



**CHALMERS**

# **Kostnadsförändring vid övergång till additiv tillverkning:**

Härledning av en beräkningsmodell för tillämpning inom reservdelsindustrin

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Ekonomi och produktionsteknik

JOHANNA BANCK

ELIN FERGUSON

**INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION  
AVDELNINGEN FÖR ENTREPRENEURSHIP AND STRATEGY**

---

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, 2020  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)  
Rapportnummer E2020:040



Rapportnummer E2020:040

# Kostnadsförändring vid övergång till additiv tillverkning:

Härledning av en beräkningsmodell för  
tillämpning inom reservdelsindustrin

JOHANNA BANCK  
ELIN FERGUSON

TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION  
*Avdelning för Entrepreneurship and Strategy*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2020

Kostnadsförändring vid övergång till additiv tillverkning:  
*Härledning av en beräkningsmodell för tillämpning inom reservdelsindustrin*

JOHANNA BANCK  
ELIN FERGUSON

© JOHANNA BANCK, 2020  
© ELIN FERGUSON, 2020

Handledare och examinator: Gunnar Wramsby

Rapportnummer E2020:040  
Teknikens Ekonomi och Organisation  
Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Sverige  
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Göteborg, Sverige 2020

# FÖRORD

Examensarbetet om 15 högskolepoäng har utförts på Chalmers tekniska högskola och konsultbolaget Yovinn AB. Detta har gjorts under våren 2020 av två studenter från högskoleingenjörsprogrammet Ekonomi och produktionsteknik.

Först och främst skulle vi vilja uttrycka vår tacksamhet till Gunnar Wramsby, handledare och examinator från Chalmers. Han har under våren stöttat och bidragit med mycket kunskap och idéer.

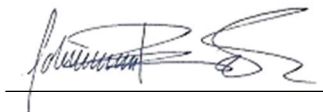
Vidare vill vi tacka Johan Lagerlöf, vår handledare på Yovinn AB, för den tid och det engagemang han har lagt ner under våren.

Vi skulle även vilja tacka de två intervjupersonerna Ola Öhrberg från Volvo Cars och Christoffer Wester från PLM Group.

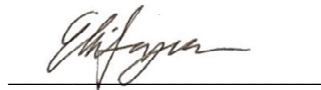
Chalmers tekniska högskola

Göteborg, Sverige

2020-06-16



Johanna Banck



Elin Ferguson



Gothenburg, Sweden 2020

Change of costs upon a transition to additive manufacturing:

*Derivation of a calculation model for application in the spare parts industry*

JOHANNA BANCK

ELIN FERGUSON

Department of Technology, Management and Economics

Division of Entrepreneurship and Strategy

Chalmers University of Technology

## ABSTRACT

There is great potential for additive manufacturing in several industries, including the spare parts industry since costs continue to decline as the technology develops. In addition, additive manufacturing has advantageous properties for spare parts as it leads to less capital binding in terms of spare parts inventory. For this reason, it is interesting to identify areas with potential for improvement in the transition to additive manufacturing, which can be done using various cost estimation tools.

A company with an interest in such a tool is Yovinn AB, active in design and product development and with an increasing focus on additive manufacturing. Yovinn runs a project to develop a software for guidance in the selection of manufacturing method, initially for spare parts, both from a technical and financial perspective. The work of the thesis aims to deal with the financial part. More specifically by explaining how a model, for calculating the difference in cost between purchased and additively manufactured spare parts, can be designed. However, the model does not intend to manage investment costing.

During the work it has been investigated which components should be included in such a model based on existing methodology and theory. Furthermore, it has been investigated which uncertainties that can be identified and how these can be handled. The result consists of a calculation model, which includes cost components for manufacturing with an additive method and the purchase of traditionally manufactured parts. The model is based on a system cost analysis, which means that only the costs affected by a transition are included. Moreover, the model is designed in such a way that the various cost components, which are developed for each method, are added together. The difference between the total cost for each method represents the cost change a transition leads to, which can then be applied in the project Yovinn conducts.

The result of the work shows that uncertainties are inevitable, especially for the components that affect transport and risk costs. However, possible approaches to dealing with these are presented. Furthermore, the model developed can help identify gaps in studies of cost estimation, mainly in inventory, transport and risk costs. In addition, the model can act as a foundation for the development of a tool that could be used to present a selection of parts, for which a transition to additive manufacturing would generate cost reduction.

This report is written in Swedish.

**Key words:** 3D Printing, AM, additive manufacturing, calculation model, cost calculation, spare parts industry.



# SAMMANFATTNING

Det föreligger stor potential för additiv tillverkning inom flera branscher, däribland reservdelsindustrin, till följd av att kostnaden ständigt minskar i takt med att tekniken utvecklas. Additiv tillverkning har även fördelaktiga egenskaper för reservdelar då det leder till mindre kapitalbindning i form av reservdelslager. Av denna anledning är det intressant att identifiera områden med förbättringspotential vid övergång till additiv tillverkning, vilket kan göras med hjälp av olika kostnadsuppskattningsverktyg.

Ett företag med intresse för ett sådant verktyg är Yovinn AB, verksamma inom design och produktutveckling och allt mer inriktade på additiv tillverkning. Yovinn driver ett projekt för att ta fram en mjukvara för vägledning vid val av tillverkningsmetod, initialt för reservdelar, både ur ett tekniskt och ekonomiskt perspektiv. Arbetet för rapporten syftar till att behandla den ekonomiska biten. Närmare bestämt genom att förklara hur en modell, för beräkning av skillnaden i kostnad mellan inköpta och additivt tillverkade reservdelar, kan vara utformad. Modellen avser dock inte beröra investeringskalkylering.

Under arbetet har det undersökts vilka komponenter som bör ingå i en sådan modell baserad på befintlig metodik och teori. Vidare har det undersökts vilka osäkerheter som kan identifieras och hur dessa kan hanteras. Resultatet utgörs av en beräkningsmodell, vilken innefattar kostnadskomponenter för tillverkning med en additiv metod och inköp av traditionellt tillverkade detaljer. Modellen baseras på en systemkostnadsanalys, vilket innebär att endast de kostnader vilka påverkas av en övergång innefattas. Vidare är modellen uppbyggd på så sätt att de olika kostnadskomponenterna, vilka tas fram för respektive metod, adderas. Skillnaden mellan totalkostnaden för respektive metod utgör kostnadsförändringen en övergång leder till, vilken sedan kan appliceras i det projekt Yovinn bedriver.

Resultatet av arbetet visar på att osäkerheter är oundvikliga, framförallt för komponenter vilka berör transport- och riskkostnader. Däremot presenteras möjliga tillvägagångssätt för att hantera dessa. Vidare kan den för arbetet framtagna modellen bidra till att identifiera glapp inom studier av kostnadsuppskattning, främst inom lager-, transport- och riskkostnader. Dessutom kan den ligga till grund för utveckling av ett verktyg vilket kan användas för att ta fram ett urval av detaljer, för vilka en övergång till additiv tillverkning, skulle kunna generera kostnadsreducering.

**Nyckelord:** 3D Printing, AM, additiv tillverkning, beräkningsmodell, kostnadsuppskattning, reservdelsindustri.



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	Inledning .....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Syfte .....	2
1.3	Problemformulering och frågeställningar .....	2
1.4	Avgränsningar .....	3
2.	Metod .....	4
2.1	Metodansats .....	4
2.2	Metodval .....	4
2.2.1	Litteraturstudie .....	4
2.2.2	Empiri .....	5
2.2.3	Utformning av beräkningsmodell .....	6
2.2.3.1	<i>Utvärdering av framtagen beräkningsmodell</i> .....	6
3.	Teoretisk referensram .....	8
3.1	Additiv tillverkning .....	8
3.2	Icke-tillverkningsrelaterade kostnader .....	8
3.3	Kostnads kalkylering .....	10
3.4	Befintlig modellutformning .....	12
3.5	Sammanfattning av teori .....	13
4.	Empiri .....	14
4.1	Intervjuer .....	14
4.1.1	PLM Group .....	14
4.1.1.1	<i>AM i allmänhet</i> .....	14
4.1.1.2	<i>Material</i> .....	15
4.1.1.3	<i>Tillverkningsrelaterade kostnader</i> .....	15
4.1.1.4	<i>Icke-tillverkningsrelaterade kostnader</i> .....	17
4.1.1.5	<i>Angående modellen</i> .....	18
4.1.2	Volvo Cars .....	19
4.1.2.1	<i>Allmänt</i> .....	19
4.1.2.2	<i>Risk</i> .....	20
4.1.2.3	<i>Lagerhållning och beställning</i> .....	20
4.1.2.4	<i>Angående modellen</i> .....	21
4.2	Tryckt material .....	22

4.2.1	PLM Group .....	22
4.2.2	Volvo Cars .....	23
5.	Utformning av beräkningsmodell .....	24
5.1	Val av kalkyleringstyp .....	24
5.2	Ingående parametrar .....	24
5.3	Sammanställning av beräkningsmodell.....	30
5.4	Utvärdering av framtagen beräkningsmodell.....	31
5.5	Bedömning av resultat.....	33
6.	Analys och diskussion.....	34
7.	Slutsats .....	37
7.1	Rekommendationer till fortsatt forskning .....	38
	Referenslista.....	39
	Bilagor	
	Bilaga I	
	Bilaga II	

## FIGURFÖRTECKNING

Figur 3.1 Schematisk bild över produktkalkylering .....	10
Figur 3.2 Sammanfattande figur av den teoretiska referensramen .....	13
Figur 4.1 Kostnadskomponenters andel av total tillverkningskostnad .....	22
Figur 4.2 Förhållande mellan total ledtids delprocesser .....	23

## TABELLFÖRTECKNING

Tabell 3.1 Definition av parametrar i modell av Atzeni & Salmi.....	12
Tabell 5.1 Sammanställning av beräkningsmodell med definition av dess parametrar.....	30
Tabell 5.2 Förteckning över beräkningsmodellens ingående komponenter .....	30

# BEGREPPSLISTA

ABC-kalkylering – Aktivitetsbaserad kostnadskalkyleringsmetod

AM – Additive manufacturing, additiv tillverkning, 3D Printing

CAD – Computer-Aided Design, konstruktions- och ritarbete med hjälp av datorer

HP – Hewlett Packard, bland annat tillverkare av 3D Printers

MJF – Multi Jet Fusion, en additiv tillverkningsmetod

PA12 – Tillverkningsämne vid 3D Printing, Nylon 12

SLS – Selective Laser Sintering, en additiv tillverkningsmetod

TM – Traditional manufacturing, traditionell tillverkning

# 1. INLEDNING

*I det inledande kapitlet beskrivs bakgrunden till och syftet med det genomförda arbetet. Vidare presenteras de avgränsningar som gjorts och de frågeställningar som avsetts besvaras.*

## 1.1 Bakgrund

I slutet av 1980-talet utvecklades tillverkningsmetoden additiv tillverkning (AM), även känt som 3D Printing, så som vi känner till den idag och har sedan dess fortsatt utvecklas. Metoden innebär att material adderas lager för lager istället för att material tas bort från ett arbetsstycke, vilket är fallet vid traditionell tillverkning (TM) (Achillas m.fl., 2015). Vid TM uppstår så kallade skalfördelar, alltså att kostnaden per produkt minskar med ökande volym (Ben-Ner & Siemsen, 2017). Fördelarna uppstår till följd av bland annat spridning av fasta kostnader, ökad förhandlingsstyrka och effekten av inlärningskurvan. Organisationer vilka verkar under den minimala effektivitetsgraden riskerar därmed att konkurreras ut eller förvärvas. Vid AM däremot är tillverkningskostnaden per detalj generellt sett konstant, oavsett produktionsvolym. Detta innebär att inträdesbarriärerna för både små och nya företag kan bli lägre då även mindre produktionsvolymmer kan vara konkurrenskraftiga, vilket i sin tur kan leda till en förändring av hela marknaden.

I dagens samhälle efterfrågas en alltmer användaranpassad produktion, vilket leder till ett behov av andra tillverkningsmetoder än de traditionella (Dilberoglu m.fl., 2017). Den senaste industriella revolutionen, industri 4.0, vilken innebär en förändring och övergång till smart, automatiserad teknologi bidrar också till behovet av att tillverkningsmetoder utvecklas. En tillverkningsmetod vilken möjliggör en mer användaranpassad tillverkning med högre komplexitetsgrad är AM, vilket är en av anledningarna till dess framgång idag.

Kostnaden för AM minskar ständigt till följd av framförallt snabbare bygghastighet och minskande materialkostnader (Berger, 2013) vilket i kombination med den möjliga fortsatta utvecklingen ger AM stor potential inom flera branscher (Mahadik & Masel, 2018). Ett område där AM har särskild potential är inom reservdelsindustrin (Knofius m.fl., 2019). En anledning till detta är att tillverkande företag tenderar att bygga stora reservdelslager på grund av exempelvis osäkerhet i efterfrågan, långa ledtider och långa driftstopp. Sådana reservdelslager genererar lagerkostnader för företaget. Kostnaden består till störst del av kapitalbindningskostnaden, vilken i princip motsvarar potentiell avkastning vid alternativ investering av kapitalet minus finansiell risk kopplad till sådan alternativ investering (Axsäter, 2015). Andra delar av lagerkostnaden är bland andra kostnader för materialhantering, lagerutrymme, inkuransrisk och eventuella skador samt försäkring och skatter. Ju dyrare och större reservdelar, desto högre lagerkostnader. En annan anledning till potentialen inom reservdelsindustrin är att det kan vara svårt att bibehålla underleverantörer av reservdelar så snart den ordinarie produktionen har upphört, då tillräckliga incitament inte längre föreligger (Knofius m.fl., 2019). Vid en övergång till additivt tillverkade reservdelar minskar behovet av lager och beroendet av underleverantörers förmåga att tillhandahålla reservdelar, vilket gör AM till ett fördelaktigt alternativ inom reservdelsbranschen.

För att underlätta för företag att hitta områden med förbättringspotential, i synnerhet avseende val av tillverkningsmetod, används olika verktyg för kostnadsuppskattning (Mahadik & Masel, 2018). Ett företag med intresse av ett sådant kostnadsuppskattningsverktyg är konsultbolaget Yovinn AB, vilket huvudsakligen är verksamt inom design och produkt-utveckling och alltmer inriktar sig på AM (Lagerlöf, personlig kommunikation, februari 2020). De önskar att ligga i framkant i övergången till den allt vanligare tillverkningstekniken, och driver därmed ett projekt med syfte att identifiera nya Business Case där AM är fördelaktigt. Idén med projektet är att utforma en mjukvara, vilken kan användas för att vägleda företag i valet av tillverkningsmetod, närmare bestämt när en övergång från traditionell till additiv tillverkning är gynnsam utifrån ett tekniskt och ekonomiskt perspektiv.

Den tekniska delen av projektet syftar till att med hjälp av ett självlärande system automatisera repetitiva processer och tidskrävande arbetsuppgifter och på så sätt möjliggöra en effektivisering i implementeringen av additiv tillverkning inom fordonsindustrin (Lagerlöf, 2020). Denna del av projektet drivs av Yovinn och går rent praktiskt ut på att utveckla en process vilken använder maskininlärning för att hitta ett urval av artiklar där en omställning till additiv tillverkning är lämplig.

Den ekonomiska delen av projektet handlar om att ta fram en modell för hur kostnader förändras i och med en övergång till additiv tillverkning (Lagerlöf, 2020). Målet är att en sådan modell ska kunna användas integrerad med processen av maskininlärning för att skapa en tjänst, vilken automatiserar ett urval för när en omställning till AM är tekniskt och ekonomiskt gynnsam.

Idag finns ingen modell vilken i kombination med maskininlärning kan användas för att få fram ett urval av reservdelar för vilka en övergång från inköpta reservdelar till AM är gynnsam.

## 1.2 Syfte

Syftet är att förklara hur en modell, för beräkning av skillnaden i kostnad mellan inköpta och additivt tillverkade reservdelar, kan vara utformad.

## 1.3 Problemformulering och frågeställningar

Med utgångspunkt i att det för närvarande inte finns en modell vilken kan användas för att ta fram ett urval av reservdelar där en övergång till AM kan vara ekonomiskt gynnsam har följande frågeställning formulerats:

- Vilka komponenter bör ingå i en modell – vilken kan användas för beräkning av kostnadsförändringar vid övergång till additiv tillverkning av reservdelar – baserad på befintlig metodik och teori?

Vidare innebär denna modellutformning att uppskattningar behöver göras och att de osäkerheter vilka uppstår till följd av dessa måste klargöras och begränsas. Ur detta följer därmed nedanstående frågeställningar:

- Vilka osäkerheter kan identifieras i en sådan modell?
- Hur kan sådana osäkerheter hanteras?

## 1.4 Avgränsningar

Ax m. fl. (2009) beskriver en strävan mot kontinuerlig förbättring, inte minst kostnadsreducering och produktivitetsförbättring, genom förbättringsinsatser inom ramen för den existerande verksamheten som *förbättringsinvesteringar*. En övergång till tillverkning med metoden additiv tillverkning kan således ses just som en förbättringsinvestering, då det rör sig om strävan mot kostnadsreducering genom förbättring och effektivisering av tillverkningsmetod inom ramen för den existerande verksamheten. För att fatta välgrundade beslut om sådana investeringar behövs investeringskalkyler där de finansiella konsekvenserna belyses (Ax m.fl., 2009). De elementära komponenterna i en investeringskalkyl är grundinvestering, in- och utbetalningar, restvärde, ekonomisk livslängd, kalkylränta samt investeringsförlopp. In- och utbetalningar vilka orsakas av en investering brukar benämnas *särlinbetalningar* respektive *särlutbetalningar*, varpå skillnaden mellan dessa benämns *inbetalningsöverskott*. Särlinbetalningar följer av ökad produktion och försäljning medan särlutbetalningar i själva verket är kostnadsreduceringar vilka kan hänföras till exempelvis personal, material, reparationer, underhåll, marknadsföring och transporter.

Rapportens arbete avser beröra delen av kalkylering vilken innefattar kostnadsreduceringen, alltså det som inom investeringskalkylering vanligen benämns särlutbetalningar, vid en övergång till AM. Således kommer varken finansiella konsekvenser för grundinvestering, restvärde, ekonomisk livslängd, kalkylränta eller investeringsförlopp beaktas. Vidare kommer modellen inte innefatta delen om särlinbetalningar. Den framtagna modellen kan användas som verktyg för framtagning av särlutbetalningar vid en investeringskalkyl.

En kostnadsanalys för en omvandling där endast kostnader som påverkas av omställningen inkluderas, kallas systemkostnadsanalys (Mollenkopf m.fl., 2005). För att simplificera modellen i detta arbete appliceras ett sådant förhållningssätt. Det innebär att endast de kostnader som berörs av en omvandling till AM inkluderas. Därmed exkluderas exempelvis marknadsföringskostnader, då de är oberoende av tillverkningsmetod.

## 2. METOD

*I metodkapitlet beskrivs vilken metodansats som valts. Vidare beskrivs metodvalet för arbetet i detalj.*

### 2.1 Metodansats

Valet av metodansats står mellan de tre etablerade metodansatserna deduktiv, induktiv och abduktiv (Bryman m.fl., 2019). Den deduktiva metodansatsen innebär att det utifrån befintlig teori formuleras hypoteser vilka sedan, genom undersökningar och datainsamling, bekräftas eller dementeras. Den induktiva metodansatsen innebär i stora drag en motsats till den deduktiva, där generalisering av observationer ger ny teori. Metodansatsen i arbetet är den alltmest förekommande abduktiva metoden. Metoden har uppkommit för att undkomma de begränsningar vilka de andra två metoderna medför (Bryman m.fl., 2019). Den abduktiva metoden utgår från ett ”pussel” eller ett problem, vilket inte tidigare finns beskrivet i teorin, och söker lösningar vilka helt eller delvis reder ut problemet. Då syftet med arbetet är att utforma en modell är det varken fråga om att bevisa/motbevisa formulerade hypoteser eller att komma fram till ny generell teori, således blev den abduktiva metodansatsen aktuell i arbetet.

Den epistemologi, kunskapsteori, som valts för detta arbete är den hermeneutiska. Denna skiljer sig från den positivistiska synen där kunskap ses som något kvantitativt och absolut, enligt det naturvetenskapliga synsättet (Bryman m.fl., 2019). Istället ses kunskap som kvalitativt och relativistiskt. Det krävs att författarens perspektiv tas i åtanke samt en förståelse för vilken kontext en text är producerad i när en analys genomförs (Bryman & Bell, 2011). Anledningen till att detta synsätt valts är just på grund av dess kvalitativa natur, i vilken fokus ligger på ord snarare än siffror. I arbetet har data i form av siffror förekommit, men avsikten har inte varit att dra generella slutsatser baserat på en mängd data (kvantitativ) utan att identifiera kostnadsdrivare och utvärdera den ekonomiska modellen genom att analysera noga utvalda data (kvalitativ).

### 2.2 Metodval

För att ge tillräcklig förståelse för läsaren sammanställs metodvalet för rapporten, vilket består av litteraturstudie, empiri och utformning av beräkningsmodell, vilken i sin tur innefattar en utvärdering av den utformade modellen.

#### 2.2.1 Litteraturstudie

Enligt Bryman & Bell (2011) är ett tillvägagångssätt för en litteraturstudie att börja med att läsa böcker och artiklar kända för en eller rekommenderade av andra. Detta görs för att bekanta sig med ämnet och ta reda på vad som redan är känt. Under tiden är det viktigt att föra anteckningar och notera vilka nyckelord och referenser som använts. Efter det formuleras egna nyckelord för att sedan påbörja litteraturstudien för det egna arbetet genom exempelvis olika databaser. När titlar med mest relevans identifierats och valts ut fortsätter arbetet med att föra anteckningar och samla in information.

Teorin som presenterats i arbetet rör framförallt kostnadskalkylering och modellutformning. Vidare har även teori kring de för arbetet aktuella tillverkningsmetoder, material och maskiner presenterats. Den teori som berör AM, såsom tekniker för AM, material och maskiner har legat till grund för att utreda vilka kostnadskomponenter som behöver ingå i kalkylen för kostnadsförändring vid en omställning till AM. Delen om modeller och kostnadskalkyler har legat till grund för utformandet av modellen. Vidare har teori om inköp, lagerhållning, transport och risk legat till grund för vilka icke-tillverkningsrelaterade kostnadskomponenter som skulle inkluderas i modellen. All teori har hämtats från olika databaser där en generell bild har skapats främst från läroböcker vilken sedan fördjupats genom artiklar och rapporter. De formulerade sökorden är bland andra "3D Printing", "additive manufacturing" och "AM" samt dessa i kombination med ord såsom "trends", "supply chain", "cost model" och "cost estimation".

De källor som använts har utvärderats utifrån de fem kriterierna relevans, upphovsman, syfte, tillförlitlighet och aktualitet i enlighet med Chalmers biblioteks skrivguide (Byström, 2019). Gällande aktualitet har bedömningen gjorts att källor rörande trender och additiv tillverknings påverkan på dagens samhälle bara kan användas vid publikation senare än 2016 medan information rörande exempelvis tekniken 3D Printing eller kostnadskalkylering kan hämtas från källor publicerade tidigare än så.

### 2.2.2 Empiri

Arbetets empiriska material har samlats in genom en fallstudie. Datainsamlingen i fallstudien har skett både genom studier av ett produktbibliotek över reservdelar, vilket Volvo Cars tillhandahållit i form av en Excel-fil och genom uppföljande intervjuer med sakkunnig på Volvo. Ytterligare information har inhämtats genom intervjuer med representant från PLM Group, vilka är återförsäljare av den för arbetet aktuella printer-typen. Dessa intervjuer har även kompletterats med tryckt material. Intervjuerna genomfördes dels för att validera vilka kostnadskomponenter som är nödvändiga i utformningen av modellen, dels för att kunna utvärdera och verifiera modellens noggrannhet. Intervjuerna är av den semi-strukturerad karaktären, alltså relativt flexibla gällande ordningsföljd och öppna för följdfrågor, men att frågor och ämnen som ska täckas förbereds innan (Bryman & Bell, 2011).

Intervjupersonerna är avsiktligt utvalda, vilket innebär att de valts på grund av deras relevans för studien (Bryman & Bell, 2011). I detta fall handlar relevansen om intervjupersonernas kunskap inom respektive område i kombination med deras koppling till företaget Yovinn och projektet som bedrivs. Från PLM Group intervjuades Christoffer Wester, säljchef från Norden, då han besitter kunskap om teknik och kostnader för tillverkning med den aktuella printern. Den för Volvo Cars utvalda intervjupersonen Ola Öhrberg har bland annat efterfrågad kunskap inom eftermarknad och innovation. På grund av rådande omständigheter med pandemi har alla intervjuer genomförts på distans, via digitala medel. Två intervjuer om 45 minuter vardera har genomförts med PLM Group och en intervju om 45 minuter med Volvo Cars. Alla intervjuer har spelats in och transkriberats, i syfte att säkerställa att alla detaljer inkluderats och för att möjliggöra vidare undersökning av vad som sagts.

De aspekter vilka kan tänkas påverka utfallet av studien och som bör ha i åtanke är bland annat att Wester är säljare, vilket skulle kunna influera svaren till fördel för AM och Hewlett-Packard (HP). Vidare kan det faktum att endast en person från respektive företag intervjuats påverka utfallet då deras åsikter inte stärks av ytterligare personer.

Anledningen till att datainsamlingen har skett genom en fallstudie följer från valet av en kvalitativ undersökningsmetod, vilket i sin tur innebär att tillvägagångssättet för datainsamlingen beror på det aktuella problemet. En risk med den kvalitativa metoden är den subjektivitet vilken kan uppstå till följd av att undersökaren väljer vilken data som anses vara relevant och inte (Bryman & Bell, 2011). Med detta i åtanke har modellen och dess parametrar valts med stöd i tidigare forskningsarbeten.

I fallstudien har reservdelar i bilindustrin vilka i nuläget köps in från underleverantör studerats. Vid additiv tillverkning av dessa detaljer används tekniken Multi Jet Fusion (MJF) i maskinen HP Jet Fusion och med materialet nylon, främst PA12.

### 2.2.3 Utformning av beräkningsmodell

Beräkningsmodellen vilken utformats för att beräkna kostnadsförändringen vid en övergång till AM har konstruerats med utgångspunkt i tidigare använda modeller för liknande syften. En analys av teorin om tidigare använda modeller har gjorts för att ge stöd åt beslutet om utformningen av modellen. Att utgå från tidigare modeller är även ett sätt att lära sig av andra och undvika att ”uppfinna hjulet på nytt”, enligt Bryman & Bell (2011). Därutöver har tidigare kostnadskalkyler för traditionell såväl som additiv tillverkning analyserats för att berättiga valet av kostnadskomponenter i den framtagna modellen.

Modellen har förbättrats iterativt allt eftersom för att nå målet om att kunna verka som beslutsunderlag i verkliga val av tillverkningsmetod. Detta bidrar även till en ökning av arbetets validitet, alltså integriteten av de slutsatser som kunnat dras (Bryman & Bell, 2011).

Då modellen utformats utifrån en fallstudie kan det inte garanteras att resultatet av modellen blir av samma noggrannhet vid applicering på andra fall, vilket även tas upp av Bryman & Bell (2011). Däremot följer det av metodvalet att modellen som utformats får en generell karaktär, vilket antyder att den, med viss modifiering, kan användas i ett godtyckligt fall med förhållandevis goda resultat. Detta leder i sådana fall även till att de slutsatser som kan dras är generella.

#### 2.2.3.1 Utvärdering av framtagen beräkningsmodell

Utvärderingen har genomförts i två steg, dels mot befintliga modeller för kostnadskalkylering vid AM vilket nedan benämns test 1, dels genom att modellen har applicerats på exempeldetaljer vilket nedan benämns test 2.

Test 1 avser utvärdera den del av modellen vilken beräknar tillverkningskostnaden vid AM. Detta görs genom att låta Materialise och 3D Hubs, vilka tillhandahåller verktyg för kostnadsuppskattning, beräkna kostnaden för tio olika detaljer vid olika byggkvantiteter. Detaljerna vilka testats är slumpmässigt utvalda med viss hänsyn till volym, geometri och funktion. Detta för att säkerställa lämpligheten att printa med den för arbetet aktuella tekniken. Detaljerna hämtas från GrabCAD, vilket är ett forum där användare kan ladda upp sina CAD-filer. Resultatet har jämförts med motsvarande kostnad i den framtagna beräkningsmodellen, vilket sedan diskuterats och analyserats.

De tio exempeldetaljer som valts ut för test 2 kommer från den av Volvo Cars tillhandahållna Excel-filen. Detta urval är baserat på den tekniska delen av Yovinns projekt, vilken avser ta fram detaljer för vilka en övergång till AM är tekniskt lämplig. I test 2 har den för arbetet framtagna beräkningsmodellen applicerats på de utvalda detaljerna för att utvärdera resultatet utifrån modellens samtliga parametrar. Då in-parametrarna inköpspris och varuvärde saknas kan en kostnadsförändring inte beräknas. Istället blir brytpunkten, för när AM ger kostnadsreducering i förhållande till inköpta reservdelar, det mest intressanta med testets resultat. Testet har genomförts i en Excel-fil där beräkningsmodellen och de fasta parametrarnas rekommenderade värden infogats. In-parametrarna utgörs av data för respektive detalj från Volvo Cars och i de fall den av sekretessskäl inte varit komplett har antaganden och/eller uppskattningar gjorts.

### 3. TEORETISK REFERENS RAM

*Avsnittet teoretisk referensram presenterar teori som behandlar AM och för arbetet berörd teknik och berört material, kostnadskalkylering samt utformning av modeller i tidigare arbeten. Även teori om icke-tillverkningsrelaterade kostnader presenteras.*

#### 3.1 Additiv tillverkning

Additiv tillverkning möjliggör tillverkning av komponenter utifrån 3D modeller, vilka byggs upp lager för lager (Diegel m.fl., 2020). Vidare möjliggör tekniken tillverkning av komplexa detaljer, vilket inte är möjligt med traditionella metoder. Det är dock viktigt att vara medveten om att AM kan bli dyrt i jämförelse med TM, särskilt vid tillverkning av enkla detaljer. Därmed är det viktigt att utvärdera för vilka fall det är fördelaktigt och inte.

Tidsuppskattning är en av de viktigaste parametrarna när det kommer till additiv tillverkning, då kostnaden är högst beroende av tiden det tar att producera en produkt (Mahadik & Masel, 2018). För att estimeras tiden för tillverkningen beräknas tiden det tar att framställa endast ett lager, vilket sedan multipliceras med antalet lager produkten består av. För att beräkna tiden för att printa ett lager behövs i allmänhet även parametrar som förflyttning av printerhuvudet, inmatning av material och sänkning av plattformen inkluderas i beräkningen.

AM består av flera olika metoder, en av dessa är Multi Jet Fusion (MJF) inom Powder Bed Fusion-teknologin (Diegel m.fl., 2020). MJF-tekniken är skapad av Hewlett-Packard (HP) och är hittills en av de mest kostnadseffektiva 3D Printing-teknikerna sett till framställning av prototyper och slutprodukter (Qviberg, 2018). MJF teknik är konkurrenskraftig vid produktion av serier upp till 100 000 per år vid en jämförelse med den traditionella formsprutningen. Dock är de främsta fördelarna de som generellt kan ses vid additiv tillverkning, till exempel vikt- och volyminimering samt komplexitet. Maskinen som används vid Multi Jet Fusion är *HP-MJF*, där den senaste 5200 serien har en byggkapacitet på upp till 5058 cm<sup>3</sup> per timme och en effektiv byggvolym på 380 x 284 x 380 mm, det vill säga 0,041 m<sup>3</sup> (HP, 2020a). Byggtiden för ett fullständigt arbete uppgår till 11,5 timmar med inställning ”Balanced print mode” (HP, 2020b).

Tekniken är pulverbaserad och bygger på att en bädd av pulver upphettas och att så kallade agents, en form av vätska, appliceras (Redwood m.fl., 2018). Agents förekommer i två former, ”fusing agent” för att binda ihop pulvret och ”detailing agent” för att skapa både skarpa och mjuka kanter. Efterbehandling vid tekniken består alltid av åtminstone blästring. Ett av de tillverkningsämnen som finns tillgängligt för tekniken är Nylon 12, även kallat PA12 (Diegel m.fl., 2020). Detta är en polyamid med hög slaghållfasthet, låg känslighet mot spänningssprickor, god väder- och kemisk beständighet samt låg specifik densitet (Griehl & Ruestem, 1970). Dessa egenskaper gör att PA12 lämpar sig bra för bland annat bil- och elektronikindustrin.

#### 3.2 Icke-tillverkningsrelaterade kostnader

Lagerkostnad uppkommer, som namnet antyder, vid lagerhållning av varor och beror således på hur stor kvantitet som lagerhålls (Jonsson & Matsson, 2016). Denna kostnad kan delas upp i två delar. Dels en fysisk, så kallad lagerhållningskostnad, vilken utgörs av de kostnader som det fysiska lagret bidrar till, exempelvis kostnader för lagerlokal eller lagerpersonal.

Dels en finansiell, även benämnd lagerföringskostnad, vilken består av kapital- och osäkerhetskostnader. Kapitalkostnaden i sin tur är det alternativa avkastningskravet för kapital bundet i lager. Vidare utgörs osäkerhetskostnaden av kostnader för de risker lagerhållning innebär, bland annat inkurans och stöld. Enligt Atzeni och Salmi (2012) är råmaterial det enda som kräver lagerhållning vid AM, vilket därmed kan reducera lagerkostnaden jämfört med TM som kräver större lagerhållning, till exempel i form av färdigvarulager.

Jonsson och Matsson (2016) nämner att lagersärkostnad innebär den kostnad vilken ytterligare en enhet av en artikel ger upphov till, alltså andelen av lagerkostnaden vilken kan knytas till *en* detalj. Denna erhålls genom att summera kapital-, osäkerhets- och lagerhållningssärkostnad. Ett annat sätt att uttrycka den på är i procent i form av lagerränta, vilket motsvarar den årliga särkostnaden dividerat med medellagervärde för samma period. Det är främst kapital- och osäkerhetskostnader som leder till höga kostnader, förutom för exempelvis skrymmande artiklar där även lagerhållningskostnaden kan bli stor. Lagerränta är något de flesta företag räknar på, dock på olika sätt. Av praktiska anledningar tillämpas vanligen samma lagerränta på alla artiklar trots att det normalt sett skiljer sig åt mellan olika artikelkategorier.

Kostnader för extern transport härstammar från olika aktiviteter såsom lastning, förflyttning och lossning av gods mellan olika anläggningar inom företaget, men också till och från kunder och leverantörer (Jonsson & Matsson, 2016). Dessa aktiviteter kan göras både med egna resurser och med inköpta tjänster. Beståndsdelarna i transportkostnaden för inköpta detaljer är frakt, tull och hanteringskostnader, där hanteringskostnaden kan uppkomma i form av kostnader för orderformulär, godkännande, mottagning och inspektion av order samt hantering av fakturor från leverantören (Axsäter, 2015). I en del fall är transportkostnaden emellertid inkluderad i det totala produktpriset och kan därmed vara svår att identifiera som en separat kostnad (Jonsson & Matsson, 2016). Vidare bör kapitalbindningen vilken transport av material och produkter ger upphov till också beaktas.

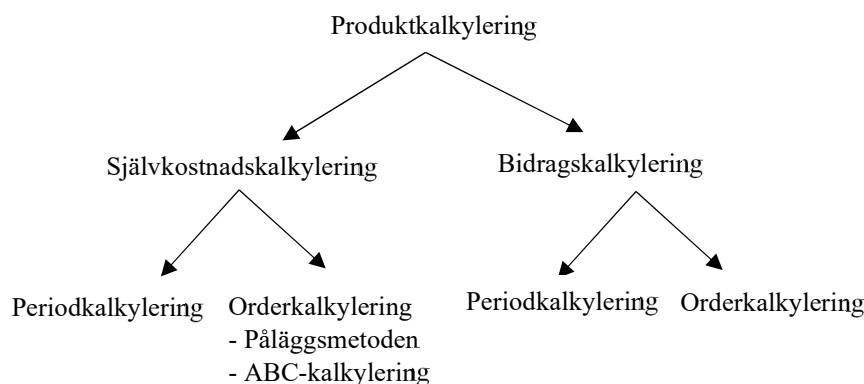
Att uppskatta kostnad för risk och osäkerhet är svårt då det skiljer sig åt från situation till situation, men det handlar ofta om brist- och förseningskostnader vilka uppstår när en leverans inte kan fullföljas i tid eller fullföljas överhuvudtaget (Jonsson & Matsson, 2016). Detta kan leda till extra utgifter i form av övertidsarbete och expressleveranser, förseningsavgifter, förlorad försäljning eller i värsta fall förlorade kunder. Kostnaden består alltså av inkomstbortfall och de utgifter som tillkommer, eller som kan tänkas tillkomma, om en potentiell risk inträffar.

Ett sätt att beräkna riskkostnaden är att uppskatta sannolikheten för att en risk inträffar och kostnaden för den efterföljande konsekvensen. Ett annat, mer lätthanterligt, sätt att hantera risker och gardera sig mot osäkerheter är att införa ett säkerhetslager, alltså att ha ett överskott av artiklar för att motverka brist (Jonsson & Matsson, 2016). Alternativt kan tidsgardering användas, där det istället för säkerhetslager pratas om säkerhetstid. Oavsett vilken metod som används gäller det att dimensionera dessa rätt för att få största nyttoeffekt med minsta mängd resurser, där hänsyn behöver tas till bland annat ledtid och variation.

Vidare kan extraordinära händelser såsom världskrig, pandemier och stora strejker inträffa (Axsäter, 2015). Vid sådana tillfällen räcker inte säkerhetslagret till för att täcka upp. I dessa fall kan leveransen bli försenad, vilket innebär extrakostnader för administration, hantering och prisavdrag. I allvarigare fall blir följden produktionsstopp, vilket medför att hela inkomsten förloras.

### 3.3 Kostnads-kalkylering

Att utföra kostnadsuppskattningar för additiv tillverkning är viktigt för att till exempel ingenjörer och designer ska kunna få en uppfattning om vilken påverkan en alternativ design har på kostnaden för detaljen (Mahadik & Masel, 2018). Sådan kostnadsuppskattning, där en produkts intäkter och kostnader sammanställs, kallas produktkalkyl (Johansson & Samuelson, 1992). För att utföra produktkalkylering kan olika metoder tillämpas. Vilka huvudsakligen är uppdelade i självkostnads- och bidragskalkylering med tillhörande delmetoder, se Figur 3.1.



Figur 3.1 Schematisk bild över produktkalkylering, egen sammanfattning

En varas samtliga kostnader tills att den är levererad och betald kallas självkostnad och beräknas med en så kallad självkostnads-kalkyl (Johansson & Samuelson, 1992). En självkostnads-kalkyl utförs vanligen utifrån en av två huvudmetoder, periodkalkylering eller orderkalkylering (Ax m.fl., 2009). Periodkalkylering innebär att kostnaden för en vara beräknas över en viss tidsperiod och fördelas på verksamhetsvolymen. Metoden passar bäst för företag som tillverkar endast en vara eller åtminstone varor av likartad karaktär. Dessutom förekommer den vanligen i masstillverkande företag, särskilt inom bryggeri-, livsmedel-, textil- och kemibranschen.

Då en verksamhets varor skiljer sig väsentligt i resursutnyttjande är det lämpligt att genomföra en så kallad orderkalkylering snarare än periodkalkyleringen (Ax m.fl., 2009). En orderkalkylering innebär att självkostnaden för kalkylobjektet beräknas oberoende av tidsperspektivet. Kostnaderna för objektet utgörs av särkostnader (direkta kostnader) vilka är unika för objektet och samkostnader (omkostnader) som orsakas gemensamt av två eller flera objekt. Inom orderkalkylering förekommer främst två metoder vilka skiljer sig avseende hur omkostnaderna fördelas till kalkylobjekten, metoderna är påläggsmetoden och aktivitetsbaserad självkostnads-kalkylering, även kallad ABC-kalkylering.

Ax m.fl. (2009) beskriver att påläggsmetoden innebär att kostnaderna för ett kalkylobjekt delas upp i olika kostnadsslag och grupperas i kostnadsposter som sedan summeras i två steg, först till en tillverkningskostnad och sedan självkostnaden. Kostnadsposterna består av direkta kostnader och omkostnader vilka tilldelas kalkylobjekten med så kallade fördelningsnycklar. De direkta kostnadsposterna inom tillverkningskostnader är direkt material, direkt lön, direkt teknik/maskin och speciella direkta kostnader. Tillsammans med omkostnaderna, materialomkostnader och tillverkningsomkostnader utgör de tillverkningskostnaden för kalkylobjektet. För att få självkostnaden för kalkylobjektet adderas administrations- och försäljningsomkostnader samt direkta försäljningskostnader. Omkostnadspåläggen bestäms sedan genom att dividera omkostnaden med så kallade fördelningsnycklar. Principen bygger således på proportionalitet, där storleken på fördelningsnycklarna varierar proportionellt mot förändringar i omkostnaderna. Fördelningsnycklarna uttrycks vanligen i tid, kvantitet/mängd, värde eller som kombination av dessa. Ovanstående styrks av bland annat Johansson & Samuelson (1992), vilka även nämner att det vid enklare produktion kan användas samma pålägg för samtliga omkostnader, medan det kan krävas olika pålägg vid mer komplexa produktionsförhållanden.

Vid aktivitetsbaserad kalkylering delas företagets arbetsmoment upp i så kallade aktiviteter och omkostnaderna fördelas ut på dessa snarare än på kostnadsställen, vilket görs vid traditionella påläggskalkyler (Johansson & Samuelson, 1992). Aktiviteter är sådana arbetsmoment som på ett tydligt sätt orsakar en kostnad, exempelvis inköp av material, till skillnad från kostnadsställen som kan innehålla flera aktiviteter. Fördelningen av kostnaderna för en aktivitet görs med hjälp av kostnadsdrivare, även kallade fördelningsnycklar. Ett exempel från ett tillverkande företag skulle kunna vara maskinbearbetning som aktivitet och antalet maskintimmar som kostnadsdrivare för denna aktivitet (Ax m.fl., 2009).

ABC-kalkylering är ett sätt att få med den komplexitet som finns i många företag idag (Ax m.fl., 2009). Denna komplexitet innebär framförallt att det vid fördelning av omkostnader måste tas hänsyn till att omkostnader inte alltid är volymrelaterade, eller att olika kalkylobjekt kräver olika mängd resurser. Vidare är målet med ABC-kalkylering att omkostnader enbart ska fördelas till de kalkylobjekt som faktiskt orsakat kostnaden, så är inte fallet vid påläggsmetoden.

Ax m.fl. (2009) nämner att ett alternativ till självkostnadskalkylering är den så kallade bidragskalkyleringen. Bidragskalkylering avser att endast innefatta kostnader som förorsakas av kalkylobjektet, alltså kostnader som kommer till eller faller bort för ett visst handlingsalternativ. Sådana kostnader kallas särkostnader och motsatsen är samkostnader, vilka avser verksamheten i sin helhet och därmed inte påverkas av ett särskilt handlingsalternativ. Då bidragskalkylering inte innefattar samkostnader kallas kostnadsfördelning med bidragskalkylering för ofullständig, till skillnad från självkostnadskalkylering vilken kallas fullständig kostnadsuppdelning. Bidragskalkylering används i praktiken främst i situationer som prissättning mot marknaden och resultatuppföljning ur olika perspektiv, exempelvis resultatuppföljning för kunder och kundgrupper, för marknader eller för produkter och produktgrupper. Precis som för självkostnadskalkylering delas även bidragskalkylering in i olika metoder. Dels förekommer även här periodkalkylering och orderkalkylering, vilka skiljer sig avseende tidsperspektivet. Dessutom finns olika metoder för hur kalkyleringen går till i detalj för respektive metod.

### 3.4 Befintlig modellutformning

I en modell för kostnadsberäkning vid tillverkning med den additiva tillverkningsmetoden Selective Laser Sintering (SLS) framtagen av Atzeni & Salmi (2012) utgör summan av fyra kostnadsparametrar den totala tillverkningskostnaden för en detalj. Parametrarna är materialkostnad, ställtidskostnad, tillverkningskostnad och efterbehandlingskostnad. Vidare definieras de fyra parametrarna enligt Tabell 3.1.

$\text{Materialkostnad (SEK)} = \text{Massa (kg)} \times \text{Materialkostnad (SEK/kg)}$
$\text{Förbearbetningskostnad (SEK)} = \frac{\text{Operatörskostnad (SEK/h)} \times \text{Ställtid (h)}}{\text{Antal detaljer per jobb (st)}}$
$\text{Tillverkningskostnad (SEK)} = \frac{\text{Byggtid (h)} \times \text{Avskrivningskostnad (SEK/år)} / \text{Arbetstimmar (h/år)}}{\text{Antal detaljer per jobb (st)}}$
$\text{Efterbearbetningskostnad (SEK)} = \frac{\text{Operatörskostnad (SEK/h)} \times \text{Bearbetningstid (h)} + \text{Värmebehandlingskostnad (SEK)}}{\text{Antal detaljer per jobb (st)}}$

Tabell 3.1 Definition av parametrar i modell av Atzeni & Salmi (2012)

I andra modeller med liknande syfte har kostnadskomponenter definierats på andra sätt. Då Yim & Rosen (2012) utvecklade en kostnadsberäkning utifrån samma struktur definierades komponenterna som maskinens inköpskostnad, driftkostnad, materialkostnad och personalkostnad. Ytterligare ett exempel på kostnadsuppdelning syns i den modell Mahadik & Masel (2018) utformat. Där är den totala kostnaden för tillverkning av en detalj summan av materialkostnad, maskinkostnad, personalkostnad och efterbehandlingskostnad.

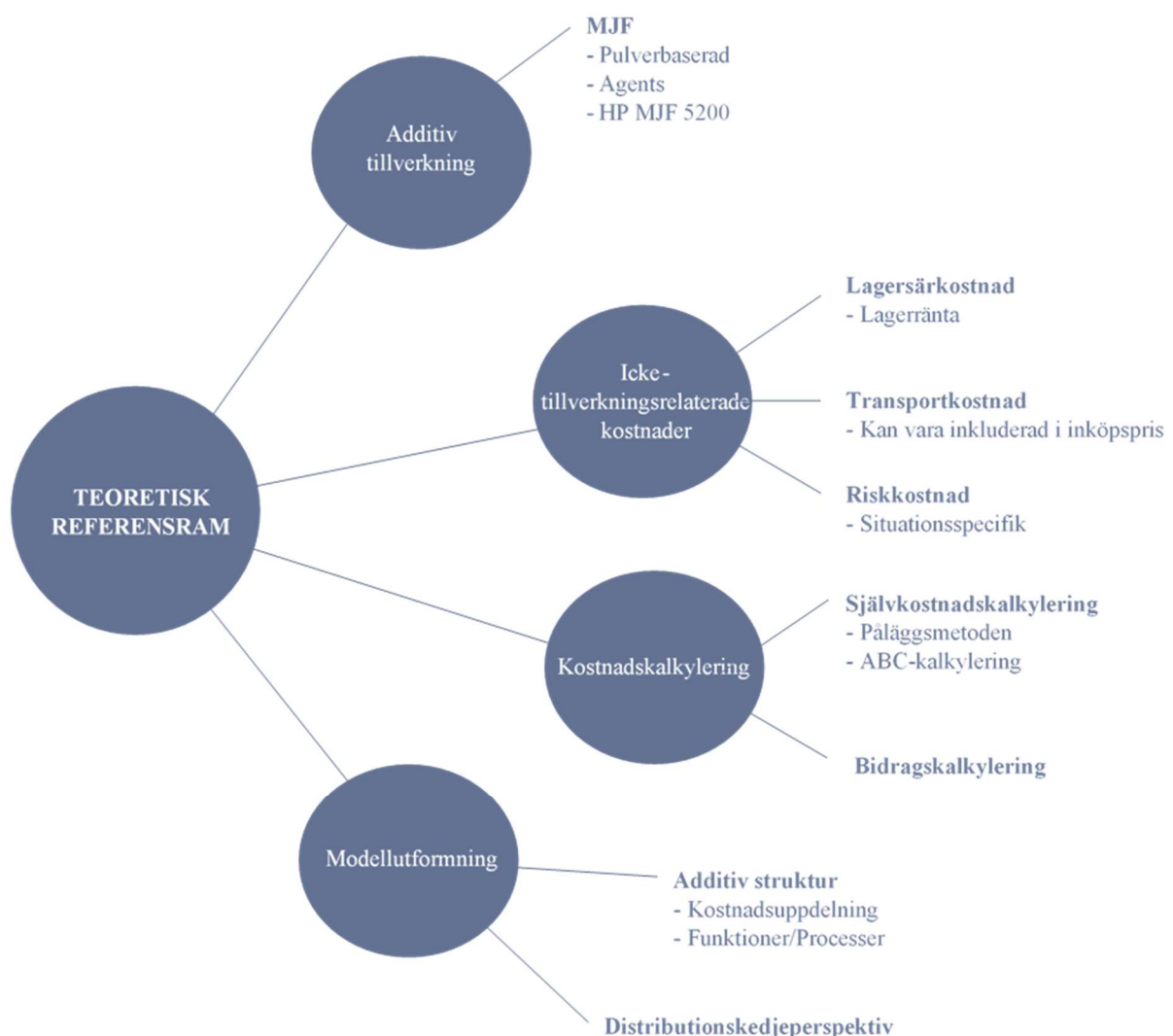
Schröder m.fl. (2015) utformade en annan modell för kostnadsberäkning som bygger på att kostnaden drivs av tidsåtgången för de processer som ingår i tillverkningen. De sju huvudprocesserna som ingår vid additiv tillverkning i den utformade modellen är design och planering, materialhantering, maskinförberedelser, tillverkning, efterbehandling, administration samt sälj- och kvalitetsarbete. Varje huvudprocess är uppdelad i delprocesser som alla definieras utifrån kända data eller nyckeltal.

I en studie av Li m.fl. (2017) undersöks vilken påverkan en övergång till AM skulle ha på en distributionskedja (Supply Chain) för reservdelar. Det som studeras är möjliga förändringar dels i total rörlig kostnad, dels i utsläpp av koldioxid. Studien är gjord genom en simulering av tre möjliga fall; traditionell distributionskedja, decentraliserad och centraliserad AM, där skillnaden är att den additiva tillverkningen sker antingen hos den centraliserade distributören eller hos den decentraliserade återförsäljaren. Resultatet presenteras utifrån fyra kostnadsslag, transport-, tillverknings-, lagerhållnings- och administrativ kostnad. Vidare är kostnadsslagen uppdelade efter kategorier, vilket möjliggör härledning av olika kostnader. Exempelvis kan kostnaden för lagerhållning härledas både till tillverkaren och till distributören.

Samtliga kostnader och dess procentuella andel av den totala kostnaden presenteras för de tre fallen. På liknande sätt utvärderas även koldioxidutsläppen för respektive kostnadskategori och distributionskedja.

### 3.5 Sammanfattning av teori

Den teoretiska referensramen behandlar ämnena additiv tillverkning, icke-tillverkningsrelaterade kostnader, kostnadskalkylering och modellutformning. Dessa ämnen har identifierats som relevanta för arbetet och den framtagna beräkningsmodellen. För att ge en överblick över dessa delar har Figur 3.2 sammanställts, vilken även presenterar betydelsefulla nyckelord.



Figur 3.2 Sammanfattande figur av den teoretiska referensramen

## 4. EMPIRI

*Avsnittet empiri presenterar det empiriska material som samlats in genom intervjuer och tryckt material. Avsnittet är uppdelat i två delar där den första delen presenterar sammanfattningar av genomförda intervjuer med representanter från PLM Group och Volvo Cars. Vidare presenteras en sammanfattning av det tryckta material som tillhandahålls av respektive företag.*

### 4.1 Intervjuer

Intervjuer har genomförts med representanter från företagen PLM Group och Volvo Cars. Nedan sammanfattade intervjuer börjar med en introduktion där de båda företagen och de intervjuade personerna presenteras för att ge en uppfattning om sammanhanget. Sammanfattningarna är uppdelade utifrån de områden som återfinns i modellen.

Nedan presenterade sammanfattningar härstammar från personlig kommunikation i form av intervjuer med respektive företagsrepresentant. Intervjuerna är genomförda med PLM Group 2020-04-24 och 2020-04-28 samt med Volvo Cars 2020-05-06.

#### 4.1.1 PLM Group

År 2009 gick fem bolag verksamma inom intuitiva mjukvarulösningar ihop, vilket resulterade i att PLM Group etablerades (PLM Group, u.å.). Idag har de 140 anställda med verksamhet i Skandinavien, Estland, Lettland och Island. Den intervjuade Christoffer Wester har titeln *Business Development Manager*. Företaget är sedan 2014 återförsäljare av printers och mjukvara, till bland andra Yovinn. Som återförsäljare har de tillgång till kalkyleringsverktyg och därmed prisuppgifter som är nyttiga för arbetet med att utforma en beräkningsmodell för en övergång till AM. Som säljare räknar PLM främst på vad det skulle kosta för potentiella kunder att starta upp egen produktion och därmed äga en maskin, alltså att lägga upp en stor investering men att få en mycket lägre kostnad över tid, förklarar Wester.

Westers bakgrund grundar sig inom utbildningsväsendet där han ansvarade för tekniskt basår och undervisade i fysik vid Linnéuniversitetet i Växjö. I nio år har han arbetat för PLM Group där han började som beräkningsingenjör vilket innefattade bland andra hållfasthets-, flödes- och tillverkningsanalyser. När PLM Group öppnade upp en 3D Printing-avdelning övergick Wester från att arbeta med teknik till sälj. 3D Print-teamet bestod initialt av 4 – 5 personer men har nu vuxit till ett team på omkring 21 – 22 personer. Wester beskriver sin nuvarande roll som säljchef för PLM Norden.

##### 4.1.1.1 AM i allmänhet

Under intervjun diskuteras AM kontra formsprutning i allmänhet, men även utvecklingen av tekniken och dess framtidsutsikter.

”Generellt kan man säga att det finns vissa produkter och vissa mängder som är till för att formsprutas och vissa som är till för att printas”, menar Wester. Han poängterar den höga initiala kostnaden för att ta fram ett verktyg vid formsprutning, som vanligen uppgår till ett par hundra tusen och som kan ställas mot den icke-existerande initiala kostnaden vid 3D Printing för att hitta ett ”break-even”-läge. Angående en sådan ”break-even”-punkt resonerar Wester:

*Det finns en break-even som är olika hög för olika detaljer. Men för mindre detaljer, som en tändsticksask, så brukar break-even för en HP maskin ligga på 100 000 delar per år. Innan dess är det i regel inte värt att formspruta.*

Han konstaterar även att ett verktyg för att hitta den punkten för olika detaljer hade varit ”coolt” att ha.

Att försöka förutspå framtiden för AM är svårt men det Wester kan konstatera kring utvecklingen under de senaste tio åren, men även längre tillbaka, är att ”maskiner blir större och billigare, och pulver och material blir billigare”. Han fortsätter genom att säga följande ”det är fler och fler aktörer som har tillgång till det så det blir högre konkurrens, vilket gör att det blir mer prispresat”, vilket i sin tur leder till lägre priser för slutkunder.

#### *4.1.1.2 Material*

Materialkostnaden för pulvret, alltså råmaterialet, till den aktuella printern kan variera något beroende på setup men 50 euro per kilogram är den kostnad som brukar användas enligt Wester. Råmaterialet köps in i behållare om 300 liter, vilka väger 130 kilogram. En sådan behållare kostar mellan 40 000 – 45 000 SEK berättar han.

Åtgången av agents är beroende av detaljens yta och ökar i takt med att ytan ökar. Wester nämner dessutom att både detaljens volym och yta måste anges för att på ett korrekt sätt uppskatta åtgången av agents. Han säger att det antagligen går att hitta någon relation mellan volym och yta, men att det är komplext och därmed svårt att ta fram en korrekt modell för hur mycket agents som krävs.

Angående hur mycket svinn det räknas med vid MJF svarar Wester att det är betydligt lägre än för exempelvis SLS, till följd av att det sker mindre kontaminering av pulvret vid MJF. Mängden svinn beror också på geometrin av detaljen men i snitt, och högt räknat, kan det räknas med 5% svinn.

#### *4.1.1.3 Tillverkningsrelaterade kostnader*

##### *Förberedning*

Kostnadsdrivaren för förberedning är ställtid, vilken Wester förklarar som den tid det tar att förbereda i mjukvaran och ladda byggvolymen med pulver, som silas och värms upp. Ju mer pulver som behövs desto längre tid tar det att ladda maskinen, så det som styr är alltså mängden pulver. Vidare säger han följande:

*Det man räknar på här är ledtiden för en detalj. Från det att jobbet kommer in, ni skickar en fil till oss för att vi ska printa någonting, så måste maskinen laddas och värmas upp i en timme och sedan ska man printa såklart, sedan kyla och packa upp. Minimum är en timme för uppfyllnad och igångstart. Men sedan själva printtiden är helt beroende av vilken bygghöjd ni vill ha.*

## Tillverkning

Gällande byggtid förklarar Wester att varje lager tar en viss tid och att denna tid är samma oavsett antal detaljer i printern, så länge detaljernas höjd är samma. Vidare nämner han att ett bygge tar omkring 10 - 11 timmar, beroende på inställningar, om hela höjden på 380 millimeter utnyttjas. Fylls istället halva tar det halva byggtiden och dessutom halva kyltiden. Det är väldigt ovanligt att hela höjden utnyttjas, i snitt kan antas en utnyttjandegrad på ungefär 70% för en maskin som används mycket, enligt Wester.

Efter diskussion med Wester om packningsdensitet ("packing density") framgår det att denna beskriver hur tätt packad printern är, alltså hur stor andel av den totala byggvolymen som utgörs av detaljer. Vidare nämner han att 10% är det rekommenderade värdet. Även om det inte är några problem att printa med lägre packningsdensitet än så innebär det att den fasta kostnaden per kubikcentimeter och detalj blir högre. Därav försöker man ligga omkring det rekommenderade värdet på 10%. En för hög packningsgrad i sin tur innebär att det blir för varmt i bygget, vilket kan leda till problem, förklarar Wester. Han tycker även att det vore rimligt att, precis som i den tillhandahållna rapporten från HP, utgå från en packningsdensitet på 9,53% och en detalj på omkring 30 gram, vid fördelning av kostnader i arbetet.

I intervjun framgår det att PLM Group brukar räkna med en avskrivningstid på 5 år för maskinen. 5200 serien, som är någon form av defaultmodell nu, säljs enligt Wester som minimumkonfiguration en printer, en processtation för kylning samt minst två byggenheter. Kostnaden för detta uppgår till omkring 3 miljoner SEK, och ska en automatiserad blästringsmaskin inkluderas blir det ungefär 250 000 SEK utöver detta i initialinvestering. Driftkostnad för printern består av maskinkostnad, alla förbrukningsvaror och pulver samt agents, säger Wester. Han anser att det är bäst att utgå från priserna för den senaste modellen, 5200, för att data ska vara aktuell så länge som möjligt.

Vidare måste någon form av beläggning för maskinen antas och utifrån denna kan ungefärliga siffror för hur mycket förbrukningsvaror som går åt tas fram, förklarar Wester. Han utvecklar detta något:

*Men det är kraftigt beroende av hur mycket man kör maskinen förstås. Så allt eftersom pulveråtgången ökar, ökar också de andra förbrukningsvarorna. Men å andra sidan minskar den fasta kostnaden per detalj för att man får ut fler bitar.*

## Efterbearbetning

Efter att en detalj printats med en HP-maskin måste efterbearbetning genomföras. "Unpacking of build" beskriver Wester som en ganska manuell process som tar vid när printingen är klar och innebär att man letar upp sina detaljer i den pulverkaka som uppstår vid printingen samt skakar eller dammsuger av detaljerna lätt. Denna process brukar ta omkring 15 minuter enligt Wester. Därefter påbörjas själva blästringen, inom vilken det finns två spår; automatiserad och manuell. Wester förklarar bakgrunden till blästring enligt följande:

*När man tar ut en detalj ur kakan med pulver är de fortfarande helt vita och det är stora sjok av pulver. Speciellt om det är en ihålig detalj eller med någon kanal eller så då är de helt fyllda med pulver, och då måste man blästra rent manuellt eller med automatiserad utrustning.*

Den automatiserade tar några minuter jämfört med flera timmar om samma jobb görs manuellt. Wester säger dock att han inte har något medelvärde på hur mycket tid som går åt till blästring då det är väldigt beroende av detaljens geometri, men rent allmänt säger han:

*Du behöver inte ha speciellt hög beläggning på en HP maskin innan du räknar hem mantimmarna i blästermaskinen. Är du uppe i full beläggning eller till och med har mer än en maskin måste du ha automatiserat, annars har du en heltidstjänst som bara står och blästrar hela tiden.*

Därför menar Wester att företag i regel tjänar på att investera i en automatiserad utrustning med tanke på vilken volym en maskin från HP är kapabel till. ”Har du mer än en maskin dessutom, så måste du ha det” resonerar han. Vidare berättar han att många idag har automatiserade efterbehandlingssystem där de färdiga detaljerna läggs in i en trumma som blästrar, rengör och infärgar detaljen. Wester nämner ett exempel på en kund som nyligen köpt en automatiserad efterbearbetningsutrustning till sin enda printer och sparat omkring 800 timmar om året i arbetstimmar.

#### Operatörskrävande moment

Vid frågan om hur stor del av ledtiden som kräver bevakning av en operatör svarar Wester att det endast är förberedelse, laddning, urladdning och momentet där byggenheten körs från printer till processtation. Vidare säger han att många aktiviteter sker parallellt, att allt är i cirkulation samtidigt om man har flera byggenheter och att tiden som räknats med i den tillhandahållna rapporten är ”tiden för en detalj att ta sig igenom hela kedjan, med laddning, printing och kylning, även om det individuellt inte är såhär illa”.

#### 4.1.1.4 Icke-tillverkningsrelaterade kostnader

Under intervjun diskuterades vad som behöver lagras vid produktion med 3D Printer. Wester berättar att lagerhållningen är minimal vid AM. ”Lagerkostnaden som uppstår vid AM är inte större än kostnaden för det rum printern står i”, menar han. Angående lagerhållning av färdigprintade reservdelar resonerar han:

*Man printar ju i princip alltid on demand så man har inga lager printade utan beställer någon en reservdel så lägger man in det som ett jobb i maskinen och printar ut det så man har det dagen efter, eller två dagar efter.*

En faktor som bidrar till att tillverkaren inte ska behöva lagra pulver själva är att HP erbjuder en ”drop-ship”-leverans av pulver. Wester förklarar detta som att det finns en mellanhand dit de som återförsäljare lägger beställningar som sedan levereras till maskininnehavaren redan nästa dag enligt policy. ”Just för att man inte ska behöva lagra själv”, tillägger han.

Även Westers syn på risker och eventuella konsekvenser diskuterades under intervjun. Wester nämner den korta ledtiden som en stor fördel med AM, där det är stor skillnad jämfört med traditionellt tillverkade och inköpta reservdelar. En lång ledtid kan i värsta fall leda till att en produktionslinje tvingas ligga nere i upp till en vecka vilket innebär en enorm kostnad, större än någon annan av de som tas upp i modellen menar Wester och exemplifierar:

*Om man ska ta worst case, att det ska formsprutas i Kina och sedan flygas eller skeppas hit tar det 8 veckor i ledtid. Om det är en reservdel då så står ju maskinen som behöver reservdelen stilla i 8 veckor. Så illa är det nog aldrig men det är ett worst case. Jämfört med att man har en printer på Arlanda som printar samma dag och sedan flyger ner den till Volvo eller vad det nu är. Så att maskinen bara står stilla över natten i princip, som ett slags best case.*

Vidare diskuterar Wester hur möjligheten att tillhandahålla pulver skulle påverkas av en världskris likt den Coronapandemin som råder då intervjun genomförs. Han resonerar hur pulverförsörjningen skulle påverkas i förhållande till försörjningen av reservdelar från underleverantörer i kristider:

*Ja, de är väl samma. När transportnätet läggs ned, om det skulle hända, så påverkas ju dom lika mycket. Sedan, de här mellanhänderna, det är ett ganska stort nätverk över hela världen så att det finns lager i England, Tyskland och på Arlanda har vi lite om det skulle krisa. Så man kan köra inom Sverige också. Men det klart det finns en risk att pulver skulle ta slut, samma som med granulat eller aluminiumblock eller vad som helst, det kan ju ta slut. Men det är inte mer känsligt än något annat som ska flygas eller köras runt.*

Wester presenterar ett mardrömsscenario för vilka kostnader som skulle kunna drabba en verksamhet i händelse av att underleverantörer inte levererar reservdelar i tid:

*Det finns ett skräckexempel från kärnkraftsbranschen. Om underleverantören missar att få fram reservdelar kostar det 100 000 000 kronor varje dag i förseningsavgift. Då är det ganska lätt att räkna hem en sådan här maskin.*

Vidare resonerar han att pulverförsörjningen med HP inte har påverkats av den rådande krisen just på grund av att det finns mellanhänder ganska lokalt. Han berättar om ett exempel på hur en annan leverantör med fabrik i USA ställt om hela produktionen till 24/7 framställning för att kompensera för risken för att behöva permittera hela fabriken. En sådan omställning medförde att andra material blev lidande, men gjorde ändå att företaget kunde överleva krisen. Det som däremot har kunnat konstateras som en följd av krisen är förlängda ledtider med en till två dagar extra. ”Att flyga saker över Atlanten är lite mer komplicerat nu än tidigare”, berättar Wester och konstaterar att de trots detta inte märkt av något gällande pulver.

#### *4.1.1.5 Angående modellen*

Under intervjun diskuterades modellen och dess parametrar utifrån olika frågeställningar. Bland annat diskuterades Westers uppfattning om hur stora de olika komponenterna i modellen kunde antas vara i förhållande till varandra, och därmed olika kostnadsdrivares betydelse för den totala kostnaden. Wester resonerar att ungefär hälften av den totala kostnaden utgörs av fasta kostnader, exempelvis avskrivning för maskinen, arbetskostnad, kostnad för serviceavtal bland andra. Han nämner dock att det kan variera något beroende på vilken typ av detalj det rör sig om och hur mycket som printas. Den andra hälften av totalkostnaden utgörs av rörliga kostnader vilka består av bland andra pulver och agents samt förbrukningsmaterial i maskinen som exempelvis filter och lampor.

Angående kostnader som inte är direkt relaterade till produktionen menar Wester att de inte är speciellt höga. ”Lagerkostnader är inget att ens ta hänsyn till. Elförbrukning är bara avrundningsfel. Risk har vi aldrig tittat på”, berättar han. Vidare har han svårt att avgöra exakt hur stor andel av inköpspriset som utgörs av transportkostnad, däremot uttrycker han att: ”...det inte är någon stor peng i sammanhanget”. Avslutningsvis menar han att de två absolut största kostnaderna oavsett kostnadsslag är material och maskinavskrivning

Utöver olika kostnadsdrivares betydelse för den totala kostnaden diskuterades även möjligheten att kvantifiera de olika kostnaderna. ”Risk är en vetenskap i sig att räkna på. De andra är ganska enkla skulle jag säga. Så länge man har data så är det ganska lätt att få fram”, resonerar Wester.

#### 4.1.2 Volvo Cars

Den intervjuade Ola Öhrberg har ingen akademisk bakgrund men har sedan 2012 arbetat på Volvo där han haft flera olika roller. Han har bland annat varit reservdelsredaktör och gjort partkatalogen, varit teamleader för ett tvärfunktionellt team som skapar eftermarknadsinformation men också produktägare för reservdelsinformation. Idag jobbar han med innovation på avdelningen ”Innovation & Technology, GCS”.

##### 4.1.2.1 Allmänt

Under intervjuens inledning diskuterades i vilken utsträckning Volvo Cars köper in reservdelar kontra formsprutar själva. På detta svarar Öhrberg att nästan inget alls formsprutas, såvida han vet, utan istället köps det in från leverantörer. Vid frågan om varifrån reservdelarna köps in säger han:

*Generellt så är det nog överallt ifrån. Vi försöker att sourca så nära fabriker, marknader, som möjligt. Vi försöker bygga bilar så nära som möjligt som huvuddelen av de säljs. [...]. Men jag skulle säga att Europa och Kina är där det mesta köps in, men det är inget jag lagt någon vidare vikt vid. [...] Det är en del frakt om vi säger så. Bara för att få lite perspektiv på det så har vi över 100 000 reservdelar så att de köps säkert in från de flesta industriländer som finns.*

I motsats till att köpa in reservdelar från länder världen över diskuterades även hur ett framtida scenario, där kunder äger egna printers, kan se ut. Istället för att köpa in reservdelar skulle kunderna, i ett sådant scenario, köpa en CAD-ritning på delen som sedan printas vid behov. Öhrberg resonerar:

*Det är min vision iallafall. På lång sikt ska återförsäljaren ha egna. Att de köper ritningen och får trycka ut den en gång. Så kommer det funka. [...] Lager, de borde ha inom några år, kan jag tycka. Men om vi lägger på att det är 10 år eller 12 år vore jag förvånad om det inte stod en på åtminstone de lite större återförsäljarna eller verkstäderna. Men det är en högst personlig reflektion.*

#### 4.1.2.2 Risk

Angående vilka risker som Öhrberg kan identifiera med inköpta reservdelar kontra AM resonerar han att det finns risker kopplade till logistik och kapitalbindning i form av att köpa in, eller producera, för mycket reservdelar. Vidare säger han att:

*Generellt kan man väl säga att så länge bilar rullar så kommer det behövas reservdelar. Vi har ju en fordonsflotta på över 5 miljoner bilar i världen så det kommer ju behövas. Men teoretiskt sett skulle det kunna vara så att om vi har leverantörer i länder som av en eller annan anledning stänger ner, oavsett om det är krig eller Corona, så skulle det vara väldigt lätt att flytta tillverknigen om det var additivt såklart. Då skulle det ju påverka mindre, men det är spekulation.*

Öhrberg fortsätter genom att nämna ytterligare en risk med att köpa in reservdelar, nämligen om leverantörer skulle gå i konkurs och tvingas stänga. I anslutning till detta säger han "Har man då rätt till sina ritningar och modeller och har intellectual property, att man äger underlaget för själva delen, och den är additivt tillverkad så kan man ju utan problem byta leverantör eller tillverka den själv." Gällande kostnader för risker nämner Öhrberg att det på högre nivåer säkert räknas på, men att han personligen inte är inblandad i detta.

#### 4.1.2.3 Lagerhållning och beställning

Vid frågan om hur lagerkostnader beräknas svarar Öhrberg att han inte vet så mycket om det men att han kan ta reda på det då det låter som en viktig del. Han nämner dock att "det är mycket dyrt med lager". Den fortsatta diskussionen kring lagerhållning rör lagerhållning av reservdelar med låg eller ingen åtgång och lagerhållning hos kunder.

Vid diskussion om lagerhållning av reservdelar med låg eller ingen åtgång förklarar Öhrberg att det finns beslut om att vissa detaljer ska ingå i reservdelssortimentet men att de visar sig sakna åtgång. "Vissa saker blir hyllvärmare", säger han. Som exempel tar han en skruv och förklarar: "...den här skruven kommer säkert gå av och då får vi ha den som reservdel för man vill inte byta hela den enheten som den skruven sitter i". Visar det sig att skruven inte går sönder kommer likväl skruven lagerhållas, i en kvantitet motsvarande den minimala orderkvantiteten.

Vidare berättar han om hur Volvo hanterar osäkerhet i åtgång:

*Är man osäker på det så har vi något som kallas BPSR-kod. Det är förväntad förbrukning. Där finns allt från att en del är passiv, alltså den lagerhålls inte av oss överhuvudtaget utan den finns hos leverantören, och så får vi beställa hem den om utifall att. Och så hela vägen upp till att alla Volvohandlare ska ha den här delen hemma.*

Angående lagerhållning hos kunderna, som i det här fallet främst är serviceverkstäder, berättar Öhrberg att tack vare ett bra logistikflöde med 54 lager runtom i världen, är behovet av att ha stora lager av reservdelar ute hos återförsäljare litet. Särskilt i Sverige där leveranser vanligen sker två gånger om dagen. Den lagerhållningen som främst finns är då av skruvar och förbrukningsmaterial.

Utöver lagerhållning diskuteras även orderkvantitet, dels från kunder, dels till underleverantörer. Gällande beställningar från kunder bekräftar Öhrberg att de beställer hem reservdelar en i taget så snart behov av dem uppstår. Han fortsätter:

*De felsöker och i största möjliga mån försöker de göra en pre-planning, de ska bara få in bilen en gång, även om de inte exakt vet vad som är fel på bilen. De beställer hem delar så att de kommer just-in-time.*

Däremot poängterar han att de i dagsläget inte tillverkar detaljer en i taget även om de levererar en i taget. "Vi har 11 fotbollsplaner i markplan här med lager, så enstyckstillverkning är det inte, enstycksleverans är det", förklarar han.

Angående orderkvantitet på order till underleverantörer förklarar Öhrberg att för att kunna köpa in reservdelar till det överenskomna priset finns en minimal orderkvantitet. Detta för att det ska vara lönsamt för underleverantörer att ställa om produktionen och tillverka den aktuella artikeln. Därmed kan det antas att alla beställningar som läggs har en kvantitet på åtminstone den minimala orderkvantiteten.

#### 4.1.2.4 Angående modellen

Under intervjun diskuteras Öhrbergs åsikter om den framtagna modellen och vilka delar av den som han anser är lätta respektive svåra att kvantifiera. På detta svarar han:

*Det är uppenbart att riskkostnad är svårast att få en exakt siffra på. Inköpskostnad är lättast, det kan jag gå in och titta på i mitt system här. Vi har något som kallas ett standardpris, det är priset som du köpt varan för och fått den levererad in till lagerplats. Lagerkostnad är... Vi har ju saker som tar upp två pallplatser för en del, för ett ex liksom, och ända ner till små skruvar. Den är klart lurig att få exakt. [...]. Så det är väl inköp som är lättast, sedan transport och lagerkostnad och sist, svårast då, riskkostnad.*

Dessutom nämner han att påverkan på totalkostnaden är beroende av vilken reservdel det rör sig om, till exempel om man jämför frakt av en motorhuv med frakt av en skruv. Ytterligare en aspekt som påverkar totalkostnaden är vilken kund och vilket land det rör sig om. Öhrberg nämner att det antagligen rör sig om ett försäljningspris men att alla kundnummer sedan har olika rabattsatser. Alla dessa priser finns dokumenterade.

Vid en mer allmän diskussion om modellen och huruvida Öhrberg anser att någon parameter missats eller inte resonerar han att det skulle kunna inkluderas något om minimum orderkvantitet då det ibland kan hända att fler reservdelar än nödvändigt måste köpas in, vilket inte behövs vid AM. Han nämner även att Volvo Cars i en del fall står för betalning av nya verktyg om, och när, det behövs hos leverantörer. Vidare säger han även följande:

*Det är nog olika för alla leverantörer, men den parametern finns ju. Vet inte hur mycket det påverkar. Å andra sidan, säljer man väldigt många så blir det inte så många kronor på det viset. Och sedan tänker jag att tid från beställning till leverans också spelar roll.*

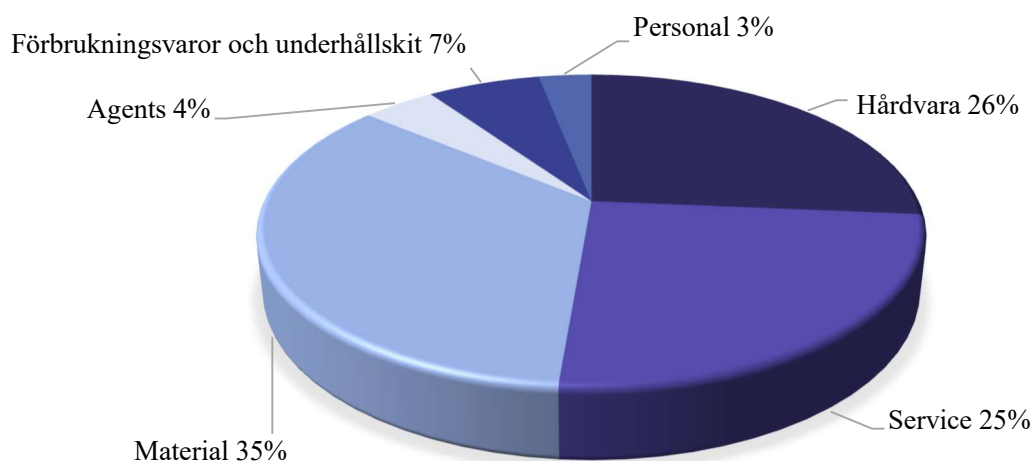
## 4.2 Tryckt material

Som komplement till intervjuer har tryckt material i form av Excel-filer och rapporter från respektive företag studerats. Informationen som har hämtats är bland annat genomsnittliga kostnadsuppgifter och förbrukningsmängder. På grund av sekretess kan inte de fullständiga filerna presenteras. Därav presenteras en sammanfattning av de för arbetet väsentliga delarna ur materialet.

### 4.2.1 PLM Group

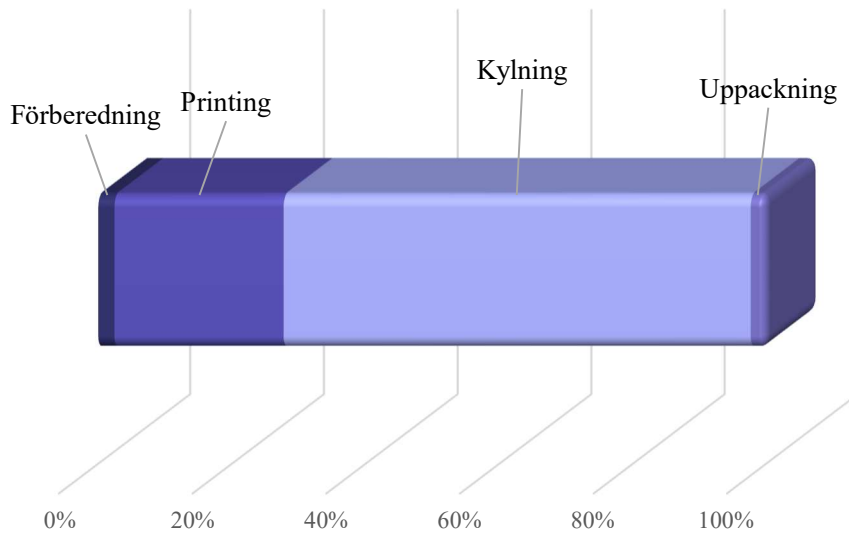
De tillhandahållna rapporterna kommer från simuleringar som, enligt Wester, förmodligen är gjorda med HP's egna mjukvara. Simuleringarna är framtagna i syfte att beräkna tillverkningskostnaden vid AM utifrån ett standardfall och därmed bygger resultaten till viss del på antaganden. De antaganden som är gjorda är framtagna för att resultatet ska kunna representera en genomsnittlig detalj producerad i HP's maskin med tillverkningstekniken MJF. Standarddetaljen, som använts för beräkningarna, har massan 30 gram och packningsdensiteten i byggvolymen är 9,53%. Utöver massa och packningsdensitet är standardfallet definierat med en rad parametrar som har betydelse för resultatet, bland andra antalet tillverkade detaljer per år, materialåtgång per år samt åtgång av "fusing" och "detailing" agents per år.

De totala kostnaderna för produktion med AM utgörs i simuleringen av sex kostnadskomponenter; hårdvara, service, material, agents, förbrukningsvaror och underhållskit samt personal. Kostnaderna i standardfallet är beräknade utifrån en maskinuppsättning med en printer, två byggenheter, en efterbearbetningsstation och en blästringsenhet. Avskrivningen är satt till ett belopp om 90 240 euro per år under fem år och utnyttjandegraden på printern är 50%. Kostnaden för att köpa in materialet i simuleringen är 535,23 SEK per kilogram vilket stämmer överens med Westers uppgift om ett kilopris på 50 euro. Kostnadskomponenternas respektive andel av den totala tillverkningskostnaden illustreras i Figur 4.1.



Figur 4.1 Kostnadskomponenters andel av total tillverkningskostnad

I rapporten om det simulerade standardfallet framgår även ledtiden för den simulerade produktionen. Ledtiden består i stora drag av fyra delprocesser; förberedning, printing, kylning och uppackning. Den totala ledtiden för ett jobb om 307 detaljer är 42 timmar och 54 minuter. Förhållandet mellan de olika processernas tidsåtgång illustreras i Figur 4.2. Utöver totala ledtiden framgår vissa ytterligare tidsuppgifter. Bland annat presenteras tiden för att blanda materialet och ladda en byggenhet som ett intervall mellan 45 minuter och 1 timma.



Figur 4.2 Förhållande mellan total ledtidens delprocesser

#### 4.2.2 Volvo Cars

Det material som tillhandahållits från Volvo Cars är en detaljlista över reservdelar. Det som framgår av listan är bland annat artiklarnas partnummer, dess 3D ritning, månatliga behov, volym, vikt, ursprung med flera. Det framgår även vissa beställningsuppgifter och en ögonblicksbild över lagerhållningen. Detta innefattar uppgifter som lagerbalans, liggande order, säkerhetslager, minimal orderkvantitet och ledtid från beställning.

## 5. UTFORMNING AV BERÄKNINGSMODELL

*I avsnittet presenteras beräkningsmodellen, dels dess utformning i helhet, dels ingående parametrar med dess komponenter. Den fullständiga modellen sammanställs i avsnitt 5.3. Vidare presenteras en utvärdering av beräkningsmodellen och bedömning av resultatet.*

### 5.1 Val av kalkyleringstyp

Vid val av produktkalkyleringstyp behövs det först och främst bestämmas huruvida en självkostnads- eller bidragskalkylering ska göras. Då modellen avser att innefatta alla kostnader vilka kan påverkas av en övergång till AM, och bidragskalkylering inte innefattar samkostnader, är den inte lämplig som kalkyleringsmetod. Vidare används bidragskalkylering framförallt för prissättning mot marknaden och resultatuppföljning för kunder, produkter och marknader (Ax m.fl., 2009), vilket inte heller är aktuellt för arbetet. Istället används självkostnadskalkylering, inom vilken det finns två varianter; period- och orderkalkylering. Förutsättningen för periodkalkylering är att det endast finns en vara eller tjänst, alternativt få varor av likartad natur, dessutom är det vanligast vid massproduktion (Ax m.fl., 2009). Då det för arbetet handlar om vitt skilda produkter som inte ska massproduceras blir periodkalkylering därmed inaktuell. Istället används orderkalkylering, mer specifikt ABC-kalkylering då påläggskalkylering är sämre lämpad för ändamålet i detta arbete på grund av dess omkostnadspålägg. Detta på grund av svårigheten att bestämma andelen av omkostnad knuten till ett visst kalkylobjekt (Ax m.fl., 2009) vilket därmed kan medföra svårigheter vid en framtagning av en generell modell.

ABC-kalkylering däremot fångar upp komplexiteten som finns i många verksamheter såsom användning av ny teknik, kundanpassning och differentiering av produkter (Ax m.fl., 2009). Aktivitetsbaserad kalkylering innebär dessutom ett mer förfinat sätt att fördela omkostnaderna på jämfört med påläggsmetoden (Ax m.fl., 2009), vilket gör att det lämpar sig bättre för en generell metod.

### 5.2 Ingående parametrar

Den för arbetet framtagna beräkningsmodellen ger skillnaden i kostnad ( $\Delta K$ ) mellan totalkostnaden för additiv tillverkning ( $TOT_{AM}$ ) och totalkostnaden för traditionellt tillverkade inköpta reservdelar ( $TOT_{TM}$ ), enligt Ekvation (1). Den totala kostnaden för framställning av reservdelar med respektive metod, alltså additiv tillverkning och inköp av detaljer, utgörs av en additiv struktur i enlighet med tidigare framtagna modeller för kostnadsberäkning av liknande slag. Det innebär att kostnaden är uppdelad i olika parametrar, vilka summeras för att erhålla totala kostnaden. Dessa parametrar och dess ingående komponenter definieras i detta avsnitt genom en förklarande text följt av en ekvation för var parameter. Den framtagna beräkningsmodellens samtliga komponenter sammanställs i avsnitt 5.3.

$$\Delta K = TOT_{AM} - TOT_{TM} \quad (1)$$

Den totala kostnaden för additiv tillverkning ( $TOT_{AM}$ ) utgörs av summan av parametrarna materialkostnad ( $MK_{AM}$ ), förberedningskostnad ( $FK_{AM}$ ), tillverkningskostnad ( $TK_{AM}$ ), efterbearbetningskostnad ( $EK_{AM}$ ), lagersärkostnad ( $LK_{AM}$ ), transportkostnad ( $TRK_{AM}$ ) och riskkostnad ( $RK_{AM}$ ).

$$TOT_{AM} = MK_{AM} + FK_{AM} + TK_{AM} + EK_{AM} + LK_{AM} + TRK_{AM} + RK_{AM} \quad (2)$$

Då modellen ska kunna användas för att beräkna skillnaden i kostnad mellan inköpta, traditionellt tillverkade, reservdelar och additivt tillverkade är tillverkningskostnaden för de inköpta detaljerna oväsentlig. Därmed utesluts den ur modellen och ersätts med inköpskostnaden. Den totala kostnaden för en inköpt reservdel ( $TOT_{TM}$ ) består således av summan av de fyra komponenterna inköpskostnad ( $IK_{TM}$ ), lagersärkostnad ( $LK_{TM}$ ), transportkostnad ( $TRK_{TM}$ ) och riskkostnad ( $RK_{TM}$ ).

$$TOT_{TM} = IK_{TM} + LK_{TM} + TRK_{TM} + RK_{TM} \quad (3)$$

Då additiv tillverkning innebär tillverkning av fler än *en* detalj i ett bygge kräver modellen att vissa komponenter divideras med antalet detaljer ( $N$ ) per bygge, alltså byggkvantitet. För att beräkna ett kalkylmässigt värde på  $N$  används en packningsdensitet ( $D_{packning}$ ) på 9,53%, då detta är ett rekommenderat värde i enlighet med intervju med Wester. Denna packningsdensitet kan dock variera beroende på vad som är möjligt för specifika detaljer, exempelvis skrymmande detaljer innebär generellt sett en lägre packningsdensitet. Vidare beror den på vad som är tekniskt möjligt utan att överhätta bygget. Ett sätt att hantera detta på är därför alternativet att använda olika packningsdensitet för olika detaljer, vilka i sådana fall ges som in-parametrar till modellen. En rekommendation kan emellertid vara att använda packningsdensiteten 9,53%. Denna multipliceras sedan med maskinens totala byggvolym ( $V_{bygg}$ ) vilken uppgår till 0,041 m<sup>3</sup>. Produkten av dessa divideras med detaljens volym ( $V_{detalj}$ ), vilken ges som in-parameter i modellen.

$$N = \frac{D_{packning} * V_{bygg}}{V_{detalj}} \quad (4)$$

För att erhålla den totala materialkostnaden för en additivt tillverkad detalj summeras kostnaden för pulver med kostnaden för agents. Kostnaden för pulveråtgången beräknas genom att multiplicera inköpskostnaden ( $IK_{pulver}$ ) för pulvret, vilken uppgår till 50 euro per kilogram enligt Wester, med massan för pulveråtgången ( $m_{pulver}$ ). I samband med tillverkning uppstår svinn av material, vilken kan beräknas till 5% av pulveråtgången, enligt intervju med Wester. Därav multipliceras pulveråtgången med en faktor ( $F_{svinn}$ ) på 1,05 för att kompensera för detta i modellen. Fördelningsnyckeln för åtgången av agents kan antas vara pulveråtgången, vilket leder till ett pålägg för agents om 66 SEK per kilogram pulver enligt det tryckta empiriska materialet tillhandahållet av PLM Group. I verkligheten påverkas åtgången dock även av andra faktorer såsom detaljens höjd, storlek och geometri, vilket bör beaktas vid tillämpning. Kostnaden för åtgången av agents erhålls således genom att massan för åtgånget pulver multipliceras med pålägget för agents ( $P_{agents}$ ).

$$MK_{AM} = m_{pulver} * (F_{svinn} * IK_{pulver} + P_{agents}) \quad (5)$$

Innan en detalj kan börja printas behöver en rad förberedelser genomföras. Dels krävs förberedelser i programvaran, såsom hur detaljerna ska packas i byggutrymmet. Denna del av ställtiden kräver en operatör. Utöver den operatörskrävande delen av förberedelsen krävs också att byggvolymen laddas med pulver vilket sedan värms upp, något som maskinen kan göra automatiskt utan övervakning av operatör. Förberedningskostnaden utgörs därmed av både operatörskostnad och driftkostnad för maskinen. Dessa summeras och divideras sedan med antalet detaljer (N) per tillverkningstillfälle enligt Ekvation (6).

Operatörskostnaden för ett jobb erhålls genom att förberedelsetiden i programvaran multipliceras med kostnaden för en operatör per tidsenhet. Hur stor kostnaden för en operatör är beror på flera faktorer, bland annat var produktionen är belagd, till följd av olika länders avtal och lönenivåer. Denna modell utgår från att produktionen är belagd i Sverige och följer därmed svensk standard. Svensk snittlön 2018 för maskinoperatörer inom plastindustrin uppgår enligt SCB (2019) till 28 900 SEK per månad. Utöver detta tillkommer kostnader i form av bland andra pensionsavgifter, personförsäkringsavgifter och semesterlön (Johansson & Samuelson, 1992). Sådana kostnader uppgår vanligen till omkring 50% av lönekostnaden. I modellen uppgår månadskostnaden för en operatör således till 28 900 SEK \* 1,5 = 43 350 SEK. Vilket innebär en timkostnad för en operatör (O) på 250 SEK, baserat på 52 arbetsveckor per år och 40 timmar per vecka.

Maskinkostnaden (MA) utgörs av den kostnad maskinen ger upphov till per timma i form av hårdvarukostnad och servicekostnad, vilka kan beräknas uppgå till 80,5 SEK per timma respektive 76,1 SEK per timma utifrån det tryckta material vilket redovisats i kapitel 4.2.1. Därmed blir timkostnaden för maskinen 156,6 SEK. Dock måste hänsyn tas till att kostnaden för en avskrivning på 5 år ingår i denna kostnad. Då det saknas uppgifter om hur maskinen finansieras kan ett av följande alternativ appliceras; antingen att maskinen ägs vilket skulle innebära en kostnad för avskrivning likt kalkylen som tillhandahålls av PLM Group. I annat fall, exempelvis om produktionen outsourcas eller maskinen hyrs, uppkommer ingen kostnad i form av avskrivning. Däremot uppstår alltid en kostnad för användning av maskinen, vilken per detalj antas vara lika stor som den angivna maskinkostnaden i rapporten av PLM Group.

Den totala ställtiden, alltså tiden för förberedelse, är minimum 1 timma enligt det tryckta materialet från PLM Group. Tiden för att ladda och värma upp byggvolymen ( $S_{maskin}$ ) utgör som minst 45 minuter av dessa, vilket är det värde som används i modellen. Tiden det tar att ladda maskinen virtuellt ( $S_{mjukvara}$ ), alltså att förbereda bygget i programvaran utgör således åtminstone 15 minuter. Denna tid varierar dock i dagsläget beroende på vilken mjukvara som används. Dessutom blir dess inverkan lägre allt eftersom processen automatiseras.

$$FK_{AM} = \frac{O * S_{mjukvara} + MA * S_{maskin}}{N} \quad (6)$$

För att beräkna tillverkningskostnaden vid AM summeras timkostnad för maskinen (MA) med timkostnad för förbrukningsvaror (FB), vilket motsvarar 176,7 SEK enligt beräkningar utifrån det tryckta materialet tillhandahållet av PLM Group. Dessa multipliceras därefter med byggtiden ( $T_{bygg}$ ) för ett arbete dividerat med antal detaljer (N) som ingår i arbetet. Byggtiden för ett arbete uppgår till 690 minuter eller annorlunda uttryckt till 11,5 timmar. Även detta är taget från det tryckta empiriska materialet.

$$TK_{AM} = \frac{(MA + FB) * T_{bygg}}{N} \quad (7)$$

Efterbearbetning förekommer i flera former varav blästring är nödvändig för alla detaljer och därmed den enda som beaktas i denna modell. Blästring kan utföras både manuellt och automatiskt. Därav innehåller modellen en variabel (x) som kan anta värdena 1 eller 0, där 0 innebär manuell blästring och 1 innebär automatiserad. För att erhålla kostnaden för manuell blästring för en detalj multipliceras bearbetningstiden ( $T_{manuell}$ ) med operatörskostnaden per timma (O). Tiden för bearbetningen är beroende av detaljens geometri och ett medelvärde går inte att ange, enligt Wester. Därför lämnas den som in-parameter i modellen.

Kostnaden för den automatiserade blästringen erhålls genom att den genomsnittliga maskinkostnaden (MA) multipliceras med bearbetningstiden ( $T_{automatiserad}$ ). Produkten av detta divideras sedan med antalet produkter som bearbetats åt gången (N). Den genomsnittliga tidsåtgången för automatiserad blästring är 10 minuter, enligt Wester. Operatörs-behovet vid automatiserad blästring antas vara försumbart.

$$EK_{AM} = (1 - x) * O * T_{manuell} + x * \frac{MA * T_{automatiserad}}{N} \quad (8)$$

Inköpskostnaden ( $IK_{TM}$ ) är den kostnad företaget i dagsläget betalar för den färdiga detaljen. Den ges som in-parameter i modellen. I de fall detaljer köps in i partier med någon form av mängdrabatt är värdet på inköpskostnaden lika med priset för partiet genom antalet detaljer som ingår. Finns det ingen sådan förutbestämd partistorlek är ett möjligt tillvägagångssätt att utgå från att beställningarna läggs i enlighet med en ekonomisk orderkvantitet, såvida denna är större än den minimala orderkvantiteten som bestäms av underleverantörerna.

$$IK_{TM} \quad (9)$$

Lagersärkostnaden för en detalj består av tre kostnadskomponenter; kapitalsärkostnad, osäkerhetssärkostnad och lagerhållningssärkostnad. Lagerhållningssärkostnad innebär kostnad för det fysiska lagret, för en detalj. Vid tillverkning med AM förekommer inte lagerhållning, annat än lite reservpulver i anslutning till maskinen, enligt uppgift från Wester. Han uttrycker: ”lagerkostnaden är inte mer än vad rummet där printern står i”. Då det saknas lagerhållning utanför produktionsytan, till vilken hänsyn är tagen i tillverkningskostnaden, kan kostnaden för lagerhållning försummas i modellen.

Osäkerhetssärkostnaden uppkommer till följd av osäkerheten med att lagerhålla en artikel, till exempel i form av inkurans, hållbarhetstid och stöld. Då det inte lagerhålls några färdiga artiklar försvinner inkurans- och hållbarhetsaspekten. Kvar blir kostnaden för försäkring av lagret, vilken motverkar osäkerheten för förlust av lagerhållna artiklar. I allmänhet uppgår denna kostnad inte till mer än 1% av varuvärdet (Jonsson & Matsson, 2016). Med detta som grund kommer osäkerhetssärkostnaden beräknas med procentsatsen ( $R_{osäkerhet}$ ) 0,01 i modellen.

Kapitalsärkostnaden uppgår till det värde en alternativ placering av det bundna kapitalet skulle medföra. Företag har vanligen ett eget avkastningskrav, vilket i regel inte understiger bankräntan (Jonsson & Matsson, 2016). I modellen anges procentsatsen ( $R_{kapital}$ ) för kapitalsärkostnaden som in-parameter.

I modellen summeras procentsatserna för kapital- och osäkerhetssärkostnad och summan av dessa utgör en räntesats. För att erhålla den totala lagerkostnaden för en detalj multipliceras sedan denna räntesats med kostnaden för pulveråtgången, alltså produkten av åtgången massa ( $m_{pulver}$ ) för den aktuella detaljen och pulvrets kilopris ( $IK_{pulver}$ ).

$$LK_{AM} = (R_{kapital} + R_{osäkerhet}) * m_{pulver} * IK_{pulver} \quad (10)$$

Eftersom företag vanligen räknar på lagerränta är det lämpligt att använda den aktuella lagerräntan som in-parameter för att beräkna lagersärkostnaden för respektive detalj vid inköp av detaljer. Lagerräntan kan skilja beroende på vilka artiklar som innefattats i framtagningen av den, exempelvis då artiklarnas storlek varierar och därmed även dess utrymmesbehov. Av denna anledning är det viktigt att lagerräntan som används i modellen är baserad på aktuellt artikelslag, vilket i det här fallet skulle innebära lagerränta för reservdelslagret.

En del av lagret utgörs av säkerhetslager, vilket är ett sätt att gardera sig mot de risker som kan uppstå. Därmed inkluderas kostnaden för säkerhetslager i modellens riskkostnad och utesluts ur lagerkostnad. Lagersärkostnaden för en specifik detalj blir således lagerräntan (LR) multiplicerat med varuvärdet (VV) för de lagerhållna artiklarna (AL) av samma slag, exklusive dess säkerhetslager (SL), vilket i modellen divideras med antal lagerhållna detaljer. Samtliga komponenter ges som in-parametrar i den framtagna beräkningsmodellen. För att lagersärkostnaden ska bli rättvis bör genomsnittliga lagernivåer användas om sådana dokumenteras.

$$LK_{TM} = \frac{LR * (AL - SL) * VV}{AL} \quad (11)$$

Transportkostnaden och dess beståndsdelar frakt, tull och hantering kan vara svåra att urskilja då de kan vara dolda i själva produktpriset, till exempel genom att vara inkluderad i inköpspriset för material respektive färdiga detaljer. I det fallet behöver en separat parameter inte inkluderas vid beräkning av totalkostnaden. Är transportkostnaden inte inkluderad i inköpspriset behöver den emellertid läggas till. Detta kan göras antingen genom att använda en redan framtagna transportkostnad, i de fall där en sådan existerar, i annat fall är Ekvation (12) och (13) ett möjligt tillvägagångssätt för att beräkna ett approximativt värde, vilka även förklaras i de två nästkommande styckena.

Enligt Li m.fl. (2017) kan transportkostnaden beräknas som andel av totalkostnaden. I fallet med AM uppgår transportkostnaden till 20% av totalkostnaden, vilket innebär ett förhållande till materialkostnaden om 1,8 ( $TF_{AM}$ ) enligt studien av Li m.fl. (2017). I den framtagna beräkningsmodellen beräknas transportkostnaden för en detalj därmed genom att denna faktor multipliceras med materialkostnaden för detaljen ( $MK_{AM}$ ).

$$TRK_{AM} = TF_{AM} * MK_{AM} \quad (12)$$

Vid inköp av detaljer beräknas transportkostnaden på motsvarande sätt, fast då med en procentsats på 21% av totalkostnaden. Transportkostnaden ställs i detta fall mot den totala kostnaden vilken framställningen av detaljen orsakat, vilket innebär ett förhållande om 0,4 ( $TF_{TM}$ ) enligt studien av Li m.fl. (2017). I den framtagna beräkningsmodellen multipliceras faktorn med detaljens inköpspris ( $IK_{TM}$ ).

$$TRK_{TM} = TF_{TM} * IK_{TM} \quad (13)$$

Riskkostnader kan uppstå till följd av oförutsedda händelser och extraordinära omständigheter såsom världskrig, pandemier och stora strejker, vilket kan leda till försenings- och bristkostnader, eller i värsta fall inkomstbortfall. Dessa kostnader är väldigt svåruppskattade, men ett sätt att uppskatta kostnaden för dem är att ta fram ett riskpålägg för respektive metod, vilket ges som in-parameter i beräkningsmodellen. Vid framtagning av detta pålägg bör även ledtid beaktas, då denna kan ha en stor påverkan enligt intervju med Wester. Dessutom utgör värdet av säkerhetslagret ytterligare en komponent i riskkostnaden.

För AM innebär detta att det framtagna riskpålägget ( $RP_{AM}$ ) multipliceras med materialkostnaden ( $MK_{AM}$ ), då risken vid AM främst ligger i att inte få tag på material. Vid tillverkning med AM saknas säkerhetslager och därmed uteblir denna ur beräkningsmodellen.

$$RK_{AM} = RP_{AM} * MK_{AM} \quad (14)$$

Vid inköp ligger risken snarare i att inte få tag på färdiga detaljer, därmed multipliceras riskpålägget ( $RP_{TM}$ ) med inköpspriset för detaljen ( $IK_{TM}$ ). Vidare används säkerhetslager som ett sätt att hantera risker och gardera sig mot osäkerheter vid inköp av detaljer. Därmed inkluderas värdet av säkerhetslager i riskkostnaden, vilken tas fram genom att multiplicera lagerränta ( $LR$ ), antal i säkerhetslager ( $SL$ ) och varuvärde ( $VV$ ). Produkten av dessa divideras med antal i lager ( $AL$ ).

$$RK_{TM} = \frac{LR * SL * VV}{AL} + RP_{TM} * IK_{TM} \quad (15)$$

Ekvation (14) och (15) visar alltså på ett möjligt tillvägagångssätt för att ta fram riskkostnaden. Har företag räknat på risk och osäkerhet på annat sätt kan detta adderas här istället och har det inte räknats på alls inkluderas endast värdet av säkerhetslagret i denna parameter.

### 5.3 Sammanställning av beräkningsmodell

Nedan presenteras en sammanställning av den framtagna beräkningsmodellen, definitioner av dess ingående parametrar samt en förteckning över samtliga komponenter.

	AM	TM
Byggkvantitet	$N = \frac{D_{packning} * V_{bygg}}{V_{detalj}}$	–
Materialkostnad	$MK_{AM} = m_{pulver} * (F_{svinn} * IK_{pulver} + P_{agents})$	–
Förberedningskostnad	$FK_{AM} = \frac{O * S_{mjukvara} + MA * S_{maskin}}{N}$	–
Tillverkningskostnad	$TK_{AM} = \frac{(MA + FB) * T_{bygg}}{N}$	–
Efterbearbetningskostnad	$EK_{AM} = (1 - x) * O * T_{manuell} + x * \frac{MA * T_{automatiserad}}{N}$	–
Inköpskostnad	–	$IK_{TM}$
Lagersärkostnad	$LK_{AM} = (R_{kapital} + R_{osäkerhet}) * m_{pulver} * IK_{pulver}$	$LK_{TM} = \frac{LR * (AL - SL) * VV}{AL}$
Transportkostnad	$TRK_{AM} = TF_{AM} * MK_{AM}$	$TRK_{TM} = TF_{TM} * IK_{TM}$
Riskkostnad	$RK_{AM} = RP_{AM} * MK_{AM}$	$RK_{TM} = \frac{LR * SL * VV}{AL} + RP_{TM} * IK_{TM}$
<b>Totalkostnad</b>	$TOT_{AM} = MK_{AM} + FK_{AM} + TK_{AM} + EK_{AM} + LK_{AM} + TRK_{AM} + RK_{AM}$	$TOT_{TM} = IK_{TM} + LK_{TM} + TRK_{TM} + RK_{TM}$
	<b>Kostnadsförändring <math>\Delta K = TOT_{AM} - TOT_{TM}</math></b>	

Tabell 5.1 Sammanställning av beräkningsmodell med definition av dess parametrar

#### AM

$D_{packning}$  = Packningsdensitet (%)  
 $V_{bygg}$  = Byggvolym (m<sup>3</sup>)  
 $V_{detalj}$  = Detaljens volym (m<sup>3</sup>)  
 $m_{pulver}$  = Massa pulver (kg)  
 $F_{svinn}$  = Svinnfaktor  
 $IK_{pulver}$  = Materialkostnad (SEK/kg)  
 $P_{agents}$  = Pålägg för agents (SEK)  
 $O$  = Operatörskostnad (SEK/h)  
 $S_{mjukvara}$  = Ställtid mjukvara (h)  
 $MA$  = Maskinkostnad (SEK/h)  
 $S_{maskin}$  = Ställtid maskin (h)  
 $FB$  = Förbrukningsvaror (SEK/h)  
 $T_{bygg}$  = Byggtid (h)  
 $x$  = variabel  
 $T_{manuell}$  = Manuell bearbetningstid (h)  
 $T_{automatiserad}$  = Automatiserad bearbetningstid (h)  
 $R_{kapital}$  = Räntesats kapitalräntekostnad (%)  
 $R_{osäkerhet}$  = Räntesats osäkerhetsräntekostnad (%)  
 $TF_{AM}$  = Faktor för transportkostnad vid AM  
 $RP_{AM}$  = Riskprocent vid AM (%)

#### TM

$IK_{TM}$  = Inköpskostnad färdig detalj (SEK)  
 $LR$  = Lagerränta (%)  
 $AL$  = Antal i lager (st)  
 $SL$  = Säkerhetslager (st)  
 $VV$  = Varuvärde (SEK)  
 $TF_{TM}$  = Faktor för transportkostnad vid TM  
 $RP_{TM}$  = Riskprocent vid TM (%)

Tabell 5.2 Förteckning över beräkningsmodellens ingående komponenter

## 5.4 Utvärdering av framtagen beräkningsmodell

För att utvärdera beräkningsmodellen har två tester genomförts i Excel, specifika detaljer inkluderas i testresultaten i Bilaga I för test 1 och Bilaga II för test 2.

### Test 1

I första testet har resultatet av den delen i beräkningsmodellen vilken utvärderar tillverkningskostnaden för AM jämförts mot kostnadsuppskattningsverktyg framtagna av Materialise och 3D Hubs. De testade detaljerna (benämnda A-J i Bilaga I) och dess egenskaper i form av dimensioner och volym är tagna från GrabCAD, ett forum med CAD-filer. Därav kan noggrannheten i dessa egenskaper inte garanteras. Vidare antogs vid testets utförande att efterbearbetning av detaljerna var automatiserad. Detta på grund av svårigheterna med att uppskatta tidsåtgången för manuell efterbearbetning.

Materialise och 3D Hubs är båda vinstdrivande verksamheter vilka erbjuder tjänsten om kostnadsuppskattning för CAD-filer. Syftet är att det ska generera säljtillfällen i form av att de printar och levererar de printade detaljerna, vilka utvärderats i kostnadsuppskattningsverktyget. Med detta i beaktning innehåller förmodligen resultatet av kostnadsuppskattningen ett pålägg, vilket företaget tar ut för tjänsten i sig, leverans av detalj och vinst. Detta påverkar vid jämförelse mot tillverkningskostnaden i den framtagna beräkningsmodellen då den förstås inte innefattar sådana pålägg.

För att få ett bredare perspektiv på testets utfall genomfördes testet vid olika antal tillverkade detaljer per bygge, alltså olika byggkvantiteter. Dels användes värdet vilket erhålls genom den framtagna beräkningsmodellen, alltså N, dels värdena 1, 10, 100 och 999.

Vid granskning av resultatet av testet framgår vikten av parametern N. Vid låga byggkvantiteter blev tillverkningskostnaden enligt den framtagna modellen betydligt högre än vad verktygen uppskattade. Förklaringen är helt enkelt att det aldrig lönar sig att printa endast en, eller väldigt få, detalj(er) i en byggenhet så vida det inte är detaljer som tar upp de rekommenderade 9,53% av byggvolymen. Vid höga byggkvantiteter, å andra sidan, gav modellen orimligt låga tillverkningskostnader i förhållande till de använda verktygen. Detta förklaras av att det inte är tekniskt möjligt att fylla byggvolymen med ett så stort antal detaljer. Parametern N i beräkningsmodellen är anpassad efter att uppnå packningsdensiteten 9,53%, så att en stor avvikelse från framtaget N leder till stora kostnadsskillnader talar för den framtagna beräkningsmodellens ackuratess.

Kostnaden för tillverkning enligt det för modellen framtagna värdet på parametern N var emellertid sällan särskilt likt i jämförelse mellan den framtagna modellen och de använda verktygen. I flera fall var beräkning med detta antal inte ens möjligt enligt verktygen. Då information om verktygens uppbyggnad saknas, och därmed vilken byggkvantitet som används, är det svårt att säga vad detta resultat innebär angående den framtagna beräkningsmodellens noggrannhet. Beaktat tidigare nämnda pålägg som tillkommer i dessa verktyg kan resultaten enligt den framtagna beräkningsmodellen ändå anses vara rimliga.

Vidare kan ett mönster urskiljas gällande de använda värdena på variabeln N. För detaljerna A, B, C och E stämde tillverkningskostnaden enligt kostnadsverktygen bäst överens med den för beräkningsmodellen vid ett byggantal om 100 detaljer per bygge. För detaljerna D och F stämde motsvarande bäst för ett byggantal om 10 detaljer. För detaljerna G och H kunde emellertid ett sådant samband inte identifieras. Detta kunde kopplas till detaljernas storlek, vilket kan tala för att kostnadsuppskattningen i verktygen bygger på intervaller utifrån detaljens volym. Dessutom upptäcktes en återkommande kostnad om 137,3 SEK vid tillverkning av 1 detalj. Hela 5 av 10 detaljer landade på denna tillverkningskostnad enligt verktyget av Materialise, vilket styrker idén om att kostnadsuppskattningen bygger på intervall.

En annan reflektion vilken kan vara av vikt vid tillämpning av den framtagna beräkningsmodellen på verkliga fall är användningen av den rekommenderade packningsdensiteten (9,53%). Denna packningsdensitet ger i vissa fall värden på N, vilka kan anses orimligt höga. Det handlar framförallt om detaljer med väldigt låg volym eller detaljer med geometri som medför stora "håligheter", exempelvis i form av hålstruktur, djupa urgröpningar eller ihåliga detaljer. Detta innebär att värdet på N antyder att fler detaljer kan byggas åt gången än vad som i verkligheten är möjligt. För att modellen ska ge noggranna resultat i sådana fall kan en lösning vara att anpassa packningsdensiteten, vilken parametern N är baserad på, utifrån geometrin på den aktuella detaljen. Förslagsvis som manuell in-parameter till modellen, alternativt genom att lämplig packningsdensitet bestäms med hjälp av maskininlärning.

## Test 2

Det andra testet bygger på det första testet med avseende på tillverkningskostnader för AM. Därmed gäller antagandet som gällde vid det första testet, alltså att det är automatiserad efterbearbetning. Vid testets genomförande har det utgått från det beräknade antalet detaljer per bygge (N), alltså det som beräknas utifrån packningsdensitet, byggvolym och detaljens volym.

Vidare görs en rad andra antaganden för att kunna genomföra testet. Ett av dessa är att transportkostnaden är inkluderad i inköpspriset för material respektive färdig detalj, i enlighet med Wester och Öhrberg. Därmed blir parametern 0. Ett annat är att varuvärdet har likställts med inköpspriset för traditionellt tillverkade detaljer. Slutligen finns det inga uppgifter om riskkostnader mer än i form av säkerhetslager, därmed bortses övriga komponenter i parametern riskkostnad.

Då det saknas uppgifter om inköpspriset för färdiga detaljer har det i test två tagits fram en brytpunkt för när en övergång till additiv tillverkning ger kostnadsreducering i jämförelse med inköp av traditionellt tillverkade. Detta har gjorts genom att identifiera det inköpspris som ger en kostnadsförändring på 0. Det är detta inköpspris som sedan ligger till grund för vidare utvärdering av beräkningsmodellen.

Det som framgår av det andra testet efter en utvärdering är att en låg åtgång av detaljer i kombination med en hög minimum orderkvantitet ger höga lagerhållningskostnader, vilket kan anses rimligt. Vidare ger resultatet en känsla för proportioner mellan de olika parametrarna, till exempel utgör lagerkostnader en stor del vid inköp av detaljer men inte vid additiv tillverkning. Detta stärker även det som framkommit av intervjuerna då Öhrberg nämner att lager är dyrt för färdiga detaljer, medan Wester påpekar att lagerkostnaden inte ens tas hänsyn till vid AM.

Inköspriset varierar mellan de tio olika detaljerna, bland annat beroende på deras storlek och lagerhållning.

## 5.5 Bedömning av resultat

Beräkningsmodellen som arbetet resulterat i innefattar en rad osäkerheter vilket därmed innebär att antaganden behövt göras. Dessa antaganden är välgrundade då de bygger på teori och empiri, men de är fortfarande antaganden. Denna aspekt måste därför tas i beaktning.

De främsta osäkerheterna som kunnat identifieras är icke-tillverkningsrelaterade kostnader, exempelvis risk- och transportkostnader. Dessa kostnader är svåra att ta fram och kvantifiera då de är situationsspecifika och beror på många olika faktorer. Detta är något som också syns i teorin på dessa områden, då det inte finns utförligare beskrivningar av hur dessa kan tas fram. Oavsett är dessa parametrar en del av totalkostnaden och bör därför inkluderas, om än med en något annan strategi än för exempelvis materialkostnaden, som är simplare att härleda ur befintlig teori och metodik. Kostnader för icke-tillverkningsrelaterade aktiviteter är dessutom viktiga i jämförelsen mellan AM och inköp av färdiga detaljer då mycket kapital binds i exempelvis lager, enligt intervju med Wester.

Modellen är uppbyggd på ett sådant sätt att de parametrar som är osäkra och baserade på antaganden presenteras tillsammans med hur de tas fram, för att ge förslag på hur det kan göras men också för att det ska vara relativt enkelt att justera utifrån egen information. De parametrar som berörs av detta är bland annat operatörskostnaden där antagandet är att antalet arbetsveckor uppgår till 52, antal detaljer per jobb som bygger på ett antagande om en packningsdensitet på 9,53% samt agentspålägg och åtgång av förbrukningsvaror som är beräknat efter en standarddetalj. Beräkningsmodellen är alltså baserad på en fallstudie, men dess uppbyggnad gör det möjligt att, genom att följa metoden och de presenterade beräkningarna, anpassa modellen efter andra specifika fall.

Det faktum att få empiriska fall tittats på och att endast två personer intervjuats bidrar till en viss osäkerhet. I retrospektiv hade tillgång till fler empiriska fall och intervjuer med någon från logistikavdelningen på Volvo Cars, alternativt Chalmers, varit ett bra sätt att komplettera empirin. Det kan dock diskuteras huruvida den rådande pandemin haft en inverkan på dessa möjligheter då pandemin rent generellt lett till att personer blivit svårkontaktade eller behövt prioritera om sin tid.

Det faktiska resultatet skiljer sig från det förväntade en aning. Bland annat kunde det till en början förväntas att en modell, där alla parametrar inklusive dess uträkningar, skulle presenteras vilket inte blev fallet med exempelvis riskkostnaden. Detta till följd av att det var svårare än väntat att ta fram beräkningar för icke-tillverkningsrelaterade parametrar. Samtidigt innebär inte avsaknaden av ett numeriskt värde att ingenting kommit ur arbetet med detta. Snarare visar det på svårigheten med att ta fram detta genom befintlig teori och metodik samt ett behov av vidare undersökning. Att det överhuvudtaget blev ett resultat i form av en beräkningsmodell, trots sådana svårigheter, kan därför tyckas positivt i förhållande till de förväntningar som skapades efter upptäckten av dessa hinder.

Till följd av att vissa delar i den framtagna beräkningsmodellen är unika från fall till fall samt att en del antaganden krävts är det strukturen och tankegången bakom, snarare än siffrorna, som är särskilt intressant med resultatet.

## 6. ANALYS OCH DISKUSSION

*Avsnittet analyserar och diskuterar den framtagna beräkningsmodellen utifrån teori och metodik, empiri samt lärdomar och tankar vilka uppstått under arbetets gång. Disponeringen av avsnittet är upplagd så att den framtagna beräkningsmodellen först analyseras utifrån den teori vilken presenterats i kapitel 3. Det som analyseras berör modellens struktur, val av kalkyleringstyp, val av ingående parametrar och kvantifiering av dessa. Analysen bygger på att likheter och olikheter mot presenterad teori och metodik på respektive område identifieras. På samma sätt analyseras sedan den framtagna beräkningsmodellen utifrån det empiriska materialet. Slutligen diskuteras arbetets bidrag till näringsliv såväl som forskning.*

Vid jämförelse av den framtagna modellen med befintlig teori och metodik framgår framförallt strukturella likheter. Enligt presenterad teori av Ax m.fl. (2009) och Johansson & Samuelson (1992) kan kalkyleringen av de olika parametrarna genomföras på flera sätt, bland andra genom påläggs-, bidrags- och ABC-kalkylering. Den framtagna beräkningsmodellen är uppbyggd efter en additiv struktur, där olika kostnadsparametrar summeras för att erhålla total kostnad, i enlighet med tidigare framtagna modeller av bland andra Atzeni & Salmi (2012). Den bygger således på en struktur likt ABC-kalkylering. Detta då de olika parametrarna, som valts utifrån funktioner vilka ingår i framställning och distribuering av detaljer, summeras snarare än att bidrag eller pålägg kalkyleras och fördelas.

Även andra strukturer förekommer i tidigare modeller. Ett exempel är strukturen i modellen framtagen av Schröder m.fl. (2015), där kostnaden för olika processer räknas ut som en funktion av tidsåtgången för respektive process. En sådan struktur kan liknas vid kostnadskalkyleringsmetoden påläggskalkylering. De ingående processerna är visserligen utvalda utifrån de aktiviteter som genomförs, likt den framtagna modellen. Kalkyleringsmetoden i modellen av Schröder m.fl. (2015) liknar emellertid påläggskalkylering i och med att tidsåtgången bestäms för en detalj och samtliga kostnader fördelas därefter. Denna struktur skiljer sig därmed från den för arbetet använda strukturen. Anledningen till att denna struktur inte lämpar sig för arbetet är bland annat svårigheterna, som Ax m.fl. (2009) presenterar, att fördela omkostnader till specifika detaljer vid framtagning av generella modeller.

Gällande valet av ingående kostnadsparametrar i den framtagna modellen är de uppdelade efter funktion vilket stämmer överens med tidigare modeller. Däremot skiljer sig valet av funktioner inom de tidigare utformade modellerna. Uppdelningen som används vid utformningen av de tillverkningsrelaterade kostnaderna i den för arbetet framtagna modellen är baserad på funktionerna material, förberedning, tillverkning och efterbearbetning, vilket stämmer överens med modellen utformad av Atzeni & Salmi (2012). Exempel på andra funktionsuppdelningar än den valda syns i modeller framtagna av bland andra Schröder m.fl. (2015), Yim & Rosen (2012) samt Mahadik & Masel (2018).

De presenterade modellerna har det gemensamt att de syftar till att beräkna och utvärdera kostnader som är knutna till tillverkning av additivt respektive traditionellt tillverkade detaljer. En modell som skiljer sig från de andra är emellertid modellen framtagen av Li m.fl. (2017) där även kostnader relaterade till transport, administration och lagerhållning inkluderas. Även i teori av Jonsson & Matsson (2016) samt Axsäter (2015) diskuteras kostnader vilka uppkommer till följd av lagerhållning, transport och dessutom risk för extraordinära händelser.

I modellen som utformats i arbetet inkluderas kostnader i enlighet med de som presenterats i teorin. Skillnaden är att ingen egen parameter för kostnader relaterade till administration inkluderats. Detta då modellen baseras på en så kallad systemkostnadsanalys i enlighet med studier av Mollenkopf (2005), vilket innebär att endast de kostnader som omfattas av en omställning till additiv tillverkning inkluderas i modellen. I fallet med administrativa kostnader, berörs de inte i någon stor utsträckning av en övergång till additiv tillverkning och exkluderas därmed från modellen. Den lilla del av de administrativa kostnaden som faktiskt berörs av en sådan övergång är de som är relaterade till lagerhållning, vilka innefattas i modellen under lagerhållningssärkostnad.

Vidare är parametrarna för beräkning av transportkostnad i den för arbetet framtagna modellen baserade på modellen framtagen av Li m.fl. (2017). Utöver det kan även olikheter identifieras vid jämförelse av de båda modellerna. I fallet av Li m.fl. (2017) har datauppgifter genererats genom simulering av ett exempelfall. I den modellen som presenterats som resultat i arbetet har emellertid en matematisk modell konstruerats till vilken datauppgifter avses vara lämnade som in-parametrar. Skillnaden blir således att resultatet blir preciserat utefter vart och ett specifikt fall.

På samma sätt som att den framtagna modellens struktur kan liknas med struktur i teori och metodik från tidigare framtagna modeller, föreligger likhet mellan utformningen av de ingående parametrarnas komponenter med resultatet av studiens empiri. I de fall det empiriska resultatet inte varit komplett för att begrunda utformningen av de ingående parametrarna har emellertid teoretiska fakta tillämpats. Anledningen till att empiriska resultat främst legat till grund för utformningen av de i modellen ingående parametrarna är att det empiriska materialet är anpassat utifrån det aktuella fallet. Därmed bidrar det till säkrare resultat vid tillämpning av modellen i den aktuella industrin, alltså framställning av reservdelar inom fordonsindustrin. Mer specifikt besitter Wester och Öhrberg kunskaper rörande just reservdelsindustrin och det för arbetet aktuella material, maskin och tillverkningsmetod.

Vidare har resultatet från den empiriska studien kunnat validera strukturer på modellen, genom att de tillfrågade intervjupersonerna framfört åsikter och synpunkter på den framtagna modellen. Därmed stärks likheten mellan resultatet av utformande av modell gällande struktur med befintlig teori och metodik, men även med empirin.

En faktor vilken kan utgöra en väsentlig skillnad mellan det empiriskt insamlade materialet och resultatet, i form av beräkningsmodellen, rör underlaget för kostnadsberäkning tillhandahållen av PLM Group. Anledningen till detta är att den av PLM Group bedrivna verksamheten syftar till att beräkna möjligheten att minska tillverkningskostnad i och med en övergång till additiv tillverkning, baserat på att företaget i fråga investerar i en printer. Den genom arbetet framtagna modellen är emellertid avgränsad till att *inte* verka som investeringskalkyl utan enbart beröra den delen av en sådan kalkyl vilken avser kostnadsförändringen mellan ursprungs- och framtida tillstånd, oberoende av finansieringssätt av printern.

För närvarande saknas en modell vilken i kombination med maskininlärning kan användas för att få fram ett urval av reservdelar, för vilka en övergång från inköp av traditionellt tillverkade detaljer till additivt tillverkade är gynnsam. Med detta som grund kan resultatet av rapporten bidra med nytta till dagens aktiva verksamheter såväl som till framtida forskning. Dagens företag kan hitta vinning i att, med hjälp av den för arbetet presenterade metoden och dess resultat i form av presenterad beräkningsmodell, undersöka möjlighet till kostnadsbesparing till följd av en övergång till additiv tillverkning.

Under arbetets gång har ett glapp inom kostnadsuppskattning kunnat identifierats. Studiens presenterade resultat skulle således kunna ligga till grund för utveckling av ett verktyg för att utföra kostnadsberäkningar, vilka resulterar i ett urval av detaljer för vilka en övergång till additiv tillverkning skulle generera kostnadsreducering. Mer specifikt vore det gynnsamt om forskning inom lager-, transport- och riskkostnader med syfte att finna generella påläggssatser genomfördes. Sådana påläggssatser skulle vidare vara användbara för att validera, specificera och anpassa modeller likt den för arbetet framtagna.

## 7. SLUTSATS

*Avsnittet presenterar de slutsatser som kunnat dras utifrån presenterade frågeställningar. Vidare presenteras rekommendationer till fortsatt forskning.*

Rapporten syftar till att förklara hur en modell, för beräkning av skillnaden i kostnad mellan inköpta och additivt tillverkade reservdelar, kan vara utformad. Detta har sökts åstadkommas genom den presenterade metoden, vilken resulterat i en beräkningsmodell vars parametrar finns definierade och förklarade i kapitel 5. De ur syftet formulerade frågeställningarna har under arbetets gång kunnat bearbetas och besvaras nedan.

### **Vilka komponenter bör ingå i en modell – vilken kan användas för beräkning av kostnadsförändringar vid övergång till additiv tillverkning av reservdelar – baserad på befintlig metodik och teori?**

Utifrån befintlig metodik och teori har en beräkningsmodell kunnat utformas. Modellen utgår från en systemkostnadsanalys vilket innebär att endast kostnader som påverkas av en övergång innefattas. Upplägget av modellen bygger på en additiv struktur där totalkostnaden delas upp i kostnadsparametrar för respektive framställningsmetod, alltså ursprungsmetoden att köpa in reservdelar och den eventuella metoden att tillverka dem additivt. Parametrarna summeras för respektive metod och skillnaden mellan totalkostnaderna utgör kostnadsförändringen. De parametrar som innefattas i den utformade modellen är kostnader för material, förberedning, tillverkning, efterbearbetning, inköp, lager, transport och risk. En sammanställning i kapitel 5.3 presenterar den fullständiga beräkningsmodellen med samtliga komponenter.

### **Vilka osäkerheter kan identifieras i en sådan modell?**

I en modell likt den som tagits fram kan det argumenteras för att mer eller mindre allt är osäkert, men i olika utsträckning, vilket bör beaktas vid applicering av en sådan modell. De faktorer som identifierats som mest osäkra är transport- och riskkostnaderna. Detta till följd av att de är situationsspecifika, beror på en rad olika faktorer och att det handlar om svårtillgänglig information. Ytterligare faktorer som bidrar till osäkerheter är att en del data, till exempel faktorn 1,05 som representerar svinn i modellen, är tagen ur *ett* empiriskt fall.

Vidare är modellen baserad på befintlig teori och metodik, vilket betyder att osäkerheter med den valda teorin även kommer spegla av sig på den framtagna modellen. Det kan röra sig om allt från att den befintliga teorin inte är helt korrekt eller tillräcklig till att den mest relevanta inte har hittats, vilket därmed påverkar utfallet.

### **Hur kan sådana osäkerheter hanteras?**

Det finns ett flertal åtgärder som skulle kunna göras för att reducera sådana osäkerheter. En åtgärd är att öka tillgången till empiri genom att genomföra fler fallstudier av liknande typ, men även mer specificerade fallstudier som är situationsanpassade.

En annan möjlig åtgärd är att arbeta vidare med validering och iteration av modellen för att på så sätt identifiera osäkerheter och ständigt uppdatera samt förbättra modellen.

För att åtgärda osäkerheten med befintlig teori skulle *än* mer tid kunna ägnas åt informationsökning och källkritisk analys utifrån de fem kriterierna relevans, upphovsman, syfte, tillförlitlighet och aktualitet.

## 7.1 Rekommendationer till fortsatt forskning

Vid tillämpning av den framtagna, och liknande, modeller kan det vara av intresse att genom djupare forskning specificera de ingående parametrarna ytterligare för att säkerställa noggrannast möjliga resultat. Då modellen är baserad på befintlig metodik och teori skulle utveckling av denna vara av stort värde. Därav vore det intressant att genomföra en studie för respektive ingående parameter i modellen, alltså en för materialkostnad, en för förberedning, tillverkning och så vidare.

Mer specifikt för de olika parametrarna vore det intressant med forskning kring schablonvärden och procentsatser för olika pålägg för respektive parameter. Exempelvis kunde schablonvärden och procentsatser erhållas genom omfattande fallstudier där olika företag inom en avgränsad industri eller ett område studeras. Således skulle de framtagna värdena kunna appliceras i modellen för tillämpning på fall inom samma industri eller område med ett resultat med reducerad osäkerhet.

För materialkostnaden vore det intressant med fallstudier som validerade de ingående parametrarna inköpspris, pålägg för agents och svinn. Vidare skulle forskningen kunna undersöka huruvida ytterligare materialkostnader uppstår vilka borde innefattas för att ge rättvisa resultat. På liknande sätt vore det intressant att undersöka ingående variabler i resterande parametrar i modellen.

Särskilt intressant vore studier inom de icke-tillverkningsrelaterade kostnaderna. Detta då det inom den befintliga teorin finns luckor att fylla inom dessa områden. Angående kostnader för lagerhållning finns studier på hur enskilda företag räknar och bör räkna på pålägg och procentsatser. Däremot finns utrymme för fortsatt forskning rörande generella kostnadsuppgifter inom särskilda områden, vilka är de som är av intresse vid utveckling av generella modeller likt den för arbetet framtagna. Inom beräkning av kostnader för transport finns likt för lagerhållningskostnader utrymme för studier med syfte att identifiera generellt tillämpbara procentsatser eller liknande. Gällande uppskattning av kostnader för risk, utöver uppskattningar av kostnaden för gardering mot osäkerheter i form av säkerhetslager, saknas studier med generellt tillämpbara resultat. Därav vore det intressant med studier med syfte att forma generella kostnadsuppskattningar för icke-tillverkningsrelaterade kostnader baserade på avgränsade industrier, områden och förslagsvis även avgränsningar i form av verksamhetens storlek, omsättning, placering och liknande.

## REFERENSLISTA

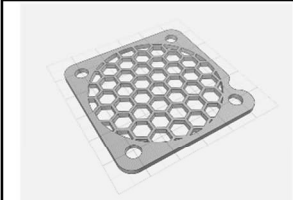
- Achillas, C., Aidonis, D., Iakovou, E., Thymianidis, M., & Tzetzis, D. (2015). A methodological framework for the inclusion of modern additive manufacturing into the production portfolio of a focused factory. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 328–339. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.07.014>
- Atzeni, E., & Salmi, A. (2012). Economics of additive manufacturing for end-usable metal parts. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 62(9–12), 1147–1155. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3878-1>
- Ax, C., Johansson, C., & Kullvén, H. (2009). *Den nya ekonomistyrningen* (4:e uppl.). Liber.
- Axsäter, S. (2015). Inventory Control. [electronic resource]. I *Springer eBooks* (3:e uppl.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-15729-0>
- Ben-Ner, A., & Siemsen, E. (2017). Decentralization and Localization of Production. *California Management Review*, 59(2), 5–23. <https://doi.org/10.1177/0008125617695284>
- Berger, R. (2013). *Additive manufacturing 2013 — Roland Berger*. <https://www.rolandberger.com/de/Publications/Additive-manufacturing-2013.html>
- Bryman, A., & Bell, E. (2011). *Business Research Methods* (3rd uppl.). Oxford Univ. Press.
- Bryman, A., Bell, E., & Harley, B. (2019). *Business research methods* (5:e uppl.). Oxford Univ. Press.
- Byström, J. (2019). *LibGuides: Sök- och skrivguide: Källkritik*. <http://guides.lib.chalmers.se/c.php?g=402030&p=2734364>
- Diegel, O., Nordin, A., & Motte, D. (2020). *A Practical Guide to Design for Additive Manufacturing*. Springer.
- Dilberoglu, U. M., Gharehpapagh, B., Yaman, U., & Dolen, M. (2017). The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 545–554. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.148>
- Griehl, W., & Ruestem, D. (1970). Nylon-12 Preparation, Properties, and Applications. *Industrial & Engineering Chemistry*, 62(3). <https://doi.org/10.1021/ie50723a005>
- HP. (2020a). *HP Jet Fusion 5200 Series 3D Printing Solutions [Produktblad]*. <https://www8.hp.com/h20195/v2/GetPDF.aspx/4AA7-4998ENA.pdf>
- HP. (2020b). *Specifications to help you choose*. <https://www8.hp.com/h20195/v2/getpdf.aspx/4AA7-4999ENE.pdf>
- Johansson, S. E., & Samuelson, L. A. C. N.-H. . J. (1992). *Industriell kalkylering och redovisning* (8:1). CE Fritzes.
- Jonsson, P., & Matsson, S.-A. (2016). *Logistik: Läran om effektiva materialflöden* (3:e uppl.). Studentlitteratur.
- Knofius, N., van der Heijden, M. C., & Zijm, W. H. M. (2019). Moving to additive manufacturing for spare parts supply. *Computers in Industry*, 113. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103134>

- Li, Y., Jia, G., Cheng, Y., & Hu, Y. (2017). Additive manufacturing technology in spare parts supply chain: a comparative study. *International Journal of Production Research*, 55(5), 1498–1515. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1231433>
- Mahadik, A., & Masel, D. (2018). Implementation of Additive Manufacturing Cost Estimation Tool (AMCET) Using Break-down Approach. *Procedia Manufacturing*, 17, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.014>
- Mollenkopf, D., Closs, D., Twede, D., Lee, S., & Burgess, G. (2005). Assessing The Viability of Reusable Packaging: A Relative Cost Approach. *Journal of Business Logistics*, 26(1), 169–198. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2005.tb00198.x>
- PLM Group. (u.å.). *PLM Group Sweden*. Hämtad 25 maj 2020, från <https://plmgroup.se/om-oss/>
- Qviberg, U. (2018). *Vad är Multi Jet Fusion? - 3D Center*. <https://3dcent.com/additiv-tillverkning/vad-ar-multi-jet-fusion/>
- Redwood, B., Schöffler, F., & Garret, B. (2018). *The 3D Printing Handbook* (1:a uppl.).
- Schröder, M., Falk, B., & Schmitt, R. (2015). Evaluation of cost structures of additive manufacturing processes using a new business model. *Procedia CIRP*, 30, 311–316. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.144>
- Statistikmyndigheten SCB. (2019, juni 18). *Genomsnittlig månadslön, kronor efter sektor, Yrke (SSYK 2012), kön, utbildningsnivå och år*. [http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_\\_AM\\_\\_AM0110\\_\\_AM0110 A/LonYrkeUtbildning4A/table/tableViewLayout1/#](http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__AM__AM0110__AM0110 A/LonYrkeUtbildning4A/table/tableViewLayout1/#)
- Yim, S., & Rosen, D. (2012). Build Time and Cost Models for Additive Manufacturing Process Selection. *ASME Design Engineering Technical Conference*, 375–382. <https://doi.org/10.1115/DETC2012-70940>

## BILAGOR

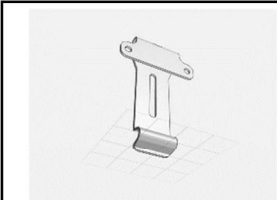
## Bilaga I

## Detalj A

	Fan Grid 52.0 x 52.0 x 2.0 mm
	$V_{\text{detalj}} \text{ (m}^3\text{)}$ 0,00000249
	$m_{\text{pulver}} \text{ (kg)}$ 0,00000251

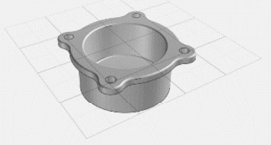
Antal detaljer per bygge	N	1569	1	10	100	999
Materialkostnad	$MK_{AM}$	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Förberedningskostnad	$FK_{AM}$	0,115	180,0	18,00	1,800	0,180
Tillverkningskostnad	$TK_{AM}$	2,443	3833	383,3	38,33	3,837
Efterbearbetningskostnad	$EK_{AM}$	0,017	26,10	2,610	0,261	0,026
<b>Total tillverkningskostnad</b>		<b>2,576</b>	<b>4039</b>	<b>403,9</b>	<b>40,39</b>	<b>4,045</b>
Materialise		-	137,3	51,46	40,38	34,10
3D Hubs		-	156,2	74,48	36,40	30,86

## Detalj B

	Belt Clip 34.5 x 6.0 x 53.0 mm
	$V_{\text{detalj}} \text{ (m}^3\text{)}$ 0,00000130
	$m_{\text{pulver}} \text{ (kg)}$ 0,00000131

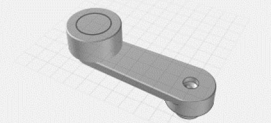
Antal detaljer per bygge	N	3006	1	10	100	999
Materialkostnad	$MK_{AM}$	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Förberedningskostnad	$FK_{AM}$	0,041	122,7	12,27	1,227	0,123
Tillverkningskostnad	$TK_{AM}$	1,275	3833	383,3	38,33	3,837
Efterbearbetningskostnad	$EK_{AM}$	0,009	26,10	2,610	0,261	0,026
<b>Total tillverkningskostnad</b>		<b>1,326</b>	<b>3982</b>	<b>398,2</b>	<b>39,82</b>	<b>3,987</b>
Materialise		-	137,3	43,93	32,84	26,67
3D Hubs		-	133,5	61,71	32,22	27,30

## Detalj C

	Engine Rear Cover 24.0 x 24.0 x 11.1 mm	
	$V_{\text{detalj}} \text{ (m}^3\text{)}$	0,00000171
	$m_{\text{pulver}} \text{ (kg)}$	0,00000173

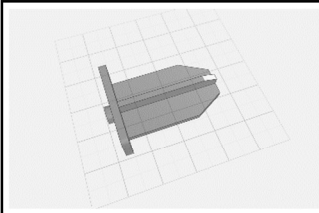
Antal detaljer per bygge	N	2285	1	10	100	999
Materialkostnad	$MK_{AM}$	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Förberedningskostnad	$FK_{AM}$	0,079	180,0	18,00	1,800	0,180
Tillverkningskostnad	$TK_{AM}$	1,677	3833	383,3	38,33	3,837
Efterbearbetningskostnad	$EK_{AM}$	0,011	26,10	2,610	0,261	0,026
<b>Total tillverkningskostnad</b>		<b>1,769</b>	<b>4039</b>	<b>403,9</b>	<b>40,39</b>	<b>4,044</b>
Materialise		-	137,3	38,49	27,41	21,13
3D Hubs		-	150,1	62,55	29,18	24,27

## Detalj D

	Window Lifter 41.0 x 117.5 x 46.0 mm	
	$V_{\text{detalj}} \text{ (m}^3\text{)}$	0,00005615
	$m_{\text{pulver}} \text{ (kg)}$	0,00005671

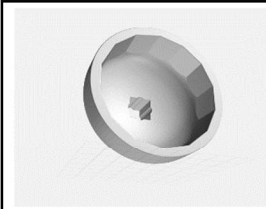
Antal detaljer per bygge	N	70	1	10	100	999
Materialkostnad	$MK_{AM}$	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036
Förberedningskostnad	$FK_{AM}$	2,586	180,0	18,00	1,800	0,180
Tillverkningskostnad	$TK_{AM}$	55,08	3833	383,3	38,33	3,837
Efterbearbetningskostnad	$EK_{AM}$	0,375	26,10	2,610	0,261	0,026
<b>Total tillverkningskostnad</b>		<b>58,08</b>	<b>4039</b>	<b>403,9</b>	<b>40,43</b>	<b>4,079</b>
Materialise		229,1	258,5	238,8	227,7	-
3D Hubs		296,9	598,7	399,0	278,9	-

## Detalj E

	Magazine Spring Lock 30.1 x 40.5 x 17.9 mm	
	$V_{\text{detalj}} \text{ (m}^3\text{)}$	0,00000361
	$m_{\text{pulver}} \text{ (kg)}$	0,00000365

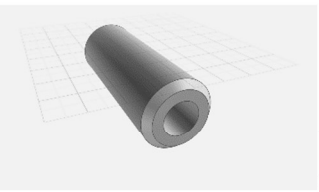
Antal detaljer per bygge	N	1082	1	10	100	999
Materialkostnad	$MK_{AM}$	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Förberedningskostnad	$FK_{AM}$	0,166	180,0	18,00	1,800	0,180
Tillverkningskostnad	$TK_{AM}$	3,541	3833	383,3	38,33	3,837
Efterbearbetningskostnad	$EK_{AM}$	0,024	26,10	2,610	0,261	0,026
<b>Total tillverkningskostnad</b>		<b>3,734</b>	<b>4039</b>	<b>403,9</b>	<b>40,39</b>	<b>4,045</b>
Materialise		-	137,3	52,40	41,32	35,04
3D Hub		-	137,0	67,89	39,54	32,43

## Detalj F

	Oil Filter Tool 75.1 x 48.0 x 75.1 mm	
	$V_{\text{detalj}} \text{ (m}^3\text{)}$	0,00004637
	$m_{\text{pulver}} \text{ (kg)}$	0,00004683

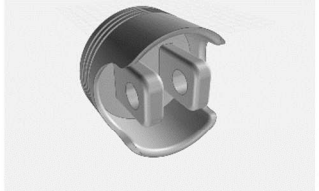
Antal detaljer per bygge	N	84	1	10	100	999
Materialkostnad	$MK_{AM}$	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029
Förberedningskostnad	$FK_{AM}$	2,136	180,0	18,00	1,800	0,180
Tillverkningskostnad	$TK_{AM}$	45,49	3833	383,3	38,33	3,837
Efterbearbetningskostnad	$EK_{AM}$	0,310	26,10	2,610	0,261	0,026
<b>Total tillverkningskostnad</b>		<b>47,96</b>	<b>4039</b>	<b>403,9</b>	<b>40,42</b>	<b>4,072</b>
Materialise		258,2	290,9	269,45	257,53	-
3D Hubs		276,6	566,9	372,38	270,50	-

## Detalj G

	Piston Part 1 25.4 x 69.9 x 25.4 mm
$V_{\text{detalj}} \text{ (m}^3\text{)}$	0,00002606
$m_{\text{pulver}} \text{ (kg)}$	0,00002632

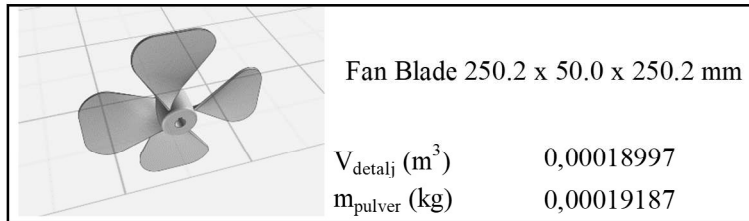
Antal detaljer per bygge	N	150	1	10	100	999
Materialkostnad	$MK_{AM}$	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
Förberedningskostnad	$FK_{AM}$	1,200	180,0	18,00	1,800	0,180
Tillverkningskostnad	$TK_{AM}$	25,56	3833	383,3	38,33	3,837
Efterbearbetningskostnad	$EK_{AM}$	0,174	26,10	2,610	0,261	0,026
<b>Total tillverkningskostnad</b>		<b>27,0</b>	<b>4039</b>	<b>403,9</b>	<b>40,41</b>	<b>4,060</b>
Materialise		103,3	137,3	115,8	104,7	-
3D Hubs		115,3	274,3	176,1	118,4	96,13

## Detalj H

	Piston Part 2 127.0 x 82.5 x 127.0 mm
$V_{\text{detalj}} \text{ (m}^3\text{)}$	0,00043386
$m_{\text{pulver}} \text{ (kg)}$	0,00043820

Antal detaljer per bygge	N	9	1	10	100	999
Materialkostnad	$MK_{AM}$	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275
Förberedningskostnad	$FK_{AM}$	19,98	180,0	18,00	1,800	0,180
Tillverkningskostnad	$TK_{AM}$	425,6	3833	383,3	38,33	3,837
Efterbearbetningskostnad	$EK_{AM}$	2,898	26,10	2,610	0,261	0,026
<b>Total tillverkningskostnad</b>		<b>448,8</b>	<b>4039</b>	<b>404,2</b>	<b>40,67</b>	<b>4,318</b>
Materialise		1659	1740	1656	-	-
3D Hubs		1958	2654	1940	-	-

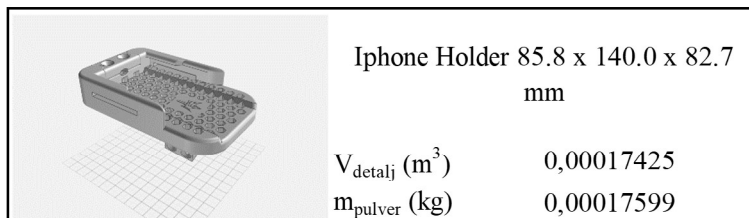
## Detalj I



Antal detaljer per bygge	N	21	1	10	100	999
Materialkostnad	$MK_{AM}$	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120
Förberedningskostnad	$FK_{AM}$	8,749	180,0	18,00	1,80	0,180
Tillverkningskostnad	$TK_{AM}$	186,4	3833	383	38,3	3,84
Efterbearbetningskostnad	$EK_{AM}$	1,269	26,10	2,610	0,261	0,026
<b>Total tillverkningskostnad</b>		<b>196,5</b>	<b>4039</b>	<b>404,0</b>	<b>40,5</b>	<b>4,16</b>

Materialise		1448	1647	1557	1483	-
3D Hubs		1588	2199	556	164	132

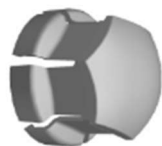
## Detalj J



Antal detaljer per bygge	N	22	1	10	100	999
Materialkostnad	$MK_{AM}$	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111
Förberedningskostnad	$FK_{AM}$	8,025	180,0	18,00	1,80	0,18
Tillverkningskostnad	$TK_{AM}$	170,9	3833	383	38,3	3,8
Efterbearbetningskostnad	$EK_{AM}$	1,164	26,10	2,610	0,261	0,026
<b>Total tillverkningskostnad</b>		<b>180,2</b>	<b>4039</b>	<b>404</b>	<b>40,5</b>	<b>4,2</b>

Materialise		904,8	995,8	955,0	946,0	921,5
3D Hubs		995,9	1542	387	50	11

## Bilaga II

Detalj  $\alpha$ 

Protective Cap 23.0 x 29.0 x 29.0 mm

$V_{\text{detalj}}$ (m <sup>3</sup> )	0,00000292	AL (st)	3760
$m_{\text{pulver}}$ (kg)	0,00000294	SL (st)	785

		AM	TM
Antal detaljer per bygge	N	1340	-
Materialkostnad	MK	0,002	-
Förberedningskostnad	FK	0,134	-
Tillverkningskostnad	TK	2,860	-
Efterbearbetningskostnad	EK	0,019	-
Inköpskostnad	IK	-	2,692
Lagersärkostnad	LK	0,000	0,256
Transportkostnad	TRK	-	-
Riskkostnad	RK	-	0,067
Totalkostnad	TOT	3,015	3,015
<b>Kostnadsförändring</b>	<b><math>\Delta K</math></b>		<b>0,000</b>


Detalj  $\beta$ 

Buffer 34.0 x 49.0 x 65.0 mm

$V_{\text{detalj}}$ (m <sup>3</sup> )	0,00002113	AL (st)	153
$m_{\text{pulver}}$ (kg)	0,00002134	SL (st)	13


		AM	TM
Antal detaljer per bygge	N	185	-
Materialkostnad	MK	0,013	-
Förberedningskostnad	FK	0,973	-
Tillverkningskostnad	TK	20,73	-
Efterbearbetningskostnad	EK	0,141	-
Inköpskostnad	IK	-	19,52
Lagersärkostnad	LK	0,001	2,143
Transportkostnad	TRK	-	-
Riskkostnad	RK	-	0,199
Totalkostnad	TOT	21,86	21,86
<b>Kostnadsförändring</b>	<b><math>\Delta K</math></b>		<b>0,000</b>

### Detalj $\gamma$

	Spacer 11.0 x 27.0 x 63.0 mm		
$V_{\text{detalj}}$ (m <sup>3</sup> )	0,00000386	AL (st)	1237
$m_{\text{pulver}}$ (kg)	0,00000390	SL (st)	1016

		AM	TM
Antal detaljer per bygge	N	1013	-
Materialkostnad	MK	0,002	-
Förberedningskostnad	FK	0,178	-
Tillverkningskostnad	TK	3,786	-
Efterbearbetningskostnad	EK	0,026	-
Inköpskostnad	IK	-	3,564
Lagersärkostnad	LK	0,000	0,076
Transportkostnad	TRK	-	-
Riskkostnad	RK	-	0,351
Totalkostnad	TOT	3,992	3,992
<b>Kostnadsförändring</b>	<b><math>\Delta K</math></b>		<b>0,000</b>

### Detalj $\delta$

	Switch 26.0 x 37.0 x 39.0 mm		
$V_{\text{detalj}}$ (m <sup>3</sup> )	0,00000899	AL (st)	427
$m_{\text{pulver}}$ (kg)	0,00000908	SL (st)	0

		AM	TM
Antal detaljer per bygge	N	435	-
Materialkostnad	MK	0,006	-
Förberedningskostnad	FK	0,414	-
Tillverkningskostnad	TK	8,818	-
Efterbearbetningskostnad	EK	0,060	-
Inköpskostnad	IK	-	8,302
Lagersärkostnad	LK	0,000	0,996
Transportkostnad	TRK	-	-
Riskkostnad	RK	-	0,000
Totalkostnad	TOT	9,298	9,298
<b>Kostnadsförändring</b>	<b><math>\Delta K</math></b>		<b>0,000</b>

### Detalj ε



Plastic Nut 22.0 x 22.0 x 32.0 mm

$V_{\text{detalj}}$ (m <sup>3</sup> )	0,00000319	AL (st)	764
$m_{\text{pulver}}$ (kg)	0,00000323	SL (st)	2

		AM	TM
Antal detaljer per bygge	N	1223	-
Materialkostnad	MK	0,002	-
Förberedningskostnad	FK	0,147	-
Tillverkningskostnad	TK	3,133	-
Efterbearbetningskostnad	EK	0,021	-
Inköpskostnad	IK	-	2,950
Lagersärkostnad	LK	0,000	0,353
Transportkostnad	TRK	-	-
Riskkostnad	RK	-	0,001
Totalkostnad	TOT	3,304	3,304
<b>Kostnadsförändring</b>	<b>ΔK</b>		<b>0,000</b>

### Detalj ζ



Cover 32.0 x 57.0 x 80.0 mm

$V_{\text{detalj}}$ (m <sup>3</sup> )	0,00001590	AL (st)	151
$m_{\text{pulver}}$ (kg)	0,00001605	SL (st)	23

		AM	TM
Antal detaljer per bygge	N	246	-
Materialkostnad	MK	0,010	-
Förberedningskostnad	FK	0,732	-
Tillverkningskostnad	TK	15,59	-
Efterbearbetningskostnad	EK	0,106	-
Inköpskostnad	IK	-	14,68
Lagersärkostnad	LK	0,001	1,493
Transportkostnad	TRK	-	-
Riskkostnad	RK	-	0,268
Totalkostnad	TOT	16,44	16,44
<b>Kostnadsförändring</b>	<b>ΔK</b>		<b>0,000</b>

## Detalj η



Anchorage 36.0 x 46.0 x 47.0 mm

$V_{\text{detalj}}$ (m <sup>3</sup> )	0,00001275	AL (st)	229
$m_{\text{pulver}}$ (kg)	0,00001288	SL (st)	78

		AM	TM
Antal detaljer per bygge	N	306	-
Materialkostnad	MK	0,008	-
Förberedningskostnad	FK	0,587	-
Tillverkningskostnad	TK	12,51	-
Efterbearbetningskostnad	EK	0,085	-
Inköpskostnad	IK	-	11,78
Lagersärkostnad	LK	0,001	0,932
Transportkostnad	TRK	-	-
Riskkostnad	RK	-	0,481
Totalkostnad	TOT	13,19	13,19
<b>Kostnadsförändring</b>	<b>ΔK</b>		<b>0,000</b>

## Detalj θ



Cap 13.0 x 23.0 x 42.0 mm

$V_{\text{detalj}}$ (m <sup>3</sup> )	0,00000316	AL (st)	35
$m_{\text{pulver}}$ (kg)	0,00000319	SL (st)	3

		AM	TM
Antal detaljer per bygge	N	1236	-
Materialkostnad	MK	0,002	-
Förberedningskostnad	FK	0,146	-
Tillverkningskostnad	TK	3,102	-
Efterbearbetningskostnad	EK	0,021	-
Inköpskostnad	IK	-	2,921
Lagersärkostnad	LK	0,000	0,320
Transportkostnad	TRK	-	-
Riskkostnad	RK	-	0,030
Totalkostnad	TOT	3,271	3,271
<b>Kostnadsförändring</b>	<b>ΔK</b>		<b>0,000</b>

## Detalj ι



Clamp 19.0 x 29.0 x 43.0 mm

$V_{\text{detalj}}$ (m <sup>3</sup> )	0,00000228	AL (st)	92
$m_{\text{pulver}}$ (kg)	0,00000230	SL (st)	0

		AM	TM
Antal detaljer per bygge	N	1717	-
Materialkostnad	MK	0,001	-
Förberedningskostnad	FK	0,105	-
Tillverkningskostnad	TK	2,233	-
Efterbearbetningskostnad	EK	0,015	-
Inköpskostnad	IK	-	2,102
Lagersärkostnad	LK	0,000	0,252
Transportkostnad	TRK	-	-
Riskkostnad	RK	-	0,000
Totalkostnad	TOT	2,354	2,354
<b>Kostnadsförändring</b>	<b>ΔK</b>		<b>0,000</b>

## Detalj κ



Bracket 66.0 x 105.0 x 110.0 mm

$V_{\text{detalj}}$ (m <sup>3</sup> )	0,00002557	AL (st)	121
$m_{\text{pulver}}$ (kg)	0,00002582	SL (st)	6

		AM	TM
Antal detaljer per bygge	N	153	-
Materialkostnad	MK	0,016	-
Förberedningskostnad	FK	1,178	-
Tillverkningskostnad	TK	25,08	-
Efterbearbetningskostnad	EK	0,171	-
Inköpskostnad	IK	-	23,61
Lagersärkostnad	LK	0,001	2,693
Transportkostnad	TRK	-	-
Riskkostnad	RK	-	0,141
Totalkostnad	TOT	26,45	26,45
<b>Kostnadsförändring</b>	<b>ΔK</b>		<b>0,000</b>



INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION  
AVDELNINGEN FÖR ENTREPRENEURSHIP AND STRATEGY  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2020  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**