. De användes främst som ett komplement till texten för att förtydliga koncept som var svåra att förklara med enbart ord. När handboken var färdigställd hade fler än 50 illustrationer skapats, ett axplock av dessa visas i *figur 35* för att ge en bild av formspråket.

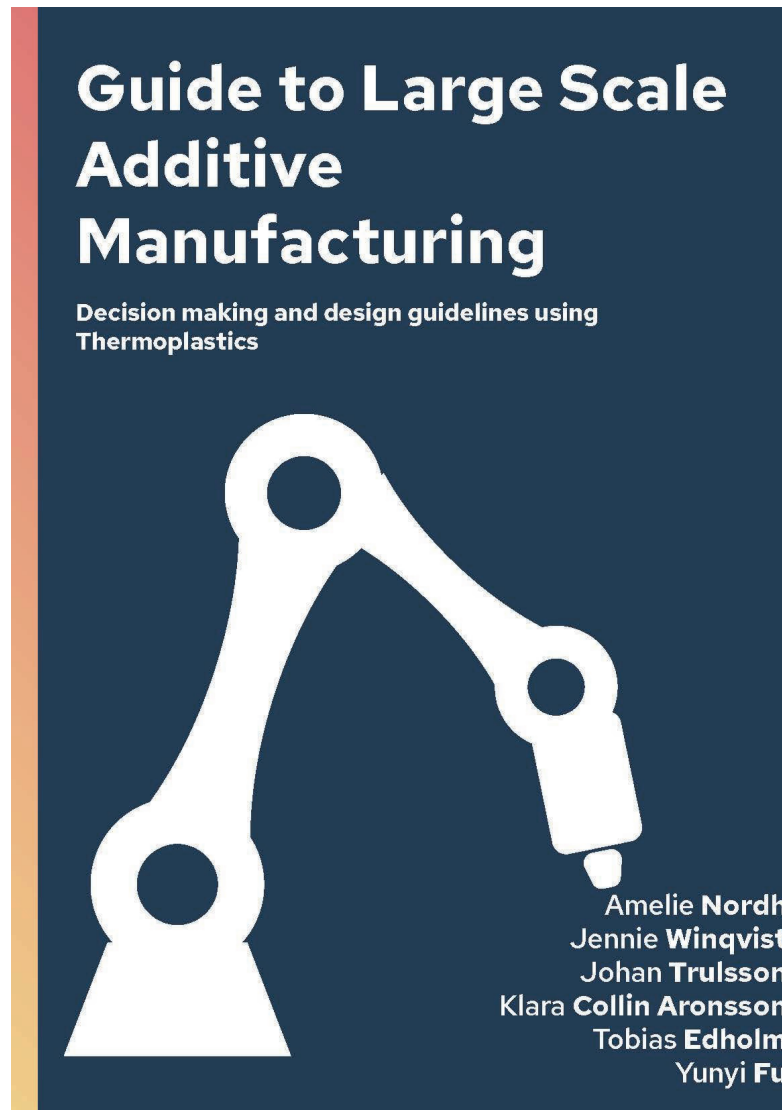


Figur 35. Ett urval av illustrationer från handboken.

5.6 Den slutgiltiga handboken

Efter att ha sammanställt resultaten från design, innehåll och text skapades en slutgiltig version av handboken. Utdrag ur denna visas här nedan för att visa alla väsentliga aspekter av boken.

Framsidan utformades för att vara iögonfallande utan att vara skrikig. Titeln valdes till *“Guide to Large Scale Additive Manufacturing: Decision making and design guidelines using thermoplastics”* för att betona de viktigaste delarna kring syftet med handboken. Den stora illustrationen ska bidra till att väcka intresse och en inblick av bokens innehåll, se figur 36.



Figur 36. Handbokens framsida.

Handboken börjar med ett introduktionsuppslag som syftar till att ge läsaren en första inblick i vad boken avhandlar och hur den är uppbyggd. Uppslaget har en avskalad design och fokuserar helt på texten som beskriver hur bokens syfte och hur den ska läsas, *se figur 37*.

Acknowledgements

We would like to thank our supervisor Jakob Müller for support, constructive feedback and expertise throughout the project. Thanks to our industrial partners Emil Johansson and Lenny Tönnäng at RISE for continuously providing relevant information. We would like to express our appreciation to Anthony Norman for support regarding writing. We would also like to thank Tomas Burman at BLB industries and Malin Fleen at The Wood Region for great feedback. At last, we would like to thank our examiner Lars Almfelt for his support in this project.

This Handbook

The purpose of this handbook is to guide and inspire those interested in large scale additive manufacturing (LSAM). It will focus on the most widely used method of LSAM which is extrusion based additive manufacturing using thermoplastics. This guide is mainly directed towards design- and mechanical engineers.

The guide is divided into three main parts.

- Background: The first part is an introduction to AM and the extrusion based LSAM process.
- Decision: The second part focuses on decision making related to LSAM, highlighting the important characteristics and when it can be a suitable manufacturing process.
- Design: The third part can be seen as a design guide, covering several aspects to support the execution of the design.

Throughout this guide the term LSAM will refer to the creation of large objects through extrusion based additive manufacturing using thermoplastics. In this guide large scale is defined as anything above a quarter of a cubic meter in volume.

In the beginning of each new chapter, a timeline will be presented, highlighting the current chapter and where you're at in the handbook.

This handbook is the result of the bachelor thesis Minihandbok för stora komponenter tillverkade genom 3D-printing, spring 2020 at Chalmers University of Technology in collaboration with RISE Research Institutes of Sweden.

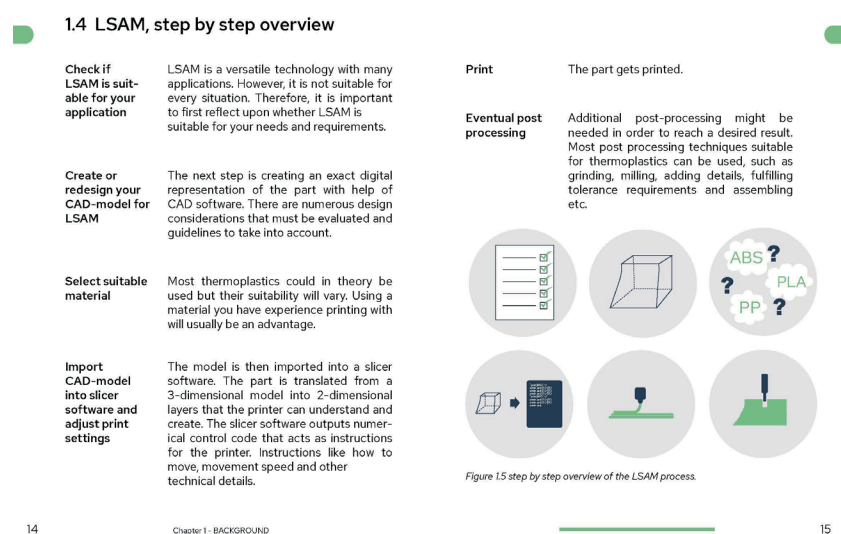
Figur 37. Introduktionsuppslag i handboken.

I början av varje kapitel finns ett uppslag som introducerar kapitlet och som sticker ut för den som snabbt bläddrar igenom boken. Den innehåller även en innehållsförteckning över de ämnen som tas upp i det kommande kapitlet tillsammans med sidhänvisningar för att läsaren lätt ska kunna navigera. Det finns även en kortare text som kort introducerar det kommande kapitlet, *se figur 38*.



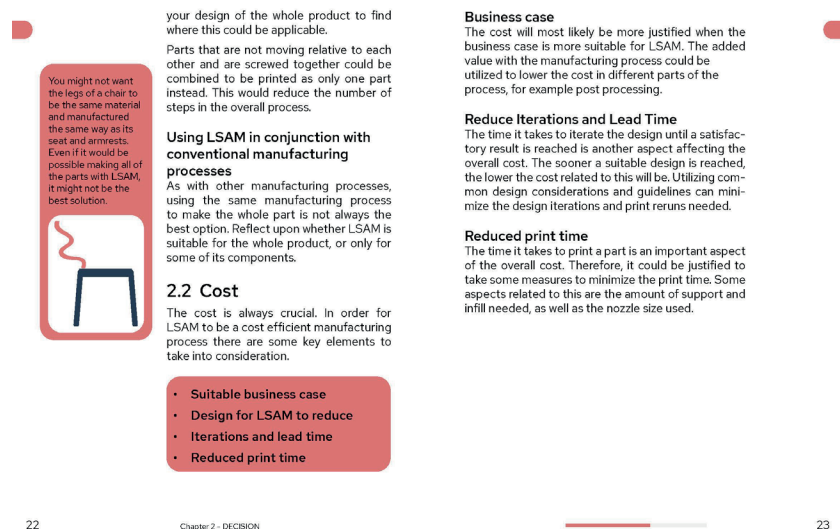
Figur 38. Kapitelframsidorna från slutresultatet.

Detta uppslag visar en processöversikt som presenteras i kapitel två. Dessa sidor avviker något från hur andra textsidor ser ut i resten av boken då de har två kolumner med text per sida, där textstyckena längst ut från ryggen fungerar som titlar till texten närmare ryggen. Detta tillsammans med de större avstånden mellan stycken syftar till att öka förståelsen över att det är olika diskreta steg. Även illustrationen skiljer sig från övriga delar av boken då denna får ta upp mycket bredd. Detta motiveras med att det är en illustration som kräver mycket plats för att fungera ordentligt. Texten beskriver de steg som krävs för att gå från beslut till färdig produkt, *se figur 39*.



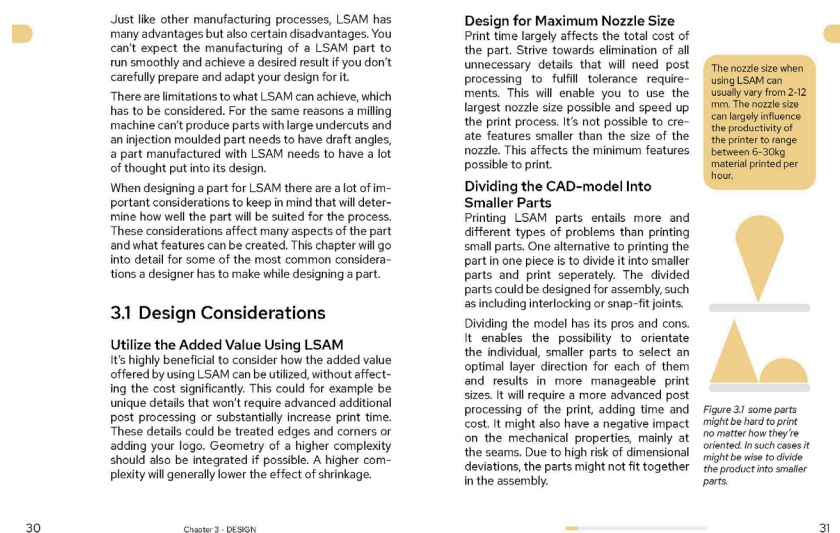
Figur 39. Ett uppslag ur handboken där tillverkningsprocessen förklaras.

Här visas ett uppslag från kapitel två, som tar upp de viktigaste frågorna för att besluta huruvida storskalig FDM är lämplig. Här ges exempel på hur ett uppslag som innehåller brödtext, punktlista och en faktaruta med illustration ser ut. Här listas vanliga missuppfattningar kring metoden i en punktlista och förklaras sedan djupare i den efterföljande texten, *se figur 40*.



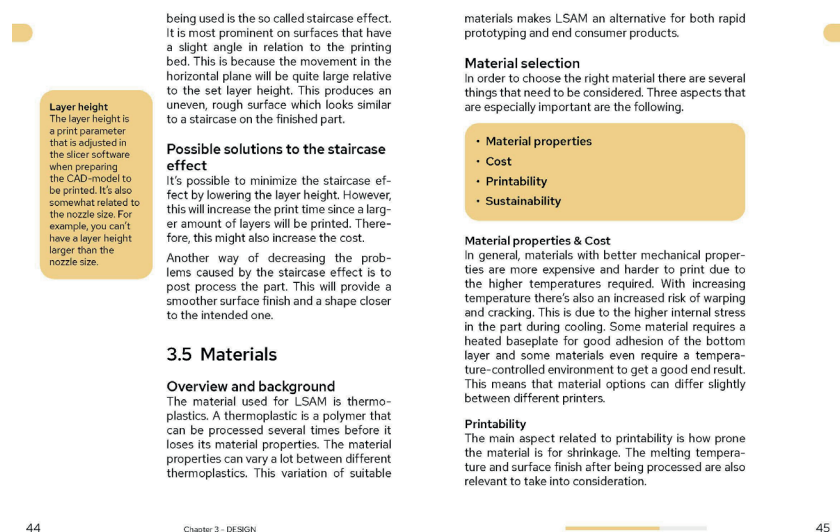
Figur 40. Ett textuppslag ur handboken, med två sorters texttrutor.

Detta är en annan textsida i ett kapitel, där högra sidan har figurer som illustrerar koncept som förklaras i texten. Detta för att det ska bli lättare för läsaren att förstå det som beskrivs. För att figurerna ska få plats har textspalten gjorts något smalare på de sidor som har figurer för att sedan breda ut sig något mer på de sidor som enbart är text, se figur 41.



Figur 41. Ett uppslag ur handboken som visar både illustrationer och textruta på högersidan.

Dessa två sidor visar hur det ser ut i boken när texttrutor används. Texttrutorna kan antingen ligga bredvid texten på samma sätt som illustrationer gör på andra platser i boken, likt vänstersidan. De kan även ligga i linje med texten om de anses vara viktigt att läsaren ser dem i en viss ordning, likt högersidan, se figur 42.



Figur 42. Ett uppslag som visar två olika sätt att använda texttrutor.

I slutet av boken, efter sista kapitlet, finns det register där nyckelord listas i alfabetisk ordning, för att underlätta sökande av de i boken. Det finns också en lista av referenser som användes under arbetet med handboken.

5.7 Summativ utvärdering

Den summativa utvärderingen med RISE och Wood Region gav en slutgiltig bedömning av handboken.

Tönnäng och Johansson gav en konstruktiv återkoppling för alla översiktliga listor genom boken. Exempelvis ansågs listan för materialval sakna en punkt relaterat till hur lätt materialet var att använda i 3D-skrivaren.

En klar majoritet av handbokens innehåll ansågs träffsäkert och relevanta utan att missa viktiga aspekter. Något som belystes som extra bra av Johansson var frasen *"If you can't take advantage of the strengths of large scale additive manufacturing, there's likely a more cost efficient way using more conventional methods."* som står i beslutskapitel handboken.

Den färdiga handboken togs överlag emot väl och ansågs av Fleen och Nordvall ta upp relevanta aspekter på ett pedagogiskt sätt.

Den färdiga handboken togs överlag emot väl och ansågs av Fleen och Nordvall ta upp relevanta aspekter på ett pedagogiskt sätt, utan att vara för tungläst. Det uttrycktes att

handboken uppfattades som genomtänkt och att den täckte många av de möjligheter och komplikationer som upplevts av The Wood Region. Handboken förväntades kunna agera ett bra underlag för intresserade personer och ge en bättre förståelse för processen. Utöver detta ansågs den tillräckligt informativ för att skapa intresse att lära sig mer för läsaren.

Citat som uttrycktes var bland annat:

“Den känns genomtänkt och pedagogiskt illustrerad. Tror denna handbok kommer fungera bra som underlag för personer som är intresserade av additiv tillverkning d.v.s. inte för tungläst och tillräckligt informativ för att man skall bli intresserad av att lära sig mer.” Malin Fleen

“Absolut, om man kan låta kunder läsa denna handbok innan så tror jag dom kommer att få en bättre förståelse för processen.” Alexsander Nordvall

“Väldigt bra innehåll, täcker många av de möjligheter och komplikationer som vi upplever.”
Alexsander Nordvall

Nordvall påpekade att kontrasten hade kunnat vara bättre mellan text och bakgrund för vissa kapitel. Fleen uttryckte att exempel på utskrivna produkter kunde vara gynnsamt för att skapa en större förståelse för tids- och kostnadsaspekten för storskalig FDM i relation till design.

Handboken uppfattades generellt av inblandade i den summativa utvärderingen som lätt att ta till sig där illustrationer fungerade som ett bra stöd. Innehållet ansågs ligga på en bra kunskapsnivå för tänkt målgrupp.

Denna slutgiltiga utvärderingen ledde till att vissa begrepp samt listor, som i handboken används för att skapa en översikt, bearbetades och justerades. Vidare förtydligades även formuleringar, begrepp och listor. Utvärderingen lade även grund för tankar kring fortsatt framtida utformning av handboken.

6 Diskussion

I följande kapitel diskuteras och analyseras aspekter som på olika sätt har påverkat projektet och resultatet. Diskussionen tar även upp vilka följder det har genererat och vilka åtgärder som skulle kunna ha implementerats. Inledningsvis ställs resultatet mot funktionslistan för en analys kring uppfyllda eller ouppfyllda mål med handboken. Vidare diskuteras även utvärderingar och datainsamling samt rekommendationer för vidare arbete.

6.1 Projektets resultat och handboken

Syftet med projektet var att ta fram ett pedagogiskt stöd i form av en handbok för konstruktörer i en beslutsprocess och ett designarbete anpassat för storskalig FDM. För att säkerställa att syftet uppnåtts har både formativa och summativa utvärderingar gjorts under projektets gång. Avstämning och verifiering gentemot funktionslistan har gjorts kontinuerligt vilket har agerat som referenspunkt och stöd för att säkerställa att behoven och målen för handboken uppfylls.

Det inledande kapitlet som bland annat innefattar en processöversikt och bakgrundsfakta för AM och storskalig FDM är tänkt att ge läsaren en förståelse för tekniken. Detta gör att handboken kan ses uppfylla följande funktioner: *Introducera kring robotbaserad storskalig FDM, Erbjud kunskap inom storskalig FDM, Introducera tillverkningsmetoder inom storskalig FDM samt Erbjud processöversikt från beslut till efterbearbetning.*

Då slutprodukten har ett beslutskapitel som förbereder och vägleder användaren inför ett beslut huruvida storskalig FDM är en lämplig tillverkningsteknik för tänkt produkt anses den uppfylla funktionen *Tillhandahålla beslutsunderlag*. Detta stöds ytterligare av att belysta aspekter kring tidsåtgång, översiktliga designmöjligheter och begränsningar samt parametrar som påverkar tillverkningskostnad presenteras i detta kapitel. Den ofta felaktiga uppfattningen av storskalig FDM i industrin som initialt uppdagats under behovsidentifieringsfasen behandlas av detta kapitel genom att presentera identifierade missuppfattningar i kombination med en mer rättvisande bild. Detta gör att handboken även anses *Presentera realistisk bild av storskalig FDM*.

Genom ett gediget designkapitel som bland annat presenterar vanliga problem, information kring design för storskalig FDM, designriktlinjer, information om material och bredden av

designmöjligheter bedöms handboken även *Erbjuda designstöd, Informera kring materialaspekter, Erbjuder designriktlinjer för storskalig FDM, Tillhandahåller riktlinjer för efterbearbetning av CAD-fil, Tillhandahåller CAD-riktlinjer, Presenterar efterbearbetningsalternativ samt Belysa vanliga problem inom design och tillverkning vid storskalig FDM.*

Den summativa utvärderingen som genomfördes med RISE, The Wood Region samt BLB industries indikerade att den slutgiltiga handboken uppfyller tänkt syfte. Omfattningen och relevansen av den information som valts att presenteras i handboken togs emot positivt och indikerades hålla en bra nivå.

Att *Erbjuda verklighetsanknytning* var en av punkterna i funktionslistan för handboken vilket varit ett mål att integrera i handboken. En initial tanke var att inkludera exempel på verkliga case för att förbättra förståelsen i handboken. Detta implementerades inte i så stor utsträckning som initialt var tänkt. Den främsta anledningen till detta var svårigheter att få tag på lämpligt material. Detta material var tänkt att komma från företag och en del begränsningar kring vilken information som var möjlig att delge för publikation uppkom. Huvudanledningen var att material av denna sort ofta var sekretessbelagt samt nedprioriterat av företagskontakter. Verkliga case hade eventuellt kunnat erbjuda läsaren en bättre förståelse och en bättre verklighetsanknytning. Under slututvärderingen framkom från The Wood Region att det är genom verkliga case de introducerar kunder till storskalig FDM. Detta resulterar i att handboken inte kan anses *Erbjuda verklighetsanknytning* i så stor utsträckning som önskat och att ett bättre resultat hade kunnat uppnås om lämpligt material för detta hade varit tillgängligt. Dock uppfylls punkten att *Erbjuda verklighetsanknytning* till viss del av beslutskapitlet som presenterar en mer rättvisande bild av vanliga missuppfattningar som identifierats i industrin.

För att förtydliga vad som gäller för stora komponenter formulerades att handboken skulle *Erbjuda jämförelse mellan små och stora komponenter*. Då det under projektets gång, utifrån teori och intervjuer, ansågs svårt att särskilja med exakta värden, riktlinjer etcetera uteslöts en jämförelse. Att behandla detta område mer ingående i handboken ansågs även överflödigt då det eventuellt skulle kunna skapa ökad förvirring och fokus på fel saker. Att erbjuda en jämförelse mellan små och stora komponenter är inte heller något som efterfrågades vid utvärderingarna. Att denna initialt önskade funktion inte uppfylls ansågs därför inte ha orsakat ett sämre resultat.

En annan funktion som formulerades i början av projektet var att handboken skulle *Belysa hållbarhetsaspekter*. Detta har delvis uppfyllts genom att vissa hållbarhetsaspekter nämns i designkapitlets materialavsnitt. Det visade sig dock vara svårt att ge exakta riktlinjer kring området då materialval gör att detta varierar mycket. Hållbarhet relaterat till material kan ses som tillräckligt belyst då det kan fungera som stöd för vidare fördjupning av ämnet. Övriga hållbarhetsaspekter prioriterades inte då det inte ansågs relevant för handbokens syfte. Under intervjuer uppdagades väldigt lite information kring ämnet vilket ledde till att det inte ansågs lika relevant att ta upp i handboken som tidigare tänkt. I likhet med jämförelsen av små och stora komponenter var ett ökat fokus på detta ämne inget som efterfrågades eller påpekades vid utvärderingar. Med tanke på betydelsen av miljö och hållbarhetsfrågor i dagens samhälle anses detta dock vara ett ämne som gärna hade prioriterats i högre grad.

Då arbetet med att ta fram själva designen för handboken startades relativt sent i processen bortprioriteras en ytterligare iteration med formativ utvärdering och omarbetning av den visuella utformningen. Den utvärdering som gjordes gav dock mycket värdefull input och underlag för den fortsatta utvecklingen av designen. Respons från både formativ och summativ utvärdering indikerade en god förståelse av grafiska element och designen överlag. En positiv återkoppling kring illustrationerna mottogs när de utvärderades vid den summativa utvärderingen. De ansågs stämma väl överens med texten och agera ett bra stöd enligt deltagarna i denna avslutande utvärdering.

En ytterligare omgång av omarbetning hade kunnat säkerställa ett bättre slutgiltigt resultat. Då vissa element i designen, såsom illustrationer, var mer tidskrävande än väntat resulterade det i att de inte utvärderades. En ytterligare utvärdering som tar upp illustrationerna individuellt hade kunnat säkerställa förståelsen av dem och således gett ett ännu bättre resultat. Detta till trots visar responsen på att illustrationerna höll en god nivå.

En ytterligare utvärdering kring designen var även tänkt att inkludera frågor kring färgval. Detta var planerat att genomföras efter att konceptet för handbokens övriga visuella utformning var utvärderat och itererat. På grund av låg prioritet och svagt grundade beslut blev inte färgvalet så välmotiverat som det borde ha varit. Detta insågs framförallt i den summativa slututvärderingen där negativ respons kring bland annat kontrast och färgkombination mottogs. Fler formativa utvärderingar hade kunnat underbygga och motivera färgvalet och därmed generera ett ännu bättre resultat.

Additiv tillverkning är ett relativt komplext ämne och för att utforma en handbok om AM krävs mycket kunskap. Startsträckan för projektet blev relativt lång då kunskapsnivån i projektgruppen varierade. Dessutom upplevdes vissa svårigheter med att förstå och konkretisera problembilden och syftet med handboken. Vidare resulterade den relativt långa startsträckan i en utdragen initial datainsamlingsfas. Då efterföljande arbete till stor del var baserat på denna fas ledde datainsamlingens längd till att projektets omfattning begränsades.

Förutom litteraturstudier har projektets främsta källa för datainsamling varit intervjuer med projektets samarbetspartner RISE. Informationen som erhöles från intervjuerna har ansetts vara korrekt och relevant då personerna som intervjuats varit experter inom ämnet med flera års erfarenhet. I och med att storskalig FDM än så länge är ett relativt outforskat område har en svårighet varit att bekräfta viss information som fåtts från intervjuerna.

Projektets initiala problemidentifiering gjordes för att hitta vilka faktorer som var viktiga att inkludera i handboken och för att förstå problembilden kring en process för storskalig FDM. Då RISE var en central del i projektet grundades slutsatser kring detta till stor del på intervjuerna med kontaktpersoner på RISE. Att ta kontakt med fler företag med erfarenhet av storskalig FDM i ett tidigare skede hade kunnat resultera i en mer omfattande datainsamling och problemidentifiering av storskalig FDM. Detta skulle även kunna ha styrkt trovärdigheten av identifierad information. Fler företagskontakter hade även kunnat styrka beslut som tagits under projektets gång, exempelvis vilka ämnesområden som är relevanta att inkludera i handboken.

På grund av externa omständigheter flyttades momentet att ta kontakt med fler företag framåt relativt planerad projektplan. Då vissa moment inte kunde påbörjas förrän andra var genomförda ledde det till en försening. I detta skede kunde projektplanen ha uppdaterats för att matcha projektets nya stadie, istället för att ses som en försening.

De företag som i ett senare skede kontaktades i syfte att utvärdera innehållet gav mycket värdefull feedback. Vissa åsikter och perspektiv varierade emellertid från företag till företag. Då företagen som framgångsrikt kontaktades var relativt få till antalet gav detta en värdefull men spretig bild av problem och relevant information. Även här skulle fler företagskontakter kunnat generera en mer konkret bild av relevant innehåll och pålitlig information.

Den initiala tanken var att formativ utvärdering av handbokens innehåll skulle ske successivt under projektets gång. Svårigheterna med kontakter gav upphov till att utvärderingen inte skedde som planerat utan initierades relativt sent i projektet. Om två eller flera omgångar av

utvärdering med inkluderande omarbetning skulle ha genomförts hade detta kunnat säkerställa ett bra och relevant resultat till en högre grad.

6.2 Rekommendationer

Inför ett framtida arbete skulle ett mer gediget utvärderingsarbete med flera iterationer kunnat vara fördelaktigt för att säkerställa ett mer korrekt, relevant och pedagogiskt resultat. Detta gäller designen, texten och innehållet. Det kan även rekommenderas att genomföra renodlade användartester av delar ur handboken under projektets gång för att se hur den faktiskt fungerar i en verklig situation. En djupare tillämpning av guessability samt en bredare tillämpning av de övriga aspekterna inom usability hade varit att rekommendera för att säkerställa en mer användarvänlig produkt. Även en slutgiltig validering i rätt kontext hade varit att rekommenderats för att utvärdera detta.

I ett vidare arbete med handboken hade även en idégenerering kring färgvalet samt en tillhörande utvärdering varit att rekommendera. En djupare undersökning kring mer passande färger skulle kunna ge handboken en bättre utformning baserat mer i teori men även mer passande för målgruppen.

Storskalig FDM är under ständig utveckling och kunskapen ökar konstant. Framtagen handbok är en sammanställning av dagsläget, men att skapa en informationskälla i ett föränderligt dokument såsom en hemsida eller liknande skulle kunna vara fördelaktigt då det enklare går att uppdatera kontinuerligt.

7 Slutsats

Projektets mål har varit att ta fram en handbok med syfte att stötta konstruktörer i designarbete och beslutstagande gällande storskalig FDM. Dessutom har projektet, genom arbetet med handbokens utformning, ämnat besvara rapportens frågeställning.

Rapportens första fråga efterfrågade vilken information som är relevant för en konstruktör för att kunna ta ett beslut om huruvida storskalig FDM är en lämplig tillverkningsmetod för tänkt produkt samt för att kunna utföra ett designarbete anpassat för tillverkningsmetoden. Genom litteraturstudier, intervjuer och utvärderingar har projektet tagit fram relevant fakta och, genom handbokens utformning, belyst ämnesområden gällande bland annat designriktlinjer, vanliga problem, missuppfattningar i industrin och möjligheter.

Handbokens tre kapitel för bakgrund, beslutstagande respektive design belyser den information som uppkom som relevant för att konstruktörer ska kunna ta beslut kring huruvida storskalig FDM är en passande metod för deras produkt samt utföra en mer självständig förberedelse av design som kan leda till en effektivare och mer lyckad process. Gensvar från utvärderingar visade bland annat att handboken höll en lämplig kunskapsnivå och att en klar majoritet av innehållet ansågs relevant och träffsäkert utan att missa viktiga aspekter. Därav anses handbokens tre kapitel kunna tillgodose de behov och problem som identifierades i projektet och därmed besvara frågan.

Rapportens andra fråga angående hur information ska förmedlas och presenteras till konstruktörer på ett lättillgängligt och pedagogiskt sätt har ämnats besvaras genom att belysa relevant teori och undersöka hur handboken skulle utformas. Handbokens tre kapitel ordnades enligt en konstruktörs arbetsprocess för storskalig FDM för att presentera innehållet på ett pedagogiskt sätt för målgruppen. Illustrationer, översiktliga listor, färgkodade kapitel och faktarutor har använts för att öka förståelsen av innehållet i handboken. Genom strukturerade uppslag med tydliga rubriker och ett språk anpassat för målgruppen ska informationen vara lätt att ta till sig. Baserat på de utvärderingar som gjordes av handbokens design indikerades att handboken gav en förståelig och tydlig bild av informationen som presenterades. Genom handbokens upplägg anses därför projektets andra frågeställning vara besvarad.

Genom verifiering mot funktionslistan kan även slutsatser specifikt kring den slutgiltiga handboken dras. Av de funktioner som ansågs nödvändiga att handboken skulle uppfylla

ansågs samtliga uppfyllda. Dessa var att *Tillhandahålla beslutsunderlag*, *Erbjuda designstöd*, *Informera kring materialaspekter*, *Introducera kring robotbaserad storskalig FDM*, *Erbjuda kunskap och Presentera realistisk bild*. Likaså uppfylls majoriteten av de identifierat önskvärda funktionerna. De få som inte uppfylls anses inte ha påverkat slutresultatet avsevärt negativt. Vidare mottogs en positiv respons vid den summativa utvärderingen. Detta tyder på att den slutgiltiga handboken uppfyller syftet och kan därför anses vara ett lyckat resultat.

Trots att rapportens frågeställning anses besvarad och handbokens majoritet av funktioner tillgodosedda existerar identifierade förbättringspunkter som hade kunnat styrka resultatet ytterligare. Fler företagskontakter hade kunnat ge en bredare empirisk datainsamling och därmed ett bättre underbyggt innehåll. Vidare hade fler utvärderingar av handbokens design kunnat underbygga utvecklingsprocessen och därmed genererat ett bättre visuellt resultat. Fortsättningsvis hade en validering av handboken i en verklig användarsituation kunnat styrka dess användbarhet i verkligheten och därmed även styrka resultatet ytterligare.

8 Referenser

- 3D Printing Business Directory. (2020). *THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF 3D PRINTING*. Hämtad från <https://www.3dprintingbusiness.directory/environmental-impact-3d-printing/>
- Adobe. (2020). *Illustrering i världsklass*. Hämtad från <https://www.adobe.com/se/products/illustrator.html?promoid=PGRQQFLS&mv=other>
- Adobe (2020). *Ett nytt blad i layoutdesign*. Hämtad från <https://www.adobe.com/se/products/indesign.html>
- AMFG. (2019). *10 of the biggest challenges in scaling additive manufacturing for production*. Hämtad från <https://amfg.ai/2019/10/08/10-of-the-biggest-challenges-in-scaling-additive-manufacturing-for-production-expert-roundup/?cn-reloaded=1>
- Armillotta, A., Bellotti, M., & Cavallaro, M. (2018). Warpage of FDM parts: Experimental tests and analytic model. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 50, 140-152. Hämtad från <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584517301606>
- Artley, B. (2020a). *Aerospace 3D printing applications*. Hämtad från <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/aerospace-3d-printing-applications/>
- Artley, B. (2020b). *Automotive 3D Printing applications*. Hämtad från <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/automotive-3d-printing-applications/>
- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, 60(5), 677–688. Hämtad från <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681317300897>
- Balogun, V. A., Kirkwood, N. D., Mativenga, P. T. (2014). Direct electrical energy demand in fused deposition modelling. *Procedia CIRP*, 15, 38–43. Hämtad från <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114004521>
- Barnett, R. (2008). *Practical Playscript: Writing procedure manuals that people can use*. Belconnen: Robert Barnett and Associates Pty Ltd
- Bligård, L. O. (2011). *Utvecklingsprocessen ur ett människa-maskinperspektiv*. Hämtad från <https://research.chalmers.se/publication/227866>

- Bohgard, M., Osvalder, A.L., Karlsson, S., Loven, E., Mikaelsson, L.Å., Mårtensson, L., Rose, L. & Ulfvengren, P. (2011). *Arbete och teknik på människans villkor*. Stockholm: Danagård Litho
- Cain, P (2020a). *Support in 3D printing: A technology overview*. Hämtad från <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/supports-3d-printing-technology-overview/>
- Cain, P. (2020b). *The impact of layer height on a 3D print*. Hämtad från <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/impact-layer-height-3d-print/>
- Coates, K., & Ellison, A. (2014). *An Introduction to Informative Design*. London: Laurence King Publishing Ltd
- Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573–1587
- Giang, K. (2020). *3D printing STL files: A step-by-step guide*. Hämtad från <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-stl-files-step-step-guide/#intro>
- Institutionen för språk och folkminnen. (2019). *Klarspråk: Att skriva klarspråk*. Hämtad från <http://www.isof.se/sprak/klarsprak/att-skriva-klarsprak.html>
- International Organization for Standardization. ISO 9241-11:2018(en). Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts. Geneva: ISO. Hämtad från <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-2:v1:en>
- Jordan, P. W. (1998). *An Introduction to Usability*. London: Taylor & Francis Ltd
- Lipton, R. (2007). *The Practical guide to Information Design*. Hoboken: John Wiley & Sons. Inc.
- Linköpings Universitet. (u.å.). *Struktur- och topologioptimering*. Hämtad från <https://liu.se/forskning/struktur-och-topologioptimering>
- Liu, J. (2016). *Guidelines for AM part consolidation*. Hämtad från <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17452759.2016.1175154>
- Morton, J. (1997). *A guide to color symbolism* (Vol. 28). Stockholm: Colorcom.
- Novus Group. (2019). *Djupintervjuer*. Hämtad från <https://novus.se/metoder/kvalitativa-metoder/djupintervjuer/>

- Nationalencyklopedin. (u.å.). *Anisotropi*. Hämtad från <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/anisotropi>
- Näpärä, L. (2019). *Intervjutyper*. Hämtad från <https://www.spokencompany.se/intervjutyper/>
- Persson, A., & Johansson, R. (Red.) (2014). *Vetenskapliga perspektiv på lärande, undervisning och utbildning i olika institutionella sammanhang: utbildningsvetenskaplig forskning vid Lunds universitet*. Hämtad från [https://portal.research.lu.se/portal/en/publications/vetenskapliga-perspektiv-paa-larande-undervisning-och-utbildning-i-olika-institutionella-sammanhang--utbildningsvetenskaplig-forskning-vid-lunds-universitet\(9bd3c34c-774f-4f43-a72e-3f042eedda54\)/publications.html](https://portal.research.lu.se/portal/en/publications/vetenskapliga-perspektiv-paa-larande-undervisning-och-utbildning-i-olika-institutionella-sammanhang--utbildningsvetenskaplig-forskning-vid-lunds-universitet(9bd3c34c-774f-4f43-a72e-3f042eedda54)/publications.html)
- Redwood, B., Schöffner, F., & Garret, B. (2017). *The 3D Printing Handbook*. Amsterdam: 3D Hubs B.V.
- Redwood, B. (2020a). *The advantages of 3D printing*. Hämtad från <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/advantages-3d-printing/>
- Redwood, B. (2020b). *Medical 3D printing applications*. Hämtad från <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/medical-3d-printing-applications/>
- Research Institutes of Sweden. (u.å.). *3D-printing viktig del i industrins digitalisering*. Hämtad från <https://www.ri.se/sv/berattelser/3d-printing-viktig-del-i-industrins-digitalisering>
- Schmutzler, C., Zimmermann, A., & Zaeh, M. F. (2016). Compensating warpage of 3D printed parts using free-form deformation. *Procedia CIRP*, 41, 1017–1022. Hämtad från <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115011579>
- Simon, T. R., Lee, W. J., Spurgeon, B. E., Boor, B. E., & Zhao, F. (2018). An experimental study on the energy consumption and emission profile of fused deposition modeling process. *Procedia Manufacturing*, 26, 920-928. Hämtad från <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918307959>
- Simplify3D. (2020). *Ultimate 3D Printing Materials Guide*. Hämtad från <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/>
- Sher, D. (2020). *Global additive manufacturing market 2019 worth over 10 billion dollars*. Hämtad från <https://www.3dprintingmedia.network/the-additive-manufacturing-market-2019/>
- Song, R., Telenko, C., & Woodruff, G. (2016). Material waste of commercial FDM printers under realistic conditions. I *Solid Freeform Fabrication 2016: Proceedings of the 26th Annual*

- International Solid Freeform Fabrication 2016: Proceedings of the 27th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium—An Additive Manufacturing Conference*, 1217-1229. Hämtad från <https://sffsymposium.engr.utexas.edu/sites/default/files/2016/099-Song.pdf>
- Statista. (2018). *Worldwide most used 3D printing technologies*. Hämtad från <https://www.statista.com/statistics/756690/worldwide-most-used-3d-printing-technologies/>
- The Welding Institute. (u.å.). *What are the Advantages and Disadvantages of 3D Printing?*. Hämtad från <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-3d-printing/pros-and-cons>
- The Welding Institute. (2020). *What is Rapid Prototyping? - Definition, Methods and Advantages*. Hämtad från <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-manufacturing-what-is-rapid-prototyping>
- Thompson, M. K., Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, R. I., Gibson, I., ... & Martina, F. (2016). Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints. *CIRP annals*, 65(2), 737–760
- Tonnquist, B. (2019). *Projektleddning*. Stockholm: Sanoma utbildning.
- Varotsis, A. B. (2018). *Introduction to FDM 3D printing*. Hämtad från <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/>
- Walden University. (2020). *Scholarly Voice: Audience*. Hämtad från <https://academicguides.waldenu.edu/writingcenter/scholarlyvoice/audience>
- Wikberg-Nilsson, Å., Ericson, Å., & Törlind, P. (2015). *Design: process och metod*. Lund: Studentlitteratur AB
- Zindani, D., & Kumar, K. (2019). An Insight into Additive Manufacturing of Fiber Reinforced Polymer Composite. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 2(4), 267-278. Hämtad från <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2588840419300460>

9 Bilagor

Bilaga 1 – Intervjumall RISE 1

Mötesunderlag för RISE 1

Frågor:

1. Vad har ni för mål med handboken? Vad ser ni för resultat framför er?
2. Hur mycket tid kan ni lägga på detta samarbete?
3. Allmänt vad är det ni/industrin söker, hade velat ha? Vad är RISE mål?
4. Vad är det största problemet med att printa stora detaljer? Hur skiljer det sig små detaljer?
5. Vill ni att vi bara fokuserar på den “stora” printern?
6. Hur stor erfarenhet har ni av annan utskrift än med ABB-roboten?
7. Vilken storlek är vanligast att skriva ut? (Sätta tydligt volymspann)
8. Vilka material är vanligast? Intressanta?
9. Allmänt kring projektet som pågått de senaste 3 åren
10. Hur långt har de kommit med vinklade utskrifter. Är det redo att tillämpa i stort?
11. Hur mycket skiljer sig ABB-roboten från utskrift i metall och processen kring det?
12. Fråga om casen som han pratade om, ev kunder och företag som är aktuella för oss att kontakta.
13. Kontakter/kunder från Emil. Vad vill dem ha? Hur kunniga är dem? Inom vad?

14. Varför använder man inte AM just nu även om det finns så mycket möjligheter.
Riskerna? Vad finns det för problem? Vad är det som inte funkar? Varför funkar/funkar inte?

Bilaga 2 – Intervjumall RISE 2

Mötesunderlag för RISE 2

Frågor:

1. Vad finns det för problem? Vad är det som inte funkat? Varför funkar/funkar inte?
 - a. Vad är det som tar onödigt mycket tid
2. Vad för problem stöter era samarbetspartners på?
3. Hur många företag har ni samarbetat med under projektets gång? Innan? Just nu? Vilka?
 - a. Vad har de gjort?
 - b. Hur kommer ni i kontakt med samarbetspartners
4. För vilka är det intressant och lönsamt att använda sig av AM?
 - a. Vad har ni märkt för trender?
5. Exakt hur ser ledtiden ut för er, processens tid och gång? Bättre beskrivning och tydlig bild av hur det faktiskt går till.
 - a. Hur långt i processen brukar företagen ha kommit när de kommer till RISE?
 - b. I vilket skede brukar de ni samarbetar med kunna ta beslutet att det är denna tillverkningsmetod de ska köra på?
 - c. Brukar CAD-filen vara klar när företag kommer till RISE?
 - d. Presentera våra tre delar och fråga om det finns ett behov här (specifikt tillverkning)?
6. Olinjära lager
 - a. Är det något ni använder?
 - b. Jobbar de med det?
 - c. Vinklade lager
7. Hur ska designriktlinjer för större komponenter anpassas?
 - a. Kan ni bistå med fakta kring designriktlinjer?
 - b. Hur djupgående bör vi lägga nivån på för designriktlinjer?

- c. Likheter och skillnader små och stora delar.
 - d. Varför är en avfasning fördelaktigt mot en radie vid hörnet mot byggplattan?
8. Hur specifik blir processen med just robottekniken? Hur allmänt kan man hålla det?
9. Har ni en egen programvara för printern, hur arbetar ni med den?
10. Vilka material har ni printat med?
- a. Vilka brukar ni printa med?
 - b. Återanvänds materialet? Använder ni återanvänt?
11. Hur långt har ni kommit med tekniken att printa sneda lager?

Övrigt

1. Teknikfrågor
- a. Toleranser: allmänt och med tanke på hoppresning
 - b. fler lager = högre eller lägre hållfasthet?

Mötesunderlag för RISE 2 forts.

1. Hur fungerar det med vidhäftning mellan lager när ett lager får stelna helt innan nästa lager läggs till? Som när man printar flera delar samtidigt.
2. Hur fungerar avtagning från byggplatta i dagsläget?
3. Maxvinkel: kan man skriva ut en detalj med vinkel 60 grader? Från vad mäter man denna vinkel?
4. Hur fungerar plasttorkning innan print?
5. Fråga ytterligare kring hållfasthet (90% av nominellt värde)?
6. Är det ett problem att värme ansamlas pga infill?
7. Komposit: Vanlig andel fibrer i materialet? 10-20 % eller över 50%?
8. Förvridning (vad leder krympningen till)?

9. Är det möjligt att designa bort problem med förvridning och krympning?
10. Radie vs avfasning mot bottenplattan?
11. Siffror för överbryggning, går det att säga ett maxavstånd?
12. Är väggen alltid bara en strängtjocklek? Finns det risker med mer?
13. Pausar extrudern och gör lager för lager så det blir en skarv? Eller skrivs allt i ett stycke?

Bilaga 3 – Intervjumall innehåll

Intro:

Kandidatarbete tillsammans med RISE.

Fråga om inspelning

Innehållsförteckning

Vad tycker du om handbokens upplägg?

Tycker du att upplägget representerar processen på ett bra och relevant sätt? Och varför?

Hur upplever du ordningen på upplägget?

Känns innehållet relevant? Och varför?

Tycker du någon del eller information saknas som borde tas med?

Tycker du att något känns överflödigt?

Övriga frågor

Har ni några exempel ni kan dela med er av? Vad passar och vad passar inte? CASE

When is it suitable

Complex, organic shapes

Parametrization

Low volume production

Design optimization and rapid prototyping

Layered texture

As a component in a larger context

Part Consolidation

Designriktlinjer: Vilka har ni bra koll på? Vilka brukar ni ta hänsyn till?

Överhäng (maxvinkel)

Överbrygning mellan två punkter på utskriften

Sneda lager

Stora platta ytor, dvs toppytor

Hål (orientering, radie, djup)

Väggjocklek/Godstjocklek (alltid bara en strängtjocklek?)

Infill (använder ni detta?)

Supports

Minimiradie (+ ev minimum feature)

Aspect ratio (förhållande mellan höjd och tvärsnitt)

Fasning/radie i botten

CAD-riktlinjer, (topologioptimering, parameterisering)

Toleranser

Vilka vanliga problem stöter ni på?

Krympning, Förvridning , Kollapsande överhäng, Vidhäftning mellan lager?

Material och hållfasthet

Vad tänkte ni på när ni valde material? Använder ni olika material?

Vad tänker ni på när ni väljer slags fiber och mängd. Vad för olika egenskaper har de.

Hur har ni undersökt styrkan på komponenten om ni har gjort det. Vad påverkar styrkan och hållfastheten mest?

Vad tänker ni på när ni bestämmer modellens orientering vid utskrift? (minimera toppytor, lagerriktning, bottenytans släthet osv)

Efterbearbetning:

Bilder: Tacksamma för alla slags bilder ni kan dela med er av. Kan ex vara maskinen och defekta prints

Bilaga 4 – Intervjufrågor design

Frågeformulär

BILD 1

Tack så mycket för att du vill vara med i den här utvärderingen. Detta är som sagt en del av vårt kandidatarbete där vi arbetar med att ta fram en handbok för 3D-printing av stora komponenter med en industrirobotbaserad FDM-maskin. FDM är då den “klassiska” extruderingsmetoden av 3D-printing. Handboken ska tillhandahålla beslutsunderlag och riktlinjer för om och hur du som konstruktör ska designa produkter för denna tillverkningsteknik.

BILD 2

Vi kommer idag utvärdera designen på handboken och kommer guida dig igenom detta via denna skärmdelade presentation.

Texterna som ses på de olika förslagen är allt som oftast bara utfyllnadstext och dess innehåll är inte relevant.

Det är viktigt att poängtera att det är vår design vi utvärderar och inte dig.

Vi uppmuntrar att du tänker högt så att vi kan följa din tankegång så bra som möjligt.

Vi kommer börja med några snabba frågor om dig och sedan presentera två utkast på vår design, ett i taget och ställa lite frågor kring dem. I slutet kommer vi jämföra delar av dem och fråga lite kring det. Handboken kommer vara i A5-format men på grund av tekniska hinder så kan vi inte anpassa så att alla testpersoner ser dem i rätt skala, men vi ber dig att ha detta i åtanke under testet.

BILD 3

1. Allmänt om testpersonen

- a. Hur mycket vet du om 3D-printing sedan tidigare?
- b. Hur stor skärm ser du detta på? Kalibrering
- c. Vad har du för erfarenhet inom design utöver TD?
- d. Hur brukar du ta in fakta på bästa sätt, brukar du föredra att läsa?

BILD 4

Nu kommer vi visa delar från koncept A och ställa lite frågor kring det.

2. Koncept A

BILD 5

2.1 Kapitelframsida

- a. Vad tror du att detta är för slags sidor?

BILD 6

- b. Vad tror du att denna komponent berättar för dig? (Rektangel kring innehållsförteckningen)

BILD 7

- c. Vad förväntar du dig att se om du skulle vända blad härifrån?

BILD 8

2.2 Textsida

Här är ett exempel på hur en vanlig textsida skulle kunna se ut i detta koncept.

- a. Vad är dina första intryck av detta uppslag?
- b. Vilket kapitel tror du att du är på?
- c. Hur långt har du kommit i detta kapitel?

BILD 9

- d. Vad tror du dessa pluppar fyller för funktion?

BILD 10

Detta är ett annat exempel på hur ett textuppslag för detta koncept skulle kunna se ut.

BILD 11

2.3 Checklistor och inforutor

- a. Varför tror du att den här texten har placerats i en ruta istället för att bara stå i spalttexten som resten? **BILD 12**
- b. Vad tycker du om det här sättet att presentera information?

BILD 13

Här till höger ser vi ett ytterligare sätt att placera den här typen av ruta.

- c. Är det någon av dem som du föredrar och varför?

3. Koncept B

BILD 14

Nu kommer vi visa delar från koncept A och ställa lite frågor kring det.

BILD 15

3.1 Kapitelframsida

- a. Vad tror du att detta uppslag är för slags sidor?

BILD 16

- b. Vad tror du att denna komponent berättar för dig?
- c. Vad tror du siffrorna står för?

BILD 17

- d. Hur många kapitel tror du boken har?
- e. Hur stor del av boken tror du detta kapitel utgör? Grovt uppskattat

BILD 18

3.2 Textsida

Här är ett exempel på hur en vanlig textsida skulle kunna se ut i detta koncept.

- f. Vad är dina första intryck av detta uppslag?
- g. Vilket kapitel tror du att du är på?
- h. Hur långt har du kommit i detta kapitel?

BILD 19

Detta är ett annat exempel på hur ett textuppslag skulle kunna se ut.

BILD 20

3.3 Checklistor och inforutor

- a. Varför tror du att den här texten har placerats i en ruta istället för att bara stå i spalttexten som resten? **BILD 21**

BILD 22

Här ser vi ytterligare två sätt att placera den här typen av ruta.

- b. Är det någon av dem som du föredrar och varför?

4. Koncept A vs B - Semantiska ordskalor

BILD 23

Nu ska vi kolla på 4 olika varianter av kapitelframsidorna som vi visade i början för varje koncept.

BILD 24

- a. Vilken av dessa fyra tycker du bäst om?

BILD 25

- b. Här ser vi koncept A och Bs textlayouts bredvid varann. Om detta var en bok du var tvungen att läsa i en kurs eller liknande, vilken hade du föredragit att läsa och varför?

BILD 26

Här ser vi koncept A och Bs textlayouts med textrutor bredvid varann,

- c. Vilken färg tycker du rutorna ska vara?

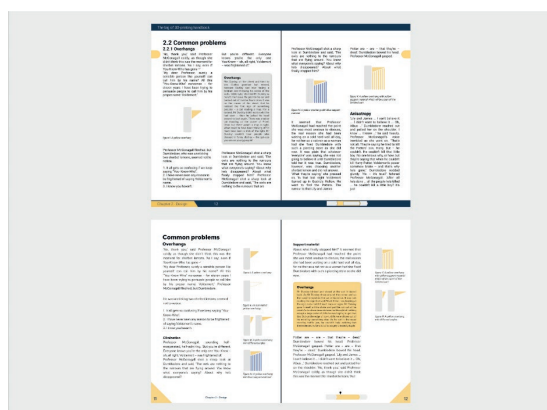
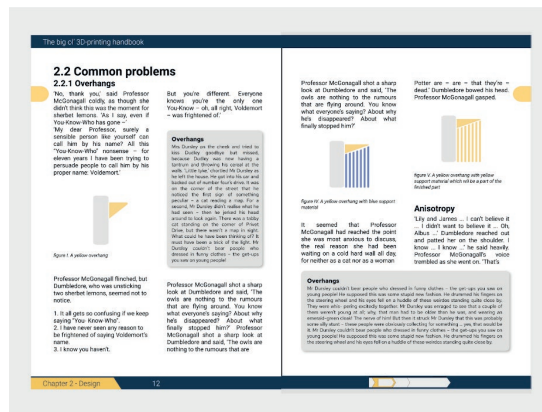
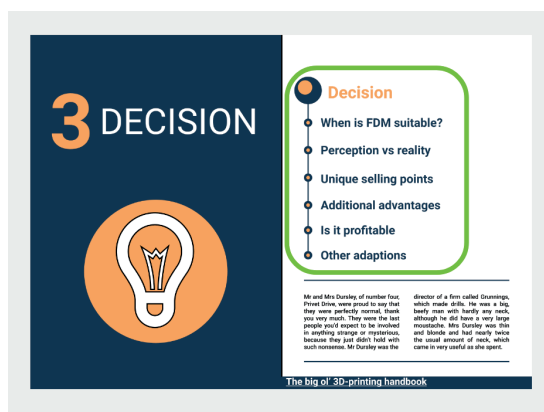
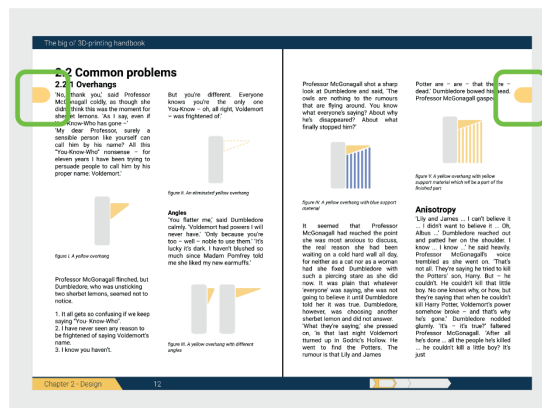
Så, då var vi klara med alla våra frågor. Har du några tankar eller funderingar?

Annars, tack så jättemycket för din medverkan!

Bilaga 5 – Designpowerpoint, urval

Kandidatarbete

Handbok för 3D-printing av stora komponenter





Bilaga 6 – Formulär, summativ utvärdering

Summativ utvärdering

Vad anser du om helhetsupplägget? Spontana kommentarer kring helheten.

Utifrån syftet med handboken (att vara ett stöd för konstruktörer som beslutsunderlag och vid designarbete för storskalig additiv tillverkning), ser ni detta som ett möjligt verktyg? Om inte, vad anser du hade behövts? Vad hade det behövts mer av?

Tror du att de som kommer till er kommer vara mer förberedda efter att ha läst denna handbok (Hur förberedda på en skala 1–10)?

Vad hade kunnat utvecklas?

Vad har du för tankar kring innehållet?

Hur upplevde du läsningen?

Vad har du för tankar kring designen och de grafiska elementen?

På en skala 1–10 hur _____ tycker du att helheten av handboken är?

Ex: På en skala 1–10 hur professionell tycker du att handboken är?

Professionell:

Inspirerande:

Lättolkad/lättförstådd:

Strukturerad

Logisk:

Bilaga 7 – Nio koncept

intro BESLUT DESIGN TILLVERKNING (med allt inbakat i en häft)	INTRO - beslut - case HÅLLBARHET DESIGN TILLVERKNING END OF LIFE (pågående case)	BESLUT ÖVERSIKT/INTRO DESIGN TILLVERKNING EFTERBEARBETNING (häft som inbakat)	INTRO/ÖVERSIKT BESLUT - ja/nej - metod - material DESIGN + CAD EFTERBEARB. ÄTTERANV. MATERIAL MILJÖ	INTRO BESLUT - hållb. - miljö DESIGN - metoder → guidelines - material - CAD - häft TILLVERKNING - CAD - material - häft (material & häft gö genom alla)
INTRO BESLUT DESIGN TILLVERKN. MATERIAL EFTERARB. MILJÖ/HÅLLB. OROLISTA (tidslinje först/slut)	ÖVERSIKT BESLUT DESIGN TILLVERKN. (case följer med, visuellt presenterar)	INTRO/ÖVERSIKT CASE (kort) BESLUT - material hållb. CAD/DESIGN MATERIAL HÄFT TILLVERKNING EFTERBEARB. Skopplinge/linnads underbiter (case längs hela designdelen)	INTRO/ÖVERSIKT FIM + kort BESLUT HÅLLBARHET DESIGN TILLVERKNING - mat - häft - efterbearb. - metoder CASE som sammanf.	TÄNKAN - ärenden → koppla till olika delar, ex. mata - snuggighet, vänder, påstått - MELKEB - case i slutet - hus ex, lott ex och bygga upp och följa upp genom tiden - inledande / Så här ser ut hela case

Bilaga 8 – Innehållsförteckning konstruktörens tidslinje

Summary	4
Introduction and how to use this handbook	4
What is additive manufacturing	4
Additive Manufacturing	4
A brief history of AM and FDM	4
How does large scale FDM work	5
An overview of the large scale FDM process	5
Is large scale FDM suitable for you?	7
Introduction to the chapter	7
When is FDM suitable?	7
Perception vs reality	7
Unique selling points	8
Parameterization	8
Compare design options	8
Form freedom	8
Additional advantages	8
Topology Optimization	8
Lead times	8
The first one will never succeed	9
Design	10
Design process decision checklist	10
Introduction	10
Dividing the CAD model into several smaller components	10
Common design considerations	10
Overhangs and support material	10

Built-in support structures to eliminate the need for support removal	11
Anisotropy	11
Infill	11
Some of the most common patterns in use today are: [common infill patterns]	12
Nozzle size and wall thickness	12
Layer height and the staircase effect	12
Top surfaces	13
Angled layers	13
Sharp corners	13
Common problems	13
Shrinkage	13
Warping	14
Overhang	14
Layer Adhesion	14
Material	15
Overview and background	15
Material selection	15
Material properties	16
How to affect mechanical properties	17
Anisotropy	17
Layer Adhesion	17
Design guidelines	
Overhang (maximum angle)	18
Bridging	18
Angled layers	18
Top surfaces	18
Holes (orientering, radie, djup)	18
Vägg tjocklek/Godstjocklek (alltid bara en strängtjocklek?)	18

Infill	18
Supports	18
Minimum ratio	18
Aspect ratio (förhållande mellan höjd och tvärsnitt)	18
Fasning/radie i botten	18
CAD guidelines, (topologioptimering, parametrisering)	18
Toleranser	18
Post Processing of the CAD model	18
Expectations on CAD model	18
Further steps to take	18
Slicer Software	18
Orientation of the model on the print bed	19
The use of infill	19
Post processing of printed part	19
Surface	19
Support Structure Removal	19
Mechanically	20
Solvent	20
Gaps	20
Assembly	20
Finishing text	21
Register	21



CHALMERS