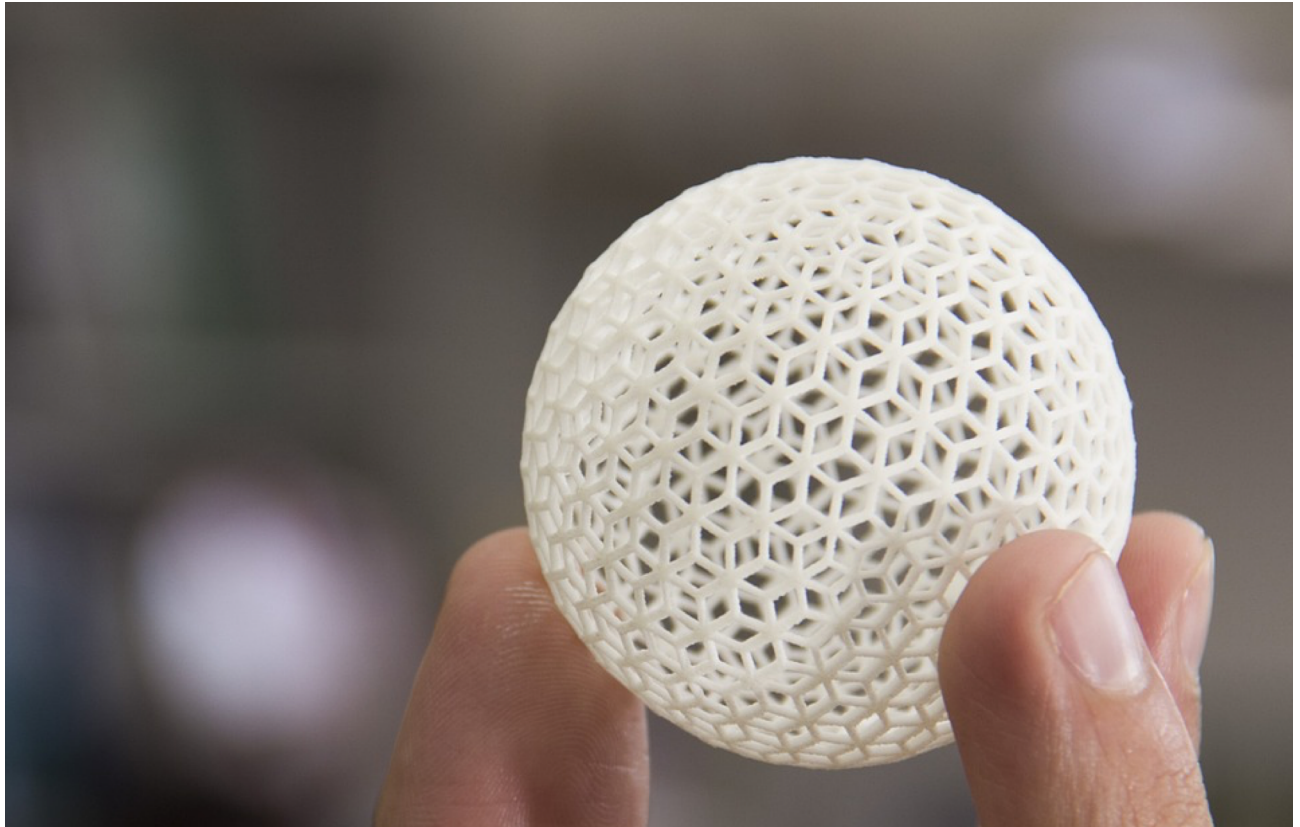




CHALMERS



Nuläge och framtidsutsikter för additiv tillverkning

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet

KIM ALM
LUDVIG ANDERSSON
JACOB BERGQVIST
JONATHAN FAGER
NAVID GORDANI
OSAMA NADUM

Nuläge och framtidsutsikter för additiv tillverkning

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet

KIM ALM
LUDVIG ANDERSSON
JACOB BERGQVIST
JONATHAN FAGER
NAVID GORDANI
OSAMA NADUM

Nuläge och framtidsutsikter för additiv tillverkning

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet

KIM ALM

LUDVIG ANDERSSON

JACOB BERGQVIST

JONATHAN FAGER

NAVID GORDANI

OSAMA NADUM

© KIM ALM, LUDVIG ANDERSSON, JACOB BERGQVIST, JONATHAN FAGER,
NAVID GORDANI, OSAMA NADUM, 2016.

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon +46 (0)31-772 1000

Omslag:

[3D-utskriften boll, från CC0]

Göteborg, Sverige 2016

Nuläge och framtidsutsikter för additiv tillverkning
KIM ALM
LUDVIG ANDERSSON
JACOB BERGQVIST
JONATHAN FAGER
NAVID GORDANI
OSAMA NADUM
Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Abstract

The purpose of this report is to investigate the uses and applications of additive manufacturing in Sweden. The research was performed by gathering information from scientific literature, interviews and a survey to identify the purpose of additive manufacturing in the Swedish industry and outline the manufacturing processes that have been replaced and/or complemented by the introduction of additive manufacturing. The report also intends to determine the prospects of additive manufacturing in Sweden, and finally address to what extent the introduction of additive manufacturing has already affected product development and production.

The report distinguishes three areas of application for additive manufacturing, Rapid Prototyping (RP), for producing prototypes for visual aid, functional test or similar; Rapid Tooling (RT) for producing fixtures, jigs, drill guides, custom tools and similar products and lastly Direct Digital Manufacturing (DDM) for production of finished products or production components. The goal of this thesis is to provide the reader with an adequate understanding of the present situation of additive manufacturing in the context of Swedish industry and to determine the obstacles to further development.

The report shows that Fused Deposition Modeling (FDM), Selective Laser Sintering (SLS) and Stereolithography (SLA) are the most commonly used techniques in Sweden with polymers being the material of choice. Additive manufacturing in Sweden is mostly used for RP with positive trends for RT and DDM. Additive manufacturing is seen as a complementary technology rather than a replacement technology. Sweden is lagging behind other countries in the Nordic region and Western Europe in terms of the use of additive manufacturing. Recently efforts have been made in education to close this gap.

The report concludes that the adoption of additive manufacturing in Sweden has caused reduced lead times in production and shortened development cycles by allowing faster iterations. By studying business cases from other countries and increasing education the adoption of additive manufacturing is expected to expand in Sweden.

The report is written in Swedish.

Sammandrag

Syftet med denna rapport är att undersöka användningsområden och tillämpningar av additiv tillverkning i Sverige. Rapporten baseras på information från den vetenskapliga litteraturen, intervjuer och en enkätstudie för att identifiera användningsområden och tillämpningar av additiv tillverkning i den svenska industrin och redogöra för de tillverkningsprocesser som har ersatts och/eller kompletterats genom införandet av additiv tillverkning. Rapporten ämnar också att identifiera framtida möjligheter för additiv tillverkning i Sverige, och slutligen behandla i vilken utsträckning införandet av additiv tillverkning redan påverkat produktutveckling och produktion.

Rapporten särskiljer tre tillämpningsområden för additiv tillverkning, Rapid Prototyping (RP), för framställning av prototyper som visuella hjälpmedel, funktionstest eller liknande; Rapid Tooling (RT) för att producera fixturer, jigg, borrguider, anpassade verktyg och dylikt och slutligen Direct Digital Manufacturing (DDM) för produktion av färdiga produkter eller produktionskomponenter. Målet med denna rapport är att ge läsaren adekvat förståelse av den nuvarande situationen för additiv tillverkning i det svenska näringslivet och identifiera hinder för fortsatt utveckling.

Rapporten visar att Fused Deposition Modeling (FDM), Selective Laser Sintring (SLS) och Stereolitografi (SLA) är de vanligaste teknikerna i Sverige och polymerer det vanligaste materialvalet. Additiv tillverkning i Sverige används oftast för RP med positiva trender mot RT och DDM. Additiv tillverkning ses som en kompletterande teknik snarare än en ersättningsteknik. Sverige ligger efter andra länder i Norden och Västeuropa vad gäller användning av additiv tillverkning, dock har nya initiativ tagits inom utbildning för att fylla denna lucka.

I rapporten dras slutsatsen att införandet av additiv tillverkning i Sverige har lett till minskade ledtider i produktion och kortare produktutvecklingscykler genom att möjliggöra snabbare iterationer. Genom att studera fallstudier från andra länder och ökade utbildningsinsatser förväntas användningen av additiv tillverkning att expandera i Sverige.

Förord

Den här rapporten redovisar ett kandidatarbete som genomfördes av sex studenter från Chalmers tekniska högskola under det tredje året av deras studier. Arbetet genomfördes på våren år 2016 och tillkom från ett intresse av en professor på Chalmers. Arbetets huvudtitel var ursprungligen ”3D printing – nuläget i svensk verkstadsindustri” och målet var att kartlägga nuläget vad gäller 3D printing i svensk verkstadsindustri.

Rapporten utgick från att hämta information från svenska industriföretag med hjälp av studiebesök, intervjuer och enkäter. De företag som valt att ställa upp på en intervju eller ett studiebesök har varit till mycket god hjälp och svarat utförligt på våra frågor. De företag som ställt upp på ett studiebesök alternativt intervju är följande:

- Addema
- Arcam
- Creative Tools
- Ikea
- PLM Groups
- Protech
- Prototal
- Solid Engineer
- Värnamo Modell AB

Utöver de företagen har även två personer varit till stor hjälp under arbetets gång och som har hjälpt till samt gett tips och råd: vår handledare professor Johan Malmqvist och vår examinerator universitetslektor Andreas Dagman, båda från institutionen för Produkt- och produktionsutveckling vid Chalmers tekniska högskola.

Innehåll

1	Inledning	2
1.1	Bakgrund	2
1.2	Syfte	2
1.3	Problemanalys	3
1.4	Frågeställningar	3
1.5	Avgränsningar	4
1.6	Rapportens upplägg	4
2	Metod	6
2.1	Litteraturstudier	6
2.1.1	Sökord	6
2.2	Studiebesök	6
2.3	Intervjuer	7
2.4	Enkätstudier	8
2.5	Sampling och urval	8
2.6	Metodsammanfattning	9
3	Litteratur	10
3.1	Hur hänger de olika termerna samman?	10
3.1.1	Additiv tillverkning (AM)	10
3.1.2	Rapid Prototyping (RP)	11
3.1.3	Rapid Tooling (RT)	11
3.1.4	Direct Digital Manufacturing (DDM)	11
3.2	Olika tillverkningsteknologier	12
3.2.1	Stereolithography (SLA)	12
3.2.2	Digital Light Processing (DLP)	13

3.2.3	Fused Deposition Modeling (FDM)	13
3.2.4	Selective Laser Sintering (SLS)	14
3.2.5	Selective Laser Melting (SLM)	14
3.2.6	Electron Beam Melting (EBM)	15
3.2.7	Laminated Object Manufacturing (LOM)	15
3.3	De vanligaste materialen för additiv tillverkning	16
3.3.1	Metaller	16
3.3.2	Keramer	16
3.3.3	Polymerer	16
3.4	Litteraturstudie	17
3.4.1	Användning av AM: Material och Teknik	17
3.4.2	Nuläget för AM i Sverige	18
3.4.3	Effekterna av AM på industrin	19
3.4.4	Potential och framtida möjligheter	20
3.4.5	Sammanfattning	21
4	Resultat	22
4.1	Studiebesök och intervjuer	22
4.1.1	Sammanfattning från studiebesök och intervjuer	22
4.1.2	Tabelldata från studiebesök och intervjuer	23
4.2	Enkätundersökning	28
4.2.1	Resultat från alternativfrågor	28
4.2.2	Resultat från fritextfrågor	32
5	Diskussion	34
5.1	Svar på frågeställningar	34
5.1.1	Vilken utrustning används inom AM?	34
5.1.2	Vilket syfte fyller AM för företaget?	35

5.1.3	Vilka processer ersätts och/eller kompletteras med AM?	36
5.1.4	Vilka effekter har AM haft på produktutveckling och produktion? .	37
5.1.5	Hur kommer AM se ut i framtiden i den svenska industrin?	37
5.1.6	Investeringar inom AM	38
5.1.7	Utbildning	38
5.1.8	Arbetsliv	38
5.2	Validitet	39
6	Slutsats/Rekommendationer	40
6.1	Slutsatser	40
6.2	Rekommendationer till framtida forskning	41
6.2.1	Fallstudier från näringslivet	41
6.2.2	Utbildningsstudie	41
6.2.3	Är AM verkligen en disruptiv teknologi?	41
6.2.4	Miljöpåverkan	42
6.3	Rekommendationer till framtida utveckling	42
6.3.1	Starkare material	42
6.3.2	Bättre smälta	42
6.3.3	Snabbare utskrift	42
6.3.4	Större byggvolym	43
6.3.5	Återanvändning av material	43
6.3.6	Högre grad av automatisering	43
	Referenser	44
	Appendix	48
	A: Intervjumall	48
	B: Enkätundersökning	52

1 Inledning

Additiva tillverkningsmetoder är i ständig utveckling och allt fler företag och privatpersoner väljer att införskaffa maskiner som tillämpar additiv tillverkning (AM), i dagligt tal kallade 3D-skrivare. Med hjälp av en digital 3D-modell och en 3D-skrivare är det relativt enkelt att skapa en fysisk produkt. Men hur etablerade är de additiva tillverkningsmetoderna i svenska industrin? Syftet med denna rapport är att ge läsaren en bättre insikt i vilka additiva tillverkningsmetoder som företag inom svensk industri tillämpar och vilka syften additiv tillverkning fyller för företagen. Rapporten kommer även att förklara vilka effekter införandet av denna teknik givit för företagen samt vilka framtidsutsikter additiv tillverkning förutsägs ha.

1.1 Bakgrund

Additiv tillverkning är en tillverkningsteknologi där produkter och komponenter tillverkas i en adderande process från en digital 3D-modell, uppdelad i många 2D-projektioner. Dessa projektioner formas sedan av maskiner i sekvens för att slutligen avspegla den digitala 3D-modellen, dvs. produkterna tillverkas lager för lager tills produkten är färdigbyggd. Dagens teknik tillåter en upplösning kring 20 μm , där upplösning syftar på 2D-projektionens faktiska tjocklek [1]. Med högre upplösning tillåts högre detaljrikedom. Additiv tillverkning skiljer sig därigenom fundamentalt från traditionella tillverkningstekniker som bygger på skärande respektive plastisk bearbetning eller gjutning.

Additiv tillverkning har varit på frammarsch sedan 1980 [2] och har i dagsläget nått en teknisk kapacitet där den konkurrerar med traditionella tillverkningstekniker och tillåter produkter med former och egenskaper som tidigare varit omöjliga med dessa [3]. Det finns en mängd fördelar med att använda additiv tillverkning. En av dessa är snabbare iterationer i produktutvecklingscykeln, med kortare time to market (TTM) och lägre utvecklingskostnader som möjliga resultat, men också möjlighet till kundanpassning av produkter utan att förlänga led- och tillverkningstider motsvarande de inom traditionell tillverkningsteknik. Det är alltså möjligt att på betydligt kortare tid producera till exempel en prototyp eller en produkt som är specialanpassad efter kundens önskemål [4].

Den långa operationstiden vid AM kan vara missvisande jämfört med operationstider för till exempel fräsning, där processen är autonom och ofta kan vara oövervakad. Detta medför att maskinutnyttjandegraden kan vara hög och en process kan startas vid arbetsdagens slut, för att ha en produkt klar på morgonen dagen efter. Materialegenskaper för produkter tillverkade med additiv tillverkning kan skilja sig mot traditionellt tillverkade produkter. Då AM bygger på att lager efter lager byggs upp, finns belegg för att produkterna kan ha lägre grad av interna spänningar än traditionellt tillverkade produkter [5].

1.2 Syfte

Rapporten syftar till att undersöka användningsområden för additiv tillverkning inom den svenska verkstadsindustrin samt att undersöka skillnader mellan tekniker, maskiner

och material för additiv tillverkning gällande Rapid Prototyping (RP), Rapid Tooling (RT) och Direct Digital Manufacturing (DDM). Vidare syftar rapporten till att studera utvecklingen, etableringen och framtidsutsikter av additiv tillverkning och produkter producerade genom additiv tillverkning genom enkätstudier, intervjuer med användare och systemleverantörer.

1.3 Problemanalys

Additiv tillverkning är en relativt ny tillverkningsteknik jämfört med till exempel svarvning, fräsning och gjutning, vilket medför en snabb utvecklingskurva, höga initialkostnader, bristande kunskap och avsaknad av fallstudier vilka alla kan innebära tröghet i etablering och en låg investeringsvilja. Det finns, om än få, exempel på mycket effektiv implementering av AM inom serie- och massproduktion, där tekniken använts för produktutveckling och produktionskomponenter, vilket nämns i ”*Rapid tooling: the state of the art*” [6].

Additiv tillverkning är förhållandevis tidskrävande och materialkostnaden hög. Detta medför att mass- och serietillverkning idag är olönsam. Andra egenskaper så som noggrannhet, repeterbarhet och hållfasthet, särskilt i Z-led, är ofta sämre än till exempel svarvade detaljer [4]. För att fullt kunna utveckla nuvarande användningsområden samt hitta nya, krävs att fler utbildas inom tekniken. Dessvärre är allmänkunskapen kring AM låg och aningen missvisande och specialistkompetens och högskoleutbildning mycket låg i Sverige [7]. Fler utbildade ingenjörer och operatörer och en större allmänkunskap kommer bidra till en bättre förmåga att tillämpa additiv tillverkning inom nya områden samt vidareutveckla de tillämpningar som finns. Kunskap om vilka skrivare och utrustning som är lämpliga till vilken produktion saknas hos många företag.

1.4 Frågeställningar

Nedan konkretiseras den frågeställning som rapporten syftar till att besvara.

Vilken utrustning används inom AM i Sverige?

Vilka tekniker är de mest använda i Sverige och vad är anledningen till att just dessa tekniker är de som används?

Vilket syfte fyller AM för företag i Sverige?

Används dessa additiva tillverkningstekniker främst till produktutveckling likt RP, för att utveckla verktygsuppsättning likt RT eller för produktion av färdiga produkter likt DDM?

Vilka processer ersätts och/eller kompletteras med AM?

Hur har produktutveckling och produktion förändrats efter införande av additiv tillverkning hos företag? Finns det tekniker, processer och/eller material som kan bli utkonkurrerade av additiv tillverkning?

Vilka effekter har införandet av AM i Sverige haft på produktutveckling och produktion?

Hur påverkar additiv tillverkning verkstadsindustrin gällande produktkostnad, ledtider och kvalitet? Vilka är fördelarna med att gå över till additiv tillverkning och hur påverkar det produktionen?

Hur kommer AM se ut i framtiden i den svenska industrin?

Vilka trender, förbättringsbehov och möjligheter finns i framtiden? Hur kommer processer och användning se ut om fem år?

1.5 Avgränsningar

Detta projekt fokuserar främst på additiv tillverkning inom den svenska verkstadsindustrin. Additiv tillverkning med hjälp av organiska material kommer inte att behandlas i undersökningen. Litteraturstudier, studiebesök, intervjuer och enkätstudier har avgränsats till de företag som tillämpar additiv tillverkning.

1.6 Rapportens upplägg

Rapporten är uppdelad i ett antal huvuddelar. Den första delen, kapitel 1 Inledning, förklarar syftet med rapporten, redogör för innehållet samt presenterar de frågeställningar som rapporten ämnar att besvara. När läsaren fått en inblick i arbetet kommer undersökningen och tillvägagångssättet som ligger till grund för rapporten förklaras mer ingående i kapitel 2 Metod.

Metodkapitlet förklarar vad rapporten är baserad på, samt hur metoderna är formade och varför dessa metoder är av intresse att genomföra.

Nästa kapitel i rapporten, kapitel 3 Litteratur, behandlar den litteratur som användes i inläsningssyfte för att få en djupare förståelse inom additiv tillverkning. I kapitel 3 definieras först termerna AM, RP, RT och DDM och hur dessa interagerar med varandra. Därefter kommer ett urval av additiva tillverkningsteknologier förklaras och vilka material som används inom additiv tillverkning. Litteraturkapitlet behandlar den litteratur som har format undersökningen och sådan litteratur som tillsammans med resultatet av undersökningen format diskussionen.

Kapitel 4 Resultat presenterar empiriskt den data som undersökningen givit i form av tabeller och diagram som visar på hur fördelningen mellan företagen är och var additiv tillverkning är i dagsläget.

I kapitel 5 Diskussion förs en diskussion kring rapportens frågeställningar. Diskussionen kommer också förmedla var den svenska industrin är i dagsläget, hur utbildningsväsendet ser ut, vilka felkällor undersökningen tar hänsyn till och vad som gjorts för att minimera dessa.

Till sist, i kapitel 6 Slutsats/Rekommendationer, redovisas arbetets slutsatser, de framtida potentiella möjligheter som additiv tillverkning medför samt vilka rekommendationer för framtida forskning och teknik.

2 Metod

Rapporten är baserad på genomförda litteraturstudier, studiebesök, intervjuer, samt enkätstudier. Litteraturstudierna tjänade främst till att införskaffa grundkunskap inom området, vilken sedan utökades och validerades med hjälp av studiebesök. Intervjuer med branschfolk samt områdesexperter genomfördes vilket bidrog med både bredare och djupare kunskap. Efter detta genomfördes enkäterna, vilket syftade till att vidare belysa, kvantifiera och validera de slutsatser som dragits vid litteraturstudierna och intervjuerna.

2.1 Litteraturstudier

De litteraturstudier som innefattas i undersökningen har varit till grund för att forma och begränsa studien, men även till att ge diskussionen mer underlag. Ursprungligen syftade litteraturstudierna till att ge en grundläggande förståelse av ämnet, samt för att finna redan befintlig forskning inom området additiv tillverkning. Senare i arbetet har litteratur främst använts till att styrka och underbygga de argument som presenteras i diskussionen. Litteraturen kommer presenteras senare i rapporten. Litteratursökningen är främst genomförd via Google Scholar. Databaser från Chalmers bibliotek har även varit till hjälp för litteraturstudierna. Googles sökalgoritmer ger ofta förslag på liknande litteratur som den som förnärvarande visas, vilket har varit till stor hjälp då detta möjliggjort en större spridning av litteraturen. Litteraturen granskades för att bedöma dess relevans för rapporten innan den slutligen användes inom litteraturstudien. Totalt samlades 91 dokument, de flesta vetenskapliga tidskriftsartiklar.

2.1.1 Sökord

Exempel på sökord är olika kombinationer av följande:

3d skrivare; 3D printing; Additiv tillverkning; Additive manufacturing; Digital fabrication; Economies of scale; Electron Beam Melting; Fused Deposition Modeling; Maskinteknik; Mechanical Engineering; Product development; Production cost; Productivity; Rapid manufacturing; Rapid prototyping; Selective Laser Melting; Selective Laser Sintering; Stereolithography; STL; Sverige; Sweden

2.2 Studiebesök

De studiebesök som genomfördes syftade till att ge en grund för intervjuer och enkätstudier samt verifiera den informationen som inhämtades i anslutning till studiebesöket. Sju företag besöktes, inom olika branscher och med olika positioner i värdekedjan, från tillverkare och återförsäljare av maskiner till servicebyråer inom AM. Studiebesöken dokumenterades på liknande sätt som intervjuerna, nämligen med inspelning och med anteckningar.

2.3 Intervjuer

Tio intervjuer genomfördes inom ramarna för projektet. Dessa syftade till att ge en bredare kunskap inom området samt besvara rapportens frågeställningar och ligga till grund för diskussionen. Intervjuerna genomfördes individuellt för att undvika en gruppintervju. Detta beror främst för att det annars kan uppstå konflikter inom gruppen som intervjuas, men även på grund av att det i genomsnitt tar längre tid att få en fråga besvarad i jämförelse med en enskild intervju [8]. Gruppen tog beslutet att använda sig utav kvalitativa intervjuer där intervjuerna är semi-strukturerade. Detta för att intervjuerna skall genomföras mer som ett samtal med möjligheten för intervjuaren att ställa följdfrågor, än en utfrågningsprocess. Det bör även nämnas att intervjuguiden har behövts ändras och anpassas efter personen inom företaget som har intervjuats.

Alla intervjuer har spelats in elektroniskt för att vid senare tillfälle ha möjlighet att analysera intervjun. Med tanke på hur tidskrävande transkribering av intervjuer kan vara, har intervjuerna även antecknats direkt och ljudfilerna endast använts för att kontrollera och justera anteckningarna. Respondenten intervjuades utav två till tre personer; en person som antecknade och spelade in, samt en till två personer som ställde frågor och följdfrågor.

Under själva intervjuerna har ett flertal tekniker utnyttjats för att underlätta upptagningen av informationen. Detta har skett genom användning av prober ("probes") som är följdfrågor som ger intervjuaren en djupare förståelse av ämnet. Exempelvis "Något mer?", "Kan du gå igenom det igen?", "Kan du ge mig ett exempel?" eller "Vad hände efter det?". När det kom till själva frågorna har det undvikits att ställa frågor som är långa. Frågorna i sig har inte heller innehållit två frågor i en mening och detta beror på att underlätta för respondenten att uppfatta frågorna korrekt och därmed kunna besvara dem på ett enkelt och korrekt sätt. För att kunna nå målet med intervjun behöver respondenten känna att han/hon kan tala öppet och fritt och detta är direkt beroende av intervjuarens beteende. Därmed var det viktigt att behandla den intervjuade som om han/hon är en expert på ämnet och att själva ämnet är intressant.

Främst ställde intervjuaren frågor som var öppna, exempelvis ställde intervjuaren hellre frågan "Vad tycker du att additiv tillverkning saknar?" än "Tycker du att additiv tillverkning saknar något?". Detta gav intervjuaren en bättre helhetsbild av additiv tillverkning och kandidatens personliga åsikter jämfört med Ja/Nej frågor. Frågorna utgick från KISS principen ("Keep it simple and short") för att undvika att ställa "dåliga" frågor. Det togs även i åtanke att inte ställa några olämpliga frågor. Detta undveks bäst genom att inte anta någonting i förväg samt att inte påbörja någon fråga med en negativ fras, exempelvis "Tycker du inte att..." eller "Stämmer det inte att...".

Tiden som uppskattades att få intervju en respondent var approximativt en timma och där ställdes det mellan 28 till 32 frågor, beroende på vem det var som intervjuades. Intervjuguiden är uppbyggd utifrån mallen från "Interview Design" på sidan 134 i boken McQuarrie 2016 [9]. Kortfattat började intervjun med en introduktion där intervjuarna presenterade sig själva, förklarade meningen med intervjun, berättade vilka som kommer ha tillgång till intervjun samt frågade om lov att få spela in och anteckna vad som säs. Därefter började intervjun med några enkla frågor som långsamt blir mer komplicerade och mer personliga för den intervjuade. Avslutningsvis frågades det ett par enkla frågor och därefter tackades den intervjuade för intervjun [9] [8]. Intervjumallen finns i Appendix

A.

Under själva intervjuerna togs ljudinspelning samt anteckningar. Ljudfilerna transkriberades därefter och jämfördes med anteckningarna. Då en intervju var sammanfattad på ett tillfredsställande sätt, skickades denna ut till respondenten som då gavs möjlighet att kommentera innehållet. Sedan sammanställdes intervjuerna utefter de frågeställningar som intervjuerna konstruerades efter, samt delades upp ytterligare utefter vilken typ av företag som intervjuats. Resultatdelen består alltså av en sammanställning av dessa omarbetade intervjusvar.

2.4 Enkätstudier

En enkätstudie av strukturerad typ genomfördes med 44 frågor. Beslutet bakom att använda en kvantitativ undersökning är för att kunna få fram genomsnittliga och kvantifierbara svar. Enkätstudien syftade primärt till att validera de resultat som kom fram i intervjuerna. För att enkätundersökningen ska ge en hög respons har beslutet tagits att främst utföra detta digitalt via epost. Denna metod förenklar genomförandet för respondenten, vilket leder till att ge hög respons. Enkätundersökningen genomfördes online med hjälp av verktyget Typeform [10], där frågorna ställs skriftligt och respondenten fyller själv i svaren. Enkäten innehåller frågor som bland annat behandlar användningsområde, företagets historik kring additiv tillverkning, material och framtidsplaner. Denna sorts undersökning ger inte lika djupgående svar som en kvalitativ undersökning via telefon eller personlig intervju, men genom fler antal svar kan de resultat som givits av framförallt intervjuer valideras. Enkäten konstruerades utifrån rapportens frågeställning. Med tanke på att olika företag och privatpersoner har olika positioner i värdekedjan, inom additiv tillverkning, har enkäten konstruerats med logiska grindar, för att ge en mer riktad enkät. Tekniken bakom konstruktionen av frågorna bygger på samma teknik för hur intervjufrågorna framställdes. Tiden för en respondent att fullfölja enkäten var i genomsnitt 9 minuter och 50 sekunder och genomfördes av 24 respondenter [9] [8]. Enkäten finns redovisad i Appendix B.

2.5 Sampling och urval

För att hitta lämpliga företag för intervjuer, studiebesök samt enkätstudier har ett urval gjorts. Företagen delades in i tre kategorier; företag som tillverkar/säljer AM-maskiner, legotillverkare, samt företag som implementerar AM inom egen produktion. Försök att nå till ett antal företag jämnt fördelade mellan dessa tre kategorier gjordes genom rekommendationer från handledare, internetsökning, samt genom att betrakta organisationer såsom SVEAT, "*Svensk additiv tillverkning*", en intresseorganisation för AM i Sverige. Då företag för eventuella studiebesök beaktades fanns även en rent geografisk begränsning. Vid besök på mässan "*Plastteknik Nordic*" i Malmö fanns tillfälle att prata med en mängd företag med olika anknytning till AM. Dessa företag tillfrågades då om de hade möjlighet att ställa upp i en enkätundersökning om AM. Enkätundersökningen skickades även till andra företag än de på mässan, bland annat de företag som redan intervjuats, samt sådana som hittats genom de metoder som nämns ovan.

Vad gäller utbudet av tillfrågade företag, både med avseende på företag som deltog i enkätundersökningen och företag som blev intervjuade, märks att vissa typer av företaget är underrepresenterade. Företag som använder AM inom sin produktion har varit svåra att finna, detta då dessa sällan offentliggör sin applicering av AM. Även stora företag har varit svåra att få kontakt med, då det oftast ska gå igenom flera personer på olika nivåer innan kontakt kan fås med den sökta personen.

2.6 Metodsammanfattning

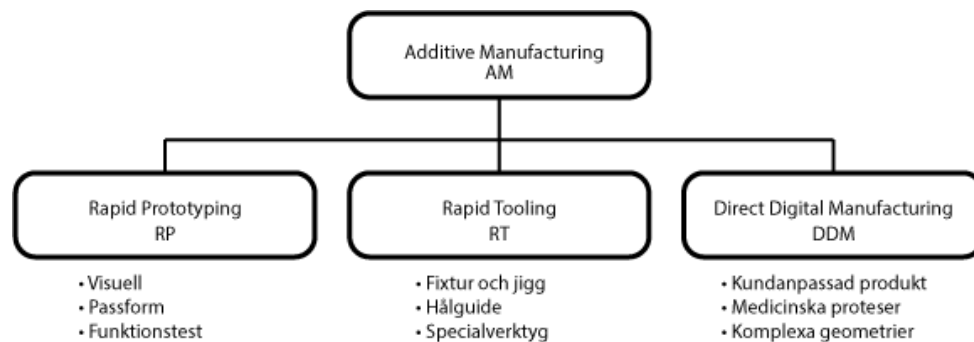
Rapportens analys grundar sig i genomförda litteraturstudier, studiebesök, intervjuer och enkäter. Analysen är genomförd av datainsamling, som tagits fram under arbetet och verifierad med hjälp av litteratur. Datainsamlingen genomfördes främst genom enkäterundersökningen, vilken 24 företag svarat på och de tio intervjuer som genomfördes under arbetets gång.

3 Litteratur

En litteraturstudie har genomförts med syfte att ge goda förkunskaper och underlätta förståelsen av senare kapitel genom att förklara termer, tillverkningsteknologier och material som nämns i texten. Studien riktar även in sig på att verifiera och underbygga de resultat som presenteras i rapporten. Att studera litteraturen är ett sätt att få överblick över vilka områden det saknas forskning kring och på så sätt bestämma gränserna för projektet.

3.1 Hur hänger de olika termerna samman?

Nedan definieras några viktiga termer som kommer användas genom arbetet och hur de olika termerna hänger samman, presenteras i nedanstående figur.

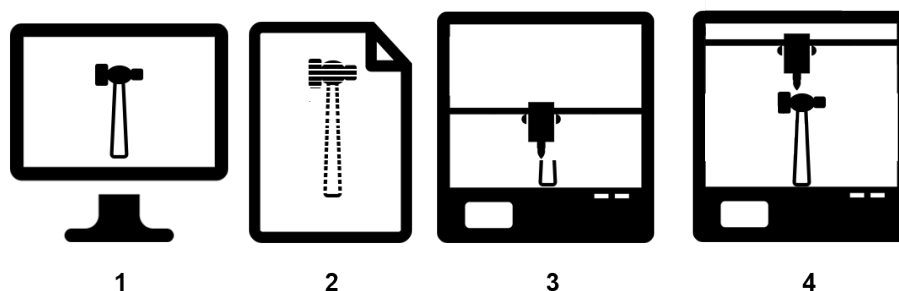


Figur 1: Underkategorier till AM.

Figur 1 visar hur RP, RT och DDM hänger samman med AM och på så vis agerar som underkategorier till AM. AM är alltså ett samlingsnamn för RP, RT och DDM dvs är ett övergripande namn för hela området.

3.1.1 Additiv tillverkning (AM)

Additiv tillverkning är en process där produkter och komponenter byggs upp lager för lager från en digital 3D-modell, vanligen uppbyggd med CAD [4]. Denna 3D-modell delas sedan upp i 2D-skikt som utgör byggstenarna för additiv tillverkning när produkten eller komponenten byggs upp. I folkmun används ofta termen 3D-printing, vilket är en bildlig och vardaglig beskrivning på hur tekniken generellt fungerar. Termen 3D-printing används dock oftare för konsumentmaskiner, medan additiv tillverkning är vanligare inom professionella sammanhang [11].



Figur 2: Illustration av de olika stegen.

Figur 2 illustrerar de olika stegen för hur additiv tillverkning går till. (1) Illustrerar en CAD-modell av en produkt, vilken sedan bearbetas och delas upp i tunna skikt i en mjukvara för additiv tillverkning (2). Sedan kan 3D-skrivaren bygga upp modellen lager för lager (3), utefter den bearbetade digitala modellen, tills dess att modellen är färdig (4) [12].

3.1.2 Rapid Prototyping (RP)

Rapid Prototyping är tillverkning av skalmodeller för produktutveckling med hjälp av additiv tillverkning. Tidigare har dessa modeller och produkter endast tjänat som visuellt hjälpmedel, provmontering eller liknande, men med dagens teknik kan fullt funktionella produkter tillverkas. Med fullt funktionella produkter menas produkter som är fullt användningsbara för olika applikationer. Kortare TTM, som är den tiden det tar från produktidé till färdig produkt, och iterationscykler i utvecklingsarbetet är två stora fördelar med att använda Rapid Prototyping [13].

3.1.3 Rapid Tooling (RT)

Rapid Tooling kallas den process där additiv tillverkning används för att till exempel skapa detaljerade former för gjutning eller verktyg och fixturer för tillverkning av färdiga produkter. Det finns ett antal fördelar med att använda additiv tillverkning inom Rapid Tooling, såsom kortare produktions- och ledtider samt minskad produktkomplexitet [14].

3.1.4 Direct Digital Manufacturing (DDM)

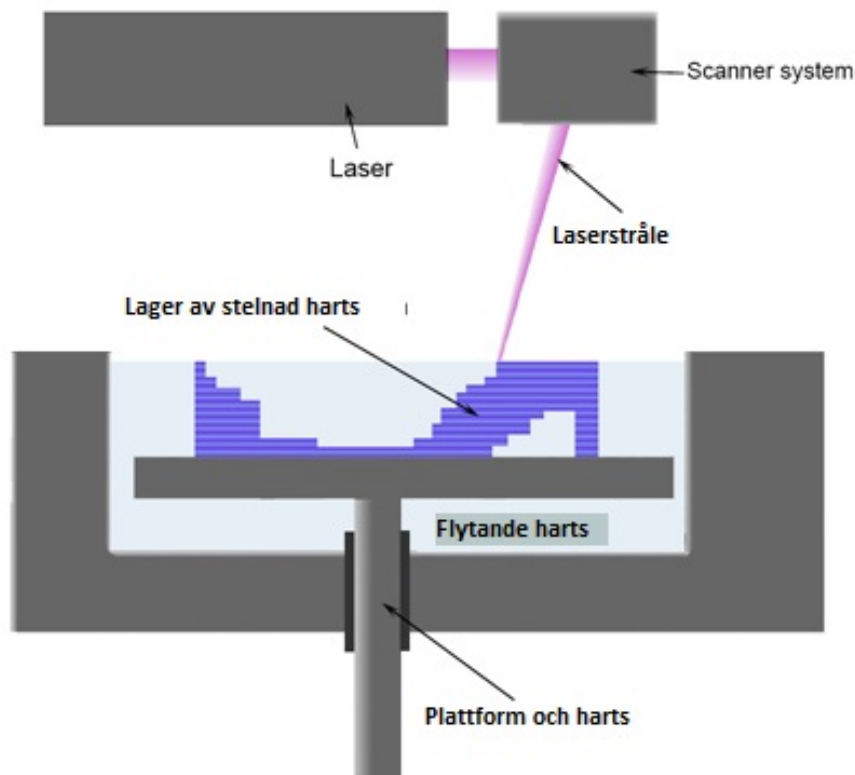
De framsteg som gjorts inom additiv tillverkning möjliggör idag tillverkning av färdiga produkter med additiv tillverkning. DDM är idag det snabbaste växande området inom additiv tillverkning, med förbättrad produktkvalitet, möjlighet till snabbare kundanpassning vilket minskar processkostnader och ökar medvetenhet om fördelarna med additiva processer [14]. DDM har många fördelar jämfört med traditionella tillverkningsmetoder. En av de viktigaste fördelarna och mest uppenbara är förmågan att snabbt producera unika delar, eftersom ingen speciell verktygsuppsättning krävs och produkten kan byggas på några timmar. Eftersom komponenter är uppbyggda skikt för skikt är det möjligt att utforma interna funktioner och komplexa former som inte kan gjutas eller bearbetas fram

på annat sätt. Komplext formade produkter med flera komponenter kan förenklas till färre delar, med en mer kostnadseffektiv montering.

3.2 Olika tillverkningsteknologier

Inom additiv tillverkning finns en mängd olika tillverkningsteknologier [15], där majoriteten av dessa grundar sig i att bygga upp en 3D-modell lager för lager. Nedan beskrivs sju olika tillverkningsteknologier som anses vara aktuella i dagsläget.

3.2.1 Stereolithography (SLA)



Figur 3: SLA-tekniken. Källan: Materialgeeza. CC BY-SA 3.0

SLA-tekniken var den första kommersiellt tillgängliga additiva tillverkningsteknologin, patenterad av Charles Hull 1984 [4]. Tekniken bygger på att, med hjälp av en laser, härda en vätskebaserad plast lager för lager, tills att modellen är färdig [14]. Denna teknik används främst för prototyp tillverkning (RP) på grund av att tekniken skapar detaljerade och starka föremål relativt snabbt och billigt jämfört med andra tekniker inom additiv tillverkning. Upplösningen kan vara så hög att komponenter tillverkade genom SLA har lagertjocklekar så tunna att de inte kan ses [16]. Det bör även nämnas att denna teknik kan vara tillgänglig för personlig användning i hemmet, men eftersom materialet är vätskebaserat krävs särskilt handhavande då råmaterialet kan vara hälsovådligt [17].

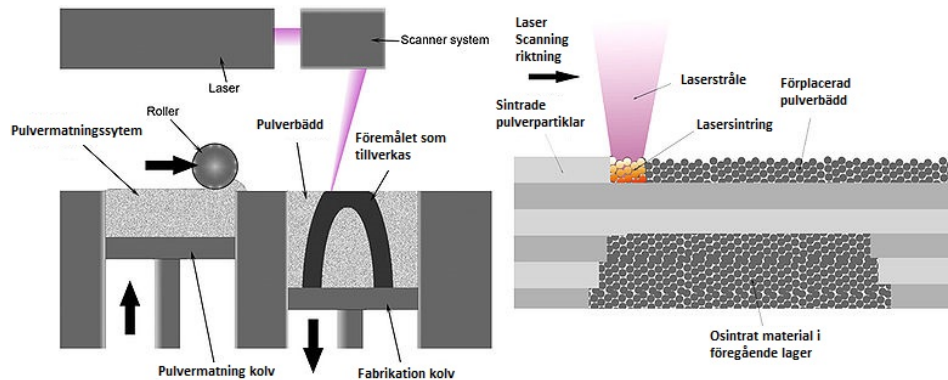
3.2.2 Digital Light Processing (DLP)

DLP är snarlik SLA, där de båda använder sig av en ljuskälla som härdar en vätskebaserad plast. Till skillnad från SLA, använder sig DLP av en annan ljuskälla i form av en bågampa samt en flytande kristalldisplay som appliceras på ytan av modellen mellan varje lager. Vätskan är placerad i en transparent behållare och härdar väldigt snabbt när den blir exponerad av ljuset. Detta medför att processen är väldigt snabb jämfört med många andra processer. Dock ska det nämnas att föremålet kanske inte kommer ut i toppskick om skrivaren är utsatt för UV-ljus, vilket enkelt kan ske om skrivaren befinner sig nära ett fönster. På samma sätt som SLA skriver ut komponenter, med mindre fysiska lager, gör även DLP detta. DLP kan skriva ut föremål med en rad olika egenskaper, såsom att vara vattentåliga, flexibla, hållbara, styva, värmetåliga och stöttåliga samtidigt som föremålet har hög transparens [16] [18].

3.2.3 Fused Deposition Modeling (FDM)

Jämfört med de två tidigare teknikerna skriver FDM inte ut lika detaljerade detaljer som de. Här syns lagerna mycket tydligare i jämförelse med SLA och DLP [16]. En av de stora fördelarna med FDM är dess urval utav högkvalitativa material, som är möjliga att använda i processen. Processen utförs genom att kontinuerligt smälta filament och pressa ut detta genom ett tunt munstycke på noggrant förbestämda X-, Y- och Z-koordinater. På så vis bygger processen långsamt upp ett lager för att sedan sänka plattformen och nästa lager kan påbörjas. Vilken hastighet modellen kan tillverkas beror på dess storlek, komplexitet och vilken upplösning som skall användas. Tekniken i sig skriver ut lager för lager, där lagertjockleken varierar från skrivare till skrivare. Tekniken stödjer arbetsmaterial i form av polymerer, mer exakt stödjer den ABS, polyamid, polykarbonat, polyeten, polypropen och precisionsgjutning i vax [19]. Liksom de två tidigare teknikerna är även FDM relativt enkelt att använda och jämfört med alla tekniker inom AM är denna teknik mest lämplig för bruk i hemmet eller kontoret [20].

3.2.4 Selective Laser Sintering (SLS)



Figur 4: SLS-tekniken Källan: Materialgeezza. CC BY-SA 3.0

Processen SLS påminner mycket om SLA, då de båda använder laser för att härda materialet. Skillnaden är att SLS använder sig av ett pulver, istället för en vätska, och har då möjligheten att använda ett bredare urval av material så som metaller, keramer, glas etc. Men det bör tas med att SLS mest används med polymerer. Möjligheten att skriva ut föremål utefter ett brett urval av material gör att tekniken används för både prototyp tillverkning och slutprodukter. Även med SLS produceras föremålen lager för lager. Tekniken fungerar så att mellan varje lager läggs ett nytt tunt lager med pulver, som är vanligtvis mindre än 0,1 millimeter, ovanför det redan härdade området. Därefter värms materialet till precis innan dess smälttemperatur. När föremålet är färdigutskrivet behöver föremålet vara kvar i 3d-skrivaren för att svalna innan det avlägsnas. Med tanke på att SLS inte kräver något ytterligare stödmaterial, för att fixera föremålet medan det skrivs ut är SLS mindre tidskrävande än andra tekniker inom AM, liksom SLA och FDM. Det ska även nämnas att till skillnad från andra tekniker inom AM kräver SLS väldigt få extra verktyg för efterbearbetning, av det utskrivna föremålet. Detta eftersom tekniken skriver ut föremål som har så pass bra noggrannhet i detalj [21].

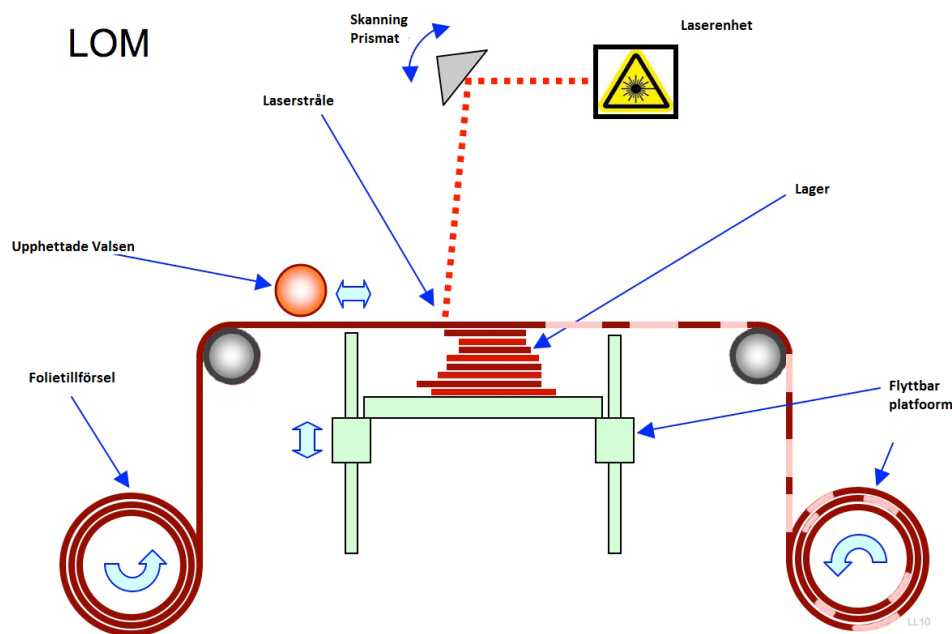
3.2.5 Selective Laser Melting (SLM)

SLM och SLS är de processer som har mest gemensamt, där den enda skillnaden är att SLM smälter materialet med laser helt mellan varje lager. Detta gör att det utskrivna föremålet blir ett monomaterial, utan legering, med samma smältpunkt i hela föremålet. Därmed passar SLM främst för material som är rena så att säga, så som rent titan, stål med mera [22]. Det vanligaste användningsområdet för SLM är inom flygindustrin, där den eliminerar begränsningarna som traditionella tillverkningsmetoder har. SLM har även resulterat till att minska materialåtgången, vilket har en hel del fördelar, både ekonomiskt och miljömässigt. SLM-tekniken används även inom det medicinska området, där tekniken har lett till att proteser kan skapas och anpassas utefter patientens anatomi [23].

3.2.6 Electron Beam Melting (EBM)

Processen EBM används vid tillverkning av detaljer med metalliska material och är väldigt snarlik SLM. Den stora skillnaden mellan dessa två processer är att EBM använder sig av en elektronstråle istället för en högeffektlaser, för att smälta metallpulvret. Själva tillverkningsprocessen för EBM utförs i en vakuumkammare där valet av material är väldigt begränsat till tre metaller, nämligen titan, nickelbaserade legeringar och kobolt-krom legeringar. Tekniken är även relativt långsam och dyr och kräver ofta efterbearbetning [24]. Med tanke på att EBM använder elektronstråle kan föremålet få negativa effekter om magnetiska eller metalliska föremål förflyttas i närheten av den. Detta är något som Lars Jonsson informerade om (Arcam, personlig kommunikation, Maj 3, 2016).

3.2.7 Laminated Object Manufacturing (LOM)



Figur 5: LOM-tekniken Källan: LaurensvanLieshout. CC BY-SA 3.0

LOM bygger på att med hjälp av värme och tryck bygga upp en 3D-modell. Detta går till genom att en film rullas ut och smälts sedan med en uppvärmd rulle. När ett lager av föremålet har utformats sänks plattformen och en ny film kan rullas ut. Denna process upprepar sig tills föremålet är färdigt. Till sist skärs den önskade formen med hjälp av laser, vilket gör det enklare att ta bort föremålet när det är färdigt. Även LOM klarar av att tillverka föremål utifrån plast, papper och metall, där metall är det minst vanligas arbetsmaterialet [25].

3.3 De vanligaste materialen för additiv tillverkning

Inom additiv tillverkning finns det en mängd olika arbetsmaterial tillgängliga, anpassade för olika tillverkningsteknologier. De material som nämns i denna rapport är uppdelad i tre grupper: metaller, keramer och polymerer.

3.3.1 Metaller

Vid additiv tillverkning med metaller finns flertalet olika tekniker. De vanligaste är SLS, SLM och EBM. Alla de nämnda teknikerna, utom BMD, som använder metallpulver eller metalltråd som sedan deponeras, använder någon form av metallpulver för att bygga komponenter lager för lager genom att smälta metallpulver, antingen med laser eller elektronstråle. AM med metall kräver höga temperaturer, vilket ofta i sin tur ställer krav på till exempel eget ventilationssystem. Även det metallpulver som används ställer höga krav på kontrollerad miljö, då det annars skapar stora hälsorisker [26].

Bland de olika materialen är additiv tillverkning med hjälp utav metaller den dyraste. Prisskillnaden mellan en maskin som använder metall, som användsmaterial, är ungefär 10 gånger dyrare än en maskin som använder polymerer[27]. Trots den höga kostnaden används denna tillverkningsmetod flitigt idag, främst till medicinska implantat och komponenter inom flygindustrin, till exempel turbinblad.

3.3.2 Keramer

Additiv tillverkning kan även tillverka tredimensionella former av keramiska material. Antalet metoder kan tillverka keramiska produkter är hittills begränsade till vissa tekniker t.ex. SLS. Tillverkning med detta material sker på så sätt att ett keramiskt pulver blandas med polymerbaserad bindemedellösning och trycks ut lager för lager. Den utskrivna keramiska produkten bränns sedan i ugn omkring 1250 °C för att uppnå slutgiltig form med rätt egenskaper [28].

3.3.3 Polymerer

Additiv tillverkning framtogs först för arbetsmaterialet polymerer. Detta är en stor anledning till varför det är det vanligaste arbetsmaterialet idag. Inom denna materialgrupp finns alla möjliga sorter av halv- och helsyntetiska material som exempelvis ABS som är ett vanligt val för AM. PLA och polymjölksyra, som tillverkas från förnybara resurser, har även blivit populär inom AM. Andra material såsom PVA och PC används även inom AM. Då utbudet av tillgängliga polymerer är stort, gör det till ett flexibelt materialval. Polymerer är det material som i de allra flesta fall används för prototyp-tillverkning, då hållfasthet inte är centralt för funktionaliteten[29].

3.4 Litteraturstudie

3.4.1 Användning av AM: Material och Teknik

Artikeln ”*Additive manufacturing teaching factory: driving applied learning to industry solutions, Virtual and Physical Prototyping*” [14] visar hur Nanyang Polytechnic applicerade deras ”*Teaching Factory Concept*” vid utbildning av studenter och industripersonal vad gäller additiva tillverkningstekniker. Artikeln har även bra definitioner av RP, RT och DDM, vilka har inspirerat definitionerna i denna rapport.

Boken ”*Additive Manufacturing Technologies: 3D-Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*” [4] förklarar dels additiv tillverkning allmänt, samt en mängd olika tekniker. Boken gav grundläggande kunskap om additiv tillverkning och grund för fortsatta studier inom ämnet.

Artikeln ”*Rapid tooling: the state of the art*” [6] beskriver i detalj flertalet olika tekniker och användningsområden inom RT. Författarna drar slutsatsen att internationell konkurrens medför att nya produkter måste utvecklas snabbare och mer kostnadseffektivt för att vara konkurrenskraftiga på marknaden. Det finns, enligt författarna, många tekniker för RT som används i dagsläget, där formar för gjutning och formsprutning är de mest framgångsrikt implementerade teknikerna.

Rapporten ”*Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing*” [27] förklarar allmänt additiv tillverkning och dess olika tillverkningsmetoder. Rapporten tar dock främst upp kostnaderna för de olika tillverkningsmetoderna och deras respektive användningsmaterial. Det fokuseras främst på metaller och polymerer, men även keramer tas upp. Rapporten visar även de positiva sidorna med additiv tillverkning samt en jämförelse med de traditionella tillverkningsmetoderna.

Polymerer är den mest använda materialgruppen enligt undersökningen ”*The Adoption of Additive Manufacturing Technology In Sweden*” [7] där 77 procent av de företagen, som svarade på undersökningen, anger att de använder polymerer i sin tillverkning.

Artikeln ”*Design and assessment of a 3D printing vending machine*” [30] diskuterar den senaste tidens snabbt växande intresse kring additiv tillverkning och 3D-printing. Författarna tillskriver denna tillväxt till två faktorer som vida skiljer sig åt. Den första är utveckling och produktmognad för maskiner för tillverkning i metall och dess användningsområden inom medtech industrin samt flyg- och rymdindustrin. Den andra faktorn är utbudet av konsumentmaskiner, som fått stor uppmärksamhet inom bland annat ”maker-” och startup-kulturen. Vidare till artikelns huvudämne, där brist på kunskap och erfarenhet inom additiv tillverkning hos ingenjörer presenteras som ett problem och begränsning för etableringen och spridningen av additiva tillverkningsprocesser.

Enligt ”*The Adoption of Additive Manufacturing Technology in Sweden*” och en undersökning av 70 svenska företag och universitet, som använder additiv tillverkning, gjord mellan 2013 och 2015, visar att FDM-tekniken är populärast och 37 procent av dessa 70 företag och universitet använder sig enbart av denna teknik. Nästan lika många, 36 procent, använder ett flertal olika AM-tekniker istället för att rikta in sig på en enda teknik. En majoritet av företagen använder inte AM enbart till RP, utan antingen både till

RP och andra applikationer eller enbart till andra applikationer. Artikeln visar även att användandet av flera olika AM-tekniker ökar chansen att företagen använder AM inom mer än ett område, t.ex RT och produktion [7].

3.4.2 Nuläget för AM i Sverige

Kunskaps- och erfarenhetsbrist är även något artikeln ”*Realizing Proof of Concept in Machine Design with 3D Printing*” diskuterar [31]. Kunskaps- och erfarenhetsbrist är tillsynes en begränsning för etablering och spridning av additiva tillverkningstekniker och något som tas upp i enkät- och intervjustudier för denna rapport för att bekräfta eller förkasta hypotesen att detta även stämmer i Sverige.

Rapporten ”*The Adoption of Additive Manufacturing Technology in Sweden*” [7] visar på att Sverige ligger efter många andra länder vad gäller investeringar inom additiv tillverkning. Rapporten visar också att Sverige även ligger efter inom utbildningssektorn, vilket som ovan nämnt, kan vara en av anledningarna till varför dessa tillverkningstekniker inte är så väl etablerade i Sverige. Rapporten visar även på hur väl etablerad tekniken är i Sverige idag, men det finns dock områden som kräver närmare undersökning.

Enligt artikeln ”*3d-tillverkningen tappar fart i Sverige*” är utbildning en utav de mest påverkande faktorerna för att användningen av additiv tillverkning ska få fart i Sverige. I artikeln tas det även upp att för 10-20 år sedan forskades det en hel del om ämnet men mycket av detta har försvunnit. Lars-Erik Rännar, som har skrivit denna artikel, anser att det är dessa två faktorer som är anledningen bakom varför Sverige ligger så pass långt efter andra västländer [32].

3dp utförde en undersökning ”*UNDERSÖKNING: Så används 3d-print i Sverige*” där de diskuterar nuläget för additiv tillverkning i Sverige. I undersökningen tar de upp vilka tekniker som används i Sverige, vad utrustningen används till samt hur investeringsbehovet ser ut. I deras undersökning kom de fram till att 58 procent som använder utrustning producerar i polymerer med tekniken FDM. De kom även fram till att den näst vanligaste tekniken var Polyjet, där det var 22 procent av de delaktiga företagen som utnyttjade denna teknik. I deras undersökning fick de även reda på att 80 procent av de delaktiga företagen använder 3d-skrivarna för prototyper och skisser, men 55 procent sa att de använder 3D-skrivarna för enstyckstillverkning. I denna undersökning har 3dp även undersökt hur mycket företagen har investerat inom additiv tillverkning. Där svarade 21,8 procent att deras 3D-skrivare kostar mellan 5 000-15 000 kronor, 25,4 procent har 3D-skrivare som kostar mellan 16 000-50 000 kronor och 23,6 procent har 3D-skrivare som kostar över 1 miljon kronor. Som tidigare nämnt undersökte de även framtida investeringsbehov hos de delaktiga svenska företagen. Där uppgav 55 procent att de behöver mer utrustning de kommande åren, 22 procent är osäkra om de ska investera och 24 procent var nöjda med den utrustning de har. Det ska även nämnas att utifrån denna undersökning fick 3dp reda på att hela 96 procent av företagen kommer öka deras användning av additiv tillverkning [33].

3.4.3 Effekterna av AM på industrin

I artikeln ”*Stora förväntningar på växande tillverkningsteknik*” har Jonas Thulin beskrivit hur additiv tillverkning fått genomslag på den traditionella industritillverkningen. Tekniken har tagit över ett flertal processer, såsom sådana som utförs genom gjutning och svarvning. Även här tas det upp att additiv tillverkning inte är en ersättning till de traditionella tillverkningsmetoderna, utan mer som en kompletterande metod. Framtiden för additiv tillverkning är något som har diskuterats i denna artikel. Det hävdas att vem som helst kommer kunna använda sig utav dessa 3D-skrivare [34].

3DCenter publicerade en artikel ”*5 vanliga missuppfattningar kring 3D-skrivare och additiv tillverkning*” där de identifierar myter kring additiv tillverkning och dess funktionalitet. Fjärde myten på deras lista lyder ”3D Skrivare kommer ta kål på traditionell tillverkning!” vilket artikeln senare motbevisar och klargör att 3D-skrivare aldrig kommer att ersätta de befintliga tillverkningsmetoderna, utan kommer endast att komplettera dessa [35].

I artikeln tar de även upp en annan relevant myt angående additiv tillverkning. Myten de tar upp är att additiv tillverkning kan användas till allt. Detta påstående är visserligen inte sant då additiv tillverkning inte är lämplig till alla sorts produkter. I artikeln förklarar de att det är mer lämpligt att producera med traditionella metoder om produkten i sig inte har en komplicerad struktur [35].

Jan Tångring skrev en artikel ”*3D-utskrifter – här är läget idag*” i Elektroniktidningen, där han även berättar att additiv tillverkning inte ersätter de traditionella tillverkningsmetoderna, utan snarare kompletterar dessa. I samma artikel tas även framtiden för additiv tillverkning upp. Där berättar Tångring att det är främst inom materialområdet som förbättringar kommer ske och speciellt inom metall. Tångring fortsätter med att förklara att föremålen kommer att kunna få en blandad struktur, där exempelvis insidan kommer kunna vara mjuk och utsidan hård. Tångring säger även att han tror att framtida 3D-skrivare kommer vara kombinerade med en 3D-kamera som klarar av att scanna befintliga objekt som ska kopieras och detta betydligt bättre än de få som klarar av det i nuläget [36].

I artikeln ”*Additiv tillverkning – utveckling och trender*” har Sven Karlsson från Swerea IVF bland annat skrivit vilka fördelar införandet av additiv tillverkning har. Exempelvis tas det upp hur additiv tillverkning kan framställa strukturer, som antingen är extremt svåra eller till och med omöjliga för traditionella tillverkningsmetoder att utföra [3].

Artikeln ”*Digitalisering av svensk industri*” beskriver fördelarna med additiv tillverkning framför traditionella tillverkningsmetoder. Bortsett från de självklara tekniska fördelarna bidrar additiv tillverkning till en bättre miljö genom att reducera materialåtgången, i vissa fall med över 75 procent. Genom att reducera materialåtgången reduceras även bränsleåtgången och utsläppet, vilket också tas upp i artikeln. Dessa fördelar bidrar inte endast till bättre miljön, utan är även ekonomiskt fördelaktiga [37].

I en annan artikel ”*Därför kallas 3d-skrivaren en bubbla*” är det skrivet att additiv tillverkning kommer ta marknadsdelar av gjutning, smidning och andra liknande tillverkningsmetoder, men aldrig ersätta de helt och hållet [38].

I ”*Additiv tillverkning, ett hjälpmedel i produktionsutvecklingen*” nämns olika faktorer till

varför ett företag kan tjäna på att investera i en 3D-skrivare. Det är främst inom prototyp-tillverkning samt till viss del testning av produkter, där det finns ett behov. När additiv tillverkning används till slutprodukter finns det en "break even point", vilket är den produktionsvolym då additiv tillverkning slutar vara lönsamt. Denna kritiska produktionsvolym varierar kraftigt mellan olika företag [39].

I rapporten "*The Cost of Additive Manufacturing: Machine Productivity, Economies of Scale and Technology push*" undersöks effekten av införandet av additiv tillverkning hos företag. Detta görs genom att betrakta två olika tekniker inom AM, nämligen Electron Beam Melting (EBM) och Direct Metal Laser Sintering (DMLS). Det framgår att AM inte är ekonomiskt fördelaktigt inom produktion av stora volymer. En annan viktig slutsats som dras är möjligheten att, trots teknikens olämplighet för massproduktion, göra vinst vid små öknings av produktionsvolymen. Det framgick av undersökningen att maskinernas effektivitet spelar en stor roll för kostnadseffektiviteten, vilket medför en kostnadsbarriär vid införandet av AM hos företag [40].

I "*Arbetsliv i Norden*" har det skrivits en artikel "*Genombrott för 3d-tekniken driver upp tempot i produktutveckling*" där de främsta fördelarna med additiv tillverkning lyfts fram. Den främsta fördelen med additiv tillverkning är att konstruktioner kan göras på andra sätt. Det tas även upp att privatpersoner kan köpa 3d-skrivare för några tusen kronor, för att kunna tillverka egna föremål såsom mobilskal eller andra små detaljer [41].

Med hjälp av additiv tillverkning reduceras verktygskostnader, materialåtgång och ledtiden från ritning till färdig produkt. Detta är några av de punkter som tas upp i artikeln "*Additiv tillverkning öppnar upp för nya möjligheter så ta vara på den nya tekniken*". Även här påpekas att den främsta fördelen med additiv tillverkning är hur enkelt det är att framställa komponenter med komplexa geometrier, oavsett storlek. Det tas också upp att komponenter gjorda med additiv tillverkning behöver efterbearbetning och inte är helt klara för användning [42].

3.4.4 Potential och framtida möjligheter

I rapporten "*The Status, Challenges and Future of Additive Manufacturing in Engineering*" står det om flera inriktningar hos forskningen inom AM. I rapporten nämns det att mjukvaran för 3D-skrivarna utvecklas, för att i framtiden kunna skapa avancerade fler-materialsgeometrier. Detta är enbart genom att användaren definierar vilket syfte designen behöver uppfylla. Mycket utvecklingsarbete läggs på skapandet av nya program som kan hantera mer avancerad geometri. Mycket energi läggs även på den så kallade "print-it-all"-idén som innebär att för ökad funktionalitet och tidseffektivitet ska man kunna skriva ut hela färdiga produkter i ett enda stycke. Sist nämns det att det idag finns stora svårigheter i att implementera forskningen i dagens marknad, på grund av att forskningen är splittrad och vitt utspridd, liksom additiv tillverkning i sig [43].

Enligt artikeln "*Från protyper till serieproduktion*" finns det stora framtida potentialer för additiv tillverkning i Sverige. Där står det bland annat att additiv tillverkning kommer stå för ungefär 80 procent av komponenttillverkningen inom ett decennium. Det tas även upp de ekonomiska fördelarna med additiv tillverkning. Ett exempel de tar upp är att det kostar omkring 4500 kronor att ta fram en produkt genom fräsning, medans det endast

kostar 500-600 kronor att ta fram exakt samma produkt med additiv tillverkning. Det bör även nämnas att här anses det inte lönsamt för massproduktion med additiv tillverkning, utan snarare till mindre volymer av serieproduktion, som till exempel sportbilsindustrin [44].

3.4.5 Sammanfattning

Enligt litteraturstudierna använder majoriteten av de Svenska företagen, som är involverade inom AM, främst polymerer i sin verksamhet. Tillverkning i metall växer i dagsläget och det främst inom användningsområdena medtech industrin, flygindustrin och rymdindustrin. Enligt litteraturstudierna är RT det användningsområdet som används mest i dagsläget och FDM-tekniken är den teknik som företag och universitet använder mest. Det ska även nämnas att enligt de litteraturstudier som har genomförts och tagits med i kapitlet ovanför kan slutsatsen dras att AM-maskinerna måste utvecklas och bli både snabbare och mer kostnadseffektiva för att Sverige ska kunna vara mer konkurrenskraftigt internationellt.

Litteraturen visar att Sverige kommer upp i lägre investeringkostnader än andra länder. Även bristfällig utbildning utgör en av faktorerna till dålig utvecklingshastighet av AM i Sverige. Det nämns också att under 90-talet bedrevs en hel del forskning inom AM i Sverige, men att den på senare tid stannat av.

Litteraturen säger också att additiv tillverkning inte kommer ersätta de traditionella tillverkningsmetoderna, utan mer fungera som komplettering till dessa. Däremot kan de vinna mark över dessa tekniker på vissa områden, men AM har alltför specifika egenskaper för att helt ersätta till exempel svarvning. Det har visats att AM endast i få fall passar för massproduktion, utan främst inom områden som RP och till viss testning av produkter där det finns ett behov. AM har en rad fördelar över vissa andra tillverkningstekniker, bland annat räknas med positiva miljöeffekter på grund av mindre materialåtgång.

Sammanfattningsvis kan det sägas att Sverige har stor framtida potential inom AM. Det förväntas att AM kommer stå för ungefär 80 procent av komponenttillverkningen inom ett decenium. Det ska även tas upp att trots additiv tillverknings höga materialutnyttjande är AM varken nu eller i framtiden lämplig för massproduktion. Trots dess fördelar behöver AM i framtiden förbättras ytterligare. Tekniken behöver exempelvis bli mer tidseffektiv och kunna skriva ut hela färdiga produkter i ett stycke.

4 Resultat

Arbetet har resulterat i två delar, där den första kommer presentera den fakta studiebesöken och intervjuerna givit och den andra en sammanställning av enkätundersökningen.

4.1 Studiebesök och intervjuer

4.1.1 Sammanfattning från studiebesök och intervjuer

Additiv tillverkning används främst till tillverkning och utveckling av modeller och prototyper men även till verktygstillverkning, som komplement inom produktionen. Det finns även återförsäljare som använder AM för att förbättra befintliga 3D-skrivare och utveckla nya sådana. AM används främst för enstycksproduktion men även inom lågserieproduktion, där detaljerna är relativt små. Direkt tillverkade produkter är en mindre vanlig syn men existerar i mindre befattningar. Detta gäller främst internt inom koncerner, i fall för medicinska applikationer och för komplicerade detaljer inom flygindustrin. Anledningen till att AM används är för den korta ledtiden som tekniken erbjuder. Det går nämligen att snabbt tillverka en prototyp från en digital modell och även göra förändringar på modellen med en fortsatt kort leddid. Med hjälp av AM är det också i dagsläget möjligt med lågserieproduktion med kort leddid och möjligheten till snabba förändringar i den digitala modellen.

De vanligaste tillverknings teknikerna som används i dagsläget är FDM och SLA. Anledningen till detta är främst att de teknikerna är billigare och enklare att hantera. Bland materialen som används är olika typer av polymerer det vanligaste förekommande. De flesta företag anser AM som en kompletterande tillverkningsmetod som i dagsläget i de flesta fall inte kan ersätta traditionella tillverkningsmetoder. Dock tror många företag att AM har en stor potential att utvecklas och på så vis utkonkurrera andra tillverkningsmetoder i framtiden. Användningen av AM kan i vissa fall minska antalet komponenter som behöver monteras i den färdiga produkten, då dessa delar kan byggas in i de delar som tillverkas med AM.

Införandet av additiv tillverkning har haft positiva effekter på produktutveckling och produktionen. AM har kortat ner leddiderna och sänkt produktionskostnaderna i vissa fall, samtidigt som tekniken är relativt billigt och det är enkelt att göra ändringar. Nackdelen med AM inom professionella applikationer är främst kostnaden, men de flesta tror att priset kommer gå ned i framtiden, vilket i sin tur gör att tekniken blir vanligare.

Gällande framtiden inom AM är utbildning och ökad kunskap viktiga faktorer, vilket leder till större vilja och möjlighet att investera i tekniken. Enligt de intervjuade företagen används tekniken mer och även återförsäljarna räknar med att se sin försäljning öka kraftigt under de kommande åren. Det ökande användandet kommer delvist bero på den ökade förståelsen inom AM, men även det faktum att flera patent är på väg att gå ut. Det kommer leda till att användandet inom additiv tillverkning kommer öka ytterligare. En annan faktor som många tror kommer vara en anledning till det ökade användandet är förbättring av befintliga material och framtagning av nya. Sist men inte minst kommer

utvecklingen av 3D-scanning leda till att användningen kommer öka inom AM. I och med att AM blir mer mogen kommer lågserieproduktion bli mer aktuell att använda med AM framför traditionella tillverkningsmetoder.

4.1.2 Tabelldata från studiebesök och intervjuer

Nedan presenteras de tabeller som visar vad de olika företagen svarat på respektive frågeställning. De intervjuade företagen har delats in i tre grupper där den första gruppen består av fyra företag och är de företag som agerar återförsäljare av 3D-skrivare. Den andra gruppen, som består av tre företag, applicerar AM för egen tillverkning och den sista gruppen innefattar två företag som använder AM för legotillverkning.

I respektive grupp har företagen numrerats i bokstavsordning för att markera vilka frågor som tillhör respektive grupp.

Frågor	Företag A	Företag B
Utrustning som används inom AM	Säljer huvudsakligen Stratasys-maskiner. Stark förespråkare av FDM-maskiner.	Säljer ett stort utbud av 3D-skrivare.
Syftet som AM fyller för företaget	-	Använder AM som ett komplement till deras primära produktion, exempelvis framtagning av verktyg eller inom RP.
Processer som ersätts eller kompletteras med AM	Reducera antalet artiklar i en produkt, snabbare prototyper, bättre fixturer.	Företaget använder inte AM som tillverkningsprocess. De tror att lågserieproduktion kommer att ersättas med AM i framtiden.
Framtida möjligheter	Nya sätt att stötta produktion. Skriva ut saker som fattas inom produktion. Viktigt att skapa standarder	Förväntar sig att dubbla sin försäljning varje år, till och med år 2020. De tror även att lågserieproduktionen kommer att ersättas med hjälp av AM.
Införandet av AM i Sverige på produktion	Mindre processstopp, bättre ergonomi, bättre verktyg och mindre antal delar.	-

Frågor	Företag C	Företag D
Utrustning som används inom AM	Säljer endast 3D-skrivare för polymerer.	Använder FDM-teknik.
Syftet som AM fyller för företaget	Används för produktion och inte för prototyper, d.v.s. för DDM.	Säljer huvudsakligen tjänster i form av föreläsningar och kurser, men även återförsäljare av FDM-skrivare med tillhörande mjukvara.
Processer som ersätts eller kompletteras med AM	AM kan förbättra befintliga processer. Inte rimligt att använda AM för massproduktion.	Hoppas kunna ersätta skärande bearbetade detaljer samt andra 3D-skrivare med m.h.a fiberarmerade AM detaljer.
Framtida möjligheter	Kortsiktigt kommer mjukvaror att utvecklas. Långsiktig kommer det komma nya metoder, exempelvis att skriva ut organiska material.	Det är viktigt att priset för 3D-skrivare blir billigare i framtiden, för att AM ska slå igenom ännu mer.
Införandet av AM i Sverige på produktion	-	-

Dessa två tabeller visar vad företag som huvudsakligen säljer 3D-skrivare har svarat under respektive intervju.

Frågor	Företag A	Företag B
Utrustning som används inom AM	SLA- och SLS-teknik och använder enbart polymerer som tillverkningsmaterial	Använder enbart FDM-teknik.
Syftet som AM fyller för företaget	50% serieproduktion och 50% prototyper.	Använder för RP och för visualisering av design.
Processer som ersätts eller kompletteras med AM	AM kompletterar vissa tekniker av formning, framförallt silikongjutning.	Använder AM som ett komplement till den traditionella tillverkningstekniken. De har inte ersatt någon av deras tidigare processer eller tekniker.
Framtida möjligheter	Maskinutrustningen kommer ligga på samma nivå de kommande 5-10 åren för professionellt bruk. På materialsidan kommer det finnas bättre och billigare material under samma tidsperiod.	-
Införandet av AM i Sverige på produktion	Många fördelar, där förbättrad ledtid och lägre produktkostnad är två av dessa.	Fördelarna med AM är just ledtiderna för små serier eller för prototyp-tillverkning, samtidigt ekonomisk fördel där det är billigare att tillverka prototyper, än att beställa dem.

Frågor	Företag C	-
Utrustning som används inom AM	3D-skrivare, som är baserad på FDM-teknik.	-
Syftet som AM fyller för företaget	Använder AM för att tillverka prototyper, modeller och enstyck. Kan även tillverka kundernas egna ritningar.	-
Processer som ersätts eller kompletteras med AM	AM anses som en kompletterande tillverkningsprocess.	-
Framtida möjligheter	AM kommer utvecklas i framtiden, men andra tillverkningsmetoder kommer utvecklas samtidigt och AM kan inte ersätta dem.	-
Införandet av AM i Sverige på produktion	Fördelen med AM är att den är enkel att jobba med och man kan köra direkt med AM, d.v.s. leddiden är kort och inga verktyg behövs. Samt kan man öka noggrannhet i produktionen med AM via RT.	-

Dessa två tabeller visar vad företag som använder AM inom tillverkning har svarat under respektive intervju.

Frågor	Företag A	Företag B
Utrustning som används inom AM	SLS- och SLA-teknik.	EBM-teknik för metalliska material.
Syftet som AM fyller för företaget	Global leverantör av detaljer producerade genom AM.	DDM.
Processer som ersätts eller kompletteras med AM	Använder bara AM som tillverkningsprocess.	AM ersätter inte någon process i nuläget, men kompletterar vissa processer som inte klarar av att tillverka komplexa geometrier.
Framtida möjligheter	Produktionen kommer öka. AM kommer bli billigare och mer effektiv i framtiden och prototyper kommer minska.	För att AM ska bli mer etablerad i framtiden måste tillförlitligheten förbättras och graden av automation måste öka.
Införandet av AM i Sverige på produktion	Kunderna kan ha sina egna detaljer, d.v.s. designa fritt och individuellt anpassade detaljer, samt korta leveranstider.	AM har medfört många fördelar inom produktion, såsom korta ledtider, ingen verktygskostnad, mindre material osv.

Denna tabell visar vad legotillverkande företag har svarat under respektive intervju.

4.2 Enkätundersökning

De presenterade resultaten är tagna från enkätstudier baserat på svar från olika företag. Enkäten skickades ut till totalt 69 företag, varav 24 företag svarade. Enkätundersökningen bestod, som nämns i kapitel 2.5 Enkätstudier, av 44 frågor och har resulterat i 44 diagram baserat på frågorna. Av dessa diagram är elva diagram utvalda, som ansetts relevanta och mest intressanta för den här undersökningen. De valda diagrammen är även de som ger relevant information utefter de konkretiserade frågeställningar i kapitel 1.6 Frågeställningar. Enkäten samt respondenter presenteras i Appendix B.

4.2.1 Resultat från alternativfrågor

Hur många år har företaget existerat?

24 av 24 människor besvarade denna fråga



Figur 6: Resultatdiagram 1.

Hur många år har företaget arbetat med additiv tillverkning?

24 av 24 människor besvarade denna fråga

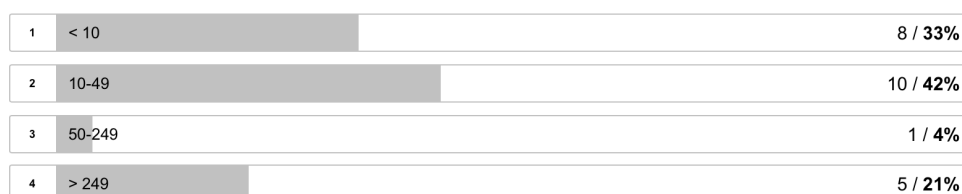


Figur 7: Resultatdiagram 2.

Generellt är svar på enkäten från företag med flerårig erfarenhet inom additiv tillverkning. Denna fördelning återspeglar sig även i de intervjuer som genomförts.

Hur många anställda har företaget?

24 av 24 människor besvarade denna fråga

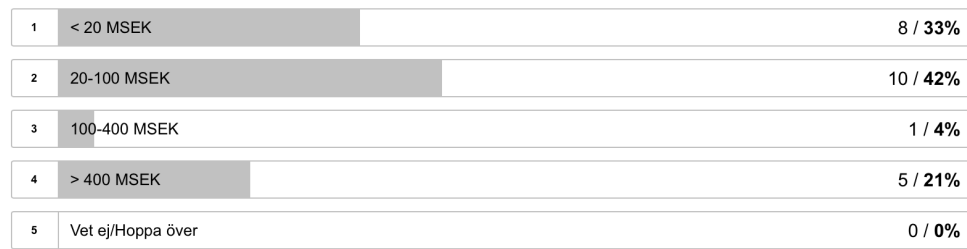


Figur 8: Resultatdiagram 3.

Generellt är företagen som svarat på enkäten och som blivit intervjuade sett till personal medelstora företag.

Hur stor var företagets omsättning år 2015?

24 av 24 människor besvarade denna fråga



Figur 9: Resultatdiagram 4.

Hur mycket har företaget investerat inom additiv tillverkning de senaste 5 åren?

24 av 24 människor besvarade denna fråga

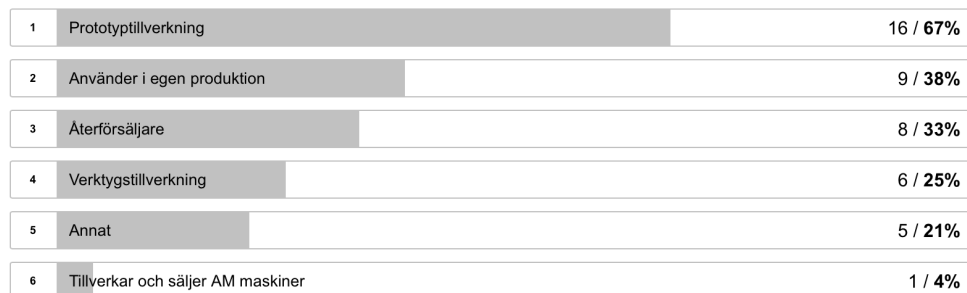


Figur 10: Resultatdiagram 5.

Sett till omsättning, för företagen som svarat på enkäten och som blivit intervjuade, är en omsättning mellan 20 och 100 MSEK vanligast. För investerat kapital är svaren mellan respondenterna något spritt mellan 5 och 10 MSEK de senaste fem åren.

Vad använder företaget additiv tillverkning för?

24 av 24 människor besvarade denna fråga

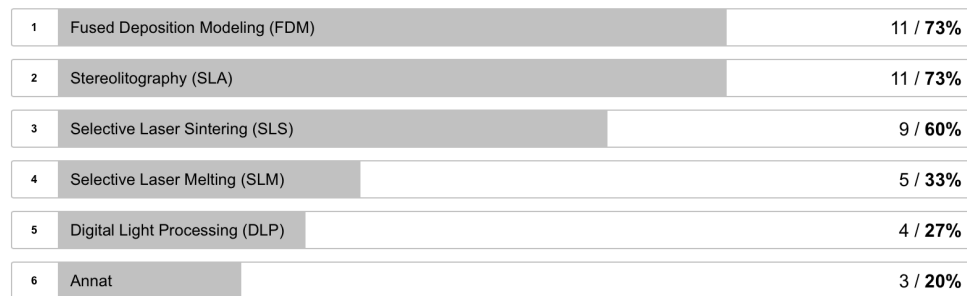


Figur 11: Resultatdiagram 6.

Användningsområden för additiv tillverkning skiljer sig något mellan de olika respondenterna, då verksamhetsområden skiljer sig, men vanligast är dock prototyp tillverkning. Även återförsäljare av maskiner för additiv tillverkning hävdar att deras kunder och slutanvändare använder maskinerna främst för prototyp tillverkning.

Vilka tekniker har ni tillgång till idag?

15 av 24 människor besvarade denna fråga

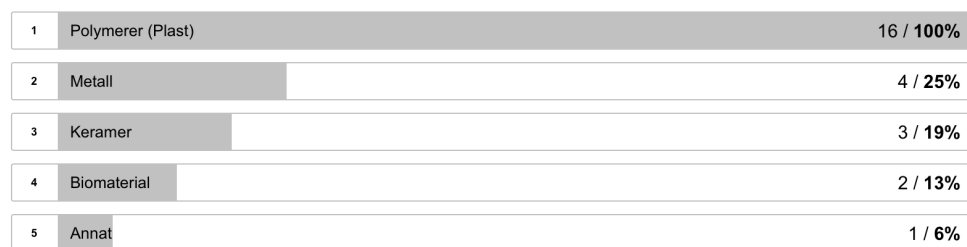


Figur 12: Resultatdiagram 7.

De två vanligaste tillverkningsteknikerna är FDM och SLA. Värt att notera är att tillverkningsteknikerna som är vanligast mellan respondenterna skiljer sig väldigt mycket, då de olika teknikerna har skilda egenskaper. Detta resultat återspeglas också bland de företag som besökts och intervjuats.

Vilket/vilka arbetsmaterial använder era maskiner?

16 av 24 människor besvarade denna fråga

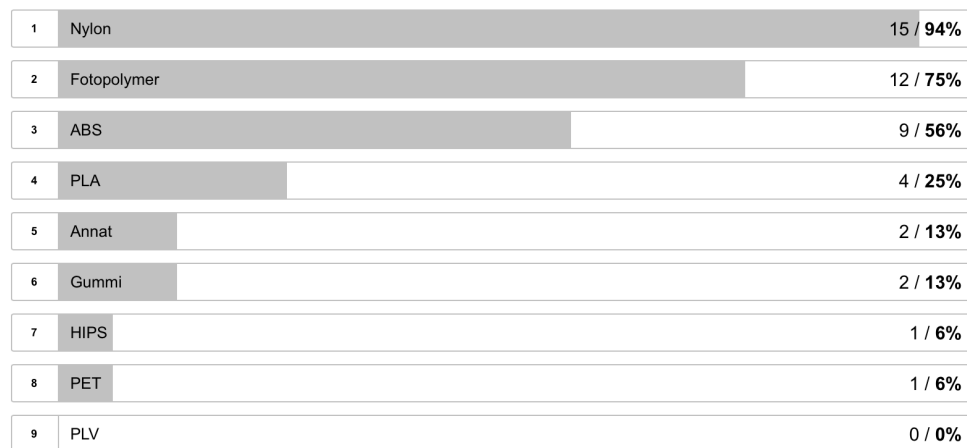


Figur 13: Resultatdiagram 8.

Vad gäller material och tillverkningstekniker är polymerer klart vanligast. Det är dock värt att notera att kontakt med företag som är kända användare och tillverkare av additiv tillverkning för metalliska material har varit svåra att inleda konversation med. I de intervjuer som genomförts har endast ett företag varit verksam inom metalliska material.

Polymerer:

16 av 24 människor besvarade denna fråga

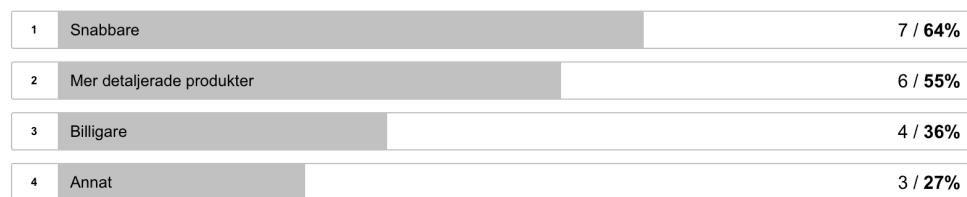


Figur 14: Resultatdiagram 9.

Inom familjen för polymerer är nylon, fotopolymerbaserade material och ABS vanligast. I det här avseendet kan det ses en koppling mellan tillverkningstekniken och materialet, där nylon och ABS är vanliga material för FDM-tekniken och fotopolymerbaserade material inom SLA-tekniken.

Vad är huvudanledningen till att ni använder AM?

11 av 24 människor besvarade denna fråga

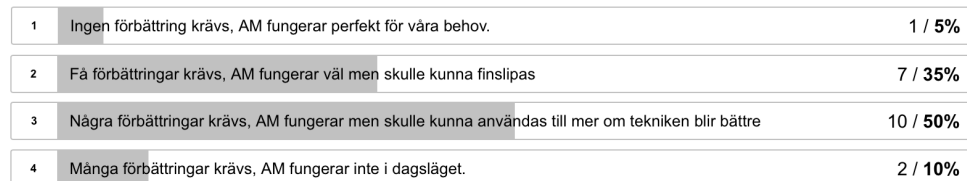


Figur 15: Resultatdiagram 10.

Respondenterna och de intervjuade har blandade åsikter kring huvudanledningen för additiv tillverkning, men det vanligaste svaret har varit snabbheten och lägre TTM.

Utifrån företagets behov, hur stor utvecklingsbehov har additiv tillverkning i dagsläget?

20 av 24 människor besvarade denna fråga



Figur 16: Resultatdiagram 11.

I dagsläget är företagen relativt nöjda med additiv tillverkning och ser mindre förbättringar för tekniken. För de intervjuade företagen har svaret varit blandat, där några ansett tekniken ha litet utvecklingsbehov och andra tekniken ha större utvecklingsbehov.

4.2.2 Resultat från fritextfrågor

Enkätundersökningen innehöll även fritextfrågor, där företagen fick svara fritt på frågorna. Majoriteten av respondenterna var antingen VD eller säljare och i fåtal av fallen forskare.

En utav fritextfrågorna, som ställdes i samband med enkätundersökningen, var om några maskiner eller processer hade tagits bort i deras verksamhet efter att AM hade införts. Utifrån de 24 deltagande företagen var det nio som besvarade frågan, varav sex svarade "Nej" och tre "Ja". Utifrån de tre som svarade "Ja", skrev även en att deras vakuumformning hade ersatts helt med AM.

En annan fråga, som ansågs relevant, var om nya arbetsmoment baserade på AM hade införts eller inte. Utifrån 13 som svarade på frågan svarade nio "Ja" på den frågan och fyra svarade "Nej". Några nya införda arbetsmoment var bland annat framtagning av gjutformar och rengöring samt rensning av 3D-printade detaljer.

När det kom till fritextfrågan om vad respondenterna ansågs vara den vanligaste orsaken till att företag vill köpa 3D-skrivare, svarade respondenterna främst till prototyp tillverkning och sedan till att höja effektiviteten i företaget. Ett företag svarade dock att företag köper 3D-skrivarna främst att de helt enkelt tycker att det är intressant, utan några planer eller idéer för vad den ska användas till.

Majoriteten av de delaktiga företagen vill fortsätta utveckla AM i deras verksamhet. Detta har de tänkt göra, genom framför allt, mer inköp av maskiner och införandet av mer utbildning. Vissa företag har angett specifikt vad deras framtida investeringar kommer vara, där ett av dessa vill införa SLS-skrivare för metall och ett annat företag vill införa ny infärgningsprocess för AM.

När det kommer till fritextfrågan "Vilka metoder/processer kan bli utkonkurrerade av AM?" svarade i stort sett alla respondenter att AM är ett komplement till andra tillverkningsmetoder. AM kommer inte att konkurrera ut någon utav dessa, men möjligtvis reducera några av dessa. Ett undantag var gjutning och vissa manuella prototyp tillverkningar som på sikt kan konkurreras ut av AM.

Alla respondenter, förutom en, ansåg att inget material kan bli utkonkurrerad utav AM. Det enstaka företaget, som ansåg annorlunda, tror att gjutning och fräsning av Titaniumaluminid kan möjligtvis bli utkonkurrerad. Detta eftersom att det är extremt svårt att både gjuta och fräsa detta material.

Den sista frågan som ställdes var hur additiv tillverkning eventuellt kan se ut om fem år. Inom de frågan ansåg många att det kommer förekomma fler maskiner med större kapacitet och även nyare tekniker med möjligheten till fler material.

5 Diskussion

Diskussionen grundar sig på resultat från studiebesök, intervjuer, enkätstudie samt litteratur. Diskussionen nedan är författarnas försök att finna samband mellan alla de resultat och den fakta som tagits fram.

5.1 Svar på frågeställningar

5.1.1 Vilken utrustning används inom AM?

Resultatet för denna undersökning visar att FDM-tekniken är den mest förekommande tekniken i Sverige, se Figur 12, något som även styrks av andra rapporter, bland annat ”The Adoption of Additive Manufacturing Technology in Sweden” [7]. Det finns ett flertal faktorer som påverkar detta. Tekniken är relativt billig i förhållande till de utskrifts- och produkttegenskaper som uppnås, samt att en stor mängd olika materialval finns tillgängliga. FDM-tekniken är även vanligast inom konsumentsegmentet, vilket medför en större allmän kännedom kring dessa maskiner. I en intervju hävdade respondenten att vissa företag köper in billiga konsumentmaskiner för att ha som utbildningsmaterial och inspirationskällor åt de operatörer och konstruktörer som brukar de mer avancerade AM-maskinerna, något som kan tyda på ett värde av flertalet olika maskiner. Vid produktion med hjälp av FDM-tekniken är behovet av efterbearbetning ofta låg och processen är relativt säker och ren vad gäller arbetsmiljö. För FDM-tekniken finns också möjligheten att fiberarmera produkten under tillverkning, detta för att ge detaljerna en högre hållfasthet. För vissa ändamål kan en fiberarmerad detalj ersätta en av till exempel aluminium, vilket medför möjlighet att använda delar tillverkade genom AM i mer krävande miljöer och tillämpningar.

SLA är den teknik efter FDM som är vanligast i Sverige, se Figur 12, SLA-tekniken möjliggör en högre upplösning och bättre ytnoggrannhet än många andra tekniker. Detta medför att SLA lämpar sig för produkter med höga krav på precision och detaljgrad som till exempel smyckestillverkning [45]. SLA kräver alltid efterbearbetning, ofta med hälsovådliga kemikalier vilket då kräver speciella verktyg och anpassat utrymme. SLS-teknik för polymerer är också mycket vanlig, se Figur 12. Dessa maskiner är ofta mer skrymmande än FDM- och SLA-maskiner med motsvarande byggvolym. För SLS-tekniken krävs aldrig, eller mycket sällan, stödmaterial vilket möjliggör mycket komplexa former. En stor fördel med SLA- och SLS-maskiner är att X/Y-byggvolymen påverkar operationstiden relativt lite. Tidsåtgången skiljer sig alltså inte mycket mellan att göra till exempel en solid sfär gentemot en ihålig. På grund av denna egenskap är det därför viktigt att planera utskrifter noggrant för att maximera effektiviteten.

Vad gäller studiebesök, intervjuer och information från företag som använder AM med metall är detta en brist i denna rapport. De slutsatser som kan dras med hjälp av resultat från författarnas studier samt litteratur är att AM med metall är en mer produktionsinriktad teknik där dessa ersätter och/eller kompletterar befintliga tekniker. AM med metall är också vanligast inom branscher och produktgrupper där förädlingsvärdet är mycket högt, till exempel jetmotorer, ortopediska implantat och liknande [46].

En del av de företag som intervjuades är verksamma som återförsäljare och säljer AM-maskiner till allt ifrån maskiner för hemmabruk till professionella industrimaskiner. De flesta av dessa säljer skrivare som använder sig utav polymera material men några säljer även metallskrivare. De företag som saluför metallskrivare är oftast tillverkarna själva då de oftast tillverkas på kundorder.

Materialval varierar kraftigt med avsett ändamål för den tillverkade produkten. Vanligast är dock användning av polymera material där nylon och ABS-plast är mest frekventa, se Figur 13. Det finns ett antal maskiner på marknaden som är låsta till specifika material och tillverkare medan andra maskiner tillåter material som finns att tillgå på marknaden. I de intervjuer som genomförts har önskemål om billigare material och en öppen marknad för dessa framförts. En del av de intervjuade företagen hävdar dock att detta är mycket svårt att genomföra då säkerheten kring materildatablad och annan nödvändig information kan vara svår att tillgå.

5.1.2 Vilket syfte fyller AM för företaget?

Företag i Sverige använder AM i huvudsak till prototyp-tillverkning samt för egen produktion, se Figur 11, vilket studien “The Adoption of Additive Manufacturing Technology in Sweden” styrker. Anledningen till att RP är ett så stort användningsområde är just för att produktutveckling ofta är en stor kostnadspost. I designfasen av produktutvecklingen är det vanligt att det sker många ändringar innan den slutliga designen och funktionaliteten är som önskad. Detta gör att AM är en lämplig teknik att använda då det enkelt går att utföra ändringar i en produkts CAD-modell och tillverka en ny produkt, utan att nya verktyg, gjutformar eller liknande behöver tillverkas. Detta kan medföra stora kostnadsbesparningar då det i stort sett bara är förbrukningsmaterialet som kostar. Att använda sig av AM ger också företagen möjlighet att designa detaljer med högre komplexitet, vilket till exempel kan reducera antalet artiklar för en produkt och därigenom sänka monteringskostnader [4].

Ett annat användningsområde där AM ofta tillämpas är RT, där fixturer och verktyg tillverkas för användning i produktion. Detta kan möjliggöra snabbare start av en ny produktion eller modifiering av en redan existerande då ledtider och kostnader för verktyg, fixturer och annat produktionsstöd minskar. En del företag använder sig också utav AM för att tillverka reservdelar till sina maskiner istället för att behöva beställa dessa från tillverkare. Det förekommer även användning av AM för *nödlösningar*, som exempelvis att något är slut i lager.

En av många anledningar till att AM för plastdetaljer inte används speciellt mycket till DDM är just på grund av att dessa detaljer oftast inte uppnår den hållfasthet som krävs. Det finns dock ett fåtal tekniker och företag som tillverkar detaljer i fiberarmerad plast, där till exempel kolfiber och kevlar gjuts in i den tillverkade detaljen. Denna teknik ger detaljerna en högre hållfasthet och möjligheten att använda dessa i applikationer med högre belastningar.

Ofta är produktionstid per enhet idag mycket hög vid tillverkning med AM vilket medför att AM ej kan konkurrera med traditionella tillverkningstekniker vid serie- och massproduktion.

5.1.3 Vilka processer ersätts och/eller kompletteras med AM?

Additiv tillverkning kan i de flesta fall anses som en kompletterande tillverkningsprocess, det vill säga att den inte ersätter andra tillverkningsmetoder, utan kompletterar dessa. Med AM finns även möjligheten att göra nya legeringar, som tidigare var omöjliga att göra med traditionella tillverkningsmetoder. En tillverkningsform som AM håller på att konkurrera ut är gjutning, där är exempelvis Titaniumaluminid näst intill omöjligt att gjuta och måste på så vis tillverkas med AM. Vakuumformning är också en tillverkningsmetod där AM börjar ta över inom tillverkning av mindre komponenter. Ett annat område som AM börjar ta över och kompletterat är medicinska implantat, vilket främst beror på att människans utseende och kropp varierar. Därmed behövs det en tillverkningsmetod som kan tillverka produkter med stor variation samt detaljerat. De flesta företag som deltagit i denna undersökning anser AM som en bra tillverkningsmetod till prototyper, modeller och även som en kompletterande tillverkningsmetod. AM är i nuläget för långsam och dyr i storserieproduktion jämfört med traditionella tillverkningstekniker. Enligt studier som gjorts [39] [40] är AM enbart lönsam upp till en viss produktionsvolym, vilken kan variera kraftigt beroende på vad det är som skrivs ut. Behovet för AM ligger främst inom RP samt till viss del för testning av produkter då materialegenskaperna hos de utskrivna detaljerna har förbättrats oerhört mycket sedan de första skrivarna kom ut. Ett exempel på detta är så kallad multi-material printing där designern kan specificera var de vill ha sin prototyp förstärkt med ett mer hållfast material [43]. AM har lett till att en del företag inte längre väljer att investera i vissa tekniker av friformning, framför allt silikongjutning, då additiv tillverkning har kompletterat denna teknik såpass bra.

Sammanfattningsvis kan det sägas att AM kan jämförelsevis enkelt och billigt tillverka komplexa produkter med en avancerad inre struktur, detta i jämförelse med traditionella tillverkningsmetoder som med största sannolikhet inte kan eller har väldigt svårt att tillverka dessa produkter. Majoriteten av företagen som har varit delaktiga i våra undersökningar tror inte att additiv tillverkning i dagsläget kan ersätta traditionella tillverkningsmetoder helt och hållet. Det anses att dess användningsområden finns inom förbättring av de befintliga processerna i en produktion, snarare än att ersätta dem. Många anser att fler och fler kommer inse fördelarna med AM och därmed flytta över vissa detaljer till 3D-printing från traditionella tillverkningsmetoder såsom fräsning, formsprutning och så vidare. Detta kommer då innefatta verktygsframtagning med hjälp av AM för formsprutning och gjutning med flera. Därmed är det i dagsläget rimligt att förutspå att additiv tillverkning kommer med stor sannolikhet att ersätta många tillverkningsmetoder i framtiden. Trots denna lovande framtid om additiv tillverkning har inte alla i branschen samma åsikter om framtiden. Exempelvis tycker ett par av de intervjuade att trögheten i förändringsarbetet är ett problem. De anser att industrin ser problemen istället för möjligheterna med AM, där de själva anser att det gäller att applicera AM på rätt sätt. Ett exempel på en process som additiv tillverkning har ersatt var vid Volvo Lastvagnar. Volvo hade först många specialtillverkade detaljer, för att det var svårt att komma åt respektive delar vid montering. Sedan när de insåg att dessa delar inte behövde tillverkas i metall började AM implementeras och ersatte den befintliga processen (N.Jarl, Verksamhetschef, Creative tools, April 6, 2016).

5.1.4 Vilka effekter har AM haft på produktutveckling och produktion?

AM har haft en mycket positiv inverkan på produktion. Enligt Prototals VD (H.Lundell, Prototal, personlig kommunikation, April 7, 2016) så har tekniken minskat ledtiderna och produktionskostnaderna hos deras kunder. Henrik Holmberg, chef på IKEAs prototypenhet i Älmhult (H.Holmberg, IKEA, personlig kommunikation, April 19, 2016) har också märkt samma fördelar med AM genom att de har lyckats utveckla sina produkter snabbare. Allt detta har något av en gemensam nämnare, vilken är att det är mycket smidigt att använda sig utav AM då det inte krävs några större förberedelser eller verktyg för att få fram en detalj, vilket både Värnamo modellen AB (J.Sjöö, Ritning- och konstruktionsansvarig, Värnamo modellen AB, Mars 11, 2016) och IKEA påpekade under intervjuerna. Med hjälp av AM så har verktygskostnader, materialåtgång och ledtiden reducerats i och med att det inte används några direkta verktyg som skär och liknande, samt att detaljerna som tillverkas kan göras med olika fyllnadsgrader och behöver alltså inte vara helt solida. Detta är ett antal av de punkter som tas upp i artikeln "Additiv tillverkning öppnar upp för nya möjligheter så ta vara på den nya tekniken" vilket skrivits mer om under rubriken "litteratur".

5.1.5 Hur kommer AM se ut i framtiden i den svenska industrin?

De senaste åren har Sverige hamnat efter inom Additiv tillverkning, något som bekräftas av rapporten "The Adoption of Additive Manufacturing Technology in Sweden". Detta är dock påväg genom att fler företag investerar inom AM. Tillväxten och investeringsviljan begränsas dock av flertalet olika faktorer. En av dessa faktorer är den kompetens- och kunskapsbrist som råder inom området, vilket behandlas under kapitel 5.1.7. En annan viktig faktor är den ekonomiska aspekten. Då AM idag kräver en annan typ av ekonomisk modell för att uppnå lönsamhet är det svårt för företag att beräkna och riskbedömma en eventuell investering inom AM.

I framtiden antas att fler användare kommer inse fördelarna med AM och applicera dessa tekniker inom områden. En respondent menar att redskap såsom vakuumformar tillslut kommer ersättas helt och att detta kommer ske då byggvolymen hos 3D-skrivare ökar. Det är många företag som har förhoppningar för AM-tekniken, även om utvecklingen inte går lika snabbt fram som förväntat. Detta kommer dock ändras snart, enligt Henrik Holmberg som är chef för IKEA of Swedens prototypenhet i Älmhult, det på grund av att många patent inom AM snart löper ut, vilket kommer medför att ny teknologi når marknaden.

Majoriteten av de företag som intervjuats tror inte att AM kommer användas för massproduktion i framtiden Enligt ett par av de intervjuade kommer AM att utvecklas, men samtidigt som detta sker kommer andra tillverkningsmetoder också utvecklas och effektiviseras. Detta ligger till grund för teorin att AM inte kommer att konkurrera ut andra tillverkningsmetoder, utan snarare inom vissa specifika branscher och applikationsområden. Detta för att det kommer finnas behov som inte går att täcka på annat sätt än med AM, som till exempel finmekaniska delar. Det kommer också att ske förbättringar av produkter där flera parter slås samman till en av den enkla anledningen att det går. Detta kan komma att påverka flera tillverkningsmetoder för just den produkten, men inte generellt för en specifik tillverkningsmetod.

Alla de företag som intervjuades anser dock att AM växer och kommer fortsätta växa i Sverige. Med fler fallstudier som underlag för investeringskalkyler, mer kunskap om hur AM kan appliceras och lägre priser på utrustning kommer AM att expandera i Sverige.

5.1.6 Investeringar inom AM

Utifrån Figur 9 kan det ses att förgående år hade en majoritet av de delaktiga företagen en omsättning mellan 20-100 MSEK och 21 procent omsatte mer än 400 MSEK. Trots detta valde större delen av företagen att investera mindre än 5 MSEK i AM de senaste åren, vilket kan utläsas ur Figur 10. Detta kan vara en anledning till varför Sverige ligger efter vad gäller etablering och användning av AM. Företagen anser att en investering inom AM inte är särskilt gynnande och väljer därmed att inte investera eller att investera relativt lite. En orsak till detta kan vara brist på utbildning inom AM.

5.1.7 Utbildning

Sverige ligger efter andra länder i Europa och Norden vad gäller utbildning och kunskap inom additiv tillverkning [47]. I och med denna kunskapsbrist har ett antal yrkeshögskolor i samarbete med företag och organisationer startat utbildningar inom additiv tillverkning för att förbättra kunskapen och insikten i hur AM används och dess applikationsområden. Utbildningen granskas och beviljas av myndigheten för yrkeshögskolan, men det är representanter från branschen som till stor del utformar utbildningen. Detta medför, förhoppningsvis, att utbildningen är relevant och att kompetensen som arbetsmarknaden efterfrågar är tillfredsställd. Den viktigaste delen i detta samarbete är den tid då studenterna praktiserar ute i sin yrkesroll som utgör en tredjedel av den två-åriga utbildningen. [48][49]

Även tekniska högskolor och universitet inför utbildningar inom AM vilket på sikt kommer medföra högre kunskap om AM och därigenom möjliggöra för nya applikationsområden samt process-, maskin- och materialutveckling.

5.1.8 Arbetsliv

Efter utbildningen ska de examinerade kunna designa och skapa 3D-modeller, efter ett koncept, och designskisser samt enligt olika 3D-skrivares tekniska begränsningar. De examinerade ska också kunna bemästra 3D-scanning av objekt och kunna bygga upp modeller i CAD-program. Kunskapen inom omkostnader och på vilka sätt som det är fördelaktigt att använda sig utav AM-tekniken, kommer också finnas hos de examinerade. Efter utbildningen ska de likaså kunna underhålla diverse 3D-skrivare. Utbildningen innehåller kurser som ger lärdom inom materialegenskaper, för att kunna välja ett lämpligt material för prototyper respektive den färdiga produkten som ska skrivas ut. Utbildningen behandlar också olika typer av metoder, för- och nackdelar med 3D-skrivare, olika sorters filformat och hur dessa konverteras till 3D-skrivarnas läsbara format. Då det är möjligt att med AM tillverka komplexa geometrier, som tidigare inte var möjligt, får studenterna kunskaper om

nya typer av designer och lösningsproblem. Slutligen kommer studenterna få kunskaper om toleranser och avvikelser, vid produktion, samt lageruppbyggnad och placering utav föremål på byggplattformen och till sist efterbearbetning av den utskrivna detaljen.

Då en stor del av utbildningen sker ute på en arbetsplats får studenterna fördjupa sina teoretiska kunskaper på ett praktiskt sätt. På detta vis får studenterna fördjupad arbetslivserfarenhet och en möjlighet att utveckla och befästa sina lärdomar till kunskap. I och med detta har studenterna möjlighet att lära sig mer, angående utmaningarna som kan uppkomma i arbetslivet, men också att knyta kontakter med företagen samt att lära känna branschen på en mer ingående nivå. Många av studenterna får en fast anställning efter utbildningens slut, som beror på den starka koppling de haft med företagen under sin praktik. Många företag runt om i Sverige börjar öka sitt användande av AM, vilket i sin tur ger högre efterfrågan av dessa operatörer på arbetsmarknaden och kunskapen ökar därefter. I och med att utbildningen är såpass kort och forskning pågår kontinuerligt på skolorna så finns det god potential att inom en snar framtid se Sverige bland de länder som är ledande inom användningen idag.

5.2 Validitet

Målet med denna studie var att sammanställa hur användandet av AM är i nuläget i den svenska industrin. För att få svar på detta gjordes ett antal frågeställningar som besvarades med hjälp av både intervjuer och en enkätundersökning. Då vissa svårigheter med att få kontakt med ett stort urval av företag som tillämpar denna teknik och inom olika områden vad gäller RP, RT och DDM har stötts på har denna studie haft ett begränsat urval. Trots detta begränsade urval lyckades en någorlunda spridd fördelning mellan användningsområdena göras. Urvalet utfördes genom att dela upp olika kategorier som säljande/tillverkande företag av 3D-skrivare, företag som använder AM i egen produktion samt företag som säljer tjänsten av AM, där intervjuer och studiebesök genomfördes hos dem som kunde ta sig tid. För att komma i kontakt med dessa företag som hjälpt oss att samla in data så användes Sveat som är en intresseorganisation för användning av AM i Sverige. Plastteknik Nordic-mässan i Malmö resulterade också i en del kontakter som enkäten skickades till. Med noga utformade frågeställningar, relevanta frågor i enkäten som relaterar till frågeställningarna, samt utvärderade analyser av svaren, har den data som insamlats gett en överblick över hur användandet ser ut idag i den svenska industrin. Anledningen till att valet av datainsamling utförs på mer än ett sätt ligger till grund för att alla inte har lika lätt för sig att uttrycka sig verbalt samt för att kunna komma i kontakt med företag på längre distanser. För att inte stöta på några hinder där feltolkningar kan uppkomma har frågorna utformats på ett sådant sätt att svar är tvunget att ges med konkreta värden. Då ett mindre urval respondenter och intervjuade har ingått i studien är det inte helt säkert att dessa resultat kan svara helt för hur användandet i industrin ser ut för tillfället. Genom litteraturstudier och jämförelser med liknande undersökningar kan en slutsats dras av att resultatet från denna forskning kan illustrera större delen av den svenska industrin i dagsläget vad gäller användandet av AM. Samma gäller trenden som både i denna studie samt liknande undersökningar visar att de går åt samma håll.

6 Slutsats/Rekommendationer

Nedan följer de slutsatser som dragits utefter resultat och diskussion, varefter rekommendationer för framtida forskning samt framtida utveckling.

6.1 Slutsatser

Användning av AM i Sverige ökar, med ett skifte från prototyp- och produktutvecklingsfokus till produktionsfokus. Allt fler tekniker och material syftar till att ersätta produkter tillverkade med traditionella tillverkningstekniker med AM. Dock krävs ytterligare förbättringar inom teknik samt förändringar inom utbildning för att etableringen av AM skall öka i takt. Majoriteten av de företag som blivit intervjuade spår att andelen av AM för tillverkning av metallkomponenter, inom industri och näringsliv, kommer öka i framtiden. Tillgängligheten av material som tidigare varit inkompatibla med AM, såsom kolfiber, anses också vara potentiella expansionsområden. Det antas även att en utveckling av 3D-skanning kommer höja användandet av AM eftersom att det underlättar kopieringen och modifiering av befintliga delar.

De tre vanligaste teknikerna inom AM i den svenska industrin är FDM-, SLA- och SLS-teknikerna, där majoriteten av företagen i Sverige använder polymerer som arbetsmaterial. Inom produktion används AM främst för tillverkning av fixturer, verktyg och dylikt, alltså RT. I dagsläget används AM sällan till slutprodukt, det vill säga DDM, detta på grund av att den färdiga produkten saknar den hållfasthet och precision som krävs.

Alla företag som intervjuades för denna rapport anser att AM först och främst är en kompletterande teknik jämte traditionella tillverkningstekniker snarare än ersättande. Vissa tekniker och material ersätts dock mer än andra, där respondenter hävdar att gjutning av vissa material, till exempel titanialuminid, samt vakuumformning är på väg att utkonkurreras av AM.

Inom vård och medicinteknik är AM mer mogen med producenter som ständigt ökar utbud och produktion med hjälp av AM. Detta innefattar bland annat individanpassade produkter, till exempel skallbensproteser men också produkter som tillverkas i serie och i ett fåtal olika storlekar som till exempel höftproteser.

En av de stora faktorerna till varför Sverige ligger efter vad gäller etablering och användning av AM är kunskapsbrist inom ämnet. På grund av att svenska högskolor länge har saknat denna utbildning, har också kompetens och förståelse för hur AM kan användas saknats. I och med avsaknaden av utbildning på grundnivå inom högskolor och universitet antas att forskningsåtaganden blir lidande. Flertalet yrkeshögskolor, högskolor och universitet har de senaste åren infört kurser och utbildningar med fokus på AM, vilket förhoppningsvis kommer leda till att kompetensgapet minskar.

Vad gäller produktutveckling och produktion i den svenska industrin har företag inom AM bidragit med minskade ledtider, verktygskostnader, materialåtgång och produktionskostnader. Genom AM kan även miljöpåverkan minskas. Bland annat kan detta göras genom högre materialutnyttjande.

De olika teknikerna skiljer sig åt vad gäller återanvändning, dock har flera av de industriellt tillämpbara maskinerna något system för materialåtervinning. Materialutnyttjandegraden för additivt tillverkade komponenter är ofta väsentligt högre än för traditionellt tillverkade, vilket innebär mindre spill. ”*Buy-to-fly-ratio*” är en term inom aerospace som syftar till råmaterialets vikt i förhållande till den färdiga komponentens vikt. På grund av importans av viktreducering är det inte ovanligt att produkter inom detta segment har en *Buy-to-fly-ratio* kring 15-20. Detta medför höga materialkostnader men också miljöpåverkan. Med hjälp av AM kan liknande produkter uppnå en *Buy-to-fly-ratio* nära 1, vilket innebär högt materialutnyttjande och därigenom låg miljöpåverkan.

Då AM fortfarande är en relativt ny teknik, med komplicerade miljö- och hälsoaspekter [43], saknas fortfarande forskning inom just detta område. En respondent nämner specifikt att återanvändning av material är något som är önskvärt hos skrivare. Många företag använder tekniken till prototyp- samt modelltillverkning och ger upphov till ett stort spill i och med att prototyperna i många fall enbart används ett fåtal gånger och sedan kastas.

6.2 Rekommendationer till framtida forskning

Nedan följer författarnas rekommendationer och önskemål för framtida forskning.

6.2.1 Fallstudier från näringslivet

Författarna rekommenderar en explorativ framtida studie med tydligt fokus på fallstudier från näringslivet. Detta för att bättre utforska och synliggöra hur de unika egenskaper som AM medför tas tillvara på. Att undersöka och dokumentera de användningsområden där AM används för tillverknings- och processtöd är av stort intresse då detta är ett område som ofta kommit på tal under intervjuer, utan att någon specifik fakta erhållit, med hänvisning till sekretess. Författarna har i denna rapporten med begränsad tid haft svårt att komma i kontakt med de företag som inte valt att offentliggöra deras användning av AM, då detta kan ses som en konkurrensfördel och industrihemlighet.

6.2.2 Utbildningsstudie

Författarna anser att en studie kring utbildning och utbildningsmaterial för AM är av intresse, då Sverige ligger efter övriga länder i Europa och Norden vad gäller utbildning, både på avancerad nivå och för yrkesutbildning [7]. En studie kring utbildning kan möjliggöra bättre satsningar inom utbildningsväsendet och hjälpa Sverige att stänga det kompetensgap som idag finns.

6.2.3 Är AM verkligen en disruptiv teknologi?

I media nämns 3D-printing ofta som en revolution och en framtidsteknik som ger tidigare oanade möjligheter. Denna rapport, samt stora delar av den litteratur som behandlas i

rapporten anser att denna bild är något skev. Men finns det möjlighet att AM är en disruptiv teknologi? Vad för begränsningar finns, teoretiskt, för AM vad gäller precision, hastighet och kostnad och hur snart kan AM nå den tekniska nivå där tekniken utkonkurrerar traditionella tillverkningstekniker?

6.2.4 Miljöpåverkan

Då AM är ett så pass brett område, och innefattar vitt skilda skrivare och material, är det även ett omfattande arbete att utvärdera hälso- samt miljörisker hos olika tekniker. Dock är detta behövligt, då användningen av tekniken ökar och allt fler blir exponerade för farliga processer och material. Det finns några få studier om miljöpåverkan av olika tekniker, men det saknas på de flesta tillverkningstekniker [43]. Inom detta område finns mycket som framtida forskning bör undersöka.

6.3 Rekommendationer till framtida utveckling

I och med denna studie har en del önskemål och efterfrågningar kommit på tal, en del av dessa har kommit att bli rekommendationer inför framtida utveckling, vilka listas nedan.

6.3.1 Starkare material

För tillfället finns redan ett antal trådar som är fiberarmerade med t.ex. kolfiber, kevlar etc. på platsidan. Undersökningar av alternativa material, för att kunna få detaljer med högre hållfasthet som i sin tur skulle kunna fungera som en slutlig produkt i diverse komponenter. Att undersöka om det är möjligt att kunna applicera ett material som är ännu starkare eller t.o.m. enbart består utav starka material där exempelvis plasten som omsluter det starkare materialet utesluts.

6.3.2 Bättre smälta

Forskning angående redan befintligt material och FDM-tekniken som behandlar smältningen mellan varje skikt för att få dessa att hålla ihop bättre och förhindra att dessa skikt delar på sig för att uppnå mer hållbara produkter med bättre ytfinhet.

6.3.3 Snabbare utskrift

I nuläget används 3D-tekniken mestadels till RP och i vissa fall för RT, R'et i dessa förkortningar står för "rapid", som på svenska betyder snabb, alltså snabb prototypstillverkning samt snabb verktygstillverkning. Detta stämmer bra då det går mycket snabbare att tillverka dessa detaljer med hjälp av 3D-skrivare. Dessvärre går det mycket långsammare att tillverka saker i serie med denna teknik än med traditionella tillverkningssätt såsom

exempelvis formsprutning. Här finns det potential att utveckla skrivare som med samma goda kvalitet och toleranser skriver ut detaljer på en kortare ledtid. Detta främst för att kunna få in 3D-tekniken mer i produktionen och eventuellt kunna förbättra komponenter i diverse applikationer då det går att tillverka med mer komplexitet. Där kan föremålets vikt reduceras och även användas för inbyggda funktioner, som t.ex. kylkanaler, för att få ner antal komponenter i en produkt.

6.3.4 Större byggvolym

För att kunna öka storleken på de utskrifter som görs behövs större byggvolym. Idag finns det 3D-skrivare som har relativt stor byggvolym, där Creative tools hade exempelvis en 3D-skrivare som var en kvadratmeter. Men med den hastighet som dagens skrivare har, tar detta allt för lång tid. Om detta i framtiden skulle förändras och tekniken lyckas kunna hantera en högre hastighet medför detta inte bara en kortare ledtid på produkterna, utan även möjligheten till att kunna öka byggvolymen och bibehålla kort skrivartid. Därifrån blir det lönsamt att använda sig utav 3D-skrivare istället för att köra detaljen i exempelvis en fräs, där du inte alls kan utnyttja hanterandet av komplexa detaljer.

6.3.5 Återanvändning av material

Då tekniken än så länge används mest för prototyp tillverkning så blir det mycket plastdetaljer som lämnas för återvinning, som i sin tur används till förbränning för att skapa energi. Om dessa plastdetaljer istället går att hantera själv till återanvändning så skulle detta gynna både miljön, men även användaren, som i sin tur inte behöver köpa nytt material i samma utsträckning.

6.3.6 Högre grad av automatisering

Att ge denna teknik en ännu större skjuts in i framtiden skulle vara att göra skrivarna mer automatiserade än i dagsläget. Att ha en 3D-skrivare med egen hjärna som själv mäter in nollpunkter och avstånd från plattan underlättar användandet i ännu högre grad och ger högre kvalitet på utskriften då den alltid arbetar med optimala förutsättningar. Att ha den automatiserad kräver också att den då ska kunna känna av trådtjocklek vid användandet av FDM-tekniken, men också kunna välja temperatur på munstycket och plattan själv för att skapa den perfekt utskrivna detaljen.

Referenser

- [1] F. Grieser, “What Resolution Can 3D Printers Print? | All3DP,” 2015. [Online]. Available: <https://all3dp.com/3d-printer-resolution/>
- [2] B. C. Gross, J. L. Erkal, S. Y. Lockwood, C. Chen, and D. M. Spence, “Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences.” *Analytical chemistry*, vol. 86, no. 7, pp. 3240–53, apr 2014. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1021/ac403397r>
- [3] S. Karlsson, “Additiv tillverkning - utveckling och trender,” pp. 18–23, 2014. [Online]. Available: <http://www.protech.se/storage/ma/0571dca114964461a0d9512ef6341872/383a0d399d6946dc8909dc7a1ea920de/pdf/21CA6685EF38AD865D3AA135BB8D65D07C4C8A5A/additiv{ }tillverkning{ }artikel.pdf>
- [4] I. Gibson, D. Rosen, and B. Stucker, *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, 2014, vol. 2014. [Online]. Available: <https://books.google.com/books?hl=sv{&}lr={&}id=OPGbBQAAQBAJ{&}pgis=1>
- [5] R. Johansson, “2-3 ggr längre livslängd på kugghjulsfräs tack vare 3D-skrivare [7792] | Prototyp,” 2013. [Online]. Available: <http://www.netcommunity.se/201311147792/Prototyp/Artiklar/Framgangsrik-kugghjulsfräs-tillverkad-med-3D-skrivare-7792/menu-id-515>
- [6] A. Rosochowski and A. Matuszak, “Rapid tooling: the state of the art,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 106, no. 1-3, pp. 191–198, oct 2000. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013600006130>
- [7] B. Kianian, S. Tavassoli, T. C. Larsson, and O. Diegel, “The Adoption of Additive Manufacturing Technology in Sweden,” *3D Printing and Additive Manufacturing*, vol. 2, no. 4, pp. 93–98, 2015. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114009226>
- [8] E. F. McQuarrie, *The market research toolbox: a concise guide for beginners*, 4th ed., California, 2016.
- [9] C. Robson, *Real world research: a resource for users of social research methods in applied settings*, 3rd ed., Chichester, 2011.
- [10] “Free & Beautifully Human Online Forms | Typeform.” [Online]. Available: <https://www.typeform.com/>
- [11] E. Miller, “3D Printing, Rapid Prototyping, Additive Manufacturing? What is the Difference? | PADT, Inc. – The Blog,” 2012. [Online]. Available: <http://www.padtinc.com/blog/additive-mfg/3d-printing-rapid-prototyping-additive-manufacturing-what-is-the-difference>
- [12] K. V. Wong and A. Hernandez, “A Review of Additive Manufacturing,” *ISRN Mechanical Engineering*, vol. 2012, pp. 1–10, 2012.

- [13] G. N. Levy, R. Schindel, and J. Kruth, "RAPID MANUFACTURING AND RAPID TOOLING WITH LAYER MANUFACTURING (LM) TECHNOLOGIES, STATE OF THE ART AND FUTURE PERSPECTIVES," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 52, no. 2, pp. 589–609, jan 2003. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850607602066>
- [14] D. S. Wong, H. M. Zaw, and Z. J. Tao, "Additive manufacturing teaching factory: driving applied learning to industry solutions," *Virtual and Physical Prototyping*, vol. 9, no. 4, pp. 205–212, 2014. [Online]. Available: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17452759.2014.950487>
- [15] "Types of 3D printers or 3D printing technologies overview | 3D Printing from scratch," 2015. [Online]. Available: <http://3dprintingfromscratch.com/common/types-of-3d-printers-or-3d-printing-technologies-overview/>
- [16] "Digital Light Processing (DLP) - Home Shop 3D Printing." [Online]. Available: <http://homeshop3dprinting.com/3d-printing-qa/3d-printing-process-and-technologies/digital-light-processing-dlp/>
- [17] E. Palermo, "What is Stereolithography? | 3D Printing," 2013. [Online]. Available: <http://www.livescience.com/38190-stereolithography.html>
- [18] "Digital Light Processing rapid prototyping DLP 3D Print Services." [Online]. Available: <http://www.3dprinterpro.com/digital-light-processing/>
- [19] "Fused Deposition Modeling (FDM)." [Online]. Available: <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>
- [20] M. Cao, "Fused Deposition Modeling (FDM) and Its Main Limitations - IC3D PrintersIC3D Printers," 2015. [Online]. Available: <http://www.ic3dprinters.com/fused-deposition-modeling-fdm-and-its-main-limitations/>
- [21] E. Palermo, "What is Selective Laser Sintering?" 2013. [Online]. Available: <http://www.livescience.com/38862-selective-laser-sintering.html>
- [22] R. Eaton, "What's the Difference Between SLS and SLM - and Why Care? — RapidMade - 3D Printing, Rapid Prototyping, Additive Manufacturing and Engineering Services," 2014. [Online]. Available: <http://www.rapidmade.com/rapidmade-blog/2014/6/30/ycjnxtyvpt8n85gqutk5wj67cmx4t7>
- [23] "SLM (Selective Laser Melting) : 3D Printing Metal." [Online]. Available: <https://www.sculpteo.com/en/glossary/selective-laser-melting-definition/>
- [24] "Electron Beam Melting - Additively - your access to 3D printing." [Online]. Available: <https://www.additively.com/en/learn-about/electron-beam-melting{#}read-advantages>
- [25] E. Palermo, "What is Laminated Object Manufacturing? | 3D Printing," 2013. [Online]. Available: <http://www.livescience.com/40310-laminated-object-manufacturing.html>

- [26] J. S. Alexander Osika, Andreas Lavesson, “Additiv tillverkning i metall - Analys och jämförelse av metoderna,” 2015. [Online]. Available: <http://studentarbeten.chalmers.se/publication/219707-additiv-tillverkning-i-metall-analys-och-jamforelse-av-metoderna>
- [27] D. S. Thomas and S. W. Gilbert, “Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing,” *NIST Special Publication*, vol. 1176, 2014.
- [28] H. Seitz, W. Rieder, S. Irsen, B. Leukers, and C. Tille, “Three-dimensional printing of porous ceramic scaffolds for bone tissue engineering.” *Journal of biomedical materials research. Part B, Applied biomaterials*, vol. 74, no. 2, pp. 782–8, aug 2005. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15981173>
- [29] K. Ek, “Additive Manufactured Material,” p. 102, 2014.
- [30] N. A. Meisel and C. B. Williams, “Design and assessment of a 3D printing vending machine,” *Rapid Prototyping Journal*, vol. 21, no. 5, pp. 471–481, 2015. [Online]. Available: <http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/RPJ-07-2014-0081>
- [31] S. Korea, “Realizing Proof of Concept in Machine Design with 3D Printing Realizing Proof of Concept in Machine Design with 3D Printing,” 2015.
- [32] “”3d-tillverkningen tappar fart i Sverige” | Ny Teknik,” 2014. [Online]. Available: <http://www.nyteknik.se/opinion/3d-tillverkningen-tappar-fart-i-sverige-6400256>
- [33] M. Kristiansson, “UNDERSÖKNING: Så används 3d-print i Sverige | 3dp.se,” 2014. [Online]. Available: <http://3dp.se/2014/11/05/undersokning-sa-anvands-3d-print-i-sverige/>
- [34] J. Thulin, “Stora förväntningar på växande tillverknings-teknik [5715] | Prototyp,” *Netcommunity.se*, 2016. [Online]. Available: <http://www.netcommunity.se/201205245715/Prototyp/Artiklar/Stora-forvantningar-pa-vaxande-tillverkningsteknik-5715/menu-id-515>
- [35] “5 Vanliga missuppfattningar kring 3D-skrivare och additiv tillverkning - 3D Center | 3D Center.” [Online]. Available: <https://se.3dcent.com/5-vanliga-missuppfattningarmyter-kring-3d-skrivare-och-additiv-tillverkning/>
- [36] J. Tångring, “3D-utskrifter– det här är läget idag,” dec 2015. [Online]. Available: http://etn.se/index.php?view=article{&}catid=36{&}3Ateknik{&}id=61650{&}3A3d-utskrifter-det-haer-aer-laeget-idag{&}tmpl=component{&}print=1{&}page={&}option=com{&}_content
- [37] R. Berger, “Digitalisering av svensk industri,” 2016. [Online]. Available: <http://stratresearch.se/wp-content/uploads/digitalisering-av-svensk-industri.pdf>
- [38] M. Alpman, “Därför kallas 3d-skrivaren en bubbla | Ny Teknik,” 2013. [Online]. Available: <http://www.nyteknik.se/digitalisering/darfor-kallas-3d-skrivaren-en-bubbla-6402483>
- [39] O. Bång, “Additiv teknik, ett hjälpmedel i produktutvecklingen,” 2016. [Online]. Available: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2{&}3A894975{&}dswid=1554>

- [40] M. Baumers, P. Dickens, C. Tuck, and R. Hague, “The cost of additive manufacturing: Machine productivity, economies of scale and technology-push,” *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 102, pp. 193–201, 2016. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2015.02.015>
- [41] B. Lindahl, “Genombrott för 3d-tekniken driver upp tempot i produktutvecklingen — Arbetsliv i Norden,” 2014. [Online]. Available: <http://www.arbetslivinorden.org/i-fokus/i-fokus-2014/robotar-och-arbetslivet/article.2014-04-08.6408666026>
- [42] “Additiv tillverkning öppnar upp för nya möjligheter så ta vara på den nya tekniken - Mekpoint.” [Online]. Available: <http://mekpoint.com/i-fokus/additiv-tillverkning-oppnar-upp-nya-mojligheter-sa-ta-vara-pa-den-nya-tekniken>
- [43] W. Gao, Y. Zhang, D. Ramanujan, K. Ramani, Y. Chen, C. B. Williams, C. C. Wang, Y. C. Shin, S. Zhang, and P. D. Zavattieri, “The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering,” *Computer-Aided Design*, vol. 69, pp. 65–89, apr 2015. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010448515000469>
- [44] “Från prototyper till serieproduktion | Tema Industri & Verkstad,” 2014. [Online]. Available: <http://www.temaindustri.se/fran-prototyper-till-serieproduktion/>
- [45] S. Pattnaik, P. K. Jha, and D. B. Karunakar, “A review of rapid prototyping integrated investment casting processes,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, vol. 228, no. 4, pp. 249–277, 2013. [Online]. Available: <http://pil.sagepub.com/lookup/doi/10.1177/1464420713479257>
- [46] B. P. Conner, G. P. Manogharan, A. N. Martof, L. M. Rodomsky, C. M. Rodomsky, D. C. Jordan, and J. W. Limperos, “Making sense of 3-D printing: creating a map of additive manufacturing products and services,” *Additive Manufacturing*, vol. 1, pp. 64–76, sep 2014. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214860414000104>
- [47] A. S. Agenda and I. W. Additive, “COMING TOGETHER TO LEAD THE WAY.”
- [48] “Yrkeshögskola : Vad och varför ?” 2015. [Online]. Available: http://www.xenter.se/sites/default/files/media/yh-katalog{__}2015.pdf
- [49] “3D-printer designer och operatör - Nackademin.” [Online]. Available: <http://nackademin.se/utbildningar/3d-printer-designer-och-operator/>

Appendix

A: Intervjumall

Intervjumallen visas på nästa sida.

Introduktion

Hej,

Vi läser tredje året på Chalmers Tekniska högskola och håller på med ett kandidatarbete inom additiv tillverkning i svensk industri. Vi är sex personer som genomför denna studie. Tanken med denna intervju är att både få mer kunskap inom ämnet samt att få våra frågeställningar besvarade. Intervjun kommer ta drygt 1 timma att genomföra där du i slutändan kommer få ett tillfälle att kontrollera våra tolkningar. Vi vill försäkra dig om att intervjun kommer att vara helt anonym och att inga uppgifter om intervjun kommer att tas med ditt namn på dem om du önskar det.

Innan vi börjar med själva frågorna undrar vi om vi får lov om att spela in och anteckna under intervjun?

- a. Ja
- b. Nej

[Säg: Om du inte har några frågor så kan vi börja...]

Frågor

Vad heter du?

Vad har du för roll i företaget?

Vad arbetar du med?

Hur många år har du arbetat för företaget?

Hur många år har du varit verksam inom additiv tillverkning?

Vad heter företaget?

Vad arbetar företaget med?

Vad har företaget för mål och visioner?

Vad har företaget med additiv tillverkning att göra?

- a. Tillverkar och säljer FFF-maskiner. Svarta och gröna frågor...
- b. Använder i sin egen produktion.
- c. Tillverkar prototyper.
- d. Använder för att tillverka verktyg.
- e. Annat...

Hur mycket säljer ni på ett ungefär?

Ungefär hur många anställda har företaget?

Vad har ni som företag för mål och visioner inom additiv tillverkning?

Vad inom additiv tillverkning tillverkar ni idag?

Har ni alltid arbetat med additiv tillverkning?

- a. Ja, Hoppa över blåa frågor.
- b. Nej

Vad arbetade ni med innan ni införde additiv tillverkning?

Hur kommer det sig att ni har kommit in på additiv tillverkning?

Vem var det som tog initiativet till att företaget idag arbetar med additiv tillverkning?

Hur ofta används additiv tillverkning i företaget? [Ex: 1 gång/månad]

Frågeställning (VIKTIGASTE DELEN MED INTERVJUN!):

Vilken/vilka tillverkningsteknologier inom additiv tillverkning använder/tillverkar ni idag?

- a. Rapid Prototyping (RP)
- b. Rapid Tooling (RT)
- c. Direct Digital Manufacturing (DDM)
- d. Annat...

Vilken/vilka tillverkningsprocesser tillämpas i dagsläget i ert företag?

Har ni ersatt någon/några processer i er tillverkning med additiv tillverkning?

- a) Ja, [Säg: Vilka processer ersattes?]
- b) Nej, [Säg: Har ni några planer att göra detta i framtiden?]

Har ni kompletterat någon/några processer i er tillverkning med additiv tillverkning?

- a) Ja, [Säg: Vilka processer kompletterades och hur?]
- b) Nej, [Säg: Har ni några planer att göra detta i framtiden?]

Finns det några hinder för att utöka användningen utav additiv tillverkning?

- a. Ja, [Säg: Vad är dessa hinder?]
- b. Nej, [Säg: Varför utökas användningen inte?]

Hur har införandet utav additiv tillverkning påverkat er produktkostnad, ledtider och kvalitet?

Vilka fördelar har additiv tillverkning haft för företaget?

Hur har additiv tillverkning påverkat produktionen?

[Säg: Nu byter vi till mer framtida frågor]

Framtida frågor:

Anser du att additiv tillverkning behöver någon/några förbättringar?

- a) Ja [Säg: Vad för förbättringar?]
- b) Nej [Säg: Varför inte?]

Vad för planer har ni för framtida investeringar inom additiv tillverkning?

Hur tror du att additiv tillverkning kommer vara i framtiden i Sverige? [Ex: Snabbare, mindre i storlek, fler i landet, fler användningsområden...]

Hur tror du att användningen utav additiv tillverkning kommer vara i framtiden i Sverige?

Tror du det finns tekniker och/eller material som kan bli utkonkurrerade av additiv tillverkning?

- a. Ja [Säg: Vilka tekniker och/eller material?]
- b. Nej [Säg: Varför inte?]

Avslutning

Om vi vill använda information från denna intervju undrar vi om vi har lov om att få referera till dig som källa?

- a. Ja
- b. Nej [Säg: Får vi lov om att referera till företaget som källa?]

Finns det någon annan på företaget som du anser att vi bör kontakta angående additiv tillverkning?

- a. Ja [Säg: Har du några kontaktuppgifter som vi skulle kunna få för att kunna nå honom/henne?]
- b. Nej

Tack så mycket för att du gick med på att ha denna intervju och hjälp oss komma närmare vårt mål. Innan vi avslutar undrar vi helt enkelt om du anser att vi har missat någon viktig aspekt inom additiv tillverkning och i så fall vad?

- a. Ja, [Säg: Vad är det vi har missat?]
- b. Nej

Nu ska vi analysera intervjun. Rapporten kommer vara klar vecka 18 och om du önskar kan vi skicka ett exemplar av det till dig antingen elektroniskt eller i pappersform. Vi kommer även att ha en muntlig presentation utav arbetet den 2016-05-26 som du är välkommen till.

B: Enkätundersökning

Nedan inkluderas den information som gavs av enkätstudie. Observera att fritextsvar ej är inkluderade, samt att enkäten är uppbyggd med så kallad "logical jumps" presenteras vissa frågor enbart för vissa respondenter, beroende på tidigare svar. Frågorna och svaren utifrån enkätundersökningen finns på nästa sida.

Vilken utbildningsnivå har du?

24 av 24 människor besvarade denna fråga

1	4-årig "teknisk"	8 / 33%
2	Eftergymnasial utbildning längre än 3 år	6 / 25%
3	3-årig gymnasieutbildning	4 / 17%
4	Eftergymnasial utbildning 3 år eller kortare	4 / 17%
5	Hoppa över fråga	2 / 8%

Hur många år har du varit verksam inom additiv tillverkning?

24 av 24 människor besvarade denna fråga

1	8-11 år	9 / 38%
2	> 12 år	7 / 29%
3	3-7 år	6 / 25%
4	0-2 år	2 / 8%

Vad innehar du för roll inom företaget?

24 av 24 människor besvarade denna fråga

1	VD	10 / 42%
2	Säljare	7 / 29%
3	Annat	5 / 21%
4	Avdelningschef	1 / 4%
5	Produktionstekniker	1 / 4%
6	Konstruktör	0 / 0%

Hur många år har företaget existerat?

24 av 24 människor besvarade denna fråga

1	> 15 år	15 / 63%
2	0-4 år	5 / 21%
3	10-14 år	4 / 17%
4	5-9 år	0 / 0%

Hur många år har företaget arbetat med additiv tillverkning?

24 av 24 människor besvarade denna fråga

1	> 12 år	9 / 38%
2	0-3 år	5 / 21%
3	4-7 år	5 / 21%
4	8-11 år	5 / 21%

Hur många anställda har företaget?

24 av 24 människor besvarade denna fråga

1	10-49	10 / 42%
2	< 10	8 / 33%
3	> 249	5 / 21%
4	50-249	1 / 4%

Hur stor var företagets omsättning år 2015?

24 av 24 människor besvarade denna fråga

1	20-100 MSEK	10 / 42%
2	< 20 MSEK	8 / 33%
3	> 400 MSEK	5 / 21%
4	100-400 MSEK	1 / 4%
5	Vet ej/Hoppa över	0 / 0%

Hur mycket har företaget investerat inom additiv tillverkning de senaste 5 åren?

24 av 24 människor besvarade denna fråga

1	< 5 MSEK	7 / 29%
2	5-10 MSEK	6 / 25%
3	10-20 MSEK	5 / 21%
4	> 20 MSEK	4 / 17%
5	Vet ej/Hoppa över	2 / 8%

Vad använder företaget additiv tillverkning för?

24 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Prototypstillverkning	16 / 67%
2	Använder i egen produktion	9 / 38%
3	Återförsäljare	8 / 33%
4	Verktygstillverkning	6 / 25%
5	Annat	5 / 21%
6	Tillverkar och säljer AM maskiner	1 / 4%

Inom vilken bransch befinner sig företaget?

16 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Annat	10 / 63%
2	Fordon	2 / 13%
3	Inredning och design	2 / 13%
4	Elektronik	1 / 6%
5	Medicin och Vård	1 / 6%
6	Aeroteknik	0 / 0%
7	Försvar	0 / 0%
8	Mode, kläder och smycken	0 / 0%
9	Telekom	0 / 0%

Hur många maskiner har ni inom företaget?

16 av 24 människor besvarade denna fråga

1	> 10	6 / 38%
2	3-5	5 / 31%
3	6-10	4 / 25%
4	1-2	1 / 6%

För vad använder ni era maskiner?

16 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Rapid Prototyping (RP)	15 / 94%
2	Direct Digital Manufacturing	9 / 56%
3	Rapid Tooling (RT)	6 / 38%
4	Annat	2 / 13%

Vad är huvudanledningen till att ni använder AM?

11 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Snabbare	7 / 64%
2	Mer detaljerade produkter	6 / 55%
3	Billigare	4 / 36%
4	Annat	3 / 27%

Vilket/vilka arbetsmaterial använder era maskiner?

16 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Polymerer (Plast)	16 / 100%
2	Metall	4 / 25%
3	Keramer	3 / 19%
4	Biomaterial	2 / 13%
5	Annat	1 / 6%

Metall:

4 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Stål	4 / 100%
2	Aluminium	3 / 75%
3	Titan	3 / 75%
4	Annat	0 / 0%

Polymerer:

16 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Nylon	15 / 94%
---	-------	----------

2	Fotopolymer	12 / 75%
3	ABS	9 / 56%
4	PLA	4 / 25%
5	Annat	2 / 13%
6	Gummi	2 / 13%
7	HIPS	1 / 6%
8	PET	1 / 6%
9	PLV	0 / 0%

Inom vilka arbetsmoment använder ni additiv tillverkning?

16 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Prototyp tillverkning	16 / 100%
2	Fixtur tillverkning	10 / 63%
3	Form tillverkning	6 / 38%
4	Annat	2 / 13%

Vilka arbetsmoment har ni förbättrat/kompletterat med additiv tillverkning?

15 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Prototyp tillverkning	13 / 87%
2	Fixtur tillverkning	10 / 67%
3	Form tillverkning	7 / 47%
4	Annat	3 / 20%

Har ni något/några nya arbetsmoment som är baserade på additiv tillverkning?

14 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Ja	9 / 64%
2	Nej	5 / 36%

Vilka är era kunder?

15 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Annat	9 / 60%
2	Fordon	2 / 13%
3	Inredning och design	2 / 13%
4	Aeroteknik	1 / 7%
5	Medicin och Vård	1 / 7%
6	Elektronik	0 / 0%
7	Försvar	0 / 0%
8	Mode, kläder och smycken	0 / 0%
9	Telekom	0 / 0%

Hur många maskiner säljer ni per år?

13 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Vet ej/Hoppa över	6 / 46%
2	< 50	4 / 31%
3	500 <	2 / 15%
4	50-200	1 / 8%
5	200-500	0 / 0%

Hur många maskiner har ni i lager?

13 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Vet ej/Hoppa över	7 / 54%
2	< 100	5 / 38%
3	500 <	1 / 8%
4	100-200	0 / 0%
5	200-500	0 / 0%

Vilka tekniker har ni tillgång till idag?

15 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Fused Deposition Modeling (FDM)	11 / 73%
2	Stereolitography (SLA)	11 / 73%

3	Selective Laser Sintering (SLS)	9 / 60%
4	Selective Laser Melting (SLM)	5 / 33%
5	Digital Light Processing (DLP)	4 / 27%
6	Annat	3 / 20%
7	Electron Object Manufacturing	2 / 13%
8	Laminated Object manufacturing (LOM)	0 / 0%

Vilka material efterfrågas mest av era kunder?

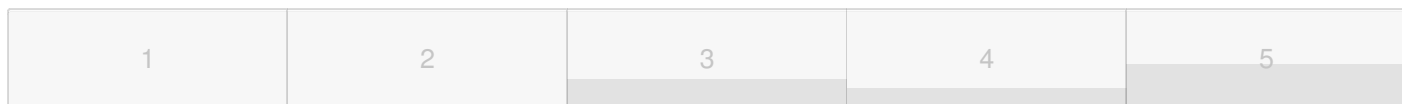
15 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Polymerer (Plast)	13 / 87%
2	Metall	6 / 40%
3	Keramer	3 / 20%
4	Annat	2 / 13%
5	Biomaterial	2 / 13%

Snabbare utskrifter

20 av 24 människor besvarade denna fråga

Medel: 4.05



Oviktig

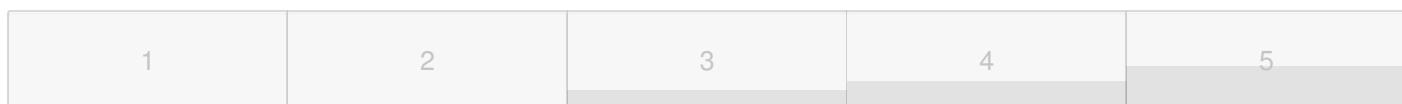
Mycket viktig

5		9 / 45%
3		6 / 30%
4		4 / 20%
2		1 / 5%

Fler materialval

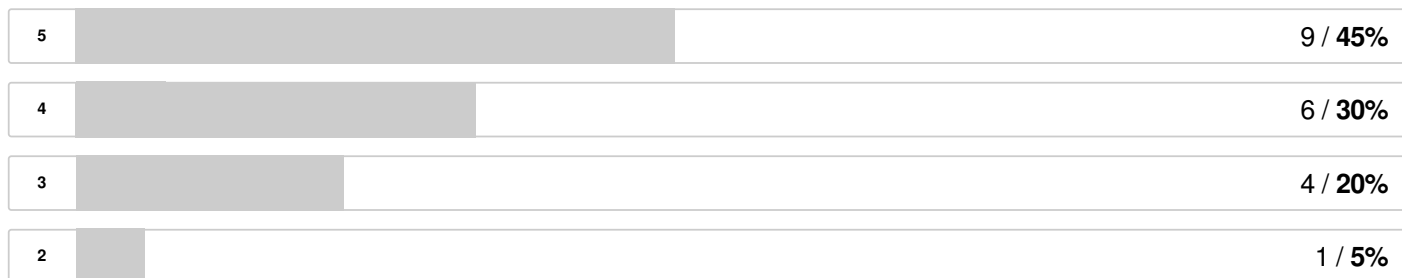
20 av 24 människor besvarade denna fråga

Medel: 4.15



Oviktig

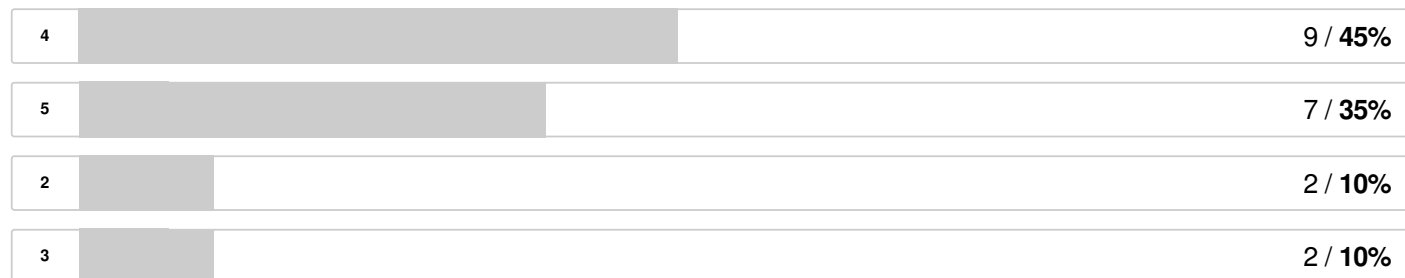
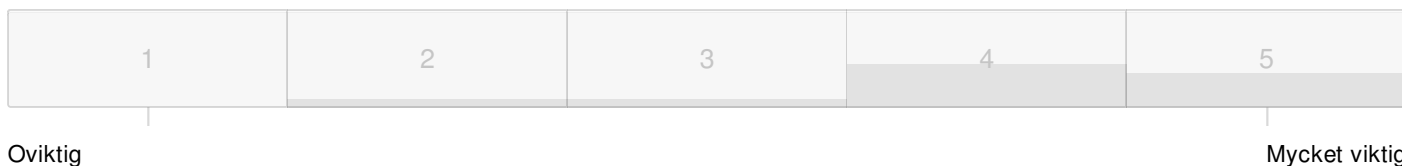
Mycket viktig



Bättre precision

20 av 24 människor besvarade denna fråga

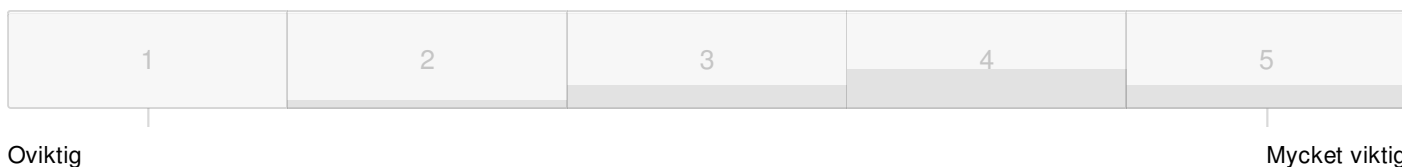
Medel: 4.05



Större volym

20 av 24 människor besvarade denna fråga

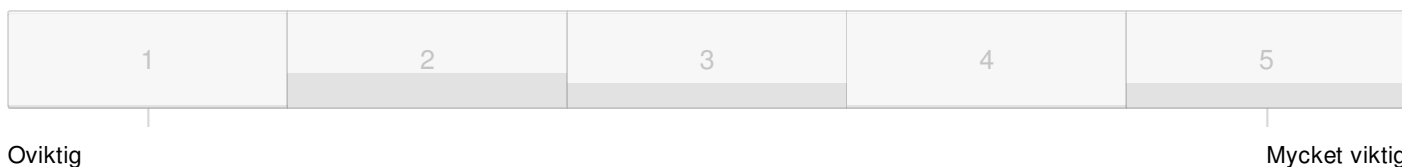
Medel: 3.80



Billigare maskiner

19 av 24 människor besvarade denna fråga

Medel: 3.11

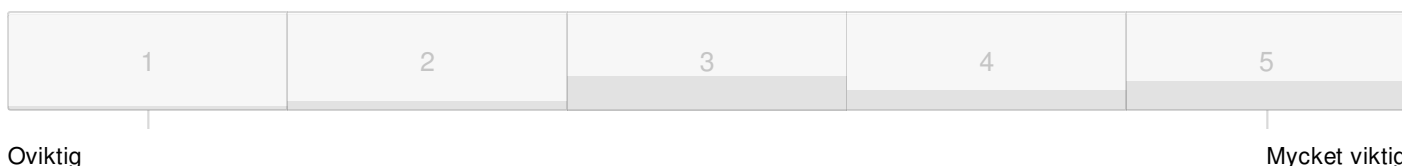




Billigare material

20 av 24 människor besvarade denna fråga

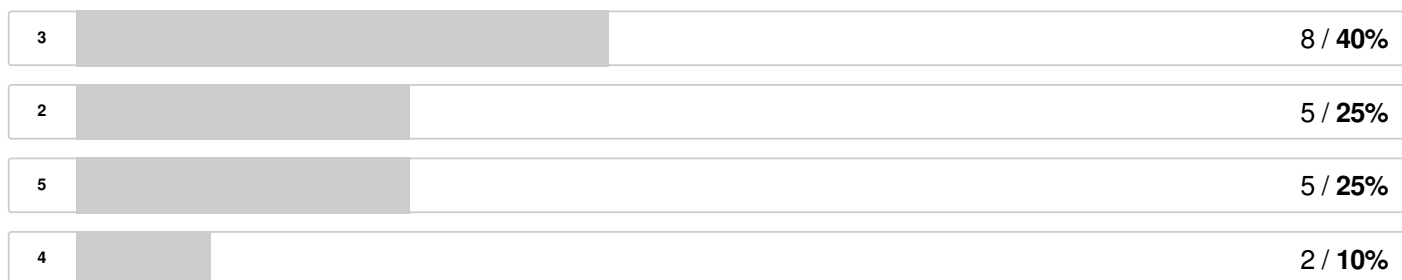
Medel: 3.60



Enklare handhavande

20 av 24 människor besvarade denna fråga

Medel: 3.35



Utifrån företagets behov, hur stor utvecklingsbehov har additiv tillverkning i dagsläget?

20 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Några förbättringar krävs, AM fungerar men skulle kunna användas till mer om tekniken blir bättre	10 / 50%
2	Få förbättringar krävs, AM fungerar väl men skulle kunna finslipas	7 / 35%
3	Många förbättringar krävs, AM fungerar inte i dagsläget.	2 / 10%
4	Ingen förbättring krävs, AM fungerar perfekt för våra behov.	1 / 5%

Hur nöjda är ni med den utrustning ni har i dagsläget?

19 av 24 människor besvarade denna fråga



4.32 Medelbetyg

1		10 / 53%
2		8 / 42%
3		1 / 5%

Får vi lov att använda den information du angivit i denna enkät till vårt arbete?

22 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Jag accepterar	22 / 100%
2	Jag accepterar inte	0 / 0%

Får vi lov att använda informationen i denna enkät, om informationen anonymiseras?

0 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Jag accepterar	0 / 0%
2	Jag accepterar inte	0 / 0%

Vill du att vi skickar rapporten till dig när den är färdig?

21 av 24 människor besvarade denna fråga

1	Ja	21 / 100%
2	Nej	0 / 0%